

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2021

Ville Välimäki

INTEGROITU SILTOJEN KORJAUSURAKKA


TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

2021 | 55 sivua, 12 liitesivua

Ville Välimäki

INTEGROITU SILTOJEN KORJAUSURAKKA

Sillankorjauksen suunnitteluprosessi on nykyisellään hidasta ja kallista. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda sillankorjauksen suunnitteluprosessia nopeuttava ja siten myös projektin kustannuksia laskeva helppokäyttöinen Microsoft Exceliin pohjautuva integroitu siltojen korjausurakka -pilottiohjelma (ISKU). Pilottiohjelman tarkoitus on helpottaa siltojen tarkastustoimintaa ja nopeuttaa korjausurakoinnin aloittamista. Opinnäytetyö toteutettiin hankkeistettuna opinnäytetyönä. Se oli osa Sitowisen asiakasprojektia, jonka tilaajana toimi Uudenmaan ELY-keskus.

Opinnäytetyössä laaditun pilottiohjelman luontia varten oli laadittava menetelmät, joilla ohjelman käyttö olisi mahdollista. Pilottiohjelmaa varten vertailtiin vanhoja erikoistarkastuksia ja tarkastuksissa tehtyjä kokeita. Vertailun tuloksena voitiin määrittää määräävä tutkimustekijä eri rakenneosille. Ohjelman käyttöä varten oli myös perehdyttävä Taitorakennerekisterin toimintaan ja käyttöön. Taitorakennerekisterin tallennettuun hakuun oli laadittava raja-arvot. Raja-arvojen tarkoituksena oli selkeyttää ja suoraviivaistaa ohjelman käyttöä.

Opinnäytetyön tuotoksena syntyi integroitu siltojen korjausurakka -projektiin liittyvä pilottiohjelma. Sen tavoitteena on nopeuttaa urakoitsijoiden korjaustöiden aloittamista ja keventää korjaussuunnittelijoiden työtaakkaa yksinkertaistamalla ja suoraviivaistamalla korjaussuunnittelun vaiheita. Pilottiohjelma pitää sisällään siltojen yleisohjeet, työselosteet, määräluettelon, kustannuslaskelman ja korjaussuunnitelman. Pilottiohjelmassa on lisäksi määränimikkeistö, rakenneosaluettelo ja jatkokehitystä ajatellen luodut kaksi taulukkoa siltatietojen Taitorakennerekisteristä pilottiohjelmaan tuomista varten. Pilottiohjelmaan luotiin erilaisia painikkeita ja makroja helpottamaan ja suoraviivaistamaan sen käyttöä.

Opinnäytetyössä pilottiohjelman simuloitu käyttö todettiin käytännölliseksi ja ohjelmaa tullaan hyödyntämään Sitowisen toimesta. ISKU -ohjelmaa tulee tarkastella ja päivittää vuosittain. Ohjelmaa tullaan kehittämään tulevaisuudessa.

ASIASANAT:

sillat, laadunvalvonta, korjausrakentaminen, betoni, tutkimus, kloridit

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

2021 | 55 pages, 12 pages in appendices

Ville Välimäki

INTEGRATED BRIDGE REPAIR WORK

Nowadays the process of planning of the bridge repair work is slow and expensive. The aim of the thesis was to speed up the process of bridge repair work which would at the same time lower the costs of the project by creating an easy-to-use integrated bridge repair work pilot program (ISKU) based on the Microsoft Excel environment. The purpose of the pilot program is to facilitate the inspection of bridges and to speed up the start of repair contracting. The thesis was implemented as a project thesis. The thesis was a part of Sitowises client project which was commissioned by the Uusimaa ELY Center.

For the creation of a pilot program in the thesis, it was necessary to develop methods for using the program. For the pilot program old special inspections and tests performed during inspections were compared. As a result of the comparison, a determining research factor could be determined for the different components. For the use of the program, it was also necessary to get acquainted with the operation and the use of the Taitorakennekisteri. Limit values had to be created for the saved search in the Taitorakennekisteri. The limits were intended to clarify and streamline the use of the program.

The output of the thesis was a pilot program related to the integrated bridge repair contract project. The aim of the pilot program is to speed up the start of repair work by contractors and reduce the workload of repair designers by simplifying and streamlining the repair design steps. The pilot program includes general instructions for the bridges, job descriptions, a list of quantities, a cost calculation and a repair plan. The pilot program also includes a nomenclature of quantities, a structural element list and two tables created for future development to import bridge data from the Taitorakennekisteri to the pilot program. Various buttons and macros were created in the pilot program to make it easier and more straightforward to use.

In the thesis the simulated use of the pilot program was found to be practical and the program will be used by Sitowise. The ISKU-program should be reviewed and updated annually. The program will be developed in the future.

KEYWORDS:

bridges, quality control, renovation building (activity), concrete, research, chlorides

SISÄLTÖ

| | |
|--|-----------|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 BETONIRAKENNE | 2 |
| 2.1 Yleistä betonista | 2 |
| 2.2 Betonin lujuus | 2 |
| 2.3 Betonin käyttöikä | 2 |
| 3 SILLAT | 4 |
| 3.1 Yleistä | 4 |
| 3.2 Siltatyypit | 6 |
| 3.3 Sillan päärakennneosat | 8 |
| 3.3.1 Päällysrakenne | 9 |
| 3.3.2 Alusrakenteet | 9 |
| 3.3.3 Varusteet ja laitteet | 9 |
| 3.3.4 Siltapaikan rakenteet | 9 |
| 4 SILTOJEN VAURIOITUMINEN, TARKASTAMINEN JA KORJAAMINEN | 11 |
| 4.1 Yleistä | 11 |
| 4.2 Sillan vauriot | 12 |
| 4.3 Sillantarkastustoiminta | 14 |
| 4.3.1 Taitorakennerekisteri | 14 |
| 4.3.2 Vuositarkastus | 15 |
| 4.3.3 Yleistarkastus ja laajennettu yleistarkastus | 15 |
| 4.3.4 Erikoistarkastus | 16 |
| 4.3.5 Tehostettu tarkkailu | 16 |
| 4.3.6 Erikoistarkastuksen kokeet ja mittaukset | 17 |
| 4.4 Vauriotyyppi ja vaurioluokka | 19 |
| 4.5 Laadunvarmistustoimet | 21 |
| 4.6 Laadunvarmistustoimenpiteet | 22 |
| 4.7 Sillankorjaus | 24 |
| 4.7.1 Sillan kantavuus | 24 |
| 4.7.2 Korjaustyypit | 25 |
| 4.7.3 SILKO – Siltojen korjausohjeet | 29 |
| 4.7.4 Korjaussuunnitelma | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 5 ISKU - INTEGROITU SILTOJEN KORJAUSURAKKA | 32 |
| 5.1 ISKU | 32 |
| 5.2 Pilottiohjelma | 34 |
| 5.3 Tutkimusprosessi | 40 |
| 6 PÄÄTELMÄT | 51 |
| LÄHTEET | 53 |

LIITTEET

Liite 1. ISKU -pilotin käyttöohje.

KUVAT

| | |
|--|----|
| Kuva 1. Esimerkki sillan rakenneosista. | 10 |
| Kuva 2. ISKU -korjaustoimenpiteet. | 39 |

KUVIOT

| | |
|---|----|
| Kuvio 1. Tiesiltojen lukumäärän kehitys vuosina 1980-2020. | 4 |
| Kuvio 2. Varsinaisten tiesiltojen ja putkisiltojen lukumäärän kehitys vuosina 1995-2020. | 5 |
| Kuvio 3. Siltojen jakauma kunnossapitäjän mukaan. | 5 |
| Kuvio 4. Siltojen jakauma käyttötarkoituksen mukaan. | 6 |
| Kuvio 5. Metallirakenteiden yleisimmät vauriosyyt, vauriot ja korjausperiaatteet . | 28 |
| Kuvio 6. ISKUn kiertokulku. | 33 |

TAULUKOT

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Päärakenneosan kuntoarvio <i>Sillantarkastuskäsikirjan</i> mukaisesti. | 20 |
| Taulukko 2. Koko sillan kuntoarvio <i>Sillantarkastuskäsikirjan</i> mukaisesti. | 20 |
| Taulukko 3. Laadunvarmistusmittaukset ja niiden tarkoitus. | 23 |
| Taulukko 4. Betonirakenteiden korjausperiaatteet ja -menetelmät SFS-EN 1504 mukaisesti, sekä sulkeissa mahdollinen standardin SFS-EN 1504 osa. | 26 |
| Taulukko 5. Raudoituksen korroosioon liittyvät korjausperiaatteet ja -menetelmät SFS-EN 1504 mukaisesti, sekä sulkeissa mahdollinen standardin SFS-EN 1504 osa. | 27 |
| Taulukko 6. Yleiset laatuvaatimukset, SILKO-ohjeen nimi ja numero. | 35 |

| | |
|--|----|
| Taulukko 7. Työkohtaiset laatuvaatimukset, SILKO-ohjeen nimi ja numero. | 36 |
| Taulukko 8. Voimassa olevat SILKO -tuotteet, ohjeen nimi ja numero. | 38 |
| Taulukko 9. Tutkimustekijän tarkastelu silloittain. | 42 |
| Taulukko 10. Määrät tutkimustekijöittäin. | 43 |

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda yksinkertainen pilottiohjelma, joka sisältää yleispiirustuksen, työselosteen, määräluettelon, kustannusarvion ja laadunvarmistustoimet. ISKU -pilottiohjelman laatiminen oli ajankohdaltaan aiheellinen, sillä siltojen tarkastuksia tulee vuosittain lisää vanhenevan rakennekannan takia, mikä lisää siltojen korjaustarpeita. Olemassa olevien ohjeiden hyödyntäminen korjaussuunnittelussa ja niistä tiedottaminen korjausurakoitsijoille nopeuttaisi korjausurakan aloitusta sekä vähentäisi korjaussuunnittelijan työtaakkaa. Opinnäytetyössä laaditun pilottiohjelman tarkoitus oli olla selkeä ja helppokäyttöinen suunnitelma, jota voi käyttää uudestaan tulevissa korjauskohteissa. Pilottiohjelman on tarkoitus toimia niin sanotuissa kevyissä korjauskohteissa joissa ei uusita rakenteita.

ISKU -pilottiohjelman avulla oli mahdollista, että urakoitsijat pystyisivät aloittamaan työt aiempaa nopeammin työmaalla ja korjaussuunnittelijat pystyivät vähentämään työmääränsä. Pilottiohjelma pohjautuu tehtyihin sillantarkastuksiin. Pilottiohjelman luomisessa käytettiin apuna litterapohjaista kustannuslaskentaa, tehtyjä yleis- ja erikoistarkastuksia, sekä Sitowisen laatimia työselostuksia korjaustoimenpiteille.

Opinnäytetyön alkuosassa tarkastellaan teräsbetonirakenteiden tärkeimpiä ominaisuuksia silloissa, siltatyyppejä ja siltojen rakenteita. Opinnäytetyössä syvennytään siltojen tarkastustoimintaan, laadunvarmistukseen, sillankorjaukseen ja siltojen korjausohjeisiin. Opinnäytetyön loppuosassa tarkastellaan integroitua siltojen korjausurakkaa ja siihen liittyvää pilottiohjelmaa, sekä lopuksi opinnäytetyö päätetään projektin yhteenvetoon.

Opinnäytetyö on osa Sitowise Oy:n asiakasprojektia, jonka tilaajana toimii Uudenmaan ELY-keskus. Lisäksi opinnäytetyössä konsultoitiin lukuisia alan toimijoita uudenlaisen pilottiohjelman kehitystyössä.

2 BETONIRAKENNE

2.1 Yleistä betonista

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali ja sen suosio perustuu sen materiaaliominaisuuksiin, käytettävyyteen ja edullisuuteen. Betoni on materiaaliominaisuuksiltaan hyvä rakennusmateriaali, sillä se kestää kosteutta ja betonin puristuslujuus on erinomainen. Betonista voidaan valmistaa jäykästi toimivia rakenteita. Ominaisuuksiltaan betoni on turvallinen rakennusmateriaali. Betoni kestää hyvin tulta ja kosteutta eikä siitä irtoa haitallisia aineita sisäilmaan tai veteen. Lisäksi betonista voi tehdä minkälaisia muotoja vain muottien avulla. Betoni on ominaisuuksiinsa nähden edullinen rakennusmateriaali. (Betoni 2021c.)

2.2 Betonin lujuus

Betonin hyvän puristuslujuuden ansiosta sitä voidaan käyttää useisiin eri käyttötarkoituksiin. Betonin puristuslujuutta säädelään veden ja sementin suhteella seoksessa. Mitä enemmän on sementtiä suhteessa veteen, sen parempi on betonin puristuslujuus. (Betoni 2021c.)

Betonin vetolujuus on noin kymmenesosa betonin puristuslujuudesta. Koska betonin vetolujuus on huono, lisätään siihen terästä vetolujuuden tehostamiseksi. Raudoituksena voi käyttää harjaterästä, jänneterästä tai erilaisia kuituja. (Betoni 2021c.)

Betoniset rakenteet suunnitellaan siten, että betoni ottaa puristusjännitykset ja suojaa raudoitusta korroosiolta sekä tulipalolta. Raudoitteet antavat rakenteelle veto- ja taivutuskestävyyttä. (Pulkkinen & al. 2018, 56.) Jännitetyissä betonirakenteissa jänneteräksillä aiheutetaan puristusjännitys kohtiin, joissa rakenteen omapainon ja muiden kuormien vetojännitys vaikuttavat. (Betoni 2021b.)

2.3 Betonin käyttöikä

Betonilla on pitkä käyttöikä, parhaimmillaan betonirakenne on suunniteltu kestäämään 1 000 vuotta (Betoni 2021a). Normaalisti betonin käyttöikäksi suunnitellaan kuitenkin 50 –

200 vuotta. Todellisuudessa vain tietyn rakenneosan käyttöikä voi olla 200 vuotta ja toisen 50 vuotta. Kun käyttöikä vaihtelee rakenteittain, täytyy rakennuksen käyttöikää tarkastella betonirakenteiden käyttötarkoituksen perusteella. Esimerkiksi perustukset voivat kestää jopa 200 vuotta, mutta ulkoseinät vain 50, jolloin rakennuksen käyttöiän määrittäväksi tekijäksi tulevat ulkoseinät. (Pulkkinen & al. 2018, 62.)

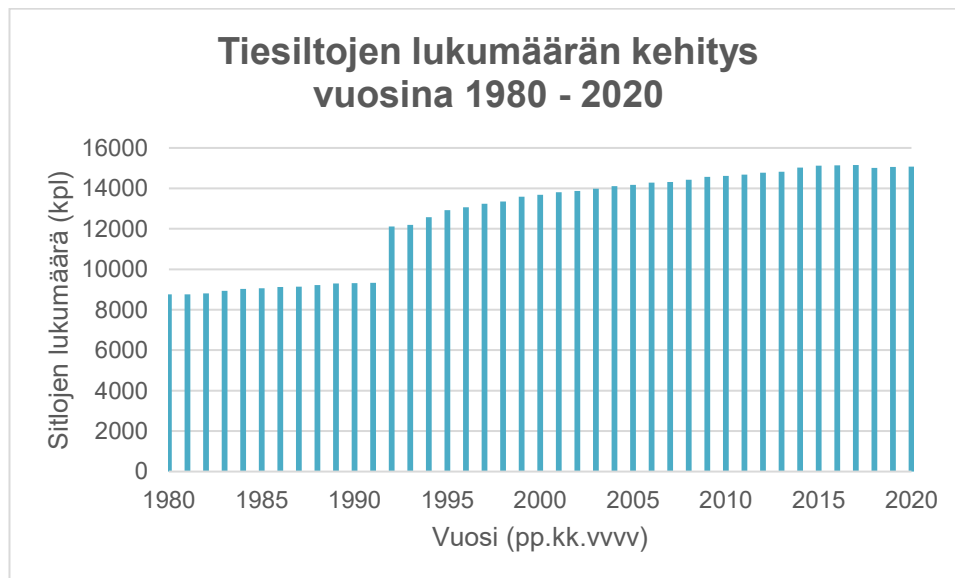
Teräsbetonirakenteen kestävyys vaikuttaa sen kyky kestää pakkasrasitusta, kemikaaleja ja näiden yhteisvaikutusta. Betonin emäksisyys estää raudoituksen korroosiota. Ajan myötä betonin emäksisyys vähenee ja lopulta katoaa betonin karbonatisoitumisen takia. Karbonatisoitumisella tarkoitetaan betoniin pääsevän hiilidioksidin kemiallista reaktiota betonin huokosissa olevan kalkin kanssa. Karbonatisoituminen etenee vähitellen pinnalta syvemmälle ja kun karbonatisoituminen saavuttaa raudoituksen, katsotaan betonin käyttöiän tulleen täyteen. Karbonatisoitumisen etenemisen kannalta suojabetonin, eli raudoituksen ja betonin pinnan välisen betonin paksuus on merkittävin tekijä. Paksumman suojabetonin avulla voidaan teräksiä suojata kauemmin. (Nykyri 2020, 62-63.)

3 SILLAT

3.1 Yleistä

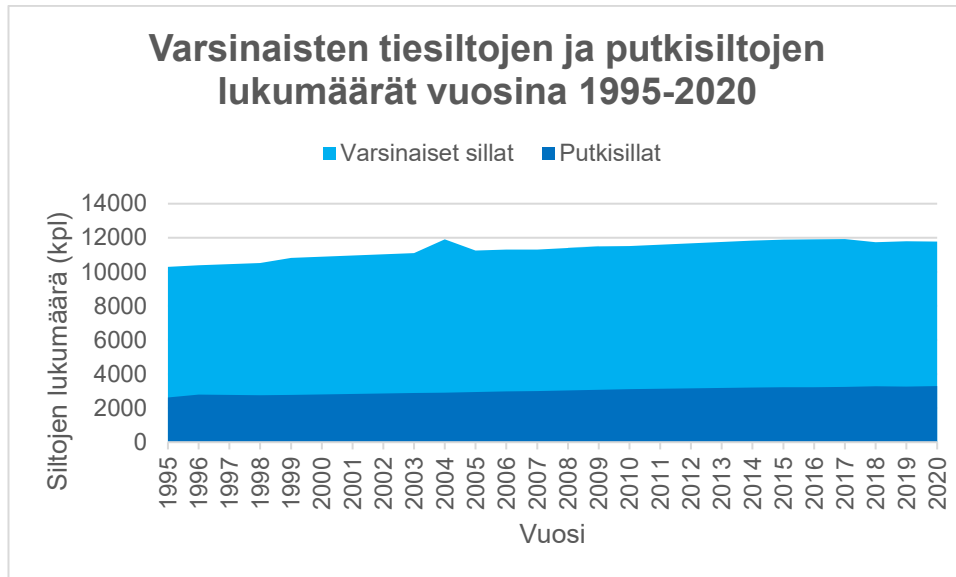
Silta on rakenne, jonka avulla ajoneuvo-, henkilö- tai muu liikenne pääsee esteen yli. Suomessa sillaksi luetaan rakenne, jonka vapaa-aukko eli maatukien tai välitukien välinen vapaaväli on vähintään kaksi metriä. (Liikennevirasto 2013, 10.) Sillan käyttötarkoitus määräytyy esimerkiksi sen perusteella, ylittääkö silta vesistön, maantien tai rautatien. Silta voidaan rakentaa myös heikon maaperän takia. (Söderqvist 2016, 4.) Sillan materiaali voi olla teräsbetonia, jännitettyä betonia, terästä, puista tai useamman materiaalin liittorakenne (Laaksonen & Piispanen 2016, 16).

Ennen vuotta 1992 Suomessa oli noin 9 000 siltaa. Vuonna 1992 siltojen tilastollinen määrä kasvoi liki 3 000 sillalla. Tämä johtui siitä, että tilastointiin otettiin mukaan myös putkisillat. (Kuvio 1) (Väylävirasto 2020c, 13-23.)



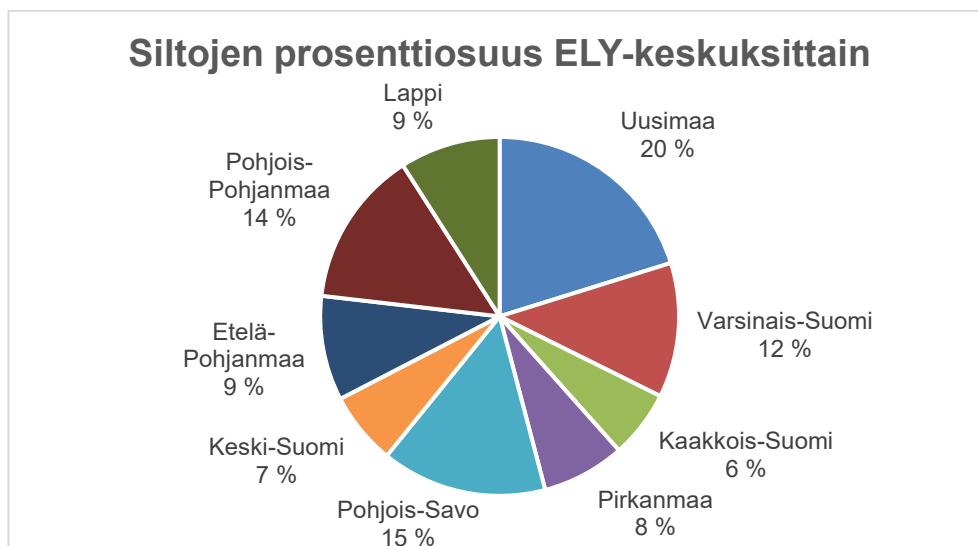
Kuvio 1. Tiesiltojen lukumäärän kehitys vuosina 1980-2020 (Väylävirasto 2020c, 13).

Vuonna 2020 Väyläviraston omistamia tiesiltoja oli Suomessa 15 079 kappaletta. Näistä 11 784 oli varsinaisia siltoja ja 3 295 putkisiltoja. Varsinaiset sillat ovat siis huomattavasti putkisiltoja yleisempiä ja siltojen määrän vuosittainen suhteellinen kasvu on vuodesta 1995 vuoteen 2020 pysynyt lähes tulkoon samana. (Kuvio 2) (Väylävirasto 2020c, 13-23.)



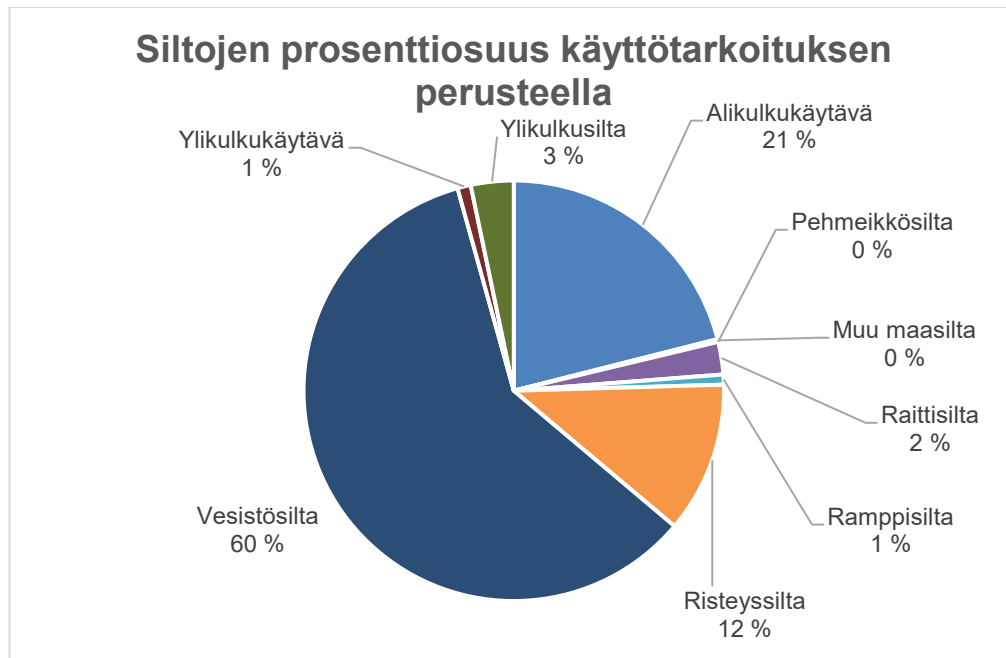
Kuvio 2. Varsinaisten tiesiltojen ja putkisiltojen lukumäärän kehitys vuosina 1995-2020 (Tielaitos 1995, 5-6; Tielaitos 1996, 9; Tielaitos 1998, 19; Tielaitos 1999, 19; Tiehallinto 2000, 19; Tiehallinto 2003, 14; Tiehallinto 2004, 14; Tiehallinto 2005, 16-17; Tiehallinto 2006, 17-18; Tiehallinto 2007, 17-18; Tiehallinto 2008, 15-16; Tiehallinto 2009, 15-16; Liikennevirasto 2010b, 15-16; Liikennevirasto 2014a, 14-16; Liikennevirasto 2015, 14-16; Liikennevirasto 2016, 13-15; Liikennevirasto 2017a, 14-16; Liikennevirasto 2018a, 14-16; Väylävirasto 2019b, 13-15; Väylävirasto 2020c, 14-16).

Suurin osa silloista sijaitsi Uudellamaalla, Pohjois-Pohjanmaalla, Pohjois-Savossa ja Varsinais-Suomessa (Kuvio 3) (Väylävirasto 2020c, 13-23.).



Kuvio 3. Siltojen jakauma kunnossapitäjän mukaan (Väylävirasto 2020c, 13-23).

Yleisimpiä varsinaisia siltoja olivat vesistösilat, alikäytävät ja risteyssilat. Muita varsinaisia siltoja olivat ylikulkukäytävä, ylikulku-, ramppi- ja raittisilta. Yleisimpiä putkisiltoja olivat alikulkukäytävät ja vesistösilat. Muita putkisiltoja olivat raitti-, risteys- ja ramppisillat. (Kuvio 4) (Väylävirasto 2020c, 13-23.)



Kuvio 4. Siltojen jakauma käyttötarkoituksen mukaan (Väylävirasto 2020c, 13-23).

3.2 Siltatyypit

Tavallisimmin Suomessa käytettyjä siltoja ovat laatta-, palkki-, kehä-, uloke-, holvi- ja ristikkosillat (Laaksonen & Piispanen 2016, 2).

Betonisen laattasilan etuna on sen edullisuus ja taloudellisuus, minkä takia laattasilta onkin tavallinen siltatyyppi lyhyille jänneväleille. Laattasilan muotit on helppo toteuttaa ja raudituskin on mahdollisimman yksinkertainen. Laattasilan tyypillinen jänneväli vaihtelee 5-30 metrin välillä. Laattasilta voi olla yksiaukkoinen, moniaukkoinen ja ulokkeellinen. (Laaksonen & Piispanen 2016, 3-4.)

Palkkisilta tulee kyseeseen, kun kansirakenteesta halutaan tehdä kevyempi, joka on välttämätöntä jännevälin kasvaessa yli 30 metrin. Koska jännevälin pystyy toteuttamaan pidempänä ja kansirakenteesta halutaan keveämpi, korvaa palkkisilta yleensä laattasilan. Palkkisillat voivat olla betonisia, teräksisiä tai puisia. Betoniset palkkisillat ovat teräsbetonisia tai jännitettyä betonia. Palkkisillat ovat elementeistä esivalmistettuja tai

paikallavalettuja. Palkkisilta voi olla yksiaukkoinen tai moniaukkoinen ja maatuellinen tai ulokkeellinen. Harjaantunut silta-asiantuntija erottaa palkkisillan sivuprofiilista, onko se moniaukkoinen jatkuva vai ei-jatkuva palkkisilta, nivelpalkkisilta tai jopa moniaukkoinen, jatkuva ja viisteellinen palkkisilta. (Laaksonen & Piispanen 2016, 5-7.)

Kehäsilta on tyypillinen kevyen liikenteen alikulun siltatyyppejä, jonka jänneväli vaihtelee neljästä kymmeneen metriin. Kehäsilta rakenteena on yksinkertainen ja lähes huoltovapaa, lisäksi kehäsillassa ei ole liikuntasauvoja tai muita vastaavia varusteita. Kehäsillan jalat toimivat samalla sillan päätytukina, mutta myös harvinaisempi laatta- tai palkkisilta, jonka väli- tai päätytuet ovat vinoja siltapilareita luetaan kehäsillaksi. Kehäsillat ovat yleensä paikalla valettuja, mutta voivat olla elementtirakenteisiaakin. Kehäsilloja ovat myös holvi- tai kaarisilta, joita käytetään pääsääntöisesti pienten purojen ylityksiin ja luontopolkujen alikäytävinä. Kehäsilta voi olla suora- tai vinojalkainen, jatkuva tai ei-jatkuva kehäsilta. Kehäsilta voi olla myös betonielementtiholvi tai betonielementeillä korotettu teräsholvisilta ja teräksinen putkisilta. (Laaksonen & Piispanen 2016, 10-11.)

Liittopalkkisilta soveltuu hyvin vesistöisillaksi, sillä sen kannatinrakenne on terästä ja kansilaatta, maatuet ja välituet betonisia. Liittopalkkisillan rakentamisessa ei tarvita telineitä ja rakentaminen voidaan tehdä kuivana aikana, sillä konepajatyöt voidaan ajoittaa tehtäväksi pahimpaan talviaikaan. Liittopalkkisillan jänneväli vaihtelee välillä 20-100 metriä. Keskipitkille yksiaukkoisille silloille, jonka jännevälille 16-38 metriä, on laadittu Tielaitoksella tyyppiirustussarja. Liittopalkkisilta voi olla avoin tai kotelorakenteinen, joista kotelorakenteinen on harvinaisempi teräsrakenteen vaatiman runsaamman ja siten kalliimman konepajavalmistuksen vuoksi. (Laaksonen & Piispanen 2016, 12.)

Holvisillaksi kutsutaan siltaa, jonka kannatinrakenne on leveä rakennekorkeuteen verrattuna, ja siltaa, jonka liikennekuorma siirtyy kannatinrakenteista tai maataytöstä suoraan maatuille. Kaarisillaksi kutsutaan siltaa, jonka kaaren leveys on alle 5 kertaa sen rakennekorkeus. Kaarisilloja on aikaisemmin käytetty keskisuurten ja suurten jännevälien siltatyyppeinä. Sillan kaari voi sijaita kansirakenteen ylä- tai alapuolella tai ajorata voi mennä sen lävitse. Jos kaari kiinnitetään kanteen, on silta silloin langerpalkkisilta. Holvisillan holvi voi sijaita ainoastaan kansirakenteen alapuolella. Kaari- ja holvisillat voivat olla betonista, teräksestä tai puusta. (Laaksonen & Piispanen 2016, 13.)

Ristikkosilta on aikaisemmin ollut varsin yleinen siltatyyppejä pitkällä jänneväleillä. Ristikkosilloja voi nähdä paljon rautateilla, sillä niitä käytettiin erityisesti rautatiesiltoina. Ristikkosillan ristikkorakenne on kevyt, joka mahdollistaa lyhyen rakennekorkeuden kannen ja

ristikon alapinnan välillä. Tosin oman painon pienuus suhteessa hyötykuormaan on aiheuttanut silloille väsytysoongelmia. Ristikkosillan suosio lakkasi sen suureen työmäärään takia, sillä ristikkosillan rakentaminen ja maalaus on työlästä. Ristikkosillan teräs-rakenteiden puhtaanapidon ja uusintamaalauksen vaatima työmäärä on myös osasyylinen sen suosion vähenemiseen. Ristikkorakenteita käytetään nykyään muiden siltojen jäykistämiseen. Uuden 3D-suunnittelu- ja valmistustekniikan myötä tulevat mahdollisiksi hyvin monimuotoiset ja helposti kunnossapidettävät ristikkorakenteet, mikä saattaa vaikuttaa ristikkosiltojen uuteen nousuun. Ristikkosilloissa usein ristikkorakenne on teräksinen ja muut rakenteet betonisia. (Laaksonen & Piispanen 2016, 14-15.)

Vinoköysi- ja riippusillat ovat Suomessa harvinaisempia siltoja. Vinoköysisilloja on kuitenkin tehty useita vuoden 1987 jälkeen, jolloin Suomen ensimmäinen tieliikennekäyttöön tarkoitettu vinoköysisilta valmistui Rovaniemelle. (Laaksonen & Piispanen 2016, 13-14.) Suomen pisimmät sillat ovatkin nykyään vinoköysisilloja (Väylävirasto 2020c, 41). Vinoköysi- ja riippusillat mahdollistavat pitkät jännevälit, joista riippusillassa maksimijännevälinä on pidetty noin 3,5 kilometriä (Laaksonen & Piispanen 2016, 14). Suomessa suurimman jännevälin omaa Raippaluodon vinoköysisilta, joka on samalla kokonaispituudeltaan Suomen pisin. Raippaluodon vinoköysisillan kokonaispituus on 1 045 metriä ja pisin jänneväli on 250 metriä. (Väylävirasto 2020c, 41.)

Avattava silta tulee tarpeelliseksi, kun ympäröivä maisema ei mahdollista kiinteään, riittävän korkean sillan rakentamista. Avattavia siltoja ovat nosto-, läppä- ja kääntösillat. Nostosillat käytetään pidemmän vapaan aukon omaavalle väylälle, mutta sen haittana on sen rajallinen nostokorkeus, joka määräytyy rakenteen nostovaran perusteella. Läppäsillat soveltuvat hyvin lyhyille jänneväleille, suurin yksiaukkoisen läppäsillan jänneväli on 40-60 metrin välillä. Kääntösilta soveltuu hyvin yli 30 metrin jänneväleille ja on taloudellisempi vaihtoehto näistä kolmesta. Kääntösillan huono puoli on sen hidas sulkeutuminen ja avautuminen verrattuna saman pituiseen läppäsillan. (Laaksonen & Piispanen 2016, 15.)

3.3 Sillan päärakenneosat

Sillan päärakenneosat on jaoteltu niiden toiminnan perusteella. Päärakenneosia on neljä (4) eri osaa, joita ovat päällysrakenne, alusrakenne, varusteet ja laitteet, sekä siltapaikan rakenteet. (Pulkkinen & al. 2018, 44-45.)

3.3.1 Päälysrakenne

Päälysrakenne on sillan rakenneosista tärkein (Pulkkinen & al. 2018, 44). Sillan päälysrakenne kantaa sillan liikkuvan hyötykuorman sen alittavan väylän tai esteen yli. Päälysrakenne välittää myös hyötykuormat ja pysyvät kuormat alusrakenteelle. (Liikennevirasto 2013, 15.) Päälysrakenteisiin kuuluvia osia ovat pääkannattimet, kansilaatta ja pintarakenteet (vedeneriste ja päällyste), sekä reunapalkit. Päälysrakenteisiin kuuluvat myös rautatiesilloissa kiskot, ratapölkkyt ja tukikerros. (Pulkkinen & al. 2018, 44.)

3.3.2 Alusrakenteet

Alusrakenteen päätehtävä on välittää sillan päälysrakenteelta tulevat kuormat kantavaan maakerrokseen tai kallioon. Alusrakenne antaa myös tukea sillalle tuleville väylärakenteille, niin että sillan alittaminen rakentamisen jälkeen on mahdollista. Alusrakenteisiin kuuluvat sillan alla olevat rakenteet, kuten maatuot ja välituot. (Liikennevirasto 2013, 15.) Alusrakenteisiin kuuluvat myös perustukseen kuuluvat paalut, tukiseinät ja muurit. Lisäksi sillan päätytukien siirtymälaatat ja tukimuurit kuuluvat alusrakenteeseen. (Pulkkinen & al. 2018, 45.)

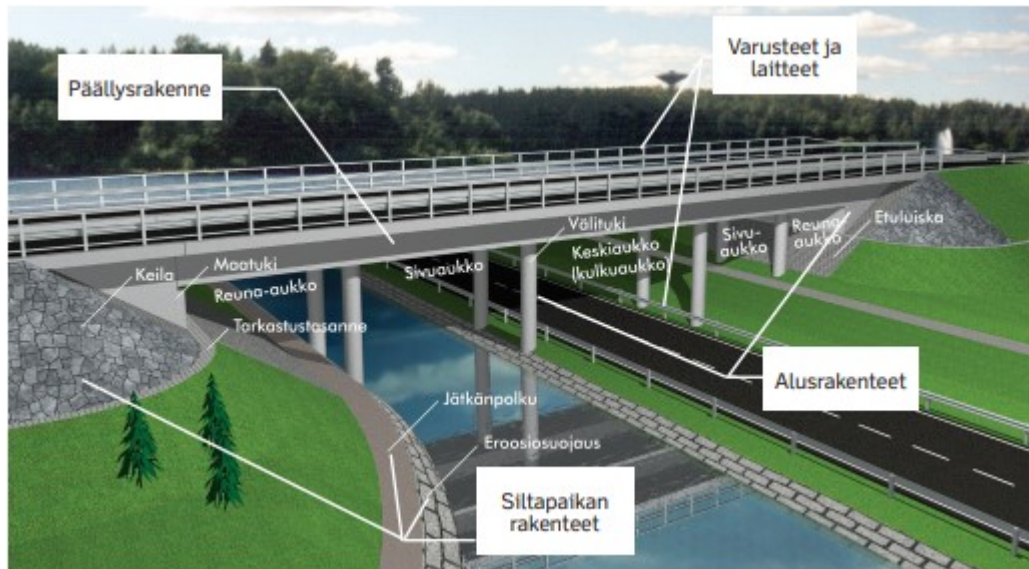
3.3.3 Varusteet ja laitteet

Varusteiden ja laitteiden tarkoitus on varmistaa sillan alus- ja päälysrakenteita liikenneturvallisuuden, sillan käytettävyyden ja käyttöiän kannalta (Liikennevirasto 2013, 15). Varusteisiin ja laitteisiin kuuluvia rakenteita ovat esimerkiksi laakerit, liikuntasaumot ja kaiheet. Lisäksi katsotaan, että muun muassa kosketussuojaseinät, valaisimet ja hoitosillat kuuluvat sillan varusteisiin ja laitteisiin. (Pulkkinen & al. 2018, 45.)

3.3.4 Siltapaikan rakenteet

Siltapaikan rakenteilla tarkoitetaan rakenteita, jotka ovat pääsääntöisesti sillan ulkopuolella, mutta niillä on suuri merkitys sillan kuivatukseen, turvallisuuteen ja käyttöikään (Pulkkinen & al. 2018, 45). Siltapaikan rakenteista maarakenteita ovat muun muassa luiskat ja keilat. Varusteiksi ja laitteiksi siltapaikan rakenteista lasketaan muun muassa

pintavesikaivot, -kourut ja pengerkaiteet. Kuvassa 1 havainnollistetaan näitä sillan eri rakenneosia. (Liikennevirasto 2013, 15.)



Kuva 1. Esimerkki sillan rakenneosista (Liikennevirasto 2013, kuva 7).

4 SILTOJEN VAURIOITUMINEN, TARKASTAMINEN JA KORJAAMINEN

4.1 Yleistä

Sillantarkastuksen perustan luo sen hyvin organisoitu tarkastustoiminta ja siihen liittyvä kunnan seuranta. Sillan korjauskustannusten optimoinnin ja kunnan hallinnan kannalta on tärkeää, että tarkastustoiminta on suunniteltua, säännöllistä, oikein ajoitettua ja laatu- ja tulosoltaan hyvää. Tarkastuksien tehokkaan ja oikein kohdennetun toiminnan takaamiseksi tarvitaan toimiva tarkastusjärjestelmä ja yhteisesti hyväksytyt ja yleisesti noudatettavat toimintaperiaatteet. Toimintaperiaatteisiin tulee sitoutua kaikki siltojen ylläpidon eri osa-alueilla työskentelevät vastuuhenkilöt. (Pulkinen & al. 2018, 380.)

Tarkastustoiminnan pääpiirteitä ovat muun muassa liikenneturvallisuuden takaaminen, rakenteiden toimivuuden ja palvelutason varmistaminen, rakenteen säilyvyyden varmistaminen ja optimaalisen käyttöiän saavuttaminen. Lisäksi hyvällä hoito- ja ylläpitotoimien ohjaamisella taataan sillan ja siltapaikan ulkonäön ja siisteyden pitäminen ympäristön arvon mukaisena. Siltojen ylläpitoon osoitettavan määrärahoituksen tulee olla oikein kohdennettua. (Pulkinen & al. 2018, 380.)

Tarkastustoiminnan tarkoituksena on löytää rakenteellisen turvallisuuden kannalta olennaiset vauriot tai muodonmuutokset riittävän ajoissa, sekä seurata sillan palvelutasoa. Vauriot merkataan rekisteriin, jotta niihin tehtävät korjaukset voidaan tehdä oikeaan aikaan ja oikein mitoitettuna. Sillan rakenneosien kunnan ja muodonmuutoksien seuraamisen avulla voidaan tehdä oikeat johtopäätökset vaurioiden kehittymisestä. Rakennesien kunnan ja muodonmuutosten seuraamisen avulla voidaan antaa kokemukseen perustuvaa tietoa suunnittelijoille ja rakentajille huomioon otettavaksi. Tarkastustoiminnassa tarkastellaan myös kuormitusolosuhteiden muutosten seuraamista, jonka avulla sillan kantavuudesta saadaan oikea käsitys suunniteltaessa ja valvottaessa. Lisäksi tarkastustoiminta kattaa myös kunnossapidon seuraamisen ja laadun varmistamisen. (Pulkinen & al. 2018, 380.)

Sillan päivittäisellä kunnossapidolla varmistetaan liikenneverkon riittävä liikennöitävyys päivittäin kaikkina vuorokauden aikoina hyväksytyjen toimintalinjojen mukaisesti. Lisäksi tuotetaan lain asettamat velvoitteet, kuten tarvittavat käyttöpalvelut. Päivittäinen

kunnossapito keskittyy rakenteiden hoitoon, johon kuuluu muun muassa puhtaanapito, vuositarkastukset ja jatkuva tarkkailu, sekä vaurion pahenemista estävät pienet korjaustoimenpiteet. Päivittäinen kunnossapito sisältää myös mahdollisten kuivatuslaitteiden puhdistamisen ja kunnostuksen. (Pulkinen & al. 2018, 380-381.)

Sillan ylläpidolla korjataan siltojen kulumisesta ja ikääntymisestä syntyvät vauriot, säilytetään liikenneverkon ja sen rakenteiden käyttökelpoisuus ja rakenteellinen kunto, sekä turvataan palvelutaso. Ylläpito sisältää yleistarkastukset, erikoistarkastukset, ylläpito- luontoiset korjaukset, rakenteiden ja yksittäisten vaurioiden korjaukset, sillan peruskorjauksen, kuntosyistä toteutettava sillan uusiminen ja sillan purun. (Pulkinen & al. 2018, 381.)

4.2 Sillan vauriot

Sillan vauriot johtuvat erinäisistä rasituksista, jotka voidaan jakaa kolmeen (3) eri kategoriaan. Rasituksien pääaiheuttajat ovat ympäristöolosuhteista johtuvat rasitukset, käytöstä aiheutuvat rasitukset sekä suunnittelu- ja rakentamisvirheiden aiheuttamat vauriot. (Pulkinen & al. 2018, 392.)

Sillat sijaitsevat yleensä ulkoilmassa, joten ne ovat myös alttiina ympäristöolosuhteista johtuvasta rasituksesta. Sillan rakenneosista ei välttämättä kaikki ole alttiina ympäristö-rasitukselle, mutta ainakin osaan sillan rakenneosista kohdistuu voimakasta ympäristö-rasitusta. Merkittävimpiä ympäristörasituksia on tienhoidossa käytetyn suolan sekä meriveden suolapitoisuuden aiheuttamat kloridirasitukset. Vesi eri olomuodoissa aiheuttaa myös paljon erilaisia rasitteita, kuten korkeasta kosteuspitoisuudesta ja kosteuden vaihteluväleistä aiheutuvaa rasitusta. Vesi ja ulkoilman lämpötila aiheuttavat rasituksia, kuten jäätymissulamisreaktiota, veden virtauksesta aiheutuvaa kulumaa ja eroosiota sekä jään liikkumisesta aiheutuvaa rasitusta. Ulkoilmasta tulevat ilmansaasteet ja hiilidioksidi aiheuttavat myös rasitteita. Rasituksista voi todentaa, että ympäristörasituksien pääaiheuttajana toimii vesi ja sen eri olomuodot. (Pulkinen & al. 2018, 392.)

Siltojen käytön takia pitää siltoja kunnossapitää, näistä molemmista aiheutuu sillalle omia rasituksia. Merkittävimpiä käytöstä ja kunnossapidosta aiheutuvia rasituksia ovat liikenteestä aiheutuvat rasitukset, kuten liikennekuorma, liikenteestä aiheutuva kuluminen ja törmäykset. Kunnossapitotyön aikana voi myös aiheutua rasituksia, kuten kulumia ja törmäyksiä. Toisaaltahan puutteellisen kunnossapidonkin takia aiheutuu rasituksia

sillalle. Siltaan kohdistuva ilkivalta on myös merkittävä rasituksen lähde. (Pulkkinen & al. 2018, 392-393.)

Siltojen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa tehdyt virheet aiheuttavat sillalle vaurioitumista ja kiihdyttävät ympäristörasituksen vaikutusta. Suunnittelun ja rakentamisvaiheen aikana tyypillisiä virheitä ovat detaljiratkaisuvirheet, materiaalinvalintavirheet, elementin valmistusvirheet ja työvirheet. Virheet voivat olla esimerkiksi sillan kuivatukseen liittyvien tippuputkien huono sijoittelu tai rakenteen raudoituksen betonipeitteen vähäinen paksuus. (Pulkkinen & al. 2018, 393.)

Betonirakenteiden vaurioitumiseen vaikuttaa moni eri vauriomekanismi yhtäaikaaisesti, kuten epäonnistuneesta valusta johtuva betonin harvalu tai liika ilmattuminen, minkä seurauksena betoni kerää itseensä epäpuhtauksia, kosteutta ja klorideja. Tämän seurauksena betonissa pääsevät etenemään sekä pakkausrapautuma että kloridikorroosio, jotka johtavat huomattavasti nopeammin betonin vaurioitumiseen. Betonirakenteet ovat pääsääntöisesti aina raudoitettuja, josta aiheutuu betonille sekä raudoitukselle ominaisvaurioita. Ominaisvaurioit voidaan jakaa kahteen (2) eri vaurioluokkaan, joita ovat betonin vauriot ja raudoituksen korroosio. (Pulkkinen & al. 2018, 394-395.)

Betonirakenteen vauriot voivat aiheutua fysikaalisesta rasituksesta, mekaanisesta kuormasta ja kemiallisesta tai biologisesta ympäristörasituksesta. Fysikaaliset rasitukset voivat johtua esimerkiksi jäätymisestä ja sulamisesta, lämpötilan muutoksista johtuneista halkeamista tai kosteusliikkeistä. Myös suolarapautuminen ja eroosio ovat fysikaalisia rasituksia. (Pulkkinen & al. 2018, 395.)

Mekaanisia kuormia aiheuttavat esimerkiksi ajoneuvon törmäys siltaan tai ylikuorma. Sil- lan painuminen luo liikehdintää, joka aiheuttaa mekaanista kuormaa. Myös räjähdys aiheuttaa mekaanista kuormaa sillalle. (Pulkkinen & al. 2018, 395.)

Kemialliset tai biologiset ympäristörasitukset, kuten alkalikiviainesreaktio (AKR) aiheuttavat betonissa rasitusta (Pulkkinen & al. 2018, 395).

Raudoituksen korroosiota aiheuttaa suojaavan betonipeitteen ohentuminen, sekä betonipeitteen alkalisuuden vähenemisestä johtuva karbonatisoituminen. Betonipeite voi myös saastua aineista, jotka aiheuttavat korroosiota teräksessä. Saastuminen johtuu yleensä kloridi-ioneista. Mahdolliset sähköiset hajavirrat voivat myös aiheuttaa korroosiota, jos hajavirrat pääsevät johtumaan tai indusoitumaan raudoitukseen läheisistä virtälähteistä. (Pulkkinen & al. 2018, 394.)

Terässiltojen yleisin vaurio on korroosio, jonka pääaiheuttaja on huono pintakäsittely tai pintakäsittelyn heikkeneminen. Korroosio esiintyy ensin pistekorrosiona, jonka jälkeen se etenee ajan saatossa kuoppamaiseen syöpyämään eli kuopparuosteeseen ja lopuksi puhkiruostumiseksi. Korroosioaurioita terässilloissa esiintyy varsinkin paikoissa, jossa maa-aines peittää rakenteen tai sen päälle valuu jatkuvasti kloridipitoista vettä. (Liikennevirasto 2010a, 11.)

4.3 Sillantarkastustoiminta

Siltojen ylläpitoon liittyvään tarkastustoimintaan kuuluvia tarkastuksia ovat vuositarkastus, yleistarkastus ja laajennettu yleistarkastus, erikoistarkastus ja tehostettu tarkkailu. Erilaisista tarkastuksista saadut tiedot kerätään Taitorakennerekisteriin.

4.3.1 Taitorakennerekisteri

Sillantarkastustoiminnan alustana toimii Taitorakennerekisteri, joka on Väyläviraston taitorakenteiden omaisuushallintajärjestelmä. Taitorakennerekisteri otettiin käyttöön helmikuussa 2017, jolloin se korvasi aiemmin käytössä olevan Siltarekisterin. Taitorakennerekisteri sisältää Väylän hallinnollisten ja rakenteellisten tietojen lisäksi muun muassa vaurio- ja kuntotietoja silloista, tunneleista, merimerkeistä ja tie- ja yhteysaluslaitureista. Taitorakennerekisterissä on myös tietoa rautatierummuista ja kanavarakenteista. (Väylävirasto 2021a.)

Taitorakennerekisterin pääkäyttäjät ovat Väyläviraston, ELY-keskuksien ja kuntien asiantuntijat, sekä palveluntuottajat. Jotta taitorakennerekisterin tietoja voi ylläpitää ja muokata, tulee suorittaa siihen liittyvä koulutus hyväksytysti. Taitorakennerekisteri toimii taitorakenteiden tiedon pääjärjestelmänä, jonka takia on huolehdittava taitorakenteiden tietosisällön oikeellisuudesta ja ajantasaisuudesta järjestelmässä. (Väylävirasto 2021a.)

Taitorakennerekisterin sisältämä tietosisältö toimii taitorakennetiedon välittäjänä muihin järjestelmiin. Etuutena nopeasti päivittyvästä tietosisällöstä on sen kyky vähentää hukkaa muun muassa tarkastusten ohjelmoinnissa ja erikoiskuljetusten reitityksessä. Taitorakennerekisterin tavoitteena on tulevaisuudessa väylän käyttäjien informointi esimerkiksi korjaamisesta tai muista väliaikaisista häiriöistä. (Väylävirasto 2021a.)

4.3.2 Vuositarkastus

Vuositarkastus on erillinen tarkastus. Vuositarkastuksen tarkoituksena on havaita liikenneturvallisuutta vaarantavat tai liikenteen sujuvuutta haittaavat tekijät. Sillan vuositarkastuksessa huomioidaan myös sen hoito- ja kunnostustoimenpiteet. Vuositarkastukset sisältyvät yleensä alueellisiin hoitourakoihin ja ne tehdään siltojen hoidon ja ylläpidon laatuvaatimusten mukaisesti. Vuositarkastuksessa havaittavat raportoivat vauriot tai hoidon puutteet tulee raportoida sillan vuositarkastuslomakkeella. Kiireelliset liikenneturvallisuuteen vaikuttavat vauriot tulee ilmoittaa tilaajalle välittömästi. Vuositarkastus täydentää sillan yleistarkastusta. (Pulkinen & al. 2018, 382.)

4.3.3 Yleistarkastus ja laajennettu yleistarkastus

Yleistarkastuksen avulla seurataan sillan kunnan kehittymistä koko sen käyttöajan ajan. Yleistarkastus toteutetaan silmämääräisen tarkastuksena, mutta kattaa enemmän kuin vuositarkastus. Yleistarkastus toteutetaan pääsääntöisesti viiden vuoden välein, mutta sillan kunnosta riippuen tarkastus voidaan tehdä 3-10 vuoden välein. Yleistarkastuksen toteuttaja arvioi seuraavan tarkastuksen ajankohdan sillan iän ja kunnan perusteella. Yleistarkastuksessa sillan rakenteet tarkastetaan systemaattisesti, sekä kirjataan ja päivitetään sillan kunto- ja vauriotiedot Taitorakennerekisteriin. Lisäksi yleistarkastuksessa tarkistetaan ja täydennetään perustietoja sillasta. (Pulkinen & al. 2018, 382.)

Laajennettu yleistarkastus sisältää yleistarkastuksen lisäksi näytteidenottoa tai muita tarkastusta tukevia toimenpiteitä. Näytteiden ja toimenpiteiden avulla selvitetään riittävän kattava tieto sillan kunnosta. Laajennettu yleistarkastus tehdään pääsääntöisesti erillisten rakennekohtaisten ohjeiden mukaisesti, esimerkiksi teräs- ja köysisilloille on julkaistu omat ohjeet Väyläviraston toimesta. Yleisimmin laajennettu yleistarkastus tehdään suurille vesistöisilloille, joissa siltaa ei pystytä tarkastamaan kunnolla rannalta tai veneestä kiikaroimalla, jolloin käytetään siltakurkea tai muita tarkastusten apuvälineitä. (Pulkinen & al. 2018, 382-383.)

4.3.4 Erikoistarkastus

Erikoistarkastusta käytetään, kun tarvitaan tarkempaa tietoa rakenteiden kunnosta korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Erikoistarkastuksessa käytetään silmämääräisen tarkastuksen lisäksi laboratoriotutkimuksia, joiden avulla saadaan rakenteiden kunnosta tarkempaa tietoa. (Pulkinen & al. 2018, 383.)

Sillan erikoistarkastukseen ryhdytään yleensä, jos yleistarkastuksessa huomataan seikkoja, jotka vaativat erityistä asiantuntemusta, ammattitaitoa, tutkimusvälineitä tai näytteidenottoa. Erikoistarkastuksella määritetään myös sillan korjaus- tai uusimistarve, sekä korjauksen ajoitus ja kannattavuus. Korjaussuunnitelman tukemiseksi erikoistarkastus antaa luotettavan tiedon rakenteiden vaurioista, rakennemitoista ja sillan kantavuudesta, sekä rakenteiden kestoikään ja korjaustoimenpiteiden onnistumiseen vaikuttavista asioista. Terässilloissa erikoistarkastus tehdään aina tarkistettaessa teräsrakenteiden ja niiden liitosten, kuten ruuvien, niittien ja hitsausliitosten kuntoa erikoisvälineillä. Erikoistarkastus tulee kyseeseen myös tutkittaessa harvinaisia ilmastollisia, vesistöllisiä ja geoteknisiä vaikutuksia, sekä sillan vedenalaisia rakenteita. Lisäksi erikoistarkastukselle on aihetta, kun tutkitaan keskitetyn valvonnan alaisena olevaa suurta siltaa, missä mahdolliset kuntovauriot ja muodonmuutokset havaitaan. (Pulkinen & al. 2018, 383.) Erikoistarkastukseen liittyviä yleisimpiä kokeita ja mittauksia betonirakenteelle on käsitelty luvussa 4.3.6.

4.3.5 Tehostettu tarkkailu

Tehostetulla tarkkailulla mahdollistetaan sillan tai sen rakenneosan laskennallisen kantavuuden ylittäminen ajoneuvoasetuksen salliman kuormituksen tai sillan painorajoituksen aiheuttamiin rasituksiin asti. Tehostettua tarkkailua käytetään yleensä silloin kun silta tai osa siitä halutaan käyttää loppuun, jolloin sillan käyttöikä lyhenee, mutta sillalle aiheutuvan hyötykuorman lisäyksen myötä saadaan aikaiseksi paras mahdollinen kansantaloudellinen hyöty sillasta. (Pulkinen & al. 2018, 383.)

Silta voidaan asettaa tehostettuun tarkkailuun silloin, kun sillan painorajoitus poistetaan ilman, että sen rakennetta vahvistetaan. Tehostettua tarkkailua käytetään myös, kun sillan vauriot vaikuttavat sen kantavuuteen ja jos sillan kunto heikentyy kriittiseksi. Lisäksi tehostettua tarkkailua voidaan käyttää yksittäisten, tietyn ajan ominaismenetelmin

rakennettujen siltojen ikäkäyttäytymisen seurantaan. Maantiesillan tehostetusta tarkkailusta päättää ELY-keskus ja rautatiesiltojen päätöksestä vastaa Väylävirasto. Sillan vauriot ja muut puutteet ilmenevät joko yleistarkastuksessa tai erikoistarkastuksessa ja mahdollisissa laskennallisissa tarkasteluissa, jonka jälkeen silta määrätään tehostettuun tarkkailuun. (Pulkinen & al. 2018, 383.)

Tehostettu tarkkailu tehdään tietyin aikaväleihin ja jos mahdollisia muodonmuutoksia tai muuten huolestuttavia vaurioita ilmenee, tulee rakenne tarkastaa 4-6 kertaa vuodessa. Muutoin silta tarkastetaan aluksi kaksi kertaa vuodessa ja kun vaurion etenemisestä on saatu tarpeeksi tietoa, voidaan siirtyä pidempään tarkastusväliin, mutta vähintään kerran vuodessa. (Pulkinen & al. 2018, 383-384.)

4.3.6 Erikoistarkastuksen kokeet ja mittaukset

Betonipeite

Betonipeite selvitetään rakenneosasta mittaamalla betonipeitemittarilla, joka ilmaisee betonipeitteen paksuuden, sekä raudoitustankojen sijainnin. Jokainen rakenneosa mitataan erikseen, jotta saadaan kattava yleiskuva betonipeitepaksuudesta. Saaduista mittauksista on eriteltävä rakenteiden erilaiset osat. Betonipeitemittauksia on hyvä verrata esimerkiksi työmaalla mitattuun kohtaan tehdystä aukipiikkauksesta. (Liikennevirasto 2018b, 12.)

Halkeamat

Betonipintojen halkeamat kirjataan ja kartoitetaan rakenneosittain. Halkeamien luokittelu tehdään *Sillantarkastuskäsikirjan* taulukon 2 mukaisesti. (Väylävirasto 2020a) Raporttiin kirjataan halkeamien aiheuttajat, suunnat, pituudet, leveydet ja syvyydet. Halkeamien leveyden voi määrittää esimerkiksi luupilla tai rakotulkilla. Syvien halkeamien vaikutussyvyys määritetään esimerkiksi timanttiporaamalla näytepala halkeaman kohdalta tai syvyyden ilmaisemalla mittalaitteella. (Liikennevirasto 2018b, 12.)

Karbonatisoitumissyvyys

Karbonisoitumissyvyys määritetään halutusta rakenteesta joko aukipiikkauskohdasta tai poraamalla lieriönäyte rakenteesta. Lieriönäytteestä saadaan tarkempi ja luotettavampi kuvaus betonin karbonisoitumissyvyydestä. Karbonisoitumissyvyyden voi mitata työmaalla suoraan lieriöstä tai halkaistulta pinnalta laboratoriossa. Rakenne tai näyte käsitellään pH-indikaattorilla, joka muuttaa karbonisoitumattoman betonin värin

esimerkiksi punaiseksi. Indikaattori voi näyttää karbonatisoitumattoman betonin eri värisenä, väri riippuu pH-indikaattorista. Näytteen tai rakenteen käsittelyn jälkeen mitataan mahdollisen karbonatisoituneen kerroksen paksuus. (Liikennevirasto 2018b, 12.)

Kloridipitoisuus

Kloridipitoisuus määritetään laboratoriossa rakenteesta poratusta jauhenäytteestä tai koekappaleesta murskaamalla. Kloridipitoisuuden määrittämisen tarkoituksena on selvittää näytekohdan kloridipitoisuuden profiili, jonka avulla arvioidaan kloridien tunkeumasyvyyttä ja sen vaikutusta rakenteen käyttöikään. Kloridipitoisuus määritetään standardin SFS-EN 14629 mukaan. (Liikennevirasto 2018b, 12.)

Kloridit mitataan aina rakenneosittain kohdista, joissa on suurin suolarasitus. Kloridinäytteitä otettaessa on huomioitava sillan kaltevuus, liikenteen suunta, meriveden vaikutus rakenteeseen ja mahdolliset vesivuotovauriot. Kloridipitoisuuden tunkeumasyvyyttä määritetään näytesarjasta, joka sisältää kolmelta eri syvyydeltä otettua jauhenäytettä. Näytesarjan syvyydet otetaan kahden senttimetrin välein, niin että näytekohdasta saadaan näytteet 0-20, 20-40 ja 40-60 millimetrin syvyydeltä ulkopinnasta. (Liikennevirasto 2018b, 12-13.)

Tartuntavetolujuus

Sillan betonin tartuntavetolujuutta tutkitaan rakenneosittain kohdista, jotka ovat voimakkaimmin alttiina pakkausrasitukselle. Vetolujuutta varten rakenteesta porataan lieriönäyte, joka tutkitaan vetokokeella standardin SFS 5445 mukaan. Poratun lieriönäytteen halkaisija on pääsääntöisesti vähintään 70 millimetriä. Poikkeuksena ovat hyvin tiheästi raudoitettut rakenteet, joissa voidaan käyttää pienennettyä halkaisijaa, joka ei kuitenkaan saa olla alle 50 millimetrin. Betonin vetolujuuden tulisi ylittää mittaustulos $1,5 \text{ N/mm}^2$. Vetolujuuden raportoinnissa tulee ilmoittaa vetolujuuden ja murtosyvyyden lisäksi murtotapa ja syy. (Liikennevirasto 2018b, 13.)

Ohuthietutkimus

Ohuthietutkimuksella tarkoitetaan optista mikrorakennetutkimusta, jolla selvitetään betonin laatu ja vaurioiden syyt. Ohuthietutkimus tehdään poranäytteistä laboratoriossa standardin ASTM C856 mukaisesti. Poranäytteen pituus täytyy olla vähintään 76 millimetriä, sillä ohuthietutkimus tehdään syvyydeltä 0-76 millimetriä. Ohuthietutkimuksella tutkitaan myös betonin alkalikiviainesreaktio. Alkalikiviainesreaktion tutkimusta varten täytyy näyte ottaa vähintään 160 millimetrin pituisena. (Liikennevirasto 2018b, 13-14.)

Alkalikiviainesreaktio

Betonissa tapahtuvalla alkalikiviainesreaktiolla on kolme erityyppistä reaktiota, jotka ovat alkalipiioksidireaktio, alkalikarbonaattireaktio ja alkalisilikaattireaktio. Alkalikiviainesreaktio tapahtuu tiettyjen kiviaineksien mineraalien ja sementtikiven huokosvedessä olevien alkalien ja hydroksyyli-ionien välillä. Yleisin reaktioista on alkalipiioksidireaktio, joka aiheuttaa betonissa kemiallisen reaktion, joka voi aiheuttaa betonin heikkenemistä. Alkalipiioksidireaktio tuottaa betoniin alkaligeeliä, joka reagoidessaan veden kanssa alkaa paisua. Paisuminen aiheuttaa betonissa sisäisiä jännityksiä, joka aiheuttaa betoniin halkeamia ja rapautumista. (Pyy & al. 2012, 5-6.)

Puristuslujuus

Betonin todellinen puristuslujuus todetaan poratusta lieriönäytteestä, jonka halkaisija on vähintään 80 millimetriä. Yhdestä sillasta otettujen puristuslujuusnäytteiden tulee olla samankokoisia. Puristuslujuusnäytteiden irrotus ja testaus laboratoriossa tulee tehdä standardien SFS-EN 12504-1 ja SFS-EN 12390-1 mukaisesti. (Liikennevirasto 2018b, 14.)

4.4 Vauriotyyppi ja vaurioluokka

Vauriotyypit on määritetty valmiiksi Taitorakennerekisterissä olevaan luetteloon. Kirjattaessa vaurioita ylös, on ensin määritettävä vauriotyyppi luettelosta. Vauriotyypiksi valitaan vauriota parhaiten kuvaava termi, joka sopii rakenneosaan ja materiaaliin. (Väylävirasto 2020a, 24.)

Vaurioluokka määritetään pääsääntöisesti *Sillantarkastuskäsikirjan* (Väylävirasto 2020a) mukaisesti. Käsikirjassa on esitetty taulukoita, joissa on esitelty eri rakenteiden ja materiaalien tyypillisimmät vauriot ja niiden kuvaukset. Taulukoiden avulla vauriot voidaan luokitella vaurioluokkiin. Vaurioluokat jaotellaan yhdestä neljään (1-4) vaurion vakavuuden, korjaustarpeen ja seurausvaikutusten perusteella. Jos käsikirjassa ei ole laadittu vaurioluokitustaulukkoa tietylle vauriolle, on se luokiteltava vaurioluokkaan samalla tavalla kuin muutkin vauriot. (Taulukko 1) (Väylävirasto 2020a, 24-25.)

Taulukko 1. Päärakenneosan kuntoarvio *Sillantarkastuskäsikirjan* mukaisesti (Väylävirasto 2020a, 37).

| Päärakenneosan kuntoarvio | |
|----------------------------------|---|
| 0 | Uusi tai lähes uuden veroinen päärakenneosa. |
| 1 | Hyväkuntoinen päärakenneosa, normaalia kulumista ja ikääntymistä, mutta toimii hyvin. Ei varsinaisia vaurioita tai vauriot ovat lieviä tai laajuudeltaan vähäisiä. |
| 2 | Rakenteissa on selvästi havaittavia puutteita ja vaurioita, jotka eivät kuitenkaan vielä rajoita rakenteiden normaalia käyttöä. Rakenneosan korjaamista esitetään yleensä ennakoivana tai paikallisena toimenpiteenä. |
| 3 | Selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita. |
| 4 | Vauriot heikentävät jo selvästi rakenneosan kantavuutta ja/tai vaarantavat liikenneturvallisuutta. Rakenneosa on välttämättä korjattava tai uusittava. |

Sillan kuntoarvio arvostellaan kunkin päärakenneosan ja koko sillan yleiskuntona. Arvostelu asteikkona käytetään luokitusta nolasta neljään (0-4), jossa nolla (0) on uuden veroinen ja neljä (4) erittäin huono. Erikoistapauksissa voidaan käyttää myös kuntoarviota yhdeksän (9), jos rakenneosaa ei pysty tarkastamaan tai mitenkään arvioimaan. (Taulukko 2) (Väylävirasto 2020a, 36-37.)

Taulukko 2. Koko sillan kuntoarvio *Sillantarkastuskäsikirjan* mukaisesti (Väylävirasto 2020a 37).

| Koko sillan kuntoarvio | |
|-------------------------------|--|
| 0 | Uusi tai lähes uuden veroinen silta. |
| 1 | Hyväkuntoinen silta; normaalia kulumista ja ikääntymistä, mutta toimii hyvin. Sillan yleiskunto voi olla 1, vaikka jonkin päärakenneosan kuntoarvio on 2 tai 3. |
| 2 | Tyydyttäväkuntoinen silta; on jo puutteita ja vaurioita, kuten rapautumista tai ruostumista. Sillan rakenneosakohtaisia korjauksia tai koko sillan erikoistarkastusta voidaan harkita tai korjausta voidaan vielä siirtää. |

(jatkuu)

Taulukko 2 (jatkuu)

| | |
|---|--|
| 3 | Huonokuntoinen silta; useita selvästi havaittavia korjausta vaativia vaurioita tai jokin yksittäinen kokonaisuuden kannalta vakava vaurio. Erikoistarkastuksen ja peruskorjauksen tarve on ilmeinen. |
| 4 | Erittäin huonokuntoinen silta; silta on täydellisen peruskorjauksen tai uusimisen tarpeessa. Kunto ei ole hyväksyttävissä. |

4.5 Laadunvarmistustoimet

Siltojen laatu muodostuu monesta eri kokonaisuudesta ja eri vaiheiden aikana tehdyistä päätöksistä, sekä laadunvarmistus- ja valvontamenetelmistä. Rakenteiden suunnittelu- perusteen yhtenä olettamuksena on käytetty riittävää valvontaa suunnittelutoimistoissa, tuotantolaitoksissa ja työmailla, sekä riittävää laadunvalvontaa työtä suorittaessa. (Pulkinen & al. 2018, 110.)

Laadun perusvaatimusten täyttymiseksi on tärkeää laatia valvontamenettelyt suunnitella, tuotantoa, toteutusta ja käyttöä varten. Rakenteellista luotettavuutta tuodaan suunnittelemalla rakenteet voimassa olevien standardien ja ohjeiden mukaisesti. Luotettavuutta lisää myös kohteen toteuttaminen asianmukaisesti ja käyttämällä laadittuja laadunhallintatoimenpiteitä. Rakenteelle asetettuja vaatimuksia ja suunniteltaessa tehtyjä oletuksia varten tarvitaan asianmukaisia laadunhallintatoimenpiteitä. Näitä toimenpiteitä tilaajan kannalta ovat laatuvaatimusten määrittely ja valvontatoimet suunnittelu-, toteutus-, käyttö- ja ylläpitovaiheissa. (Pulkinen & al. 2018, 110.)

Siltojen ylläpidon kannalta säännölliset tarkastukset ovat sen perusta. Ei ole kuitenkaan riittävää tuottaa suurta määrää tarkastustietoa, jos ei tiedetä tarkastuksen laatua, luotettavuutta tai yhteisiä tavoitteita. Tarkastustoiminnan toimivuuden osalta on tilaajan tunnettava tarkastustiedon tuottamisprosessit, luotettavuus ja laatu. Tarkastuksen tekijän on tunnettava tarkastustiedon laatutaso ja sille asetetut laatuvaatimukset. Käyttäjän tulee myös käyttää soveltuvia menetelmiä tarkastusprosessin hallintaan ja todentaa, että tarkastustiedon laatuvaatimukset täyttyvät ja pystytään jatkossakin täyttämään. (Pulkinen & al. 2018, 403-404.)

Yleistarkastusten tilaajan on varmistettava kaikkien tarkastajien ammattitaito, sekä yhteiset arviointikriteerit tilauskohtaisilla laadunmittauksilla. Yksi laadunmittauksista on

laadunmittauspäivä, johon kaikki nimetyt yleistarkastusten suorittajat osallistuvat tasapuolisesti. Laadunmittauspäivän yhteydessä tehtyjen sillantarkastusten perusteella sillantarkastajille määritetään henkilökohtaiset laatupisteet, joita käytetään hyväksi sillantarkastustarjousten vertailussa. (Liikennevirasto 2014b, 11.)

4.6 Laadunvarmistustoimenpiteet

Tarkastusten laadunvarmistus

Siltojen yleistarkastuksessa laadunmittauksena toimii myös yleistarkastusten vertailu. Vertailu koostuu konsulttitoimiston tekemään yleistarkastukseen valitsemalleen sillalle ja kahdesta (2) tai useammasta muiden tarkastajien tekemistä kontrollitarkastuksista samalle sillalle. Laadunmittauksen tarkoitus on vertailla alkuperäistä tarkastusta muiden tarkastajien tekemiin huomioihin. Oleellisin osa mittauksessa on, että tarkastaja pystyy löytämään sillan merkittävimmät vauriot ja määrittämään oikein niiden vaurioluokat. Tarkastajan tulee myös määrittää korjauksen kiireellisyys, korjaustoimenpiteet ja mahdolliset kustannukset oikein. Tuloksia tarkastellaan vauriopisteiden perusteella, joita saadaan päärakennekohtaisten vaurioiden ja sillan vauriopisteiden summan perusteella. Vauriopisteet perustuvat sillantarkastajan antamiin sillan vaurio- ja kuntotietoihin. (Pulkinen & al. 2018, 405.)

Korjaustyön laadunvarmistus

Tarkastuksessa havaittujen vaurioiden korjaamisessa laadunvarmistuksen tavoitteina on korjatun rakenteen soveltuminen vanhaan rakenteeseen käyttötarkoitukseltaan ja ominaisuuksiltaan, sekä riittävän hyvän tartunnan tai kiinnityksen saaminen vanhan ja uuden rakenteen välille. Tavoitteiden saavuttamiseksi panostetaan suunnitteluun, työnopastukseen ja työnaikaisiin kokeisiin. (Pulkinen & al. 2018, 481.)

Korjaustyötä varten laaditaan korjaussuunnitelma, siltakohtainen työselitys ja laatuvaatimukset. Väyläviraston laatimia ja ylläpitämiä siltarakenteiden korjausohjeita käytetään hyödyksi suunniteltaessa ja korjaustyötä tehdessä. (Pulkinen & al. 2018, 482.) SILKO-ohjeista kerrotaan lisää luvussa 4.7.3.

Isoissa korjaustyöissä laadunvarmistustoimenpiteet on laadittu korjaussuunnitelmaan, jossa toimet on ilmoitettu määrin tai työvuoroihin suhteutettuna. Työnaikaisten laadunvarmistustoimenpiteiden tarkoituksena on vaurioituneen ja käyttöön soveltumattoman

materiaalin poistaminen, tartuntapinnan tai kiinnitysosan oikea käsittely. Tarkoituksia ovat myös jälkihoidon onnistuminen ja materiaalien säilytys toimittajan ohjeen mukaan. (Taulukko 3) (Pulkinen & al. 2018, 482.)

Taulukko 3. Laadunvarmistusmittaukset ja niiden tarkoitus (Valokoski 2020, 33-44; Liikennevirasto 2017b, 10-53).

| Laadunvarmistusmittaus | Tarkoitus |
|--------------------------------------|---|
| Koputtelukoe | Koputtelukokeen tarkoituksena on varmistaa korjatun betonin tartunta vanhaan betoniin tai vastaavasti löytää betonista rapautuneita tai vaurioituneita kohtia. |
| Tartuntalujuus | Tartuntalujuuskokeella varmistetaan korjatun betonin ja vanhan betonin välisen tartunnan riittävyys. |
| Karbonatisoituminen | Karbonatisoituminen tutkitaan betonista pH-indikaattorin avulla, joka värjää karbonisoitumattoman betonin esimerkiksi punaiseksi. Jos betoni ei värjäydy on se karbonisoitunut. |
| Kloridipitoisuus | Kloridipitoisuuskokeen varmistetaan, ettei korjausalustassa enää klorideja. Kloridipitoisuus ei saa ylittää betonissa arvoa 0,07 m-% ja raudoituksen kohdalla 0,02 m-%. |
| Puristuslujuus | Puristuslujuuskoe tehdään varmistaakseen betonirakenteen puristuslujuuden riittävyys. |
| Eristysalustan absoluuttinen kosteus | Absoluuttinen kosteus mitataan betonikannen eristysalustan soveltuvuuden varmistamiseksi. Absoluuttista kosteutta varten kansilaatasta porataan vähintään kolmesta (3) eri kohdasta kolme (3) näytettä. |
| Eristysalustan makrokarkeus | Makrokarkeus mitataan varmistaakseen eristysalustan soveltuvuus. Karkeus mitataan lasihelmimäärän, levitetyn helmi alueen keskimääräisen halkaisijan ja peitetyn alueen pinta-alan avulla. |

(jatkuu)

Taulukko 3 (jatkuu)

| | |
|-------------------------|--|
| Kalvo- ja kerrospaksuus | Kalvo- ja kerrospaksuuksia mitataan varmistaakseen sen riittävän paksuuden erilaisilla mittauslaitteilla. Tunkeutumissyvyyttä tutkitaan poranäytteestä. |
| Halkeaman täytyminen | Halkeamien imeytyksen ja injektoinnin onnistuminen varmistetaan lieriönäytteen avulla. Lieriönäytteestä katsotaan imeytys- tai injektointiaineen tunkeumasyyvyys ja varmistetaan täyttääkö se ehdot. |
| Betonipeite | Betonipeitemittarilla tarkastetaan betonipeitteen riittävä paksuus. |

4.7 Sillankorjaus

Sillan korjaaminen, kantavuuden määrittäminen ja vahventaminen ovat oleellinen osa sillan ylläpitoa. Näiden toimenpiteiden tavoitteena on varmistaa sillan kunto- ja palvelutaso siten, että sillan rakenteet pysyvät toimivina ja liikenneturvallisuus pystytään varmistamaan siltapaikalla. Korjaustoimenpiteiden oikea ajoitus ja laajuus varmistavat, että siltaa on turvallista käyttää, sekä sillan rakenteellinen kestävyys on riittävä. Sillan korjaamisen avulla hidastetaan mahdollisten rakenteeseen syntyneiden vaurioiden eteneminen. Mahdollisten muutosten ja kapasiteetin kasvattamistarpeiden takia aiheutuu sillalle myös muutostarpeita. Muutostarpeiden takia on pääsääntöisesti tarpeellista leventää siltaa, mikä taas muuttaa sillan rakenteellista toimintatapaa. (Pulkkinen & al. 2018, 441.)

4.7.1 Sillan kantavuus

Sillan oleellisin toimintatarkoitus on sen kantavuus siltaa ylittävien kuormien suhteen. Ongelmana vanhemmissa silloissa on, että ajoneuvoliikenteen sekä rautatieliikenteen painot ovat kasvaneet, minkä vuoksi siltojen mitoituskuormat eivät ole kaikilta osilta enää riittäviä. Kun siltaa korjataan, on silta suunniteltava niin, että silta kestää tulevaisuudessa siihen kohdistuvat tie-, rautatie- tai kevyen liikenteen aiheuttamat rasitukset sekä muut rakenteisiin kohdistuvat kuormat. Tästä syystä siltojen kantavuuden arviointi ja huomiointi ovat tärkeä osa sillan korjaushanketta. (Pulkkinen & al. 2018, 441.)

4.7.2 Korjaustyypit

Sillankorjaustyypit voidaan jakaa neljään (4) eri osaan, jotka ovat yksittäisten vaurioiden korjaus, peruskorjaus, rakenneosan uusiminen ja rakenteellisen toiminnan muuttaminen.

Yksittäisten vaurioiden korjaus

Yksittäisten vaurioiden korjaamisia, jotka liittyvät sillan hoitoon ja ylläpitoon voidaan tehdä yleisohjeiden, rakenteen kunnossapitäjän käyttöön hyväksymien korjausohjeiden ja SILKO-ohjeiden mukaisesti. Siltojen korjaamista varten tarkoitettut tuote- ja laatuvaatimukset, sekä korjausmenetelmät ja -tuotteet ovat esitetty Väyläviraston sillankorjausohjeissa, joista käytetään lyhennettä SILKO-ohjeet. (Pulkkinen & al. 2018, 444.) Sillankorjausohjeita käsitellään tarkemmin luvussa 4.7.3.

Korjaustoimenpiteet on tehtävä suunnitelmallisesti, sekä toimenpiteet ja siihen liittyvä laadunvarmistus on dokumentoitava. Yksittäisiä vaurioita voidaan korjata ilman erikoistarkastusta ja korjaussuunnitelmaa. Yksittäisten vaurioiden korjaamisessa on huomioitava, että voidaan varmistua, ettei vaurioituminen kiihdy korjaustoimenpiteillä, siltarakenne on hyvä kuntoinen eikä tarvitse peruskorjausta. Jos vaurio uhkaa siltapaikan turvallisuutta ja liikenneturvallisuutta, on korjaustoimenpide tehtävä välittömästi. Lisäksi yksittäistä rakennetta korjattaessa on otettava huomioon myös, että korjaustoimenpiteillä pysäytetään laajempi vaurioituminen tai hidastetaan sen etenemistä, sekä varmistetaan riittävä laadunvarmistus korjaustoimenpiteen onnistumiseksi. Jos vaurio liittyy sillan rakenteen tai rakenneosan kantavuuteen on korjaus tehtävä erikoistarkastuksen perusteella laaditun korjaussuunnitelman mukaisesti. (Pulkkinen & al. 2018, 444.)

Peruskorjaus

Sillan peruskorjauksella tarkoitetaan kattavaa korjaustoimenpidettä, joka toteutetaan erillisen kohdekohtaisen korjaussuunnitelman mukaisesti. Korjaussuunnitelma perustuu sillalle tehtyyn erikoistarkastukseen ja korjaussuunnitelman on noudatettava soveltuvin osin Väyläviraston sillankorjausohjeita (SILKO), sekä muita tilaajakohtaisia ohjeita tai laatuvaatimuksia. Sillan korjaustyön toteutuksessa noudatetaan *Infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia* (InfraRYL), sekä muita korjaussuunnitelmassa esitettyjä laatuvaatimuksia. (Pulkkinen & al. 2018, 444.)

Korjaustoimenpiteiden suunnittelun on pohjauduttava havaittuihin vaurioihin ja rakenteen kuntoon. Sillan päärakennemateriaalien vauriomekanismeille on laadittu erilaisia

korjaustapoja. Yksityiskohtaisempia sekä taitorakennekohtaisia korjausohjeita voi katsoa sillankorjausohjeista (SILKO). (Pulkinen & al. 2018, 444.)

Betonirakenteiden vaurioiden ja raudoituksen korroosiovaurioiden korjausperiaatteet on esitetty standardissa SFS-EN 1504-9. Taulukossa 4 on esitetty betonin tai betonirakenteiden vaurioihin liittyvät korjausperiaatteet ja -menetelmät. Taulukossa 5 on esitetty raudoituksen korroosion vaurioihin liittyvät korjausperiaatteet ja -menetelmät. (SFS-EN 1504-9 2009, 11-12.)

Taulukko 4. Betonirakenteiden korjausperiaatteet ja -menetelmät SFS-EN 1504 mukaisesti, sekä sulkeissa mahdollinen standardin SFS-EN 1504 osa (SFS-EN 1504-9 2009, 11-12).

| | |
|----------------------------|---|
| Betonipinnan tiivistäminen | <ol style="list-style-type: none"> 1. Vettähylyvä impregnointi (SFS-EN 1504-2) 2. Impregnointi (SFS-EN 1504-2) 3. Pinnoittaminen (SFS-EN 1504-2) 4. Pintahalkeamien sulkeminen 5. Halkeamien täyttö (SFS-EN 1504-5) 6. Halkeamien ohjaaminen saumoihin 7. Ulkopuolisten levyjen asentaminen 8. Vedeneristys |
| Betonin kosteuden säätely | <ol style="list-style-type: none"> 1. Vettähylyvä impregnointi (SFS-EN 1504-2) 2. Impregnointi (SFS-EN 1504-2) 3. Pinnoittaminen (SFS-EN 1504-2) 4. Ulkopuolisten levyjen asentaminen 5. Sähkökemiallinen käsittely |
| Betonin korjaus | <ol style="list-style-type: none"> 1. Käsintehdävä laastipaikkaus (SFS-EN 1504-3) 2. Valaminen uudelleen betonilla tai laastilla (SFS-EN 1504-3) 3. Ruiskubetonointi (SFS-EN 1504-3) 4. Elementtien uusiminen |

(jatkuu)

Taulukko 4 (jatkuu)

| | |
|---|--|
| Betonirakenteen vahventaminen | <ol style="list-style-type: none"> 1. Raudoituksen tai ulkopuolisten raudoitteiden lisääminen tai uusiminen. 2. Raudoitustankojen asentaminen betoniin tehtyihin varauksiin tai porattuihin reikiin (SFS-EN 1504-6) 3. Vahventaminen levyillä (SFS-EN 1504-4) 4. Laastin tai betonin lisääminen (SFS-EN 1504-3,4) 5. Halkeamien, kolojen tai rakojen injektointi (SFS-EN 1504-5) 6. Halkeamien, kolojen tai rakojen täyttö (SFS-EN 1504-5) 7. Esijännitys – (jälkijännitys) |
| Vastustuskyvyn lisääminen fyysisiä rasituksia vastaan | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pinnoittaminen (SFS-EN 1504-2) 2. Impregnointi (SFS-EN 1504-2) 3. Laastin tai betonin lisääminen (SFS-EN 1504-3) |
| Kemikaalienkestävyys | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pinnoittaminen (SFS-EN 1504-2) 2. Impregnointi (SFS-EN 1504-2) 3. Laastin tai betonin lisääminen (SFS-EN 1504-3) |

Taulukko 5. Raudoituksen korroosioon liittyvät korjausperiaatteet ja -menetelmät SFS-EN 1504 mukaisesti, sekä sulkeissa mahdollinen standardin SFS-EN 1504 osa (SFS-EN 1504-9 2009, 12).

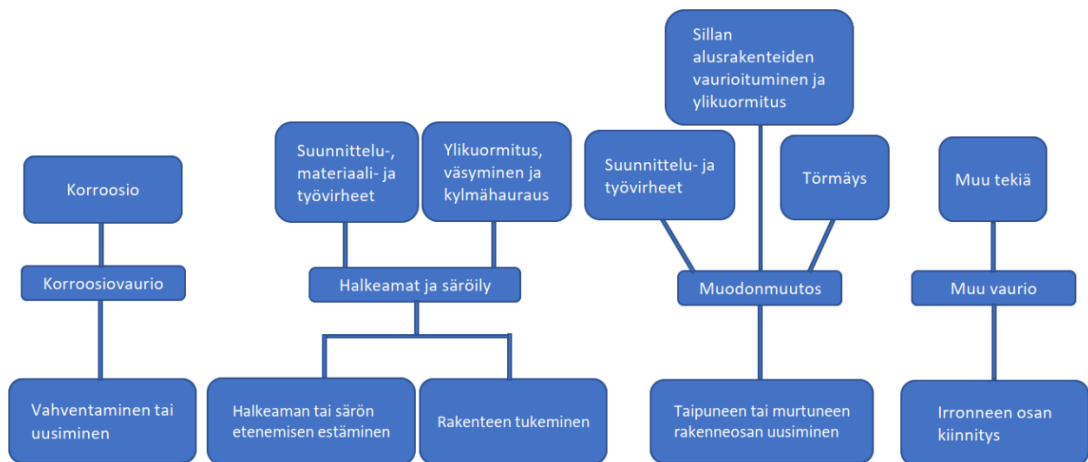
| | |
|--|--|
| Passiivisuuden säilyttäminen tai palauttaminen | <ol style="list-style-type: none"> 1. Betonipeitteen paksuntaminen laastilla tai betonilla (SFS-EN 1504-3) 2. Saastuneen tai karbonatisoituneen betonin korvaaminen uudella (SFS-EN 1504-3) 3. Karbonatisoituneen betonin sähkökemiallinen uudelleenaktivointi 4. Karbonatisoituneen betonin uudelleenalkalointi diffuusion avulla 5. Sähkökemiallinen kloridien poisto |
|--|--|

(jatkuu)

Taulukko 5 (jatkuu)

| | |
|---------------------------------------|---|
| Betonin ominaisvastuksen parantaminen | <ol style="list-style-type: none"> 1. Vettähylykivä impregnointi (SFS-EN 1504-2) 2. Impregnointi (SFS-EN 1504-2) 3. Pinnoittaminen (SFS-EN 1504-2) |
| Katodinen säätely | 1. Happipitoisuuden rajoittaminen (katodilla) kyllästämällä tai pintakäsittelyllä. |
| Katodinen suojaus | 1. Sähköisen potentiaalın hyväksikäyttö |
| Anodisten alueiden säätely | <ol style="list-style-type: none"> 1. Raudituksen suojaus aktiivisilla pinnoitteilla (SFS-EN 1504-7) 2. Raudituksen käsittely suojapinnoitteilla (SFS-EN 1504-7) 3. Betonin inhibointi |

Metallirakenteiden yleisimpiä vaurion aiheuttajia, vaurioita ja korjausperiaatteita on esitelty kuviossa 5 (Liikennevirasto 2010a, 9).



Kuvio 5. Metallirakenteiden yleisimmät vauriosyyt, vauriot ja korjausperiaatteet (Liikennevirasto 2010a, 9).

Teräsrakenteen korroosiovaurio voidaan vahventaa lisämateriaalilla niin, että vauriokohtaan kiinnitetään hitsaamalla, pulttaamalla tai liimaamalla vahvikelevy tai jäykistelevy. Korroosiovauriokohta voidaan myös poistaa ja korvata kokonaan uudella materiaalilla. (Pulkkinen & al. 2018, 446.)

Halkeama- ja säröilyvauriot voidaan korjata monella tapaa, riippuen halkeaman ja säröilyn laajuudesta. Säröt, halkeamat ja repeämät voidaan korjata hitsaamalla, niin että vauriokohta avataan täydellisesti hiomalaikalla tai polttoleikkaamalla, jonka jälkeen hitsataan vauriokohta suunnitelman mukaisesti. Halkeaman tai särön eteneminen voidaan pysäyttää poraamalla reikä halkeaman tai särön päähän, jolloin sen eteneminen loppuu. Pienet halkeamat ja pintasäröt voidaan korjata hiomalla jouheasti ja tarkastamalla, että vaurio on saatu pois. (Pulkinen & al. 2018, 446.)

Loivat taipumat ja muodonmuutokset voidaan korjata taivuttamalla osa alkuperäiseen muotoonsa. Oikominen voidaan suorittaa tapauskohtaisesti joko kylmänä tai esilämmitettynä. Suuremmat muodonmuutokset korjataan vaihtamalla vaurioitunut osa uuteen vastaavaan osaan. (Pulkinen & al. 2018, 446.)

Puurakenteisen sillan yleisimpiä vaurioita ovat lahovauriot, muodonmuutokset tai taipumat ja halkeilu. Puurakenteisen sillan lahovaurioiset rakenneosat vaihdetaan uuteen. Muodonmuutokset voidaan vahventaa teräslevyillä, rakenteeseen poratuilla ja liimatuilla terästapeilla. Puusillan taipuneet tukirakenteet vaihdetaan tai vahvennetaan. Puurakenteeseen tulleet halkeamat suljetaan injektointi epoksilla tai muulla aineella. (Pulkinen & al. 2018, 446.)

4.7.3 SILKO – Siltojen korjausohjeet

SILKO-toiminnasta vastaa ja sitä hoitaa kokonaisuudessaan Väylävirasto. Käytännön toiminta tapahtuu Väylän taitorakenneyksikön johtamassa SILKO-toimikunnassa ja sen työryhmissä. SILKO-toimikunta toimii taitorakenteiden, kuten siltojen, tunneleiden ja vesiväylärakenteiden korjaussuunnittelua ja korjaustyön toteutusta ohjeistavana ja kehittävän toimikuntana. (Väylävirasto 2019a, 3.)

SILKO-ohjeita käytetään siltojen korjaustyön suunnittelun ja siltojen korjaustyön toteutuksen apuna tai ohjeena. Lisäksi ohjeistusta voidaan soveltuvin osin käyttää uudisrakennuskohteissa. SILKO-ohjeet ovat SILKO-toimikunnan ja Väyläviraston hyväksymiä ohjeita, jotka jakautuvat kolmeen osakokonaisuuteen. Osakokonaisuuksia ovat yleiset laatuvaatimukset, työkohtaiset laatuvaatimukset ja voimassa olevien SILKO-tuotteiden luettelo. (Väylävirasto 2020b, 5-6.)

SILKO-toiminnan tavoitteena on kehittää korjausrakentamista, parantaa rakenteiden pitkäaikaiskestävyyttä sekä vaikuttaa uusien siltojen rakentamiseen ja ylläpitoon. Lisäksi

tavoitteena on hyväksyä niin sanottuja SILKO-tuotteita, joita voidaan käyttää siltojen korjaamisessa ja rakentamisessa. SILKO-toiminta myös ohjaa korjaustöiden suunnittelua ja toteutusta, siten että ne noudattavat eurooppalaista standardia SFS-EN 1504-1...10. Toiminnan avulla myös seurataan kansainvälistä kehitystä ja pyritään vähentämään riskejä korjaustöissä. (Väylävirasto 2019a, 3.)

Yleisissä laatuvaatimuksissa eli yleisohjeissa esitetään nimen mukaisesti yleisiä laatuvaatimuksia ja niissä selostetaan vauriomekanismeja ja korjausmahdollisuuksia yleisesti. Yleisissä laatuvaatimuksissa esitetään myös suositeltavat määritelmät käytettäville termeille ja annetaan taustatietoja siltojen korjaamisesta ja suojaamisesta. Lisäksi käyttäjät saavat tietoa määräyksistä, muista ohjeista ja standardeista. Yleiset laatuvaatimukset tunnistavat siitä, että ohjeen numerosarja alkaa numerolla yksi. (Väylävirasto 2019a, 4.)

Työkohtaisissa laatuvaatimuksissa eli korjausohjeissa kerrotaan eri rakenteiden mahdolliset vauriot ja niiden korjaustarve. Työkohtaisissa laatuvaatimuksissa esitetään jokaisen korjaustyön laatuvaatimukset, työvaihevaatimukset ja laadunvarmistustoimet. Ohjeiden tarkoitus on antaa selkeä kuva korjaustyön etenemisestä ja työssä huomioon otettavista asioista. Työvaihevaatimuksia selostavassa tekstissä annetaan mahdollisimman yksityiskohtaiset ohjeet korjaustyön valmistelusta aina korjaustyön viimeistelyyn ja jälkivoittoon asti. Lisäksi tekstissä annetaan ohjeellista tietoa, jota urakoitsija voi oman harkintansa mukaan soveltaa omissa työmenetelmissään. Työkohtaiset laatuvaatimukset tunnistavat siitä, että ohjeen numerosarja alkaa numerolla kaksi. (Väylävirasto 2019a, 4.)

Voimassa olevat SILKO-tuotteet ovat listattuna eri luetteloihin. SILKO-tuotteiden luettelossa esitetään sillankorjaukseen ja sillanrakentamiseen soveltuvat korjausaineet, tarvikkeet ja tuotteet. Esitetyt aineet, tarvikkeet ja tuotteet täyttävät Väyläviraston niille antamat laatuvaatimukset joko laboratoriotutkimusten tai käyttökokemusten perusteella. Ohjeissa kerrotaan lyhyesti käyttöalat, mahdolliset käytön rajoitukset ja työmenetelmät eri korjausaineille. Mahdolliset tarkemmat tiedot saa tuotekohtaisista tutkimusraporteista ja tuoteselosteista. Suunnittelijan on aina kohdekohtaisesti arvioitava korjauskohteeseen soveltuvat aineet ja niille asetetut vaatimukset. Vaatimukset tulee esittää korjaussuunnitelmassa. SILKO-tuotteiden luettelo täydentää yleis- ja korjausohjeita. Korjausaineiden ja tuotteiden yleiset laatuvaatimukset on esitetty yleisohjeissa. (Väylävirasto 2019a, 4.)

4.7.4 Korjaussuunnitelma

Korjaussuunnitelman pohjana käytetään kuntotutkimustietoa kohteesta, kuten havaittuja vaurioita ja mahdollisten mittausten tuloksia. Kuntotutkimuksen tulokset ja johtopäätökset antavat korjaussuunnittelijalle mahdollisimman kattavat pohjatiedot rakenteesta, rakenteiden vaurioitumisesta ja korjaustarpeesta. Korjaussuunnittelijan on laadittava korjaussuunnitelma niin, että se täyttää rakentamiselle ja suunnittelulle asetetut vaatimukset. (Suomen betoniyhdistys ry 2016, 18.)

Korjaussuunnitelman on osoitettava riittävällä tarkkuudella kaikki korjaustyöhön sisältyvät suoritukset sekä määrätietojen että laatuvaatimusten osalta. Mikäli korjaussuunnitelmaa varten ei ole kaikkia määrätietoja saatavilla, voidaan suunnitelmaan kirjata suuntaantava arvio. Arvion avulla saadaan urakkahinnalle määritettyä kiinteä osuus. Arvion antamaa summaa korjataan urakoitsijan tarjoukseensa sisällyttämän yksikköhintaluettelon mukaan joko hyvittämällä tai lisäveloituksella. (Suomen betoniyhdistys ry 2016, 18.)

Korjaussuunnittelijan vastuulla suunnittelutehtävän osalta on, huolehtia suunnittelussa käytettävien lähtötietojen riittävydestä sekä varmistaa korjauksessa käytettävien materiaalien soveltuvuus korjaukseen ja -kohteeseen. Suunnittelijan on laadittava myös rakennustyön aikana tarvittavat suunnitelmat sekä niihin liittyvät piirustukset ja asiakirjat. Suunnittelijan on myös laadittava mahdolliset rakennustyön aikana tapahtuvat muutokset suunnitelmiin. (Suomen betoniyhdistys ry 2016, 18.)

Korjaustyön toteutuksessa olennaista on määritellä suunnitelma-asiakirjoissa korjaustyön sisältö sekä määrällisesti että laadullisesti mahdollisimman tarkasti. Asiakirjojen perusteella voidaan korjaustyö hinnoitella mahdollisimman tarkkaan sekä korjaustyö voidaan toteuttaa tavoitellun laatutason mukaisesti. Korjaussuunnitelman tavoitteena onkin sen suoritusten yksilöinti niin tarkkaan, että urakoitsija voi antaa työstä kiinteähintaisen tarjouksen. (Suomen betoniyhdistys ry 2016, 18.)

5 ISKU - INTEGROITU SILTOJEN KORJAUSURAKKA

5.1 ISKU

Integroitu siltojen korjausurakka (ISKU) kattoi sillantarkastuksessa havaitut vauriot, vaurioiden perusteella määritetyt korjaustarpeet, sekä korjausmenetelmät. ISKU sisältää myös sillankorjauksesta syntyvät kustannukset ja laadunvalvonnan.

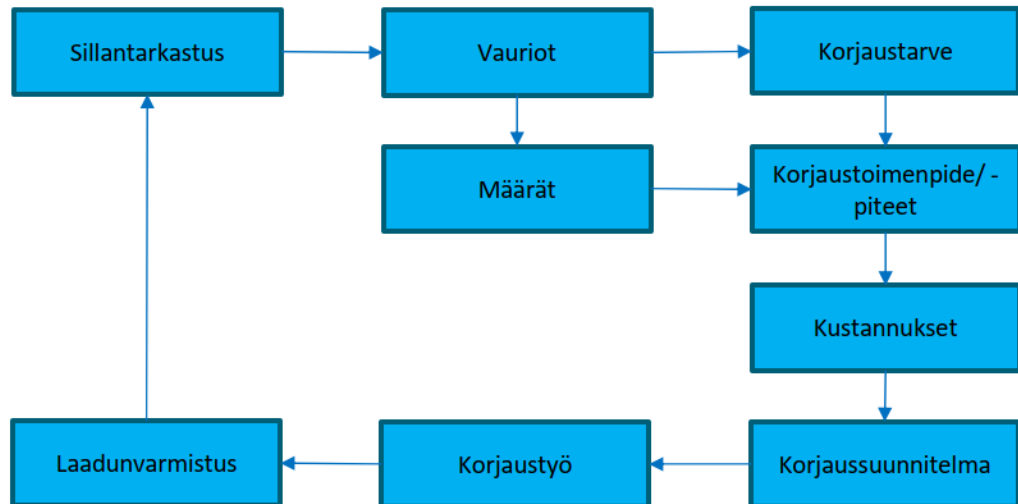
Sillantarkastuksen aikana havaitut vauriot kirjattiin taitorakennerekisteriin, josta sillantarkastaja/ korjaussuunnittelija tarkasti vaurioiden laajuuden. Vaurioiden laajuuden perusteella korjaussuunnittelija määrittäi sillan korjaustarpeen, joka tässä tutkimuksessa oli vähäistä. Korjaustarpeiden perusteella saatiin valittua olennaiset korjausohjeet, sekä korjauskustannukset. Pilottiohjelma piti sisällään myös työselostuksen ja määräluettelon. Kustannukset perustuivat littera pohjaisiin yksikköhintoihin, joiden avulla tehtiin kustannusarvio.

ISKU-ohjeistusta ja kustannuslaskentaa varten luotiin uudenlainen pilottiohjelma, jota voitaisiin helposti muokata ja käyttää uudestaan. Pilottiohjelma sisälsi sillantarkastuksessa havaitut vauriot ja vaurioiden laajuuden. Vaurioiden perusteella määritettiin sillan rakenneosalle tai rakenneosille sopiva korjausmenetelmä. Korjausmenetelmän perusteella määritettiin korjaustyölle työseloste ja laadunhallintajärjestelmä.

ISKU:n tarkoitus oli kehittää uudenlainen pilottiohjelma korjaussuunnittelijoille ja urakoitsijoille. ISKU:n integrointi osiolla tarkoitettiin korjaussuunnitelman helpottamista niin, että jokaisesta korjattavasta rakenteesta ei tarvitsisi piirtää uutta suunnitelmaa. Olemassa olevien siltojen korjausohjeiden (SILKO-ohjeiden) hyödyntäminen tutkimuksessa oli ai-kaansa nähden oikea ratkaisu, sillä pelkästään korjausohjeiden perusteella voitiin vähäiset korjaukset toteuttaa ilman suurempia toimenpiteitä. Tutkimuksen yhtenä pääosana toimi myös pilottiohjelman suunnittelu käytännölliseksi myös urakoitsijoiden kannalta ja riittävä painottaminen sillan korjausohjeista. Pilottiohjelman toimivuuden takaamiseksi, olisi urakoitsijoilla oltava riittävä tietämys sillan korjausohjeista.

Yksi ISKU:n etuutena oli myös uudenlaisen pilottiohjelman ominaisuutena tuleva tehostettu toiminta, jonka avulla suunnittelija pystyi tekemään suunnitelman nopeammin ja jakamaan sen nopeammin eteenpäin urakoitsijalle. Pilottiohjelman käyttäjän laatima uusi suunnitelma veisi huomattavasti vähemmän aikaa, kuin kokonaisen

korjaussuunnitelman teko kaikilla piirustuksilla ja työselosteilla. Urakoitsija pystyi aloittamaan työt nopeammin, kun taas normaalilla aikataululla olisi korjaussuunnitelman tekoon mennyt pahimmillaan kuukausia, jolloin urakoitsija joutuisi odottamaan työn aloittamista kauemmin. Näin ollen työt olisi mahdollista aloittaa nopeammin, joka taas tehostaisi kaupungin/ ELY-keskuksen/ Väyläviraston omaisuuden hallintaa. Tehostetulla toiminnalla myös saataisiin kustannuksia pienemmäksi ja siltojen käyttöikää pidennettyä.



Kuvio 6. ISKUn kiertokulku.

Integrointi kattoikin suurimman osan työstä ja oli siksi yksi tutkimusongelmista. Miten saada ISKU-pilottiohjelman niin helppokäyttöiseksi ja toimivaksi, että sillantarkastaja, korjaussuunnittelija ja urakoitsija sen hyväksyisi? Jokaisella heistä oli oma näkemyksensä minkälainen suunnitelman pitäisi olla. Tästä johtuen päädyttiin tekemään suhteellisen yksinkertainen pilottiohjelma, jonka alustana toimisi Microsoft Excel. Exceliä käytetään pääsääntöisesti suurimmassa osassa yrityksissä, joten alustana se oli paras vaihtoehto.

Aluksi pilottiohjelma ajateltiin tehdä PDF-XChange-ohjelmalla, joka on alustana toimiva ja helppokäyttöinen. Pdf olisi ollut alustana hyvä, sillä sen käyttö alustana on yleistynyt ja tietoisuus eri pdf-ohjelmista on kovassa nousussa. Ajan myötä tuli kuitenkin ongelma, jonka takia päädyttiin siirtämään pilottiohjelma Exceliin. Vaikka pdf toimisi alustana mainiosti ja sen ominaisuudet olivat hyvät, olisi ajan myötä pilottiohjelma kaatunut sen

jatkokehityksen takia. Koska PDF-XChange on vain yksi monista pdf-ohjelmista, ei ollut varmuutta siitä, kuinka hyvin se toimii muiden pdf-ohjelmien kanssa. Muiden pdf-ohjelmien kanssa havaittiin jo aluksi ongelmia testattaessa pilottiohjelman toimivuutta Adobe Acrobat Readerin kanssa, jossa kaikkia toiminnallisuuksia ei voinut käyttää ilmaisversiossa. Lisäksi kustannuslaskentaa olisi ollut hankala toteuttaa pdf-muodossa. Pilottiohjelman kehitystä ajatellen pdf-ohjelman ominaisuudet eivät olisi riittäneet sen jatkokäyttöä varten, mikä on tärkeä ominaisuus pilottiohjelmassa.

Excel-ympäristön monikäyttöisyys ja yleinen käyttö johti siihen, että pilottiohjelma päätettiin toteuttaa Excelin alustalla. Pilottiohjelman laatiminen ensin pdf-ohjelmalla oli tärkeä asia tutkimuksen etenemistä ja pilottiohjelman kehittymisen takia. Pilottiohjelma oli huomattavasti helpompi tehdä Excel-ympäristöön, sillä kertaalleen tehdyt asiat pdf-ohjelmalla antoivat perspektiiviä siitä, millainen ohjelma voisi Excelissä olla.

5.2 Pilottiohjelma

Pilottiohjelman perustana toimivat sillan korjausohjeet, työseloste, määräluettelo ja kustannusarvio, sekä määränimikkeistö. Pilottiohjelmaa lähdettiin muodostamaan Excel-ympäristöön pdf-ohjelmaan tehdyn luonnoksen perusteella. Pilottiohjelma sisältää lukuisia eri taulukoita, jotka olivat yhteydessä toisiinsa. Taulukoiden eri yhteyksien avulla ohjelman käyttö on helpompaa ja selkeämpää.

Ensimmäiseksi luotiin SILKO-tilukko, jonka ulkoasusta haluttiin yksinkertainen ja helpokäyttöinen. SILKO-tilukkoon sijoitettiin yleiset laatuvaatimukset, työkohtaiset laatuvaatimukset ja voimassa olevien SILKO -tuotteiden luettelot, sekä muutamia hienosäätöpainikkeita. SILKO-tilukkoon sisällytettiin esimerkiksi *Piilota*-painike, jolla pystyy piilottamaan kaikki yleiset ja työkohtaiset laatuvaatimukset sekä voimassa olevat SILKO-tuotteet.

Yleiset laatuvaatimukset ovat siltojen korjausohjeiden yleisohjeita. Ne luettelevat yleisiä korjausmenetelmiä, laatuvaatimuksia ja vauriotyyppejä. Yleiset laatuvaatimukset osioineen sijoitettiin tilukkoon *Yleiset laatuvaatimukset* -painikkeeksi, jota painamalla 12 oleellista ohjetta tulee näkyviin. Jokainen ohje sijoitettiin omaan painikkeeseensa ja painikkeita painamalla avautuu verkkoselain ja painikkeen nimensä mukainen yleisohje. SILKO-tilukkoon valitut siltojen korjausohjeiden yleiset laatuvaatimukset olivat

sisällöltään oleellisia ISKU-pilottiohjelman kannalta. Yleisohjeiksi valittiin taulukon 6 mukaiset yleiset laatuvaatimukset.

Taulukko 6. Yleiset laatuvaatimukset, SILKO-ohjeen nimi ja numero (Väylävirasto 2012b).

| Yleiset laatuvaatimukset | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| SILKO 1.111 | Työturvallisuus |
| SILKO 1.201 | Betoni sillankorjausmateriaalina |
| SILKO 1.202 | Polymeerit sillankorjausmateriaalina |
| SILKO 1.203 | Purkamis- ja esikäsitteilymenetelmät |
| SILKO 1.231 | Betonin paikkaus |
| SILKO 1.232 | Betonointi ruiskuttamalla |
| SILKO 1.233 | Halkeamien korjaaminen |
| SILKO 1.251 | Betonin suojaaminen |
| SILKO 1.601 | Sillan ja siltapaikan kuivatus |
| SILKO 1.701 | Liikuntasaumojen korjaaminen |
| SILKO 1.801 | Vedeneristykset |
| SILKO 1.802 | Päällysteet |

Yleisohjeiden perusteella korjaustoimenpiteiden tekijä ja suunnittelija pystyy perehtymään vaadittaviin laatuvaatimuksiin ja korjaustoimenpiteisiin.

Siltojen korjausohjeiden työkohtaiset laatuvaatimukset luettelevat eri korjaustoimenpiteitä ja niiden työvaiheita sekä laadunvarmistustoimenpiteitä. Työkohtaisten laatuvaatimusten perusteella kevyet korjaustoimenpiteet voidaan toteuttaa ilman erillistä suunnittelijan tekemää korjaussuunnitelmaa. Työkohtaiset laatuvaatimukset osioineen sijoitettiin SILKO-*taulukko*on siten, että painettaessa *Työkohtaiset laatuvaatimukset* -painiketta 23 oleellista ohjetta tulee näkyviin. Ohjeiden perusteella on mahdollista tehdä

yleispätevä työseloste ilman suurempia toimenpiteitä. Jokainen ohje sijoitettiin omaan painikkeeseensa ja painiketta painettaessa avautuu käyttäjän verkkoselain ja nimensä mukainen ohje. Painiketta painettaessa käyttäjä siirtyy myös valitun toimenpiteen *Työseloste*-taulukon osioon. Lisäksi taulukkoon sisällytettiin painike, jonka avulla käyttäjän on mahdollista siirtyä kaikkien työkohtaisten laatuvaatimusten luetteloon. SILKO-ohjeistukseen valitut siltojen korjausohjeiden työkohtaiset laatuvaatimukset katsottiin sisällöltään oleellisiksi ISKU-pilottiohjelman kannalta. Työkohtaisiksi ohjeiksi valittiin taulukon 7 mukaiset työkohtaiset laatuvaatimukset.

Taulukko 7. Työkohtaiset laatuvaatimukset, SILKO-ohjeen nimi ja numero (Väylävirasto 2021c).

| Työkohtaiset laatuvaatimukset | |
|--------------------------------------|---|
| SILKO 2.211 | Reunapalkin uusiminen |
| SILKO 2.231 | Paikkaus ilman muotteja |
| SILKO 2.232 | Paikkaus muottien avulla |
| SILKO 2.234 | Korjaus ruiskubetonoimalla |
| SILKO 2.236 | Halkeaman injektointi polymeerillä voimia siirtäväksi |
| SILKO 2.237 | Sementti-injektointi |
| SILKO 2.239 | Halkeaman imeytys |
| SILKO 2.240 | Eristysalustan kunnostus |
| SILKO 2.251 | Betonipinnan puhdistus |
| SILKO 2.252 | Betonipinnan impregnointi |
| SILKO 2.253 | Betonipinnan pinnoitus |
| SILKO 2.262 | Raudoituksen uusiminen |

(jatkuu)

Taulukko 7 (jatkuu)

| | |
|-------------|---|
| SILKO 2.331 | Kaidepylvään juuren kunnostus |
| SILKO 2.351 | Kaiteen paikkamaalaus |
| SILKO 2.551 | Kivipinnan puhdistus |
| SILKO 2.611 | Tippuputken teko päällysrakenteeseen |
| SILKO 2.731 | Pienten liikunta- ja kutistumissaumojen korjaus |
| SILKO 2.732 | Päällysteen ja betonirakenteen välisen sauman tiivistäminen |
| SILKO 2.811 | Vedeneristyksen uusiminen kermieristyksenä |
| SILKO 2.833 | Asfalttipäällysteen paikkaaminen |
| SILKO 2.916 | Nurmiverhouksen teko |
| SILKO 2.917 | Molskotti- ja sepeliverhouksen teko |
| SILKO 2.918 | Kenttäkiviverhouksen teko |

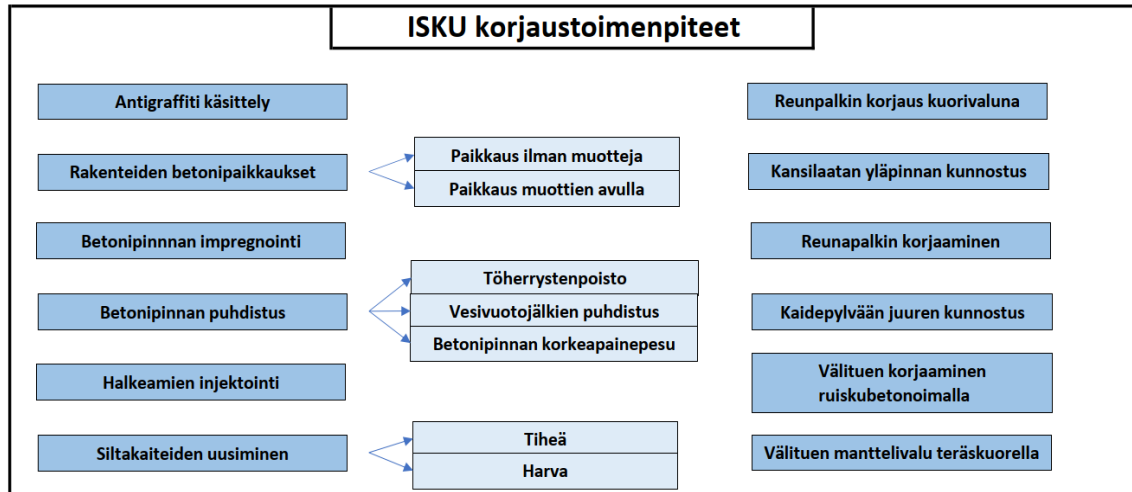
Työkohtaisten ohjeiden perusteella korjaussuunnittelija pystyy laatimaan sillankorjauksesta kustannusarvion. Korjaustoimenpiteiden tekijä puolestaan pystyy perehtymään kyseisen korjaustoimenpiteen eri työvaiheisiin ja materiaaleihin, sekä laadunvarmistukseen.

Voimassa olevat SILKO -tuotteet ovat sillankorjaustöihin tai sillanrakentamiseen soveltuvia korjausaineita, tarvikkeita ja tuotteita, jotka täyttävät Väyläviraston laatuvaatimukset. SILKO-tuotteiden perusteella korjaussuunnittelija ja urakoitsija pystyy määrittämään korjausaineet, tarvikkeet ja tuotteet korjaustoimenpiteille. SILKO-tuotteet sijoitettiin SILKO-tilaan siten, että painettaessa *voimassa olevien SILKO -tuotteiden luettelo* -painiketta tulee esiin 11 oleellista SILKO-tuotteiden luetteloa. Jokainen ohje sijoitettiin omaan painikkeeseen ja painiketta painettaessa avautuu verkkoselain ja painikkeen nimensä mukainen SILKO-tuotteiden tarviketiedosto. SILKO-tuotteiden tarviketiedostot täydentävät yleisiä ja työkohtaisia laatuvaatimuksia. SILKO-tuotteiksi valittiin Taulukko 8 mukaiset *voimassa olevat SILKO -tuotteet*.

Taulukko 8. Voimassa olevat SILKO -tuotteet, ohjeen nimi ja numero (Väylävirasto 2021d).

| Voimassa olevat SILKO -tuotteet | |
|---------------------------------|---|
| SILKO 3.211 | Korjausbetonit |
| SILKO 3.231 | Paikkausaineet |
| SILKO 3.235 | Injektointi-, imeytys- ja sulkuaineet |
| SILKO 3.251 | Töherrysten estoaineet ja kemialliset pinnanpuhdistusaineet |
| SILKO 3.252 | Vettähyhkivät impregnointiaineet ja impregnointiaineet |
| SILKO 3.253 | Pinnoitusaineet |
| SILKO 3.254 | Eristysalustan tiivistysaineet |
| SILKO 3.351 | Uudis- ja uusintamaalauksen maalausjärjestelmät |
| SILKO 3.731 | Saumamassat |
| SILKO 3.811 | Kermieristysrakenteet |
| - | Laakeri- ja liikuntasaumatuotteiden käyttöluja |

Työselostus-taulukko pitää sisällään kansisivun ja valittujen korjaustoimenpiteiden työselostuksen. Työselostuksien tarkoituksena on täydentää urakoitsijan tietämystä korjaustoimenpiteistä. *SILKO*-taulukon työkohtaista laatuvaatimusta painamalla tulee näkyviin myös kyseisen korjaustoimenpiteen työselostus *Työselostus*-taulukkoon. Taulukkoon sijoitettiin myös *kuva*-, *piilota*- ja *näytä*-painikkeet. *Kuva*-painikkeella pystyy tuomaan haluamansa kuvan kansisivulle. *Piilota*-painikkeella pystyy piilottamaan kaikki korjaustoimenpiteiden työselostukset ja *näytä*-painikkeella pystyy tuomaan kaikki korjaustoimenpiteiden työselostukset näkyviin. Otsikot sijoitettiin kansisivulle, johon pystyy kirjaamaan sillan tunnuksen, nimen ja paikkakunnan. Kansisivulla on myös työselosteen/piilottiohjelman laatijan ja tarkastajan allekirjoitus. Korjaustoimenpiteet jaettiin kuvan 2 mukaisesti.



Kuva 2. ISKU -korjaustoimenpiteet.

Jokaisen korjaustoimenpiteen viereen sijoitettiin *Kustannusarvio*-painike, joka ohjaa työkirjan *Määräluettelo*-taulukkoon valitun toimenpiteen kohdalle. Painikkeen avulla pilotiohjelmaan saatiin suoraviivaisuutta ja helppokäyttöisyyttä.

Määräluettelo-taulukko tehtiin Uudenmaan ELY-keskuksen jakaman Excel-tiedoston perusteella, joka sisälsi määräluettelon ja nimikkeistön, sekä hinnat. Lisäksi määräluetteloa päivitettiin Sitowisen kustannusarviopohjan perusteella. Määräluettelo tehtiin myös helppokäyttöisyyttä ajatellen niin, että jokainen korjaustyö löytyisi valmiina taulukosta, mutta määräluetteloon olisi mahdollista tuoda muitakin korjaustöitä *Määränimikkeistö*-taulukosta. Luetteloon ei tarvitse sijoittaa muuta kuin määrä, jolloin Excel laskee kokonaisuudessaan hinnat *Kustannusarvio*-taulukkoon. *Määräluettelo*-taulukkoon sijoitettiin myös painikkeet *Tyhjennä*, *Näytä tyhjät* ja *Piilota tyhjät*. Painikkeiden avulla on mahdollista tyhjentää kaikki määrä-solut, piilottaa solut missä ei ole tietoa ja näyttää piilotetut solut. Painikkeiden tarkoitus on tuoda helppokäyttöisyyttä taulukkoon. Määräluettelo päivittää korjaustyön määrät ja kustannukset automaattisesti *Korjaussuunnitelma*-taulukkoon.

Kustannusarvio-taulukosta löytyy varsinainen tulostettava kustannusarvio, jossa on myös kansisivu. Kansisivulle sijoitetaan sillan nimi, tunnus, paikkakunta ja yleiset mitatiedot. Tulostettavaa kustannusarviota päätettiin myös yksinkertaistaa niin, että kustannusarvio näyttää vain rakenneosan, litteran, työn ja kustannuksen. Lisäksi sijoitettiin painikkeet *Piilota* ja *Näytä*, jotka nimensä mukaisesti joko piilottavat tai näyttävät tyhjät solut.

Pilottiohjelman tulevaisuutta ajatellen tehtiin vielä kaksi (2) taulukkoa, jotka nimettiin *tuonti-* ja *taitorakennerekisteri-*taulukkoiksi. *Tuonti-*taulukkoon voi tuoda yhden sillan tiedot Taitorakennerekisteristä ladattavan sillan Excel datan avulla. Tuonnin voi suorittaa joko Excelin kautta tai kopioimalla ja liittämällä. Taitorakennerekisteri-taulukko on määritetty etsimään tietyt vauriotiedot *Tuonti-*taulukosta, joten Taitorakennerekisteri -taulukko on täysin automatisoitu. Automatisaation tarkoituksena on mahdollisesti tulevaisuudessa kaapata suoraan Taitorakennerekisteristä vaurioiden laajuudet ja määrittää ne *Määräluettelo-*taulukkoon, jolloin tietoja ei tarvitsisi itse hakea ja kirjoittaa. Tällä toimenpiteellä saataisiin pilottiohjelman kustannusarvion ja vaurioiden laajuuden kannalta täysin automatisoituneeksi, jolloin suunnittelijan tehtäväksi jäisi vain korjaussuunnitelman tekeminen ja tarkastaminen.

Nykyisen tilanteen perusteella Taitorakennerekisteristä saadaan vain vaurioluokat ja sillan yleiset mittatiedot. Vaurioluokkien avulla voidaan määrittää *Taitorakennerekisteri-*taulukossa minkä tyyppisiä korjauksia tehdään. Sillan mittatiedoilla voidaan määrittää esimerkiksi reunapalkin kuorivalulle tai eristysalustan korjaukselle kustannukset. Tietojen avulla Excel voisi poimia tiettyjen kriteerien perusteella esimerkiksi vaurioiden laajuuden ja päivittää tiedot suoraan kustannusarvioon. Tarkempien mittatietojen avulla Excel pystyisi automaattisesti päivittämään esimerkiksi välituen korjaamisen korjauskustannukset. *Taitorakennerekisteri-* ja *Tuonti-*taulukko päätettiin piilottaa pilottiohjelmasta.

5.3 Tutkimusprosessi

Pilottiohjelman käyttöä varten oli määritettävä määräävä tutkimus siltojen tarkastuksiin. Määräävän tutkimuksen rajaus tehtiin vanhojen Sitowisen erikoistarkastusraporttien perusteella. Erikoistarkastusraporteista tarkasteltiin kloridipitoisuus- ja vetolujuuskokeiden tulokset, sekä ohuthieanalyysit. Kloridipitoisuuksien perusteella tarkasteltiin missä rakenneosissa oli havaittu klorideja ja miten se vaikutti korjaustarpeisiin. Vetolujuuskokeista tarkasteltiin eri rakenneosien vetolujuuksia ja vetolujuuksiin vaikuttavat tekijät, sekä niiden perusteella määritetyt korjaustarpeet. Ohuthieanalyseistä tarkasteltiin saatuja tietoja betonin laadusta ja kunnosta. Ohuthieanalyysin perusteella saatiin tietää onko betonissa rapautumaa, mikrosäröilyä, alkalikiviainesreaktiota ynnä muuta tarkempaa tietoa.

Määräävää tutkimusta varten 23 sillan erikoistarkastukseen liittyvien kokeiden tulokset tarkasteltiin. Kokeiden perusteella voitiin päätellä, että kloridien perusteella voidaan

määrittää näkyvillä olevien rakenneosien kunto, ellei silmämääräisesti olla havaittu pakkasrapaamaa tai muuta vauriota, joka viittaa johonkin muuhun vauriotekijään. Kloridipitoisuuden määrittämisen avulla voi selvittää, kuinka syvälle kloridit ovat rakenteessa, jonka perusteella voidaan määrittää korjaustarve kyseiselle rakenteelle. Jos rakenteessa on selvästi havaittavaa muuta vauriota, on silloin pohdittava esimerkiksi vetolujuuden testausta vauriokohdasta.

Tehtyjen vetolujuuksien perusteella selvitettiin, että vetolujuuden perusteella voidaan määrittää esimerkiksi kansilaatan kunto, sekä olisi hyvä aina kansilaattaa tutkiessa tutkia myös kansilaatan yläpinnan vetolujuus. Useammassa tapauksessa selvisi, että kansilaatan yläpinnassa oli pakkausrapaamaa, mutta ei paljoakaan klorideja. Tämän selvityksen perusteella voitiin päätellä, että mikäli kansilaatan yläpinta tutkittaisiin pelkällä kloridipitoisuuden määrittämisellä olisi kyseinen vaurio jäänyt huomaamatta. Vetolujuuksia täydentämään voidaan myös ottaa ohuthienäytteitä, joista saadaan parempi tieto kyseisen rakenteen kunnosta. Silmämääräisillä havainnoilla voidaan myös määrittää näkyvissä olevien rakenteiden tutkimustarpeet, esimerkiksi jos siipimuurissa on selvästi havaittavaa rapaamaa, voidaan siipimuurista ottaa vetokoe ja lisäksi ohuthieanalyysi, sekä tarvittaessa kloridipitoisuus.

Tehtyjen ohuthieanalyysien perusteella selvitettiin, että betonin laatu ja kuntotiedot olivat täydentämässä kloridipitoisuuksista ja vetolujuuksista saatuja tietoja. Ohuthieanalyysit toivat tarkempaa tietoa betonissa olevista halkeamista ja betonin koostumuksesta, sekä mahdollisesta alkalikiviainesreaktiosta. Kyseisistä silloista vain muutamassa oli reagoitunutta kiviainesta ja betonin laatu ja kuntotiedot täydensivät jo näytteistä havaittuja puutteita.

Siltojen koetulokset jaettiin rakenneosille päätytuot, välituot, reunapalkit ja päällysrakenne. Jokaisen sillan ja sen rakenneosien koetulokset jaettiin taulukkoon, niin että saatiin määritettyä määräävä tutkimustekijä. Muutamassa sillassa määrääväksi tekijäksi tuli kaksi tutkimusta niin, että kummallakin tutkimuksella oltaisiin saatu korjaustarve kartoitettua. Lisäksi muutamassa sillassa oli havaittu toisella tutkimuksella toisessa rakenneosassa vaurioita ja toisella ei.

Siltojen rakenneosien ja rakenneosajoukkojen perusteella määrääväksi tutkimustekijäksi ilmeni betonin kloridipitoisuuden määrittäminen. Rakenneosia joista olisi voinut määrittää korjaustarpeen kloridipitoisuuden perusteella oli yhteensä 40, kun taas vetolujuuden perusteella olisi voinut korjaustarpeen määrittää yhteensä 10 rakenneosasta ja

ohuthieanalyysin perusteella yhteensä 10 rakenneosasta. Kloridipitoisuuden perusteella olisi korjaustarpeen voinut määrittää esimerkiksi päätytuista, välituista ja reunapalkeista, kunhan rakenneosissa ei ole havaittu pakkasrapaamaa. Vetolujuuden perusteella olisi korjaustarpeen voinut määrittää etenkin kansilaatan yläpinnasta, jolloin olisi hyvä tutkia myös kloridipitoisuus. Vetolujuuden perusteella voisi korjaustarpeen määrittää myös rakenneosille, joissa on havaittu pakkasrapautumaa. Ohuthieanalyysit eivät yksikseen antaneet riittävän laajaa kuvaa rakenneosien vaurioista, joten ohuthieanalyysia olisi suositeltavaa käyttää esimerkiksi vetolujuuskokeiden täydentämiseen. (Taulukko 9)

Kun huomioitiin kokeiden ja analyysien yhteisvaikutukset olisi kloridipitoisuuden ja vetolujuuden tai ohuthieanalyysin perusteella voinut määrittää 49 rakenneosan korjaustarve. Vetolujuuden ja kloridipitoisuuden tai ohuthieanalyysin perusteella olisi voinut määrittää 25 rakenneosan korjaustarpeen. Ohuthieanalyysin ja kloridipitoisuuden tai vetolujuuden perusteella olisi voinut määrittää 18 rakenneosan korjaustarpeen. (Taulukko 10) Tämän tutkimuksen perusteella voisi kloridipitoisuuden perusteella määrittää yli puolet enemmän rakenneosien korjaustarpeista, kuin vetolujuuden tai ohuthieanalyysin tutkimisella. Kloridipitoisuus tutkimuksen avulla selvitetty korjaustarpeet kohdistuivat usein näkyvissä oleviin rakenteisiin, joten esimerkiksi kansilaatta tulisi tutkia käyttäen vetolujuustutkimusta tai ohuthieanalyysia apuna. Tämän johtopäätöksen perusteella rajautui esimerkiksi kansilaatan yläpinnan tutkiminen pelkästään kloridikokeen avulla pois.

Taulukko 9. Tutkimustekijän tarkastelu silloittain.

| Tutkimustekijät rakenneosittain | | | | |
|---------------------------------|-----------|----------|-------------|----------------|
| Silta | Päätytuot | Välituot | Reunapalkit | Päällysrakenne |
| U-1342 | K | K | K | - |
| U-1591 | - | K | OH | OH |
| U-1871 | K | K | K | OH |
| U-1872 | K | K | K | V |
| U-1873 | K | K | K | V |
| U-1874 | K | K | K | K |
| U-1876 | - | K | K | K |
| U-1878 | K | K | K | V |
| U-1879 | K | K | K | K |
| U-3872 | K | K | K | V |
| U-2942 | K | K | V | V/K |
| U-6003 | K | - | K | V |
| U-6113 | - | - | K | K/V |

(jatkuu)

Taulukko 9. (jatkuu)

| | | | | |
|--------|------|----|------|------|
| U-410 | - | V | K/V | K/V |
| V-567 | K | - | - | K/V |
| T-279 | K/V | - | K | V |
| T-386 | K/V | - | K | K/V |
| T-388 | V | - | K | K |
| T-4217 | - | - | V/OH | V/OH |
| T-4111 | OH | OH | OH | OH |
| T-4113 | OH | OH | OH/V | OH |
| T-4114 | OH/V | - | OH/K | OH/V |
| T-4115 | - | V | OH/V | OH/V |

K = Kloridi V = Veto OH = Ohuthie

Taulukko 10. Määrät tutkimustekijöittäin.

| Tutkimus | Yhteensä |
|----------|----------|
| K | 40 |
| K/V | 7 |
| K/OH | 0 |
| V | 10 |
| V/K | 1 |
| V/OH | 2 |
| OH | 10 |
| OH/K | 1 |
| OH/V | 5 |

| Yhteisvaikutukset | |
|-------------------|----|
| K | 49 |
| V | 25 |
| OH | 18 |

K = Kloridi
V = Veto
OH = Ohuthie

Pilottiohjelmaa lähdettiin testaamaan muutamalla sillalla, joiden vauriotiedot olivat kohdalliset ja korjaustoimenpiteet olivat vähäiset. Siltojen valitsemista varten oli määritettävä rajausehdot. Tarkastettujen siltojen rajaus tehtiin Taitorakennerekisterissä. Taitorakennerekisteristä löytyvän laajan haun avulla pystyttiin määrittämään ehdot, joilla siltoja rajataan sopivilla raja-arvoilla.

Tärkeimmiksi ehdoiksi tulivat seuraavat:

- maakunta
- sillan yleiskunto
- sillan kuntoluokka
- valmistusvuosi

- reunapalkin kuntoarvio
- pintarakenteen kuntoarvio.

Rajauksen avulla saatiin 32 sillan joukko, josta lähdettiin rajaamaan vielä lisää. Sillan kunnossapitäjän oli oltava Uudenmaan ELY-keskus, joten joukosta karsiutui vielä muutama kunnossapitäjän perusteella. Joukosta valittiin viisi (5) siltaa, joiden kuntoluokaksi oltiin annettu kolme (3) ja yleiskunnoksi kaksi (2). Lisäksi siltoihin oltiin tehty erikoistarkastus vuonna 2020. Valitut viisi (5) siltaa olivat

- U-1872 Käärmeporttien risteyssilta B
- U-1874 Porttisuon risteyssilta
- U-1876 Vesitornin risteyssilta
- U-1879 Rajakallion risteyssilta
- U- 3872 Käärmeporttien risteyssilta C (E).

Käärmeporttien risteyssilta B on viisiaukkoinen teräsbetoninen jatkuva laattasilta, jonka kokonaispituus on 75,05 metriä ja kokonaisleveys 13,80 metriä. Risteyssilta sijaitsee Vantaalla ja sen kunnossapitäjänä toimii Uudenmaan ELY-keskus. Risteyssilltaan oli tehty erikoistarkastus kesäkuussa 2020 Sitowisen toimesta. Erikoistarkastuksessa oli havaittu seuraavat vauriot:

- päätyrakenteet
 - siipimuurissa 1 vasen lievä työvirheestä johtunut teräksen ruostuminen
 - laakeripalkissa 1 lievä työvirheestä johtunut valuvika
- välituet
 - välitukilinjan 2-4 pilareissa lievää klorideista johtuvaa rapautumista
 - välitukipilarissa 5 lievä työvirheestä johtunut valuvika
- reunapalkit
 - reunapalkeissa merkittävää tai lievää kutistumisesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - reunapalkeissa merkittävää klorideista tai kunnossapitovirheestä johtuvaa rapautumista tai vesivuotoa sillan molemmin puolin
 - reunapalkeissa vakava työvirheestä johtunut lohkeama sillan molemmissa päissä
- päällysrakenne
 - kansilaatan reuna- ja keskiosissa merkittävää kuormituksesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin

- kansilaatan alapinnassa vakavaa kutistumisesta johtuvaa halkeilua
- päällysteet
 - päällysteessä merkittävää liikenteestä johtuvaa kulumaa
 - reunapalkin ja päällysteen välisessä saumauksessa merkittäviä puutteita sillan molemmin puolin
- kaiteet
 - kaidepylväissä vakavaa ruostumista sillan molemmin puolin
 - kaidepylväessä vakava murtuminen sillan oikealla puolella
 - tiekaiteen johteessa merkittävä törmäyksestä johtuva taipuma
 - kaidejohteen päätyviisteessä lievä lämpöliikkeestä johtuva taipuma
- kuivatus
 - tippuputkissa vakavaa vesivuotoa sillan molemmin puolin
- siltapaikka
 - kulutuskerroksessa lievää halkeilua sillan molemmin puolin.

Käärmeporttien risteyssilta B:n korjauskustannuksiksi saatiin Taitorakennerekisterin antamien korjaustarpeiden perusteella pilottiohjelmalla n. 320 000 euroa. Sitowisen erikoistarkastusraportin perusteella määritettyjen korjaustarpeiden korjauskustannuksiksi saatiin pilottiohjelmalla n. 340 000 euroa.

Porttisuon risteyssilta on kolmiaukkoinen teräsbetonin jatkuva palkkisilta, jonka kokonaispituus on 40,4 metriä ja kokonaisleveys 7,8 metriä. Risteyssilta sijaitsee Vantaalla ja sen kunnossapitäjänä toimii Uudenmaan ELY-keskus. Risteyssiltaan oli tehty erikoistarkastus syyskuussa 2020 Sitowisen toimesta. Erikoistarkastuksessa oli havaittu seuraavat vauriot:

- välituet
 - välitukipilarissa 3 lievä työvirheestä johtuva teräksen ruostumista
- reunapalkit
 - reunapalkeissa lievää kutistumisesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - reunapalkeissa merkittävää rapautumista sillan molemmin puolin
- päällysrakenne
 - kansilaatan reuna-alkokkeessa vakavaa ympäristöstä tai ikääntymisestä johtuvaa halkeilua sillan oikealla puolella
- pintarakenne

- vedeneristeessä vakavaa ympäristöstä tai ikääntymisestä johtuvaa vesivuotoa
- kaiteet
 - kaidepylväissä lievää ruostumista sillan molemmin puolin
 - kaiteiden juurikorokkeet liian matalia sillan vasemmalla puolella
- kuivatus
 - tippuputkissa merkittävää vesivuotoa sillan molemmin puolin
 - hulevesiputket liian lyhyitä sillan oikealla puolella
- siltapaikka
 - sillan keiloissa 1 päädyssä lievää eroosioauriota
 - etuluiskassa 1 lievää purkautumista
 - sillan ympäristössä ilkeivallasta johtuvia töherryksiä
 - kulutuskerroksessa lievää liikennekuormasta johtuvaa halkeilua.

Porttisuon risteyssillan korjauskustannuksiksi saatiin Taitorakennerekisterin antamien korjaustarpeiden perusteella pilottiohjelmalla n. 98 000 euroa. Sitowisen erikoistarkastusraportin perusteella määritettyjen korjaustarpeiden korjauskustannuksiksi saatiin pilottiohjelmalla n. 165 000 euroa. Suurimman eron kustannusarviossa toi erikoistarkastuksessa määritetyn välitukien vesipiikkaamisen ja manttelivalun tekeminen.

Vesitornin risteyssilta on kolmiaukkoinen teräsbetoninen jatkuva palkkisilta, jonka kokonaispituus on 52,8 metriä ja kokonaisleveys 7,8 metriä. Risteyssilta sijaitsi Vantaalla ja sen kunnossapitäjänä toimii Uudenmaan ELY-keskus. Risteyssiltaan oli tehty erikoistarkastus lokakuussa 2020 Sitowisen toimesta. Erikoistarkastuksessa oli havaittu seuraavat vauriot:

- päätyrakenteet
 - laakeripalkissa 4 merkittävä rakennusvirheestä johtuva valuvika
- välituet
 - välitukipilareissa 2 ja 3 lievää kutistumisesta johtuvaa verkkohalkeilua tai halkeilua
- reunapalkit
 - reunapalkeissa lievää kutistumisesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - reunapalkeissa merkittävää tai vakavaa klorideista johtuvaa rapautumista sillan molemmin puolin

- reunapalkeissa työvirheestä johtuva valuvika sillan molemmissa päissä
- kaiteet
 - kaidepylväissä lievää ruostumista sillan molemmin puolin
 - kaiteiden juurikorokkeissa vakavaa rapautumista sillan molemmin puolin
 - sillan kaidepylväissä tai -johteissa lievää tai merkittävää ruostumista
- kuivatus
 - tippuputkissa vakavaa vesivuotoa sillan molemmin puolin
 - hulevesiputket liian lyhyitä sillan oikealla puolella ja hulevesikouru oli tukossa sillan 4 päädyssä
- muut varusteet
 - sillan alapuolisessa valaisimessa merkittävää ruostumista
- siltapaikka
 - sillan ympäristössä ilkeivallasta johtuvia töherryksiä.

Vesitornin risteyssillan korjauskustannuksiksi saatiin Taitorakennerekisterin antamien korjaustarpeiden perusteella pilottiohjelmalla n. 154 000 euroa. Sitowisen erikoistarkastusraportin perusteella määritettyjen korjaustarpeiden korjauskustannuksiksi saatiin pilottiohjelmalla n. 157 000 euroa.

Rajakallion risteyssilta on viisiaukkoinen teräsbetonin jatkuva palkkisilta, jonka kokonaispituus on 79,9 metriä ja kokonaisleveys 7,8 metriä. Risteyssilta sijaitsi Vantaalla ja sen kunnossapitäjänä toimii Uudenmaan ELY-keskus. Risteyssiltaan oli tehty erikoistarkastus kesäkuussa 2020 Sitowisen toimesta. Erikoistarkastuksessa oli havaittu seuraavat vauriot:

- päätyrakenteet
 - siipimuurissa 1 molemmin puolin merkittävää klorideista johtuvaa rapautumista
 - siipimuurissa 1 vasen merkittävää klorideista johtuvaa halkeilua
 - siipimuurissa 1 oikea lievä kunnossapidosta johtuva vesivuoto
 - etumuurissa 1 lievää klorideista johtuvaa rapautumista
- välituet
 - välitukipilarissa 3 merkittävää ympäristöstä tai ikääntymisestä johtuvaa rapautumista, sekä lievä työvirheestä johtuva valuvika
 - välitukipilarissa 4 lievä työvirheestä johtuva teräksen ruostuminen
 - välitukipilarissa 5 lievä työvirheestä johtuva valuvika

- reunapalkit
 - reunapalkeissa vakavaa tai merkittävää klorideista johtuvaa rapautumista sillan molemmin puolin
 - reunapalkissa merkittävää kunnossapitovirheestä johtuvaa vesivuotoa sillan oikealla puolella
 - reunapalkeissa lievää kutistumisesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - reunapalkeista lieviä lohkeamia sillan molemmissa päissä
- päällysrakenne
 - päällysrakenteen reunaulokkeissa merkittävää kutistumisesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - kansilaatan reunaulokkeessa merkittävää ympäristöstä tai ikääntymisestä johtuvaa vesivuotoa sillan oikealla puolella
 - kansilaatan alapinnassa lieviä törmäyksestä johtuvia lohkeamia
- päällysteet
 - sillan 6 päädyistä päätysauman puuttuminen
- pintarakenteet
 - vedeneristyksessä merkittävää ympäristöstä tai ikääntymisestä johtuvaa vesivuotoa
- kaiteet
 - kaidepylväissä merkittävää ruostumista sillan vasemmalla puolella
 - kaiteiden juurikorokkeet puuttuivat sillan molemmin puolin
 - kaiteiden suojaverkot liian lyhyet sillan molemmin puolin
 - tiekaiteessa lievä taipuma sillan 6 päässä
- laakerit
 - sillan laakeritasoissa merkittävää kuormituksesta johtuvaa halkeilua, sekä lievää kutistumisesta johtuvaa halkeilua
- kuivatus
 - hulevesiputket puuttuivat sillan vasemmalta puolelta.

Rajakallion risteyssillan korjauskustannuksiksi saatiin Taitorakennerekisterin antamien korjaustarpeiden perusteella pilottiohjelmalla n. 250 000 euroa. Sitowisen erikoistarkastusraportin perusteella määritettyjen korjaustarpeiden korjauskustannuksiksi saatiin pilottiohjelmalla n. 250 000 euroa.

Käärmeporttien risteyssilta C (E) on viisiaukkoinen teräsbetonin jatkuva laattasilta, jonka kokonaispituus on 76,3 metriä ja kokonaisleveys 13,8 metriä. Risteyssilta sijaitsee Vantaalla ja sen kunnossapitäjänä toimii Uudenmaan ELY-keskus. Risteyssiltaan oli tehty erikoistarkastus kesäkuussa 2020 Sitowisen toimesta. Erikoistarkastuksessa oli havaittu seuraavat vauriot:

- päätyrakenteet
 - siipimuurissa 1 lievä työvirheestä johtuva valuvika
 - laakeripalkissa 1 lievää kutistumisesta johtuvaa verkkohalkeilua ja työvirheestä johtuvaa teräksen ruostumista
 - etumuurissa/ päätypalkissa 1 lievää kutistumisesta johtuvaa halkeilua
- välituet
 - välitukilinjan 2-4 pilareissa lievää tai merkittävää klorideista johtuvaa rapautumista
 - välitukilinjan 2 ja 4-5 pilareissa lieviä työvirheistä johtuvia teräksien ruostumisia
- reunapalkit
 - reunapalkeissa merkittävää kutistumisesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - reunapalkeissa merkittävää klorideista johtuvaa rapautumista sillan molemmin puolin
- päällysrakenne
 - kansilaatan reunaulokkeissa merkittävää kuormituksesta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
 - kansilaatan reunaulokkeissa vakavaa liikennekuormasta johtuvaa halkeilua sillan molemmin puolin
- päällysteet
 - päätysauman puuttuminen sillan molemmista päistä
- kaiteet
 - kaidepylväiden juurikorokkeet liian matalat sillan molemmin puolin
- kuivatus
 - sillan tippuputkessa merkittävä ympäristöstä tai ikääntymisestä johtuva vesivuoto 6 päädyssä
- muut varusteet
 - sillan alapuolisessa valaisimessa vakavaa ruostumista.

Käärmeporttien risteysilta C:n korjauskustannuksiksi saatiin Taitorakennerekisterin antamien korjaustarpeiden perusteella pilottiohjelmalla n. 330 000 euroa. Sitowisen erikoistarkastusraportin perusteella määritettyjen korjaustarpeiden korjauskustannuksiksi saatiin pilottiohjelmalla n. 330 000 euroa.

Kustannuksien vähäisen eroavuuden perusteella riittävät Taitorakennerekisterin korjaustiedot ja vähäiset kokeet, kuten kloridit antamaan riittävän kattavat tiedot korjaustoimenpiteistä ja korjauksen laajuudesta.

6 PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyössä perehdyttiin varsinkin teräsbetonirakenteisiin siltoihin, erilaisiin siltatyyppeihin, sillankorjaus- ja tarkastustoimintaan sekä siltojen korjaussuunnitteluun. Opinnäytetyön tarkoitus oli kehittää uudenlainen pilottiohjelma integroitua siltojen korjausurakkaa varten. Opinnäytetyön tilaaja oli Uudenmaan ELY-keskus. Opinnäytetyössä pääpaino oli sillankorjaus- ja tarkastustoiminnassa, jossa siltojen korjausohjeita käytetään korjaussuunnittelun apuna.

Toisessa luvussa tarkasteltiin teräsbetonisen sillan betonin tärkeimpiä ominaisuuksia ja kerrottiin hieman betonista yleisesti. Kolmannessa luvussa perehdyttiin siltoihin ja eri siltatyyppeihin, sillan päärakenneseisiin ja mitä eri rakenneseisiä silloissa on. Neljännessä luvussa käytiin läpi sillantarkastusta ja siihen liittyvää tarkastustoimintaa, eri tarkastusmuotoja, siltojen vauriotyyppejä ja -luokkia. Lisäksi käytiin läpi sillan tarkastustoimintaan liittyvää laadunvarmistusta ja laadunvarmistustoimenpiteitä, sillankorjaukseen liittyviä ohjeita, vaurioita ja niiden korjaustyypppejä, sekä lopuksi korjaussuunnitelman rakennetta.

Näiden aiemmissa luvuissa käsiteltyjen asiakokonaisuuksien avulla pohjustettiin viidennessä luvussa tarkasteltavaa opinnäytetyössä laadittua pilottiohjelman muodostamista. Tutkielman aiemmissa luvuissa käsitelty pohjusti myös integroituihin siltojen korjausurakkaan sisältyviä tavoitteita ja haasteita. Lisäksi viidennessä luvussa määritettiin parametrit sillantarkastuksessa käytettäviin tutkimuksiin, joiden avulla pilottiohjelmaa voitaisiin käyttää. Pilottiohjelma toimii yksinkertaistaen siten, että pilottiohjelmaan syötetään Taitorakennerekisteristä sillasta korjaustyötä varten tarvittavat tiedot, joiden perusteella ohjelma laskee työn korjauskustannukset. Lisäksi pilottiohjelman avulla käyttäjä voi luoda käytännössä valmiin korjaussuunnitelman muutaman painikkeen avulla. Opinnäytetyön liitteisiin lisättiin pilottiohjelman käyttöohje, jossa kerrotaan tarkemmin, kuinka pilottiohjelma toimii ja miten sitä voi käyttää tehokkaasti.

Opinnäytetyössä laadittu ISKU-pilottiohjelma nopeuttaisi keveitä korjaustoimenpiteitä huomattavasti sen jatkuvuuden ja helppokäyttöisyyden takia. Pilottiohjelman tueksi laaditut tutkimustekijät auttavat täydentämään korjaustarpeita pilottiohjelmaan sekä rajamaan siltoja, jotka vaativat isompaa korjausta. Korjaustarpeen selvittämisen jälkeen korjaussuunnittelijan työmäärä vähenee huomattavasti, sillä suurin osa työselosteista oli laadittu valmiiksi pilottiohjelmaan. Lisäksi urakoitsijat pystyisivät aloittamaan työt

työmaalla huomattavasti nopeammin pilottiohjelman nopeamman toimintaprosessin ansiosta.

ISKU-pilottiohjelma luotiin nopeuttamaan ja kehittämään korjaussuunnittelu prosessia. Pilottiohjelman perustana toimivat siltojen korjausohjeet, Sitowisen työselostukset ja Uudenmaan ELY-keskuksen jakama kustannuslaskentapohja litterahintoineen. Näiden työkalujen avulla luotiin Exceliin pilottiohjelma, joka sisälsi kaiken siltojen korjausohjeista korjaussuunnitelmaan asti. Pilottiohjelmaa automatisoitiin siten, että eri taulukot ottivat tietonsa aikaisemmasta tai jostain toisesta työkirjassa olevasta taulukosta. Tietojen kirjaus pilottiohjelmaan tehtiin kuitenkin niin, että pilottiohjelman käyttö olisi sujuvaa ja jatkuvaa. Jatkuvuudella, makroilla ja erilaisilla painikkeilla tuotiin pilottiohjelmaan helppokäyttöisyyttä. Opinnäytetyön liitteisiin luotu käyttöohje opastaa pilottiohjelman käyttöön ja kuvaa sen monipuolisia toimintoja.

ISKU-ohjelmaa ja sen käyttöä olisi mahdollista laajentaa tulevaisuudessa, kunhan esimerkiksi Taitorakennerekisteriä parannettaisiin niin, että sieltä olisi mahdollista saada vauriotietoja yksityiskohtaisesti Exceliin. Vauriotietoja voisivat olla esimerkiksi vaurioiden laajuudet, betonin vetokokeiden tulokset ja kloridipitoisuudet profiileittain. Vauriotiedoilla voitaisiin pilottiohjelmaa kehittää tulevaisuudessa vielä toimivammaksi ja automatisaatiota parantaa jopa niin, että korjaussuunnittelijan ei tarvitsisi kuin viedä tiedot pilottiohjelmaan ja pilottiohjelma tekisi laskut itse aina korjaussuunnitelmaan asti.

Tulevaisuudessa ISKU-ohjelmaa tullaan testaamaan Uudenmaan ELY-keskuksen ja Sitowisen toimesta. Ohjelmaan tullaan todennäköisesti hienosäätämään vielä tulevaisuudessa, sillä kaikkia parannusehdotuksia ei ole välttämättä tullut vielä esille. ISKU-ohjelman käytön mukana tulee varmasti kohtia, joita pitää vielä hioa.

Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan yksinkertainen ja mahdollisimman helppokäyttöinen ohjelma, joka perustuu Excel-ympäristöön. Opinnäytetyössä onnistuttiin myös rajamaan tutkimustekijä, joka osoittautui betonin kloridipitoisuuskokeeksi. ISKU-ohjelman ja tutkimustekijän avulla on hyvin mahdollista, että tulevaisuudessa voi määrittää huomattavasti nopeammin tarkastuskohteen korjaustarpeen ja korjauskustannukset. Opinnäytetyössä ei ehditty testata pilottiohjelman käyttöä korjauskohteissa, mutta ehdittiin tehdä simulaatioajoja, joissa pilottiohjelma osoittautui käytännölliseksi. ISKU-ohjelmasta olisi voinut saada vieläkin helppokäyttöisemmän, mutta siihen olisi vaadittu syvempää tietoteknistä osaamista.

LÄHTEET

Betoni 2021a. Betonin käyttöikä. Osoitteessa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-kayttoika/>. Viitattu 12.5.2020.

Betoni 2021b. Betonin lujuus. Osoitteessa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/ominaisuudet-ja-edut/betonin-lujuus/>. Viitattu 11.5.2020.

Betoni 2021c. Betonin ominaisuudet ja käyttö. Osoitteessa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-ominaisuudet-ja-kaytto/>. Viitattu 11.5.2020.

Laaksonen, Anssi – Piispanen, Matti 2016. Tarkastajakurssi 2016. Siltatyypit [Kursikirja].

Liikennevirasto 2010a. Teräsrakenteet. Metallit sillankorjausmateriaalina. Yleiset laatuvaatimukset. SILKO 1.301. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1301_2010.pdf. Viitattu: 15.1.2021.

Liikennevirasto 2010b. Tiesillat 1.1.2010. Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lti_2010-03_tiesillat_1.1.2010_web.pdf. Viitattu 25.1.2021

Liikennevirasto 2013. Taitorakenteiden tarkastusohje. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf. Viitattu: 20.1.2021.

Liikennevirasto 2014a. Liikenneviraston sillat 1.1.2014. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2015-09_liikenneviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Liikennevirasto 2014b. Siltojen yleistarkastusten laatuvaatimukset. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-09_siltojen_yleistarkastusten_web.pdf. Viitattu 15.1.2021.

Liikennevirasto 2015. Liikenneviraston sillat 1.1.2015. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2015-10_liikenneviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Liikennevirasto 2016. Liikenneviraston sillat 1.1.2016. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2016-05_liikenneviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Liikennevirasto 2017a. Liikenneviraston sillat 1.1.2017. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2017-08_liikenneviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Liikennevirasto 2017b. Sillan vedeneristystyömaan laadunmittaus 2017. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-02_sillan_vedeneristystyomaan_web.pdf. Viitattu 15.1.2021.

Liikennevirasto 2018a. Liikenneviraston sillat 1.1.2018. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lti_2018-07_liikenneviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Liikennevirasto 2018b. Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat. Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-28_taitorakenteiden_erikoistarkastusten_web.pdf. Viitattu 11.1.2021.

Nykyri, Pekka 2020. by 211 Betonirakenteiden suunnittelun oppikirja: Osa 1 - 2013. 4. painos. Helsinki: BY-Koulutus.

Pyy, Hannu & al. 2012. Esitutkimus alkalikiviainesreaktiosta ja sen esiintymisestä Suomessa. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/sillat/bts2011_akr_report_fin.pdf. Viitattu 8.1.2021.

Rakennustieto 2021. InfraRYL – verkkopalvelu. Osoitteessa: <https://www.rakennustieto.fi/infraryl-net>. Viitattu 26.1.2021.

SFS-EN 1504-9. 2009. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 9: Suojaus- ja korjausaineiden ja niiden yhdistelmien periaatteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS.

Suomen betoniyhdistys ry 2016. by 41 Betonirakenteiden korjausohjeet 2016. Helsinki: BY-Koulutus.

Söderqvist, Marja-Kaarina 2016. Taitorakenteiden tarkastajakurssi. Sillan käyttötarkoitus ja päämitat (kurssikirja). Helsinki: Liikennevirasto.

Tiehallinto 2000. Siltatilasto 1.1.2000. Osoitteessa: <https://core.ac.uk/download/pdf/132486834.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2003. Sillat 1.1.2003. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/pdf/4000377.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2004. Sillat 1.1.2004. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillat040101.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2005. Sillat 1.1.2005. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillat050101.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2006. Sillat 1.1.2006. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillat060101.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2007. Sillat 1.1.2007. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillat070101.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2008. Sillat 1.1.2008. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillat080101.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tiehallinto 2009. Sillat 1.1.2009. Tiehallinnon sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillat090101.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tielaitos 1995. Tielaitoksen sillat 1.1.1995. Osoitteessa: <https://core.ac.uk/download/pdf/132486838.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Tielaitos 1996. Sillastoraportteja 1.1.1996. Osoitteessa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/146780/sillat12.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu 25.1.2021.

Tielaitos 1998. Sillat 1.1.1998. Osoitteessa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/146755/sillat14.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu 25.1.2021.

Tielaitos 1999. Sillat 1.1.1999. Osoitteessa: <https://core.ac.uk/download/pdf/132486817.pdf>. Viitattu 25.1.2021.

Toim. Pulkkinen, Pekka & al. 2018. RIL 179-2018 Sillat. Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Valokoski, Jani 2020. Työmaan valmistelu ja laadunvarmistus. Yleistä ja infrarakenteet. Osoitteessa: http://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssimateriaalia/bkr-2020/valokoski_tyomaan-valmistelu-ja-laadunvarmistus-yl-ja-infra.pdf. Viitattu 15.1.2021.

Väylävirasto 2019a. Yleisohje. SILKO-ohjeet, ohjeiston käyttö, ohjeprosessi, rakenne ja laatiminen. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio1/s1101_web.pdf. Viitattu: 11.1.2021.

Väylävirasto 2019b. Väyläviraston sillat 1.1.2019. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vti_2019-01_vaylaviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Väylävirasto 2020a. Sillantarkastuskäsikirja. Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2020-33_sillantarkastuskasikirja_web.pdf. Viitattu 22.1.2021.

Väylävirasto 2020b. SILKO toiminta ja työryhmät. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/silko_toimikunta_tyoryhmat_web.pdf. Viitattu: 11.1.2021.

Väylävirasto 2020c. Väyläviraston sillat 1.1.2020. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osoitteessa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-46_vaylaviraston_sillat_web.pdf. Viitattu 25.1.2021.

Väylävirasto 2021a. Taitorakennerekisteri. Osoitteessa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/sillaterekisteri>. Viitattu 21.1.2021.

Väylävirasto 2021b. 1 Yleiset laatuvaatimukset. Osoitteessa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/silko/yleiset-laatuvaatimukset>. Viitattu 20.1.2021.

Väylävirasto 2021c. 2 Työkohtaiset laatuvaatimukset. Osoitteessa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/silko/laatuvaatimukset>. Viitattu 20.1.2021.

Väylävirasto 2021d. 3 Voimassa olevien SILKO-tuotteiden luettelo (Tarviketiedosto). Osoitteessa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/silko/tarviketiedosto>. Viitattu 20.1.2021.

ISKU -ohjelman käyttöohje

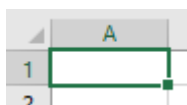
1 Tuonti

Tuonti-taulukko on tarkoitettu tuoda Taitorakennerekisteristä saatavat tiedot. Tuotavat sillan tiedot ovat ennalta määrättyjä ohjelman toimivuuden takaamiseksi.

Exceliin tuodaan Taitorakennerekisteristä vähintään seuraavat tiedot:

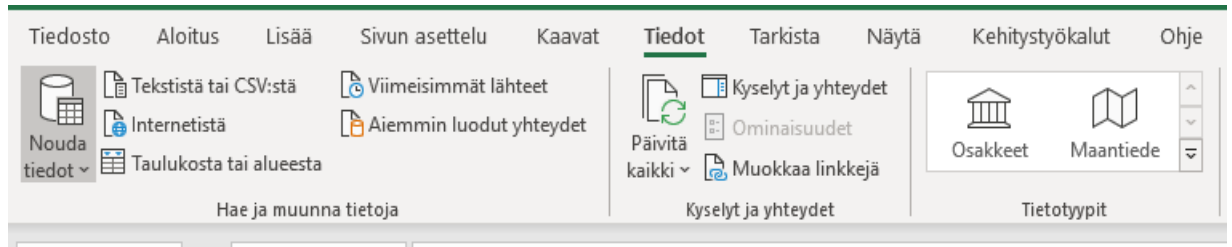
- sillan tunnus
- sillan nimi
- kannen pinta-ala (m²)
- kokonaispituus (m)
- laskettu yleiskunto
- yleiskunto
- päätytukien kuntoarvio
- reunapalkkien kuntoarvio
- välitukien kuntoarvio
- päällysrakenteen kuntoarvio
- pintarakenteen kuntoarvio
- (radan päällysrakenteen kuntoarvio)
- kaiteiden kuntoarvio
- liikuntasauvojen kuntoarvio
- laakereiden kuntoarvio
- kuivatuslaitteiden kuntoarvio
- muiden varusteiden kuntoarvio
- siltapaikan kuntoarvio.

Tiedot voi tuoda työkirjaan, joko Excelin Tiedot-välilehden avulla tai kopioimalla ja liittämällä. Tuodaksesi Taitorakennerekisteristä tallentamasi Excel tiedoston sisällön työkirjaan voit kopioida ja liittää sen *Tuonti*-taulukon soluun "A1". (Kuva 2)



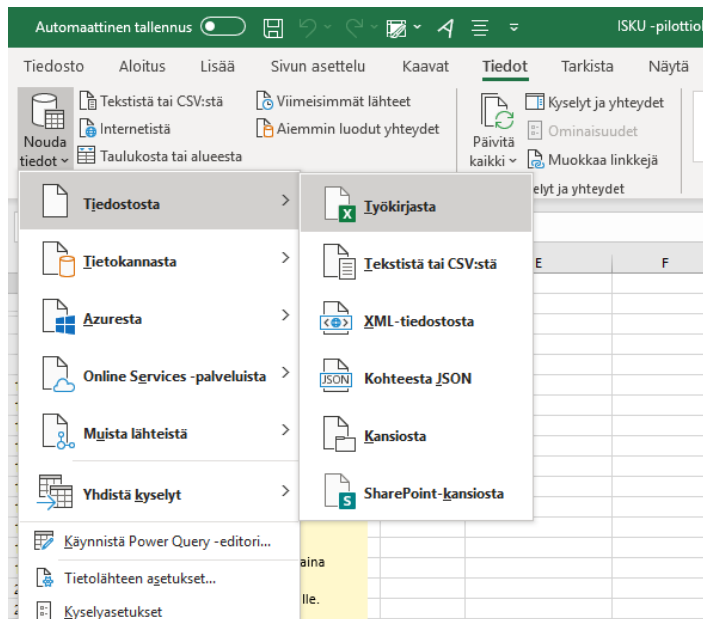
Kuva 1. Tuonti-taulukon solu "A1".

Vaihtoehtoisesti voit tuoda datan Excelin avulla. Tuodaksesi datan Excelin avulla pilotiohjelmaan on siirryttävä Excelin *Tiedot*-välilehdelle. *Tiedot*-välilehdeltä löytyy alasvetovalikko nimeltä *Nouda tiedot*, josta voi määrittää tuotavan tiedoston noutopaikan. (Kuva 3)



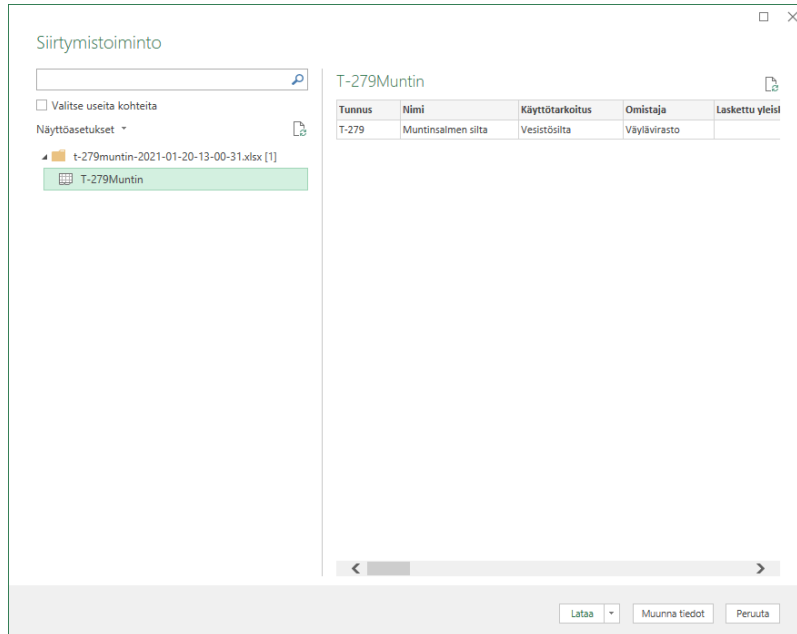
Kuva 2. Tiedot-välilehden Nouda tiedot-alasvetovalikko.

Jotta pilotiohjelma toimisi määritettyjen makrojen avulla on valittava vaihtoehto *Tuo tiedostosta* ja *Excel työkirjasta*. (Kuva 4)



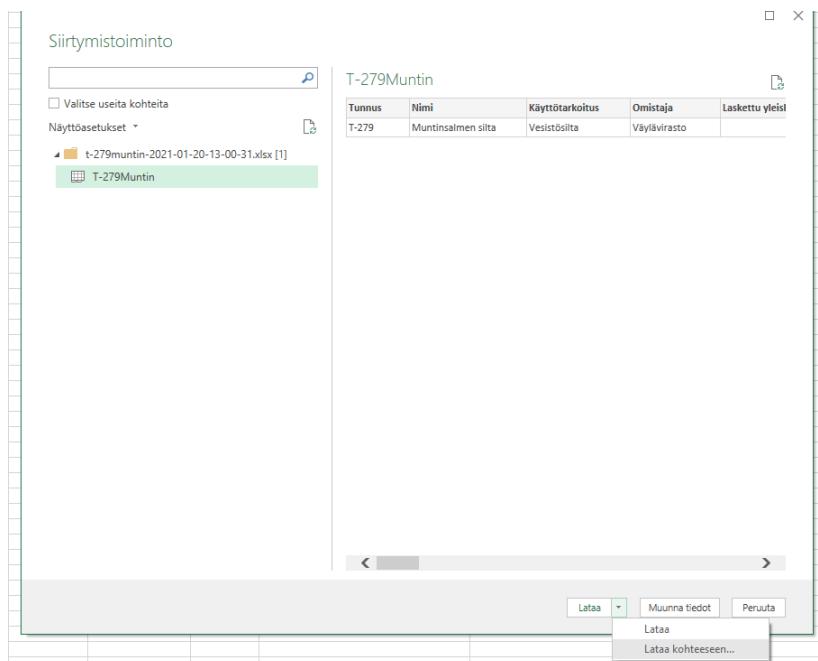
Kuva 3. Alasvetovalikon valinnat.

Tämän jälkeen avautuu *Tuo* tiedot-ikkuna, josta valitset Taitorakennerekisteristä tuodun työkirjan (*Esim. U-1234-2021-01-20-13-33-31*). Valittuasi oikean työkirjan avautuu uusi ikkuna, jossa voit esikatsella tuotua dataa. (Kuva 5)



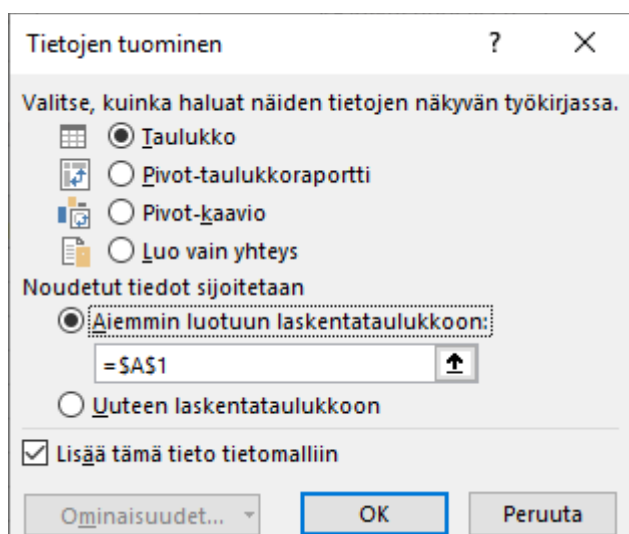
Kuva 4. Esikatselunäkymä

Pilottiohjelman makrojen toimivuuden kannalta on määritettävä tietojen tuontisijainti. Määrittääksesi sijainnin valitse "Lataa kohteeseen". (Kuva 6)



Kuva 5. Tietojen tuontisijainnin määrittäminen Lataa kohteeseen valinnan avulla.

Tämän jälkeen avautuu uusi ikkuna, jossa määritetään tietojen tuomisen sijainti ja olo-muoto. Tietojen tuominen -ikkunasta on valittava "Taulukko" ja määritettävä "Aiemmin luotuun laskentataulukko"-kohtaan "=Tuonti!\$A\$1". Sijoituspaikan voi asettaa myös painamalla nuolta ja valitsemalla A1 -solun. Valittuasi solun paina OK, jolloin Excel tuo datan valitsemastasi työkirjasta. Kun data on tuotu voi siirtyä seuraavaan taulukkoon. (Kuva 7)



Kuva 6. Tietojen tuontisijainnin määrittäminen A1 soluun

2 Taitorakennerekisteri (prototyyppi)

Taitorakennerekisteri -taulukko näyttää tuodun sillan datan tunnuksen, nimen, yleiset mittatiedot, kuntopisteet ja kuntoarviot. Kuntoarviot on erotettu toisistaan värikoodeilla, joita ovat vihreä, keltainen ja punainen. Vihreä ei vaadi vielä toimenpiteitä, keltainen tapauskohtaisesti ja punainen aina. Lasketun yleiskunnon ja yleiskunnon kuntoarviot on muutettu korjaustarpeiksi, joita ovat ”Ei tarvittavia korjauksia”, ”Korjaukset tehdään tapauskohtaisesti”, ”Useita vaurioita (mahdollinen ET)” ja ”Rakenne osa korjattava/ uusittava”. Päärakenneosien kuntoarviot on muutettu korjaustarpeiksi, joita ovat ”Ei varsinaisia vaurioita/ lieviä tai vähäisiä vaurioita”, ”Ennakoivia/ paikallisia korjaustoimenpiteitä suunniteltava”, ”Selviä korjausta vaativia vaurioita” ja ”Korjaus/ uusiminen välttämätöntä”.

| Tunnus | Nimi | Kannen pinta-ala (m2) | Kokonaispituus (m) | Reunapalkit (kpl) | LYK | KP | YK |
|--------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|---------------------------|------|--------------------------------------|
| U-1234 | Peltosen risteysilta | 672,29 | 90,74 | 2 | 1,35 | 2880 | 2 |
| | Korjaustarve | | | | Ei tarvittavia korjauksia | 2880 | Korjaukset tehdään tapauskohtaisesti |

Kuva 7. Taitorakennerekisteri -taulukko.

3 SILKO

SILKO -taulukkoon on liitetty monta erilaista painiketta, kuten *Piilota*, *Yleiset laatuvaatimukset*, *Työkohtaiset laatuvaatimukset* ja *Voimassa olevien SILKO -tuotteiden luettelo* -painikkeet. *Piilota* -painikkeen avulla voi piilottaa yleiset laatuvaatimukset ja työkohtaiset laatuvaatimukset. *Yleiset laatuvaatimukset* -painikkeella avautuu lisää painikkeita, jotka vastaavat siltojen korjausohjeiden yleisohjeita. Jokaista yleisohjetta painamalla avautuu verkkoselaimessa sen nimen mukainen yleisohje. *Työkohtaiset laatuvaatimukset* -painikkeella avautuu myös lisää painikkeita, jotka vastaavat siltojen työkohtaisia laatuvaatimuksia. Jokaista työohjetta painamalla avautuu verkkoselaimessa sen nimen mukainen työohje ja *Työseloste* -taulukossa avautuu korjaustoimenpiteen mukainen työselostus. *Voimassa olevien SILKO - tuotteiden luettelo* -painikkeella avautuu lisää painikkeita, jotka vastaavat SILKO hyväksytyjä korjausaineita, -tarvikkeita ja -tuotteita. Jokaista tuoteluettelo painamalla avautuu verkkoselaimessa sen nimen mukainen tarviketiedosto. Kaikista kolmesta (3) painikkeesta avautuu myös *Kaikki yleiset laatuvaatimukset*, *Kaikki työkohtaiset laatuvaatimukset* ja *Kaikki SILKO -tuotteet* -painikkeet, josta pääsee ohjeiden listaukseen.

| Piiota | | | SILKO-ohjeistus | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|--|
| Yleiset laatuvaatimukset | Työkohtaiset laatuvaatimukset | | Voimassa olevien SILKO-tuotteiden luettelo | | |
| Työturvallisuus | Reunapalkin uusiminen | Kaiteen paikkamaalaus | Korjausbetonit | | |
| Betoni sillankorjausmateriaalina | Paikkaus ilman muotteja | Kivipinnan puhdistus | Paikkausaineet | | |
| Polymeerit sillankorjausmateriaalina | Paikkaus muottien avulla | Tippuputken teko päälysrakenteeseen | Injektointi-, imeytys- ja sulkuaineet | | |
| Purkamis- ja esikäsitteilymenetelmät | Korjaus ruiskubetonimalla | Pienten liikunta- ja kutistumissaumojen korjaus | Töhrerysten estoaineet ja kemialliset pinnanpuhdistusaineet | | |
| Betonin paikkaus | Halkeaman injektointi polymeerillä | Päälysteen ja betonirakenteen välisen sauman tiivistäminen | Vettähykyvät impregnoitaineeet ja impregnoitaineeet | | |
| Betonointi ruiskuttamalla | Sementti-injektointi | Vedeneristyksen uusiminen kermieristyksenä | Pinoitusaineet | | |
| Halkeamien korjaaminen | Halkeaman imeytys | Asfalttipäälysteen paikkaaminen | Eristysalustan tiivistysaineet | | |
| Betonin suojaaminen | Eristysalustan kunnostus | Asfalttipäälysteen uusiminen | Uudis- ja uusintamaalauksen maalausjärjestelmät | | |
| Sillan ja siltapaikan kuivatus | Betonipinnan puhdistus | Nurmiverhouksen teko | Saumamassat | | |
| Liikuntasaumojen korjaaminen | Betonipinnan impregnointi | Molskotti- ja sepeliverhouksen teko | Kermieristysrakenteet | | |
| Vedeneristyset | Betonipinnan pinnoitus | Kenttäkiverhouksen teko | Laakeri- ja liikuntasaumatuotteiden käyttöluupa | | |
| Päälysteet | Raudoituksen uusiminen | | | | |
| | Kaidepylvään juuren kunnostus | | | | |
| Kaikki yleiset laatuvaatimukset | Kaikki työkohtaiset laatuvaatimukset | | Kaikki SILKO-tuotteet | | |

Kuva 8. SILKO -taulukko.

4 Työseloste

Työseloste -taulukon sivulla 1 on kansilehti, johon kirjataan sillan tunnus, nimi ja paikkakunta, sekä ohjelman käyttäjän ja tarkastajan allekirjoitus. Työselosteessa on kolme (3) hienosäätö painiketta, jotka ovat *Kuva*, *Piiota* ja *Näytä* -painikkeet. *Kuva* -painikkeella voi tuoda kansilehdelle esimerkiksi sillan tasokuvan. *Piiota* -painikkeella saa työselosteen sen perusnäkömään eli kaikki korjaustoimenpiteet ovat piilotettuna. *Näytä* -painikkeella saa kaikki piilotetut korjaustoimenpiteet näkyviin. Jokaisen korjaustoimenpiteen selostuksen viereen on sijoitettu *Kustannusarvio* -painike, joka vie pilotin käyttäjän *Määräluettelo* -taulukkoon korjaustyön/ -töiden kohdalle.

Työselosteen *Piiota* -painike piilottaa myös korjaussuunnitelmassa olevat korjaustyöt, määrät ja kustannukset. *Näytä* -painike näyttää korjaussuunnitelman piilotetut rivit.

Tunnus, Sillan nimi, paikkakunta

SILLAN KORJAUSTYÖ

TYÖSELOSTE



Laatinut:

Etunimi Sukunimi

(Ins. amk, A-lk:n betonisiltojen korjaussuunnittelija)

Pvm. 1.1.2021

Tarkastanut:

Etunimi Sukunimi

(Ins. amk, A-lk:n betonisiltojen korjaussuunnittelija)

Pvm. 1.1.2021

Korjaustoimenpide

Halkeamien injektointi

Halkeamien injektointi tehdään SILKO 2.236 / SILKO 2.237 mukaisesti. Injektointiaineena käytetään SILKO 3.235 kohdan 1/2 mukaista injektointiainetta esim. KB-Pox IN

Ennen injektointityön aloitusta pidetään halkeamakatselmus urakoitsijan ja tilaajan edustajan kanssa. Katselmuksessa kirjataan ylös likimääräinen arvio injektoitavista halkeamista.

Injektoitavia halkeamia ovat:
Kaikki $\geq 0,2$ mm halkeamat.

Kuva 9. Työselostus -taulukko.

5 Määräluettelo

Määräluettelo -taulukossa on niin sanottuja litterahintoja ja muutamia valmiita korjauspaketteja. Kustannusarvion valmiita korjauspaketteja ovat:

- Reunapalkin korjaaminen kuorivaluna
- Eristysalustan kunnostus
- Päälysteiden ja päälysteen saumojen uusiminen
- Siltakaiteiden uusiminen
- Siltakaiteiden kunnostus
- Tiekaiteiden uusiminen
- Kuivatuslaitteiden uusiminen

- Liikuntasaumalaitteiden uusiminen massaliikuntasaumoina
- Rakenne liikuntasauvojen tiivistys
- Valaisimien uusiminen/ irrottaminen/ kunnostus
- Kaapelien siirtäminen/ suojaus
- Keilojen/ etuluisien korjaus

Taulukosta löytyy myös *Tyhjennä*, *Näytä kaikki* ja *Piilota tyhjät* -painikkeet. Painikkeiden avulla voi tyhjentää kaikki *Määrä* -solut, näyttää kaikki piilotetut solut ja piilottaa kaikki tyhjät solut, joilla ei ole arvoa. Lisäämällä *Määrä* -soluihin arvoja päivittyy kustannus myös suoraan *Kustannusarvio* -taulukkoon.

Jos tarvittavaa korjaustoimenpidettä ei ole valmiina *Määräluettelo* -taulukossa, voi sen litteran etsiä *Määränimikkeistö* -taulukosta. Kun litteranumero on selvillä, muuta määräluettelon *Littera* -soluun uuden korjaustoimenpiteen numero, jolloin Excel hakee työn, yksikön ja yksikköhinnan kyseiselle litteralle. Uusi korjaustoimenpide päivittyy myös *Kustannusarvio* -taulukkoon.

| | | Tyhjennä | Näytä kaikki | Piilota tyhjät | | | | | |
|---|------------|----------|--|----------------|-------|------|------------------|--------|--|
| Määräluettelo | | | | | | | | | |
| Työselostuksen kohta | Rakenneosa | Littera | Työ | Yks | Määrä | Yyks | € | Selite | |
| Reunapalkkien korjaaminen kuorivaluna | | | | | | | | | |
| 201 Reunapalkki | | 1102 | Betonirakenteen vesipikkaus x mm korjausludastaksi | m ² | 7,26 | 3000 | 21 780 | | |
| 201 Reunapalkki | | 2001 | Reunapalkin muotti laudasta (sis. telineet) | m ² | 181,5 | 120 | 21 780 | | |
| 201 Reunapalkki | | 3001 | Betoniteräs A 500 HW / B500B | kg | | 2 | 0 | | |
| 201 Reunapalkki | | 3007 | Taruntiteräs A 500 HW / B500B juotettuna, d=10 mm, L max =700, poraus Ø 12 mm, poraus syvyys max. 300 mm. | kpl | | 10 | 0 | | |
| 201 Reunapalkki | | 4004 | IT-Betoni C35/45 / P50 | m ³ | 10,9 | 420 | 4 578 | | |
| 201 Reunapalkki | | 4007 | Muovikuitujen lisäys betonin (määrä valmistajan ohjeen mukaisesti) | kg | | 30 | 0 | | |
| 201 Reunapalkki | | 4026 | Betonipinnan vettähyökyä impregointi, geeli tai emulsio. Silta 3.252; Tukeutumissyvyys vähintään +++; ohjeellinen uusintakäsitelyväli 10-17 v. | m ² | 181,5 | 40 | 7 260 | | |
| | | | | | | | Yhteensä: | 33 618 | |
| Kansilaatan yläpinnan (eristysalustan) kunnostus | | | | | | | | | |
| 401 Päätyote | | 1202 | Asfalttikerroksen poisto x mm | m ² | 67,3 | 100 | 6 730 | | |
| 501 Suojakerros | | 1204 | Suojabetonin poisto x mm | m ² | | 300 | 0 | | |
| 502 Vedeneristys | | 1205 | Vesieristeen poisto | m ² | 672,3 | 10 | 6 723 | | |
| 502 Vedeneristys | | 1206 | PAH-pitoisen vesieristeen purkaminen | kg | | 4 | 0 | | |
| 502 Vedeneristys | | 1207 | Asbestipitoisen vesieristeen purkaminen | kg | | 2 | 0 | | |

Kuva 10. Määräluettelo -taulukko.

6 Kustannusarvio

Kustannusarvio -taulukon sivulla 1 on kansilehti, johon kirjataan sillan tiedot, kuten nimi ja tunnus, sekä paikkakunta, siltatyypin, jännemitta, hyötyleveys, kokonaispituus, kannen pituus, kokonaisleveys ja vinous. Lisäksi kustannusarvion laatijan ja tarkastajan allekirjoitukset näkyvät kansilehdellä. Soluun, johon kirjoitettaisiin, siltatyypin on tehty luettelo, josta voit valita kyseisen sillan siltatyyppin. Sivulla 2 on kustannusarvio kokonaisuutena, litteroineen ja töineen. Sivun 2 vierestä löytyy *Piilota* ja *Näytä* -painike, jonka avulla voi piilottaa tai näyttää tyhjät ja arvottomat solut.

| U-1928 Kylmäojan risteyssilta (N), Vantaa | | | |
|--|------------|---|------------|
| SILLAN KORJAUSTYÖ | | | |
| KUSTANNUSARVIO | | | |
| Siltatyyppi: | | | |
| JM: | 13+18+17 m | | |
| HL uusi: | 16,5 m | | |
| Kokonaispituus: | 52,15 m | | |
| Kannen pituus: | 49,25 m | | |
| Kokonaisleveys: | - | | |
| Vinous: | - | | |
| Laatinut: Etunimi Sukunimi (Ins. amk, A-lk:n betonisiltojen korjaussuunnittelija) Pvm. 1.1.2021 | | Tarkastanut: Etunimi Sukunimi (Ins. amk, A-lk:n betonisiltojen korjaussuunnittelija) Pvm. 1.1.2021 | |
| KUSTANNUSARVIO | | | |
| Työselostuksen kohta | | | |
| Rakenneosa | Littera | Työ | € |
| Rakenteen betonikorjaukset ja impregnointi | | | |
| 105 Sivumuuri | 11012 | Kaivu ilman tuentaa | - € |
| 106 Etumuuri | 2007 | Muotit haponkestävästä/RST teräksestä | 5 445,00 € |

Kuva 11. Kustannusarvio -taulukko.

7 Korjaussuunnitelma

Korjaussuunnitelma -taulukko kokoaa *SILKO* -taulukon perusteella valitun korjaustoimenpiteen ja päivittää korjaustoimenpiteen työselostuksen automaattisesti taulukkoon. Työselostus on linkitetty *Työselostus* -taulukkaan, johon voi muuttaa tietoja, kunhan muutokset pysyvät samassa solussa kuin aikaisempi tieto. Korjaustoimenpiteen työselostuksessa on myös painike, joka johtaa materiaalitaulukkoon, joita tarvitaan korjauksessa. Korjaussuunnitelma pitää sisällään myös työn, määrän ja kustannuksen. Työt päivittyvät automaattisesti määränimikkeistöstä valitun litteranumeron perusteella, jotka ovat piilotettuna sarakkeessa B. Määrät ja kustannukset ovat linkitetty *Määräluettelo* -taulukon kyseisen työn *Määrä* ja *Kustannus* -soluihin. *Korjaussuunnitelma* -taulukkaan lisättiin myös kansilehti, johon tulee sillan tunnus, nimi ja paikkakunta, sekä otsikot sillan korjaustyö ja korjaussuunnitelma. Kansilehdellä on myös esimerkki kuvasta, johon voi

vaihtaa esimerkiksi sillan yleiskuvan. Kansilehdellä näkyvät myös korjaussuunnitelman laatijan ja tarkastajan allekirjoitukset.

| Halkeamien injekointi | | | |
|---|--|------------------|---------------------------------|
| Työkohtaiset ohjeistukset | Tarkennukset | Laatuvaatimukset | Kustannus ja määrä |
| Halkeamien injekointi tehdään SILKO 2.236 / SILKO 2.237 mukaisesti. Injekointiaineena käytetään | Ennen injekointityön aloitusta pidetään halkeamakatselmus urakoitsijan ja tilaajan edustajan kanssa. | | Halkeamien injekointi epoksilla |
| | | | Määrä (m) |
| | | | 100 |
| | | | Kustannus (€) |
| | | | 17000 |

Kuva 12. Korjaussuunnitelma -taulukko.

8 Määränimikkeistö ja rakenneosa

Määränimikkeistö -taulukosta löydät litterat ja niiden hinnat, sekä mahdolliset lisäkorjaustoimenpiteet. Määränimikkeistöistä löydät litteranumeron ja numeron voi halutessaan viedä *Kustannusarvio* -taulukkoon, joka päivittää itsensä vastaamaan litteran mukaista korjaustoimenpidettä.

Rakenneosa -taulukosta löydät rakenneosien nimet ja numerot. Päärakenneosat on jaettu numeerisesti 100 – 900 niin, että ykkösellä (1) alkavat kuuluvat alusrakenteisiin ja yhdeksällä (9) alkavat kuuluvat siltapaikan rakenteisiin. Esimerkiksi sillan etumuuri

kuuluu alusrakenteeseen, jolloin sen numerosarja alkaa ykkösellä (1) ja on kuudes (6) listalla, joten numerosarja on 106. Päärakenneosat yhdestä yhdeksään ovat:

- Alusrakenne (100-134)
- Reunapalkkirakenteet (200-205)
- Muu päällysrakenne (300-323)
- Päällysteet (400-402)
- Muu pintarakenne (500-504)
- Kaiteet (600-610)
- Liikuntasuomalaitteet (700-705)
- Muut varusteet ja laitteet (800-862)
- Siltapaikan rakenteet (900-914)

Rakenneosa -taulukosta voi hakea haluamansa rakenneosan ja tuoda sen *Määräluettelo* -taulukkoon, selventääkseen kustannusarviota.

| Littera | Työ | Yks | Hinta |
|---------|--|----------------|-------|
| | 1. PURKUTYÖT | | |
| | 1.1. Betonirakenteet | | |
| 1101 | Betonirakenteen purku vesipiikkaamalla | m ³ | 1500 |
| 1102 | Betonirakenteen vesipiikkaus x mm korjausalustaksi | m ³ | 3000 |
| 1103 | Kannen yläpinnan vesipiikkaus x mm | m ² | 2500 |
| 1104 | Kannen yläpinnan korkeapainepesesu eristysalustaksi | m ² | 20 |
| 1105 | Reunakaistan purku | m ³ | 1000 |
| 1106 | Reunapalkin purku | m ³ | 1900 |
| 1107 | Betonirakenteen purku mekaanisesti | m ³ | 1000 |
| 1108 | Betonipinnan suihkupuhdistus | m ² | 15 |
| 1109 | Kannen yläpinnan suihkupuhdistus (hiekkapuhallus tai sinkopuhdistus) | m ² | 20 |
| 1110 | Eristysalustan kevytjyrsintä, syvyys max 4 mm | m ² | 25 |
| 1111 | Töhrerrysten poisto | m ² | 15 |
| 1112 | Vesivuojojalkien puhdistus hiomalla ja pesemällä | m ² | 15 |
| 1113 | Betonipinnan korkeapainepesusu | m ² | 15 |
| | | | |
| | | | |
| | 1.2. Päällysteet ja pintarakenteet | | |
| 1201 | Päällysteen hienojyrsintä h ~ 5 mm | m ² | 10 |
| 1202 | Asfalttikerrosten poisto x mm | m ² | 100 |
| 1203 | Täyttökerroksen x mm poisto kannen yläpinnasta | m ³ | 70 |
| 1204 | Suojabetonin poisto x mm | m ³ | 300 |
| 1205 | Vesieristeen poisto | m ² | 10 |
| 1206 | PAH-pitoisen vesieristeen purkaminen | kg | 4 |
| 1207 | Asbestipitoisen vesieristeen purkaminen | kg | 2 |
| 1208 | Asfaltin jyrsintä xx mm | m ³ | 200 |
| | | | |
| | | | |

Kuva 13. Määränimikkeistö -taulukko.

| | | |
|-------------------------------|--|------------------------------------|
| 100 ALUSRAKENNE | | 300 MUU PÄÄLLYSRAKENNE |
| 101 Peruslaatta | | 301 Kansilaatta |
| 102 Arkku | | 302 Pääkannattaja, palkki |
| 103 Antura | | 303 Pääkannattaja, kaari |
| 104 Kantamuuri | | 304 Pääkannattaja, holvi |
| 105 Sivumuuri | | 305 Pääkannattaja, kotelo |
| 106 Etumuuri | | 306 Pääkannattaja, ristikko |
| 107 Tukiseinä | | 307 Pääkannattaja, putki |
| 108 Siipimuuri | | 308 Sekundäärinen pituuskannattaja |
| 109 Otsamuuri | | 309 Poikkikannattaja |
| 110 Laakeritaso | | 310 Poikkiside |
| 111 Laakeripalkki | | 311 Vinoside |
| 112 Niska | | 312 Pyloni |
| 113 Alusrakenteen reunapalkki | | 313 Riippuköysi |
| 114 Ukkopylväs | | 314 Pidätinköysi |
| 115 Pilarituki | | 315 Riipputanko |
| 116 Paalutuki | | 316 Vinoköysi |
| 117 Seinämäinen tuki | | 317 Päällysrakenteen saumaus |
| 118 Vinotuki | | 318 Ruiskubetonoitu kallioseinä |
| 119 Ankkurointi | | 319 Ruiskubetonoitu kalliokatto |
| 120 Alusrakenteen reunakaista | | 320 Ruiskubetonoitu erillisverhous |
| 121 Alusrakenteen saumaus | | 321 Ruiskubetonoitu erillisverhous |

Kuva 14. Rakenneosa -taulukko.