

Tekniset palvelut

Siltojen rakentamisen ja korjaamisen seuranta

Seurantaraaportti, osa 3

Tiehallinnon selvityksiä 22/2005



Tekniset palvelut

Siltojen rakentamisen ja korjaamisen seuranta

Seurantaraportti, osa 3

Tiehallinnon selvityksiä 22/2005

Tiehallinto

Helsinki 2005

Kannen kuva: Risto Kiviluoma

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-486-9
TIEH 3200934

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-487-7
TIEH 3200934-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2005

Julkaisua myy/saatavana:
asiakaspalvelu.prima@edita.fi
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011

TIEHALLINTO
Tekniset palvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihde 0204 2211

Asiasanat: sillat, sillansuunnittelu, sillanrakennus, teräsrakenteet, säänkestävyys, viemärointi, laakerit, liittorakenteet, halkeilu, koekuormitus

Aiheluokka: 35, 43, 54, 70

TIIVISTELMÄ

Tässä julkaisussa on käsitelty Tiehallinnon siltojen rakentamisen ja korjaamisen seurantaan liittyen seuraavia osa-alueita: 1) säänkestävät teräkset, 2) vesien poisjohtaminen sillalta ja siltapaikalta, 3) kumipesälaakerit, 4) kannen halkeilu liittopalkkisiltojen tukialueilla ja 5) siltojen koekuormitukset.

Tavoitteena on antaa tutkittua palautetietoa Tiehallinnon silloissa käytetyistä uusista menetelmistä, materiaaleista ja ohjeista. Tutkimus on perustunut mm. siltojen ohjelmoitujen yleistarkastusten tuloksiin, Tiehallinnon muihin tutkimuksiin sekä tätä julkaisua varten tehtyihin siltatarkastuksiin.

Säänkestävästä teräksestä valmistettujen siltojen yhteydessä on analysoitu tutkimustuloksia suositelluille ympäristöille, maalaukselle ja syöpymisvaran laskennalle.

Vesien poisjohtamiseen liittyviä kysymyksiä on selvitetty pääosin Tiehallinnon siltarekisterin rakenneosakohtaisten vaurioraporttien avulla. Tarkastelussa on mukana sillan ja siltapaikan kuivatusjärjestelmät. Reunasalaojen kuntoa ja toimivuutta on tutkittu siltatarkastuksilla kolmesta kohteesta.

Vanhojen kumipesälaakereiden kuntoa on tutkittu siltarekisteritietojen perusteella ja erillisillä siltatarkastuksilla. Tutkimus on rajattu Tiehallinnon 1970-luvulla rakennuttamiin siltoihin. Erikseen tarkastettuja siltoja on viisi kappaletta. Muita käsiteltyjä asioita ovat vinoköysisiltojen laakerit ja yhden sillan käytöstä poistetut ja puretut laakerit.

Betonikannen halkeilua liittopalkkisiltojen tukialueilla on tutkittu tarkastuksilla neljästä sillasta. Erityisesti on pyritty havainnoimaan sellaisia laatan läpi ulottuvia halkeamia, jotka olisivat vaurioittaneet vedeneristystä. Halkeamaleveyksiä on mitattu luupilla ja halkeamista piirretty kartoja. Taustaselvityksessä on paneuduttu rakennusvaiheen aikaisten halkeamien syntyyn.

Siltojen koekuormituksia on tarkasteltu Tiehallinnon kohteiden tulosten perusteella. Tarkastelu kattaa vuosien 1983 – 2003 koekuormitukset. Selvityksistä kysymyksistä ja saavutetuista tuloksista on esitetty yhteenvedot. Tulokset on eritelty tarkemmin betoni-, teräs- ja puusilloille.

Sakord: broar, broplanering, brobyggnad, stålkonstruktioner, väderbeständighet, avloppssystem, lager, samverkansbro, sprickor, provbelastning

Ämnesklass: 35, 43, 54, 70

SAMMANFATNING

I denna publikation behandlas följande delområden av Vägförvaltningens uppföljning av broar och broreparationer: 1) väderbeständig stål, 2) bortledning av vatten från bron och broplatsen, 3) gummitopflager, 4) betongdäckens sprickor på samverkansbrons stödområden och 5) broars provbelastningar.

Ändamålet är att erbjuda utforskad information på feedback om nya metoder, material och instruktioner som använts i Vägförvaltningens broar. Utredningen har grundat sig bl.a. på resultaten av broarnas programmerade allmänna granskningar, Vägförvaltningens andra utredningar och brogranskningar som gjorts för denna publikation.

I samband med broar byggda av väderbeständigt stål har forskningsresultat för rekommenderad omgivning, målning och beräkning av korrosion reserv analyserats.

Frågor gällande bortledning av vatten från bron har i huvudsak utretts med hjälp av skaderapporter från Vägförvaltningens broregister. Granskningen innehåller dräneringssystemen för både bron och broplatsen. Sidodräneringens kondition och funktion har undersökts med hjälp av brogranskningar av tre broar.

Konditionen av gamla gummitopflager har undersökts på basen av information från broregistret och skilda brogranskningar. Utredningen är begränsad till broar som är byggda av Vägförvaltningen på 1970-talet. Fem broar har granskats skilt. Andra behandlade fall har varit snedkabelbroars lager, och i ett fall ett lager som tagits ur bruk och nedmonterats.

Betongdäckens sprickor på samverkansbrons stödområden har undersökts med hjälp av brogranskningar av fyra broar. Speciellt har man försökt iakta sådana sprickor som går genom hela plattan och har skadat vattenisoleringen. Bredden av sprickorna har mätts med förstoringsglass, och kartor av sprickorna har ritats. I bakgrunds utredningen har man satt sig in i sprickor, som uppstått i byggnadsskedet.

Broars provbelastningar har undersökts på basen av resultaten från Vägförvaltningens broar. Granskningen täcker provbelastningar från åren 1983 – 2003. Sammanfattningar har presenterats över utredda frågor och uppnådda resultat. Resultaten har specificerats noggrannare för betong-, stål- och träbroar.

Siltojen rakentamisen ja korjaamisen seuranta, seurantaraportti, osa 3 [Bridge construction and repairing, surveillance report, part 3]. Helsinki 2005. Finnish Road Administration. Finnra Reports 22/2005. 73 p. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-486-9, TIEH 3200934.

Keywords: bridges, bridge design, bridge construction, steel structures, weather resistance, drainage, bearings, composite structures, cracking, load testing

SUMMARY

This report deals with the following issues of Finnish Road Administration's (Finnra's) bridges: 1) weathering steel, 2) drainage and dewatering bridge and its site, 3) pot bearings, 4) deck cracking at support regions of steel-concrete composite bridges and 5) load testing.

Aim is to provide research-based feedback for new methods, materials and guidelines. Research is based on programmed general inspections, Finnra's other research projects and specific bridge inspections for the present study.

Usage of weathering steel in bridges is analysed for suitable bridge site, painting and calculation of needed corrosion provision.

Drainage and dewatering issues are mainly analysed based on damage reports from Finnra's bridge registry. Bridges and bridge sites are dealt separately. Condition of deck drainage system in side edges are assessed by inspections on three bridges.

Conditions of old pot bearings are studied by means of bridge registry data and specific inspections. Study is concentrated to Finnra's bridges built in the 1970's. Total five bridges are subjected to specific inspections. Other topics dealt are cable-stayed bridges; and an out-of-use and dismantled pot bearings of one bridge.

Cracking of concrete slab of steel-concrete composite bridges are analysed by inspection of four bridges. Support regions are examined with special attention to the through-slab cracks, which may have damaged the waterproofing. Crack widths are measured using a loupe, and maps are sketched for crack patterns. Background study is focused to construction-stage cracking.

Load testing is assessed by means of results for Finnra's tests 1983 – 2003. Summaries as presented for the aims and the results. Results are presented separately for concrete, steel, and timber bridges.

ESIPUHE

Silloilla on suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa tai korjauksen aikana tehty erilaisia kokeiluratkaisuja ja kokeiltu erilaisia materiaaleja. Ratkaisujen toimivuudesta tai tyypillisistä vaurioista ei ole sen jälkeen saatu tutkittua palaute-tietoa. Palautteiden hankinta ja käsittely aloitettiin syksyllä 1998. Työn tulok-sena on aikaisemmin julkaistu raportit Siltojen rakentamisen ja korjaamisen seuranta osa 1 (Tiehallinnon selvityksiä 7/2001, ISBN 951-726-709-6) ja osa 2 (Tiehallinnon selvityksiä 3/2003 ISBN 951-726-980-3)

Projektiryhmään ovat kuuluneet Tiehallinnon teknisistä palveluista kehittä-mispäällikkö Jouko Lämsä (puh. joht.), projektipäällikkö Olli Pyykönen, pro-jektipäällikkö Timo Tirkkonen ja tieins. Markku Nousiainen. Konsultteina mu-kana ovat olleet TkT Risto Kiviluoma (siht.) WSP SuunnitteluKORTES Oy:stä sekä TkL Torsten Lunabba ja DI Antti Rämetsä Tielikelaitoksen konsul-toinnista. Työtä on ohjannut apulaisjohtaja Juhani Vähäaho Tiehallinnosta.

Tähän raporttiin (osa 3) on projektiryhmä koonnut ja analysoinut viidestä on-gelmaryhmästä tutkitut tulokset.

Asiakirja on viimeistelty Tiehallinnon siltatekniikassa.

Helsingissä maaliskuussa 2005

Tiehallinto
Tekniset palvelut

Sisältö

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANFATNING	4
SUMMARY	5
ESIPUHE	7
1 JOHDANTO	11
2 SÄÄNKESTÄVÄT TERÄKSET	12
2.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat	12
2.2 Yhteenveto	12
2.2.1 Suositeltavat ympäristöt säänkestävän teräksen käytölle	12
2.2.2 Säänkestävän teräksen maalaus	13
2.2.3 Säänkestävän teräksen syöpymisvara	14
2.3 Johtopäätökset	15
3 VESIEN POISJOHTAMINEN SILLALTA JA SILTAPAICALTA	16
3.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat	16
3.2 Yhteenveto	18
3.2.1 Sillan kuivatuslaitteet	18
3.2.2 Siltapaikan kuivatuslaitteet	22
3.3 Johtopäätökset	24
3.4 Reunasalaojen tarkastustulokset	25
4 KUMIPESÄLAAKERIT	27
4.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat	27
4.2 Yhteenveto	28
4.2.1 Siltarekisteritiedot	28
4.2.2 Kenttätutkimukset	30
4.2.3 Muut tutkimukset	31
4.3 Johtopäätökset	32
4.4 Tarkastustulokset silloittain	34
4.4.1 Massbyn risteysilta	34
4.4.2 Kulloon risteysilta	37
4.4.3 Tanntarin ylikulkusilta	39
4.4.4 Sundomin silta	42
5 BETONIKANNEN HALKEILU LIITTOPALKKISILLAN TUKIALUEELLA	46
5.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat	46
5.2 Yhteenveto	47

5.3	Johtopäätökset	48
5.4	Tarkastustulokset silloittain	50
5.4.1	Äimäraution ylikulkusilta	50
5.4.2	Korssundin silta	54
5.4.3	Väätämonsalmen silta	57
5.4.4	Lietveden silta	61
6	SILTOJEN KOEKUORMITUKSET	64
6.1	Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat	64
6.2	Yhteenveto	65
6.3	Johtopäätökset	69
6.4	Tulokset siltatyypeittäin	69
6.4.1	Betonisillat	69
6.4.2	Terässillat	71
6.4.3	Puusillat	73

1 JOHDANTO

Tässä julkaisussa (osa 3) on käsitelty Tiehallinnon siltojen rakentamisen ja korjaamisen seurantaan liittyen seuraavia osa-alueita:

- säänkestävät teräkset
- vesien poisjohtaminen sillalta ja siltapaikalta
- kumipesälaakerit
- betonikannen halkeilu liittopalkkisiltojen tukialueella
- siltojen koekuormitukset.

Osa 3 on jatkoa vuosina 2001 ja 2003 julkaistuille 1. ja 2. osalle. Julkaisujen tarkoituksena on antaa suunnittelijoille palautetta tehdyistä suunnitteluratkaisuista. Myös siltojen urakoitsijat, rakennuttajat ja muut siltatekniikasta kiinnostuneet tahot voivat hyödyntää julkaisujen tuloksia ja johtopäätöksiä. Julkaisuissa mukana olevat siltatekniset osa-alueet, "ongelmaryhmät", on valittu julkaisujen laadintaan osallistuneiden projektiryhmän asiantuntijoiden toimesta. Osa-alueet ovat mukana pääasiassa siksi, että niissä on tiedetty esiintyvän ongelmia tai että ongelmien välttämiseksi on laadittu ohjeita, joiden toimivuutta ja riittävyyttä halutaan seurata.

Esitetyt tulokset perustuvat pääasiassa Tiehallinnon ohjelmoituihin siltatarkastuksiin, koekuormituksiin ja siltarekisteriajoihin sekä käytävissä oleviin siltapiirustuksiin ja tutkimusraportteihin. Ne kattavat useamman vuosikymmenen ajan. Tätä julkaisua varten erikseen tehtyt siltatarkastukset ja siltarekisteriajot on suoritettu vuosina 2003 – 2004. Siltatarkastuksia on tehty erityisesti kumipesälaakereiden kunnon ja liittopalkkisiltojen kannen halkeilun selvittämiseksi.

Julkaisussa käsiteltyt sillat on valittu satunnaisesti perustietojen perusteella. Sillan mukana olo tässä julkaisussa ei tarkoita, että sen suunnittelussa, rakentamisessa, hoidossa tai ylläpidossa olisi puutteita.

Suoritettujen tarkastusten ja muun tutkimusaineiston perusteella on laadittu yhteenvedot sekä esitetty johtopäätökset.

2 SÄÄNKESTÄVÄT TERÄKSET

2.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat

Säänkestävässä teräksessä teräsrakenteen pinnalle syntyvä ruoste suojaa terästä tavanomaisten pinnoitejärjestelmien tavoin. Tasaisen korroosion eteneminen otetaan huomioon teräspaksuuksia lisäämällä, eli korroosiovaralla. Tärkeä tekijä säänkestävän teräksen käytössä on maalipinnan uusimisen tarpeettomuus. Maalausjärjestelmillä suojattujen terässiltöjen uusintamaalaukset kun muodostavat suuren osan ylläpitokustannuksista.

Tiehallinnon kohteissa säänkestävää terästä on käytetty yksittäisissä kohteissa usean vuosikymmenen ajan.

Tärkeä kysymys on, onko korroosio suunnitteluotaksumien mukaista eli tasaista, vai esiintyykö rakenteessa esim. syöpymiä ja pistekorroosiota. Säänkestävän teräksen onnistuneeseen käyttöön vaikuttavat esim. siltapaikan ympäristötekijät.

Tiehallinnon Siltarekisterissä on tällä hetkellä n. 80 säänkestävästä teräksestä tehtyä siltää. Suunnittelussa on säänkestävän teräksen ikäkäyttäytyminen arvioitu kansainvälisten tutkimusten mukaan. Tässä tutkimuksessa on suunnittelun ohjearvot tarkistettu suomalaisia olosuhteita vastaaviksi.

VTT on Tiehallinnon toimeksiannosta laatinut tutkimusraportin "Säänkestävien terästen käyttö sillanrakennuksessa – Kenttätutkimus 1982-2003", VTT:n tutkimusraportti NRO BTU075-041245-10.5.2004. Kenttäkokeet on tehty yhdeksällä eri sillalla, jotka edustavat erilaisia ympäristöjä ja rasitusolosuhteita kuten maaseutu, kaupunki, ulkosaaristo, suuret pakkassuolarasitukset jne.

2.2 Yhteenveto

2.2.1 Suositeltavat ympäristöt säänkestävän teräksen käytölle

Kaikissa VTT:n tutkimissa silloissa jää ennustettu syöpymä selvästi alle suunnittelussa käytettyjen suositusarvojen, jotka ovat 20 vuoden käyttöajalla 0,15–0,30 mm ja 50 vuoden jaksolla 0,3–0,6 mm. Aggressiivisissa olosuhteissa, kuten meri-ilmastossa ja runsaasti suolatuilla teillä, pistesyöpyminen on yleistä. Näin ollen säänkestävän teräksen käyttö ei ole suositeltavaa em. ympäristöissä.



Kuva 2.1 Säänkestävä teräs ei-suositeltavassa ympäristössä Itäkeskuksen siltapalkissa, kuva VTT:n tutkimusraportti NRO BTU075-041245-10.5.2004.

Suosittelavia ympäristöjä ovat:

- sisämaan vesistö sillat
- kaupunkien ja maaseudun sillat, missä
 - o siltakannen kevyttä suolausta tehdään vain satunnaisesti muutaman kerran vuodessa ja missä kannelta valuva pinta-vesi ei pääse kastelemaan teräsrakenteita
 - o tien suolausta ei tehdä sillan alapuolisilla teillä ja väylillä
 - o teollisuuden rikki- ja vastaavia päästöjä ei esiinny.

Säänkestävää terästä käytettäessä on tavoitteena saada teräksen pintaan mahdollisimman pian tasainen suojaava korroosiotuotekerros. Rakentamisen aikana pinnat on suihkupuhostettava asteeseen Sa2½ ja puhdistettava liasta ja rasvasta. Pinnat on rakennusaikana myös suojattava betoni- ja muusta roiskeesta. Valmiissa sillassa ei saa olla pintavesi- ja tippuputkia eikä liikuntasaumalaitteita, jotka valuttavat vettä teräksen pintaan. Puhdas sadevesi on eduksi tasaisen ruostekerroksen muodostumiselle ja epäpuhtauksien huuhtoutumiselle. Mikäli teräsrakenteiden tasainen kostuminen on estynyt, suositeltavaa on kastella teräspinnat puhtaalla vedellä sillan ensimmäisten vuosien aikana. Näin varmistetaan myös värin tasaisuus.

2.2.2 Säänkestävän teräksen maalaus

Säänkestävää terästä voidaan uutena myös maalata. Tutkimukset osoittavat, että maalin kiinnipysyminen on säänkestävässä teräksessä jonkin verran parempaa kuin tavallisessa teräksessä. Säänkestävää terästä käytetään kuitenkin tavallisesti maalaamattomana. Mikäli säänkestävää terästä halu-

taan myöhemmin maalata jatkuvan syöpymisen estämiseksi tai rakenteen paremman ulkonäön saavuttamiseksi, pintakäsittelyn onnistuminen riippuu suihkupuuhdistetun pinnan tasaisuudesta. Yli 0,1 mm suuremmat pistesyöpymät eivät puhdistu suihkupuuhdistuksessa ja ne ovat helposti alku maali-pinnan syöpyville. Syöpyneen säänkestävän teräksen suositeltavin maa-liyhdistelmä on sinkkiepoksi-polyuretaaniyhdistelmä EPPUR 250/3-FeSa2½. Tyydyttävään tulokseen päästään myös alkydimaaliyhdistelmällä A 160/4-FeSa2 tai FeSt2 sekä hartsimodifioidun epoksipohjamaalin ja oksi-raaniesteripintamaalin yhdistelmällä. Kloorikautsumaalia ei suositella.



a) alkydimaali



b) sinkkiepoksikloorikautsumaali

Kuva 2.2 Alkydimaalilla käsitelty (kuva a) ja sinkkiepoksikloorikautsumaalilla (kuva b) käsitelty säänkestävä teräslevy Itäkeskuksen sillan vieressä tehdyssä kenttäkokeessa, kuva VTT:n tutkimusraportti NRO BTU075-041245-10.5.2004.

2.2.3 Säänkestävän teräksen syöpmisvara

Säänkestävän teräksen syöpmisnopeus on ollut 10-35 µm/v kokeen ensimmäisten kolmen vuoden aikana, minkä jälkeen nopeus on vakiintunut arvoihin 5-10 µm/v osoittaen kuitenkin jatkuvasti alenevaa suuntaa. Aleneva suuntaus saattaa johtua osittain myös rikin vähentymisestä ilmassa koejakson aikana.

Säänkestävän teräksen pistesyöpymä on haitallinen väsymiskestävyyden alenemisen ja teräksen pinnan epäilyttävän ulkonäön takia.

2.3 Johtopäätökset

Säänkestävää terästä suositellaan käytettäväksi vain Tiehallinnon Siltapaikkaluokitusohjeen luokissa III (huomattava) ja IV (tavallinen) ja niissä vain silloissa, joiden ulkonäölle ei aseteta erityisiä vaatimuksia.

Säänkestävää terästä ei suositella käytettäväksi lainkaan seuraavissa olosuhteissa:

- meri-ilmastossa, rakenteissa missä sade ei pääse huuhtomaan teräksen pintaa kuten pääkannattajien sisäpuolella
- runsaasti suolattujen väylien läheisyydessä.

Kokeiden perusteella voidaan suositella taulukon 2.1 mukaisten syöpymisvarojen käyttöä sillansuunnittelussa.

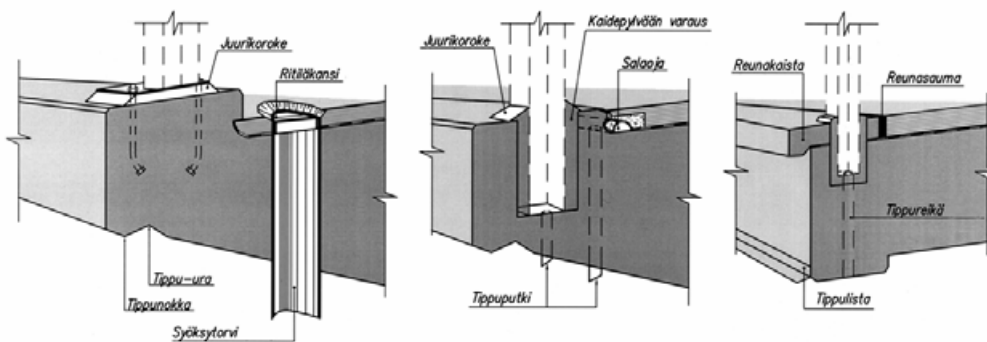
Taulukko 2.1 Säänkestävän teräksen suositellut syöpymisvarat sillansuunnittelussa

Ilmastotyyppi	Käyttöikä 50 vuotta	Käyttöikä 100 vuotta
Puhdas maaseutuilmasto, ei suolarasitusta	0,3 mm	0,6 mm
Puhdas kaupunki-ilmasto, vain satunnainen suolarasitus	0,5 mm	1,0 mm
Meri- tai puhdas kaupunki-ilmasto ja vähäinen suolarasitus, sade huuhtelee teräspintoja	1,0 mm	2,0 mm

3 VESIEN POISJOHTAMINEN SILLALTA JA SILTAPAICALTA

3.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat

Sillan kuivatuslaitteita ovat syöksytorvi, tippuputki, salaoja, tippureikä, tippulista, reunus sillalla ja vedenpoistoputki. Kuvassa 3.1 on esitetty teräsbetonisen sillan reunarakenteita. Sillan kuivatuslaitteiden yleisimpiä vauriotyyppejä ovat ruostuminen, tukos, löystymä, irtoama ja vesivuoto kuivatuslaitteen ulkopuolitse. Kuivatuslaite voi olla myös liian lyhyt tai niitä on liian vähän, jotta sillan kuivatus toimisi kunnolla. Sillan reuna- ja poikittaissalaojien odotettavissa olevia vaurioita ovat salaojan tukkeutuminen päällysteestä ja päällysteen läpi suotautuvista hienoista maa-aineksista sekä mahdollisesti salaojaputken tai -maton kokoonpuristuminen tai murtuminen.



Kuva 3.1 Teräsbetonisen sillan reunan rakenteita, Sillantarkastusohje TIEH 2000008-04.

Siltapaikan kuivatuslaitteita ovat pintavesikouru, pintavesiputki, pintavesikaivo (kuva 3.2) ja reunus tiellä (kuvat 3.3 ja 3.4). Niiden yleisimpiä vauriotyyppejä ovat eroosiovaurio, painuma, siirtymä, löystymä, irtoama, murtuma ja sortuma. Tarpeellinen kuivatuslaite voi myös puuttua tai niitä on liian vähän, jotta siltapaikan kuivatus toimisi kunnolla.

Reunapalkin kulman teon ja tiivistämisen ongelmakohtia ovat tippuputkilinjaan päin viettävän vastakallistuksen teko sekä vedeneristyksen ja reunapalkin saumakohdan saaminen tiiviiksi.

Pääosa sillan ja siltapaikan kuivatuslaitteiden vaurioista selvitettiin Tiehallinnon Siltarekisterin rakenneosakohtaisten vaurioraporttien avulla. Syöksytorvien, tippuputkien ja pintavesikourujen vauriot raportoitiin tarkastuskausilta 2002–2003 ja muiden kuivatuslaitteiden vauriot tarkastuskausilta 2000–2003.

Reunasalaojien kuntoa ja toimivuutta selvitettiin avaamalla kahden sillan pintarakenteet salaojan kohdalta ja tekemällä havainnot sekä silmämääräisesti että endoskoopilla tähystämällä. Lisäksi tutkittiin yhden sillan salaojaa tähystämällä endoskoopilla tippuputken kautta.

Reunapalkin kulman teon ja tiivistämisen parantamisen todettiin edellyttävän uuden rakenneratkaisun suunnittelemista sillansuunnittelijoiden ja sillankorjaustöitä johtavien projektipäälliköiden yhteistyönä.



Kuva 3.2 Betonireunus ja pintavesikaivo.



Kuva 3.3 Pieni ja vaatimatonkin reunus oikeassa paikassa toimii hyvin.



Kuva 3.4 Pintavedet ohjataan kouruun reunusten ja suppilon avulla.

3.2 Yhteenveto

3.2.1 Sillan kuivatuslaitteet

Yhteenveto sillan kuivatuslaitteiden vauriotiedoista on esitetty taulukossa 3.1. Tavanomaisia vaurioita on esitetty kuvissa 3.5 – 3.8.

Tippuputkille, syöksytorville ja pintavesikouruille on siltarekisterissä runsaasti vauriokirjauksia, muille kuivatuslaitteille selvästi vähemmän.

Tippuputkien yleisimmät vauriotyypit ovat tukos (113), puuttuminen (98) ja ruostuminen (69). Liian lyhyt tippuputki oli kirjattu 40 sillalle ja vesivuoto tippuputken ulkopuolelta 27 sillalle.

Syöksytorvien yleisin vauriotyyppi on ruostuminen (58). Vesivuoto syöksytorven ulkopuolelta oli kirjattu 15 sillalle, liian lyhyt 11 sillalle ja tukos 9 sillalle.

Salaojille oli Siltarekisterissä vain kaksi erikoistarkastuksista saatua luotettavaa vauriokirjausta vauriotyypille tukos. Salaojien tarve oli kirjattu puuttumisenä 26 sillalle. Pintarakenteiden avauksissa ja endoskooppitutkimuksessa havaittiin putkisalaojien sisällä olevan hieman vettä ja lietettä sekä muutamia ympärystäytöstä peräisin olevia kiviä. Putkiprofiilit olivat ehyet ja pienistä puutteistaan huolimatta salaojat toimivat hyvin.

Rakenneosalle *reunus sillalla* tulostui 37 vauriokirjausta. Yleisimmät vauriotyypit ovat irtoama (12), rapautuminen (8) ja puuttuminen (7).

Vedenpoistoputkelle ja tippulistalle oli vain muutamia hajanaisia vauriokirjauksia.

Taulukko 3.1 Yhteenvedo sillan kuivatuslaitteiden vaurioista

Syöksytorvi

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneseosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Ruostuminen	58	Teräs	4	14	32	8	58
Vesivuoto	15	Teräs	1	1	12		14
		RST			1		1
Irtoama	6	Teräs		1	1	3	5
		RST		1			1
Tukos	9	Teräs	8	1			9
Liian lyhyt	11	Teräs		8	2		10
		RST		1			1
Puuttuminen	1	Teräs		1			1

Tippuputki, tippureikä

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneseosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Ruostuminen	69	Teräs	4	24	33	8	69
Vesivuoto	27	Teräs	4	5	18		27
Irtoama	4	Teräs		2			2
		Muovi		1	1		2
Tukos	113	Teräs	46	26	24	5	101
		RST	2	2	4		8
		Muovi	3			1	4
Liian lyhyt	40	Teräs	5	27	2	1	35
		RST	2	2			4
		Muovi	1				1
Puuttuminen	98	Teräs, RST	6	68	12	1	87
		Betoni, Muovi	6	4	1		11

Salaoja

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneseosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Tukos	2	Teräs		1			1
		RST			1		1
Puuttuminen	26	Teräs, RST	4	14	6	2	26

Reunus sillalla

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneseosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Rapautuminen	8	Betoni		2	1	5	8
Halkeilu	2	Betoni	1				1
		Asfalttibetoni	1				1
Ruostuminen	5	Betoni		1		1	2
		Teräs	1	2			3
Kuluma	1	Betoni	1				1
Murtuma	1	Teräs		1			1
Lohkeama	1	Betoni			1		1
Irtoama	12	Teräs	2	2		1	5
		Puu		1		1	2
		Muovi			2	1	3
		Kumi	1	1			2
Puuttuminen	7	Teräs, Kivi	1	1	2		4
		Muovi, Kumi		2	1		3

Vedenpoistoputki

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneseosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Ruostuminen	2	Teräs			2		2
Vesivuoto	1	Teräs			1		1
Irtoama	1	Muovi			1		1
Puuttuminen	2	Teräs		1	1		2

Tippulista

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneseosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Irtoama	2	RST				2	2
Puuttuminen	2	Teräs		2			2

Vaurioluokka 1 = lievä, 2 = merkittävä, 3 = vakava, 4 = erittäin vakava



Kuva 3.5 Syöksytorvi on ruosteessa.



Kuva 3.6 Tippuputki on tukossa.



Kuva 3.7 Reunus sillalla on rapautunut.



Kuva 3.8 Vedenpoistoputki on ruosteessa.

3.2.2 Siltapaikan kuivatuslaitteet

Yhteenvedo siltapaikan kuivatuslaitteiden vauriotiedoista on esitetty taulukossa 3.2.

Pintavesikourujen yleisimmät vauriotyypit ovat puuttuminen (53), tukos (19), eroosioaurio (14) ja siirtymä (11). Useita muitakin vauriotyyppejä on kirjattu. Kuvassa 3.9 on esimerkki alkavasta eroosioauriosta.

Pintavesikaivojen ja pintavesiputkien yleisimmäksi vaurioksi on kirjattu tukos.

Rakenneosalle *reunus tiellä* tulostui 35 vauriokirjausta. Yleisimmät vauriotyypit ovat eroosioaurio (10), puuttuminen (9), irtoama (6) ja rapautuminen (5).



Kuva 3.9 Pintavesikourun yläpäässä on alkava eroosioaurio pintavesien ohjauslaitteiden puuttumisen takia.

Taulukko 3.2 Yhteenveto siltapaikan kuivatuslaitteiden vaurioista

Reunus tiellä

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Rapautuminen	5	Betoni	1		3	1	5
Eroosioaurio	10	Sora	2	2	5		9
		Asfalttibetoni		1			1
Murtuma	1	Teräs			1		1
Painuma	3	Sora			1		1
		Betoni			2		2
Siirtymä	1	Betoni		1			1
Irtoama	6	Betoni		4	2		6
Puuttuminen	9	Betoni		1	1	3	5
		Asfalttibetoni	2	1	1		4

Pintavesikaivo

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Vesivuoto	1	Teräs		1			1
Siirtymä	2	Betoni			1		1
		Muovi		1			1
Tukos	12	Betoni	2	3	2		7
		Teräs	1	2	1	1	5
Puuttuminen	3	B, T, MU	2		1		3

Pintavesiputki

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Ruostuminen	1	Teräs				1	1
Eroosioaurio	2	Betoni	1	1			2
Siirtymä	1	Betoni		1			1
Sortuma	1	Betoni	1				1
Tukos	4	Betoni	1				1
		Teräs		2			2
		RST		1			1
Puuttuminen	2	Betoni, Muovi		1		1	2

Pintavesikouru

Vauriotyyppi	Vaurioita yhteensä	Rakenneosan materiaali	Vaurioluokka				Yhteensä
			1	2	3	4	
Rapautuminen	3	Betoni			2	1	3
Eroosioaurio	14	Betoni	1	7	4	1	13
		Teräs				1	1
Murtuma	5	Betoni	2	1	2		5
Painuma	5	Betoni		3	2		5
Siirtymä	11	Betoni		5	3		8
		Kivi		3			3
Sortuma	4	Betoni			3	1	4
Löystymä	2	Betoni	1		1		2
Irtoama	9	Betoni	2	6	1		9
Tukos	19	Betoni	6	5	6	2	19
Puuttuminen	53	B, K, AB	13	31	8	1	53
Liian lyhyt	2	Betoni		1			1
		Puu		1			1

Vaurioluokka 1 = lievä, 2 = merkittävä, 3 = vakava, 4 = erittäin vakava

3.3 Johtopäätökset

Sillan ja siltapaikan kuivatuslaitteiden suunniteltu ja tehokas toiminta on varmistettava säännöllisesti tehtävillä puhdistustöillä ja toimivuutta estävien vaurioiden mahdollisimman pikaisella korjaamisella. Puutteellinen kunnossapito aiheuttaa kuivatuslaitteiden vaurioitumisen lisäksi vakavia seurausvaikutuksia sillan ja siltapaikan muille rakenteille.

Tippuputket ja syöksytorvet on pidettävä avoimina ja liian lyhyet putket on jatkettava. Ruostuminen on vanhempien sinkittyjen putkien luonnollinen vaurio, joka ei merkittävästi vaikuta putken toimintaan. Ruostuneita putkia ei kannata pintakäsitellä, vaan ne uusitaan ruostumattomiksi teräspuistikiksi sillan pintarakenteiden uusimisen yhteydessä. Putken ulkopuolisen vesivuodon korjausmenetelmä on putken yläpään tiivistäminen, joka edellyttää myös pintarakenteiden avaamista.

Salaojien kunnossapitoon on hyvin vähäisiä mahdollisuuksia. Putkisalaojaa voidaan yrittää puhdistaa tippuputkien kautta tehtävällä painevesihuuhtelulla, mutta siitä ei ole juurikaan kokemuksia. Nyt tehdyn kolmen sillan reunasalaojien tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin olla luottavaisia putkisalaojien toimivuuteen, sillä tutkitut kohteet olivat jo 15-17 vuoden ikäisiä.

Pintavesiputkien ja pintavesikaivojen tukosten ehkäisemiseksi kaivot on tyhjennettävä hiekasta vuosittain keväällä.

Pintavesikourujen toimintaan ja kestävyYTEEN vaikuttavia keskeisiä kunnossapitotoimenpiteitä ovat vuosittaiset keväällä tehtävät puhdistustyöt sekä kourun yläpäässä olevien pintavesien ohjauslaitteiden eheyden ja toimivuuden varmistaminen. Kourun siirtymät ja kourun viereen syntyneet eroosiovauriot on korjattava pikaisesti. Luiskiin syntyneet eroosiovauriot osoittavat uuden pintavesikourun rakentamisen tarpeen.

Pintavesikouruja rakennettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota kourun alle tehtävän arinan huolelliseen tiivistämiseen, kourun alapään tukemiseen sekä ajoradalta valuvan veden ohjaamiseen kouruun tehokkaasti. Teräsbetonisen kouruelementin rakennetta ja laatuvaatimuksia tulisi kehittää ja laatia erityisesti siltapaikoille soveltuvan kouruelementin tyyppipiirustus.

Pintavesien ohjauslaitteina toimivat reunukset on tehtävä ja kunnostettava asianomaista SILKO-ohjetta noudattaen.

Sillan reunan rakenne- ja muottiratkaisuja tulee kehittää siten, että vastakallistus syntyy muotin avulla reunapalkkia valettaessa, ottaen huomioon myös vedeneristysten ja reunapalkin saumakohdan helposti toteutettava ja varma tiivistäminen. Kehittämiseen tulee liittyä koerakentaminen, jonka jälkeen toimiviksi todetuista ratkaisuista laaditaan uudet reunapalkin tyyppipiirustukset.

3.4 Reunasalaojien tarkastustulokset

Tarkastuspäivämäärä 15.9.2004

Pyhäjoen Pohjoishaaran silta, O-3451, vt8

- salaoja on asennettu 1987
- salaojaprofiili leikattiin auki (kuva 3.10)
- salaojan pohjalla oli vettä noin 5 mm ja vähän liettynyttä moskaa
- profiilin sisälle oli päässyt muutamia täyttökiviä eli kivet ovat liian pieniä salaojaputken reikiin nähden
- membraani oli täysin irti kannen pinnasta mutta se näytti vielä ehyeltä
- salaoja toimi hyvin em. puutteista huolimatta.

Pyhäjoen Etelähaaran silta, O-3450, vt8

- salaoja on asennettu 1988
- salaojaprofiilia ei leikattu auki, vaan tutkittiin endoskoopilla alareunan koloista (3.11)
- salaojan pohjalla oli vettä noin 2 mm
- profiilin sisällä oli muutamia kiviä
- salaoja toimi hyvin.

Alavieskan silta, O-787, mt 787

- salaoja on asennettu 1989
- salaoja tutkittiin endoskoopilla tippuputken kautta
- salaojan pohjalla ei ollut moskaa
- salaoja toimi hyvin.



Kuva 3.10 Reunasalaojan avauskohta. Teräsprofili leikattiin auki.



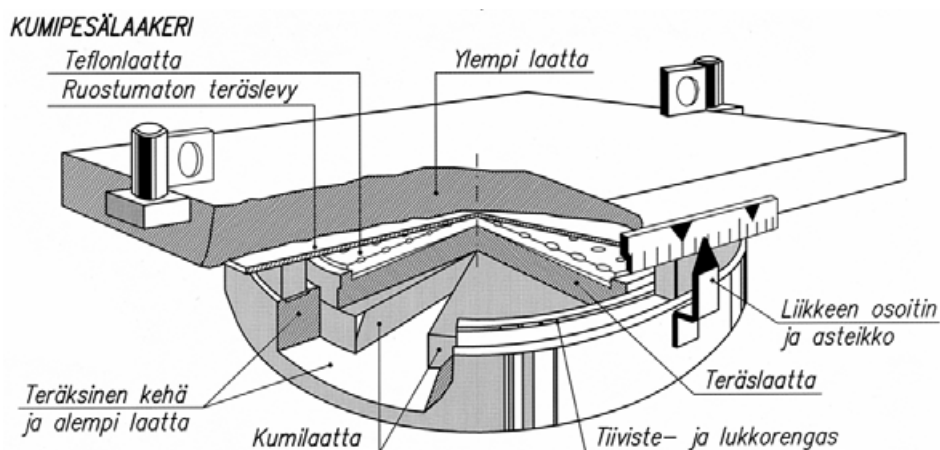
Kuva 3.11 Reunasalaojan avauskohta. Endoskooppitähystys tehtiin putken reunakolosta.

4 KUMIPESÄLAAKERIT

4.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat

Kumipesälaakereita käytetään laakerin tyypistä riippuen yleisesti kun laakerin on sallittava kiertymät mutta ei siirtymiä (neulamainen tuki) tai kun tarvitaan lisäksi siirtymä vapaaksi yhteen tai kahteen suuntaan. Laakeri mahdollistaa esim. kumilevylaakeria suuremmat liikkeet. Kun laakeri on valmistettu siirtymiä varten, toimii kitkaa vähentävänä rakenteena yleisimmin ruostumattoman teräslevyn ja teflonlaatan liitos (kuva 4.1). Teflonlaatan alapuolinen kumilaatta mahdollistaa kiertymät.

Teflonlaatta kuluu vuosien varrella verrannollisena laakerin liikesummaan. Asennustarkkuus, tiiviste- ja lukkorenkaiden eheys ja liukurasvan ominaisuudet ovat myös tärkeitä laakerin suunnitelman mukaiselle toiminnalle.



Kuva 4.1 Kumipesälaakeri, sillantarkastusohje TIEH 2000008-04.

Tiehallinnon ohjeissa laakereiden käyttöikätaavoite on 50 vuotta. Tämä on ristiriidassa joidenkin keskieurooppalaisten ohjeiden kanssa, missä laakereita edellytetään vaihdettaviksi tai ainakin perusteellisesti tarkastettaviksi ja huollettaviksi 25 vuoden välein. Suomessa laakereiden toimintakykyä on seurattu vain silmämääräisesti, koska perusteellinen huolto edellyttää aina laakerikuormien siirtoa tilapäisesti tunkeille ja laakerin osista purkua paikoillaan. Samalla joudutaan yleensä joko liikenne katkaisemaan työn ajaksi, tai ainakin rajoittamaan se toiselle kaistalle sillalla.

Tutkimuksessa selvitettiin kumipesälaakereiden kunto Tiehallinnon 1970-luvulla rakennuttamissa silloissa. Silmämääräisessä tarkastuksessa kirjattiin mm:

- pölysuojan olemassaolo ja eheys
- liikeosoittimien olemassaolo ja eheys

- korroosiosuojan kunto
- liukupintojen eheys ja puhtaus
- teflonlevyjen kunto, mikäli on näkyvissä
- liukurasvan näkyminen
- ohjauskiskon eheys ja toimivuus.

Lisäksi pyrittiin mittaamaan laakerien siirtymä ja kiertymä ennakoitujen liikevarojen riittävyuden varmistamiseksi. Varsinkin kiertymän mittaaminen osoittautui huomattavan vaikeaksi, koska selviä kiintopisteitä laakerin ylä- ja alapinnassa oli vaikea löytää ja koska kumiset pölysuojat olivat jäykkiä ja kiinnityselinten ruostumisen takia mahdollottomia irrottaa tarkastuksen ajaksi.

4.2 Yhteenveto

4.2.1 Siltarekisteritiedot

Siltarekisteristä löytyi 18 kpl 1970-luvulla rakennettua siltaa, joissa rekisteritietojen mukaan on kumipesälaakereita (taulukko 4.1). Lapin tiepiirissä olevan Jokisuuntien risteyssillan ei kuitenkaan voida katsoa kuuluvan joukkoon, koska vain vuonna 2000 rakennetussa levennyksessä on kumipesälaakereita. Alkuperäisessä sillassa on ollut 8 kpl kumilevylaakereita.

Siltarekisterissä Näsin sillan (H-1291) laakerin teräsrakenteissa on raportoitu lieviä valuvikoja ja Säynätsalmen sillassa (SK-804) vakavia ruostevaurioita. Siltarekisterissä ei ole vuoden 2003 lopussa raportoitu muita laakerivaurioita taulukossa 4.1 mainittujen siltöjen osalta.

Taulukko 4.1 Kumipesälaakereilla varustetut 1970-luvulla rakennetut Tiehallinnon sillat
Siltarekisterin mukaan

Piiri	Nro	Nimi	Rak. vuosi	Siltatyyppi	Hl _{min} (m)	Laak. Lkm	Silan pituus (m)
U	1147	Massbyn risteyssilta	1971	Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta	10,5	4	81,29
U	1279	Kulloon risteyssilta	1975	Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta	14,5	4	79,94
KaS	798	Mutalahden ylikulkusilta	1974	Teräsbetoninen jatkuva kotelopalkkisilta	18	22	219,9
KaS	847	Tanttarin ylikulkusilta	1977	Teräsbetoninen jatkuva kotelopalkkisilta	13	10	156,6
V	1359	Sundomin silta	1975	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	12	8	106,47
U	1337	Bergstan risteyssilta	1978	Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta	12,25	6	68,4
U	1351	Billnäsin silta	1979	Jännitetty betoninen ulokepalkkisilta	13,6	4	48,4
U	1090	Tattariharjun risteyssilta A	1970	Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta	12,25	4	107,1
KaS	2676	Tuunaansalmen silta	1976	Teräsbetoninen jatkuva kotelopalkkisilta	10,55	2	52
KaS	2695	Väätämonsalmen silta	1979	Säänkestävä teräksinen jatkuva palkkisilta, teräsbetonikantinen, liittorakenteinen	8,55	8	151,4
H	1291	Näsin silta	1977	Teräksinen jatkuva kotelopalkkisilta, teräsbetonikantinen	12,25	8	225,4
H	1292	Naistenlahden ylikulkusilta	1977	Teräsbetoninen jatkuva laattasilta	11,6	18	170,0
H	2127	Hakolan risteyssilta	1977	Jännitetty betoninen jatkuva laattasilta	9	4	77,0
SK	804	Säynätsalmen silta	1973	Jännitetty betoninen jatkuva kotelopalkkisilta	8,05	2	122,2
SK	821	Kolun kanavan silta	1975	Jännitetty betoninen jatkuva kotelopalkkisilta	6,05	2	79,2
L	1564	Jokisuuntien risteyssilta ¹	1973	Teräsbetoninen jatkuva laattasilta	20,25	4	73,07
KeS	4832	Hämeen silta I	1978	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	5,6	6	48
KeS	4833	Hämeen silta II	1978	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	5,6	6	42

¹ Laakerit ovat vuodelta 2000

4.2.2 Kenttätutkimukset

Kenttätutkimuksissa keskityttiin vain muutamien siltöjen laakereihin. Tutkittavaksi voitiin ottaa vain ne laakerit, joihin voitiin nousta turvallisesti tikkailla. Näin ollen jäivät veden yläpuolella ja lähellä sähköistettyä rataa olevat laakerit tutkimatta. Yksityiskohtaiset tulokset on esitetty kohdassa 4.4 ja tiivistetty yhteenveto taulukossa 4.2.

Taulukko 4.2 Laakerien kuntotilanne

Piiri	Nro	Nimi	Laakerityyppi ja ylimääräinen liikevara	Laakeri	Liike +0°C [mm]	Kiertymä [0,001 r]	Viat
U	1147	Massbyn risteysilta	Neotopf, kiinteä laakeri	B1	0, liikevara 0	1,0	Pölynsuoja puuttuu Suojattu rasvalla
				B2	0, liikevara 0	1,0	
U	1279	Kulloon risteysilta	Neotopf,	B1	2, liikevara ±30	1,0	Suojattu rasvalla Ylälevyssä ruostetta
				B2	8, liikevara ±30	1,0	Suojattu rasvalla
KaS	798	Mutalahden ylikulkusilta	Neotopf, kiinteä laakeri				Välitukien ylemmät laakerit ruosteessa ja ilman pölynsuojaa Välitukien alemmat laakerit ruostumattomien teräslevyjen suojassa
KaS	847	Tanttarin ylikulkusilta	Siltatarvike, > 4 mm	A1	+2, liikevara ±51		Pölynsuoja puuttuu Ohjauskisko ruosteessa
				A2	+2, liikevara ±51		Pölynsuoja puuttuu Ohjauskisko ruosteessa
				E2	+13, liikevara ±36		Pölynsuoja puuttuu Ohjauskisko ruosteessa Liukupinnoissa liikaa
V	1359	Sundomin silta	Siltatarvike, > 10 mm	A1	+9, liikevara ±40	0,5	Pölynsuoja rikki
				A2	+6, liikevara ±40	0,5	OK, paljon rasvaa
				D1	+1, liikevara ±25	0,8	Pölynsuoja rikki Ylälevy ruosteessa Liuku-urassa ruostetta
				D2	+8, liikevara ±25		OK, paljon rasvaa

Tutkituissa laakereissa ei havaittu hälyttäviä vaurioita. Laakerit ovat ilmeisesti toimineet suunnitellulla tavalla ja liikevarat ovat riittävät. Pölynsuojat puuttuvat tai ovat rikkoontuneet enemmän kuin puolessa kaikista kumipesälaakereista. Samoin ovat laakerin teräsosat ruosteessa. Laakerien yläpuoliset betonirakenteet olivat välttävissä kunnossa. Pientä harvavalua ja terästen ruostumista on ollut nähtävissä, mutta rakenteiden kantavuuteen näillä vaurioilla ei ole vaikutusta.

4.2.3 Muut tutkimukset

Laakerikumin pursuamista on Suomessa tapahtunut jossakin yksittäisessä tapauksessa ja vika on korjattu välittömästi. Liukulevyn rikkoontumista on tiedossa vain Vaasan tiepiirin Raippaluodon sillassa (kuva 4.2). Tässä verrat uudessa sillassa tämä vaurio on syntynyt laakerin virheellisen asennuksen takia. Rinnakkaisten laakerien ohjauskiskot eivät osoittaneet riittävän tarkasti haluttuun suuntaan. Lisäksi tunkkauksessa on havaittu suunnitteluarvoa suurempi pysyvä laakerikuorma. Tämä on ollut seurasta laakerin viereisten köysien köysivoimien jälkisäädön tekemättä jättämisestä rakennusvaiheessa.



Kuva 4.2 Liukulevyn rikkoontuminen Raippaluodon sillan laakerissa.

Laakerien liikkeitä on vuosina 2001-2003 seurattu vinoköysisilloissa Tähti-niemen silta, Kärkisten silta ja Saamen silta. Näissä silloissa yksittäisten laakerien liikkeet ovat selvästi ylittäneet suunnitteluarvot johtuen ensisijaisesti ulokeasennuksen yhteydessä virheellisesti asennetuista laakeriennakoista ja toissijaisesti myös pysyvien laakeriliikkeiden suuruuden aliarvioimisesta.

Koska laakereissa on ollut ylimääräistä liikevaraa, laakerikorjauksista on toistaiseksi kuitenkin voitu välttyä.

Turun kaupungissa Ruissalon silta on purettu 15 käyttövuoden jälkeen. Sen 8 laakeria on otettu talteen. Kaksi laakeria, yksi maatuen ja yksi välituen laakeri, on avattu eri osien kunnan selvittämiseksi. Maatuen laakerin vaakaliikkeet ovat ilmeisesti olleet niin suuret, että liikevara on selvästi ylitetty. Teflonista tehty liukulevy on joutunut ruostumattoman liukulevyn ulkopuolelle karheata teräslevyä vasten. Tällöin n. 5 mm paksusta teflonlevystä on hankautunut 0,2 mm samalla kun levy on liukunut pois syvennyksestään (kuva 4.3). Välituen laakerissa ei ollut muita vaurioita kuin teräsosien ruostuminen.



Kuva 4.3 Vaurioitunut teflonlevy Ruissalon sillassa.

Ruissalon sillan laakerit oli varastoitu hiekkaisella varastoalueella, minkä takia laakerit liukulevyjen reuna-alueet mukaan lukien olivat likaiset. Maalipinta oli paikoitellen lohjennut, mikä selvästi johtui huonosta pintakäsittelystä. Teflonpinnoissa oli riittävästi rasvaa eikä ruostumattomissa liukulevyissä ollut jälkeä hankautumisesta.

4.3 Johtopäätökset

Kumipesälakereiden pelätyimpiä vaurioita ovat laakerikumin pursuaminen kumipesästä, ohjauskiskon rikkoontuminen tai liukupintojen vaurioituminen. Näitä ei havaittu varsinaisten tarkastuksen kohteena olleissa laakereissa. Toisaalta liukupintoja ja ohjauskiskoja ei päästy kunnolla tutkimaan. Tämä olisi edellyttänyt siltakannen nostamista ja lakereiden raottamista, mihin tässä tutkimuksessa ei oltu varauduttu. Tämän tyyppinen tutkimus olisi syytä

aloittaa pikaisesti esimerkiksi teräspalkkisilloista, missä laakeriliikkeiden toistuvuus tuen kiertymän takia on suurin.

Liikevaran ylittyminen aiheuttaa suurimman vaurioriskin. Todennäköisin syy liikevaran ylittymiselle on tuen odottamaton siirtymä, mutta myös viruman ja kutistuman aliarvioiminen voi olla syynä liikevaran ylittymiselle.

Molempia samalla tuella olevia laakereita ei tulisi suunnitella vain sillan pituussuuntaa liikkuviksi, vaan toisen laakerin tulisi olla molempiin suuntaa liikkuva. Poikkeuksena ovat välituet, jotka ovat riittävän joustavia pienen poikittaisen liikkeen sallimiseksi laakerien välillä.

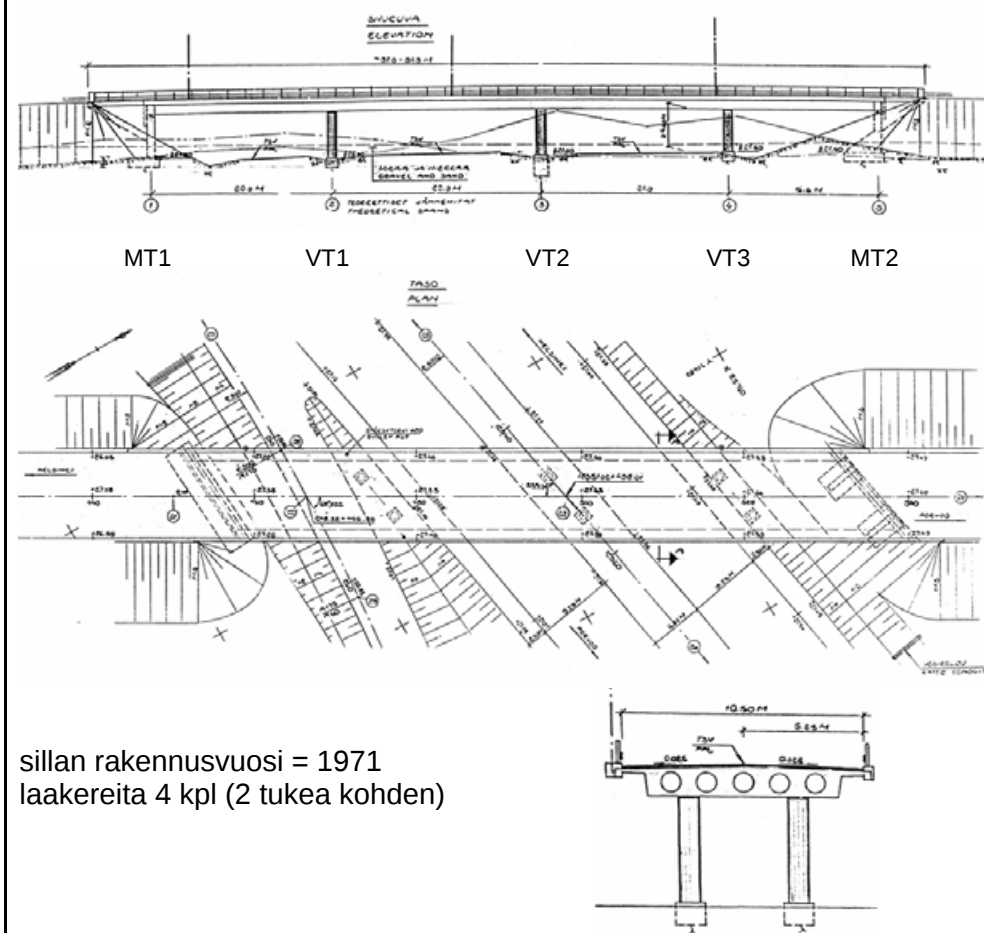
Liukupintojen vaihtaminen tai uudelleen rasvaaminen sillan kantta nostamalla on verraten yksinkertainen, mutta tarkkuutta vaativa toimenpide. Tämän työn helpottamiseksi tulisi sillan korjaajan saada käyttöönsä laakerien yksityiskohtaiset valmistuspiirustukset. Jos nämä piirustukset eivät ole saatavissa Tiehallinnon siltojen piirustusarkistosta, täytyy asiaa tiedustella maahan-tuotalta. Työstä on aina laadittava tarkka työsuunnitelma ja liikenteenohjaus-suunnitelma.

4.4 Tarkastustulokset silloittain

4.4.1 Massbyn risteysilta

Sillan numero U-1147	Sillan nimi Massbyn risteysilta	Kunta Sipoo
Alkuperäinen siltatyyppi Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta		Suunnitelmanumero 6822
Jänne mitat (m) 20,0+22,0+21,0+16,0	Tarkastuspvm. 27.2.2004	Vinous (gon) 44
		Hyödyllinen leveys (m) 10,5

Lisätiedot kohteesta



Tarkastuksen tulokset

Laakeritunnukset tasokuvaan vastaten:

MT1	VT1	VT2	VT3	MT2
A1	-	-	-	B1
A2	-	-	-	B2

Tarkastuksen tulokset (jatko)

Havainnot - laakeri B1

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	Ei ole
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	Ei ole
Pölysuojan kunto	Ei ole
Liukupintojen eheys ja puhtaus	Ei näy
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	Ei näy
Liukurasvan näkyminen	Paljon rasvaa
Ohjauskiskon kunto	Ei ole



Kuva a) Laakeri B1.

*Tarkastuksen tulokset (jatko)**Havainnot - laakeri B2*

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	Ei ole
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	Ei ole
Pölysuojan kunto	Ei ole
Liukupintojen eheys ja puhtaus	Ei näy
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	Ei näy
Liukurasvan näkyminen	Paljon rasvaa
Ohjauskiskon kunto	Ei ole

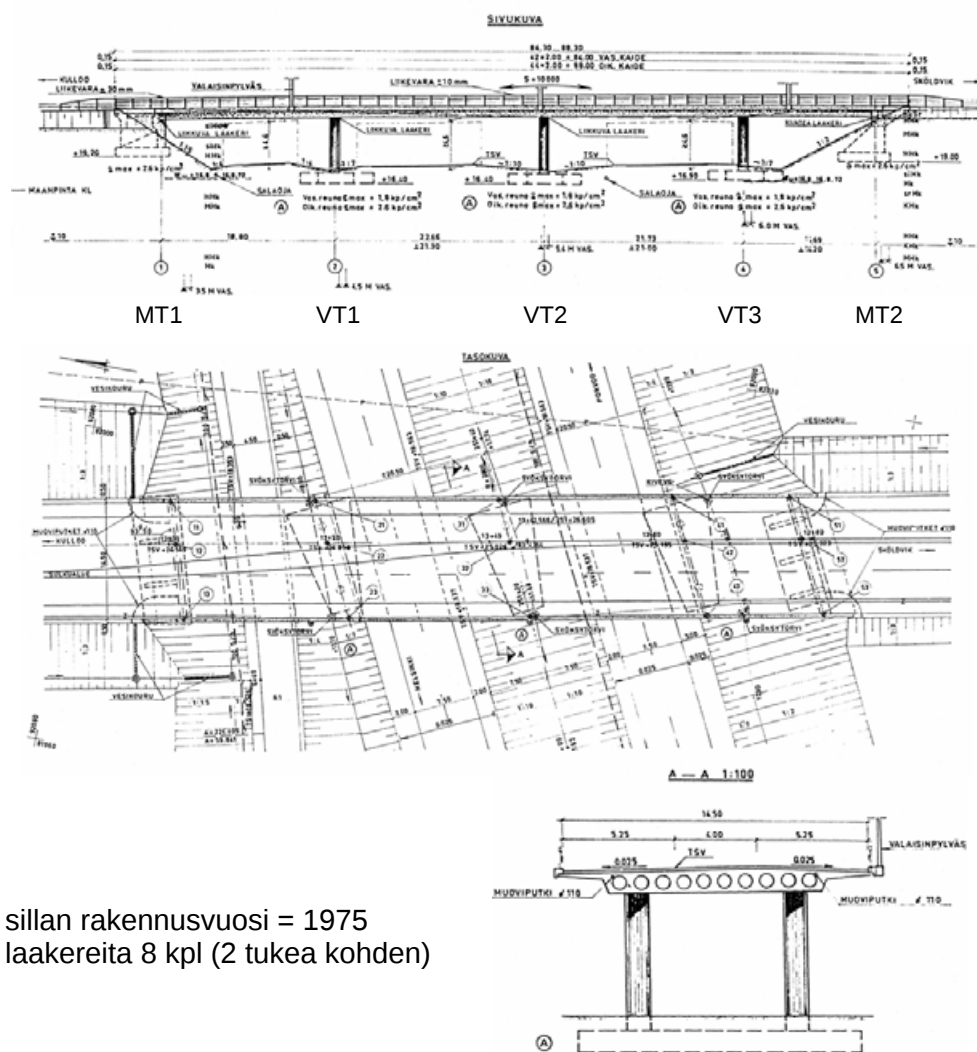


Kuva b) Laakeri B2. Kuvassa näkyvä johto ei kuulu laakerin rakenteisiin.

4.4.2 Kulloon risteyssilta

Sillan numero U-1279	Sillan nimi Kulloon risteyssilta	Kunta Porvoo
Alkuperäinen siltatyyppi Teräsbetoninen jatkuva ontelolaattasilta		Suunnitelmanumero 7619
Jännemitat (m) 18,0+22,7+21,7+14,7	Tarkastuspvm. 27.2.2004	Vinous (gon) 16
		Hyödyllinen leveys (m) 14,5

Lisätiedot kohteesta



Tarkastuksen tulokset

Laakeritunnukset tasokuvaa vastaten:

MT1	VT1	VT2	VT3	MT2
A1	B1	C1	-	D1
A2	B2	C2	-	D2

*Tarkastuksen tulokset (jatko)**Havainnot - laakeri A1*

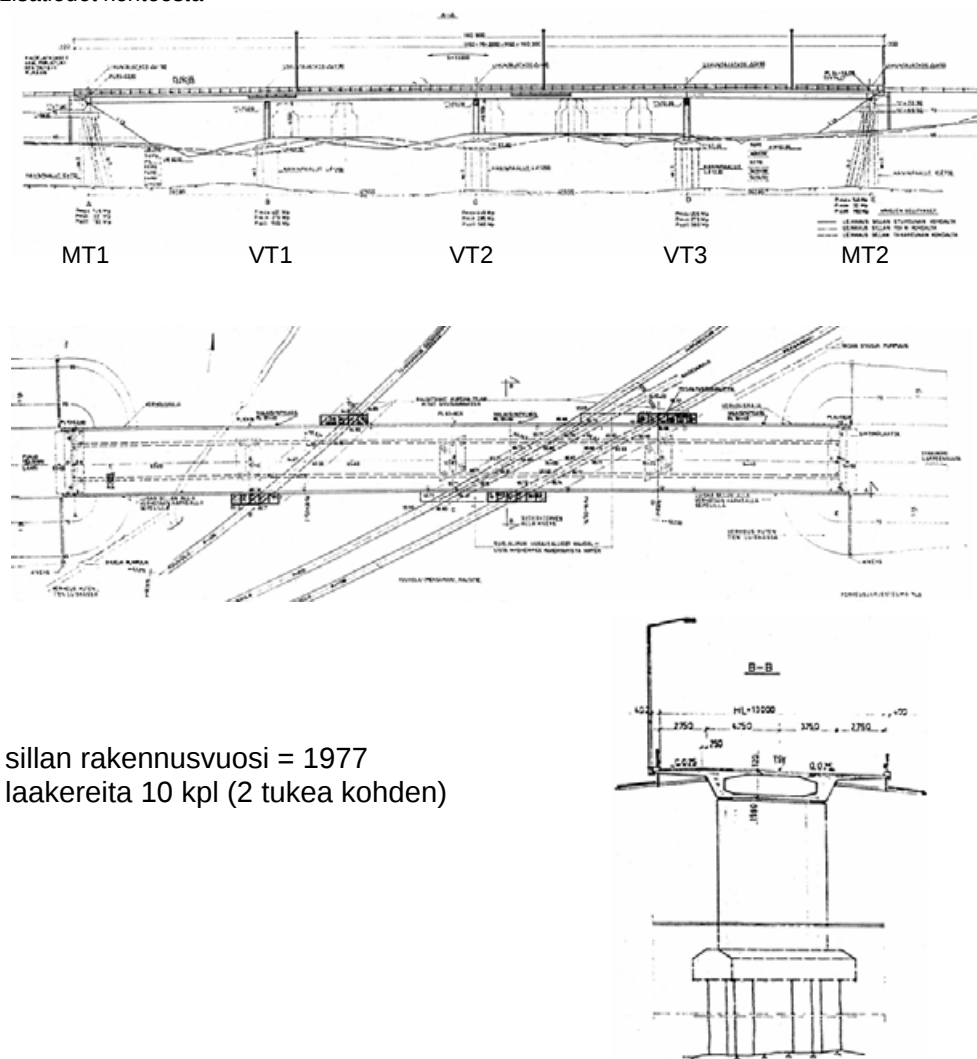
Pölysuojan olemassaolo ja eheys	On
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	On
Pölysuojan kunto	Ok
Liukupintojen eheys ja puhtaus	Ei näkyvissä
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	Ei näy
Liukurasvan näkyminen	Ei näy
Ohjauskiskon kunto	Ei näy

*Kuva a) Laakeri A1.*

4.4.3 Tanntarin ylikulkusilta

Sillan numero Kas-874	Sillan nimi Tanntarin ylikulkusilta	Kunta Kouvola
Alkuperäinen siltatyyppi Teräsbetoninen jatkuva kotelopalkkisilta		Suunnitelmanumero 7905
Jännemitat (m) 36,1+41,5+41,4+35,1	Tarkastuspvm. 28.2.2004	Vinous (gon) -
		Hyödyllinen leveys (m) 13,0

Lisätiedot kohteesta



Tarkastuksen tulokset

Laakeritunnukset tasokuvaa vastaten:

MT1	VT1	VT2	VT3	MT2
A1	B1	C1	D1	E1
A2	B2	C2	D2	E2

*Tarkastuksen tulokset (jatko)**Havainnot - laakeri A1*

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	ei ole
Liikeosoitimien olemassaolo ja eheys	hyvä
Pölysuojan kunto	ei ole
Liukupintojen eheys ja puhtaus	ei näy
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	ei näy
Liukurasvan näkyminen	ei näy
Ohjauskiskon kunto	ruosteessa

Havainnot - laakeri A2

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	ei ole
Liikeosoitimien olemassaolo ja eheys	hyvä
Pölysuojan kunto	ei ole
Liukupintojen eheys ja puhtaus	ei näy
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	ei näy
Liukurasvan näkyminen	ei näy
Ohjauskiskon kunto	Pahasti ruosteessa

Kommentteja: Kaikissa laakereissa on kiskon yläpuoleisessa pinnassa
ohuet levysuikaleet
Ei kitkan tekemiä jälkiä
Ei näy liikettä missään pinnassa

Tarkastuksen tulokset (jatko)

Havainnot - laakeri E2

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	ei ole
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	eheät
Pölysuojan kunto	ei ole
Liukupintojen eheys ja puhtaus	likaa, ei suojausta
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	ei näy
Liukurasvan näkyminen	ei näy
Ohjauskiskon kunto	ruosteessa

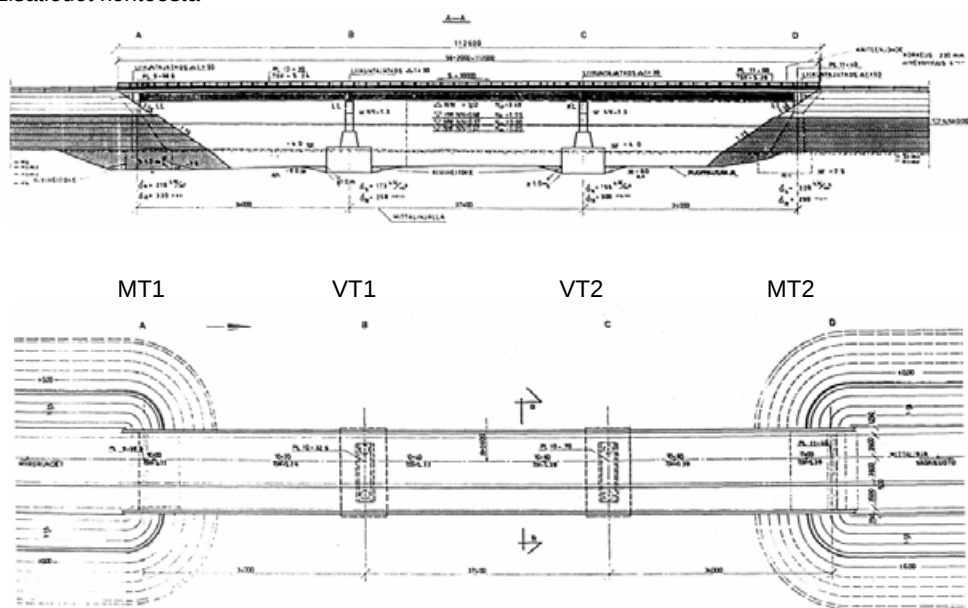


Kuva a) Laakeri E2.

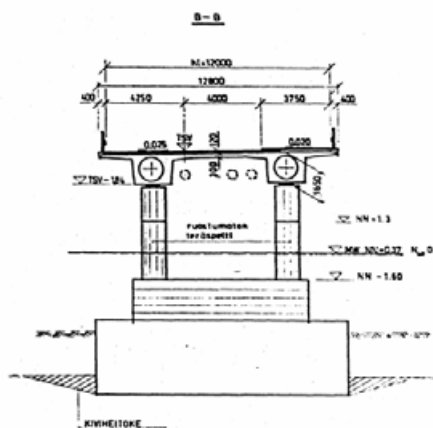
4.4.4 Sundomin silta

Sillan numero V-1359	Sillan nimi Sundomin silta	Kunta Vaasa
Alkuperäinen siltatyyppi Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta		Suunnitelmanumero 7212
Jännemitat (m) 34,0+37,4+34,0	Tarkastuspvm. 29.2.2004	Vinous (gon) -
		Hyödyllinen leveys (m) 12,0

Lisätiedot kohteesta



sillan rakennusvuosi = 1975
laakereita 8 kpl (2 tukea kohden)
Tuella C kiinteä laakeri



Tarkastuksen tulokset

Laakeritunnukset tasokuvaa vastaten:

MT1	VT1	VT2	MT2
A1	B1	C1	D1
A2	B2	C2	D2

Tarkastuksen tulokset (jatko)

Havainnot - laakeri A1

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	on, rikki
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	OK
Pölysuojan kunto	Ok
Liukupintojen eheys ja puhtaus	Ei
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	Ei näy
Liukurasvan näkyminen	Rasvaa näkyvissä
Ohjauskiskon kunto	Ok

Kommentit: Kumi täytyy rikkoa, jotta mitat saisi otettua.



Kuva a) Laakeri A1.

*Tarkastuksen tulokset (jatko)**Havainnot - laakeri A2*

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	Hyvä
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	Hyvä
Pölysuojan kunto	Ok
Liukupintojen eheys ja puhtaus	Ei
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	Ei näy
Liukurasvan näkyminen	Paljon rasvaa
Ohjauskiskon kunto	Ok

*Kuva b) Laakeri A2.*

Tarkastuksen tulokset (jatko)

Havainnot - laakeri D1

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	on, rikki
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	Kunnossa
Pölysuojan kunto	Ylälaatan yläosa ruosteessa
Liukupintojen eheys ja puhtaus	ruosteessa
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	ei näy
Liukurasvan näkyminen	näkyv vähän
Ohjauskiskon kunto	Kunnossa



Kuva c) Laakeri D1.

Havainnot - laakeri D2

Pölysuojan olemassaolo ja eheys	hyvä
Liikeosoittimien olemassaolo ja eheys	hyvä
Pölysuojan kunto	hyvä
Liukupintojen eheys ja puhtaus	Ei näy
Teflonlevyjen kunto mikäli näkyvissä	Ei näy
Liukurasvan näkyminen	Rasvaa näkyvissä paljon
Ohjauskiskon kunto	Ok

5 BETONIKANNEN HALKEILU LIITTOPALKKISILLAN TUKIALUEELLA

5.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat

Liittorakenteisissa teräspalkkisilloissa betoninen kansilaatta muodostaa oleellisen osan toimivaa poikkileikkausta, ollen toisaalta osana pääkannattajaa ja toisaalta siirtäen siltakannelle tulevat kuormat päärakennesysteemille. Suomalaisessa suunnittelukäytännössä liittopalkkisiltöjen yleinen sovelluskohde on suuret useampiaukkoiset vesistö sillat. Näissä silloissa palkki on yleensä jatkuva, jolloin toisaalta saavutetaan edullinen staattinen toimintamekanismi ja toisaalta mahdollistetaan työntömenetelmän käyttö rakentamisessa.

Betoninen kansilaatta tehdään yleisimmin paikallavaluna valmiiksi asennetun teräspalkin päälle. Työn aikaiset kysymykset, esim. ilmasto-olosuhteet, valujärjestys, hydrataatiolämpö ja kutistuma vaikuttavat merkittävästi halkeiluun. Suurimmissa liittopalkkisilloissa teräspalkki on massiivinen tukialueella (sen jäykkyys on suuri) ja se ei saa halkeilua rajoittavia muodonmuutoksia kansilaatan kutistuessa. Kun teräsrakenne on usein jäykistetty poikkisuunnassa jo ennen laatan valua, kasvaa halkeiluriski leveillä silloilla myös pituussuuntaisten halkeamien osalta.

Tuella betonilaattaan syntyy vetojännityksiä erityisesti hyötykuormista, lämpötilaerosta ja esim. päällysteen omasta painosta. Oman painon aiheuttamia vetojännityksiä voidaan säädellä valujärjestyksellä sekä telineiden ja rakennusaikaisten tukien käytöllä. Liittovaikutus on tuella suhteellisen pieni ja laskennallinen kapasiteettillisä muodostuu pääasiassa kansilaatan raudoitteista. Tiheää raudoitusta tarvitaan pitämään kansilaatan halkeamaleveydet pieninä. Siltöjen laskentakuormien aiheuttama halkeilun määritys sekä halkeilun huomioon ottaminen laskennassa on ohjeistettu (Esim. Teräsrakenneohje TIEL 2173449-2000) ja suunnittelijat ottavatkin nämä huomioon laskelmissa.

Tukialueella liittorakenteen neutraaliakseli taivutuksen suhteen sijaitsee tyypillisesti laatan alapinnan alapuolella, jolloin koko laatta voi olla vedetty, ja halkeamat ulottua läpi laatan. Teoreettisesti tukialueen halkeamaleveydet ovat suurempia laatan yläpinnassa kuin alapinnassa.

Teräsbetonisen kansilaatan halkeilua, erityisesti tukialueella, voidaan pitää liittopalkkisilloille ominaisena piirteenä. Oleellista on, että halkeamien koko on riittävän pieni siten että niillä ei ole käytännön merkitystä rakenteen pitkäaikaiskestävyydelle ja että staattinen rakennemalli vastaa riittävän tarkasti laskentaotaksumia. Suunnitteluohjeissa sallitut halkeamaleveydet minimibetonipeitteellä ovat tyypillisesti suuruusluokaltaan 0,2 mm. Ongelmallisin tilanne syntyy laatan läpi menevistä halkeamista, jotka ovat samalla rikkooneet eristekerroksen. Tällöin Suomen oloissa teiden talvisuolaus aiheuttaa betoniterästen korroosiorasituksen, jonka voidaan olettaa olevan kertaluokkaa suuremman, kuin laatan alapinnan normaali korroosiorasitus.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty ensisijaisesti kahta eri kysymystä liittyen kansilaatan halkeiluun tukialueella:

- ovatko halkeamaleveydet sallituissa rajoissa
- onko havaittavissa merkkejä läpimenevistä halkeamista, jotka olisivat vaurioittaneet eristettä.

Halkeamaleveyksien määrittäminen on tehty luupin avulla (kuva 5.1) laatan alapinnasta. Läpi meneviä vuotavia halkeamia on arvioitu silmämääräisesti havainnoimalla kalkkivuotoja ja muita merkkejä ongelmista.



Kuva 5.1 Halkeamaleveyden määrittäminen luupilla.

5.2 Yhteenveto

Tutkimuksessa on tarkastettu tukialueen kansilaatan alapinnan halkeamat 4 liittorakenteista sillasta (taulukko 5.1).

Halkeamat on havainnointi siltakurjen korista tai henkilönostimien työkorista, tai huoltosillalta jos sillalla on sellainen ollut. Halkeamista on piirretty kartat. Suuremmissa silloissa palkit ovat olleet sen verran korkeat, että siltakurjen avulla ei ole päästy mittaamaan laatan halkeamia palkkien välistä.

Taulukko 5.1 Tarkastetut sillat

Tunnus	Nimi	Kunta	Jännemitat (m)	Hl (m)	Rak. vuosi
O-1344	Äimäraution ylikulkusilta	Oulu	27,4+55,0+44,9+46,7+36,0	10,3 + 5,0	1983
U-1469	Korssundin silta	Inkoo	34,0 + 72,0 + 34,0	7,5	1982
Kas-2695	Väättämsalmen silta	Anttola	45,0 + 65,0 + 45,0	8,5	1979
Kas-2745	Lietveden silta	Puumala	88,0 + 112,0 + 88,0	8,5	1985

Tarkastetuista silloista kaikissa esiintyy tukialueella halkeamia. Halkeamaleveydet olivat pääasiassa vaikeasti havaittavissa (leveys $\leq 0,05$ mm). Joitain 0,1 mm ja 0,2 mm halkeamia löytyi. Halkeamien havaitsemiseksi on päästävä rakenteen viereen, esim. tarkastussillasta käsin niitä ei ole voinut nähdä. Halkeamat ovat olleet pääasiassa sillan poikkisuuntaisia. Erityisen leveitä siltoja ei tarkastettujen joukossa ollut. Läpi meneviä vuotavia halkeamia ei havaittu. Yksittäistapauksissa halkeaman kohdalla oli kalkkihärmettä.

5.3 Johtopäätökset

Tarkastetut 4 liittorakenteista siltaa olivat kaikki kansilaatan halkeilun suhteen hyvässä, eli suunnitelmien mukaisessa, kunnossa. Halkeamia esiintyy tukialueella, mutta halkeamaleveydet ovat riittävän pieniä ja ne eivät ilmeisesti ole rikkoneet eristettä. Kaikissa tarkastetuissa silloissa on suunnitelmien mukaan Tiehallinnon teräsrakenneohjeen mukainen minimimäärä betoniteräksiä (2% betonipoikkileikkausalasta).

Tulokset tukevat osaltaan viime vuosikymmeninä saatuja kokemuksia jatkuvien teräs-betoni liittopalkkisiltojen toimivuudesta ja vastaavien suunnittelu- ja menetelmien riittävän hyvästä tasosta.

Halkeamien syntymiseen voidaan erottaa periaatteessa kaksi eri tietä:

- ”Hallitsemattomat halkeamat”, betonin sitoutumisen aikana syntyvät halkeamat, joiden määrittämiseksi ei ole yleiskäyttöisiä laskentamenetelmiä
- ”Hallitut halkeamat”, kovettuneeseen betoniin ulkoisen kuormituksen vaikutuksesta syntyvät halkeamat, joiden halkeamaleveyksien ja vaikutuksen huomioon ottamiseksi on kehitetty laskentamenetelmiä.

Arvioitaessa liittorakenteisen sillan kannen korjaustarvetta on kiinnitettävä huomiota siihen onko halkeilusta todellista haittaa rakenteen suunnitellulle staattiselle toiminnalle ja pitkäaikaiskestävyydelle. Tärkeä tekijä on eristeen vuotaminen halkeilun seurauksena. Halkeamien esiintyminen ja siitä seuraava betoniterästen korroosioriskin kasvu ei sellaisenaan ole riittävä peruste laajamittaisille korjaustoimenpiteille. Laatan halkeilu tukialueella ja betoniterästen korroosio ei voimakkaasti vaikuta sillan jäykkyyteen ja kantokykyyn suhteessa laskennalliseen kapasiteettiin, kun suunnittelu on tehty ottaen huomioon liittorakenteisten siltojen erityisohjeet. Korjaustarpeen arvioinnissa rakennetekniset kysymykset tulee ottaa huomioon esim. yhteistyössä suunnittelijan tai Tiehallinnon oman tai ulkopuolisen asiantuntijan kanssa.

Kokemusten mukaan vakavimmat halkeiluongelmat syntyvät yleensä rakennusaikana. Ne myös jäävät pysyviksi, ellei niitä korjata. Esimerkiksi poikke-

uksellisen raskaan liikennekuorman aiheuttamat halkeamat voivat sulkeutua kuorman poistumisen jälkeen.

Suunnittelukuormien aiheuttamista liian suurista halkeamaleveyksistä ei tietävästi ole "näyttöä", mutta useissa tärkeissä liittopalkkisilloissa on korjauksia edellyttävää halkeilua esiintynyt rakennusvaiheessa. Tässä mielessä tärkeä kehityskohde on valun ja jälkihoidon ohjeistus riittävän yksityiskohtaisesti esim. sillanrakennuksen yleisten laatuvaatimusten (SYL) yhteydessä. Vaikka suunnittelijan tai tilaajan asiantuntijan on vaikea ottaa kantaa kaikkiin valun aikaisiin toimenpiteisiin ja työtekniikoihin etukäteen, tarvittaneen näille kuitenkin laskentaohjeiden ja menetelmien kehitystyötä. Rakennustyön edetessä joudutaan päätöksiä tekemään nopeallakin aikataululla, jolloin yksinkertaistetuilla laskentamalleilla olisi käyttöä eri osapuolille. Suunnittelijan ohjeet voidaan tuoda esille esim. siltakohtaisissa laatuvaatimuksissa ja Tiehallinnon käytännön mukaan suurten siltojen osalta myös työmaakokouksissa. Nykyisessä käytännössä kärjistetysti rakennusaikainen halkeilu on vaan todettu ja korjattu, ja syitä mietitty jälkikäteen.

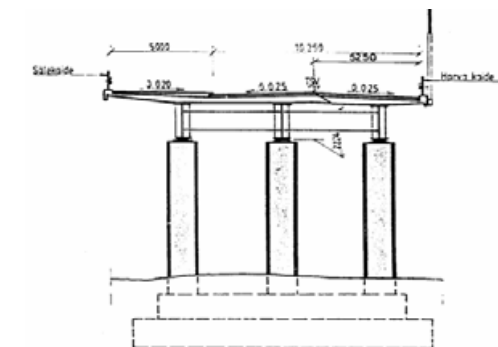
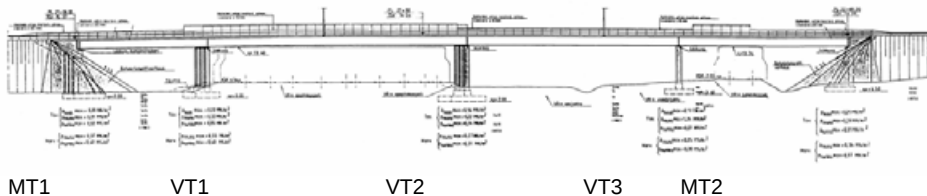
Toisin kuin liittopalkkisiltojen mitoitusmenetelmien kehityksen alkuaikoina, valmiudet esim. hydrataatiolämmön vaikutuksen mittaamiseen ja sen vaikutuksen lujuustekniseen analyysiin ovat periaatteessa olemassa, samoin kuin monimutkaisten 3-dimensioisten laskentamallien analyysiin kutistuma, lämpötilajakauma, viruma ja epälineaariset materiaalmallit huomioon ottaen. Yksi kehitysmahdollisuus on näiden ja toteutuneitten rakennusvaiheen virheiden kautta lähteä kehittämään yksinkertaistettuja malleja valun ja jälkihoidon aikaisten kysymysten huomioon ottamiseksi.

5.4 Tarkastustulokset silloittain

5.4.1 Äimäraution ylikulkusilta

Sillan numero O-1344	Sillan nimi Äimäraution ylikulkusilta	Kunta Oulu
Alkuperäinen siltatyyppe Teräksinen jatkuva palkkisilta, liittorakenteinen		Suunnitelmanumero 7905
Jännemitat (m) 27,4+55,0+44,9+46,7+36,0	Tarkastuspvm. 15.9.2003	Vinous (gon) 12
		Hyödyllinen leveys (m) 10,3 + 5,0

Lisätiedot kohteesta



- sillan rakennusvuosi 1983
- betonikannen teräsala tukialueella $A_s/A_c = 2,0 \%$
- pääteräkset tukialueella laatan alapinnassa D16 k100
- teräspalkkien keskiöväli 4,9 m
- teräspalkin korkeus tuella 1,7 m.

Tarkastuksen tulokset

Tarkastukset on tehty siltakurjen työkorista VR:n huoltovaunun katolta (ratapihalta käsin). Junaradalle on järjestetty tarkastuksen ajaksi jännitekatkot. Halkeamaleveydet ovat kauttaaltaan hyvin pieniä. Halkeamien löytämiseksi ja mittaamiseksi on menty aivan laatan viereen. Halkeamaleveydet on mitattu luupilla. Läpimenevistä vuotavista halkeamista ei ole merkkejä. Pistemäisistä kalkkitahroista päätelleen jalkakäytävän ja ajoradan yhtymäkohdan tippuputkissa on ilmeisesti rakennusaikaisia ongelmia.

Tarkastuksen tulokset (jatko)

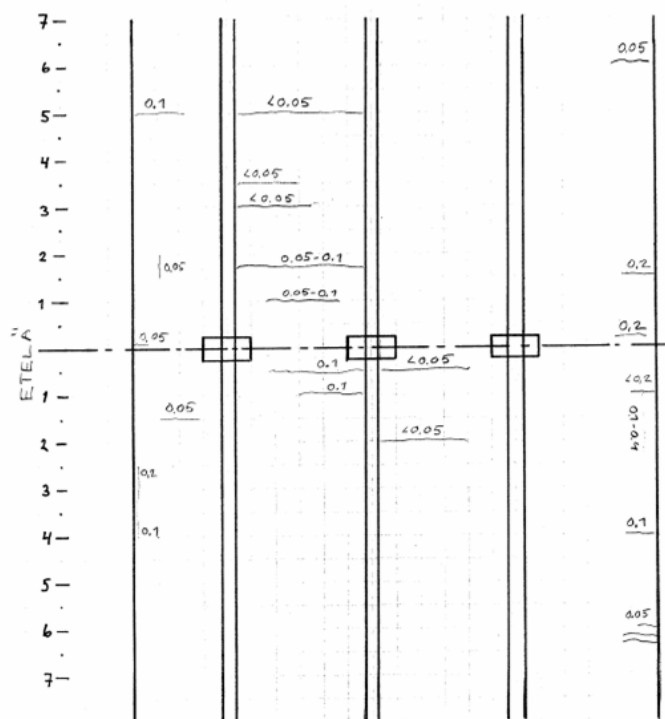


Kuva a) Huoltovaunu.

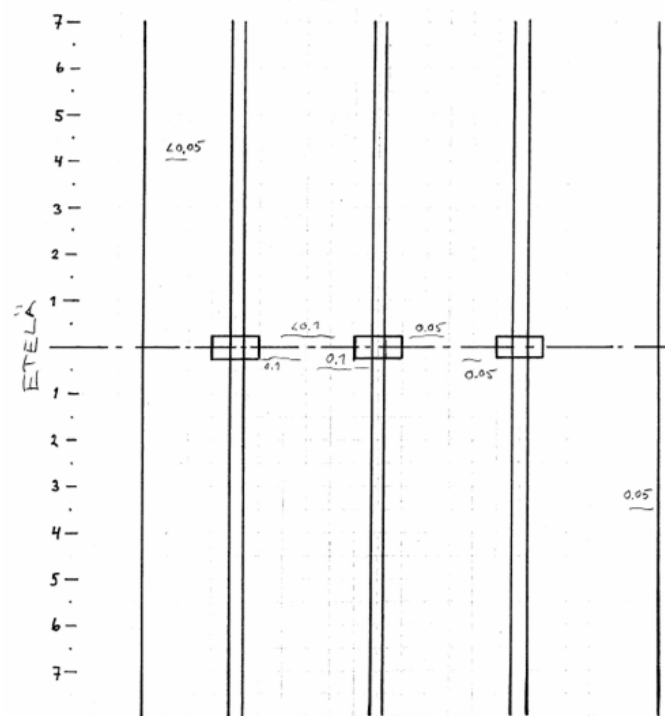


Kuva b) Tukialue.

VT1

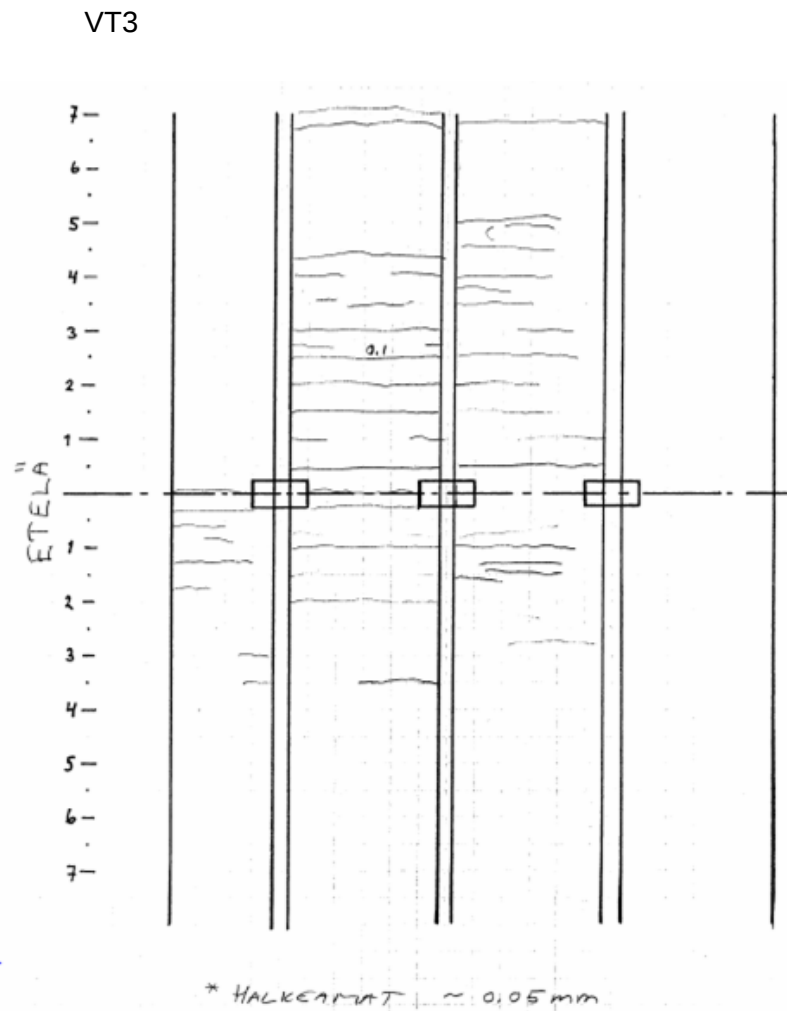


VT2



Kuva c) Halkeamakartta tuilla VT1 ja VT2.

Tarkastuksen tulokset (jatko)

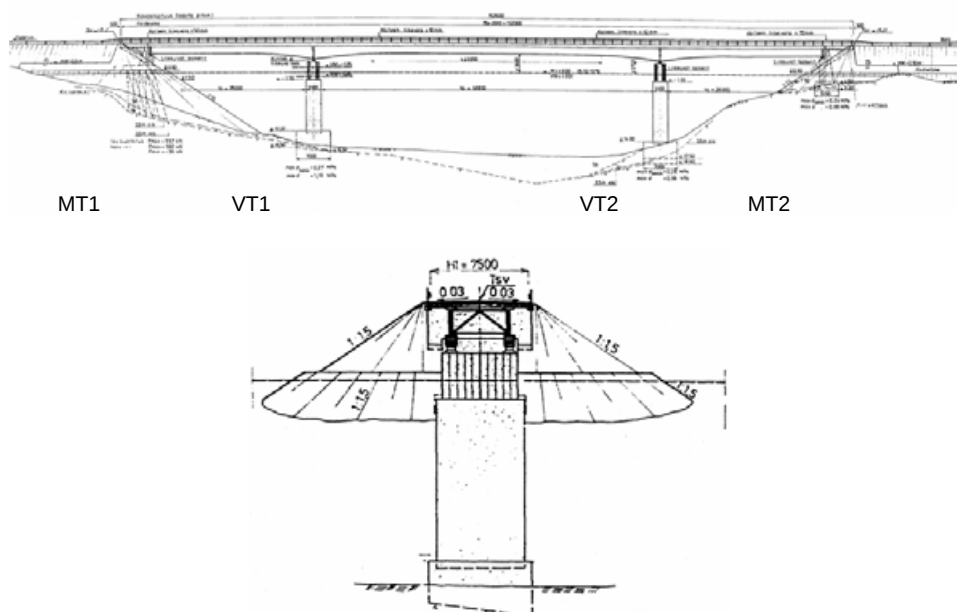


Kuva d) Halkeamakartta tuella VT3.

5.4.2 Korssundin silta

Sillan numero U-1469	Sillan nimi Korssundin silta	Kunta Inkoo
Alkuperäinen siltatyyppi Teräksinen jatkuva palkkisilta, liittorakenteinen		Suunnitelmanumero 10372
Jännemitat (m) 34,0 + 72,0 + 34,0	Tarkastuspvm. 7.12.2004	Vinous (gon) -
		Hyödyllinen leveys (m) 7,5

Lisätiedot kohteesta



- sillan rakennusvuosi 1982
- betonikannen teräsala tukialueella $A_s/A_c = 2,0 \%$
- pääteräkset tukialueella laatan alapinnassa D16 k100
- teräspalkkien keskiöväli 4,5 m
- teräspalkin korkeus tuella 3,3 m.

Tarkastuksen tulokset

Tarkastukset on tehty siltakurjen työkorista. Kannen alapinta on ollut tarkastushetkellä sula ja paikoin kostea. Pääkannattimien väliin ei päästy siltakurjella. Sillan alla ei ole huoltosiltaa. Sillan kannen ulokkeella on näkyvissä yksi halkeama. Kansilaatta on silmämääräisesti hyvässä kunnossa.

Tarkastuksen tulokset (jatko)

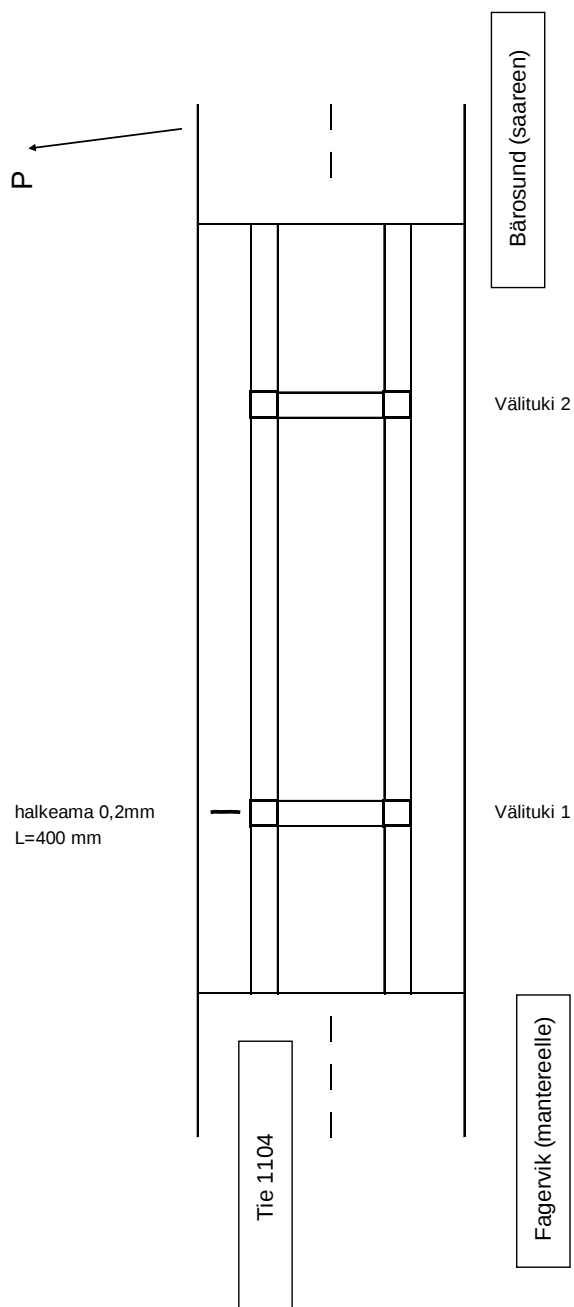


Kuva a) Yleiskuva.



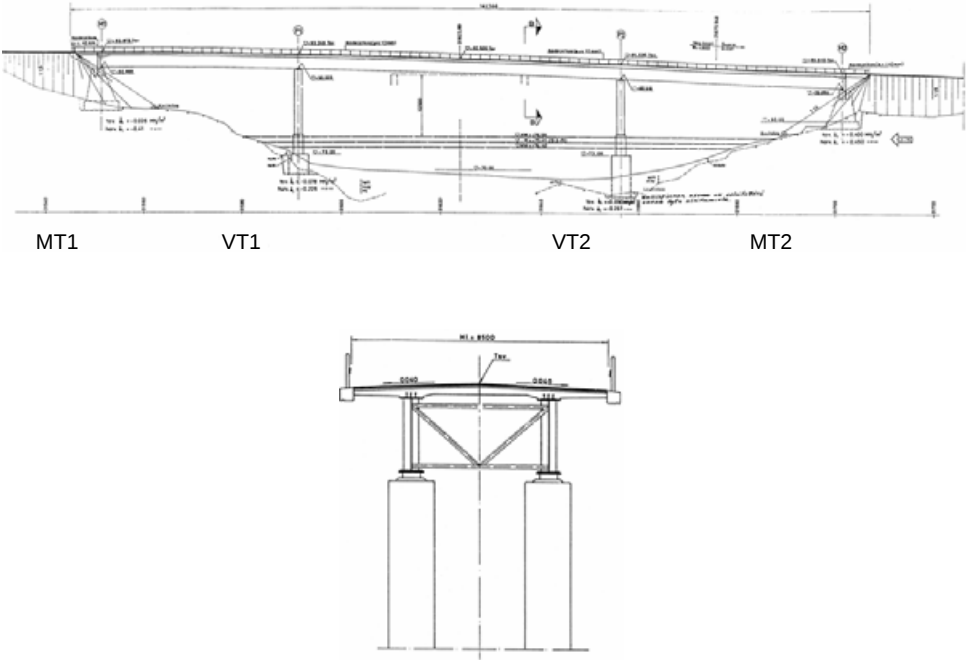
Kuva b) Tukialue.

Tarkastuksen tulokset (jatko)



Kuva c) Halkeamakartta.

5.4.3 Väättämonsalmen silta

Sillan numero Kas-2695	Sillan nimi Väättämonsalmen silta	Kunta Anttola
Alkuperäinen siltatyyppi Teräksinen jatkuva palkkisilta, liittorakenteinen		Suunnitelmanumero 8277
Jännemitat (m) 45,0 + 65,0 + 45,0	Tarkastuspvm. 8.12.2004	Vinous (gon) -
		Hyödyllinen leveys (m) 8,5
Lisätiedot kohteesta		
		
– sillan rakennusvuosi 1979 – betonikannen teräsala tukialueella $A_s/A_c = 2,0 \%$ – pääteräkset tukialueella laatan alapinnassa D16 k100 – teräspalkkien keskiöväli 4,5 m – teräspalkin korkeus tuella 2,5 m – teräsrakenne on säänkestävää terästä.		
Tarkastuksen tulokset		
Tarkastukset on tehty siltakurjen työkorista. Sillan alapinta on ollut tarkastushetkellä sula ja paikoin kostea. Pääkannattimien väliin ei siltakurjella pääse. Sillan alla ei ole huoltosiltaa. Sillan kannen ulokkeella näkyvissä 0,1 mm tai pienempiä halkeamia ja yksittäinen 0,2 mm halkeama. Kansilaatta on silmämääräisesti hyvässä kunnossa.		

Tarkastuksen tulokset (jatko)

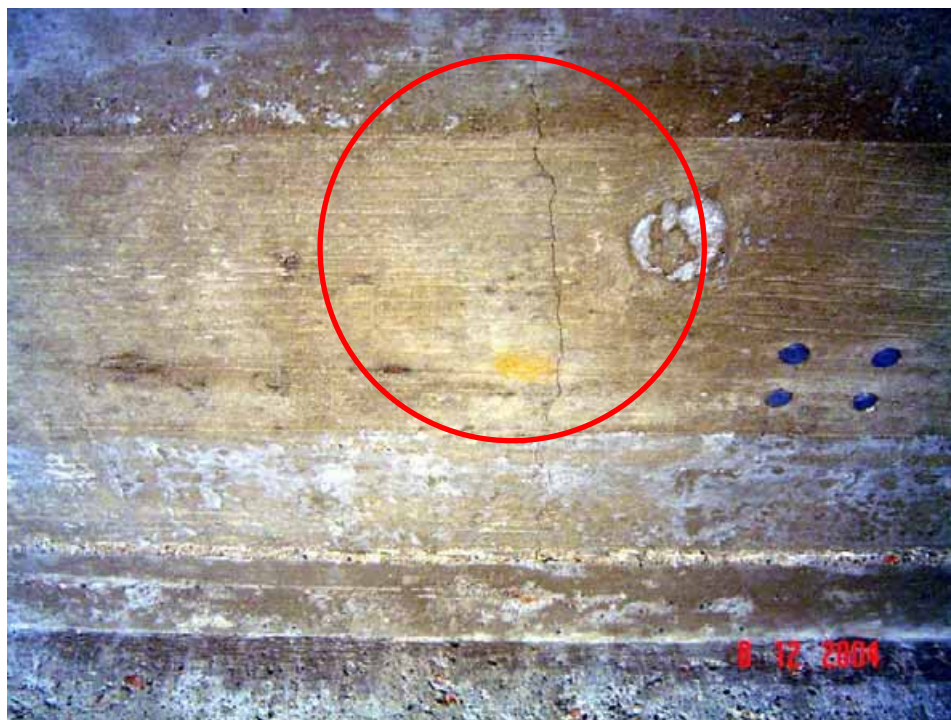


Kuva a) Yleiskuva.



Kuva b) Kannen alapinnan tiivistynyttä kosteutta tarkastuspäivänä.

Tarkastuksen tulokset (jatko)

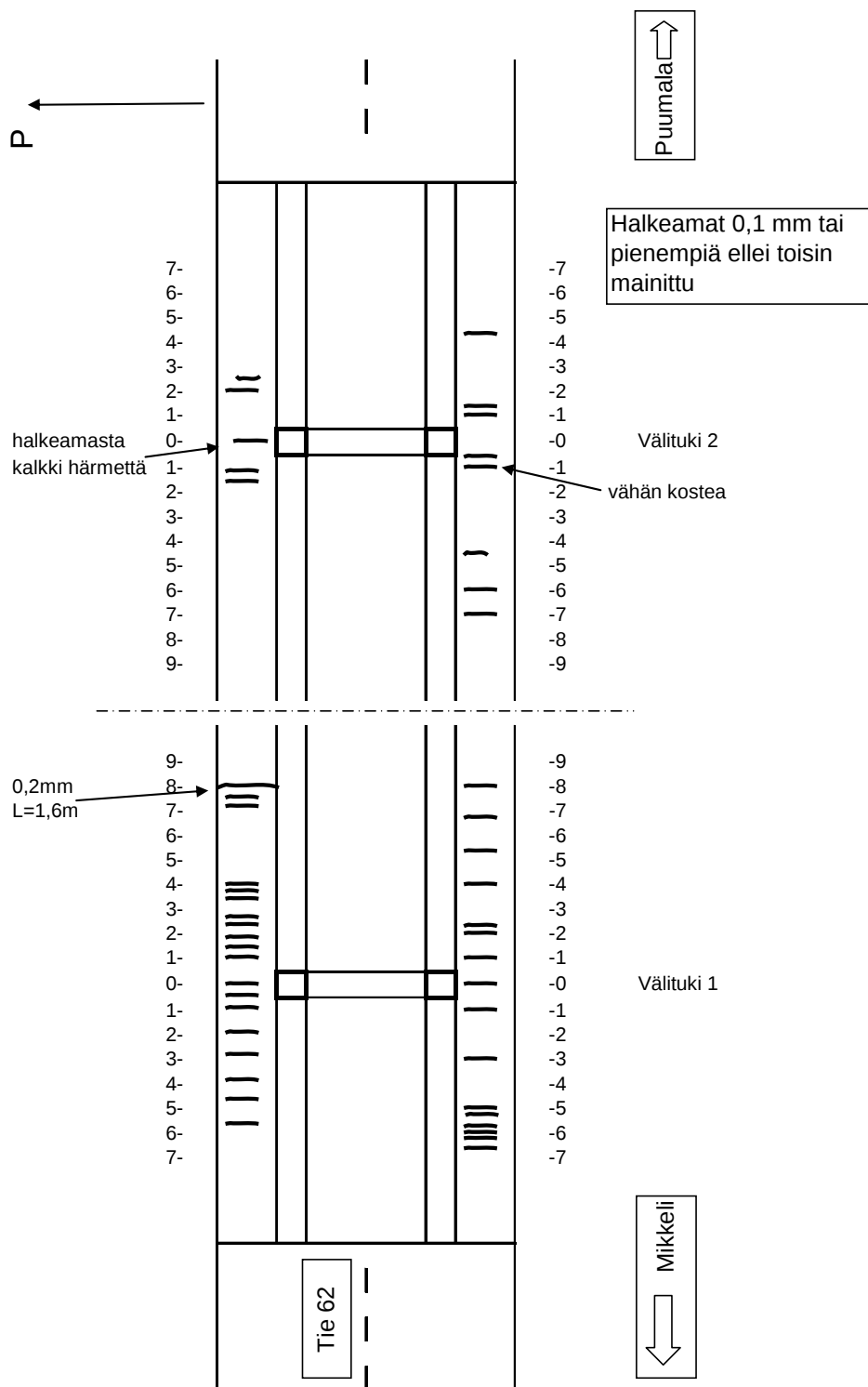


Kuva c) Levein halkeama (0,2 mm).



Kuva d) Kalkkihärmettä halkeamassa.

Tarkastuksen tulokset (jatko)

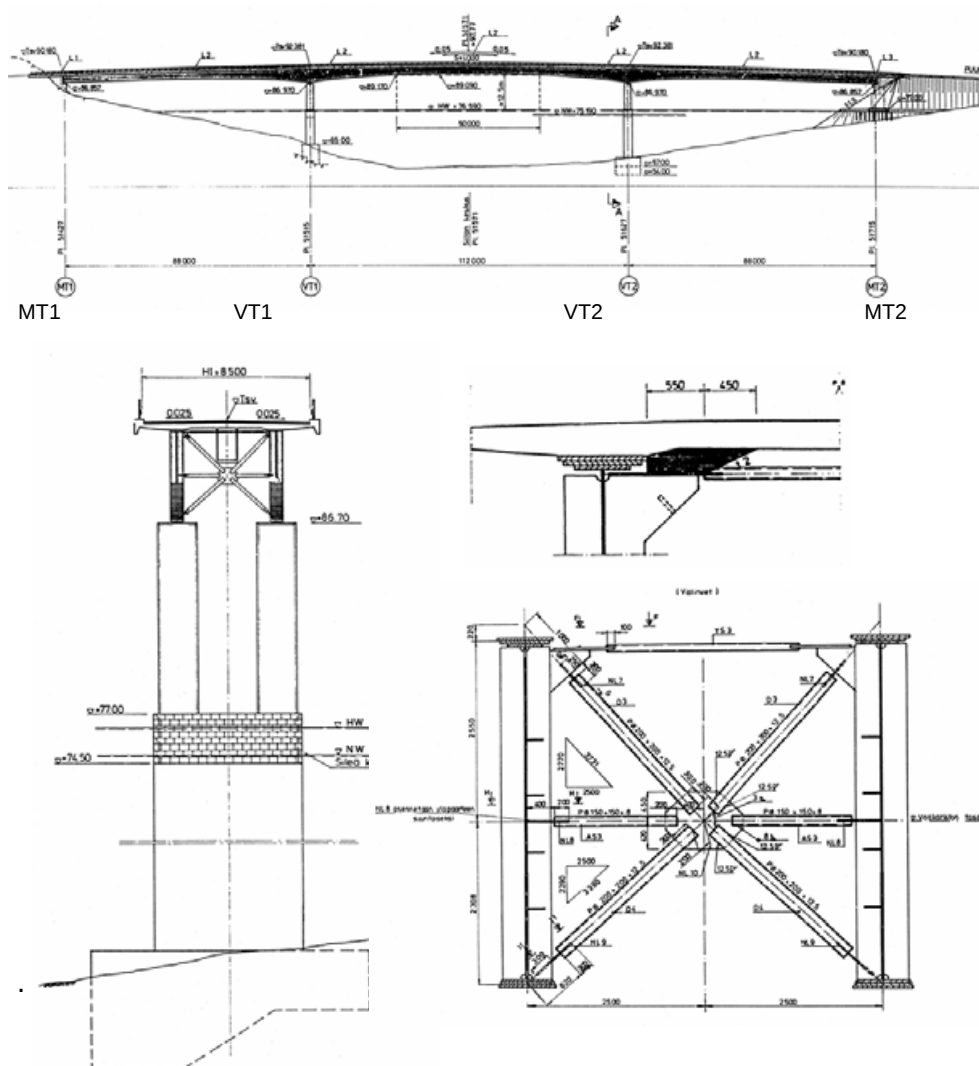


Kuva e) Halkeamakartta.

5.4.4 Lietveden silta

Sillan numero Kas-2745	Sillan nimi Lietveden silta	Kunta Puumala
Alkuperäinen siltatyyppi Teräksinen jatkuva palkkisilta, liittorakenteinen		Suunnitelmanumero 10568
Jännemitat (m) 88,0 + 112,0 + 88,0	Tarkastuspvm. 9.12.2004	Vinous (gon) -
		Hyödyllinen leveys (m) 8,5

Lisätiedot kohteesta



- sillan rakennusvuosi 1985
- betonikannen teräsala tukialueella $A_s/A_c = 2,0 \%$
- pääteräkset tukialueella laatan alapinnassa D16 k75
- teräspalkkien keskiöväli 5,0 m
- teräspalkin korkeus tuella 4,9 m
- teräspalkit maatuella on laatan valun jälkeen tunkattu 1 m ylöspäin esipuristuksen aikaansaamiseksi laattaan
- alkuperäiset reunapalkit on tehty jälkivaluna.

Tarkastuksen tulokset

Tarkastukset on tehty siltakurjen työkorista. Sillan alapinta on ollut tarkastushetkellä sula ja paikoin kostea. Pääkannattimien välin pystyi tarkastamaan huoltosillalta. Sillan kannen ulokkeen alapinnan betoni on hilseillyt ja rapautunut paljon todennäköisesti kosteus/pakkasrasituksesta. Reunapalkit on uusittu noin viisi vuotta sitten (arvio). Reunapalkkien profiilia on muutettu. Kansilaatta on pääkannattimien välissä silmämääräisesti arvioituna hyvässä kunnossa.

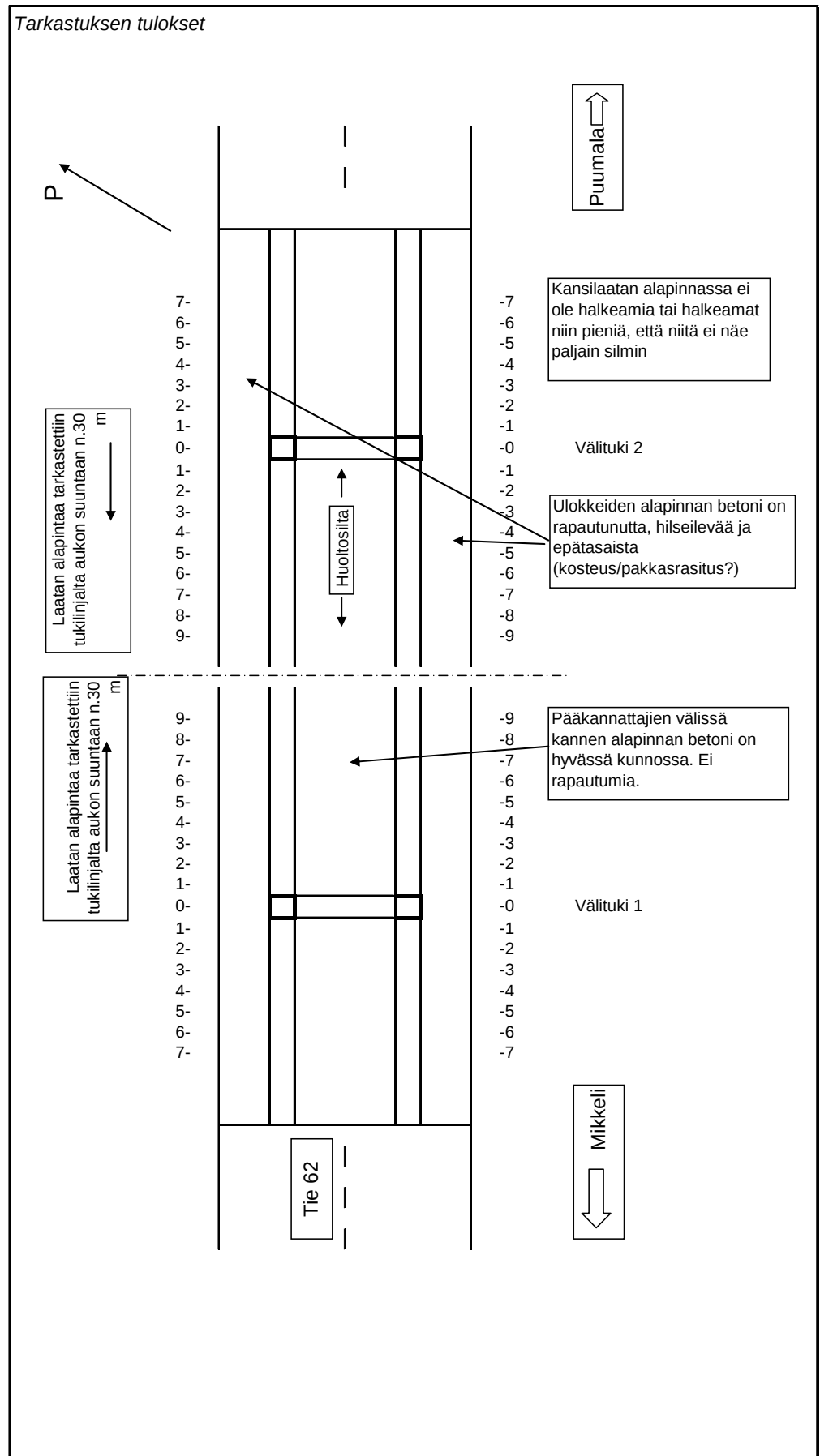


Kuva a) Yleiskuva.



Kuva b) Rapautunutta betonipintaa kannen ulokkeella.

Tarkastuksen tulokset



6 SILTOJEN KOEKUORMITUKSET

6.1 Ongelmakohdat ja tarkastetut asiat

Siltojen koekuormituksia ja niihin liittyneitä mittauksia on tehty maassamme jo 1950-luvulta lähtien, säännöllisesti 1980-luvun alkupuolelta asti. Koekuormitus tehdään useimmiten sillalle erikseen ajettavalla raskaasti kuormatulla ajoneuvolla (kuva 6.1) sillan ollessa suljettuna muulta liikenteeltä. Tarvittaessa voidaan käyttää useampia ajoneuvoja. Koekuormituksia on tehty Tiehallinnon silloille lähinnä seuraavista syistä:

- käytössä olevien siltojen kantavuuden määrittämiseksi
- vahventamisen vaikutusten tutkimiseksi
- siltatyypin toiminnan tutkimiseksi murtokokein
- uusien siltojen toiminnan varmentamiseksi.

Tässä tutkimuksessa on esitetty yhteenveto koekuormitusten tuloksista Tiehallinnon silloilla perustuen julkaisuun "VTT Tiedotteita 1702. Siltojen koekuormitukset vuosina 1983 – 1993", sekä vastaavaan Tiehallinnon julkaisuun koekuormituksista vuosina 1994 – 2003. Aineisto kattaa Tiehallinnon koekuormitukset 20 vuoden ajalta.



Kuva 6.1 Tavanomainen sillan koekuormitusjärjestely (Isonkivensalmen silta, Keuruu).

6.2 Yhteenveto

Yhteenveto koekuormituksilla selvitetystä kysymyksestä on esitetty taulukossa 6.1. Joillekin silloille on tehty useampia tutkimuksia, jolloin mittausten kokonaismäärä on suurempi kuin koekuormitettujen siltojen määrä. Kaikkiaan koekuormituksia on tehty 87 kpl jakautuen moniin eri siltatyyppeihin (taulukko 6.2). Tiedot koekuormitetuista silloista esitetään taulukoissa 6.3 ja 6.4.

Taulukko 6.1 Koekuormituksilla selvitettyjä kysymyksiä

Tutkimustarkoitus	1983 - 1993				1994 - 2003			Yht.
kantavien rakenteiden materiaali	betoni	teräs	puu	yht.	betoni	teräs	yht.	
Kantavuus ajoneuvoasetuksen kuormille	11	24	4	39	7	3	10	49
Kantavuus erikoiskuljetuksille	6	2		8	14	13	27	35
Rakenteen toimintamalli	11	34	4	49	21	14	35	84
Vahventamis- ja korjaustarpeen arviointi		18		18	13	13	26	44
Vahventamis- ja korjaussysteemin toimivuus	4	3	2	9	8	2	10	19
Vaurioiden vaikutus toimintaan	*	*	*	*		2	2	2
Käyttöiän arviointi	1	14		15	4	6	10	25
Pitkäaikaismuodonmuutokset	*	*	*	*	2		2	2
Jatkotutkimusten suunnittelu	*	*	*	*		7	7	7
Testausmenetelmien kehittäminen	2	8	2	12	*	*	*	12

*) ei raportoitu

Taulukko 6.2 Koekuormitukset siltatyypeittäin

	Siltatyyppi	1983-1993	1994-2003	Yhteensä
Betonisillat		17*	22	39*
	Laattasillat	2	1	3
	Laattapalkkisillat	9	12	21
	Kotelopalkkisillat	3	3	6
	Kehäsillat		1	1
	Holvi- ja kaarisillat	3	1	4
	Jännitetyt sillat	2	4	6
Terässillat		28*	16	44*
	Teräspalkkisillat, betonikansi	12	5	17
	Teräspalkkisillat, teräskansi	5		5
	Teräspalkkisillat, puukansi	3	1	4
	Liittopalkkisillat	4	2	6
	Kaarisillat	4	3	7
	Ristikkosillat	1	1	2
	Riippusillat	3	4	7
	Vinoköysisillat	1		1
Puusillat		4	0	4
	Yksiaukkoiset	2		2
	Moniaukkoiset	2		2
Yhteensä		49	38	87

*joissain silloissa montaa siltatyyppiä

Kantavuuden tarkentamiseksi koekuormitettavat sillat ovat valikoituneet yleensä kantavuuden ja kunnan osalta puutteellisten siltojen joukosta. Ne ovat olleet suurimmaksi osaksi 1950- ja 1960-luvuilla rakennettuja siltoja, joiden kantavuudet ovat ääriarjoilla raskaille erikoiskuljetuksille mitoituskuorman oltua tuolloin selvästi nykyistä alhaisempi. Myös laskentamallit ja

otaksumat esim. laatan poikittaisen raudoituksen suunnitteluun ovat vuosien saatossa muuttuneet.

Siltojen toimintaa murtotilassa on tutkittu murtokokeilla. Tällöin käytöstä poistettua siltaa on kuormitettu, kunnes siihen on syntynyt pysyviä muodonmuutoksia. Murtokokeen avulla on saatu tarkennusta siltatyypin varmuuteen murtorajan suhteen sekä saatu tietoa siltatyypin käyttäytymisestä murtotilanteessa mm. murtotapahtuman luonteen ja kuormien jakaantumisen suhteen. Tarkastelujaksolla on tehty viiden sillan murtokokeet (vrt. taulukko 6.3).

Siltojen korjaustöihin liittyen on tehty mittauksia vahventamissysteemin toiminnan tutkimiseksi. Koekuormitukset ja mittaukset on tehty useimmiten sekä ennen vahventamista että vahventamisen jälkeen.

Uusien siltojen koekuormittamista on tehty viime vuosikymmeninä lähinnä liittyen uusien siltatyypien käyttöönottoon, kun on haluttu tietoa todellisen rakenteen toiminnasta verrattuna laskentaotaksumiin. Tällaisia tutkimuksia tehtiin mm. ensimmäisten pidempijanteisten liittopalkkisiltojen käyttöönoton yhteydessä. Myös suurista vinoköysisilloista ensimmäiselle, Jätkäkynttilä sillalle Rovaniemellä, tehtiin koekuormitus vuonna 1989.

Taulukko 6.3 Vuosina 1983 - 1993 koekuormitetut sillat

Sillan nimi	Tunnus	Rak. vuosi	Siltatyyppi	Kansi- mat.	Palkkien lukum. 1)	Jännemitat [m]	HL [m]	Suunnittelu- kuorma	Tutkimusolos- tuksen numero
Betonisillat									
Äänekosken silta	KS-270	1950	yhdistetty palkki- ja kaari	betoni	5	11,5+2x29,7+10,5+2x10,0+9,0	1,5+8,6+1,5	12 t (AA90)	RAT31045,1813/91
*) Svartån silta	U-181	1952	jatkuva laattapalkki	betoni	3	20,0+20,0	6,0	12 t	RAT5230
Tuomarinkylän silta	U-37	1933	jatkuva laattapalkki	betoni	5	12,9+16,9+12,9	8,05	9 t	RAT6188
Pilpasen silta	PK-275	1937	jatkuva laattapalkki	betoni	3	11,0+11,0	5,5	9 t	RAT6641
Rantalan silta	V-39	1960	kotelopalkki	betoni	3	21,0	8,0	AI	RAT7101,7316,7453
Loimijoen silta	T-700	1957	jatkuva kotelopalkki	betoni	1+1	24,0+30,0+24,0	1,5+9,0+1,5	AI	RAT6920,5957
Koenjoen silta	H-1018	1965	jatkuva laatta	betoni	-	11,2+14,0+11,2	10,0	AI	RAT7170
Lempäälän kanavasilta	H-153	1959	jännitetty kotelopalkki	betoni	1+1	43,0	13,9	AI	RAT7170
*) Saarikosken silta	KS-471	1938	jatkuva palkki	betoni	3	11,0+11,0	5,5	9 t	RAT01803/90
Rutavan silta	T-1188	1933	laattapalkki	betoni	4	20,0+20,0	5,1	9 t	RAT9471
Äijälänsalmen silta	-	1932	yhdistetty holvi ja palkki	betoni	3	11,0+11,4+10,0+11,4+11,0	5,0	-	RAT8819
Ison-Pörrin silta	KS-295	1960	yläpuolinen kaari	betoni	2	49,7 (va.)	2,2+8,0+2,2	AI	RAT8742
*) Määtänjoen silta	O-111	1951	laatta	betoni	-	3,2	7,33	12 t	RAT01746/90
Reposaaren silta	T-665	1956	kotelopalkki ja teräspalkki	betoni	2	37,0+48,0+37,0; 19,0 (läppäs.)	7,0	AI	RAT11804/91
Vaajakosken silta	KS-202	1954	jatkuva laattapalkki	betoni	5	12,7+16,2+13,2+16,2+12,7	10,5+3,4	AI	RAT1769/92
Kuivajoen silta	O-216	1954	jatkuva laattapalkki	betoni	5	16,0+20,0+16,0	12,5	All (AI+teli)	2)
Isonkivensalmen silta	KeS-805	1967	jännitetty laattapalkki	betoni	3	25,0	13,0	AI + teli	RAT1775/92
Terässillat									
Lepsämänsalmen silta	U-544	1959	palkki	betoni	6	19,0	10,0	AI	RAT5832
Hännilänsalmen silta	KS-362	1961	riippusilta, (teräspalkki)	betoni	2+2	20,0+125,0+20,0	1,5+7,0+1,9	AI	mm.RAT5499, 61146,8722
*) Sammun silta	T-448	1938	palkki	betoni	4	20,0	8,0	2 x 9 t	RAT7907
Oravakivensalmen silta	M-28	1953	ristikko	betoni	2+2	50,0	6,0	All	2)
Vihantasalmen silta	M-602	1959	yhd. kaari ja palkki	betoni	2+2	20,0+70,0+20,0	7,5	AI	RAT11803/91
Kyrönsalmen silta	M-638	1968	jatkuva kotelo	teräs	1	37,5+115,5+106,5+52,2+40,5+37,5	13,0	AI+teli	RAT9169,1743/92
Pohjan läppäsilta	U-1150	-	palkki	teräs	3			AI+teli	RAT9264
Kiehimänsalmen silta	Kn-23	1968	Langer-palkki	betoni	2+4	65,0	10,0+1,5	AI+teli	RAT11713/91
Jännevuiran silta	Ku-169	1951	yhd.palkki ja Langer-p.	betoni	2+1, 3	20+19,5+21,7+16,0+100,0+20,25+20,25	6,5+1,75	MAA75	RAT01734/90, 11738/91
Kemijoen silta	L-1900	1989	vinoköysis.,(liittor. kotelo)	betoni	2	41,0+42,0+126,0+42,0+42,0	35,5	Lk/Ekl	RAT01702/90
Keskikosken silta	Ky-866	1954	jäykistetty sauvakaari	betoni	2+1	10,0+37,0+10,0	1,5+7,0+1,5	All	RAT1726/92
Jokisilta	Ky-98	1939	palkki	betoni	2+1	15,0	5,5	9 t	RAT11724/91
Ruukin silta	Ku-389	1957	palkki	puu	5	8,7	5,4	9 t	RAT1801/92
Tuorilan silta	U-719	1977	palkki	puu	6	8,0	6,0	MAA75	RAT1802/92
*) Granforsin silta	V-309	1954	palkki	betoni	3	18,0	6,4	All	RAT11725/91
Louhunsalmen silta	KS-666	1958	riippusilta, (teräspalkki)	betoni	2	140,0+20,0+17,0	6,5	AA82	RAT1703/92
Molpeströmin silta	V-679	1957	jatkuva palkki	betoni	2+1	17,0+22,0+17,0	5,5	12 t	RAT11832/91
Skalörfjärden silta	V-875	1954	jatkuva palkki	betoni	2+1	17,0+22,0+17,0	5,5	12 t	RAT11832/91
Uimasalmen silta	PK-148	1972	palkki, liittopalkki	bet.,	2	13,0+52,0+18,0	10,5	AI+teli	3)
Tallbackan silta	-	1992	liittopalkki	betoni	2	23,4	4,5	KLK	RAT1770/92
Bölen silta	U-1600	1985	jatkuva liittopalkki	betoni	2+1	30,0+37,0+37,0+37,0+37,0+30,0	13,0	Lk/Ekl	3)
Kapeekosken silta	-	1992	jatkuva liittopalkki	betoni	2	26,5+45+26,5	4,5	Lk/Ekl	RAT802/93
Päivärannan läppäsillat	Ku-163	1965	palkki	teräs	2	17,5	9,0	AI+teli	RAT3807/93
Sääksmäen silta	H-750	1961	riippusilta	betoni	2	25,0+155,0+25,0	12,0	AI	RAT809/93
Kaukosen silta	L-339	1952	jatkuva palkki	betoni	3	23,0+28,5+23,0	6,0	All	RAT813/93
Liakanjoen silta	L-229	1952	jatkuva palkki	betoni	2	18,3+22,3+22,3+17,4	6,0	All	RAT812/93
Pakasen silta	O-1226	1962	jatkuva palkki	betoni	2+1	12,8+16,0+12,8	5,5	-	RAT815/93
Kipinän silta	O-927	1965	jatkuva palkki	puu	3	30,0+37,0+37,0+30,0	4,0	AI	RAT814/93
Puusillat									
*) Ahvenisen silta	Ku-112	1963	palkki	puu	10	2,55+2,55/5,1	5,7	9 t	RAT9758
Petroniskan silta	Ku-754	1965	palkki	puu	9+5 4)	6,1	4,9	9 t	RAT9757
Virtasalmen silta	KS-763	1964	palkki	puu	9	3,0+7,8+3,0	5,0	12 t	RAT1800/92
Jokimäen silta	U-1132	1971	palkki	puu	11	6,0+6,0+6,0	6,0	12 t	RAT1803/92

*) Koekuormitettu murtokokeella

1) kotelopalkkisilloissa koteloiden määrä, pääpalkit+sekundääripalkit

2) ei VTT:n raporttia

3) raportti Terässiltojen käyttöikä -projektissa

4) 5 teräksistä lisäpalkkia

Taulukko 6.4 Vuosina 1994 - 2003 koekuormitetut sillat

Silta	Tunnus	Tyyppi	Rak./Pp- vuosi	Jännemitat, m	HL (ajor.) m	Suunn. kuorma	Tutkimus- vuosi
Betonisillat							
Bembölen silta	U-3	Teräsbetoninen palkkisilta	1938/vahv	8,7	10,0	9t/Nost-k	1994
Mullinkosken silta	KaS-328	Jännitetty betoninen palkkisilta	1950/94vah	19,0	9,8(7,0)	12t/Nost-k	1994
Pellisensalmen silta	KeS-790	Teräsbetoninen vinojalkainen palkkikehäsilta	1966	11,0+14,0+11,0	16,0(12,0)	Al	1994
Mierolansalmen silta	H-1101	Teräsbetoninen jakuva kotelopalkkisilta	1970	18,6+33,5+18,6	10,5	Al+teli	1995
Ahtialan silta	T-39	Teräsbetoninen jakuva palkkisilta	1924	4,0+13,0+4,0	6,0	6 t	1995
Murhasaaren silta I	H-1124	Teräsbetoninen jatkuva kotelopalkkisilta	1962	26,0+52,0+26,0	10,0	Al+teli	1996
Murhasaaren silta II 1)	H-1124	Jännitetty betoninen jatkuva kotelopalkkisilta	/98vahv			LkI/EkI	1996
Leppäveden silta	KeS-811	Teräsbetoninen jatkuva palkkisilta	1967	16,8+21,0+16,8	11,0	Al+teli	1999
Talvisulan silta	H-336	Teräsbetoninen palkkisilta	1950	7,7	6,0	9 t	1999
Lemulan silta 2)	T-41	Teräsbetoninen palkkisilta	1998	11,5 (sillan suunnassa)	5,4		1999
Torpin silta	U-418	Teräsbetoninen palkkisilta	1961	11,7	7,0	Al	1997
Petäjäveden ylikulkusilta 3)	KeS-661	Teräsbetoninen jatkuva laattasilta	1963	10,9+15,6+10,9	12,0(9,0)	Al	1997
Oulujoen silta	O-902W	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	1965	36,0+54,0+36,0	16,3	Al+teli	1998
Vuolteen silta	H-118	Teräsbetoninen holvisilta	1939/67	22,5	10,4	9t/AkI, EkI	1998
Kirkkosalmen silta	KeS-744	Teräsbetoninen jakuva palkkisilta	1964	17,5+22,0+17,5	1,5+9,0+1,5		1998
Lapinsalmen silta	KeS-798	Teräsbetoninen jakuva palkkisilta	1967	17,0+22,0+17,0	3,5+9,0+3,5		1998
Isonkivensalmen silta 4)	KeS-805	Jännitetty betoninen palkkisilta	1967	25,0	13,0		2001
Parikkalan ylikulkusilta 5)	KaS-423	Teräsbetoninen jakuva palkkisilta	1958	12,4+15,2+15,2+12,4	1,4+9,0+1,4		2001
Terässillat							
Ahvenkosken silta	KaS-707	Teräksinen Langer-palkkisilta, betonikantinen	1965/98	65,0	10,0	Al+teli	1994
Jämsänjoen silta	KeS-663	Teräksinen jatkuva palkkisilta, betonikantinen	1963	27,5+44+27,5	12,0(9,0)	Al	1994
Keltin silta	KaS-766	Teräksinen jatkuva palkkisilta, betonikantinen	1972	35,0+60,0+60,0+35,0	12,5	AkI/EkI	1994
Suojoen silta 6)	KeS-265	Teräksinen jatkuva palkkisilta, puukantinen	1961	18,25+18,5+18,5+18,25	8,0	Al	1994
Halikonjoen silta	T-20	Teräksinen jatkuva palkkisilta, betonikantinen	1951/72jän	2x(22,5+27,5x2+22,5)	7,6	AlI(Pk Al)	1995
Vuonteensalmen silta	KeS-175	Teräksinen ristikkosilta, puukantinen	1933/81	60,0+30,0+30,0	5,0	/Maa75	1995
Läsköksen silta	KaS-2127	Teräksinen palkkisilta, betonikantinen	1955	19,0	7,5	AlI	1995
Kotakennänsalmen silta	KeS-785	Teräksinen Langer-palkkisilta, betonikantinen	1966	65,0	10,0	Al+teli	1995
Fräitalan silta	T-762	Teräksinen jatkuva palkkisilta, betonikantinen	1953	31,0+38,0+31,0	6,0	12 t	1997
Kirkonvarkauden silta	KaS-2635	Teräksinen riippusilta, betonikantinen	1968	30,0+140,0+25,0	9,0	Al+teli	1997
Saarijärven risteysilta	KeS-336	Teräksinen palkkisilta, betonikantinen	1958	18,0	10,0	Al	1997
Kirjalansalmen silta I	T-155	Teräksinen riippusilta, betonikantinen	1963/94lev	25,0+220,0+25,0	10,8	Al+teli	1998
Kirjalansalmen silta II	T-155	Teräksinen riippusilta, betonikantinen	1963/94lev	25,0+220,0+25,0	10,8	Al+teli	2000
Kiehimänjoen silta	O-2023	Teräksinen Langer-palkkisilta, betonikantinen	1968	65,0	12,4(11,0)	Al+teli	2001
Sääksmäen silta	H-750	Teräksinen riippusilta, betonikantinen	1963	25,0+155,0+25,0	13,8(10,0)	Al	2001
Äimäraution ylikulkusilta	O-1344	Teräksinen jatkuva palkkisilta, liittorak., betonik.	1963	27,4+55,0+45,6+36,0	15,3	LkI, EkI	2003

Lisätiedot

- 1) vahvennettu jännittämällä
- 2) vahvennettu hiilikuidulla 1998, vinous 30°
- 3) vinous 22,5°
- 4) vinous 30°
- 5) vinous 45°
- 6) korvattu uudella

6.3 Johtopäätökset

Siltojen koekuormitus- ja mittaustoiminnasta voidaan tehdä seuraavia yleisiä johtopäätöksiä:

- selvittämällä sillan rakenteiden todellista toimintaa on laskentamalleihin sisältyvää ylimääräistä varmuutta voitu hyödyntää siltojen kantavuutta nostamalla. Tämä on ollut tärkeätä erityisesti harvinaisemmilla kuormilla, kuten mm. erikoiskuljetusten sallittavia painoja määritettäessä
- kriittisten detaljien suhteen on mittauksin voitu arvioida vaurioitumisriskiä mm. väsymisen suhteen
- verrattaessa koekuormituksen perusteella laskettuja käyttörajatilan kapasiteetteja alkuperäisen kantavuuslaskelmaan, ovat erot olleet -5...+25 %. Keskimäärin koekuormituksen tuloksena päivitetty laskentamallit ovat antaneet n. 10...15% suurempia kantavuuden arvoja. Useimmissa tapauksissa ero ei ole ollut riittävä vahventamisen välttämiseksi. Joissain yksittäisissä tapauksissa on kuitenkin voitu välttyä sillan kalliilta vahventamiselta tai uusimiselta, joita alkuperäisen kantavuuslaskennan mukaan olisi edellytetty.
- on saatu yleistä tietoa erilaisten siltarakenteiden toiminnasta laskentamallien ja laskentaohjeiden kehittämistä varten
- on saatu tietoa vahventamismenetelmien toimivuudesta
- siltojen koekuormitukset ja mittaukset tulisi edelleen säilyttää työkaluina määritettäessä mm. tarvittavia peruskorjaustoimenpiteitä
- anturi- ja tietojenkäsittelyteknologian kehittyessä ja halventuessa voidaan tulevaisuudessa siirtyä ongelmasiltojen osalta myös niiden jatkuvaan monitorointiin, jolla seurataan mm. sillan kuormituksia, rasituksia, kuntoa ja liikenneturvallisuutta.

6.4 Tulokset siltatyypeittäin

6.4.1 Betonisillat

Jännitysten, venymien, halkeamaleveyksien ja taipumien maksimiarvot

Lähinnä käyttötilassa tehdyillä kuormituskokeilla suurimmat mitatut betoniterästen jännitykset pääkannattimissa ovat olleet 50 - 60 MN/m² luokkaa. Suurimmillakin mitatuilla jännityksillä poikkileikkaukset toimivat vain osittain halkeilleina. Suurimmalla osalla silloista mitatut jännitykset olivat luokkaa 15 - 30 MN/m², eli varsin lähellä halkeamatonta tilaa. Tällöin myös näkyvää halkeilua on ollut silloissa hyvin vähän.

Metrin matkalta mitattu betonin venymä kertoo vedetyn betonirakenteen toiminnasta keskimääräistä tietoa. Sillä voidaan arvioida mm. poikkileikkauksen halkeamakapasiteetin ylittymistä (n. 1 ‰:n kohdalla). Eniten halkeilleilla silloilla, joilla on mitattu suurimmat teräsjännitykset, on mitattu betonivenymiä, jotka ovat n. 0,2 ‰ tai sen yli, maksimissaan 0,25 ‰.

Koekuormista mitattu halkeamaleveyden kasvu on jäänyt yleisesti varsin pieneksi. Yksittäiskoekuormituksissa suurin mitattu arvo on ollut n. +0,06 mm.

Tällöin halkeamaleveyden kasvu myös palautunut. Suurempia halkeamaleveysarvoja on mitattu toistuvan kuorman kokeissa (viisi kuormituksen toisto), joissa suurin mitattu arvo on ollut +0,26 mm ja osa kasvusta on jäänyt pysyväksi.

Betonisiltöjen taipumat käyttötilassa tehdyistä kuormituskokeista ovat jääneet yleisesti varsin pieniksi (n. $L/3000 \dots L/10000$, missä L on mitatun jännteen jännemitta). 1980-luvulla tehdyissä toistuvan kuorman kokeissa ja pitkäaikaiskokeissa suurimmat mitatut arvot ovat olleet kuitenkin selvästi suurempia, välillä $L/1000 \dots L/4000$.

Sysäyskerroin

Sysäyskerroimen laskenta on perustunut suurella ja hitaalla nopeudella tehdyissä ajokokeissa saatujen mittaustulosten suhteeseen, tavallisimmin mitatun taipuman suhteen.

Mittaustulosten perusteella jäävät sysäyskerroimen arvot pienemmiksi kuin laskennalliset arvot, korkeimmillaankin alle arvon 1,2.

Sillan toiminta laskentamalleihin verrattuna

Laattapalkkisiltöjen toiminnan osalta voidaan esittää seuraavia johtopäätöksiä:

- rakenteen kunto (lähinnä halkeilutila) vaikuttaa keskeisesti valittavaan laskentamalliin
- mittausten mukaisiin taipumiin voidaan päästä vähän halkeilleilla silloilla käyttäen halkeilematonta mallia
- runsaasti halkeilleilla silloilla tulisi käyttää sekä taipumien että voimasuureiden laskennassa osittain halkeillutta mallia
- yksinkertaistetussa menettelyssä halkeilleet alueet voidaan määrittää esim. oman painon aiheuttaman halkeilun perusteella, joilla alueilla voidaan yksinkertaisimmillaan käyttää halkeilemattoman ja halkeilleen jäykkyyden keskiarvoa
- laskentatuloksia tarkentaa selvästi, jos mallissa käytetään sillan todellisista mittoja ja materiaaliparametreja. Esim. betonin puristuslujuus ja kimmokerroin voivat vanhoilla silloilla olla selvästi alkuperäissuunnitelmia suurempia.

Edellä mainittuja tuloksia voidaan soveltaa myös kotelopalkkisiltöihin. Niiden osalta varsin hyviä laskentatuloksia saadaan palkkimallilla, jossa on otettu tehollisilla jäykkyyksillä huomioon osittainen halkeilutila sekä oikea vääntöjäykkyys.

Vahvennettujen siltöjen toiminta

Teräslevyjen liimausvahventamisista voidaan esittää seuraavia johtopäätöksiä:

- vahventava vaikutus pääpalkkien taivutuskapasiteetissa on suunnitelmiensa mukaista

- liimattujen teräslevyjen siltaa jäykistävä vaikutus on melko pieni, poistettaessa samassa yhteydessä myös ajotielaatta, kokonaisvaikutus voi olla jopa jäykkyyttä vähentävä
- leikkausvahvikkeiden jännitykset jäivät hyvin pieniksi koekuormilla
- jotta jatkuvilla silloilla sillan kenttäalueiden täysi taivutuskapasiteetti voitaisiin hyödyntää, tulisi myös tukialueita vahventaa.

Hiilikuitunauhoilla vahvennettujen betonisiltojen osalta voidaan esittää seuraavat johtopäätökset:

- liimattuihin hiilikuitunauhoihin tulee kuormitettaessa selvät muodonmuutokset ja ne toimivat syntyneen liittorakenteen osana
- pienillä koekuormilla hiilikuitunauhat toimivat oletetulla tavalla saaden samalla kohdalla olevia betoniteräksiä suurempia venymiä
- suurilla koekuormilla joissain tapauksissa hiilikuidun venymä jäi hieman pienemmäksi kuin sen kohdalla olevan betoniteräksen, mikä saattaa johtua mm. betonin lisähalkeilusta ja hiilikuituvahvikkeen liiman muodonmuutoksista
- vahventava vaikutus on vahventamissuunnitelmien mukaista, pääpalkkien kantavuuden lisääntyminen ajoneuvokuormille murtorajatilassa n. 20 %
- hiilikuitunauhojen toiminnassa paikallisia eroja mm. halkeamista johtuen.

Jälkijännittämällä vahvennetut ja koekuormituksella tutkitut teräsbetoniset kotelopalkkisillat (Murhasaaren ja Vaajakosken silta) ovat vahvennuksen osalta toimineet suunnitelmien mukaisesti. Jälkijännittäminen on lisännyt jäykkyyttä ja taivutuskapasiteettia

6.4.2 Terässillat

Jännitysten, venymien ja taipumien maksimiarvot

Terässilloilla käyttötilassa suoritetuissa kuormituskokeissa ovat mitatut teräs-jännitykset osalla silloista selvästi korkeampia kuin betonisilloilla. Suurimmat jännitykset mitattiin riippusilloilla, jännitysten vaihdellessa jäykistyspalkeilla välillä 103...188 N/mm². Riippusiltojen jäykistyspalkeissa on oman painon vaikutus hyvin pieni, joten suuri osa kapasiteetista voidaan hyödyntää liikennekuormalle. Muissa koekuormitetuissa siltatyypeissä olivat pääpalkkien jännitykset yleisesti välillä 35...90 MN/m². Joidenkin siltojen sekundäärirakenteissa ja teräsrakenteiden liitoksissa mitattiin kuitenkin selvästi suurempia jännityksiä, suurimmillaan yli 200 N/mm².

Koekuormilla mitatut taipumat ovat olleet selvästi suurempia kuin betonisilloilla. Absoluuttisesti suurimmat taipumat on mitattu riippusilloilla, suuruudeltaan yleisesti 300...350 mm, vastaten n. 1/400 ... 1/700 jännemitasta. Muilla siltatyypeillä mitatut taipumat olivat luokkaa 1/1000 jännemitasta.

Mittaustulokset dynaamisista kuormituskokeista

Sysäyskertoimen osalta on tehty seuraavia havaintoja:

- sysäyskertoimen hajonta eri silloilla on suurta

- hajontaan vaikuttavat mm. siltatyyppi, jännemitat, päällysteen kunto etenkin liikuntasauvan vieressä ja ajokokeessa käytetty ajoneuvotyyppi
- yleisesti määritetyt sysäyskertoimet jäivät pienemmiksi kuin kaavalla $\Phi = 1,4 - 0,006L$ määritettynä
- riippusilloilla määritettiin mittausten perusteella melko suuria sysäyskertoimen arvoja, suurimmillaan selvästi yli arvon $\Phi = 1,1$.

Väsymiskestävyydestarkastelut

Joidenkin terässiltöjen osalta kuormituskokeiden yhteyteen on liitetty muutamien viikojen pituinen pitkäaikaismittaus, jolla on mitattu jännitysvaihtelukertymiä kriittisissä teräsdetalleissa. Jännitysvaihtelukertymän perusteella on määritetty edelleen eri detallojen käyttöiän arvoja.

Teräspalkkisiltöjen toiminta verrattuna laskentamalleihin

Kuormien jakaantumisen osalta on tehty seuraavat johtopäätökset:

- liikennekuormien jakaantuminen pääpalkeille on monipalkkisilla poikkeuksilla (vähintään 3 pituuskannatinta) lähes aina tasaisempaa kuin laskennan perusteella. Tämä korostuu, jos laskennassa on käytetty arinamallia
- käytettäessä 3-ulotteista mallia, jossa kansilaatta on mallinnettu omaan tasoonsa kuorielementeillä, saavutetaan kuormien jakaantumisessa selvästi arinamallilla laskettua todennukaisempi tilanne.

Betonikantisten teräspalkkisiltöjen osittaisen liittotoiminnan osalta on tehty mm. seuraavia johtopäätöksiä:

- kansilaatan ja teräspalkkien välinen osittainen liittotoiminta pienentää selvästi teräspalkkeille käyttötilassa tulevia jännityksiä verrattuna laskentaan ilman liittotoimintaa
- osittaisen liittotoiminnan tehokkuus vaihtelee hyvin paljon silta- ja detallokohtaisesti riippuen kansilaatan kiinnittymisestä teräspalkkeihin ja sauman kunnosta.
- osittainen liittotoiminta heikkenee usein kuormaa kasvatettaessa, mikä johtuu kansilaatan liukumisesta pääpalkkien ylälaippojen suhteen
- mitatut taipumat ovat usein samaa luokkaa täydellä liittotoiminnalla laskettujen kanssa
- osittaista liittotoimintaa ei voida yleisesti ottaa huomioon merkittävästi kantavuutta lisäävänä tekijänä. Tarkempi määrittely tulee tehdä siltakohtaisesti ja se riippuu mm. kansilaatan ja pääpalkkien ylälaippojen välisen sauman kunnosta.

Teräksisten erikoissiltöjen toiminta verrattuna laskentamalleihin

Teräksisten erikoissiltöjen tärkeimpiä tutkittuja asioita ovat olleet kuormien jakaantuminen pääkannattimille, kansirakenteen liittotoiminta sekä jäykistyspalkkien väsymiskestävyys.

Perustuen lähinnä Ahvenkosken, Kotakennänsalmen ja Kiehimänjoen siltöjen (toteutettu samoilla piirustuksilla 1960-luvun puolivälissä) tutkimuksiin, Langer-palkkisiltöjen toiminnan osalta on tehty seuraavia johtopäätöksiä:

- siltatyypin kantavuus riittää ajoneuvoasetuksen kuormille, erikoiskuljetusten osalta jää kantavuus jonkin verran suositusarvojen alapuolelle
- siltatyypin väsymiskestävyys on melko alhainen etenkin kansirakenteen teräspalkkirakenteiden joidenkin detaljien suhteen. Tämä johtuu liikennekuorman suuresta osuudesta kokonaisjännityksissä
- verrattuna yksinkertaistettuihin laskentamalleihin, rakenteiden todellinen kolmiulotteinen toiminta suurentaa jännityksiä erityisesti kansirakenteen poikki- ja sekundääripalkeissa sekä niiden liitoksissa. Edellä mainituista detaljeista myös väsymissäröilyä.

Riippusiltojen mittauksiin ja laskelmiin perustuen on tehty seuraavat johtopäätökset:

- laskenta on suoritettava geometrisesti epälineaarisenä
- kansirakenteen vääntöjäykkyys, mm. vaakasuorista tuuliristikoista johtuen, tasoittaa selvästi kuormien jakaantumista pääpalkeille ja riippuköysille epäkeskisillä kuormilla.
- betonikantisena ilman liitnelimiä toteutetun kansirakenteen liittotoiminnan osalta pätevät varsin tarkkaan samat johtopäätökset kuin terässiltojen osalta
- kansirakenteessa on usein liitosdetaljeja, joissa voi esiintyä suuria jännityksiä ja väsymissäröilyä.

Yleiset johtopäätökset terässiltojen toiminnasta

Koekuormituksista ja mittauksista sekä niihin liittyneistä kantavuuslaskennoista on tehty seuraavia yleisiä johtopäätöksiä:

- mitatut jännitykset ja taipumat ovat yleisesti pienempiä kuin alkuperäislaskentamalleilla lasketut arvot. Poikkeuksena ovat sekundaariset rakenteet, joissa voi esiintyä suuria jännitysvaihteluja ja joista on myös löydetty väsytyssäröjä
- kantavuustarkasteluja tulee täydentää väsymistarkasteluilla, jotka vanhemmilla silloilla ovat suunnittelulaskennoista puuttuneet täysin.

6.4.3 Puusillat

Vuosina 1989 - 1990 on tehty neljän pyöreästä puutavarasta tehdyn sillan koekuormituksia. Keskeisimmät johtopäätökset mittauksista ovat olleet:

- kuormien jakaantumiseen pääpalkeille vaikuttaa mm. liitosten kunto
- kuorman sijaitessa sivusuunnassa sillan keskellä on kuormien jakaantuminen keskimäärin hieman parempaa (tasaisempaa) kuin laskennallisesti, kuorman sijaitessa sillan reunalla on mitattu jakaantuminen ollut laskennallista epäedullisempaa
- pääpalkkien jatkuvuuteen vaikuttavat mm. jännemittasuhteet, palkkien rakenne sekä liitosten kunto
- vaarnatoiminnan vaikutusaste on laskentaotaksumien mukaista.

