



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **Suomen tarkkailusiltojen uusi tutkimusohjelma**

Jyri Koskinen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus  
Talonrakennustekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus  
Talonstrakennustekniikka

KOSKINEN, JYRI:

Suomen tarkkailusiltojen uusi tutkimusohjelma

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Opinnäytetyön aiheena oli uudistaa Liikenneviraston ylläpitämän tarkkailusiltaohjelman tutkimussuunnitelmia. Tarkkailusiltaohjelmaan kuului alun perin 131 siltaa ympäri Suomea. Näiden siltojen avulla on ollut tarkoitus arvioida koko Suomen siltakannan vaurioitumista ja korjaustarvetta. Silloille on viiden vuoden välein tehty laajennettu yleistarkastus. Liikennevirasto tilasi vuonna 2017 Ramboll Finlandilta tutkimuksen, jossa koottiin yhteen tarkkailusilloista tehty tutkimukset ja mittaukset viimeisen 20 vuoden ajalta. Tämän tutkimuksen yhtenä osa-alueena oli esittää, miten tarkkailusiltajärjestelmää voidaan parantaa jatkossa.

Opinnäytetyössä kartoitettiin Ramboll Finlandin tekemän tutkimuksen perusteella aikaisemman tutkimusohjelman kehitystarpeet. Kehitystarpeiden selvittämisen perusteella luotiin uudet työsuunnitelmat sekä tietojenkeruupohja, jotka yhdessä toimivat uutena tutkimusohjelmana. Tutkimusohjelman työsuunnitelmat on rajattu seuraavasti: yksiaukkoinen teräsbetonsilta, useampiaukkoisen teräsbetonsilta ja useampiaukkoisen teräsbetonikantinen teräspalkkisilta. Nämä siltatyypit edustavat suurinta osaa Suomen siltakannasta. Uuden tietojenkeruupohjan tarkoituksena on helpottaa jatkossa mittaustiedon vertailua eri muodoissa.

Uuden tutkimussuunnitelman tavoitteena on yhtenäistää Suomessa oleville tarkkailusilloille tehtäviä tutkimuksia sekä mahdollistaa entistä tarkempi vaurioiden kehittymisen seuranta. Seurannan perusteella tavoitteena on tulevaisuudessa saada selville erilaisia vauriomalleja, joilla voitaisiin ennustaa Suomen siltakannan kuntoa. Tutkimusohjelman toimivuudesta saadaan kokemuksia kesän 2018 jälkeen.

---

Asiasanat: tarkkailusillat, silta, laajennettu yleistarkastus

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building Construction

KOSKINEN, JYRI:  
The New Finnish Bridge Surveillance Program

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 3 pages  
April 2018

---

The subject of the thesis was to renew the research plans of the Finnish bridge surveillance program. The observed bridges are maintained by the Finnish Transport Agency. The program originally included 131 bridges around Finland. The purpose of these bridges was to aid the assessment of the damage and repair needs of the Finnish bridge stock. Every five years, an extended general inspection of the bridges has been made. In 2017, The Finnish Transport Agency ordered a research from Ramboll Finland, which gathered up research material and measurements of surveillance bridges from over the past 20 years. One aspect of this research was to show how the program could be improved in the future.

The thesis analyzed the development needs of the previous research program. Based on the development, new work plans and database were created. These two together act as a new research program. The work plans are defined for three typical bridge types. These bridge types represent the largest part of the Finnish bridges. The purpose of the new database is to facilitate concrete damage measurement in the future.

The purpose of the new bridge surveillance program is to harmonize bridge site research and to allow for more accurate time tracking of damage. The aim is to find a variety of damage patterns that could predict the future condition of Finland's bridge stock. Experiences of the research program will be gained after the summer of 2018.

---

Key words: bridge surveillance, bridge, extended general inspection

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TAITORAKENTEET YLEISESTI.....	8
2.1	Taitorakenteet .....	8
2.2	Taitorakenteiden tarkastukset .....	8
3	SUOMEN TARKKAILUSILLAT .....	11
3.1	Tarkkailusiltojen tarkoitus .....	11
3.2	Aikaisemmat tutkimukset .....	12
4	VAURIOITUMISMEKANISMIT .....	15
4.1	Siltarakenteiden vauriot.....	15
4.2	Siltarakenteiden tutkimukset .....	16
4.3	Kloridirasitus .....	17
4.3.1	Kloridipitoisuuden mittaaminen.....	19
4.4	Karbonatisoituminen .....	20
4.4.1	Mittaaminen.....	20
4.5	Pakkasrapautuminen.....	20
4.5.1	Mittaaminen vetolujuuden avulla .....	21
4.5.2	Ohuthienäyte .....	22
5	VANHAN TUTKIMUSOHJELMAN KEHITYSTARPEET .....	23
5.1	Näytteiden ottamisen yhdenmukaisuus .....	23
5.2	Puutteelliset näytteet .....	23
5.3	Näytteenottopaikkojen merkitseminen.....	23
5.4	Tuloksista raportointi .....	25
6	UUSI TUTKIMUSSUUNNITELMA .....	26
6.1	Tutkimussuunnitelman yleiset tavoitteet ja rajaukset .....	26
6.2	Siltakannan päivittäminen .....	28
6.3	Työsuunnitelmien rajaukset.....	31
6.3.1	Sillan tyyppi .....	31
6.3.2	Sillan maantieteellinen sijainti .....	33
6.3.3	Sillan ikä.....	33
6.4	Työsuunnitelmien sisältö .....	33
6.4.1	Esimerkki rakenteet ja näytteenotto kohdat .....	33
6.4.2	Mittauksen sijainnin merkitseminen.....	34
6.5	Mitattavat vauriomekanismit ja näytteenottomäärät .....	35
6.5.1	Kloridinäytteenotto .....	35
6.5.2	Karbonatisoituminen.....	35
6.5.3	Vetolujuusnäytteenotto .....	35

6.6	Tutkimusta täydentävät mittaukset .....	36
6.6.1	Ohuthienäytteenotto.....	36
6.6.2	Ohuthienäytteiden luokitus .....	36
6.7	Tulosten kirjaaminen tietojenkeruupohjaan ja raportointi .....	38
7	POHDINTA .....	41
	LÄHTEET .....	42
	LIITTEET.....	43
	Liite 1. Tarkkailusiltojen uudet työsuunnitelmat .....	43

## 1 JOHDANTO

Suomessa on noin 20 500 siltaa. Liikenneviraston omistuksessa on noin 17 500 siltaa. Yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo on n. 11 miljardia euroa. Kunnossa- ja ylläpitotoiminnalla on ratkaiseva merkitys omaisuuden säilymiseen sekä turvallisuuteen. Oikealla ylläpidolla saavutetaan hallittu käytettävyys koko elinkaaren ajan. (Söderqvist 2017, s.4.)

Entisen Tiehallinnon (nyk. Liikennevirasto) toimesta vuonna 1990 perustettiin koeluontoisesti tarkkailusiltaohjelma. Ohjelma kehitettiin Tiehallinnon sillantarkastustoiminnan sovittamiseksi siltojen hallintajärjestelmään ja siltojen hallintajärjestelmän tarvitsemien siltojen ikäkäyttämismallien kehittämiseksi. Tulokset olivat hyviä ja vuonna 1994 tarkastukset aloitettiin järjestelmällisesti. Sillat valittiin maantieteellisen sijainnin, ilmasto-olosuhteiden sekä rakennusmateriaalin ja toimintatavan perusteella siten, että se vastasi tilastollisesti sen aikaisen Tiehallinnon koko maantiesillastoja. (Söderqvist 2017, s.16)

Tarkkailusillat tarkastetaan viidenvuoden välein yksi ELY-alue kerrallaan, jonka jälkeen kierros alkaa uudelleen. Tarkastukseen kuuluu silmämääräinen tarkastus sekä rakenteista tehtävät mittaukset. Siltojen kunnon seurannassa on aikaisemmin keskitytty raudotteiden korroosioon, joko karbonatisoitumisesta, tai klorideista johtuen.

Ramboll Finland teki 2017 tutkimuksen, jossa koottiin yhteen tähänastiset mittaustulokset sekä havainnot. Tutkimusaineistoa oli kerätty vuosien 1990-2017 väliseltä ajalta. Tutkimuksen pohjalta arvioitiin betonin lujuuden kasvua sekä kloridi- ja karbonatisoitumisvaurioiden määrää maantieteellisesti. Betonin laadun heitellessä myös nämä vauriot vaihtelivat hyvin suuresti (Lahdensivu 2017, s.17). Raportin osa-alueena oli myös tutkia tarkkailusiltaohjelman puutteita, sekä kehitystarpeita, joita tässä opinnäytetyössä tutkitaan.

Tarkkailusiltaohjelman kehitystarpeiksi Ramboll Finlandin tekemän tutkimuksen pohjalta selvisi näytteidenottojen yhdenmukaistaminen, betonin laadun tarkempi seuranta sekä siltakannan päivittäminen vastaamaan paremmin nykyaikaista siltakantaa. Tarkkailusiltaohjelman tarkoituksena on tutkia betonirakenteita laajemmassa mittakaavassa kuin yhden sillan vaurioitumisessa. Tämän laajemman tutkimuksen pohjalta voidaan jatkossa

arvioida vaurioiden kehittymistä. Siltojen tutkimisessa keskitytään jatkossa betonin laadun ja vaurioiden mittaamiseen. Uudessa tutkimusohjelmassa on päivitetty siltakantaa sekä tutkimuksia ja näiden kirjaus- sekä raportointitapaa.

Uusi tutkimusohjelma on tarkoitus ottaa käyttöön kesällä 2018, jolloin tarkastetaan tutkimusohjelmaan lisätyt sillat, jotta nämä saadaan myös ajalliseen vertailuun. Tarkkailusillasto ja siihen liittyvät analyysit, sekä siltojen tarkastustoiminta Suomessa on herättänyt kiinnostusta myös muissa maissa. Tarkkailusiltaohjelma on maailmanlaajuisesti uniikki.

## **2 TAITORAKENTEET YLEISESTI**

### **2.1 Taitorakenteet**

Pekka Pulkkinen ja Juha Noeskoski ovat tiivistäneet taitorakenteen määrittelyn seuraavasti ”Taitorakenteita ovat kaikki sellaiset rakenteet, joiden rakentamiseksi on laadittava lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat ja joiden rakenteellinen vaurioituminen suunnittelu- tai rakennusvirheen seurauksena saattaa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai liikennejärjestelmälle ja/ tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai sen välittömälle ympäristölle.” (Pulkkinen & Noeskoski 2017, s.1.)

Sillat ovat taitorakenteita. Sillaksi kutsutaan rakennetta, joka johtaa ajoneuvo- henkilö tai muun liikenteen esteen yli. Suomessa silloiksi kutsutaan rakenteita, joiden vapaa-aukko on vähintään 2,0 m. Sillan rakenteellisena toimintana on välittää päällysrakenteen päällä oleva hyötykuorma alusrakenteen kautta kantavaan maapohjaan. Siltojen lisäksi tyypillisiä taitorakenteita ovat rautatiesillat ja -rummut, tunnelit ja kallioleikkaukset, tukimuurit, kanavarakenteet, laiva- ja uittojohteet, laiturit ja lauttapaikat, kiinteät merimerkit sekä muut infrarakenteet kuten rautateiden liikennepaikat, paalulaatta- ja paaluhatturakenteet, meluesteet ja portaat. (Liikennevirasto 2013 c, s.5-10.)

### **2.2 Taitorakenteiden tarkastukset**

Liikennevirasto on laatinut ohjeet taitorakenteiden tarkastuksia varten, jotta välttyttäisiin edellä mainituilta vaikutuksilta taitorakenteen vaurioituessa. Siltojen tarkastuksia on ohjeistettu useissa eri ohjeissa kuten, Siltojen vuositarkastusohje, Sillantarkastuskäsikirja, Siltojen yleistarkastusten laatuvaatimukset, Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset sekä Sukellustarkastusohje.

Suomen maantiesilloista suurin osa on rakennettu 1950- luvun jälkeen. Eniten siltoja on rakennettu 1960-90 luvuilla ja sillan periaatteellinen peruskorjausikä on n.30-40 vuotta. Taitorakenteiden ylläpidon ja kunnonhallinnan merkitys ja niihin panostamisen tarve kasvaa rakennuskannan ikääntyessä ja uusinvestointimahdollisuuksien vähentyessä, jotta infrastruktuuri säilyy käytettävänä ja turvallisena.



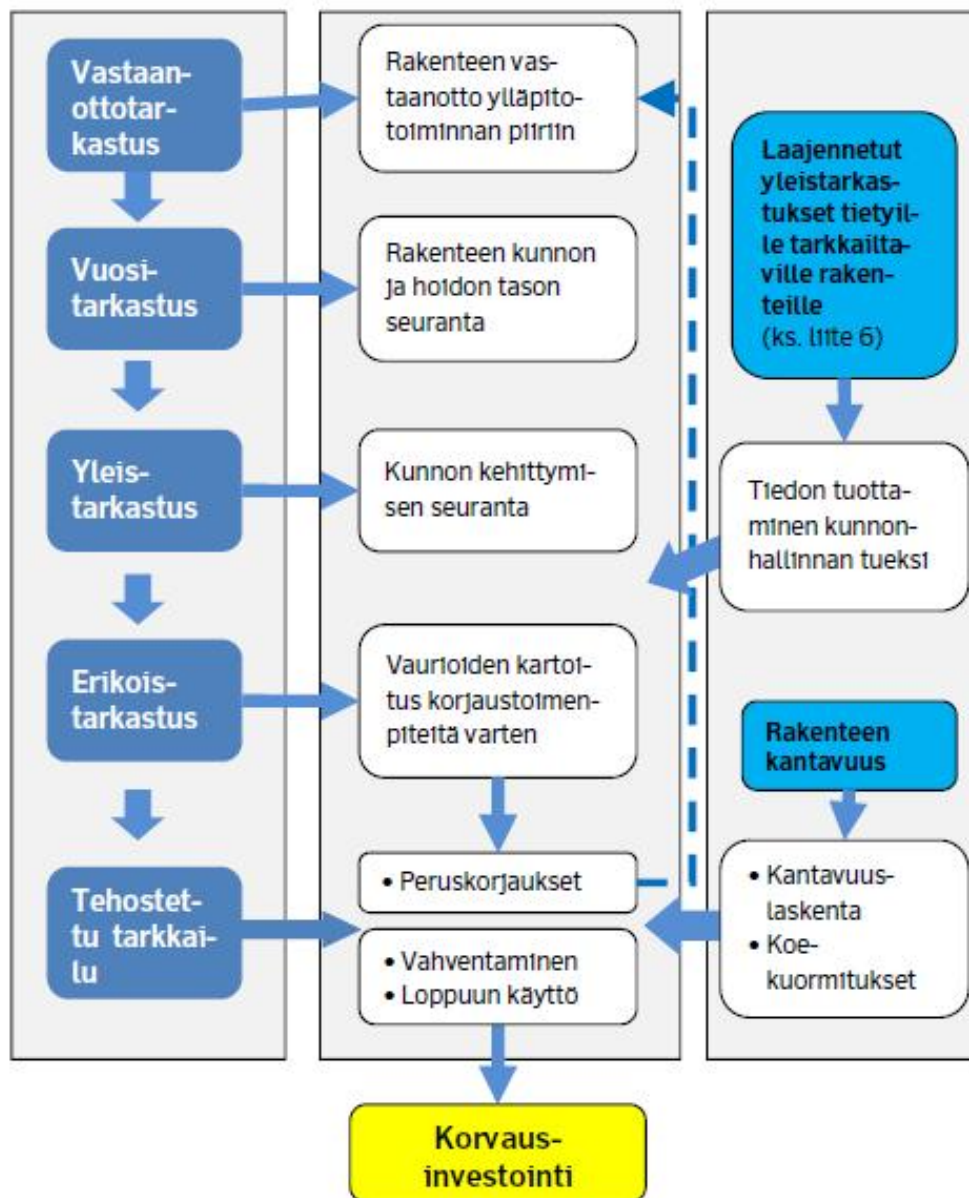
Taitorakenteiden (siltojen) tarkastustoiminnan käynnistää **vastaanottotarkastus** rakenteen valmistuttua. Vastaanottotarkastuksessa kerätään tarkastustoiminnan lähtöasiakirjat, joiden perusteella rakenteen perustiedot päivitetään Taitorakennerekisteriin. (Liikenneviraston taitorakenteiden perustietovarasto. Sisältää rakenteellisten tietojen lisäksi vaurio- ja kuntotietoa taitorakenteista). (Liikennevirasto 2013 c, s.50.)

Taitorakenteille suoritetaan vuosittain silmämääräinen **vuositarkastus**, jossa havainnoidaan rakenneosien kunto ja hoidon taso. Havaitut vauriot saatetaan tilaajan tietoon vuositarkastuslomakkeella. Haitalliset/vakavat vauriot siirretään tarkastettavaksi yleistarkastuksessa tai erikoistarkastuksessa. (Liikennevirasto 2013 c, s.50.)

**Yleistarkastukset** ovat pohjana seuraavalle tarkastukselle ja toimenpiteiden ohjelmoinnille. Silmämääräiset yleistarkastukset suoritetaan silloille 3-8 vuoden välein riippuen rakenteen kunnosta. Yleistarkastuksessa havaittujen puutteiden tai varioiden perusteella rakenne voidaan asettaa tehostettuun tarkkailuun ja sille voidaan suositella erikoistarkastusta. (Liikennevirasto 2013 c, s.50.)

**Erikoistarkastus** suoritetaan, kun rakenteen kunnosta on tarpeellista saada silmämääräistä tietoa tarkempaa tutkimusta. Erikoistarkastuksessa selvitetään syntyneiden vaurioiden syyt tarkemmin ja selvittää rakenteen kunto peruskorjausta varten. Erikoistarkastuksesta saadut tiedot toimivat lähtötietoina korjaussuunnitelman laatimista varten. (Liikennevirasto 2013 c, s.50.)

**Laajennettu yleistarkastus** sijoittuu tarkastuksissa yleistarkastuksen ja erikoistarkastuksen väliin. Laajennettuja yleistarkastuksia tehdään yleistarkastusten aikataululla, mutta tarkastukseen sisältyy näytteenottoja, muttei niin laajasti kuin erikoistarkastuksissa. Tarkkailusilloille suoritetaan laajennettuja yleistarkastuksia viiden vuoden välein. Kuviossa 1 on esitettyä taitorakenteiden tarkastukset rakenteen elinkaareen suhteutettuna.



KUVIO 1. Taitorakenteen tarkastusjärjestelmä osana rakenteen elinkaarta (Liikennevirasto 2013 c, s.52)

### 3 SUOMEN TARKKAILUSILLAT

#### 3.1 Tarkkailusiltojen tarkoitus

Liikennevirasto on ylläpitänyt vuodesta 1990 tarkkailusiltaohjelmaa, jonka tavoitteena on ollut arvioida koko Suomen siltakannan vaurioitumista ja korjaustarvetta. Tähän tarkkailusiltaohjelmaan kuului alun perin 131 erityyppistä siltaa (Liikennevirasto 2017, s.1) Siltoja oli jaettu tasaisesti seitsemän eri ELY-alueen kesken. Tarkkailusilloille on tehty laajennettu yleistarkastus viiden vuoden välein. Silmämääräisen tarkastelun lisäksi silloista on otettu näytteitä ja tehty erinäisiä mittauksia. Näiden mittausten perusteella on ollut tarkoitus arvioida vaurioiden ja betonin ominaisuuksien kehittymistä ajansaatossa, sekä vertailla sitä, kuinka vauriot etenevät maantieteellisesti eri sijainneissa.

2017 Ramboll Finland laati Liikennevirastolle raportin, jossa koottiin tarkkailusiltojen aiemmat tutkimukset yhteen ja laadittiin tarkastelu tämänhetkisistä vaurioista. Raportin pohjalta saatiin tuloksia vaurioiden etenemisestä sekä betonin ominaisuuksien muuttumisesta. Seuraavia havaintoja tehtiin sillastosta: raudoitteiden peitepaksuudet ovat pääosin hyviä, betonin puristuslujuus on korkea ja samaa tasoa koko maassa, betonin ominaisuuksissa on merkittävää paikallista vaihtelua, vaurioitumismallien kehitys puutteellista ajallisen tiedon puuttuessa (Lahdensivu 2017, s.17). Tutkimuksessa kartoitettiin myös tarkkailusiltaohjelman kehitystarpeet ja osittaiset puutteet. Kuvassa 1 Naantalinsalmen sillalla käynnissä laajennettu yleistarkastus.



KUVA 1. Naantalinsalmen silta (Liikennevirasto 2005)

### 3.2 Aikaisemmat tutkimukset

Tarkkailusiltojen seurannassa on aikaisemmin panostettu betoniraidoitteiden korroosiota aiheuttavien rasitusten mittaamiseen. Näihin mittauksiin on kuulunut, betoniterästen suojaitepaksuuksien mittaaminen, betonin karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen sekä kloridipitoisuuden mittaaminen betonirakenteesta. Myös betonin suhteellista ja absoluuttista kosteuspitoisuutta on mitattu. (Liikennevirasto 2014, s.4-13).

Betonirakenteista on myös mitattu betonin puristus- sekä vetolujuutta. Puristuslujuustutkimuksia on tehty laajasti ja näiden perusteella on saatu selville betonin puristuslujuuden kasvavan suunnittelulujuudesta ajan kuluessa (Liikennevirasto 2017, s.11). Vetolujuusmittauksia on otettu vain yksittäisiä tämän vuosikymmenen puolella, ja näistä tuloksista ei ole voitu tehdä päätelmiä tai vertailuja.

Teräskorroosiota on aikaisemmin tutkittu silmämääräisesti siltojen eri teräsosista kuten, kaiteista, teräksisistä pääkannattajista sekä muista kannatusrakenteista (kuva 2). Teräsosista on myös tehty pinnoitepaksuusmittauksia. Pinnoitteesta on mitattu sinkin

tai maalin kalvopaksuuksia. Liikenneviraston raportin mukaan maalipinnoitteissa ei tapahdu muutoksia ilman mekaanista rasitusta. Sinkkikerros sen sijaan muuttuu ajan kuluessa sinkin syöpymisestä johtuen. (Liikennevirasto 2017, s.12)



KUVA 2. Esimerkki teräksisten kannattajien korroosiosta (Liikennevirasto 2013 b, s.43)

Muita silmämääräisesti tehtyjä tutkimuksia on betonin pakkasrapautuminen. Pakkasrapautumista on arvioitu rapautuman laajuuden perusteella ja sitä on arvioitu rakenneosittain kolmiportaisella asteikolla (kuva 3).





KUVA 3.Sillan rapautunut siipimuuri (Liikennevirasto 2013 b, s.31)

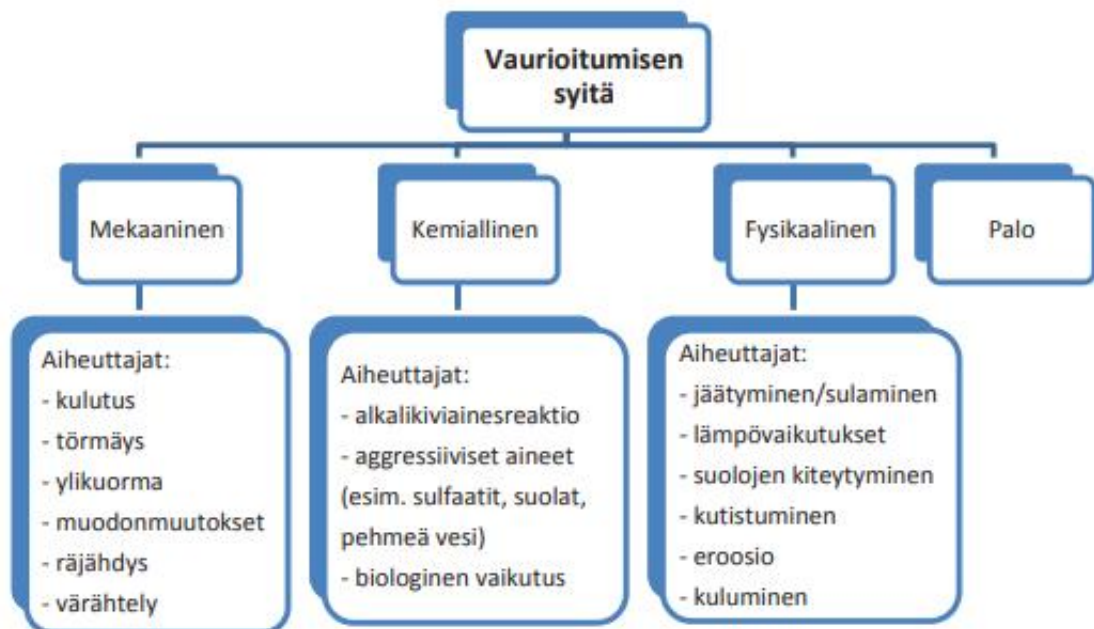
Tarkkailusilta ohjelmassa ei ole otettu kantaa kuormituksen aiheuttamien vaurioiden mittaamiseen, kuten halkeamiin ja niiden leveyksiin. Näihin vaikuttavat suuresti monet asiat, esimerkiksi minkälaisille kuormille sillat ovat suunniteltu. Halkeamien vertailu maantieteellisesti, sekä ilmasto-olosuhteellisesti on hankalaa, ja tämän takia niitä ei ole tarkkailusiltaohjelmassa tutkittu.

Tarkkailusilloista tehdyt tutkimukset ovat laajoilta osin puutteellisia. Mittaukset, joita tarkkailusilloista on tehty ovat, yksittäisiä eikä täten anna kuvaa vaurioiden kehittymisestä. Betonin rapautumiseen ei tutkimusohjelmassa ole kiinnitetty silmämääräistä tutkimusta lukuun ottamatta huomiota. Tämän perusteella betonin pakkasenkestävyydestä, tai sen huokosrakenteesta ei ole mitattua aineistoa. Betonin huokosrakenne on kuitenkin tärkeässä osassa betonirakenteen ja betoniterästen säilymisen kannalta.

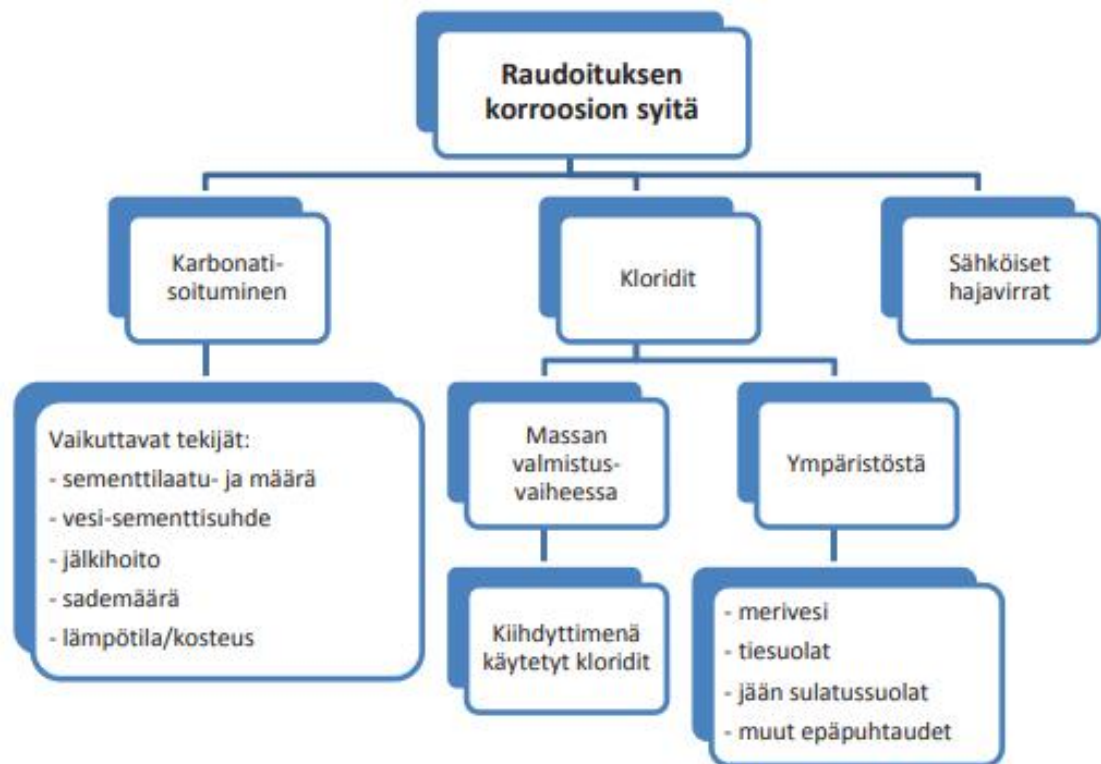
## 4 VAURIOITUMISMEKANISMIT

### 4.1 Siltarakenteiden vauriot

Tässä osassa käsitellään pelkästään tarkkailusilloista mitattavia betonin rasituksia ja vaurioita. Esimerkiksi alkalikiviainesreaktioita ei varsinaisesti tarkkailla/mitata tarkkailusilloista. Nämä kuitenkin voidaan todeta rakenteesta otettavilla ohuthienäytteillä tai silmämääräisesti laajalle levinneestä verkkohalkeilusta. Uudessa ohuthienäytteen luokituksessa annetaan kuitenkin huokostäyteisyydelle numeraalinen arvo. Kuviossa 2 kerrottuna betonin vaurioitumisen syitä, sekä kuviossa 3 betoniterästen vaurioitumisen syitä.



KUVIO 2. Betonin vaurioitumisen syitä (Liikennevirasto 2013 c, s.102)



Kuvio 3. Raudoituksen korroosiovauriot (Liikennevirasto 2013 c, s.103)

## 4.2 Siltarakenteiden tutkimukset

Betonirakenteiden tutkimuksia voidaan tehdä joko suoraan kohteessa tehtävillä tutkimuksilla tai kohteesta otetuista näytteistä laboratoriossa. Laboratoriotutkimusten etuna on niiden laatu. Tulokset ovat luotettavia ja kertovat näytteestä juuri sen kyseisen tutkittavan suureen. Taulukossa 1 on esitettyä betonirakenteista eri laitteilla ja laboratoriotesteillä selville saatavia ominaisuuksia tai vaurioita



TAULUKKO 1. Betonin ominaisuuksien tai vaurioiden mittaaminen eri kokeilla (Liikennevirasto 2013 c, s.86)

TUTKIMUSMENETELMÄ		OMINAISSUUS TAI VAURIO																						
		Mitat	Raudituksen koko ja sijainti	Raudituksen korroosio	Karbonatisoituminen	Kloridipitoisuus	Halkaisu	Kosteuspitoisuus	Pakkasenkestävyys	Huokoisuus ja läpäisevyys	Tartunta	Lujuus	Materiaalirakenne	Betonin laatu	Laadun vaihtelu	Kimmoisuus	Sementtityyppi	Irtoamat ja onkalot	Palovaurio	Kiviaineksen laatu	Kiviainesreaktiot	Sulfaatinkestävyys	Törmäysvaurio	
KOE TAI MITTAUS KOHTEESSA	Näköhavainnot	●	○	●		●	○		○			○			○			○	●	○	○	○	●	
	Mittaukset	●	○	○		●												○		○			○	
	Iskokoe (koputtelu)									○					○			●	●				○	
	Fenolftaleiiniinikoe			●	●																			
	Kloridipitoisuus			●		●																		
	Betonipeitemittaus		●																					
	Tartuntakoe										●			○					○					
	Ultraäänimittaus	○					○					○		○	●	○		●					○	
	Kimmoavasaramittaus											○		○	○			○	○					
	Potentiaalinmittaus			●						○				○										
	Ominaisvastusmittaus									○				○										
	Polarisaatiovastusmittaus			○																				
	Kosteusmittaus						●																	
	Läpäisevyysmittaus									●				○										
	Kuituoptiikka																	○	○				○	
	Kaikuluotaus	○																○						
	Laserkeilaus	●																○						
	Röntgenkuvaus	○	○												●			○						
	Jännitysaaltomenetelmät	○	○				○						○		○			○						
	Pinnan kastelu ja valokuvaus						○																	
	Maatutkamittaus	○	○				○								○			○						
	Siltatutkaus	○	○				○								○			○						
	Lämpökamerakuvaus						○	○		○					○			○						
KOESTUS LABORATORIOSSA	Lieriöiden puristus ja halkaisu	○	○								●		●										●	
	Kemiallinen analyysi				●												○	○			●			
	Pintahieanalyysi					○		●																
	Ohuthieanalyysi				○	○		●	○			●	●				●	○	●	●				
	Laattakoe pakkassuolakokeena							●																
	Laattakoe pakkaskokeena							●																
	Kapillaarinen vedelläkylästyskoe							●	●															
	Muodonmuutuskoe															●						○		
	Painekoe (vedenpitävyys)								●															

● Perusmenetelmä

○ Täydentävä menetelmä

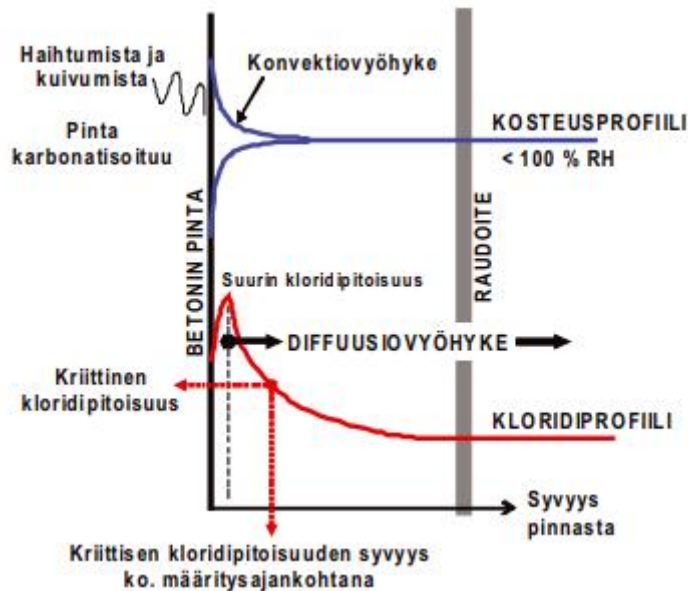
● Perusmenetelmä  
○ Täydentävä menetelmä

### 4.3 Kloridirasitus

Betonin alkalisuus suojaa tehokkaasti betoniraudoitusta korroosiolta, mutta kloridisuolojen tunkeutuminen betoniin voi käynnistää raudoitteen korroosion. Kloridirasitusta on

suolattavilla teillä, sekä meressä olevilla rakenteilla. Itämeri on suhteellisen vähäsuolaista, eikä aiheuta helposti korroosio-ongelmaa. Kloridikorroosio voi käynnistyä, kun kloridit saavuttavat betonissa raudoituksen ja puhkaisevat raudoitusta suojaavan passiivikalvon. Kloridikorroosio voi käynnistyä, vaikka betoni ei olisikaan karbonatisoitunut.

Vesi, vuorotteleva pakkanen ja kloridisuolat yhdessä hapen kanssa altistavat betoni-raudoitteet erityisesti korroosiolle. Betonin sisällä kloridit siirtyvät väkevyyseron tasoittumisen kautta eli diffuusiolla huokosissa. Betonin pintaosan kapillaarihuokosiin kloridit voivat tunkeutua myös veden mukana. Kloridipitoisen ja kloridittoman betonin välille ei muodostu jyrkkää rajaa (kuvio 4, jonka takia kloridipitoisuuden mittaaminen on tehtävä usealta eri syvyydeltä. (Salparanta & Kuosa 2008, s.1) Betonissa olevat halkeamat mahdollistavat kloridien kulkeutumisen syvällekin betoniin halkeamaa pitkin.



KUVIO 4. Kloridien tunkeutuminen betoniin (Salparanta & Kuosa 2008, s.1)

Sillan kuivatuslaitteilla ja oikealla detaljisuunnittelulla on suuri vaikutus betonirakenteen säilyvyyteen. Kloridien tunkeutumista betoniin voidaan estää rakenteellisin keinoin, jolloin veden pääsy estetään mekaanisesti kapillaarihuokosiin. Betonin pintaan voidaan myös levittää suoja-aineita esimerkiksi impregnointiainetta (kuva 4) tai betonipinta voidaan pinnoittaa. Erilaisilla kallistuksilla voidaan myös vähentää veden imeytymisaikaa betonipinnalla. Betonin teknisillä ominaisuuksilla voidaan myös vaikuttaa kapillaarihuokosien määrään, jolloin klorideilla on vähemmän huokoisia johon tunkeutua. Betonirakenteen vesi-sideainesuhteen on oltava oikea valmistusvaiheessa, koska se vaikuttaa kapillaarihuokosverkoston määrään ja yhtenäisyyteen. (Salparanta & Kuosa 2008, s.2)



KUVA 4. Impregnoitu betonipinta (STO Finexter OY)

#### 4.3.1 Kloridipitoisuuden mittaaminen

Kloridipitoisuus määritetään taitorakenteissa standardin SFS 5451 mukaisesti happoliukoisena betonin painosta (Liikennevirasto 2013, s.91). Mittaus tehdään laboratoriossa porajauhenäytteestä tai koekappaleesta murskaamalla. Näytteenotto tehdään voimassa olevan ohjeistuksen mukaisesti.

Mittaukset tehdään rakenneosittain kohdista, joissa voidaan olettaa olevan suuri kloridirasitus, esimerkiksi siipimuureista liikuntasaumalaitteen kohdalla. On myös huomioitava, että suolasumu leviää alittavien/ohittavien väylien liikenteen aiheuttaman ilmavirran mukana rakenteen kaikille pinnoille. Tämän takia oletetaan suolasumun vaikuttavan kuumen metrin etäisyydelle sillan alittavan suolattavan tien päällysteen reunasta. Meren suolasumurasitus vaikuttaa kaikkiin kosketuksissa oleviin pintoihin 100m etäisyydellä rannasta.

Kloridipitoisuus mitataan näytesarjoina, joka käsittää näytteet 0-20mm ja 20-40mm syvyydeltä, sekä joissain tapauksissa voidaan ottaa myös näyte 40-60mm syvyydeltä. Vertailunäyte otetaan rakenteen kloridirasittamattomasta pinnasta, jolloin saadaan vertailuarvo myös puhtaasta näytteestä ja arvio kloridirasituksen laajuudesta.

Betonin kriittinen kloridipitoisuus raudoitteen korroosion kannalta on betonin laadusta riippuen 0,03-0,07 % betonin painosta happoliukoisena määritettynä, jännitetyissä rakenteissa puolet näistä arvoista. Betonirakennetta korjattaessa raudoituksen ympärille ei saa jäädä kloridipitoista betonia, jonka pitoisuus on suurempi kuin 0,02 p-%. (Liikennevirasto 2010, s.12)

#### 4.4 Karbonatisoituminen

Betonin karbonatisoitumisessa kemiallisesti tarkasteltuna ilman hiilidioksidi reagoi sementin kalsiumyhdisteiden kanssa. Tästä reaktiotuotteena syntyy neutraalia kalsiumkarbonaattia. Normaalisti betonin emäksisyys on pH 13-14. Tämä yhdistettynä betoniteräksen ominaisuuksiin muodostaa se teräksen pinnalle oksidikalvon, joka suojaa betoniteräksiä korroosiolta. Betonin karbonatisoituaessa tämän pH laskee noin arvoon 8,5, jolloin raudoitteen pinnalle muodostunut oksidikalvo katoaa ja mahdollistaa raudoituksen korroosion. Karbonatisoitumisen edetessä syvemmälle rakenteeseen, karbonatisoitumisnopeus hidastuu. Karbonatisoitumisnopeuteen vaikuttaa betonin lujuusluokka, tiiviys, kosteuspitoisuus sekä erilaiset pinnoitteet betonin pinnassa. (Heikkonen 2016, s.12.)

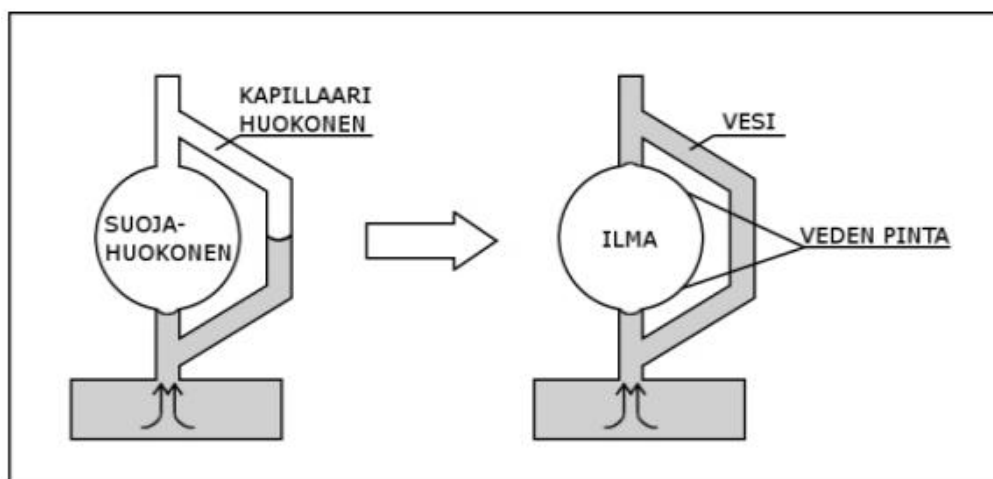
##### 4.4.1 Mittaaminen

Karbonatisoitumissyvyys voidaan määrittää kohteessa joko auki piikatusta kohdasta, tai irti poratusta poralieriöstä. Poranäytteestä saadaan huomattavasti tarkempi ja luotettavampi tulos. Karbonatisoitumissyvyys määritetään käsittelemällä näyte pH-indikaattorilla, mikä muuttaa karbonatisoitumattoman osan värin liilanpunaiseksi ja mittaamalla karbonatisoituneen kerroksen paksuus. PH-indikaattorina käytetään yleisesti fenoliftaleiini-liuosta.

#### 4.5 Pakkasrapautuminen

Suomen vaihtelevissa sääolosuhteissa lämpötila vaihtelee nollan celsiusasteen molemmiin puolin, mikä jäädyttää ja sulattaa vettä. Pakkasrapautumisessa betonin huokosrakenteessa oleva kosteus jäätyy ja laajenee n. 9% tilavuudestaan. Hydraulisenpaineen ylittäessä betonin vetolujuuden alkaa syntyä mikrohalkeamia. Usean sulamis-jäätymissyklin jälkeen betonin lujuus alkaa heiketä, ja jo muodostuneisiin halkeamiin vedenimeytyminen nopeutuu entisestään. Ilmiön nopeus kiihtyy kerta toisensa jälkeen. Lumen ja jään sulatuksessa käytettävät suolat (natrium- ja kalsiumkloridit) nopeuttavat oleellisesti pakkasvaurioita, koska kloridit sitovat kosteutta. Betonin rapautuessa sen veto- ja puristuslujuus, sekä raudoituksen tartunta betoniin heikkenee. (Heikkonen 2016, s.10) Betonin rapautumaa voidaan karkeasti mitata vetokokeella (Koskiahde 2004 s.333). Ohuthie näytteestä voidaan selvittää tarkasti mikrohalkeamien pituus, leveys sekä laajuus.

Pakkasrapautumaa voidaan estää lisäämällä betonimassaan sekoitusvaiheessa lisähuokostusainetta. Huokostusaineen ansiosta betonimassaan muodostuu mikroskooppisia ilmahuokosia, jotka pysyvät avoimina myös märässä betonissa (kuvio 5). Kapillaarihuokosissa oleva jäätyvän veden paine pääsee vapautumaan näihin suojahuokosiin eikä riko betonin rakennetta. Myös alhaisella vesi-sideainesuhteella voidaan parantaa pakkasenkestävyyttä. (Betoni, Betonin vaurioituminen n.d)



KUVIO 5. Suojahuokosen toimintaperiaate (Suomen betoniyhdistys r.y., s.28)

#### 4.5.1 Mittaaminen vetolujuuden avulla

Betonin rapautumaa voidaan mitata ohuthienäytteen lisäksi karkeasti tartuntavetokeella (taulukko 2). Vetolujuus tutkitaan joko kohteessa tai irti poratuista näytekappaleista laboratoriossa. Betonin vetolujuuden yleisesti hyväksyttävänä arvona voidaan pitää  $>1,5 \text{ N/mm}^2$ . Tätä arvoa käytetään korjausalueen laatuvaatimuksena.

TAULUKKO 2. Betonin laadun ja vetolujuustulosten vertailu. Betonin laatu arvioitu ohuthienäytteistä. (Koskiahde 2004, s.333)

Table 3

Categorized petrographic data on cracking, strength test results, and the repair measures taken in a few target cases

Site code/structural members	Range of petrographic cracking class	Average of tensile strengths <sup>a</sup> (MPa)	Description of repair measures
JR/balcony slabs and side walls	4 (incidence values of frost cracks 0.31...0.39)	0.5	Dismantling of all balcony structures and assemblage of new ones
PI/balcony slabs	2	1.2	Protection of corroded reinforcement, renewal of paint coating
RP/façade panels and balcony side walls	3...4 (incidence values of frost cracks 0.27...0.35)	0.6	Dismantling of both structures and assemblage of new ones
TE/façade panels	1...2	1.1	Anchoring of old panels, adding new insulation and assemblage of thin steel panels
EK/façade panels	2...4 (incidence values of frost cracks 0.10...0.40)	0.8	Dismantling of old panels and assemblage of new ones

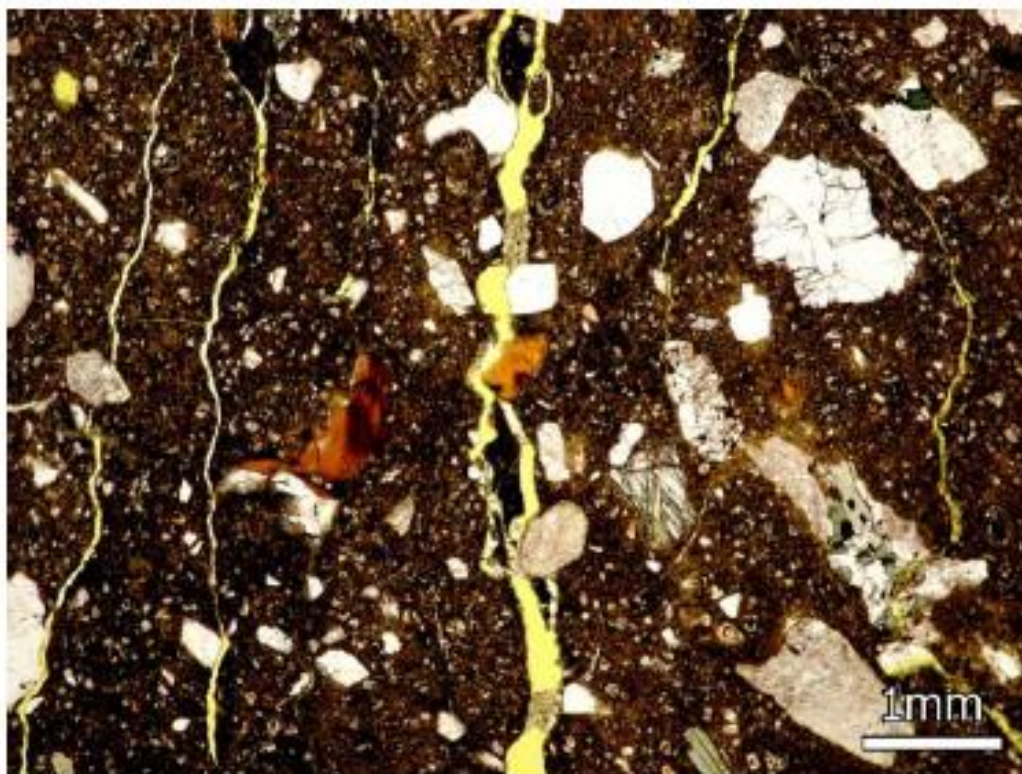
<sup>a</sup> Generally tensile strength values  $>1.5 \text{ MPa}$  are expected for intact concretes.



#### 4.5.2 Ohuthienäyte

Ohuthie- eli optisella mikrorakennetutkimuksella selvitetään betonin laatu ja vaurioiden syyt. Tutkimus tehdään irti poratusta näytteestä laboratoriossa standardin ASTM C856 mukaisesti. Ohuthietutkimuksessa betonista saadaan selville sen rakenne ja koostumus, vaurioitumissytyt, betonin kunto, suojahuokostus, mikrohalkeamat, kiteytymät, karbonatisoituminen, kemiallinen korroosio sekä alkalikiviainesreaktiot. Ohuthieet valmistetaan näytekappaleista näytepintaa vastaan kohtisuoraan. Ohuthieen paksuus on 0,02-0,03 mm betonin laadusta riippuen. Näytekappale tutkitaan polarisaatiomikroskoopilla, näytteen tulkitseminen vaatii ammattitaitoa. (Liikennevirasto 2013 c, s.90.)

Ohuthienäytteestä saadaan tarkasti selville betonin pakkasrapautuminen. Tarkalla mikroskoopilla voidaan kertoa mikrohalkeamien pituus, halkeama leveys, esiintymistiheys sekä halkeilun suunta. Pääsääntöisesti pakkasrapautuma aiheuttaa pinnan suuntaisia mikrohalkeamia (kuva 5). Halkeamien laatu määrittää kuinka rapautunutta betoni on. Betonin vetolujuus on karkeasti verrannollinen pakkasrapautuman määrään (Koskiahde 2004 s.333).



KUVIO 5. Pintaa vastaan kohtisuoraa pakkasrapautumaa (Koskiahde 2004, s.309)

## **5 VANHAN TUTKIMUSOHJELMAN KEHITYSTARPEET**

### **5.1 Näytteiden ottamisen yhdenmukaisuus**

Viiden vuoden välein tehtävät tutkimukset silloille eivät ole olleet johdonmukaisia, eikä näytteitä ole otettu samoista paikoista. Osasta silloista on otettu vain yksi näytekierron. Tämä on ajanut siihen, että sillan vaurioista ei ole saatu ajallista seuranta. Taulukossa 3 on esitettyä Ounasjoen tarkastuksessa tehty mittaukset ja tutkimukset. Yksittäisten siltajen vaurioiden seuraamisella oli tarkoitus pystyä vertailemaan, miten vauriot kehittyvät maantieteellisesti eri alueilla, joissa sää- ja ympäristöolosuhteet vaihtelevat. Tämän perusteella pystytään arvioimaan pitkällä tähtäimellä Suomen sillaston kuntoa. Tähän ongelmaan on haettu ratkaisua uudella tutkimusohjelmalla sekä tiedonkeruupohjalla.

### **5.2 Puutteelliset näytteet**

Aikaisemmin tutkimusohjelmassa keskityttiin pelkästään betoniterästen korroosiota aiheuttavien rasitusten mittaamiseen. Betonilaadusta on mitattu vain puristuslujuutta ja muutamia vetolujuusmittauksia on myös tehty, mutta nämä ovat yksittäisiä. Betonin rapautumisen kannalta vajetta on ollut myös ohuthienäytteiden ottamisessa.

### **5.3 Näytteenottopaikkojen merkitseminen**

Aikaisemmista raporteista selvisi, että näytteenottopaikkoja on merkitty puutteellisesti tai ei ollenkaan. Osassa uusimmista tutkimuksista on käytetty nykyaikaista Sillantarkastus käsikirjan suosittelemaa sijainnin merkintätapaa, joka on riittävän tarkka. Vanhoissa tutkimuksissa näytteenottopaikkoja on sidottu ilmasuuntiin ”eteläinen reunapalkki”, ”kolmanneksi eteläisin välituki”. Taulukossa 3 on esitettyä ilmansuuntiin perustuva vanha merkitsemistapa. Nämä ovat voineet olla siltapaikalla helppoja tapoja määrittää rakennosien sijaintia, mutta hyvin epätarkkoja. Epätarkaksi esimerkiksi reunapalkin osalta tekee sen, että pituussuuntaista kohtaa ei ole merkitty lainkaan. Tiedetään pelkästään kumman puolen reunapalkki on kyseessä. Nykyaikaisessa merkitsemistavassa silta on sidottu tien inventointi suuntaan, jonka perusteella rakennosien numerointi kasvaa, sekä tiedetään rakenteen oikea ja vasen puoli.

TAULUKKO 3. Ounasjoen sillan tarkastuksissa tehdyt mittaukset ja tutkimukset (Liikennevirasto 2013 a, s.77).

OUNASJOEN SILTA (L-1493 W), Rovaniemi					4.8.1993 / 26.8.1998 / 9.7.2003 / 11.6.2008 / 14.8.2013	
RAKENNEOSA	BETONI- PEIT- TEET	PINNOI- TE- PAKSUUS	PURIS- TUS- LUJUUS	KARBO	KLORIDIT Syvyys Pitoisuus	
	mm	µm	MPa	mm	cm	%
<b>KOTELOPALKKI</b> - läntinen sivuseinä - alalaatan alapinta	0 - 30 15 - 39 15 - 30 15 - 34		73	3 - 12 1 - 5 1 - 16		
<b>REUNAULOKE</b> Läntinen - itäinen - alapinta	25 10 - 34		81 82	5 - 18 0 - 18		
<b>REUNAPALKKI</b> - yläpinta - sivupinta v - sivupinta o - alapinta Läntinen, jalkakäytävä - sivupinta - yläpinta, päällysrak. - yläpinta, maatuki Läntinen - yläpinta, päällysrak. Itäinen, ajorata - yläpinta, päällysrak. - yläpinta, maatuki Itäreuna - yläpinta, päällysrak.	25 - 34 20 - 34  5 - 29			0	0 - 2 0 - 2 2 - 4  0 - 1 0 - 1,5  0 - 2 2 - 4  0 - 1,5 0 - 2 0 - 2 2 - 4 4 - 6	0,01 0,04 0,02  0,05 0,05  0,04 0,01  0,102 0,034 0,09 0,15 0,06 0,01
<b>VIRTAPILARI</b> - 4 o	30 - 54		71	10 - 17		
<b>ETUMUURI</b> - pohjoinen - eteläinen	30 - 44 45		57	2 - 22 2 - 10		
<b>KAIDE</b> - yläjohde - pylväs - säle		351 180 232				



## 5.4 Tuloksista raportointi

Tarkkailusiltojen tutkimusten kierto on edennyt siten, että kerran kesässä tehdään yhden ELY-alueen kaikkien siltojen tutkimukset. Tämän jälkeen tutkimukset tehnyt yritys on laatinut sanallisen raportin tutkimustuloksista valokuvineen (Liikennevirasto 2014). Tämä on ollut kuvaava tapa kertoa siltojen senhetkinen tilanne. Sanallisesta raportoinnista on hyvin vaikea luoda ajallisesti verrattavaa aineistoa. Ramboll Finlandin tekemää yhteenvetoraporttia varten täytyi sanalliset arviot kääntää numeraaliseen muotoon, jotta näitä voitiin vertailla keskenään. Sanallinen arviointi on perustunut sillantarkastajan omaan näkemykseen ja häneen tapaansa toimia.

Tarkkailusiltojen tutkimuksissa tullaan edelleen käyttämään silmämääräistä arviointia teräskorroosion, sekä pakkasrapautuman laajuuden määrittämisessä. Jatkossa käytetään Sillantarkastuskäsikirjan luokitusta vaurioille, jotta silmämääräiselle arvioinnille saadaan yhdenmukainen numeraalinen luokitus.

## 6 UUSI TUTKIMUSSUUNNITELMA

### 6.1 Tutkimussuunnitelman yleiset tavoitteet ja rajaukset

Uusi tutkimusohjelma sisältää tiedonkeruupohjan sekä työsuunnitelmat. Uuden tutkimusohjelman tavoitteena on yhtenäistää silloista mitattavia vauriomekanismeja, jotta näistä saataisiin vertailukelpoisia keskenään sekä täydennettyä ajallisen kehityksen seurantaa. Ajallisen kehityksen seurannan avulla saadaan toisen mittauskierroksen perusteella vaurioiden kehittymiselle lineaarinen funktio. Kolmas mittauskierros sitten selventäisi onko vaurioiden kehitys lineaarista vai eksponentiaalista, nousevaa vai laskevaa.

Mittausaineiston uusintamittauksia ovat betonin karbonatisoituminen, kloridipitoisuuden mittaaminen kahdelta eri syvyydeltä, sekä betonin veto- ja puristuslujuus. Mittausaineistoa täydennetään myös sillan ylittävillä/alittavilla ajoneuvo- sekä suolausmäärillä ja betonin mikrorakennetutkimuksilla. Mikrorakennetutkimuksilla saadaan selville betonin huokosrakenne (oh), betonin kapillaarisuus ja suojahuokossuhde. Myös mittauksia täydentäviä tarkasteluja tehdään silmämääräisesti betonin pakkasrapautumasta sekä terästen korroosiosta.

Edellä olevista mittauksista laadittiin uudet ja tarkat työsuunnitelmat, sekä pohja mihin mittaustuloksia kirjataan yhtenäisesti (kuva 6). Työsuunnitelman tarkoituksena on, että näytemäärät eri betonin eri ominaisuuksien ja vaurioiden suhteen tulevat nykyistä tarkemmin tutuiksi.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	ETUSIVU	OH-LUOKITUS																
2																		
3	U-ELY	VAR-	HÄME	EPQ-ELY	OULU	LAPPI	POS-ELY											
4																		
5	U-2266 Toivan silta		U-3272 S Ojoisten risteysill	H-1530 Konhovuolteen silta	H-1140 Häsäksen silta													
6	U-2298 Hiiden silta		H-1078 Viikiniitty risteysill	H-2128 Viislan ylikulkusilta	H-1797 Saran silta													
7	U-2415 Iittalan ylikulkusilta		H-1176 Pyhäjärven silta	H-2572 Oripohjan ylikulkusilt	H-2753 Lintukallion risteysill													
8	U-2515 Mierolansalmen silta		H-1178 Herraskosken kanavar	H-2577 Tarkanlahden silta														
9	U-2851 Turojoen silta		H-1400 Kautun silta	H-3767 Pappilanjoen silta														
10																		
11	<b>Yleistiedot</b>																	
12	<b>Siltanr. Nimi</b>			<b>PaikkakentValmistettu</b>	<b>Siltatyyppi</b>													
13	H-1400	Kautun silta		Ruovesi	1982	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta												
14																		
15	<b>KVL</b>	<b>Sillan alittaa</b>	<b>Siltaympäristön suolas</b>															
16	3831	1	XX															
17																		
18	<b>Huomio</b> Tieosanumerointi kasvaa etelästä pohjoiseen																	
19																		
20																		
21																		
22	<b>Ohutkäsityt</b>																	
23	Rakennosa	Vuosi	Ylluok.	Rapaut.	Kutist.	Huokois.	Huok.kiteytymät											
24	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX											
25																		
26																		
27																		
28																		
29	<b>Rakennosa</b>	<b>Tutkimus</b>	<b>Betonipeite</b>		<b>Tutkimusvuosi</b>													
30	<b>Kansilaatta</b>		Min.	Max.	K.A.	2006	2011	2016										
31	Alapinta		25	39	32													
32	<b>Päätypalkki</b>																	
33	T1 vas	Kloridit	0-20					0.02										
34			20-40					<0.01										
35	<b>Kansi</b>																	
36	Reunauloke	Puristuslujuus		30	44	37		59.5										
37		Karbon. Min						0										
38		Max						3										
39		K.A.						1.5										
40	<b>Palkki</b>																	
41	Sivupinta	Puristuslujuus		30	39	34.5		65										
42		Karbon. Min						0										
43		Max						3										
44		K.A.						1.5										
45	1.1 vas	Puristuslujuus						37										
46		Kloridit	0-20					0.01										
47			20-40					<0.01										
48	1.1 oik	Kloridit	0-20					0.01										
49			20-40					<0.01										
50	3.9 vas	Kloridit	0-20					0.01										
51			20-40					<0.01										
52		Puristuslujuus						60.5										
53	Alapinta			25	39	32												
54	<b>Reunapalkki</b>																	
55	3.0 vas	Kloridit	0-20	35	54	44.5	0.02											
56			20-40				0.02											
57	<b>Väliteki</b>																	
58	T3 vas	Puristuslujuus		35	49	42	68											
59		Karbon. Min					0											
60		Max					12											
61		K.A.					6											
62																		
63	<b>Silmänsäätöiset varuot</b>																	
64	<b>Korroosio</b>																	
65	Reunapalkki							2										
66	Kaide							2										
67	Lisää rivi...																	
68	<b>Rapautuma</b>																	
69	Rakennosa x						xx											
70	Lisää rivi...																	



KUVA 6. Esimerkkikuva uudesta tietojenkeruupohjasta

Työsuunnitelmat laaditaan yksiaukkoiselle- ja useampiaukkoiselle betonisillalle, sekä betonikantiselle terässillalle. Suunnitelmista selviää otettavat näytemäärät sekä näytteenottoaikat. Näitä suunnitelmia sovelletaan kaikkiin tarkkailusiltoihin. Työsuunnitelmat opinnäytetyön liitteenä 1.

## 6.2 Siltakannan päivittäminen

Alkuperäisessä tutkimusohjelmassa oli 131 siltaa, jotka sisälsivät pääkannattajamateriaaliltaan 86 betonisiltaa, 23 terässiltaa, 20 teräsputkea sekä 2 puusiltaa. Siltakannan tehtävänä oli vastata tilastollisesti silloisen Tiehallinnon koko siltakantaa. Osa silloista on ollut sellaisia, ettei niistä saatavaa mittaustietoa ole voitu hyödyntää laajemmin siltojen kuntoa arvioitaessa.

Ohjelmasta päätettiin poistaa hyvin vanhat betonisillat joiden kunnon seuranta ei kuvaa nykyisiä betonirakenteita. Ohjelmasta poistettiin myös 20 putkisiltaa (kuva 7), joissa vauriot ovat pääsääntöisesti sinkityksen syöpymistä, joka voi todeta normaalien yleistarkastusten yhteydessä. Putkisiltojen korjaaminen on myös vähäistä, koska putkisillan yleinen korjaustapa on vaihtaa silta uuteen. Tutkimusohjelmassa olleet puusillat sekä puukantiset terässillat (kuva 8) eivät myöskään enää edusta Suomen keskimääräistä siltakantaa. Näissä ilmenevät vauriot ovat pääsääntöisesti silmämääräisesti havaittavissa, eikä vaurioiden kirjaamisella saada tarpeellista tietoa vaurioiden kehittymisestä tulevaisuuteen. Yhteensä yleistä siltakantaa edustamattomia siltoja poistettiin 46 kpl.



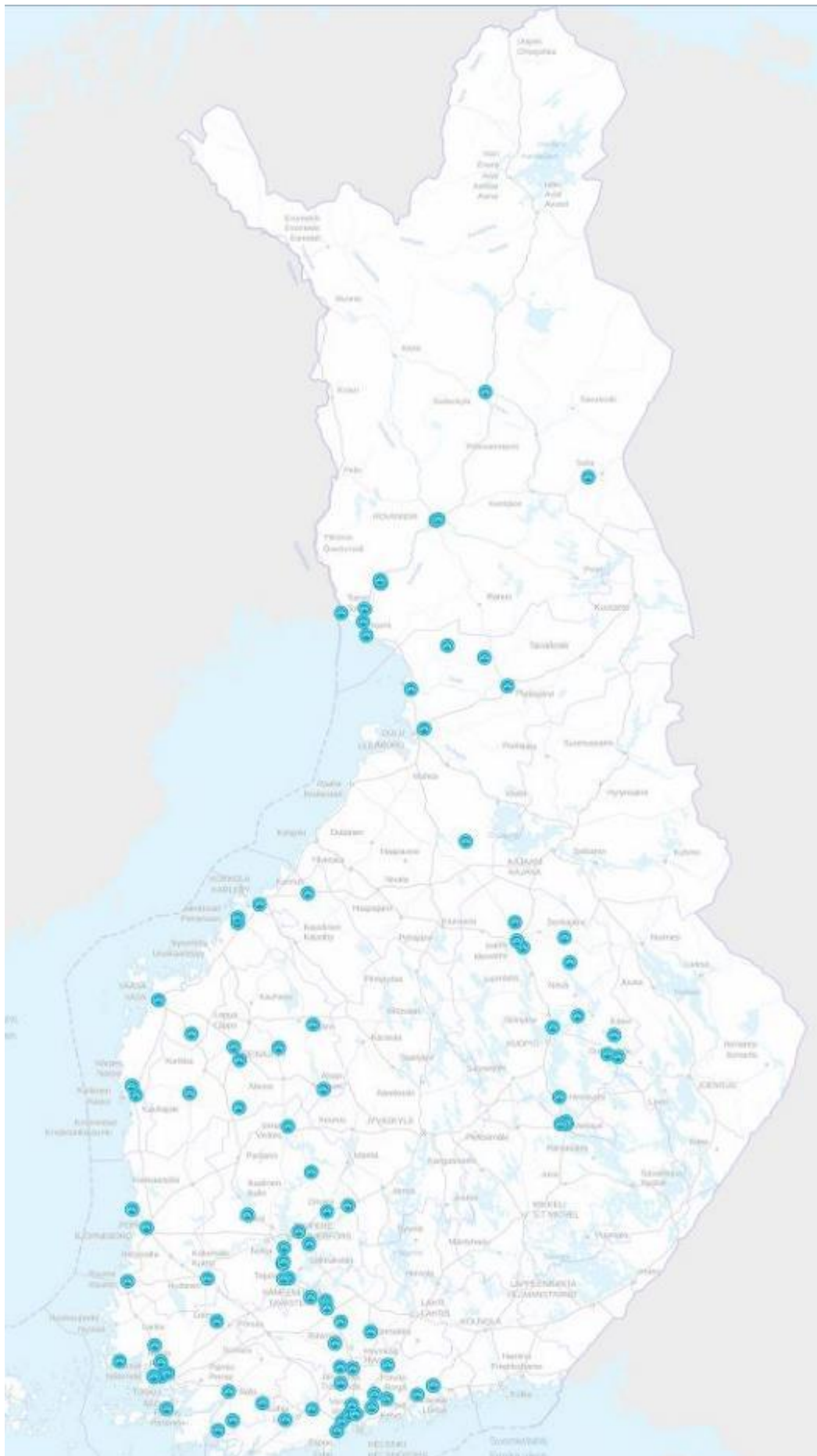
KUVA 7. Tarkkailusilta ohjelmasta poistettava Haapaojan putkisilta, Raahe (Liikennevirasto 2013 a, s.46)



KUVA 8. Poistettava Korpuajoen puukantinen teräspalkkisilta (Liikennevirasto 2013 a, s.24)

Uudessa ohjelmassa poistettuja siltoja korvattiin nykyaikaisemmilla silloilla. Uusia siltoja lisättiin ohjelmaan 17 kpl, tutkimusohjelman siltakanta on täten 102 siltaa. Kuvassa 9 kaikki tarkkailusillat. Näistä uusista silloista ei ole tehty tutkimuksia tarkkailusiltaohjelmaa varten. Tavoitteena on tehdä täydellinen tutkimuskierros vuoden 2018 aikana, jotta nämäkin sillat saadaan ajalliseen vertailuun.





Kuva 9. Suomen tarkkailusillat

## 6.3 Työsuunnitelmien rajaukset

### 6.3.1 Sillan tyyppi

Uuteen tutkimusohjelmaan tehdään kolmet eri työsuunnitelmat. Yksiaukkoiselle- (kuva 10) ja moniaukkoiselle teräsbetonisillalle (kuva 11), sekä betonikantiselle teräspalkkisillalle (kuva 12). Näitä suunnitelmia sovelletaan kaikkiin tarkkailusiltoihin. Suomen siltakannasta n.68% on teräsbetonisia siltoja ja n.5% terässiltoja (Liikennevirasto 2016, s.29).



KUVA 10. Yksiaukkoinen teräsbetonisilta (Liikennevirasto 2013 a, s.94)



KUVA 11. Useampiaukkoinen teräsbetonisilta (Liikennevirasto 2013 a, s.78)



KUVA 12. Useampiaukkoinen teräsbetonikantinen teräspalkkisilta (Liikennevirasto 2013 a, s.82)



### **6.3.2 Sillan maantieteellinen sijainti**

Sillan maantieteellinen sijainti vaikuttaa vallitseviin sääolosuhteisiin, sekä ulkoisiin rasituksiin. Pohjois-Suomessa sillat joutuvat lievemmän sulamis-jäätymisrasituksen alaiseksi. Rannikkoseudulla rakenteet ovat meriveden suolasumurasituksen vaikutuksen alaisena, sääolot vaihtelevat enemmän nollan molemmin puolin, sekä liikennemäärät ovat suurempia. Lämpötilan vaihdellessa paljon nollan molemmin puolin tehdään alueella yleensä myös paljon teiden suolausta. Maantieteellisesti sillasto kuvastaa kattavasti koko Suomea.

### **6.3.3 Sillan ikä**

Tarkkailusillaston ikä on rajattu vuosiin 1923-2014. Tähän haarukkaan mahtuu paljon betonia, laatua, työtapoja, työolosuhteita ja normeja. Tutkimusohjelmassa on jatkossa mahdollisuus vertailla eri vuosikymmeninä valmistuneita siltoja ja näiden vaurioiden kehitystä. Suuri uudistus 90-luvulla oli P-luku betoni, jonka käytön tarkoituksena oli vähentää betonin pakkasrapautumaa. Jatkossa voidaankin verrata pakkasrapautuman määrää lisähuokostetuissa silloissa, sekä huokostamattomissa vanhoissa silloissa ja päätellä eroavatko ne vastaavissa olosuhteissa toisistaan.

## **6.4 Työsuunnitelmien sisältö**

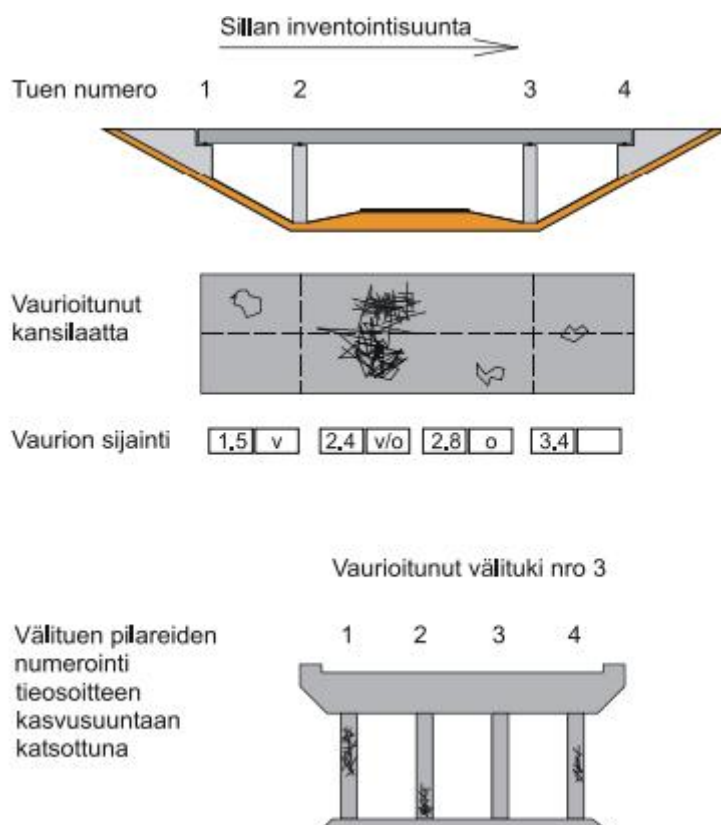
### **6.4.1 Esimerkki rakenteet ja näytteenotto kohdat**

Tarkkailusiltaohjelmaan lisättyjen uusien siltojen tutkimukset tehdään uusien työsuunnitelmien mukaan. Uudet työsuunnitelmat ovat yksiaukkoiselle-, useampiaukkoiselle teräsbetonisillalle sekä teräsbetonikantiselle teräspalkkisillalle. Näiden siltojen tutkimukset ja näytteenottokohdat on esitetty liitteessä 1. Uudet tutkimuskohdat on valikoitu rasi-  
tusten tyypillisimmistä esiintymiskohdista. Esimerkiksi kloridirasitusta mitataan siipimuureista, sekä reunapalkeista, karbonatisoitumista sateelta suojatusta pinnasta esimerkiksi etumuurista tai kannen alapinnasta. Ohuthienäyte otetaan sillan kannen alapinnasta. Sillan päällysrakenne on sillan tärkein osa, joten sen tutkimuksilla on suuri painoarvo.

Tarkkailusiltaohjelmassa jo olleiden vanhojen siltojen aikaisempia tutkimuskohtia hyödynnetään, jos ne on merkitty siten että niiden sijainti voidaan myös määrittää siltapaikalla. Tämän seurauksena saadaan hyödynnettyä jo aiemmin tehtyjä tutkimustuloksia ajallisessa vertailussa. Myös vanhoista merkityistä näytteenottopaikoista voidaan päätellä se, että niistä on ollut helppo ottaa näytteet, joten tämäkin on yksi syy hyödyntää niitä.

#### 6.4.2 Mittauksen sijainnin merkitseminen

Jatkossa tarkkailusilta ohjelmassa hyödynnetään Sillantarkastuskäsikirjan sijainnin merkitsemistapaa. Sillan pituussuunnassa alusrakenteet numeroidaan tieosoitteen kasvusuunnassa siten, että ensimmäinen maatuki on numero 1. Päällysrakenteen sijainti paikannetaan edeltävän tuen numeroon liitettävän likimääräisesti silta-aukon pituuden suhteen määritetyn desimaaliarvon ja puoliskomerkin avulla. Sillan poikkisuunnassa sijainti ilmoitetaan puoliskomerkitöjen avulla tieosoitteen kasvusuuntaan katsoen, v=vasenpuoli, o=oikeapuoli. Jos samalla tuella on useita pilareita, pilarit numeroidaan poikkisuuntaan vasemmalta oikealle. (Liikennevirasto 2013 b, s.16-18) Kuviossa 6 selventäviä kuvia mittauspaikkojen merkitsemisestä.



KUVIO 6. Näytteenottopaikan sijainnin merkitseminen (Liikennevirasto 2013 b, s.18)

Uudessa tietojenkeruupohjassa on kaikkien siltojen tutkimustulokset koottu yhden tiedoston sisään. Jokaisesta sillasta löytyy kaikki aikaisemmin tehdyt tutkimukset, niiden tulokset sekä näytteenottopaikat, jos ne on aikaisemmin kirjattu. Jos näytteenottopaikasta ei ole tietoa, on näytteen kohdalle merkitty paikka, josta se tullaan seuraavalla tutkimuskieroksella ottamaan. Näytteenottaja voi myös kirjata vanhan paikan ylös, jos sen siltapaikalla pystyy silmämääräisesti havaitsemaan. Tietojenkeruupohja on koottu siten, että sillantarkastaja/näytteenottaja voi tulostaa siltaa koskevan tietosivun mukaansa sillantarkastukseen. Näin tarkastaja voi varmistaa näytteenotto kohdan myös siltapaikalla.

## **6.5 Mitattavat vauriomekanismit ja näytteenottomäärät**

Aikaisempia tarkkailusiltojen näytemääriä ja raportteja tarkkaillessa kartoitettiin, kuinka paljon näytteitä on otettu, ja miltä osin ne ovat olleet puutteellisia ja mitä näytteitä ei enää tarvita. Tällä hetkellä näytteidenotossa tärkeimpiä ovat kloridinäytteet, karbonatisoituminen sekä vetolujuus ja betonin rapautuminen (oh).

### **6.5.1 Kloridinäytteenotto**

Pääsääntöisesti ristikkäisistä siipimuureista sekä reunapalkeista ja mahdollisista suolasumun rasittamista tuista otetaan jokaisesta kaksi sarjaa (0-20 ja 20-40mm) kloridinäytteitä. Kloridinäytteet ovat edullisia ja nopeita ottaa. Näytteistä selvitetään kloridipitoisuuden määrä eri syvyyksiltä ja mahdollistaako se betoniterästen korroosion.

### **6.5.2 Karbonatisoituminen**

Karbonatisoitumisnäytteet otetaan sateelta suojatuilta pinnoilta, koska siellä karbonatisoituminen on nopeinta. Karbonatisoituminen voidaan myös mitata vetolujuusnäytekapaleen pinnasta. Näin voidaan hyödyntää sama näyte kahteen eri tutkimukseen.

### **6.5.3 Vetolujuusnäytteenotto**

Sillan tarkastuksessa rakenteista otetaan vetolujuuksia, joista voidaan karkeasti arvioida betonin pakkasrapautuminen. Vetolujuudet otetaan siipimuureista, välituista sekä päällysrakenteesta. Välituista sekä päällysrakenteesta otettavien näytteiden määrä vaihtelee sillan koon mukaan.

## **6.6 Tutkimusta täydentävät mittaukset**

### **6.6.1 Ohuthienäytteenotto**

Tutkimuksen tavoitteena on myös täydentää olemassa olevaa tietoa betonin huokosraken-  
teesta ohuthie tutkimuksen avulla. Betonin pakkasenkestävyys ja rapautuminen ovat  
oleellisia tekijöitä siltojen korjausta arvioitaessa. Tällä hetkellä kehitetyt betonin rapau-  
tumismallit perustuvat laboratoriotesteihin, sekä asiantuntijoiden kokemuksiin, eivätkä  
mitattuun dataan. Tarkkailusilloista on mahdollista saada laaja kuva eri vuosikymmenien  
ajalta betonin pakkasenkestävyydestä ja rapautumisesta. Näillä tiedoilla on potentiaalia  
luotettavien rapautumismallien kehittämiseen. (Liikennevirasto 2017, s.14) Ohuthienäyt-  
teet otetaan sillan päällysrakenteesta sen rakenteellisen painoarvon takia.

### **6.6.2 Ohuthienäytteiden luokitus**

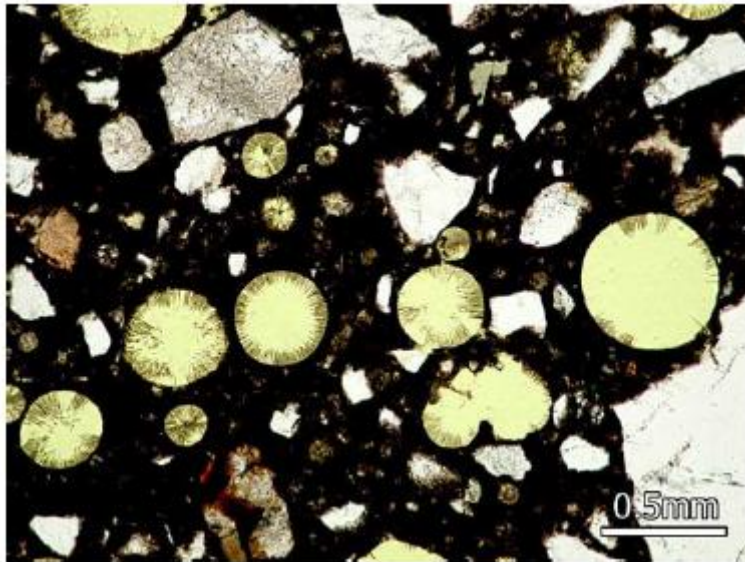
Uudessa tutkimusohjelmassa tutkittavat ohuthienäytteet luokitellaan Arto Koskiahteen  
suunnitteleman luokituksen mukaan (Taulukko 4). Arto Koskiahteen on tutkinut kerrosta-  
lojen betonisia julkisivu- ja parvekerakenteita ja näiden ohuthienäytteitä. Tämän tutki-  
muksen perusteella hän on luonut neliportaisen asteikon, jolla määritetään ohuthienäyt-  
teestä tutkittavia ominaisuuksia.

# TAULUKKO 4. Arto Koskiahteen ohuthienäytteiden luokitus (Koskiahe 2004, s.332)

Table 1  
Classification and summary of the major concrete damage mechanisms

Class no.	General classification	Frost damage	Shrinkage	Air voids	Secondary void filling
1	Intact cases and concretes of good quality.	No sign of cracks due to frost.	—	Frost resistant concrete, correctly air-entrained, spacing factor $\leq 0.25$ mm.	No sign of fillings.
2	Minor damage or defects present.	Initial development of frost cracks. Sporadic microcracks observed, typically $< 0.01$ mm in width and $< 10$ mm in length. (No cracks exceeding 0.1 mm in width and 25 mm in length allowed.)	—	Partially insufficient air-entrainment, spacing factor between 0.25 and 0.40 mm.	Initial development of fillings. Isolated tiny crystallizations.
3	Damage and defects are numerous and visually obvious.	Frequent frost cracking. Crack pattern commonly parallel to the surface. Typical crack widths 0.01 to 0.1 mm and lengths $\geq 10$ mm. Incidence $< 0.25$ cracks/mm and $< 50\%$ of paste-aggregate (coarse-grained aggregate) interfaces detached.	Inconsistent network of microcracks, typical "mesh" size $> 4$ mm, (equal to incidence value $< 0.25$ cracks/mm as with frost cracks).	Failed air-entrainment, spacing factor $\geq 0.40$ mm. Or, no intentional air-entrainment observed but instead, plenty of small size ( $\phi < 1$ mm) entrapped air voids present.	Frequent fillings, often appearing circular in thin-section. The thickness of deposits typically 0.01–0.05 mm.
4	Worst cases.	Severe frost cracking. Several cracks $> 0.1$ mm in width and $> 25$ mm in length. Incidence $\geq 0.25$ cracks/mm or $\geq 50\%$ of paste-aggregate interfaces detached.	Network of interconnected microcracks, typical mesh size $\leq 4$ mm.	No air-entrainment observed, sporadic entrapped air voids, total air content typically $\leq 2\%$ .	Far advanced filling. Air voids carry systematical deposits of $> 0.05$ mm in thickness.

Ensimmäinen sarake on betonin yleinen laatuluokka. Tämä laatuluokka sisältää yhteenvedon luokituksen muista arvoista. Yleinen laatuluokka on karkeasti verrannollinen betonin vetolujuuteen. (Koskiahe 2004, s.333) Rapautuneisuutta määrittäessä luokitus on ehjästä runsaasti halkeilleeseen. Pakkasrapautuman määrää arvioidaan halkeamien leveydellä, pituudella sekä esiintymistiheydellä. Kutistuma arvioidaan vain luokissa 3 ja 4. Kutistuma esiintyy ohuthienäytteessä mikroverkkohalkeiluna. Luokan valintaan vaikuttaa verkon koko. Huokosten täytteisyyttä arvioidaan sillä, kuinka laajalti huokosissa esiintyy täytteisyyttä ja kuinka täynnä huokokset ovat (kuva 12). Taulukossa 5 esitettyä tarkkailusiltaohjelmaa varten suomennettu ohuthienäytteiden luokitustaulukko.



KUVA 12. Ilmahuokosten seinämillä ettringiittiä (Koskiahde 2004, s.331)

TAULUKKO 5. Ohuthienäytteiden luokituksen suomenos

Merkintä	Yleinen luokitus	Rapautuneisuus	Kutistuma	Huokoisuus	Huokoskiteytymät
1	Hyvä laatuinen	Ei merkkejä pakkasrapautumasta	-	Pakkasenkestävä betoni, huokoistus onnistunut. Huokosten välinen etäisyys $\leq 0.25$ mm.	Ei merkkejä kiteytymisestä
2	Vähäisiä vaurioita tai vikoja	Alkavia mikrohalkeamia. Halkeamaleveys $< 0.01$ mm pituus $< 10$ mm (Ei yli 0,1 mm leveitä ja 25 mm pitkiä)	-	Osittain vajaavainen huokoistus. Huokosten välinen etäisyys 0.25-0.4 mm	Alkavaa täyttymistä, ensimmäisiä kiteitä kehittymässä.
3	Vauriot ja viat lukuisia ja silmämääräisesti havaittavia	Toistuvaa halkeilua. Halkeilu pinnan suuntaista. Halkeamaleveys 0.01-0.1 mm ja pituus $\geq 10$ mm. Esiintymistiheys $< 0.25$ kpl/mm ja $< 50\%$ runkoaineen rajapinnoista irti	Epäjatkovaa mikroverkko halkeilua. Verkon koko $> 4$ mm. Yhtäläinen esiintyvyys kuin $< 0.25$ halkeamaa/mm pakkashalkeamissa	Epäonnistunut huokoistus. Huokosten välinen etäisyys $\geq 0.4$ mm. Tai ei tarkoituksen mukaista huokoistusta, mutta paljon pieniä ( $\phi < 1$ mm) ilmahuokosia	Toistuvaa ympyrämäistä täytteisyyttä, kerrostuman paksuus tyypillisesti 0.01-0.05 mm
4	Huono laatuinen	Runsasta halkeilua. Useita $> 0.1$ mm leveitä ja $> 25$ mm pitkiä halkeamia. Esiintymistiheys $\geq 0.25$ kpl/mm tai $\geq 50\%$ runkoaineen rajapinnoista irti	Yhdistyneitä mikrohalkeama verkkoja, verkon koko $\leq 4$ mm	Ei ilmahuokostusta. Satunnaisia huokosia, kokonais huokoisuus $\leq 2\%$	Pitkälle kehittyntä täytteisyyttä. Systemaattisesti kerrostuman paksuus $> 0.05$ mm

## 6.7 Tulosten kirjaaminen tietojenkeruupohjaan ja raportointi

Tulokset kirjataan tietojenkeruupohjaan jokaiselle sillalle omalle sivulleen. Pohjassa on aikaisemmat tutkimukset lajiteltuna rakenneosien mukaan. Tulokset kirjataan ajallisesti etenevään muotoon. Silmämääräiset vauriot betonin pakkasrapautumasta (taulukko 7)

sekä teräsvaurioista (taulukko 8) kirjataan Sillantarkastus käsikirjan mukaisin luokituksin numeraalisessa muodossa. Kirjaustapa helpottaa jatkossa tehtäviä vertailuja.

**TAULUKKO 7. Betonin rapautuman silmämääräinen vaurioluokitus (Liikennevirasto 2013 b, s.30)**

*Taulukko 1. Betonin pintavaurioluokitus ja ohjeelliset korjaustoimenpiteet ohjeellisine kiireellisyysluokituksineen.*

Vaurio- luokka	VAURIO	RAKENNETYYPPI	Paällys- rakenne	Muu rakenne	Erikoisrasitus	
					reuna- palkki	vesiraja
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betonin pinnassa on verkkohalkeilua tai pintalaasti on irronnut, mutta karkea kiviaines ei ole näkyvissä.</li> </ul>		A	A	A	A
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Betonissa on syvälle ulottuvaa verkkohalkeilua.</li> <li>Karkea kiviaines on näkyvissä ja rapautumisen / kuluman syvyys on enimmäkseen 0–10 mm.</li> <li>Ei kriittisessä kohdassa karkean kiviaineksen ympäriltä on irronnut laastia ja rapautumisen / kuluman syvyys on enimmäkseen 0–25 mm.</li> </ul>		B	B	B	A
			B	B	B	A
			B	B	B	A
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kriittisessä kohdassa karkean kiviaineksen ympäriltä on irronnut laastia ja rapautumisen / kuluman syvyys on enimmäkseen 0–25 mm.</li> <li>Ei-kriittisessä kohdassa karkea kiviaines on irronnut ja rapautumisen / kuluman syvyys on enimmäkseen yli 25 mm tai raudoitus on näkyvissä.</li> </ul>		C	B	B	B
			C	C	B	C
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kriittisessä kohdassa karkea kiviaines on irronnut ja rapautumisen / kuluman syvyys on enimmäkseen yli 25 mm tai raudoitus on näkyvissä.</li> <li>Ei-kriittisessä kohdassa on erittäin pitkälle edennyt laaja rapautumavaurio.</li> </ul>		D	C	D	C
			D	D	D	D

**TAULUKKO 8. Teräskorroosion vaurioiden numeraalinen merkitseminen (Liikennevirasto 2013, s.42)**

Vaurio- luokka	VAURIO	Kantava rakenne	Muu rakenne
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>Teräsrakenteessa on naarmuja, maalin lohkeamia tai muita vähäisiä pintakäsittelyvaurioita.</li> </ul>	A	A
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pääkannattajan ylälaipassa tai muissa teräsrakenteissa on paikallisia pintakäsittelyvaurioita vähintään ruostumisasteessa Ri 3.</li> <li>Riippuköysien kittaukset ovat halkeilleet.</li> </ul>	B	B
		B	–
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenneosan laajalti ruostumisasteessa Ri 3, Ri 4 tai Ri 5, mutta ainevahvuus ei ole pienentynyt.</li> </ul>	C	C
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rakenneosan ainevahvuus on pienentynyt tai siinä on lehtiruostetta.</li> </ul>	D	D



Tarkkailusilloille tehtävien useiden mittauskierrosten jälkeen voidaan tehdä tarkasteluja vaurioiden etenemisestä. Tätä tarkoitusta varten tiedot on kerätty yhtenäiseen pohjaan numeraalisessa muodossa (kuva 13). Tämä helpottaa tutkijaa tietojen koonnissa, sekä vertailussa.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	ETUSIVU	OH-LUOKITUS																
2																		
3	U-ELY	VAR-ELY	HÄME	EPO-ELY	OULU	LAPPI	POS-ELY											
4																		
5	U-43 Røykän yks.		U-2950 S Sänkiniityn silta		U-1285 W Martinlaakson rs.		U-1976 Hertsbyn silta,											
6	U-46 Krissin silta		U-1081 Espoonlahden silta		U-3285 E Martinlaakson rs.		U-2027 Tollin rs											
7	U-544 Lepsjämsäjoen silta		U-1101 Junttilan silta		U-1602 Veckjärven silta		U-3343 Paavolan silta											
8	U-585 Keravanjoen silta		U-1111 Vappulan akk.		U-1616 N Långbackenin akk		U-1307 Koirajoen silta											
9	U-2950 N Sänkiniityn silta		U-1131 Kosken silta		U-1616 S Långbackenin akk		U-2053 Vaskijärven silta											
10																		
11	<b>Yleistiedot</b>																	
12	<b>Siltanro Nimi</b>				<b>Paikkakunta</b>	<b>Valmistettu</b>	<b>Siltatyyppi</b>											
13	U-350 S Sänkiniityn silta				Vantaa	1965	tb laattasilta											
14	<b>KVL</b>	<b>Sillan alittaa</b>	<b>Silta ympäristön suolaus</b>															
15	48365	1	XX															
16																		
17																		
18	<b>Huomio</b>	Tieosanumerointi kasvaa lännestä itään																
19		Siltakurki välttämätön aukon tarkastuksessa																
20																		
21																		
22	<b>Ohuthienäyte</b>																	
23	Rakenneosa	Vuosi	YLluok.	Rapaut.	Kutist.	Huokois.	Huok.kitetyvät											
24	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX											
25																		
26																		
27																		
28																		
29	<b>Rakenneosa</b>	<b>Tutkimus</b>	<b>Betonipeite</b>		<b>Vuosi</b>													
30	<b>Reunapalkki</b>		Min.	Max.	KA.	1999	2009	2015										
31	1.5 v	Kloridit	0-20	30	54	42	0.15											
32			20-40				0.19											
33	1.8 o	Kloridit	0-20				0.18											
34			20-40				0.09											
35			40-60				0.03											
36	1.0 o	Kloridit	0-20					0.07										
37			20-40					0.19										
38	2.0 v	Kloridit	0-20					0.13										
39			20-40					0.14										
40	<b>Kansilaatta</b>																	
41	Alapinta	Puristuslujuus	20	29	24.5		76											
42		Karbon. Min	25	39	32		0											
43		Max					13											
44		KA.					6.5											
45	<b>Maatuki</b>																	
46	Etumuri	Puristuslujuus					64											
47	Siipimuri T1 v	Karbon. Min	25	54	39.5		1											
48		Max					3											
49		KA.					2											
50		Kloridit	0-20				0.11											
51			20-40				0.07											
52	Siipimuri T1 o	Kloridit	0-20				0.03											
53			20-40				0.03											
54	Siipimuri T2 v	Kloridit	0-20				0.04											
55			20-40				0.08											
	U-1101 Junttilan silta	U-1081 Espoonlahden silta	U-2950 S Sänkiniityn silta	U-2950 N Sänkiniityn silta														



KUVA 13. Kuvassa uuden tietojenkeruupohjan esimerkki silta



## 7 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin aikaiseksi uusi tutkimusohjelma tarkkailusilloille. Tärkein työkalu ohjelman kannalta on kuitenkin tietojenkeruupohja. Pohjan käytännöllisyyttä päästään ensikerran kokeilemaan kesän 2018 aikana, kun ohjelmaan lisättyjen uusien siltojen tarkastukset on tehty. Vasta viiden tai kymmenen vuoden päästä, kun useampi tutkimuskierros on tehty, voidaan pohjaa käyttää siihen tarkoitukseen mihin sen on tehty. Helpottamaan tutkimustulosten numeraalista vertailua, sekä mahdollisesti kehittämään uusia vauriomalleja betonirakenteen vaurioitumiselle.

Eettisinä näkökulmina opinnäytetyössä oli se kuinka paljon kannattaa tutkia, ja onko järkevää tutkia. Mutta tutkimuksen tulos on myös se tulos, jos tulokseksi saadaan se, ettei kannata enää tutkia. Mielestäni tarkkailusiltojen tutkimukset ovat kattava mahdollisuus selvittää betonirakenteiden kuntoa ja vaurioitumista maantieteellisesti vaihtelevissa olosuhteissa. Nyt myös ohjelmaan vakituisesti mukaan otettavat ohuthietutkimukset mahdollistavat uusien konkreettisiin kokemuksiin perustuvien rapautumismallien kehittämisen.

Jatkossa uskon myös Arto Koskiahteen alun perin kehittämän ja suomeksi kääntämäni ohuthienäytteiden luokituksen auttavan myös laboratorioita yhdenmukaisemman ohuthienäyteluokituksen luomiseen. Aikaisemmin luokitus on ollut pitkälti tutkijan näkemys näytteestä.

Tarkkailusiltaohjelman laajentaminen on mahdollista myös muihin maihin. Vastaavaa tutkimusta kun ei ole tehty muualla maailmassa. Ramboll Finlandin siltojen ylläpitoyksikkö vieraili huhtikuussa 2018 Hollannin paikallisessa tiehallinnossa esittelemässä Suomen taitorakenteiden ylläpito- ja tietojen hallinta toimintaa. Tässä samassa yhteydessä keskusteltiin myös tarkkailusiltaohjelmasta ja sen tuomista mahdollisuuksista. Vierailu oli tiedonjakoinen molemmien puolin, sekä avasi kehitysideoita taitorakenteiden ylläpitoon.

Tarkkailusiltahanke on pitkäaikainen prosessi, joka vaatii vuosittaisia toimenpiteitä. Vaurioitumismekanismien systemaattisella seurannalla saavutetaan kuitenkin pitkällä aikavälillä merkittäviä tuloksia ja säästöjä, mitkä auttavat Suomen infrastruktuurin säilymistä käytettävänä ja turvallisena.

## LÄHTEET

Betoni. n.d. Betonin vaurioituminen. Luettu 30.3.2018 <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-vaurioituminen/>

Heikkonen P. 2016. Betonin karbonatisoitumisnopeuden arviointi julkisivu- ja parvekerakenteissa. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Mestarityö. Luettu 1.2.2018.

Koskiahde Arto. 2004, An experiential petrographic classification scheme for the condition assessment of concrete in facade panels and balconies. Luettu 4.3.2018.

Lahdenisvu Jukka. Tarkkailusillat – Kokemuksia 20 vuoden seurannasta. 2017. Luettu 5.4.2018

Liikennevirasto. 2010. Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset. Luettu 4.3.2018 [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121543/lo\\_2010-01\\_978-952-255-005-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121543/lo_2010-01_978-952-255-005-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Liikennevirasto. 2013 a. Perustarkastusraportti, Tarkkailusillat, Oulun ja Lapin alue. Luettu 1.2.2018

Liikennevirasto. 2013 b. Sillantarkastuskäsikirja. Luettu 23.11.2018. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2013-26\\_sillantarkastuskasikirja\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-26_sillantarkastuskasikirja_web.pdf)

Liikennevirasto. 2013 c. Taitorakenteiden tarkastusohje. Luettu 1.2.2018. [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2013-17\\_taitorakenteiden\\_tarkastusohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf)

Liikennevirasto. 2015. Laajennetut yleistarkastukset, raportti. Tarkkailusillat Etelä-Pohjanmaan ELY:n alueella. Luettu 3.2.2018

Liikennevirasto. 2016. Liikenneviraston tilastoja 5/2016. Luettu 21.2.2018

Liikennevirasto. 2017. Tarkkailusiltojen yhteenveto ja tutkimusohjelma tuleville vuosille. Luettu 20.12.2018

Pulkkinen Pekka, Noeskoski Juha. 2017. Sillan peruskäsitteet ja siltatyypit. [http://ril.easypage.fi/media/files/julkaisut/lausuntopyynto1/2.\\_sillan\\_peruskasitteet\\_ja\\_siltatyypit\\_12.03-lausunto.pdf](http://ril.easypage.fi/media/files/julkaisut/lausuntopyynto1/2._sillan_peruskasitteet_ja_siltatyypit_12.03-lausunto.pdf) Luettu 6.4.2018

Salparanta Liisa, Kuosa Hannele. VTT. Kloridien tunkeutumisen pienentäminen betoniin. 2008. Luettu 3.2.2018. <http://betoni.com/wp-content/uploads/2015/10/BET0803-s-82-87.pdf>

Suomen betoniyhdistys r.y. 2004. Betonitekniikan oppikirja 2004. Helsinki: Suomen Betonitieto. Luettu 21.2.2018

Söderqvist Marja-Kaarina. Siltojen ylläpito. 2017. Luettu 13.3.2018

## LIITTEET

### Liite 1. Tarkkailusiltojen uudet työsuunnitelmat

1 (3)

6.4.2018

### Tarkkailusiltojen uudet näytteenottomäärät



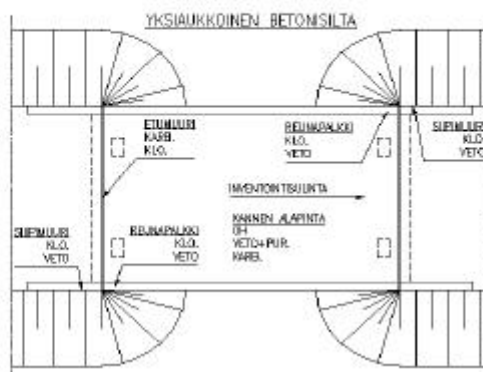
Vanhoilla silloilla näytteet otetaan samoista kohdista kuin aiemmat näytteet. Sijainnit löytyvät tarkkailusiltojen tiedonkeruupohjalta. Jos näytettä ei ole aiemmin otettu, otetaan se tutkimusohjelmaan merkitystä paikasta. Tutkimuskohdan sijaitessa vaikeapääsyisessä paikassa, voidaan näytteenottoa siirtää ja merkitä uusi kohta Tarkkailusiltojen tiedonkeruupohjaan. Silmämääräiset korroosio- sekä rapautumavauriot tarkastetaan kaikista rakenneosista.

#### Yksiaukkoinen betonisilta

Silmämääräisesti tutkitaan rapautuma- ja korroosiovauriot

#### Maatuki

Etumuri T1	Karbonatisoituminen Kloridit
Siipimuri T1 o	Vetolujuus Kloridit
Siipimuri T2 v	Vetolujuus Kloridit
<b>Reunapalkki</b>	
1.0 o	Vetolujuus Kloridit
2.0 v	Vetolujuus Kloridit
<b>Kansilaatta</b>	
Alapinta 1.5	OH d=70 mm h=150 mm Vetolujuus Puristuslujuus Karbonatisoituminen



6.4.2018



### Useampiaukkoinen betonisilta

Silmämääräisesti tutkitaan rapautuma- ja korroosioauriot

#### Maatuki

Etumuri T1      Karbonatisoituminen  
Kloridit

Siipimuri T1 o      Vetolujuus  
Kloridit

Siipimuri TX v      Vetolujuus  
Kloridit

#### Reunapalkki

1.0 o      Vetolujuus  
Kloridit

X.0 v      Vetolujuus  
Kloridit

#### Kansilaatta

Näytteet kun  $\leq 3$  aukkoinen silta. Jos  $\geq 4$  aukkoinen -> Näytteet kahdesta kohdasta pois lukien OH

**Ulokelaattasilloilla lyhyitä ulokkeita ei lasketa mukaan näytemäärien määrittämisessä**

Alapinta puoliväli      OH d=70 mm h=150 mm  
Vetolujuus  
Puristuslujuus  
Karbonatisoituminen

#### Välituki

Näytteet kun  $\leq 3$  aukkoinen silta. Jos  $\geq 4$  aukkoinen -> Näytteet kahdesta pilarista

Karbonatisoituminen  
Kloridit  
Veto  
Puristus

