
**TOBI-elementtikehäsillan
erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu**

Tykkitien alikulkukäytävä



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Visamäki, kevät 2013

Jukka Tulokas



VISAMÄKI

Rakennustekniikan koulutusohjelma
Rakennetekniikka

Tekijä	Jukka Tulokas	Vuosi 2013
Työn nimi	TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu	

TIIVISTELMÄ

Työn tilaaja on Espoon kaupunki ja sen tuottaa Sito Oy. Työn tavoitteena on tehdä Espoossa Merituulentiellä sijaitsevaan Tykkkien alikulkukäytävään erikoistarkastus sekä korjaussuunnitelma ja avata lukijalle työssä tehtyjä toimenpiteitä. Työssä esitellään myös yleistietoa silloista ja niiden korjaustarpeesta.

Työn taustalla on sillalle aikaisemmin tehty tarkastus, jossa on todettu sillalla olevan niin paljon vaurioita, että seuraava toimenpide on sillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu.

Työssä sovelletaan Sito:n yleisiä menetelmiä erikoistarkastus- sekä korjaussuunnittelu-työssä yhdessä muiden tieteellisten materiaalien ja säädöksiä kanssa. Tutkimusmenetelminä olivat pääasiassa erilaiset betoniteknologiset menetelmät, jotka suoritettiin erikoistarkastuksen yhteydessä siltapaikalla sekä Hämeen ammattikorkeakoulun, Betonialan Ohuthiekeskus FCM:n ja Envitop Oy:n laboratorioissa. Käytettyjä aineistoja olivat mm. eri SFS standardit, eurokoodit ja niiden soveltamisohjeet, liikenneviraston ohjeet ja mallit.

Työn päätuloksena voidaan pitää korjaussuunnitelmaa, jonka mukaan kohde tullaan korjaamaan, sekä opetustarkoituksessa toimivaa opinnäytetyötä. Työssä silta todettiin kunnoltaan vielä korjaukelpoiseksi ja korjaus tullaan mahdollisesti tekemään. Korjauksen voi kuitenkin vielä perua Merituulentielle tehtävä katusuunnittelu, joka voi muuttaa nykyisten väylien määrää tai kokoa niin, että silta ei ole riittävän suuri ja se pitää purkaa. Jatko-toimenpiteinä Espoon kaupunki odottaa katusuunnittelun valmistusta ja päättää tilaajana katusuunnittelun yhteydessä onko silta alimittainen tuleviin tarpeisiin nähden. Mikäli silta päätetään säilyttää, niin korjaustyö suoritetaan mahdollisesti kesällä 2014.

Avainsanat Sillat, tarkastus, korjaus, suunnittelu

Sivut 40 s. + liitteet 3 s.



VISAMÄKI

Degree programme in Building and Construction Engineering
Structural Engineering**Author**

Jukka Tulokas

Year 2013**Subject of Bachelor's thesis**Special inspection and a repair plan of a TOBI
element portal bridge

ABSTRACT

This thesis was commissioned by the city of Espoo and it's produced by Sito Oy. The goal of the thesis was to make a special inspection and draw up a repair plan for a portal bridge that is located in Espoo Merituulentie road and explain the measures taken in the thesis. Some general facts about bridges and repair work of bridges are also presented.

Initial data for the thesis comes from an inspection made earlier. The inspection noted that there are so many different kinds of damages in the bridge that a special inspection and repair plan are needed.

The thesis applies Sito's general methods in special inspections and repair plans together with scientific materials and regulations. The research methods were mainly different kind of concrete technological methods which were used during the special inspection on the bridge site and in HAMK University of Applied Sciences, FCM Betonialan Ohuthiekeskus and Envitop Oy laboratories. Different kinds of SFS standards, Eurocodes, and Finnish Transport Agency's models and guidelines were also used in the thesis.

The main result of the thesis was a repair plan for the bridge. The thesis can also be used for educational purposes. In the special inspection it was found out that the bridge is repairable. The repair work will be carried out unless the street plan that will made for Merituulentie road shows that the capacity of the bridge isn't enough for the future traffic volumes. Therefore the city will wait for the completion of that street plan and after that will decide if they will repair the bridge or demolish it and built a new bigger one. If they decide to repair the bridge the reparation work will be done in summer 2014.

Keywords Bridge, inspection, repair, design**Pages** 40 p. + appendices 3 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Taitorakenteet.....	1
1.2	Sillat	1
1.3	Siltatyypit ja niille ominaiset vauriot	2
1.4	Tiesillat.....	3
1.5	Rautatiesillat.....	3
1.6	Kevyen liikenteen sillat.....	4
1.7	Tiesiltojen suunnittelukuormien kehitys	4
2	BETONIN VAURIOMEKANISMEJA	5
2.1	Betonin karbonatisoituminen	6
2.2	Betonin kloridirasitus	6
2.3	Pakkasrapautuminen.....	7
3	ERIKOISTARKASTUS	8
3.1	Rakenteiden kunnonhallinta.....	8
3.2	Yleistä erikoistarkastuksesta	8
3.3	Kohde	9
3.4	Tutkimussuunnitelma.....	11
3.5	Tutkimuksen tavoite ja tehtävä	11
3.6	Suoritettut tutkimukset	12
3.6.1	Kenttätutkimukset.....	12
3.6.2	Tehdyt laboratoriotutkimukset	12
3.7	Tutkimustulokset.....	13
3.7.1	Sillan ja siltapaikan rakenteet	13
3.7.2	Havainnot rakenneosittain	14
3.7.3	Sillan betonirakenteet. Tutkimustulokset	17
3.8	Erikoistarkastuksen yhteenveto.....	23
3.8.1	Turvallisuusnäkökohdat ja kiireelliset toimenpiteet.....	23
3.8.2	Tutkimustulosten luotettavuus ja lisätutkimukset	23
3.8.3	Sillan kunto ja VPS	23
3.8.4	Sillan peruskorjaaminen	23
3.8.5	Erikoistarkastuksen perusteella arvioitu korjauskustannus	24
4	KORJAUSSUUNNITTELU	24
4.1	Yleistä korjaussuunnittelusta.....	24
4.2	Kohde	25
4.3	Laatu-, ympäristö- ja turvallisuusvaatimukset	27
4.4	Vanhojen rakenteiden purkaminen.....	27
4.4.1	Betonirakenteiden purkaminen.....	28
4.4.2	Betonivaurio- ja teräskorroosiokohtien piikkaus.....	28
4.4.3	Betonipintojen suihkupuhdistus korjausalustaksi.....	28
4.4.4	Elementtisaumojen purku	29

4.4.5	Kansilaatan yläpinnan purkutyöt.....	29
4.4.6	Kannen pintarakenteiden purkaminen.....	29
4.4.7	Teräsrakenteet.....	30
4.4.8	Kaivu- ja täyttötyöt.....	30
4.5	Betonirakenteiden korjaaminen.....	30
4.5.1	Raudoituksen uusiminen.....	30
4.5.2	Paikkaus ilman muotteja.....	30
4.5.3	Kansilaatan korjausvalut.....	30
4.5.4	Uusien rakenteiden betonointi, kansirakenne.....	31
4.5.5	Kulmatukimuuri.....	31
4.5.6	Kulmatukimuuri, siipimuurin jatke.....	32
4.5.7	Betonipinnan impregnointi.....	32
4.5.8	Betonipintojen pinnoitus karbonatisoitumista hidastaviksi.....	33
4.5.9	Kaidepylväiden juurivalu.....	33
4.6	Teräsrakenteet.....	33
4.6.1	Kaiteet.....	33
4.7	Vedeneristyksen ja päällysteen uusiminen.....	33
4.7.1	Epoksitiivistyksen teko.....	33
4.7.2	Kermieristyksen teko.....	33
4.7.3	Suojakerros ja päällysteet.....	33
4.7.4	Noppakivet ja kadunreunakivetys.....	34
4.8	Saumaukset.....	34
4.8.1	Päällysteen ja reunakiven sekä noppakiven ja reunapalkin saumaus....	34
4.8.2	Reunapalkin saumaukset.....	34
4.8.3	Kansielementtien saumausten paikkaaminen.....	34
4.8.4	Elementtien saumaus.....	35
4.9	Siltapaikan muut rakenteet.....	35
4.9.1	Siltapaikan kuivatus.....	35
4.9.2	Ajoratamerkinnot.....	35
4.9.3	Pengerkaiteet.....	35
4.9.4	Luisuverhoukset.....	35
4.9.5	Valaistus.....	35
4.10	Korjaussuunnittelun perusteella arvioidut korjauskustannukset.....	36
4.11	Korjaussuunnittelun rakenteiden suunnittelu.....	36
4.12	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet.....	38
LÄHTEET.....		39

Liite 1 KORJAUSSUUNNITELMAN KUSTANNUSARVIO



1 JOHDANTO

1.1 Taitorakenteet

Taitorakenteisiin kuuluvat teräsbetonista, jännitetystä betonista, puusta, teräksestä tai niiden yhdistelmistä rakennetut liikenneväyläverkon osat, joiden rakentamiseksi on laadittava lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat. Niiden vaurioituminen aiheuttaa vaaraa ihmisille tai liikennejärjestelmille ja/tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle. (Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013)

Ratahallintokeskuksen, Merenkululaitoksen ja Tiehallinnon yhdistyttyä liikennevirastoksi on taitorakenteiden hallinta yhden viraston vastuulla. Liikennevirasto vastaa teihin, rautateihin sekä vesiväyliin liittyvien taitorakenteiden ylläpidon ohjeistuksen ja toimintalinjojen laatimisesta. Liikennevirasto vastaa kaikkien taitorakenteiden hallintajärjestelmästä. Taitorakenteiden hallintajärjestelmää ollaan kehittämässä niin, että mahdollisimman vähillä järjestelmillä ja taitorakennerekisterin avulla voidaan hallita ja ohjata kaikkien väylämuotojen taitorakenteiden tarkastus-, ylläpito- ja korjaustoimenpiteitä.

1.2 Sillat

Yksi merkittävimpiä taitorakenteita ovat sillat. Sillaksi lasketaan rakenteet, jotka ohjaavat liikenteen esteen yli ja joiden vapaa-aukko on vähintään 2 metriä. Sillan katsotaan sijaitsevan sillä väylällä, joka ylittää toisen kohteen tai esteen. Siltojen rakentaminen, kunnossapito ja liikenteen hallinta kuuluu sillan omistajalle, eli tienpitäjälle, ellei siitä ole erikseen sovittu. Yleisillä teillä tienpitäjänä toimii valtio ja yksityisteillä tienomistaja. Rautatiesilloilla vastaavasti radan omistaja tai hallitsija vastaa sillasta ja Vesilain mukaan se, jolla on oikeus väylän rakentamiseen tai parantamiseen. (Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013)

Tällä hetkellä siltojen tiedot on kasattu liikenneviraston siltarekisteriin, johon on liitetty myös muita taitorakenteita. Siltarekisterin tiedot tullaan myöhemmin siirtämään tekeillä olevaan taitorakennerekisteriin. Siltarekisterissä on tallennettu Liikenneviraston sillat sekä joidenkin kaupunkien sillat (mm. Espoo ja Helsinki)

Rakenteellisesti silta on monimuotoinen kokonaisuus ja sen perustehtävä tehtävä on välittää sillan kannen hyötykuormat kantavaan maapohjaan.

Siltarakenteelle aiheutuu seuraavia kuormia:

- Omapaino
- Liikennekuorma tai muu hyötykuorma
- Liikennekuorman sivusysäys, veto- ja jarrukuorma sekä keskipakovoima
- Onnettomuuskuormat
- tuulikuormat sekä lumi- ja jääkuormat

- Maan- ja vedenpaine
- Tukipainumat
- Lämpötilakuormat
- Jännevoima
- Betonin kutistuminen ja viruminen

Pääsääntöisesti siltojen kantavuutta vaarantavat vauriot johtuvat pystysuorasta liikennekuormasta ja sen ylittymisestä, mutta myös siltojen staattisesti määräämätön rakenne aiheuttaa usein pakkovoimia (tukipainumat, lämpötilakuormat), jotka vaurioittavat etenkin alusrakenteita. (Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013)

1.3 Siltatyypit ja niille ominaiset vauriot

Taitorakenteiden tarkastusohjeen mukaan päätyypit silloille ovat palkki, laatta, kehä, kaari, ristikko ja holvi.

Laatta-, palkki- ja kehäsilloilla rakenteen kantavuuden määrittää yleisesti hyötykuorman rakenteeseen aiheuttama taivutusmomentti eli sillan taivutuskapasiteetin on oltava riittävä. Pääsääntöisesti rakennusmateriaalina on teräsbetoni tai jännebetoni, mutta myös terästä ja puuta käytetään. Laatta- ja kehäsiltojen oleellisena erona on kehäsiltojen alusrakenteiden momenttijäykkyä liitos kansirakenteeseen. Vauriot tämän tyyppisissä betonisissa kansirakenteissa ovat yleensä havaittavissa halkeiluna momentin aiheuttamissa vetorasituskohdissa, yleensä tukien kohdalla yläpinnassa, sekä siltajänteen keskellä alapinnassa. Myös leikkausjännitys tuilla aiheuttaa halkeamia. Teräs- ja puurakenteissa vauriot ovat yleensä havaittavissa pystyvinä muodonmuutoksina. Puurakenteissa vauriot ovat havaittavissa myös leikkausjännittymisen ylittymisen aiheuttamana halkeamana puun syiden kohdalla.

Kaari- ja holvisilloissa rakenteen kantavuuden määrittää hyötykuormien aiheuttamat puristus ja taivutusrasitukset. Kaarisilloissa voimat välittyvät joko riipputankojen, pilarien tai näiden yhdistelmien kautta. Kaari- ja holvisilloissa vauriot näkyvät yleensä kaaren muodossa, sekä muissa muodonmuutoksissa rakenteessa. Betonirakenteissa kaareissa olevat halkeamat osoittavat vauriokohdan. Kaarien lisäksi myös kansilaatan ja poikkipalkkirakenteiden vaurioituminen ovat kohtia, jotka vaurioituvat helposti. Holvisilloissa päämateriaalina on betoni tai kivi, kaarisilloissa lisäksi myös teräs ja puu.

Köysisilloissa hyötykuorma välitetään perusrakenteille vino- tai riippuköysiä pitkin. Köydet kiinnitetään joko suoraan kansirakenteeseen tai poikkipalkkeihin. Toinen pää köydestä kiinnitetään pylonirakenteisiin, jotka ankkuroidaan köyden avulla maatuilla oleviin ankkurirakenteisiin. Köydet ovat yleensä teräsvaijereita tai tankoja. Ne ovat rakenteellisesti merkittäviä ja niiden vauriot siltatyypille vakavimpia. Myös tankojen ja köysien kiinnityskohdan vauriot ovat kriittisiä. Vauriot ovat yleensä havaittavina korroosiona vaijereissa tai tangoissa.

Ristikkosilloissa hyötykuorma välittyy tuille joko kansilaatan ylä- tai alapuolisilla ristikoilla. Rakennusmateriaalina on pääsääntöisesti teräs. Merkittävimmät vauriot syntyvät yleensä ristikkorakenteiden veto- tai puristussauvoille sekä niiden liitoksille ja saattavat aiheuttaa äkillisiä kapasiteetin menetyksiä.

Putkisillat ovat väyläpenkereeseen asennettuja putkirakenteita, jotka välittävät väylän hyötykuorman maanpenkereen kautta putkelle ja putkelta voima välittyy perustukselle. Pääsääntöisesti rakennusmateriaalina toimii aallotettu teräslevy ja sen vaurioituminen johtuu yleensä joko teräksen korroosiosta tai maanpaineen aiheuttaman poikkileikkauksen kestävyysliittymisestä. (Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013)

1.4 Tiesillat

Valtaosa Suomen silloista on ajoneuvoliikenteelle suunniteltuja tiesiltoja. Liikenneviraston hallinnoimia tiesiltoja on vuonna 2010 yhteensä ollut noin 14 600 kappaletta, yhteisarvoltaan noin 6 miljardia euroa alv. 0 %, joista putkisiltoja on 3 147. Lisäksi kaupunkien hallinnoimia siltoja on vuonna 1985 ollut 1500 kappaletta. Suurin osa silloista on rakennettu 1960 – 1990-luvulla, mutta vielä nykyäänkin siltoja rakennetaan 150 – 200 vuosittain. Tiesilloista noin 5 % on huonokuntoisia ja vuoteen 2020 mennessä peruskorjausikään on tulossa noin 7000 siltaa. Vaikka peruskorjausten määrää on kasvatettu, niin se ei riitä vähentämään korjausvelkaa, koska siltojen ikärakenne on vääristynyt. Rakennusmateriaaleista teräsbetoni on merkittävin 59 % osuudella. Vanhempien siltojen osalta teräs-, puu- ja kivisiltojen osuus on suurempi, mutta kokonaismäärästä terässiltaja on 6 %, puusiltoja 5 % ja kivisiltoja 1 %. Jännitettyjen betonisiltojen osuus on 8 % ja putkisiltojen osuus 21 %. (Aitta ym. 2004, 78.)

Tiesiltojen yleisiä vaurionaiheuttajia on siltakansilla liikkuva vesi ja teiden liukkauden torjuntaan käytettävä suola. Betonirakenteissa vauriot ovat yleensä kloridikorroosiovaurioita sekä rapautumisvaurioita. Tiesiltojen vauriot johtuvat myös kasvaneista suunnittelukuormista, jotka ovat kasvaneet ajoneuvojen painojen kasvaessa. Vanhat sillat joutuvat kantamaan kuormia, joille niitä ei ole suunniteltu. (Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013)

1.5 Rautatiesillat

Rautatiesiltoja on rataverkolla noin 2300 kappaletta. Rautatien ylittäviä siltoja on noin 880 kappaletta. Myös rautatiesilloilla yleisimpänä rakennusmateriaalina toimii teräsbetoni 65,4 % osuudella kokonaismäärästä. Terässiltojen osuus on huomattavasti suurempi, kuin tiesilloilla 14,9 %. Lisäksi myös teräspalkki-betonisiltoja on 5 % osuus. Terässiltojen osuus tulee kuitenkin vähenemään, sillä niitä ei juuri uudistuotannossa suosita ja myös vanhoja terässiltoja uusitaan betonisilloiksi. Kivisiltojen osuus on 3,3 %, putkisiltojen 2,9 % ja jännitettyjen betonisiltojen osuus 8,6 % kokonaismäärästä. Myös rautatiesiltojen osalla korjaustarve tulee huomatta-

vasti kasvamaan, sillä kansirakenteiden keski-ikä on noin 40 vuotta ja valtaosa saavuttaa peruskorjauksiensa lähivuosina.

Merkittävimmät vauriotekijät johtuvat ikääntymisen lisäksi myös kasva-
neista akselipainosta sekä nopeuksista. Aiemmin painavin akseli oli vetu-
rissa, mutta nykyään raskaimmat akselikuormat tulevat tavaravaunuista ja
se lisää sillalle tulevia väsytySKUORMIA huomattavasti. Suurin ero tie- ja
rautatiesiltojen rasituksissa on, että rautatiesilloilta puuttuvat kloridirasi-
tukset muissa kuin meren läheisyydessä olevilla silloilla. Rautateiden osal-
ta on vuodesta 2001 alkaen ollut käytössä myös rumpurekisteri, johon on
kerätty tietoa kaikista vapaalta-aukoltaan alle 2 metrin jänneväliä olevista
silta- ja putkirakenteista. Rumpurakenteita on noin 6000, joista rumpure-
kisterissä on noin 5800. Rumpurekisteriä on alettu pitämään, koska suurin
osa rummuista on rakennettu 1800- luvulla ja 1900- luvun alussa ilman
tarkempia laskelmia tai suunnitelmia ja niiden vaurioituminen aiheuttaisi
merkittäviä taloudellisia- ja/tai henkilövahinkoja. (Taitorakenteiden tar-
kastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013)

1.6 Kevyen liikenteen sillat

Liikenneviraston hallinnassa on noin 1200 kevyen liikenteen siltaa. Ra-
kennusmateriaalien osuus on jakautunut kevyen liikenteen silloilla tasai-
semmin, kuin tie- ja rautatiesilloilla. Kevyen liikenteen silloista 27 % on
teräsbetonisia, 21 % teräksestä, 26 % puusta, 16 % jännitetystä betonista,
7 % putkisiltoja ja 1 % kivisiä. 2 % osuus rakennusmateriaalista puuttuu
siltarekisteristä. Kevyen liikenteen silloissa rakenteiden vauriot liittyvät
rakennusmateriaalien ominaisvaurioihin. Myös värähtely, joka johtuu
usein siltojen kevytrakenteisuudesta, aiheuttaa usein kevyen liikenteen sil-
loille vaurioita. (Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita
17/2013)

1.7 Tiesiltojen suunnittelukuormien kehitys

Kasvaneet kuormitukset ja vanhojen siltojen alhaisemmat suunnittelu-
kuormat ovat osaltaan vaikuttaneet siltojen vaurioitumiseen. Ensimmäinen
siltojen suunnittelua koskeva ohje on kiertokirje vuodelta 1891, jossa ta-
saiseksi kuormaksi on ilmoitettu 250-400 kg/m² tai ajoneuvo 3000-5000
kg. Tämän jälkeen ensimmäiset kuormituksia koskevat määräykset tulivat
vuonna 1921 ja määräysten kehityskulku on ollut seuraava (Sillantarkas-
tusohje 2004, 12-13):

- 1921, 6000 kg kuorma-autolle ja 400 kg/m² tasaiselle kuormalle
- 1930-luvulla, kahdelle 9 tonni kuorma-autolle tai 9 tonnin kuorma-
autolle sekä 400 kg/m² tasaiselle kuormalle. Jännemitan ollessa yli 40
metriä tasainen kuorma laskettiin kaavalla $p=480-2*L$
- Akselikuormissa alettiin ottaa huomioon jännemitan mukaan määräy-
tyvät sysäyslisät 40-10%
- 1950 (A II/RKM 1955), akselikuorma 12 t (sysäyslisä 40%) sekä nau-
hakuorma 1,8-0,9 t/m (kolmen metrin kaistalle). Jos jännemitta oli 15-
75 m, laskettiin nauhakuorma kaavan $p=1/4*(1+90/(L+15))*1,8t/m$

- 1953 (A I/ RKM 1955), akselikuorma 14 t sekä nauhakuorma 2,4-1,2 t/m
- 1961(Ak I), otettiin käyttöön telikuormat I ja II sekä erillinen pyöräkuorma Epk 10 t
- 1971(PKM 71 / RKM 1975), kolme 21 tonnin akselia sekä tasainen kuorma 0,3 t/m² tarkistus erikoiskuormille Ek1 tai Ek 2
- 1991(TIEL 91), Kuormaluokat I ja II. Kuormaluokassa I on kolme 21 tonnin akselia sekä tasaisesti kuormakaistan leveydelle jakautunut nauhakuorma 9 kN/m. Tarkistus raskaalle erikoiskuormalle Ek1 tai Ek2 (Suunnittelukuorman merkintä esim. Lk I, Ek 1/TIEL 91, vuodesta 1999 alkaen Lk I, Ek 1/TIEL 99)
- 2010, Eurokoodit, neljä erilaista pystykuorma kuormakaaviota (Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1, 10-18):
 1. LM1, jossa telikuormana kaksi 300 kN akselia ja 9 kN/m² tasainen kuorma, rinnakkaisella kaistalla telikuorma kaksi 200 kN akselia ja 2,5 kN/m² tasainen kuorma, kolmannella kaistalla 100 kN telikuorma ja 2,5kN/m² tasainen kuorma, seuraavilla kaistoilla vain 2,5 kN/m² tasainen kuorma.
 2. LM2, joka koostuu kuormakaistoille sijoitettavasta akselikuormasta 400 kN
 3. LM3, jos silta sijaitsee suurten erikoiskuljetusten reitillä. Kaavio käsittää kaksi 3 metrin levyistä ja 0-10 metrin pituista tasaista kuormaa 45 kN/m², joiden väli on 0-15 metriä. Tämä kuorma sijoitetaan vain yhdelle kaistalle.
 4. LM 4, tungoskuorma, jonka käyttö määrätään hankekohdaisesti. Kuormana tasaisesti jakautunut 5kN/m² kuorma.

2 BETONIN VAURIOMEKANISMEJA

Betonin vaurioitumisen teknisesti suurin ongelman yleensä on betoniterästen suojaetäisyyksien riittämättömyys sekä betonin emäksisen alueen pieneneminen, niistä aiheutuva raudituksen korroosion nopeutuminen ja käyttöiän laskeminen. Betoni antaa teräkselle luonnollisesti fysikaalisen ja kemiallisen suojan, joka estää terästen korroosion.

Fysikaalinen suoja estää korroosiolle välttämättömien aineiden, kuten veden ja hapen kulkeutumisen terästen läheisyyteen. Normaaleissa kuivissa betonirakenteissa betoni estää tehokkaimmin veden kulkeutumisen teräksiin, mutta vedenalaisissa ja vedellä kyllästetyissä rakenteissa betoni suojaa paremmin hapen pääsyä teräksille. (VTT-S-11654-06, 8-9)

Kemiallinen suoja perustuu sementin aiheuttamaan betonin emäksisyyteen ja teräksen ominaisuuteen muodostaa emäksisessä olosuhteissa ympärilleen tiivis rautaoksidien muodostama passiivikalvo. Passiivikalvo rikkoutuu kun betonin emäksisyys laskee karbonatisoitumisen takia tai kloridien tunkeutuessa betoniin. (VTT-S-11654-06, 8)

Terästen korroosion peruseräite on passiivikalvon rikkoutumisesta aiheutuva syöpymiskohta, joka toimii anodina ja muodostaa betonin sisäl-

tämän kosteuden avulla teräksessä lähellä olevan ehjän kohdan katodin kanssa mikropiirin. Mikropiirissä anodireaktiossa vapautuneet elektronit siirtyvät raudoitusta pitkin katodialueelle. Koska raudoituksen vastus on mitätön, tämä ei koskaan rajoita korroosionopeutta. Anodireaktiossa vapautuu myös ioneja. Elektronien pelkistymisreaktio katodialueilla vapauttaa hydroksyyli-ioneja, jotka kulkeutuvat betonin huokosissa anodille. (VTT-S-11654-06)

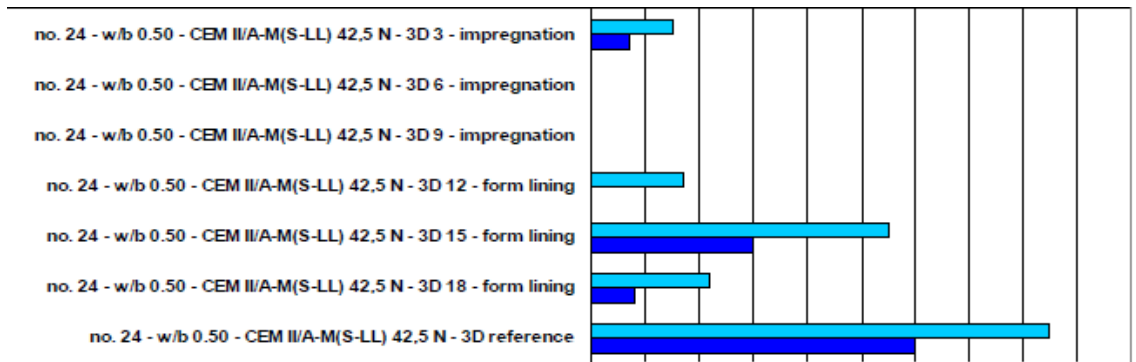
Silloissa korroosiota edistäviä aineita ovat lähinnä meriveden ja suolauksen aiheuttamat kloridit.

2.1 Betonin karbonatisoituminen

Betonin karbonatisoituminen aiheutuu pääasiassa ilman sisältämän hiilidioksiidin tunkeutumisesta betoniin. Karbonatisoituminen aiheuttaa yleiskorroosiota, jota esiintyy laajoilla alueilla missä karbonatisoituminen on saavuttanut teräkset. Karbonatisoituminen aiheuttaa betonin huokosveden pH- arvon laskemisen noin arvoon 8,5, kun se uudella betonilla on noin 13-14. Karbonatisoituminen tapahtuu vyöhykkeenä, jossa rakenteesta kulkeutuu hydroksideja ja ulkopuolelta hiilidioksidia. Betonin karbonatisoitumista estää tehokkaimmin betonin laatu ja pinnan tiivistys, jotka hidastavat hiilidioksidin liikkumista rakenteeseen. Betonin karbonatisoituminen itsessään ei vahingoita betonia, vaan aiheuttaa betonin kovettumista, mutta karbonatisoitunut betoni ei suojaa teräksiä korroosiolta. Betonin ollessa erittäin kuivaa RH 30-40 % karbonatisoituminen pysähtyy, sillä reaktio voi tapahtua vain vesiliuoksessa. Myös betonin ollessa kosteaa ja huokosrakenteiden täyttyessä vedellä hiilidioksidin kulkeutuminen rakenteeseen vähenee huomattavasti. (VTT-S-11654-06, VTT-R-08602, Tofte-yhtiöt Oy, Betonin karbonatisoituminen)

2.2 Betonin kloridirasitus

Betonin kloridirasitus silloissa on ulkoista kloridirasitusta, joka pääsääntöisesti aiheutuu teiden suolaamisesta, mutta myös merivedestä. Kloridit kulkeutuvat veden mukana betonissa, mutta mikäli betonin laatu ja huokoistus ovat hyvät, niin kloridien kulkeutuminen on huomattavasti hitaampaa. Myös pinnanlaatu vaikuttaa kloridien kulkeutumiseen. Kuvassa 1 on esitetty betonipinnan impregnoinnin ja muottikankaan vaikutus kloridien tunkeutumissyvyyteen muuten identtisissä koekappaleissa. Kolmessa ylimmässä on esitetty impregnoinnin vaikutus. Seuraavissa kolmessa on muottikankaan vaikutus ja viimeisessä on lautamuottipinta. Turkoosi väri kertoo 0,2 % kloridipitoisuudesta ja alempi sininen väri 0,3 % pitoisuudesta. Pystyviivat osoittavat imeytymissyvyyttä millimetreinä.



Kuva 1. Pintakäsittelyn vaikutus kloridien tunkeutumissyvyyteen (VTT-R-08602-11)

Kloridien tunkeutuminen terästen tasolle aiheuttaa suojakerroksen paikallisen rikkoutumisen. Kloridikorrosio onkin usein alkuvaiheessa vuotokohdissa tapahtuvaa paikalliskorroosiota. Korroosionopeus on yleensä huomattavasti suurempi kloridien ollessa korroosion aiheuttaja, koska kloridikorroosiossa syntyvät korroosiotuotteet ovat liukoisempia betonin huokosveteen kuin karbonatisoitumisen aiheuttamassa korroosiossa. (VTT-S-11654-06)

Betonirakenteiden korjaamisessa kriittisenä kloridipitoisuus rajana on pidetty betonin laadusta riippuen 0,03-0,07 % CL happoliuoksena betonin painosta määritettynä, jännitetyissä rakenteissa puolet em. arvosta. Korjattavissa rakenteissa suurin sallittu säilytettävien rakenteiden kloridipitoisuus on 0,02 p%. (Siltojen korjaus Betoni sillankorjausmateriaalina 1.201, 6)

2.3 Pakkasrapautuminen

Betonin pakkasrapautuminen johtuu betonissa olevan veden jääytymisestä ja jääytymisen jälkeisestä lämpenemisestä, kun veden tilavuus kasvaa huomattavasti. Pakkasrapautumista voidaan hidastaa betonimassan huokoistamisella. Betonin sisältämät huokokset jaetaan koon perusteella neljään eri luokkaan, jotka ovat geelihuokokset, kapillaarihuokokset, suojahuokokset ja tiivistyshuokokset (pienimmästä suurimpaan). Geelihuokokset ovat betonille harmittomia hydrataatioreaktiosta aiheutuneita pieniä huokosia, jotka ovat yleensä veden täyttämiä, mutta vesi ei pääse jäätymään korkean paineen ansiosta. Betonille haitallisia huokosia ovat kapillaarihuokokset, jotka aiheutuvat pääasiassa korkeasta vesi-sideainesuhteesta. Kapillaarihuokokset ovat haitallisia, koska ne imevät ja siirtävät betonissa vettä ja siihen liuenneita haitallisia aineita. Suojahuokokset parantavat betonin pakkasenkestävyyttä. Betonissa olevan veden jäätyessä vesi laajenee ja paineistuu, jolloin se siirtyy suojahuokosiin. Rakenteen jälleen sulaessa ja jääytymisen aiheuttaman paineen laskiessa vesi poistuu suojahuokosista. Tiivistyshuokosia syntyy varsinkin muottipintaa vasten. Tiivistyshuokokset tekevät betonipinnasta ruman ja helposti lohkeilevan. Pakkasrapautuminen on ensin havaittavissa halkeamina betonipinnassa ja edetessään myös lohjenneina palasina. (Mäkinen 2009)

Pakkasrapautumisen kanssa saattaa usein vaikuttaa myös alkalikiviainesreaktio. Alkalikiviainesreaktio on betonin kiviaineksessa tapahtuvasta sementtikiven alkalisuudesta aiheutuva paisumisreaktio. Alkalikiviainesreaktiota tapahtuu kun betonin kosteus on maksimaalinen ja sementti sisältää runsaasti alkaleja ja kiviaineksessa on heikosti alkalisuutta kestäviä mineraaleja. Murskattujen kiviainesten käyttö on lisääntynyt reaktion mahdollisuutta, koska kallioperän mahdolliset vaihtelut eivät ole homogenisoituneet vastaavasti kuin luonnonkivirunkoaineissa. (Sito Oy, Ehrenströmin tien erikoistarkastusselostus 2013)

3 ERIKOISTARKASTUS

3.1 Rakenteiden kunnonhallinta

Siltojen ylläpidon ja kunnonhallinnan osakokonaisuuksia ovat (Liikennevirasto, Taitorakenteiden tarkastusohje Liikenneviraston ohjeita 17/2013):

- Uusien siltojen suunnittelu ja käyttöikävaatimusten asettaminen
- Siltojen rakennustyön valvonta ja tarkastukset
- Uusien siltojen käyttöönotto
- Siltojen määräaikaishuollot ja puhdistukset
- Siltojen tarkistukset
- Kunnossapidon ohjelmoinnit
- Rakenteiden ja rakenneosien ylläpito- ja vauriokorjaukset
- Rakenteiden ja rakenneosien peruskorjaukset.

Siltojen tarkistukset on jaettu laajuudeltaan ja tyylistään erilaisiin tarkastuksiin. Erilaisia tarkastuksia ovat vastaanottotarkastukset, vuositarkastukset, yleistarkastukset, erikoistarkastukset ja tehostettu tarkkailu. Siltojen tarkistuksista saatava tieto palvelee siltojen korjaustoimintaa käytännössä niin, että vuosi- ja yleistarkastuksista saaduilla tiedoilla voidaan tehdä vähäisiä korjauksia, mutta siltojen korjaaminen vaatii kuitenkin aina erikoistarkastuksen. Tarkastuksista saatavat vauriotiedot ja puuttuvat perustiedot viedään siltarekisteriin. Opinnäytetyössä käydään tarkemmin läpi siltojen tarkistuksiin kuuluvaa erikoistarkastusta (ET) ja siitä tässä tapauksessa seuraavaa korjaussuunnittelua.

3.2 Yleistä erikoistarkastuksesta

Erikoistarkastus eroaa muista tarkastuksista sillä, että siinä tarkastellaan silmämääräisen yleistarkastusten lisäksi myös rakenteiden kuntoa erilaisin tutkimusmenetelmin esimerkiksi vetokokein tai kloridipitoisuus mittauksin. Erikoistarkastuksen ajoitus riippuu rakenteesta sekä sen kunnosta. Erikoistarkastus tehdään pääsääntöisesti yleistarkastusta täydentämään, kun tarvitaan erityistä asiantuntemusta, korjaus- ja uusimistarpeen ajoituksen ja kannattavuuden selvittämiseksi, ennen korjaussuunnitelman laatimista täydentämään tietoja, tutkittaessa harvinaisia vaurioita aiheuttavia vaikutuksia, tutkittaessa vedenalaisia rakenteita sekä tutkittaessa keskitehtyn valvonnan alaisien suurien siltojen kuntoa ja muodonmuutoksia.

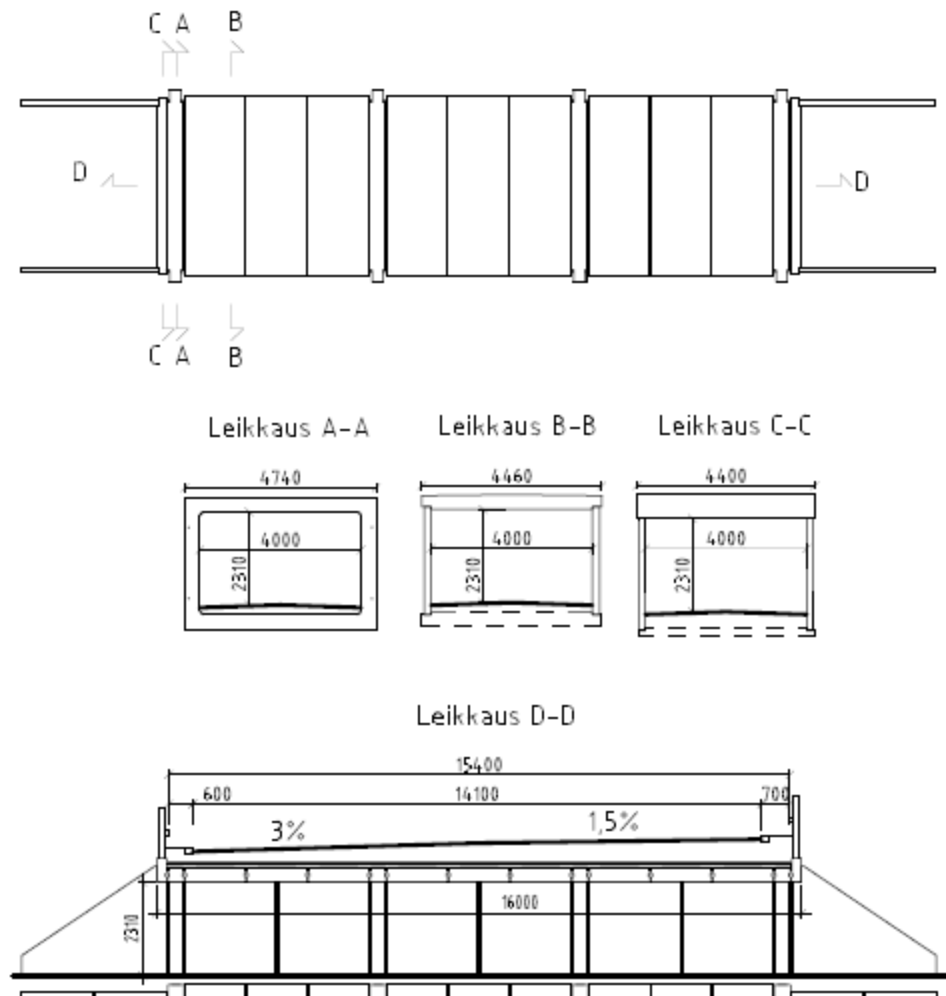
TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

Erikoistarkastus sisältää (Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset, 9):

- Tutkimussuunnitelman tekeminen
- Sillan yleistarkastuksen (YT)
- Kenttätutkimusten ja mittausten tekeminen sekä näytteenotto
- Laboratoriotutkimukset
- Tarkastustietojen ja tutkimustulosten päivittäminen siltarekisteriin
- Erikoistarkastusraportin laatiminen.

3.3 Kohde

Kohde oli Espoon Tapiolassa keskeisellä paikalla sijaitseva Tykkitien alikulkukäytävä. Sillan piirustuksia on esitetty kuvassa 2 ja perustiedot taulukossa 1. Silta on 1-aukkoinen TOBI-alikulkukäytävä, tyypiltään Teräsbetoninen laattakehäsilta, elementtirakenteinen (Blke). TOBI-alikulkukäytävän tyyppiin piirustukset ovat Sementtiyhdistyksen laatimat vuosina 1966-1979 ja ne on julkaistu muiden TVH:n tyyppisiltapiirustusten ohessa piirustussarjan tyyppimerkinnällä SY. (Tyyppiin piirustukset SY)



Kuva 2. Tasokuva ja leikkauspiirustuksia sillasta

TOBI-elementtikeräsilän erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

TOBI-alikulkukäytäviä on rakennettu 39 kappaletta, joista 22 sijaitsee Turussa (Espoossa 3 kpl). Siltojen vapaan aukon korkeus vaihtelee 2,5:sta metrissä 3,5:n metriin ja pituus 2 metrissä 4 metriin. Kunnoltaan alikulkukäytävät ovat vaihtelevia ja osa silloista on jo ehditty korjaamaan. Tiehallinnon siltarekisterin mukaan siltojen pinta-alaprosentin mukaan lasketut yleiskuntoarvot ovat pienemmät, kuin siltojen lukumäärän mukaan lasketut, josta voidaan päätellä jänneväliltään suurempien TOBI-alikulkukäytävien olevan huonommassa kunnossa suhteessa lyhyemmän jännevälillä alikulkukäytäviin.

Taulukko 1. Silän perustiedot U-1459

Silän ominaistiedot	Siltarekisterissä	Mitattu/Todettu
Tieosoite	11375-001-00679 Merituulentie	OK
Inventointisuunta		Tuki 1 Tapiolan keskustan puolella
Pääsilätyyppi	Teräsbetoninen kehälaattasilä, elementtirakenteinen	OK
Rakennusvuosi	1971	OK
Peruskorjaukset	-	
KVL kev. + rask.	25998 + 1368	-
Nopeusrajoitus	50	40 km/h. Päivitetty rekisteriin
Kiertotie	-	Ei tarkastettu
Hyödyllinen leveys (hl)	15,40m	OK
Kokonaisleveys	16,00	OK
Poikkileikkaustiedot (vasemmalta oikealle)	0,60m + 14,10m + 0,70m	OK
Kannen pituus	4,40m	OK
Kokonaispituus	4,40m	OK
Kannen pinta-ala	67,76	OK
Pintarakenteet	Lasikangasbitumimatto Suojabetoni Asfalttibetoni	Lasikangasbitumimatto Suojabetoni 50...60 mm Sora 90 ... 100 mm

TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

Sillan ominaistiedot	Siltarekisterissä	Mitattu/Todettu
		AB 620 mm
Jännemitat	4,20m	OK
Vapaa-aukko	4,00m	OK
Alikulkukorkeus	2,31m	Minimikorkeus
Siltasuunnitelmat	TOBI-alikulkukäytävien tyyppiirustukset	
Suunnittelukuormitus	AkL, Ek1	-
Kantavuusluokka	5	
Siltapaikkaluokka	Luokka II Vaativa	OK
Historiallinen merkittävyys	Ei merkittävä	OK

Kohde on yksi vilkkaimmin liikennöidyistä TOBI-alikulkukäytävistä. Siltarekisterissä silta on nimetty tunnuksella U-1459. (Siltarekisteri)

Sillan omistaa Espoon kaupunki ja tutkimuksen tilaajana on kaupungin Tekninen keskus.

3.4 Tutkimussuunnitelma

Kohteesta tehtiin tutkimussuunnitelma, jossa esitettiin sillalle suunniteltu erikoistarkastus. Tutkimussuunnitelman lähtötietoina toimivat Siltarekisteri, Sementtiyhdistyksen tyyppiirustukset sekä käynti siltapaikalla.

Tarkastussuunnitelmassa esitetään erikoistarkastuksen laadunvarmistus ja lisäksi laaditaan erikseen turvallisuussuunnitelma sekä liikenteenohjaussuunnitelma. Tutkimussuunnitelman tärkein tehtävä on määritellä näytteenotto ja tarkastusmäärät kohteelle niin, että tarkastukselle asetetut tavoitteet täyttyvät. Minimitarkastusmäärät on esitetty Liikenneviraston julkaisussa ”Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset”, mutta tutkimusmäärät saattaa olla sitä suurempia, mikäli tutkimussuunnitelmassa se katsotaan tarpeelliseksi. (Liikennevirasto, Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset)

3.5 Tutkimuksen tavoite ja tehtävä

Erikoistarkastuksen tehtävänä oli selvittää kohteen kunto ja tarvittavat lähtötiedot sillan korjaussuunnittelulle.

3.6 Suoritetut tutkimukset

3.6.1 Kenttätutkimukset

Visuaalinen tarkastus, jossa tutkitaan silmämääräisesti kaikki rakenneosat järjestelmällisesti. Visuaalisen tarkastuksen yhteydessä otetaan valokuvia vaurioituneista kohdista ja puutteista. Visuaalisessa tarkastuksessa havaittujen vaurioiden aiheuttaja selvitetään joko visuaalisen tarkastuksen yhteydessä tai muilla tarkemmilla tarkastuksilla.

Betoninäytteet:

Poraliერიönäytteitä otettiin puristus- ja vetokokeisiin. Puristuskokeita otettiin kolme kappaletta, jokainen eri kehäjalasta. Puristuskoekappaleiden avulla saatiin selvitettyä vertailulujuusarvo kimmovasaratestausta varten, sekä nähtiin kuinka hyvin betoni vastaa suunnittelulujuutta. Vetokokeita otettiin yhteensä 9 kappaletta. Vetokokeita otettiin siipimuureista 3 kpl, kehäelementin jaloista 1 kpl, etumuureista 1 kpl, kansielementtien alapinnasta 3 kpl ja kansielementtien yläpinnasta 1 kpl. Vetokokeilla selvitettiin betonin rapautuneisuutta ja uudelleenpinnoitettavuutta tarkastelemalla rakenneosakohtaisia vetolujuusarvoja.

Porajauhenäytteitä otettiin yhteensä 21 kpl 11:sta eri kohdasta. Näytteet otettiin kahdelta eri syvyydeltä 0-20 mm ja 20-40 mm. Siipimuureista otettiin 3 kohdasta näytteet, kehäpalkeista 2 kohdasta, kannen alapinnasta 2 kohdasta, kannen yläpinnasta 3 kohdasta ja lisäksi reunapalkista otettiin yksi näyte, joka otettiin vai 0-20 mm syvyydeltä. Porajauhenäytteillä tutkittiin tien suolaamisesta aiheutuneen kloridirasituksen määrää betonirakenteissa ja siitä aiheutunutta kloridikorroosioriskiä.

Saumamassa näyte elementtisaumauksien Pb- ja PCB- analyysejä varten.

Rakenneavaukset, jossa tarkastettiin rakennekerroksien paksuus alakautta poraamalla kansilaatan (355 mm) sekä suojabetonin (55 mm) läpi ja tiputamalla sorakerros (94mm) pois niin, että päällysteen alapinnan korkeus päästiin mittaamaan.

Sillan mittauksiin kuuluivat terästen betonipeitemittaukset, sillan päämittojen tarkastaminen, sillan ja tulopenkereiden korkomittaukset sekä betonin kimmovasaramittaukset.

3.6.2 Tehdyt laboratoriotutkimukset

Hämeen ammattikorkeakoulun laboratoriossa suoritettiin betonin kloridipitoisuuksien mittaukset sekä puristus- ja vetolujuustestaukset. Kokeet suoritettiin osana opinnäytetyötä ja tarkempi selostus työvaiheista löytyy kohdasta ”Sillan betonirakenteet. Tutkimustulokset”. Kloridipitoisuuksien mittausta porajauhenäytteistä tehtiin happoliuoksena noin kymmenen näytekappaleen koe-erissä. Veto- ja puristuskoekappaleista mitattiin lieriöiden puristus- ja vetolujuudet N/mm^2 arvoina. Vetolujuusarvojen perusteella

pääteltiin betonin rapautuneisuus sekä korjattavuus. Puristuslujuuden arvoista saatiin vertailulujuus betonirakenteista suoritettuihin kimmovasara-testeihin.

Suomen ohuthiekeskus FCM Oy:n laboratoriossa tehtiin ohuthietutkimukset.

Envitop Oy:n laboratoriossa tehtiin Pb- ja PCB- yhdisteiden tutkiminen.

Laboratoriokokeet tehtiin sertifioitujen tutkimusstandardien mukaisesti.

3.7 Tutkimustulokset

3.7.1 Sillan ja siltapaikan rakenteet

Visuaaliset havainnot esitetään päärakenneosaluettelon mukaisesti. Sillan tarkastuskäsikirjan (Sillantarkastuskäsikirja 2006) mukaiset sillan päärakenneosat ovat:

- 100 Alusrakenteet
- 200 Reunapalkkirakenteet
- 300 Muu päällysrakenne
- 400 Päällysteet
- 500 Muu pintarakenne
- 600 Kaiteet
- 700 Liikuntasaumalaitteet
- 800 Muut varusteet ja laitteet
- 900 Siltapaikan rakenteet

Sillan päärakenneosien kuntoarviot ovat:

Kuntoluokka 0 = Uuden veroinen

Kuntoluokka 1 = Hyvä. Normaalista kulumista ja ikääntymistä, lieviä vaurioita

Kuntoluokka 2 = Välttävä. On puutteita ja vaurioita, mutta korjaamista voidaan vielä siirtää

Kuntoluokka 3 = Huono. Selvästi havaittavissa korjausta vaativia vaurioita

Kuntoluokka 4 = Erittäin huono. Rakenneosa on välttämättä korjattava tai uusittava

Korjausten kiireellisyysluokat ovat:

10 = Korjataan heti

11 = Korjataan 2. vuoden kuluessa

12 = Korjataan 4. vuoden kuluessa

13 = Korjataan myöhemmin

14 = Ei korjata ollenkaan

3.7.2 Havainnot rakenneosittain

100 Alusrakenteet

Alusrakenteiden kuvaus ja havainnot:

- Silta on perustettu 9 etumuurin alapuolisen pohjalaatan varaan, lisäksi siipimuurien alla on 4 pohjalaattaa (Tyyppiipiirustukset SY). Pohjalaattojen kuntoa ei tutkittu tässä yhteydessä.
- Etumuurielementtejä on molemmilla tuilla 6 kpl eli kahden kehäelementin välissä on aina 2 etumuurielementtiä. Etumuurit ovat hyvässä kunnossa.
- Siipimuureja on kaksi kappaletta kummallakin puolella siltaa ja ne ovat etumuurien suuntaiset. Siipimuurit on perustettu kahden pohjalaatan varaan/puoli.
- Kehäelementtien (4 kpl) jalat muodostavat osan sillan etumuuripinoista.
- Tuen 1 vasemmassa siipimuurissa oli havaittavissa terästen suuntaista halkeilua, ruostuneiden terästen roilotus, puhdistus ja laastipaikkaus arviolta 3...4 m. Muissa siipimuri-elementeissä ei vastaavaa korroosiota havaittu.
- Muita vähäistä korjausta vaativia lohkeamia ym. on arviolta alle 10 dm³
- Alusrakente-elementtien väliset saumat ovat käyttöikänsä päässä.
- Etumuri- ja siipimuri-elementeissä on harjattu pinta. Tämä tulee huomioida paikkausten pintastruktuurissa.

Alusrakenteissa havaittiin kokonaisuudessaan varsin vähän lohkeamia, rapautumia ja/tai teräskorroosiota. Alusrakenteiden kuntoluokaksi kokonaisuudessaan arvioitiin kuntoluokka 2 välttävä.

200 Reunapalkkirakenteet

Reunapalkkirakenteiden kuvaus ja havainnot:

- Sillan reunapalkit ovat teräsbetonielementtejä. Pintastruktuuri on harjattu.
- Vasemmassa reunapalkissa keskivaiheilla oleva leveä halkeama (paikkailtu) on mahdollisesti aiheutunut reunapalkin sisään valetun kaidepylvään juuren jäätymislaajentumasta.
- Reunapalkeissa on verkkohalkeilua merkinä pakkasrapautumisesta
- Reunapalkki on huomattavan matala ottaen huomioon, että alittava väylä on kevyenliikenteen väylä. Päällysteen pinta on reunapalkin yläpintaa noin 300 mm korkeammalla.

Reunapalkit kannattaa uusien kaiteiden uusimisen yhteydessä. Reunapalkkien kuntoluokaksi arvioitiin kuntoluokka 3 huono.

300 Muu päällysrakenne

Kansirakenteen kuvaus:

- Kansirakenne muodostuu 4 kehäelementtipalkista, sekä 9 kattolaatasta. Pintastruktuuri on sileä. Kehäelementit jakavat kattolaatat 3 laatan ryhmiin.
- Osa kattoelementtien saumauksista on toteutettu laastilla, osa saumausmassalla.
- Kansielementti on keskeltä paksumpi ja kannen pinta kaataa etumuurille päin.

Havainnot, kansirakenteen alapuoli:

- Runsaanlaista vesivuotoa kehäelementin palkin ja reunapalkin välistä molemmilla puolilla siltaa (erityisesti vasemmalla). Erityisesti vasemmanpuoleisimman kehäelementin palkissa on pitkälle edennyttä teräskorroosiota ja kalkkivuotoa.
- Elementtien saumat ovat irtoilleet ja käyttöikänsä päässä.
- Kattoelementtien saumoissa oli paikoittain havaittavissa hieman kalkkivuotoa (vesivuotoa).
- Yleisesti ottaen kannen alapinta vaikuttaa suhteellisen hyväkuntoiselta ts. vaurioiden korjauslaajuus ei ole suuri.
- Kuormitusperäisiä vaurioita ei havaittu.

Kansirakenteen kuntoluokka kokonaisuutena arvioitiin kuntoluokkaan 2 välttävä.

Betonikannen paksuus:

Kansielementin läpi porattiin 3 poralieriönäytettä. Tuen lähellä kansielementin paksuus oli noin 355 mm ja jänteen puolivälissä noin 370 mm. Tyypipiirustusten perusteella kannen yläpinnassa on 1:100 kallistus etumuurille päin. (Tyypipiirustukset SY)

400-500 Päällysteet ja pintarakenteet

Päällysteet:

- Päällyste on hyvässä kunnossa. Päällyste on uusittu toiselle kaistalle ja toisella kaistalla havaittavissa vain pientä kulumaa.

Päällysteiden kuntoluokaksi arvioitiin 1 hyvä.

Pintarakenteet/rakenneavaukset

Kannen yläpinnan ”rakenneavaus” suoritettiin alakautta etupäässä johtuen pintarakenne-/päällystekerroksen paksuudesta. Rakenneavaus tehtiin sillan oikealta puolelta tuen 2 läheltä. Tutkimusten perusteella sillan kannen rakennekerrokset ovat tuella 2 oikeassa reunassa seuraavat:

- AB-päällystekerrokset 620 mm
- Sorakerros 94mm
- Suojabetoni noin 55mm
- Bitumikermieristys noin 5mm

- Kansilaatta, paksuus porauskohdassa 355mm.

Kun oletetaan, että muut kerrokset ovat paksuudeltaan muuttumattomia, niin AB-päällystekerroksen paksuus on vaaitustulosten perusteella pienimmillään 190mm tuella 1 vasemmassa reunassa. AB-päällystekerrosten paksuuden vaihteluväli kannen alueella on noin 190-620mm. Varmuutta asfalttikerroksen paksuudesta ei kuitenkaan sillan eri kohdissa ole, koska vain yhdessä näytteenottokohdassa poraus ulotettiin asfalttikerroksen alapintaan. Tyypipiirustusten mukaan maksimi täytepaksuus on 1m, eikä se ylity kohteessa.

Kannen yläpinnan näytteissä ei havaittu visuaalisesti pakkasrapautumaa. Suojabetonin kunto oli visuaalisesti arvioiden hyvä.

Sillantarkastuskäsikirjan mukaan sillan pintarakenteisiin luetaan myös sillan kannen yläpinta. Tämä ja tutkimustulokset huomioiden sillan pintarakenteiden kunto arvioitiin kuntoluokkaan 2 välttävä. (Sillantarkastuskäsikirja 2006, 80)

600 Kaiteet

Havainnot:

- Kaiteita ei tutkittu tarkemmin, koska kaiteet eivät nykyisellään täytä sillankaiteille asetettuja määräyksiä. (SFS-EN 1317-1...SFS-EN 1317-5:2011)
- Kaidetolppien heikko kiinnitys muodostaa jonkinasteisen turvallisuusriskin.

Kaiteiden kuntoluokaksi arvioitiin 4 erittäin huono.

700 Liikuntasaumalaitteet

Sillassa ei ole liikuntasaumalaitteita.

800 Muut varusteet ja laitteet

Sillan varusteet ja laitteet:

- Alikulkutunneliin sijoitettu 3 valaisinta, jotka ovat asennettu etumuurin pinta-asennuksena. Valaisimet ovat suhteellisen hyvässä kunnossa.

Sillan varusteiden kuntoluokaksi arvioitiin 1 hyvä.

900 Siltapaikan rakenteet

Siltapaikan rakenteet:

- Siipi- ja etumuureissa on töherryksiä.
- Siipimuurien jatkeina toimivat tukimuurit ovat kaatuneet/liikkuneet.
- Kasvillisuus rehottaa, siltapaikkaa on siistittävä.
- Pengerkaiteet ovat liian lyhyet ja matalat.
- Alittavan väylän pintavesikourut ovat osittain tukkeutuneet.

Siltapaikan rakenteiden kuntoluokaksi arvioitiin 2 välttävä.

Sillan ja tienpenkereiden korkeusasemat

Tutkimussuunnitelman mukaisesti vaaittiin sillan poikkileikkauksen korkeusasemat tukien 1 ja 2 kohdilla sekä tienpenkereiden korkeusasemat 5, 10 ja 15 m etäisyydellä sillan päistä.

Tulosten perusteella:

- sillan päällyste viettää poikkisuunnassa vasemmalle (etelään päin) ja pituussuunnassa tuelta 2 tuelle 1 (itään päin).
- tienpenkereiden kallistussuunta vastaa sillan päällysteen kallistussuuntaa.

Sillan VPS

Sillan kunnan kuvaajana käytetään vauriopistesummaa (VPS). Vauriopistesumma lasketaan päärakenneosien yksittäisten vaurioiden saamista vauriopisteistä. Vauriopisteeseen vaikuttaa neljä eri tekijää päärakenneosan painokerroin, päärakenneosan kuntoarviopisteet, vaurion vaurioluokkapisteet ja vaurion korjauksen kiireellisyysepisteet. (Sillantarkastuskäsikirja 2006, 11)

Kohteelle vuonna 2005 tehdyn yleistarkastuksen perusteella vauriopistesumma oli VPS 134. Erikoistarkastuksessa päivitetty vauriopistesumma on VPS 321.

Erikoistarkastuksen yhteydessä annettavassa kuntoarviossa on huomioitu visuaalisen yleistarkastuksen lisäksi mittaukset ja laboratoriotutkimustulokset.

3.7.3 Sillan betonirakenteet. Tutkimustulokset

Yleistä betonirakenteista

Betonirakenteissa visuaalisesti havaitut vauriot (rapautumat, teräskorroosio, ym.) on esitetty edellä kohdassa 3.7.2. Päärakeneosien kuntoarviossa on huomioitu sekä visuaaliset havainnot, että seuraavassa esitettävät mitaus- ja laboratoriotutkimukset.

Karbonatisoituminen ja betonipeitteet.

Betonin karbonatisoituminen mitattiin suihkuttamalla fenoliftaleiiniliuosta näyteliერიöihin. Betonin neutralisoituminen pystytään mittaamaan poralierion kyljestä, kun fenoliftaleiini värjää neutralisoitumattoman betonin ja jättää karbonatisoituneen betonin värjäämättä.

Raudoitusten betonipeitteiden paksuudet mitattiin pistokokein eri rakenneosuuksista. Kaikista rakenneosista, joista otettiin poralierionäyte, otet-

tiin myös betonipeitepaksuudet. Tutkimus-/ betoniteknologisessa mielessä sillan betonirakenteet jaettiin arvostelueriin seuraavasti:

- Etumuurielementit/seinälaatat ja kehäelementtien jalat
- Siipimuurielementit
- Kansielementtien alapinta ja kehäelementtien palkit
- Kansielementtien yläpinta
- Reunapalkit.

Betonin karbonatisoitumissyvyys esimerkiksi kannen alapinnassa poikkeileikkauksen eri osissa ei välttämättä juurikaan vaihtelee, mutta raudoitustai työteknisistä syistä raudoitusten betonipeitteet voivat vaihdella. Kannen yläpinnan osalta betonipeitteet voivat vaihdella, mutta karbonatisoitumissyvyys kannen yläpinnassa on yleensä 0 tai merkityksetön.

Betonipeitekerrosmittausten ja karbonatisoitumissyvyysmääritysten tulokset on esitetty yhteenvetona alla olevassa taulukossa.

Taulukko 2. Karbonatisoitumissyvyysyhteenveto

Rakenne	Karbonatisoitumissyvyys ka, mm (n kpl)	Peitekerrokset ka, mm (kpl)	Korroosioriski arvio (karbonatisoituminen)
Etumuurielementit	7 mm (2 kpl)	39 mm (45)	Ei riskiä/ 0%
Kehän jalat	<7 mm (3 kpl)	23 (45)	Ei riskiä/ 0%
Siipimuurielementit	<3 mm (3 kpl)	30 mm (45)	Ei riskiä/ 0%
Kansielementin ap	4 mm (4 kpl)	28 mm (45)	Ei riskiä/ 0%
Kehäpalkin ap	-	16 mm (45)	Vuotoalueilla korroosioita
Kansielementin yp	<3 mm	-	Ei riskiä/ 0%

Tutkimustulosten perusteella lyhyesti:

- Betonin karbonatisoituminen on vähäistä ja yleistä karbonatisoitumiskorroosioriskiä ei ole.

Betonipeitevaatimukset eivät täytä nykyisiä määräyksiä, mutta mittaustulosten perusteella karbonatisoitumiskorroosio ei ole huomioonotettava ongelma korjaussuunnittelussa.

Betonin kloridipitoisuus ja kloridikorroosioriskit

Tutkimuskohteessa on tien suolauksen aiheuttamaa ulkoista kloridirasitusta.

Kloridien tutkimisessa tutkimussarjat otettiin 0-20mm ja 20-40mm syvyyksiltä. Tulokset ovat esitetty taulukossa 3.

Kloridipitoisuus tutkittiin Hämeen ammattikorkeakoulun laboratoriossa opinnäytetyön tekijän toimesta laboratorihenkilökunnan valvonnassa. Kloridit mitattiin porajauheesta happoliuksena. Liuos liotti jauheesta olleen tiesuolauksen sekä muiden ympäristöolosuhteiden betoniin kuljetaman kloridin nestemäiseen muotoon ja näin siitä saatiin mitattua kloridin painoprosentti suhteessa koko näytteen massaan. Painoprosentit ovat hyvin pieniä ja niiden mittaus vaatii erityistä tarkkuutta. Tarkkuutta vaadi-

taan erityisesti jauheseoksen massan punnitsemisessa sekä liuoksen titraamisessa.

Kloridinäytteiden tutkiminen aloitettiin laittamalla porajauhenäytteet uuniin lämpiämään/kuivumaan ja sen jälkeen eksikaattoriin jäähtymään. Kuivatuksen jälkeen porajauhetta mitataan noin 10 grammaa, johon sekoitetaan 20 ml tislattua vettä, 10 ml 65 % typpihappoa tämän jälkeen lisätään 50 ml kiehuva vettä ja liuos sekoitetaan hyvin. Sekoituksen jälkeen lios jäähdytetään ja suodatetaan suodatinpaperin läpi niin, että kiviaines poistetaan liuoksesta. Liuokseen lisätään tämän jälkeen vettä 100 ml asti, jonka jälkeen lisätään hopeanitraattia noin 5 ml. Tämän jälkeen liuokseen lisätään 2-3 ml bentsyylialkoholia ja 1 ml ferriammonium-typpihappo seosta, joka toimii liuoksessa indikaattorina. Lopuksi suoritetaan titraus ammoniumtiosyanaatilla. Titraus mitataan 0,01 ml tarkkuudella ja titrattava liuos on saavuttanut tasapainon, kun liuoksen väri muuttuu pysyvästi punertavaksi. Näytteen kloridipitoisuus saadaan laskettua jauheen painon, hopeanitraatin tilavuuden ja kuluneen ammoniumtiosyanaatin tilavuuden perusteella. Porajauhenäytteiden lisäksi titrattiin 0-näytteet, jotka eivät sisältäneet porajauhetta tai sen aiheuttamaa kloridilisää ja niiden perusteella saatiin kalibroituja porajauhenäytteet. 0-näytteet otettiin näytesarjan ensimmäisenä ja viimeisenä.

Taulukko 3. Kloridipitoisuudet

Näyte	Rakenneosa	CL p-%	
		0-20 mm	20-40 mm
TY 01 SM	Siipimuuri	0,01	<0,01
TY 06 SM	Siipimuuri	0,02	<0,01
TY 07 KEP	Kehäpalkki	0,17	0,12
TY 08 KAP	Kannen alapinta	0,05	<0,01
TY 08 KYP	Kannen yläpinta	0,01	0,01
TY 09 KYP	Kannen yläpinta	<0,01	<0,01
TY 10 KYP	Kannen yläpinta	<0,01	<0,01
TY 11 SM	Siipimuuri	0,01	0,01
TY 13 KAP	Kannen alapinta	<0,01	<0,01
TY 14 KEP	Kehäpalkki	0,09	0,03
TY 15 RP	Reunapalkki	0,08	

Tutkimustulosten perusteella lyhyesti:

- Siipimuureissa ei havaittu kloridikorroosioriskiä. Pintakerrosten kloridipitoisuus on hieman koholla.
- Reunimmaisissa kehäelementtipalkeissa on korkeat kloridipitoisuudet johtuen vesivuodoista. Enimmillään kloridipitoisuus oli 0,17 p-%.
- Kansilaatan alapinnassa ei havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia lukuun ottamatta yhtä näytettä, joka otettiin vuotokohdasta sillan vasemmassa reunassa (0,05 p-%).
- Kannen yläpinnassa ei havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia (<0,01 p-%).
- Reunapalkeista otettiin vain yksi näyte syvyysväliltä 0-20 mm, koska oli ilmeistä, että reunapalkit uusitaan joka tapauksessa. Tulos 0,08 p-% osoittaa, että reunapalkkien pintakerrosten kloridipitoisuus on selvästi koholla.

Tulosten perusteella kloridikorroosion olemassaolo tulee ottaa huomioon havaituissa kannen vesivuotokohdissa.

Betonin rapautuneisuus ja pakkasenkesto. Ohuthietutkimukset

Kohteesta otettiin neljä betonilieriönäytettä ohuthietutkimuksia varten. Näytelieriöistä valmistettiin hieet ulkopintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Hieen koko oli 75mm*25mm. Tutkimuksissa noudatettiin soveltuvin osin standardia ASTM C 856-11. (ASTM C 856-11)

Kannen yläpinta:

- Toisessa näytteessä havaittiin alkavaa pakkasrapautumaa
- Kosteusrasitusperäistä huokostäytteisyyttä (ettringiitti) esiintyy molemmissa näytteissä
- Sideaine-runkoainekontaktit ovat ehjiä
- Huokosrakennearvion perusteella betonit eivät ole pakkasenkestäviä
- Betonin karbonatisoitumissyvyys on merkityksetön.

Etumuuri ja kehäelementin jalka:

- Näytteissä ei havaittu pakkasrapautumaa
- Kosteusrasitusperäistä huokostäytteisyyttä (ettringiitti) esiintyy molemmissa näytteissä
- Sideaine-runkoainekontaktit ovat ehjiä
- Huokosrakennearvion perusteella betonit eivät ole pakkasenkestäviä
- Betoni on karbonatisoitunut ulkopinnastaan ikäänsä nähden normaalisti (n. 10 mm).

Ohuthietutkimusten perusteella lähinnä alkava huokostäytteisyys voidaan katsoa jonkinasteiseksi ikääntymisvaurioksi.

Betonin vetolujuus

Vetolujuutta tutkimalla voidaan arvioida betonin rapautumisastetta ja soveltuvuutta korjausaluksi. Pakkasrapautumisen johdosta betoniin syntyy pinnan suuntaisia mikrohalkeamia, jotka heikentävät betonin vetolujuutta.

Vetolujuudet tutkittiin Hämeen ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Vetolujuuksien testaaminen vaati näytekappaleiden päätyjen tasoittamisen timanttisahalla, jotta vetokokeessa käytettävät teräspalat saatiin kiinnitettyä näytekappaleisiin. Betonin ulkopinnan tasoitus pyrittiin tekemään niin, että mahdollisimman vähän betonia poistuisi näytteen pinnasta ja näytekappaleista pystyttäisiin näin havaitsemaan mahdollinen pinnan rapautumisen aiheuttama vetolujuuden heikentyminen. Päätyjen tasoittamisen jälkeen näytekappaleet puhdistettiin huolellisesti ja niihin kiinnitettiin 2-komponentti massalla teräslevyt. Massan kovetuttua näytekappaleet vetokoeistettiin. Vetokokeesta huomioitiin kappaleiden vetolujuus sekä vetomurtotapa ja kohta. Vetomurtokohdasta selviää johtuuko vetomurto esimerkiksi betonin pinnan rapautumisesta. Vetomurtotavasta näkee yleensä onko näytepalassa haljennut kiviaines, kiviaineksen sekä sementin liitos pettänyt tai esimerkiksi näytekappaleessa ollut teräs heikentänyt poikki-leikkausta ja aiheuttanut vetokappaleen murtumisen.

Taulukko 4. Vetolujuuksien yhteenveto

Arvosteluerä	Näytteet, kpl	Vetolujuus, MPa	Rapautuneisuusarvio
Etumuurielementit Kehän jalat	2	3,2-4,1	Ei rapautumaa
Siipimuurielementit	3	2,8-3,2	Ei rapautumaa
Kansielementin ap	3	>3	Ei rapautumaa
Kansielementin yp	1	2,9	Ei rapautumaa

Vetolujuustestausten tulokset ovat hyviä ja pakkasrapautumaan viittaavaa lujuuskatoa ei ole.

Betonin puristuslujuus

Betonin puristuslujuutta tutkittiin kimmovasaralla kehäelementtien palkin alapinnoista ja kattolaattojen alapinnoista (molemmissa sileä betonipinta). Lisäksi otettiin 3 kpl poralieriönäytteitä (Ø70mm) kehäelementtien jaloista. Lähtötietopiirustuksissa on betonin laaduksi esitetty ”A-betoni K40 vesitiivis” eli K40-1. (Tyyppiirustukset SY)

Yleensä betonin puristuslujuutta ei erikoistarkastusten yhteydessä varsinaisesti tutkita tai määritetä, koska kimmovasaratestaus on tarkoitettu ainoastaan uuden karbonatisoitumattoman betonin lujuudenkehityksen seurantaan. Betonin karbonatisoituminen lujittaa betonin pintaa, joka johtaa siihen, että kimmovasaralla saadaan todellisia puristuslujuuksia suuremmat lujuusarvot. Rakennekoekappaleita käytettäessä (vähintään 6 kpl) luotettava puristuslujuustulos toki saadaan, mutta käytännössä siltabetonien puristuslujuus muodostuu ”ongelmaksi” vasta kun teräsbetonirakenne muutoin on jo rapautunut ja ruostunut käyttö-/korjauskelvottomaksi. Ts. betonin puristuslujuustutkimus erikoistarkastusten yhteydessä ei ole kovinkaan merkittävä. Sen sijaan betonin lujuusvaihtelun tutkimiseen kimmovasara soveltuu nopeana menetelmänä hyvin. Jos samassa rakenteessa (eli arvosteluerässä) esiintyy huomattavaa vaihtelua mittauskohtien välillä, saattaa tämä viitata betonin rapautumavaurioihin.

Taulukko 5. Kimmovasaratestaukset

Mittaus nro	Testauskohdan lujuusarvojen keskiarvo, MPa	Keskihajonta, MPa	Hajonnan ja keskiarvon suhde	Vertailulujuus, MPa	”Nimellisljuuus”
1	82,2	3,96	<0,15	75,7	K89-1
2	83,4	2,24	<0,15	79,7	K93-1

Tuloksista nähdään, että edellä esitetty väite karbonatisoitumisen vaikutuksesta kimmovasaralukemiin pitää paikkansa.

Poralieriönäytteitä otettiin vain 3 kpl. Kuitenkin SRMK B4:n mukaisesti, olettamalla että $k=1,65$, saadaan betonin nimellisljuudeksi/lujuusluokaksi K35-1. (B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2000, 55-57)

Poralieriönäytteiden puristuskokeet suoritettiin Hämeen ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Puristuskappaleiden valmistelussa suoritettiin näy-

tekappaleiden päiden tasaaminen niin, että puristus saatiin jakautumaan taiseesti koko poikkileikkausalueelle ja puristuskappaleiden korkeudet olivat keskenään samat noin kaksi kertaa lieriön halkaisijan verran.

Lähtötietojen perusteella betonin nimellislujuus on K40-1 (Tyyppi-*piirustukset SY*). Rakennekoekappaleiden ollessa alle 6 otanta oli pienehkö ja osaltaan heikensi hieman tulosten vertailulujuuden kelpoisuutta.

Raudoitteiden korroosiotilan tutkimusmenetelmät

Raudoitteiden korroosiotilan tutkimisen suhteen tulee erottaa toisistaan:

- Korroosiotilan toteaminen silmämääräisesti (näkyvät teräkset, betonin pintahalkeamat, terästen tarkastaminen esiin piikkaamalla)
- Korroosiotilan arvioiminen / korroosioriskin arvioiminen erilaisin tutkimusmenetelmin.

Korroosioriskejä tutkitaan yleisimmin siltojen erikoistarkastuksissa, kuten tässäkin tapauksessa:

- vertaamalla betonin karbonatisoitumissyvyyttä ja betonipeitekerroksia keskenään (= karbonatisoitumiskorroosioriski)
- tutkimalla betonin kloridipitoisuutta eri syvyyksillä betonin pinnasta ja erityisesti terästen tasolla (= kloridikorroosioriski).

Betoniterästen korroosiotilan tutkimiseen on kehitetty myös ainetta rikkomattomia mittaamenetelmiä, kuten:

- betoniraudoitteiden potentiaalimittaus
- betonin ominaisvastusmittaus
- betoniraudoitteiden korroosionopeuden mittaus.

Tällaiset erikoismenetelmät eivät rutiininomaisesti kuulu mukaan normaaliin siltojen erikoistarkastustoimintaan, vaan tulevat kysymykseen lähinnä erikoistapauksissa, mm. kun rakenteessa, joka halutaan säilyttää, todetaan korkeita kloridipitoisuuksia (= korkea kloridikorroosioriski) laaja-alaisesti.

Kenties yleisimmin erikoistarkastusten lisätutkimuksena käytetään betoniraudoitteiden potentiaalimittauksia, jonka perusteella suhteellisen luotettavasti voidaan päätellä onko teräs tutkittavalla alueella korroosiotilassa vai ei. Korroosion nopeutta ei sen sijaan yksinomaan potentiaalimittauksen suorittamisella voida arvioida. Erikoistarkastuksen yhteydessä mittauksia ei suoritettu, koska kehäpalkit olivat silminnähtävien saavuttaneet korroosiotilan. Kattolaatoissa ei ollut havaittavissa ainuttakaan alkavaa korroosio-kohtaa, joten voidaan olettaa, että korroosio ei ole alkanut vielä missään kohdassa. Alkaneesta korroosiosta olisi merkinä näkynyt mahdollisesti lohkeamia tai ruostevuotoja. Mikäli kattolaatoissa olisi havaittu merkkejä korroosiosta, olisi myös näennäisesti ehjien laattojen potentiaalimittaus ollut aiheellista.

Korroosionopeudella on luonnollisesti keskeinen merkitys korjaustoimenpiteiden ajoituksen suunnittelussa. Korroosionopeuteen (karbonatisoituneessa ja/tai kloridipitoisessa betonissa), vaikuttaa merkittävimmin betonin suhteellinen kosteus ja lämpötila. Yleisesti ”kriittisenä” betonin koste-

uspitoisuutena korroosionopeuden suhteen voidaan pitää 85 RH % arvoa. (Tutkimusselostus nro VTT-S-11654-06 2006, 33)

3.8 Erikoistarkastuksen yhteenveto

3.8.1 Turvallisuusnäkökohdat ja kiireelliset toimenpiteet.

Välittömiä turvallisuusriskejä ei havaittu. Sillan suunnitellun kantavuuden vaarantavia vaurioita ei todettu.

Keskeisin turvallisuuspuute on sillan kaiteiden kiinnitys ja pengercaiteiden lyhyys. Rakenteiden säilyvyyttä vaarantaa eniten havaittu vesivuoto ja siitä aiheutuva kloridirasitus reunimmaisten kehäelementtien ja reunapalkkielementtien välissä.

3.8.2 Tutkimustulosten luotettavuus ja lisätutkimukset

Sillan betonirakenteista otettiin enemmän näytteitä, kuin lähteessä Liikenneviraston julkaisussa esitetään vähimmäismääränä, joten tältä osin tutkimustulosten luotettavuutta voidaan pitää hyvänä (Liikennevirasto, Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset).

Lisätutkimustuloksia ei tarvitse suorittaa ennen korjaustöihin ryhtymistä (korjaustyön yhteydessä tehdään tavanmukaiset laadunvarmistuskokeet).

3.8.3 Sillan kunto ja VPS

Sillan yleiskunnoksi määriteltiin luokka 3 huono. Tämä johtuu ennen kaikkea vesieristeiden iästä, vesivuodosta reuna-alueilla ja sillan kaiteiden riittämättömyydestä. Sillan betonirakenteet ovat kuitenkin vielä peruskorjattavissa. Karbonatisoitumiskorroosio ei ole vielä yleisenä ongelmana. Myöskään kloridikorroosioriski ei ole suuri muualla, kuin havaituissa vuotokohdissa sillan reuna-alueilla.

Sillan vauriopistesumma on tämän ET:n perusteella suhteellisen korkea VPS=321.

3.8.4 Sillan peruskorjaaminen

Erikoistarkastuksen perusteella seuraavat korjaustoimenpiteet tulisi suorittaa:

- Reunapalkkien uusiminen
- Kaiteiden uusiminen
- Päällysteiden ja pintarakenteiden uusiminen mahdollisesti myös muotoiluvalu
- Siltapaikan kunnostus, kasvillisuuden siistiminen, pengercaiteiden uusiminen, töherrysten poistaminen
- PCB-yhdisteiden poistaminen saumoista, saumaus

TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

- Siipimuurien lohkeamien paikkaus
- Kehäelementtien vesipiikkaus, suihkupuhdistus ja (laasti tai muu ylitasoitus/ uuden kehäpalkin valaminen)
- Ruosteisten terästen puhdistus ja laastipaikkaus siipimuriin 3-4m
- Valaisinten toimivuuden tarkastus
- Alittavan väylän pintavesikourujen avaaminen
- Siipimuurien jatkeena toimineet tukimuurit uusitaan betonisilla vastaavilla.

3.8.5 Erikoistarkastuksen perusteella arvioitu korjauskustannus

Työn kustannusarvio tarkentuu korjaussuunnittelun yhteydessä. Tässä yhteydessä esitetään arvioksi noin 102 800 € alv 0 %. Arvio on laskettu sil-lantarkastuslomakkeen vauriotietojen pohjalta ja siihen on lisätty arvio lii-kennejärjestelykustannuksista.

Taulukko 6. Kustannusarvio

Toimenpide	määrä	€/yks.	Hinta (€)
Siipimuurin terästen laastipaikkaus	1 m ²	500	500
Siipimuurin lohkeaman paikkaus	0,5 m ²	500	250
Alusrakenteen saumaus, polymeeri	40 m	60	2 400
Alusrakenteen saumaus, betoni	15 m	60	900
Reunapalkin uusiminen	8,8 m	2 500	22 000
Pintarakenteiden uusiminen	70 m ²	600	42 000
Kehäpalkin paikkaus	1,5 m ²	500	750
Kaiteen uusiminen	8,8 m	250	2 200
Betonipinnan puhdistus + pinnoitus	20 m ²	100	2 000
Pengerkaiteen uusiminen	68 m ²	100	6 800
Siipimuurin jatkaminen tukimuurilla	4 kpl	2 000	8 000
Liikennejärjestelykustannukset	3-vaih.	5 000	15 000
Yhteensä			102 800€

4 KORJAUSSUUNNITTELU

4.1 Yleistä korjaussuunnittelusta

Korjaussuunnittelun lähtötietona käytetään yleensä erikoistarkastusraporttia sekä muita kohteeseen liittyviä tietoja, kuten tyyppipiirustuksia. Korjausten peruseriaatteenä pidetään vaurion syyn poistamista, ja sen jälkeen siitä aiheutuneen vaurion korjausta.

Korjaussuunnittelun ohjeita, laatuvaatimuksia ja korjausmenetelmiä on julkaistu Tiehallinnon laatimissa Siltojen korjaus, eli SILKO- ohjeissa. Myös muissa Liikenneviraston julkaisuissa sekä esimerkiksi InfraRYL:stä löytyy ohjeita ja korjausmenetelmiä. Opinnäytetyössä ei esitetä työn laadulle asetettuja laatuvaatimuksia, eikä SILKO tai InfraRYL laatuvaatimus viittauksia.

4.2 Kohde

Sillan korjaussuunnittelussa lähdetään liikkeelle olemassa olevien tietojen ja etenkin erikoistarkastusraportin tarkastelulla. Tässä tapauksessa tiedot olivat melko hyvin selvillä, koska erikoistarkastus oli suoritettu osana opinnäytetyötä.

Erikoistarkastuksesta saatujen vauriotietojen pohjalta lähdettiin tutkimaan vaurio kerrallaan vaurion aiheuttaja, sen poistaminen sekä itse vaurion korjaaminen. Korjaamisesta määritettiin korjatulle osalle asetetut laatuvaatimukset sekä mahdollisesti tiedossa ollut korjausmäärä. Korjausalueen määrä pystyttiin määrittämään melko tarkasti erikoistarkastuksessa tehtyjen kokeiden ja mittausten avulla. Vaurioiden lisäksi sillasta korjataan myös kohteet, jotka ovat kuntonsa puolesta mahdollisesti hyviä, mutta eivät täytä nykyisiä vaatimuksia esim. pengerkaitteen uusitaan, koska ne ovat nykyisellään liian lyhyet. Suurimpia korjauksia sillassa ovat reunapalkkien ja kansilaatan reunan uusiminen sekä uusien kulmatukimuurien tekeminen.

Korjaustoimenpiteen määrittelyn ja suunnittelun yksi merkittävä lähtökohhta on toteutettavuus. Korjaustoimenpiteitä suunniteltaessa pitää huomioida korjaustoimenpiteistä ja niiden huonosta toteutettavuudesta aiheutuvat mahdollisesti korkeat kustannukset sillan kuntoon saattamiseksi. Kevyemmät korjaukset esimerkiksi pelkän vaurion korjaaminen ovat usein helpompia, mutta niiden lisäämä käyttöikä huomattavasti vähäisempi, kuin isomman toimenpiteen esimerkiksi vaurion korjaaminen sekä vaurion aiheuttajan poistaminen. Aina laajempikaan korjaus ei kuitenkaan ole välttämättä kannattavampi, kuin kevyt korjaus, mikäli muiden säilyvien rakenteiden käyttöikä määrittää seuraavan korjauksen ajankohdan huomattavasti aikaisemmaksi. Huonokuntoisen sillan vaatiman suuren korjauksen kanssa voi usein pohtia jopa sillan korkeiden korjauskustannusten ja korjauksen suhteellisten vähäisten käyttöiän lisääntymisen tilalla sillan loppuun käyttämistä ja sen jälkeen uuden rakentamista.

Korjaussuunnittelussa tulee huomioida myös liikenteelle aiheutuvat haitat. Vilkkailta väylillä voi olla järkevämpää tehdä hieman kalliimpi korjaus, mikäli sillä pystytään vaikuttamaan käyttöikään ja siten väylien liikennettä häiritsevien korjausten määrään. Vilkasliikenteisillä teillä väliaikaisten liikennejärjestelyiden järjestäminen voi olla jopa kalliimpaa, kuin itse sillan korjaaminen.

Sillan korjaukset rakenneosittain ovat:

100 Alusrakenne

- Siipimuurien teräskorroosiovauriokohtien teräkset piikataan esiin ja poistetaan tai puhdistetaan (tuki 1 vasen reuna). Paikataan laastilla.
- Muut vähäistä korjausta vaativat lohkeamat paikataan laastilla.
- Elementtien väliset saumamassat uusitaan. PCB-yhdisteiden takia vanhat saumamassat ovat tyhjennettävä ja hiottava.

- Etu-, siipimuureille ja kehäelementin jaloille suoritetaan korkeapainepesu, ylitasoitus, pinnoitus karbonatisoitumista estävällä suojapinnoitteella sekä töhrynsuojaus.
- Siipimuurien jatkeina toimivat tukimuurit uusitaan betonisina kulmatukimuureina.

200 Reunapalkkirakenteet

- Reunapalkit uusitaan korkeina reunapalkkeina nykyisen päällysteen korkeuden mukaan.
- Reunapalkit impregnoidaan.
- Reunapalkkeja jatketaan metrin pidemmiksi molemmista päistä tuleviin kulmatukimuureihin asti.

300 Muu päällysrakenne

- Kansilaatan reunoista vesipiikataan klorideja sisältävät kehäpalkit pois sekä myös reunimmaisten kattolaattojen ulkoreunoista noin 100 mm ja korjataan valamalla samana rakenteena reunapalkin kanssa.
- Elementtien väliset saumamassat uusitaan. PCB-yhdisteiden takia vanhat saumamassat ovat tyhjennettävä ja hiottava.
- Kannen alapinnalle suoritetaan korkeapainepesu, ylitasoitus, pinnoitus karbonatisoitumista estävällä suojapinnoitteella sekä töhrynsuojaus.

400 Päällysteet

- Päällysteet uusitaan.

500 Muu pintarakenne

- Suojabetoni poistetaan.
- Kansilaatan yläpinta tasovesipestäään, kunnostetaan ja paikataan tarvittaessa.
- Elementtien saumat korjataan vesitiiviiksi.
- Kannen pintaan levitetään epoksitiivistys.
- Vesieristeet uusitaan kaksinkertaisena bitumieristyksellä. Lisäksi elementtisaumojen kohdalle asennetaan 200 mm kaista kolminkertaisena.

600 Kaiteet

- Sillan kaiteet uusitaan korkeina H2-tyypin verkko, putkijohde kaiteina.

700 Liikuntasaumalaitteet

- Ei toimenpiteitä, koska sillassa ei ole liikuntasaumalaitteita.

800 Muut varusteet ja laitteet

- Siltapaikan valaistuksen toimivuus tarkastetaan ja korjataan tarvittaessa.

900 Siltapaikan rakenteet

- Pengerkaiteet uusitaan sillan H2 kaiteen jälkeen tarvittavalta siirtymärakenteen matkalta.
- Alittavan väylän pintavesikourut puhdistetaan.
- Kasvillisuus poistetaan sillan rakenteista.

- Penkereille asennetaan kulmatukimuurielementit reunapalkkilinjan jatkoksi.
- Etumuurien taakse asennetaan salaojat.
- Reunapalkkien ja kadunreunakivetyksen väliin asennetaan noppakivetyks sillan ja kulmatukimuurien matkalle.

4.3 Laatu-, ympäristö- ja turvallisuusvaatimukset

Sillankorjauksen menetelmiltä ja tuotteilta edellytetään täyttävän InfraRYL:n, SILKO:n ja korjaussuunnittelun työselityksen asettamat laatuvaatimukset. Korjauksessa käytettävää tuotetta ei korjaussuunnittelussa yleensä nimetä, vaan annetaan vaatimukset, jotka tuotteen on täytettävä. Korjaussuunnitelman yhteydessä on tehty kelpoisuuskoetaulukko, johon on koottu korjaustoimenpiteet, sekä niille asetetut laatuvaatimukset.

Korjaussuunnittelun yhteydessä täytetään myös tilaajan toimittama turvallisuusasiakirjan, jossa on listattu kohteen asettamat haasteet, sekä yleiset korjaustyölle asetetut turvallisuusvaatimukset. (Sito Oy, Turvallisuusasiakirja, turvallisuussäännöt ja menettelyohjeet 2013)

Korjaussuunnittelun työselityksessä on esitetty myös kohteen työnaikaiset liikennejärjestelyt ja peruseriaatteen niiden järjestämiseksi. Usein kuitenkin urakoitsija laatii liikenteenohjaussuunnitelman kohteelle, jossa asiat esitetään urakoitsijan suunnitteleman työvaiheistuksen ja työmenetelmien perusteella. Liikennejärjestelyistä voidaan kuitenkin asettaa minimivaatimukset, kuten alikulkukorkeudet tai kansilaatan vaatima täytekerros liikennöidyillä alueilla.

Valaistus, kaapelit, pylvää ja muut mahdollisesti osittain maanalaiset osat ovat selvitettävä ennen työn aloittamista. Myös mahdollinen kaapelinäyttö on suoritettava ennen kannen purkua. Kaapeleiden ja muiden osien selvittäminen on jätetty kohteessa urakoitsijan vastuulla, sillä esimerkiksi kaapelien määrä ja asema saattaa vielä muuttua ennen töiden aloittamista.

Ympäristöasioissa kohteessa tulee kiinnittää huomiota erityisesti elementtisaumojen PCB-yhdisteitä sisältävän saumaussmassan purkamiseen ja siitä syntyvän jätteen lajitteluun. Myös muiden jätteiden käsittelyyn, sekä toiminnan siisteyteen tulee kohteessa kiinnittää huomiota.

4.4 Vanhojen rakenteiden purkaminen

Uusien rakenteiden mitoitus on suunniteltu tyyppipiirustusten, sekä erikoistarkastuksessa tarkentuneiden mittojen mukaan. Ennen rakenteiden purkua niiden sijainnit on sidottava riittävän tarkkoihin kiintopisteisiin, jotta uusien rakenteiden mitoitus olisi mahdollista työmaalla.

4.4.1 Betonirakenteiden purkaminen

Betonirakenteiden piikkaaminen tehdään pääsääntöisesti vesipiikkaamalla lukuun ottamatta pieniä yksittäisiä kohtia, jotka voidaan myös piikata mekaanisesti. Piikattavilla alueilla vanhan ja uuden rakenteen sauma rajataan esim. kulmahiomakoneella näkyviin jäävien saumojen kohdalla.

Purkutöissä vahingoittuneet harjaterästangot, jotka suunnitelmapiiirustuksissa on osoitettu säilyväksi, korvataan B500B harjaterästangoilla (SFS 1268). Purettavan kehäpalkin korvikkeeksi asennetaan HE 200B-profiilin teräspalkki tukemaan kehäelementin yläosaa.

Sahaamalla leikattavia rakenneosia ovat:

- Kehäelementtien palkki. Katkaistaan raudoitusten katkaisupituuden kohdalta.
- Reunapalkit voidaan mahdollisesti irrottaa kokonaisina elementteinä. Tyypipiirustusten mukaan reunapalkkien kiinnitys on tapahtunut palkkien päistä pystytangolla, joka pitää katkaista ennen elementin nostoa. Mikäli reunapalkki irrotetaan kokonaisena, on kiinnitettävä erityistä huomiota siipimuurien ja muiden säilyvien rakenteiden ehjänä pysymiseen.

Mekaanisesti piikkaamalla purettavia betonisia rakenneosia ovat:

- Siipimuurien teräskorroosiokohdat

Vesipiikkaamalla purettavia betonisia rakenneosia ovat:

- Reunimmaisten kehäpalkkien päät
- Reunimmaisten kansielementtien ulkoreunoista noin 100 mm matkalta
- Siipimuurien yläpinnat
- Reunapalkit
- Reunimmaisten etumuurielementtien yläpäästä uuden valettavan laatan kohdalta noin 60 mm siten, että uusi laatta voidaan raudoittaa koko matkalta alapinnastaan.

4.4.2 Betonivaurio- ja teräskorroosiokohtien piikkaus

Siipimuurien yksittäiset teräskorroosiokohdat rajataan myös kulmahiomakoneella suoraviivaisesti. Betonipinnassa olevat yksittäiset teräskorroosiovauriota aiheuttaneet työteräkset, sidelangat yms. voidaan poistaa piikkauksen yhteydessä. Pääteräksiä tai hakateräksiä ei saa poistaa.

Piikkaus ulotetaan paljastuneiden raudoitustankojen taakse niiden halkaisijan tai vähintään 20 mm verran. Teräkset puhdistetaan ja suojataan kohdan ”Raudoituksen uusiminen” mukaan. Tangot, joista paljastuu yli 40 % pinta-alasta, piikataan esiin.

4.4.3 Betonipintojen suihkupuhdistus korjausalustaksi

Suihkupuhdistuksella tarkoitetaan teräs- tai betonipinnan mekaanista puhdistusta ja karhennusta paineilma-, painevesi- tai sinkolaitteella.

Sillassa suihkupuhdistettavia rakenneosia ovat etumuurit, siipimuurit ja kannen yläpinta. Puhdistusaste on normaali.

4.4.4 Elementtisaumojen purku

PCB-yhdisteitä sisältävät elementtisaumat puretaan Ratu 82-0382- ohjeen mukaisesti.(Ratu 82-0382. 2011)

Purkutyö tehdään erillisenä työvaiheena. Muiden työntekijöiden liikkuminen työalueella tulee estää. Vanha saumausmassa ja pohjatäytenauha irrotetaan elementtien reunoista mahdollisimman täydellisesti puukolla, porakoneella tai kulmahiomakoneella leikkaamalla ja pakataan välittömästi tarkoituksen mukaiseen jätesäkkiin. Saumausmassan jäänteet poistetaan ja tartuntapinnat puhdistetaan kulmahiomakoneella hiomalla. Hionnan jälkeen pinnat puhdistetaan irtonaisesta hiontapölystä imuroimalla. Purkutyön jälkeen, työn keskeytyessä ja työpäivän päätyttyä maaperän suoja- peitteet ja työtelineet puhdistetaan imuroimalla.

4.4.5 Kansilaatan yläpinnan purkutyöt

Erikoistarkastuksen tulosten perusteella kansilaatan yläpinnassa ei havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia ja ohuthietutkimuksen perusteella betonin kunto oli tyydyttävää, joten kannen yläpintaa ei vesipiikata, vaan sille riittää suihkupuhdistuskäsittely.

Suihkupuhdistuksella poistetaan kannen yläpinnasta ohut pintakerros ja eristysainejäämät, jolloin pinta soveltuu eristysalustaksi. Paikalliset pienet vauriokohdat voidaan korjata esimerkiksi epoksi-hiekkaseoksella.

4.4.6 Kannen pintarakenteiden purkaminen

Ennen kannen pintarakenteiden purkamista mitataan vanhan päällysrakenteen korot ajoratojen keskeltä ja reunoilta. Mittaus ulotetaan noin 10 metrin päähän sillan kummastakin päästä. Mittaus tehdään 1 m välein. Sillan uudet pintarakenteet sovitetaan jouhevasti vanhaan tasaukseen ja sillan jälkeisen ajoradan tasaukseen. Tarvittaessa vanhan päällysteen pintaa jyrsimällä myös sillan korjausalueen ulkopuolella.

Päällystekerrokset poistetaan kannen alueelta jyrsimällä tai kaivinkoneella. Vedeneriste poistetaan kaivinkoneen tasareunaisella kauhalla kaapimalla tai jyrsimällä. Vedeneristejäänteet puretaan tarvittaessa käsityökaluilla ennen kansilaatan purkutöitä.

Purkutyöt on tehtävä niin, ettei kansilaattaaan kohdistu halkeilua aiheuttavaa tärinää. Työkoneiden suurin sallittu massa työalueella on 20 tonnia.

4.4.7 Teräsrakenteet

Vanhat kaiteet katkaistaan läheltä reunapalkin yläpintaa.

4.4.8 Kaivu- ja täyttötöyt

Siltapaikalle kaivetaan salaojat etumuurien taakse, sekä kulmatukimuurit siipimuurien jatkeeksi ja reunapalkkien jatkeeksi.

Katualueella olevat kaivannot täytetään vastaamaan katualueella olevia rakenne ja täytekerroksia. Kulmatukimuurien kaivu tehdään reunapalkki-linja suuntaisesti niin, että kaivu luiskataan 1:1. Kulmatukimuuuri perustetaan 180 mm paksuiselle kerrokselle murskettä. Kulmatukimuurien rakentamisen jälkeen niiden sijainti tarkastetaan ennen päällysrakenteiden tekemistä. Salaojille tehtävä kaivu ulotetaan 700 mm syvyyteen kansilaatan yläpinnasta 1 % kallistuksella keiloihin päin. Kaivun etäisyys etumuurin takapuolelta on noin 600 mm, myös 600 mm matkalle tulee 1 % kallistus etumuurilta salaojaan päin.

4.5 Betonirakenteiden korjaaminen

4.5.1 Raudoituksen uusiminen

Uusi raudoitus tehdään B500B harjatangosta, kun vanhan teräksen poikkipinta-ala on pienentynyt ruostumisen seurauksena yli 30 %. Esiin tulleet raudoitustangot, jotka eivät ole ruostuneet yli raja-arvon puhdistetaan ja suojataan tarvittaessa korroosionestoaineella. Terästen suojaus tehdään heti puhdistuksen jälkeen paikkauslaastin tuotekohtaisella korroosionestoaineella, mikäli tuotekohtaisissa ohjeissa niin vaaditaan.

4.5.2 Paikkaus ilman muotteja

Paikkaukset ilman muotteja ovat etu- ja siipimuurien laastipaikkauksia. Paikkaukset tehdään sementtipohjaisella valumattomalla paikkauslaastilla. Paikattava pinta tulee olla mattakostea ja paikkauspinta hierretään paikkauksen jälkeen. Raudoituksen betonipeitteen ja paikkojen jälkihoito tehdään valmistajan tuotekohtaisten ohjeiden mukaan.

4.5.3 Kansilaatan korjausvalut

Kansilaatan mahdolliset yksittäiset syvien kohtien korjausvalut tehdään epoksitiivistyksen kanssa yhteensopivalla nopeasti kuivuvalla massalla, esimerkiksi epoksipohjaisella paikkausmassalla tai epoksin ja hiekan seoksella. Toimenpide tehdään epoksitiivistyksen yhteydessä.

4.5.4 Uusien rakenteiden betonointi, kansirakenne

Valettavien rakenteiden muotitus tehdään raakaponttilaudasta vaakaan ja niiden tiiviyyteen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Myös vanhan ja uuden rakenteen väliseen saumaan tulee kiinnittää huomiota. Betonoitavista osista näkyviin jääviin kulmiin tehdään 20 mm x 20 mm viiste.

Reunapalkkien ja kansilaatan reunan valu suoritetaan kahdessa osassa niin, että kannen osuus valetaan ensimmäisessä osassa reunapalkin ulkopinnasta kannen vesipiikattuun reunaan. Ensimmäiseen valuvaiheeseen muotoillaan kallistus etumuureille vastaavasti, kuin vanhassa laatassa sekä uuden ja vanhan osan välisestä korkeuserosta johtuva viiste. Ensimmäisen valuvaiheen jälkeen muotitetaan reunapalkin sisäpinta ja valetaan reunapalkki.

Betonin laatuvaatimukset kannen valussa eurokoodin NCCI 2 mukaan ovat (Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. 2012, 27):

Rasitusluokka	Ro21,R2
Lujuusluokka	C30/37
Pakkasenkestävyysluokka	P20
Teräslaatu	B500B

Betonin laatuvaatimukset reunapalkkien valussa eurokoodin NCCI 2 mukaan ovat (Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. 2012, 27):

Rasitusluokka	Ro22,R2
Lujuusluokka	C30/37
Pakkasenkestävyysluokka	P50
Teräslaatu	B500B

Edellisten lisäksi:

Kiviaineskoko on korkeintaan 16 mm. Betonimassa suhteutetaan mahdollisimman vähän kutistuvaksi notkistavaa lisäainetta käyttäen. Kiviaineksenä käytetään mieluiten murskattua luonnonkiviainesta, jossa ei saa käyttää lentotuhkaa tai masuunikuonapellettiä. Notkistimen vaikutusaika otetaan huomioon massaa tärytettäessä. Kloridipitoisten lisäaineiden käyttö on kielletty. Notkistimen ja lisähuokostusaineen yhteensopivuus on varmistettava.

Jälkihoito tehdään erityisen huolellisesti jälkihoitoaineella sekä muovipeiteillä ja vesikasteluna.

4.5.5 Kulmatukimuuri

Kulmatukimuurit tehdään soveltaen Liikenneviraston tyyppikuvaa R15 DK H2-21. Kulmatukimuurit tehdään reunapalkkien jatkeeksi samaan linjaan, kuin sillan reunapalkit jättäen 20 mm rako rakenteiden väliin. (Siltöjen tyyppipiirustukset H2. 2006)

TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

Betonin laatuvaatimukset kulmatukimuurien valussa eurokoodin NCCI 2 mukaan ovat (Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. 2012, 31):

Rasitusluokka	Ro41,R2
Lujuusluokka	C30/37
Pakkasenkestävyysluokka	P25
Betonipeitteen nimellisarvo	50 mm
Teräslaatu	B500B

Edellisten lisäksi:

Kiviaineksen maksimikoko on 32 mm. Näkyviin jääviin kulmiin tehdään 20 mm x 20 mm viiste.

4.5.6 Kulmatukimuuuri, siipimuurin jatke

Siipimuurien jatkeeksi valetaan kulmatukimuurit. Kulmatukimuureja ei ankkuroida siipimuriin, mutta niiden väliin ei myöskään jätetä saumaa, vaan valu tehdään suihkupuhdistettua betonipintaa vasten.

Kulmatukimuurien perustamissyvyys on vähintään 200 mm nykyisen maanpinnan alapuolella. Kulmatukimuurin korkeus on korkeintaan 1 m ja vaakaosuuden pituus lasketaan 1,5 kertaiseksi korkeuteen nähden. Kulmatukimuurin leveys on 1000 mm.

Betonin laatuvaatimukset siipimuurien jatkeissa eurokoodin NCCI 2 mukaan ovat (Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. 2012, 27):

Rasitusluokka	Ro41,R2
Lujuusluokka	C30/37
Pakkasenkestävyysluokka	P25
Betonipeitteen nimellisarvo	50 mm
Teräslaatu	B500B

Edellisten lisäksi:

Kiviaineksen maksimikoko on 32 mm. Näkyviin jääviin kulmiin tehdään 20 mm x 20 mm viiste.

4.5.7 Betonipinnan impregnointi

Kulmatukimuurien ja sillan reunapalkkien näkyviin jäävät pinnat impregnoidaan veden ja kloridien rakenteisiin imeytymisen estämiseksi. Impregnointiaineena käytetään geelimäistä tuotetta, jonka uusimisväli on yli 15 vuotta.

Impregnointi voidaan tehdä vasta kun betonin ulkopinta on neutralisoitunut. Neutralisoituminen kestää olosuhteista riippuen muutaman kuukauden. Ennen impregnointia pinnoitettavat pinnat suihkupuhdistetaan kevyesti. Suihkupuhdistuksen jälkeen pinnat on puhdistettava pölystä.

4.5.8 Betonipintojen pinnoitus karbonatisoitumista hidastaviksi

Pinnoitettavat alustat tasoitetaan sementtipohjaisella tasoituslaastilla, jonka jälkeen ne käsitellään vaalean harmaalla polymeeripinnoitteella. Pinnoitettavien pintojen tulee olla puhtaita ja suihkupuuhdistettuja. Sillasta pinnoitetaan kaikki näkyviin jäävät rakennneosat lukuun ottamatta reunapalkit, jotka impregnoidaan. Pinnoitteen laadun varmistamiseksi on noudatettava SILKO hyväksytyyn materiaalitöimittajan ohjeita. Kaikki pinnoitetut pinnat käsitellään lisäksi uhrautuvalla töherryksenestoaineella, joka on yhteensopiva polymeeripinnoitteen kanssa.

4.5.9 Kaidepylväiden juurivalu

Kaidepylväille tehdään juurivalut, joiden laatuvaatimukset ovat:

Lujuusluokka	C35/45
Pakkasenkestävyysluokka	P50

4.6 Teräsrakenteet

4.6.1 Kaiteet

Kaiteet uusitaan Liikenneviraston H2-tyyppikaiteen mukaisina sillankaitteina, jotka on varustettu verkolla ja harvalla putkijohteella. Kaiteen verkko asennetaan niin, että verkon ruutu on pystyasennossa hankaloittaakseen kiipeilyä verkossa. Kaidetolpat kiinnitetään reunapalkkeihin pulttikiinnityksellä. Kaiteiden linjaus tarkkuusmitataan ennen kaiteiden tilausta. (Silltojen tyyppiirustukset H2. 2006)

4.7 Vedeneristyksen ja päällysteen uusiminen

4.7.1 Epoksitiiivistyksen teko

Kannen yläpintaan tehdään epoksitiiivistys. Epoksitiiivistyksen eristysalusta kunnostetaan tasovesipesulla ja epätasaisuudet sekä veden virtaamista estävät harjanteet poistetaan.

4.7.2 Kermieristyksen teko

Vedeneristys uusitaan kauttaaltaan 2-kertaisena ja elementtisaumoilla 200 mm kaistan leveydeltä 3-kertaisena kermieristyksenä. Kermit liimataan alustaansa kumibitumilla.

4.7.3 Suojakerros ja päällysteet

Sillan päällysteet jyrsitään ja päällystetään uudestaan sillan, salaojien ja kulmatukimuurien matkalta.

TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

Taulukko 7. Uuden päällysteen rakennekerrokset ajoradalla.

Materiaali	Paksuus
Aluskermi	5 mm
Pintakermi	5 mm
Kuitukangas	
Suojakerros hiekka	20 mm
Murske- tai soratäyte	250-640 mm
Päällystekerrokset	30-80 mm
Yhteensä	360-750 mm

Päällysteet tehdään nykyisen päällysteen mukaan. Sillan reunoihin tehdään riittävät kallistukset, jotka ohjaavat veden pintavesikaivoihin.

4.7.4 Noppakivet ja kadunreunakivetytys

Sillan ja kulmatukimuurien matkalle asennetaan 90x90x90 mm lohkotut noppakivet. Kivet asennetaan murskeen päälle laitettavan 50 mm asennushiekan päälle ja saumataan saumaushiekalla. Kivetytys tulee reunapalkin ja graniittisen kadunreunakivetyksen väliin ja kiveyksen saumauslinja on tielinjaan nähden poikittainen.

Reunakiviksi asennetaan joko vanhat kivet uudelleen tai uudet vastaavan kokoiset kivet. Kivien koko on 170 x 270 mm.

4.8 Saumaukset

4.8.1 Päällysteen ja reunakiven sekä noppakiven ja reunapalkin saumaus

Saumauksessa käytetään polymeerimodifioitua bitumia ja tuotekohtaista tartunta-ainetta. Saumaus on kooltaan noin 20 mm x 40 mm. Saumauksen varaus asfalttiin tehdään asentamalla ennen asfaltin asennusta laudat reunakivien kylkiin. Laudat poistetaan asfaltin levittämisen jälkeen.

4.8.2 Reunapalkin saumaukset

Reunapalkin ja kulmatukimuurin välinen sauma tehdään elastisella saumamassalla. Saumamassan alle asennetaan umpisoluihin polyeteenimuovinauha, jonka koko valitaan siten, että nauha puristuu 20-30 % kokoon saumaan painettaessa. Tartuntapinnat tulee hioa esim. kulmahiomakoneella tai suihkupuhdistamalla. Tämän jälkeen tartuntapinna pitää puhdistaa irtonaisesta pölystä ja liasta. Saumausmassa asennetaan +5-15 °C:n lämpötilassa lämpöliikkeiden kohdistuessa näin molempiin suuntiin.

4.8.3 Kansielementtien saumausten paikkaaminen

Kansielementtien kumibitumisaumojen vauriokohtien paikkaaminen suoritetaan uudella kumibitumiseoksella, niin että saumojen yläpinta on yhtenäinen elementtipintojen kanssa. Saumojen ja elementtien rajapintaan ei saa jäädä tasoeroja.

4.8.4 Elementtien saumaus

Kannen alapuolisten elementtien saumaus suoritetaan SILKO hyväksytyllä saumausmassalla. Saumattavia elementtejä ovat etumuurit, siipimuurit, kannen alapinta ja kehäelementit.

4.9 Siltapaikan muut rakenteet

4.9.1 Siltapaikan kuivatus

Ajoradan ja alittavan kevyenliikenteen väylän sadevedet johdetaan päällystekerroksia ja pintavesikouruja myöden pintavesikaivoihin. Alittavan väylän pintavesikourut tyhjennetään irtonaisesta maa-aineksesta.

Etumuurien taakse tulevat salaojat asennetaan noin 700 mm syvyyteen kannen yläpinnasta mitattuna ja 600 mm päähän etumuurin ulkopinnasta. Salaojiin tulee 1 % kallistus keiloihin päin. Salaojien päät tuodaan ulos keilarakenteesta noin 100 mm.

4.9.2 Ajoratamerkinnot

Ajoratamerkinnot tehdään maalimerkinnoin uusittavan päällysteen matkalle. Ajoratamerkinnot tehdään nykyisiä kaistoja vastaaviksi, ottaen huomioon kuitenkin reunapalkkien asemanmuutoksen.

4.9.3 Pengerkaiteet

Siltapaikan pengerkaiteet puretaan ja uusitaan siirtymärakenteen verran sillankaiteen molemmiin puolin. Sillankaiteen pituus on 12 m ja siirtymärakenne on 16 m molemmiin puolin siltaa. Pengerkaiteen korkeus ajoradan pinnasta on 700 mm. Pengerkaiteet ovat Tiehallinnon tyyppiirustuksien Ty3/51 Tiekaide mukaiset. (Tyyppiirustukset Ty. 2010)

4.9.4 Luiskaverhoukset

Sillan keilojen pintamateriaalit kunnostetaan kaivutöiden jälkeen vastaamaan alkuperäistä materiaalia.

4.9.5 Valaistus

Sillan valaistus irrotetaan kannen alapuolisten korjaustöiden ajaksi. Mikäli valaisin on rikki, tulee se korjata tai uusida, muuten valaisimet kiinnitetään takaisin betonipintojen pinnoituksen jälkeen.

4.10 Korjaussuunnittelun perusteella arvioidut korjauskustannukset

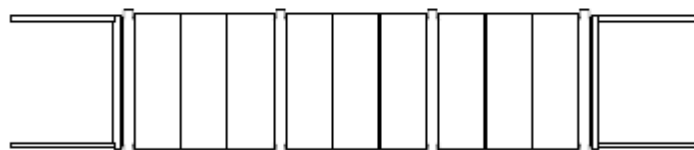
Korjaussuunnittelun yhteydessä laskettu kustannusarvio on tarkentunut erikoistarkastuksen arviosta, koska kustannusarvio pystytään laskemaan tarkemmin kuin tiedetään korjaustoimenpiteet ja laajuudet melko tarkasti. Tässä tapauksessa kustannukset ovat hieman nousseet osittain johtuen sillan reunapalkkien ja kannen purkamisen laajuudesta sekä kulmatukimuurien rakentamisesta, joita ei vielä erikoistarkastusvaiheessa ollut tiedossa. Kustannusarvion yksikkökustannukset on saatu Sito Oy:n tietokannasta ja määrät on laskettu korjaussuunnitelman piirustuksista. Korjaussuunnittelun yhteydessä laskettu kustannusarvio 2/2013 indeksillä on noin 160 000 € Kustannusarvio liitteenä.

4.11 Korjaussuunnittelun rakenteiden suunnittelu

Korjaussuunnittelun yhteydessä siltaan suunniteltiin uudet reunapalkit ja kannen reumat uusitaan samassa yhteydessä. Uudet rakenteet olivat tarpeellisia, koska nykyiset rakenteet eivät ole turvallisia tai täytä nykyisiä vaatimuksia. Reunapalkeissa ja kansielementeissä oli myös klorideja yli sallitun raja-arvon.

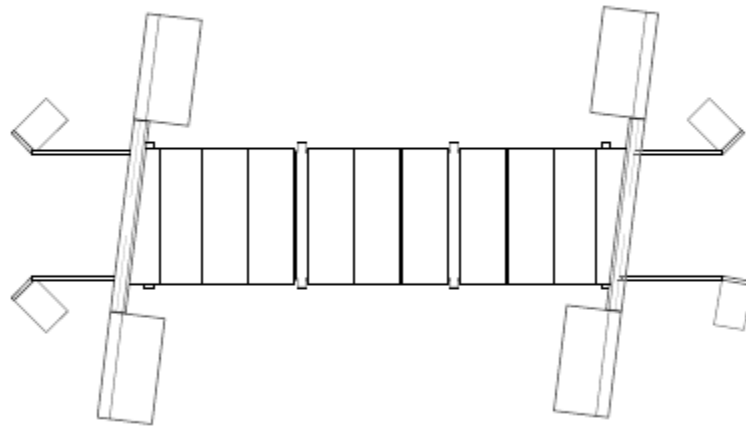
Reumat suunniteltiin tehtäviksi yhtenä rakenteena kahdella valuvaiheella. Ensin valettava laatta mitoitettiin niin, että sen taivutusmomenttikapasiteetti oli suurempi, kuin vanhan laatan. Kasvaneiden suojabetonietäisyyksien takia rakenteesta tuli kuitenkin hieman paksumpi, kuin vanhasta (Kuvat 5 ja 6). Kääntyneen tielinjan takia laatat suunniteltiin niin, että sillan reunapalkit ovat tielinjan suuntaiset (Kuvat 3 ja 4). Reunapalkkilinjan kääntäminen aiheutti sen, että laattojen toinen leveämpi pää vietiin enemmän siipimuurien päälle. Laattojen kapeampi pää asettuu suunnilleen samalle kohdalle siipimuurin päälle, kuin vanha reunapalkki.

Tasokuva vanha rakenne



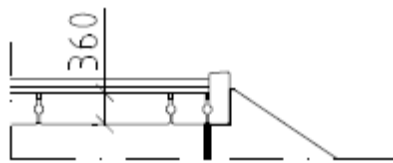
Kuva 3. Vanha rakenne ylhäältä katsottuna. Kansilaatta ja siipimuurit

Tasokuva uusi rakenne

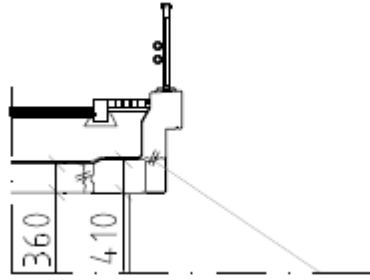


Kuva 4. Uusi rakenne ylhäältä katsottuna. Kansilaatta, siipimuurit ja kulmatukimuurit

Toisen valuvaiheen reunapalkkiosuudet suunniteltiin niin että uudet reunapalkit olisivat korkeudeltaan riittävät ja korkeusmuutos sama kuin ajoradan reunassa niin, että kaidelinja olisi yhtenäinen. Reunapalkkien liitos kansilaattaan mitoitettiin kestämään eurokoodin LM2 mukaiselle akseli-kuormalle ja siitä aiheutuneelle maanpaineelle. Reunapalkkilinjaa jatketaan kansilaatan ulkopuolella tien suuntaisesti noin metrin, koska tien taso on niin korkealla, että maan vyöryminen siipimuurien päälle on estettävä. Reunapalkkien jatkoksi rakennetaan myös kulmatukimuurit, jotka toimivat kaidetolppien kiinnitysalustana ja estävät maan vyörymisen. Kulmatukimuurit rakennetaan Liikenneviraston tyyppiirustusten mukaan, eikä niitä suunniteltu kohdekohtaisesti.



Kuva 5. Leikkaus vapaanaukon keskeltä. Vanha rakenne



Kuva 6. Leikkaus vapaanaukon keskeltä. Uusi rakenne

4.12 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

Silta on korjattavissa ja muutettavissa nykyisiä tarpeita vastaaviksi, mutta Merituulentielle tehtävä katusuunnitelma saattaa muuttaa sillan vaatimuksia. Merituulentien leventäminen ja alueelle tulevan metron lisäämän kevyen liikenteen kasvamisen takia voi olla mahdollista, että alikulkukäytävä korvataan uudella avarammalla alikulkukäytävällä tai ylikulkukäytävällä. Sillan korjauskustannukset ovat normaalia keskitasoa, mutta mikäli silta pitää uusia ennen sen käyttöään loppumista on se taloudellisempaa tehdä ennen korjaustöitä, jotka lisäävät sillan arvoa ja käyttöikä huomattavasti.

Mikäli silta päätetään korjata, tulisi korjaus tehdä mahdollisimman pian, mielellään jo kesällä 2014. Silta pitää korjata pian korjaussuunnittelun jälkeen sillä sillassa olevat vauriot ja rakenteelliset virheet saattavat aiheuttaa siltaan laajempia vaurioita kuin korjaussuunnittelussa on huomioitu. Vaurioiden laajentuminen aiheuttaa usein myös huomattavia korjauskustannuksien kasvua.

Opinnäytetyö oli käytännönläheinen ja työelämälähtöinen. Opinnäytetyö on hyödynnettävissä kyseisen sillan korjauksessa sekä opastavana dokumenttina sillan erikoistarkastus- ja korjaussuunnittelutoimintaan.

LÄHTEET

Liikenneviraston ohjeita, Taitorakenteiden tarkastusohje 2013

Tiehallinto, Sillantarkastusohje: Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus. 2004

Liikennevirasto, Eurokoodin sovellusohje: Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. 2010

Liikenneviraston ohjeita, Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset: Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus. 2010

Liikennevirasto. Tyypipiirustukset SY. TOBI-silta / Sementtiyhdistys. Viitattu 9.4.2013.

http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylaidon_ohjeet/arkisto/tyypipiirustukset

Liikennevirasto, Siltarekisteri. Blke-haku. Viitattu 9.4.2013

Tiehallinto, Sillantarkastuskäsikirja: Suunnittelu- ja toteutusvaiheen ohjaus. 2006

Aitta, S ym. 2004. Siltojemme historia. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy

SFS-EN 1317-1...SFS-EN 1317-5. 2011/2012. Viitattu 9.4.2013

ASTM C 856-11. Viitattu 9.4.2013

Mäkinen, M. 2009. Betonimassan ominaisuudet. Betonirakentamisen opintojakson verkkoaineisto. Hämeen ammattikorkeakoulu, Moodle. Viitattu 19.4.2013.

<https://moodle2.hamk.fi/>

Ympäristöministeriö, B4 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2000

VTT, Korroosion ainetta rikkomattomat tutkimusmenetelmät: Tutkimusselostus nro VTT-S-11654-06. 2006

VTT, Betonin vauriomekanismien yhteisvaikutus: Tutkimusraportti nro VTT-R-08602-11. 2011

Tofte-yhtiöt Oy. Kosteus rakennuksissa. Betonin karbonatisoituminen <http://www.haistahome.fi/kosteus+rakennuksissa/betonin+karbonatisoituminen/>

Sito Oy, Turvallisuusasiakirja, turvallisuussäännöt ja menettelyohjeet. 2013 [sisäinen verkko] Viitattu 9.4.2013

TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

Sito Oy, Tykkitie alikulkukäytävä U-1459 Erikoistarkastusselostus.
29.1.2013 [sisäinen verkko] Viitattu 9.4.2013

Sito Oy, Tykkitie AKK (U-1459), Espoo, korjaussuunnitelma. 2013 [sisäinen verkko] Viitattu 9.4.2013

Sito Oy, Ehrenströmintien silta, Helsinki Erikoistarkastusselostus.
28.2.2013 [sisäinen verkko] Viitattu 22.4.2013

Rakennustieto Oy, Ratu 82-0382-ohje. 2011

Liikennevirasto, Eurokoodin sovellusohje: Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. 2012

SFS 1268 Betoniteräksiset. Viitattu 9.4.2013

Liikennevirasto. Siltojen tyyppiirustukset H2. Teräksinen sillankaide H2. 2006

http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylaidon_ohjeet/sillat/tyyppiirustukset

Liikennevirasto. Tyyppiirustukset Ty. Tiekaide Ty3/51. 2010

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tyyppiirustukset/tyyppiirustukset25102010.pdf>

KORJAUSSUUNNITELMAN KUSTANNUSARVIO



TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

Rakenneos	Littera	Työ	Yks	Määrä	Yksikkökustannus	Kustannus yht.	
ALUSRAKENNE							
106	Etumuuri	1108	Betonipinnan suihkupuhdistus	m ²	75,0	10	750 €
106	Etumuuri	4013	Betonipinnan ylitasoitus sementtipohjaisella laastilla max 5 mm	m ²	75,0	40	3 000 €
106	Etumuuri	4016	Betonipinnan pinnoitus polymeeripohjaisella pinnoitteella	m ²	75,0	55	4 125 €
106	Etumuuri	4027	Antigraffiti aine, uhrautuva	m ²	75,0	20	1 500 €
106	Etumuuri	1113	Saumausten purku (PCB-yhdisteitä)	m	110,0	50	5 500 €
106	Etumuuri	8011	Betonielementtien saumaus	m	110,0	15	1 650 €
106	Etumuuri	4023	Betoniteräksen esiin piikkaus, teräksen puhdistus, suojaus ja laastipaikkaus (roilo)	m	4,0	60	240 €
106	Etumuuri	4024	Paikkaus ilman muotteja	dm3	10,0	20	200 €
108	Siipimuri	4027	Antigraffiti aine, uhrautuva	m ²	35,2	20	704 €
108	Siipimuri	1108	Betonipinnan suihkupuhdistus	m ²	35,2	10	352 €
127	Kulmatukimuri	2003	Muotit laudasta, muut rakenteet (sis. telineet)	m ²	20,0	120	2 400 €
127	Kulmatukimuri	4002	Betoni C30/37 /P30	m ³	1,2	190	228 €
127	Kulmatukimuri	4013	Betonipinnan ylitasoitus sementtipohjaisella laastilla max 5 mm	m ²	35,2	40	1 408 €
127	Kulmatukimuri	4016	Betonipinnan pinnoitus polymeeripohjaisella pinnoitteella	m ²	35,2	55	1 936 €
127	Kulmatukimuri	3001	Betoniteräs A 500 HW	kg	60,0	2	120 €
127	Kulmatukimuri	1107	Betonirakenteen purku mekaanisesti	m ³	1,0	600	600 €
REUNAPALKKIRAKENTEET							
201	Reunapalkki	1106	Reunapalkin purku	m ³	1,3	200	260 €
201	Reunapalkki	1101	Betonirakenteen purku vesipiikkaamalla	m ³	0,8	1000	800 €
201	Reunapalkki	2001	Reunapalkin muotit laudasta (sis. telineet)	m ²	38,5	100	3 850 €
201	Reunapalkki	4003	BetoniC35/45 /P50	m ³	4,0	210	840 €
201	Reunapalkki	3001	Betoniteräs A 500 HW	kg	1 845,0	2	3 690 €
201	Reunapalkki	3002	Tartuntateräs A 500 HW juotettuna, d=16 mm, poraus Ø max 24 mm	kpl	36,0	30	1 080 €
201	Reunapalkki	3003	Tartuntateräs A 500 HW juotettuna, d=20 mm, poraus Ø max 28 mm	kpl	16,0	35	560 €
201	Reunapalkki	4026	Betonipinnan impregnointi, geelimäinen, uusintakäsittelyväli yli 15 v	m ²	12,8	45	576 €
203	Reunapalkin liikuntasauva	8001	Reunapalkin liikuntasauvan tiivistäminen saumaussmassalla, Silko 2.731	m	4,0	20	80 €
MUU PÄÄLLYSRAKENNE							
301	Kansilaatta	1108	Betonipinnan suihkupuhdistus	m ²	64,0	10	640 €
301	Kansilaatta	4013	Betonipinnan ylitasoitus sementtipohjaisella laastilla max 5 mm	m ²	64,0	40	2 560 €
301	Kansilaatta	4016	Betonipinnan pinnoitus polymeeripohjaisella pinnoitteella	m ²	64,0	55	3 520 €
301	Kansilaatta	4027	Antigraffiti aine, uhrautuva	m ²	64,0	20	1 280 €
301	Kansilaatta	1107	Betonirakenteen purku mekaanisesti	m ³	0,9	600	540 €
301	Kansilaatta	4003	BetoniC35/45 /P50	m ³	3,7	210	777 €
PÄÄLLYSTEET							
401	Päällyste	1202	Asfalttikerrosten poisto x mm	m ³	25,1	60	1 506 €
401	Päällyste	1202	Asfalttikerrosten poisto x mm	m ³	8,5	60	510 €
401	Päällyste	1202	Asfalttikerrosten poisto x mm	m ³	14,5	60	870 €
401	Päällyste	7024	Suojakerros (hiekkä 20 mm + kuitukangas)	m ²	68,0	12	816 €
401	Päällyste	7025	Kantavankeroksen mursketäyttö # 0...32 mm	tn	42,0	20	840 €
401	Päällyste	7007	AB 16/100	m ²	63,0	16	1 008 €
401	Päällyste	7009	AB 16/120	m ²	63,0	16	1 008 €
401	Päällyste	11024	Noppakiviverho	m ²	17,4	80	1 392 €
401	Päällyste	7029	Graniittinen reunakivi	m	27,0	130	3 510 €
401	Päällyste	7025	Kantavankeroksen mursketäyttö # 0...32 mm	tn	80,0	20	1 600 €
401	Päällyste	7025	Kantavankeroksen mursketäyttö # 0...32 mm	tn	21,0	20	420 €
401	Päällyste	7007	AB 16/100	m ²	115,0	16	1 840 €
401	Päällyste	7009	AB 16/120	m ²	115,0	16	1 840 €
401	Päällyste	7026	Ajoratamerkinäät, maali	m ²	25,6	30	768 €
402	Päällysteen saumaus	8010	Päällysteen ja reunakiven välinen saumaus	m	32,0	15	480 €
MUU PINTARAKENNE							
501	Suojakerros	1204	Suojabetonin poisto x mm	m ³	3,7	180	666 €
501	Suojakerros	1203	Täytötkerroksen x mm poisto kannen yläpinnasta	m ³	6,8	30	204 €
502	Vedeneristys	1205	Vesieristeen poisto	m ²	68,0	20	1 360 €
502	Vedeneristys	6005	Betonikannen epoksitiivistys (epoksimenekki 3,0 kg/m ²)	m ²	68,0	30	2 040 €
502	Vedeneristys	6009	Sääsuoja	m ² /1 kk	71,0	50	3 550 €
502	Vedeneristys	6002	Kumibitumikermieristys, kaksinkertainen käyttöluokka 1	m ²	68,0	14	952 €
502	Vedeneristys	6007	Kumibitumisiveli (KB 100), 2-kertainen ä 1,5 kg/m ²	m ²	11,0	10	110 €
503	Kansilaatan yläpinta	1104	Kannen yläpinnan korkeapainevesipesu eristysalustaksi	m ²	68,0	10	680 €
503	Kansilaatan yläpinta	4020	Betonikannen tasaus epoksihiekkaseoksella 1:5 (=1,7 kg / dm ³)	dm ³	50,0	100	5 000 €
KAITEET							
600	KAITEET	9006	Siltakaiteen poisto	m	16,0	45	720 €
600	KAITEET	9009	Korkea sillankaide H2, hana, korkea reunapalkki	m	24,0	160	3 840 €
600	KAITEET	9011	Korkeasuojaverkko H2 kaiteeseen (sis.korvakaiteet tolppiin)	m	24,0	90	2 160 €
600	KAITEET	9013	Korkean sillankaiteen päätyviste	kpl	4,0	600	2 400 €
600	KAITEET	9017	Kaidepylvään alustaväli	kpl	14,0	20	280 €
LIIKUNTASAUMLAITTEET							
MUUT VARUSTEET JA LAITTEET							
810	Valaisin	10022	Valaistuksen irrotus, kunnostus ja uudelleen asennus	kpl	3,0	200	600 €

TOBI-elementtikehäsillan erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu

SILTAPAIKAN RAKENTEET							
902	Keila	11023	Pensasverhouksen istutus	m ²	40,0	50	2 000 €
902	Keila	11012	Kaivu ilman tuentaa	m ³ tr	20,0	20	400 €
902	Keila	15006	Luisakatäytöt M # 0-32mm tai vast. InfraRYL mukaisesti	m ³ tr	30,0	20	600 €
820	Vedenpoistoputki	15005	Salaajat 110 mm, M	m	36,0	20	720 €
910	Pengerkaide	9001	Pengerkaiteen poistaminen	m	16,0	15	240 €
910	Pengerkaide	9003	Pengerkaiteen uusiminen (W232/5)	m	66,0	60	3 960 €
915	Tukimuuri	2003	Muotit laudasta, muut rakenteet (sis. telineet)	m ²	44,0	120	5 280 €
915	Tukimuuri	3001	Betoniteräs A 500 HW	kg	760,0	2	1 520 €
915	Tukimuuri	4003	BetoniC35/45 /P50	m ³	6,8	210	1 428 €
915	Tukimuuri	11012	Kaivu ilman tuentaa	m ³ tr	75,0	20	1 500 €
915	Tukimuuri	4026	Betonipinnan impregnointi, geelimäinen, uusintakäsittelyväli yli 15 v	m ²	14,0	45	630 €
VÄYLÄT							
1001	Liikenteenohjauslaitteet	13001	Liikennejärjestelyt	erä	2,0	10000	20 000 €
						Rakennusosakustannukset	127 014 €
						Indeksikorotus, perusindeksi 161,0	1 736 €
						163,2 indeksi 2/2013	
						Rakennusosakustannukset yhteensä	128 750 €
						Urakoitsijan yhteiskustannukset 25 %	32 187 €
						Rakennuskustannukset yhteensä	160 937 €