



YLEISOHJEEN SISÄLTÖ

| | |
|---|-----|
| 1. YLEISTÄ..... | 5 |
| 2. SILTA- JA RAKENNETYYBIT..... | 11 |
| 3. TYPILLISET VAURIOT JA VIRHEET | 30 |
| 4. TUTKIMUKSET JA PERIAATERATKAISU . | 47 |
| 5. KORJAUSTYÖN SUUNNITTELU..... | 59 |
| 6. PURKUTYÖT JA TYÖNAIKAISET TUENNAT | 68 |
| 7. KORJAUSTYÖT..... | 77 |
| 8. TYÖTURVALLISUUS..... | 96 |
| 9. LAADUNVARMISTUS JA LAADUNOHJAUS | 102 |
| 10. RINNAKKAISET OHJEET..... | 111 |

LIITE 1: Termit ja määritelmät



Kuva 1. Teräspalkin ylälaipan ja pystyjäykisteen välisen hitsin magneettijauhetarkastus.



Kuva 2. Pienen kotelopalkkikannattimen alalaipan törmäysvaurion korjauksen työnaikainen tuenta.



Kuva 3. Riippusillan pituussuuntaisen sekundäärikannattimen korjaustyö uusimalla rakenneosa osittain.

SISÄLLYSLUETTELO

| | | | |
|--|----|--|----|
| 1 YLEISTÄ..... | 5 | 4 TUTKIMUKSET JA PERIAATERATKAISU..... | 47 |
| 1.1 Ohjeen soveltamisala..... | 5 | 4.1 Tarkastukset ja tutkimukset..... | 47 |
| 1.2 Terässiltojen historia Suomessa..... | 6 | 4.1.1 Siltojen tarkastukset..... | 47 |
| 1.2.1 Terässiltatyyppien aikakaudet..... | 6 | 4.1.2 Terässiltojen tutkimukset..... | 48 |
| 1.2.2 Siltojen suunnittelukuormien historia..... | 8 | 4.1.2.1 Visuaalinen tarkastus ja | |
| 1.3 Teräsrakenteiden korjaukseen liittyvät | | pintatestaus..... | 48 |
| käsitteet..... | 9 | 4.1.2.2 Ultraäänitutkimukset..... | 49 |
| 1.3.1 Teräsrakenteiden korjaustyön vaiheet.. | 9 | 4.1.2.3 Magneettijauhetarkastukset..... | 50 |
| 1.3.2 Termit ja määritelmät..... | 10 | 4.1.2.4 Radiografiset (röntgen) | |
| 1.3.3 Merkinnät..... | 10 | tutkimukset..... | 50 |
| 1.3.4 Rakenne- ja toteutusluokat..... | 10 | 4.1.2.5 Tunkeumanestetarkastukset..... | 51 |
| 2 SILTA- JA RAKENNETYYPIÄ..... | 11 | 4.1.2.6 Pyörrevirtamittaukset..... | 51 |
| 2.1 Terässiltojen tyypit..... | 11 | 4.1.2.7 Taipuma- ja värähtelymittaukset..... | 51 |
| 2.1.1 Teräspalkkisillat..... | 11 | 4.1.2.8 Monitorointi ja koekuormitus..... | 52 |
| 2.1.2 Liittopalkkisillat..... | 12 | 4.1.2.9 Teräsrakenteen näyteenotto ja | |
| 2.1.3 Kotelopalkkisillat..... | 14 | testaus..... | 52 |
| 2.1.4 Kaukalopalkkisillat..... | 14 | 4.2 Periaateratkaisu..... | 54 |
| 2.1.5 Ristikkosillat..... | 14 | 4.2.1 Sillan yleiskunnon ja käyttöiän arviointi..... | 55 |
| 2.1.6 Kaarisillat..... | 16 | 4.2.2 Pintakäsittelyn kunnon arviointi..... | 55 |
| 2.1.7 Langer-palkkisillat..... | 17 | 4.2.3 Sillan kantavuuslaskenta ja -selvitykset..... | 55 |
| 2.1.8 Riippusillat..... | 18 | 4.2.4 Jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen | |
| 2.1.9 Vinoköysisillat..... | 19 | väsytyksimitoituksen perustella..... | 56 |
| 2.1.10 Muut terässiltatyyppit..... | 20 | 4.2.5 Paikalliset olosuhteet..... | 56 |
| 2.2 Rakennetyypit..... | 21 | 4.2.6 Työturvallisuus ja liikenneturvallisuus..... | 57 |
| 2.2.1 Pääpalkit..... | 21 | 4.2.7 Kustannukset..... | 58 |
| 2.2.2 Pituussuuntaiset sekundääripalkit..... | 21 | 5 KORJAUSTYÖN SUUNNITTELU..... | 59 |
| 2.2.3 Poikkipalkit..... | 22 | 5.1 Korjaustyön rakennussuunnitelmat..... | 59 |
| 2.2.4 Poikkiristikot..... | 24 | 5.1.1 Korjausmenetelmän valinta..... | 59 |
| 2.2.5 Tuulisiteet ja vaakaristikot..... | 24 | 5.1.2 Korjaussuunnitelman sisältö..... | 59 |
| 2.2.6 Ala- ja yläpaarteet..... | 26 | 5.1.2.1 Rakennelaskelmat..... | 60 |
| 2.2.7 Ristikkosiltojen vertikaali ja | | 5.1.2.2 Yleis- ja rakennepiirustukset..... | 60 |
| diagonaalisauvat..... | 27 | 5.1.2.3 Asennustapaehdotus ja | |
| 2.2.8 Rautatiesiltojen erikoisrakenteet..... | 28 | tuenta/tunkkaehdotus..... | 62 |
| 2.2.8.1 Teräspalkit betonissa..... | 28 | 5.1.2.4 Purkutapaehdotus..... | 62 |
| 2.2.8.2 Kaukalopalkkirakenteet..... | 28 | 5.1.2.5 Pintakäsittelyn korjaus- | |
| 2.2.8.3 Raiteiden tuenta ja kiinnitys..... | 29 | suunnitelmat..... | 63 |
| 3 TYYPILLISET VAURIOIT JA VIRHEET..... | 30 | 5.1.2.6 Työselostus, laatuvaatimukset ja | |
| 3.1 Syöpymisvauriot..... | 30 | teräsrakenteen toteutuseritelmä..... | 63 |
| 3.2 Törmäysvauriot..... | 33 | 5.1.2.7 Kustannusarvio ja määräluettelo..... | 63 |
| 3.3 Ylikuormitusvauriot..... | 34 | 5.2 Urakoitsijan suunnitelmat..... | 64 |
| 3.4 Väsymisvauriot..... | 35 | 5.2.1 Tekniset työsuunnitelmat..... | 64 |
| 3.5 Haurasmurtuma, lamellirepeily ja | | 5.2.1.1 Valmistussuunnitelma..... | 64 |
| materiaalivirheet..... | 37 | 5.2.1.2 Asennussuunnitelma..... | 65 |
| 3.6 Rakentamisvirheet..... | 40 | 5.2.1.3 Purkusuunnitelma..... | 66 |
| 3.6.1 Hitsausvirheet..... | 40 | 5.2.2 Laatusuunnitelma..... | 66 |
| 3.6.2 Pintakäsittelyn virheet..... | 42 | 5.2.2.1 Projektikohtainen laatu- | |
| 3.6.3 Mekaanisten liitosten virheet..... | 42 | suunnitelma (urakan laatusuunnitelma)..... | 66 |
| 3.7 Suunnitteluvirheet..... | 43 | 5.2.2.2 Tarkastussuunnitelma | |
| 3.8 Ilkivalta ja puutteellinen kunnossapito..... | 45 | (työvaiheen laatusuunnitelma)..... | 66 |
| | | 5.2.2.3 Työturvallisuussuunnitelmat..... | 67 |
| | | 5.2.3 Laakeri- ja liikuntasaumapiirustukset..... | 67 |

| | | | |
|---|-----|--|-----|
| 6 PURKUTYÖT JA TYÖNAIKAISET TUENNAT.. | 68 | 9. LAADUNVARMISTUS JA -OHJAUS..... | 102 |
| 6.1 Purkutöiden työturvallisuus | 68 | 9.1 Tilaajan laadunvarmistus | 102 |
| 6.2 Rakenteen kestävyys korjaustyön aikana | 69 | 9.1.1 Korjaustyön suunnittelu | 102 |
| 6.2.1 Liikenteen rajoittaminen | 69 | 9.1.2 Urakointimenettely..... | 103 |
| 6.2.2 Tunkkaus ja nostaminen | 70 | 9.1.3 Laatujärjestelmän toimivuuden | |
| 6.2.3 Työnaikaiset tuennat | 71 | seuranta | 103 |
| 6.2.4 Pakkovoimien huomioiminen | | 9.1.3.1 Laatujärjestelmän toimivuuden | |
| korjaustyössä | 72 | hankeauditointi | 103 |
| 6.3 Purkamismenetelmät | 73 | 9.1.3.2 Työ- ja laatusuunnitelmien | |
| 6.3.1 Polttoleikkaus ja muut vastaavat | | tarkastus..... | 103 |
| leikkausmenetelmät | 73 | 9.1.3.3 Työnaikaiset tarkastukset..... | 104 |
| 6.3.2 Sahaaminen, laikkaleikkaus ja muut | | 9.1.3.4 Työn laadun arviointi | 104 |
| mekaaniset leikkausmenetelmät | 74 | 9.2 Urakoitsijan laadunvarmistus | 105 |
| 6.3.3 Räjähdyttämisen | 76 | 9.2.1 Henkilöstön pätevyys..... | 105 |
| 6.3.4 Rakenneosien poistaminen | | 9.2.2 Työ- ja mittausvälineet..... | 105 |
| kokonaisuutena | 76 | 9.2.3 Työnohjaus ja mallityöt | 105 |
| 7 KORJAUSTYÖT | 77 | 9.2.4 Laadunohjaus ja laaduntarkastukset | 105 |
| 7.1 Korjaustöiden laatuvaatimukset | 77 | 9.3 Työnaikaiset tarkastukset ja mittaukset..... | 106 |
| 7.1.1 Valmistusta, asennusta ja pinta- | | 9.3.1 Materiaalien tarkastus | 107 |
| käsittelyä koskevat yleiset laatuvaatimukset .. | 77 | 9.3.2 Konepajatyön tarkastus | 107 |
| 7.1.1.1 Laadunhallinta..... | 77 | 9.3.3 Asennustyön tarkastus | 108 |
| 7.1.1.2 Henkilöstön pätevyys | 77 | 9.3.4 Pintakäsittelyn tarkastus..... | 108 |
| 7.1.1.3 Työtilat ja -välineet | 77 | 9.4 Vaatimustenmukaisuuskokeet | 108 |
| 7.1.2 Materiaalit ja tarvikkeet..... | 77 | 9.4.1 Materiaalien koostumus, lujuus ja | |
| 7.1.3 Osien valmistaminen | 78 | muut mekaaniset ominaisuudet | 108 |
| 7.1.4 Asentaminen | 78 | 9.4.2 Rakenneosien ja rakenteiden | |
| 7.1.5 Pintakäsittely | 79 | mittatarkkuus | 108 |
| 7.1.6 Telineet, suojaus ja jätteen talteenotto .. | 79 | 9.4.3 Silmämääräiset tarkastukset | 109 |
| 7.2 Hitsauskorjaukset | 80 | 9.4.4 Liitosten ainetta rikkomattomat | |
| 7.3 Rakenneosan vaihtaminen | 82 | tarkastukset | 109 |
| 7.4 Oikaiseminen | 84 | 9.4.5 Pintakäsittelyn tarkastukset | 109 |
| 7.5 Säröjen korjaus | 86 | 9.5 Sillan laaturaportti ja korjaustyön | |
| 7.5.1 Särön etenemisen pysäyttäminen | | laatuaineiston taltiointi..... | 109 |
| poraamalla | 86 | 10 RINNAKKAISET OHJEET | 111 |
| 7.5.2 Säröjen korjaaminen hitsaamalla | 87 | 10.1 Muut ohjeet (viiteluettelo) | 111 |
| 7.5.3 Hionta ja hitsien uudelleen muotoilu..... | 88 | 10.2 Standardit | 113 |
| 7.5.4 Muut korjaustavat | 89 | | |
| 7.6 Ruuvi- ja niittiliitosten korjaus..... | 89 | | |
| 7.6.1 Ruuviliitokset | 89 | | |
| 7.6.2 Niittiliitokset | 93 | | |
| 7.7 Vahvistaminen | 95 | | |
| 8 TYÖTURVALLISUUS | 96 | | |
| 8.1 Työturvallisuuden suunnittelu, toteutus ja | | | |
| vastuut | 96 | | |
| 8.2 Työmaan yleisjärjestelyt..... | 97 | | |
| 8.2.1 Työmaan liikennejärjestelyt | 97 | | |
| 8.2.2 Työskentely rautatiealueella..... | 97 | | |
| 8.2.3 Palosuojelu..... | 97 | | |
| 8.2.4 Valaistus..... | 98 | | |
| 8.3 Korjaustöiden työturvallisuus | 98 | | |
| 8.3.1 Turvallisuustarkastukset..... | 98 | | |
| 8.3.2 Henkilönsuojaimet | 98 | | |
| 8.3.3 Putoamisen estäminen..... | 99 | | |
| 8.3.4 Purkutyöt | 100 | | |
| 8.3.5 Teräsrakennetyöt ja pintakäsittely | 100 | | |
| 8.3.6 Nosto- ja siirtotyöt | 100 | | |
| 8.3.7 Tavaranostot | 100 | | |
| 8.3.8 Henkilönostot | 101 | | |
| 8.3.9 Tulityöt..... | 101 | | |
| | | LIITE 1: TERMIT JA MÄÄRITELMÄT | |

Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö 2018

SILKO-projektin terästyöryhmä, rakenneyhmä:

| | |
|--|---|
| Diplomi-insinööri Tomi Harju, pj. | Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö |
| Tekniikan lisensiaatti Timo Tirkkonen, pj. | Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö |
| Diplomi-insinööri Matti Piispanen | Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö |
| Insinööri Arvo Heikkinen | Liikennevirasto, Taitorakenneyksikkö |
| Insinööri (AMK) Timo Heloaro | VR Track Oy / Sweco Rakennetekniikka Oy |
| Diplomi-insinööri Matti Åman | Ramboll Finland Oy |
| Markus Mäkelä | Silta-asennus Mäkelä Oy |
| Tapio Helin | Urakointiasennus M. Rautio Oy |
| Diplomi-insinööri Jukka Törmänen, siht. | Insinööritoimisto Ponvia Oy |

Erikoisasantuntijat:

| | |
|-------------------------------------|-------------|
| Diplomi-insinööri Janne Wuorenjuuri | VR Track Oy |
|-------------------------------------|-------------|

Konsultti: Insinööritoimisto Ponvia Oy

Piirroksat: Kuva 4, 8, 12, 44...47, 74, 75, 85...89: Jukka Törmänen, Insinööritoimisto Ponvia Oy
 Kuva 34, 35, 54, 78: Taitorakennerekisteri
 Kuva 84: Chalmers University of Technology, Hasan Demir

Valokuvat: Kuva 1, 17, 18, 22, 40, 42, 50, 60, 71, 77: Tomi Harju, Liikennevirasto
 Kuva 2, 3, 81: Markus Mäkelä, Silta-asennus Mäkelä Oy
 Kuva 5: A-Insinöörit Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 6, 15, 20, 36, 43: Ramboll Finland Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 7, 16, 31: Vahanen Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 9, 25: WSP Finland Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 11, 21, 23, 24, 29, 37: Inspecta Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 14: Siltaexpert Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 19, 38, 41, 48, 49, 52, 53, 64: Tauno Siltala, Insinööritoimisto Ponvia Oy
 Kuva 26: Destia Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 27: Liikennevirasto, Taitorakennerekisteri
 Kuva 28, 65: Sweco Rakennetekniikka Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 30: Trimcon Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 32, 61, 62, 63, 69: Arvo Heikkinen, Liikennevirasto
 Kuva 33, 51, 57: Aarne Juvonen, WSP Finland Oy
 Kuva 39, 55, 56: VR Track Oy, Taitorakennerekisteri
 Kuva 58, 59, 66: Matti Åman, Ramboll Finland Oy
 Kuva 67, 68, 70: Liikennevirasto, Sillantarkastuskäsikirja
 Kuva 72: Risto Kallio, Insinööritoimisto Ponvia Oy
 Kuva 73: Liikennevirasto, Taitorakenteiden tarkastusohje
 Kuva 76, 79, 83: Tapio Helin, Urakointiasennus M. Rautio Oy
 Kuva 80: Timo Heloaro, Sweco Rakennetekniikka Oy
 Kuva 82: Enerpac (tuote-esite)

Taulukot: Taulukot 1...3, Jukka Törmänen, Insinööritoimisto Ponvia Oy

Taitto: Liikennevirasto

1 YLEISTÄ

1.1 Ohjeen soveltamisala

Tämä ohje on laadittu siltojen korjausohjejärjestelmän eli SILKO-ohjeiston osana. Ohjeessa käsitellään teräsrakenteiden rakenteellisia korjauksia. Ohjetta käytetään vanhoja siltoja ja uudisrakentamisen virheitä korjattaessa

Ohjeen tarkoituksena on esitellä teräsrakenteiden korjausmenetelmiä yleisimmissä silta- ja rakennetyypeissä. Ohjeessa ei käsitellä köysirakenteiden ja niihin liittyvien rakenteiden korjausmenetelmiä. Ohjeessa esitetään keskitetysti korjaustöihin liittyviä työsuojelu- ja ympäristönsuojeluohjeita.

Ohje täydentää ohjetta *SILKO 1.301 Metallit sillankorjausmateriaalina /1/*. Ohje on yleisohje, jota täydentävät *SILKO 1.351 Pintakäsittely /2/ ja yksityiskohtaiset korjausohjeet /3/*.

Ohje täydentää myös standardin SFS-EN 1090-2 soveltamisohjetta *Teräsrakenteiden toteutus-NCCI T /4/*.

Ohjeessa ei käsitellä teräsputkisiltoja. Teräsputkisiltojen korjauksessa noudatetaan *SILKO-ohjetta 2.341 Teräsputkisillan korjaaminen /5/ ja ohjetta Teräsputkisillat suunnitteluohje /6/*.

Terästä materiaalina on käsitelty *SILKO-ohjeessa 1.301 Metallit sillankorjausmateriaalina /1/*, joten tässä ohjeessa ei käsitellä terästä materiaalina. Teräslajien jaottelu on esitetty *SILKO-ohjeen 1.301 kohdassa 2.2.4. Kantavien rakenteiden teräslaatuja on esitelty SILKO-ohjeen 1.301 kohdassa 1.2.4*

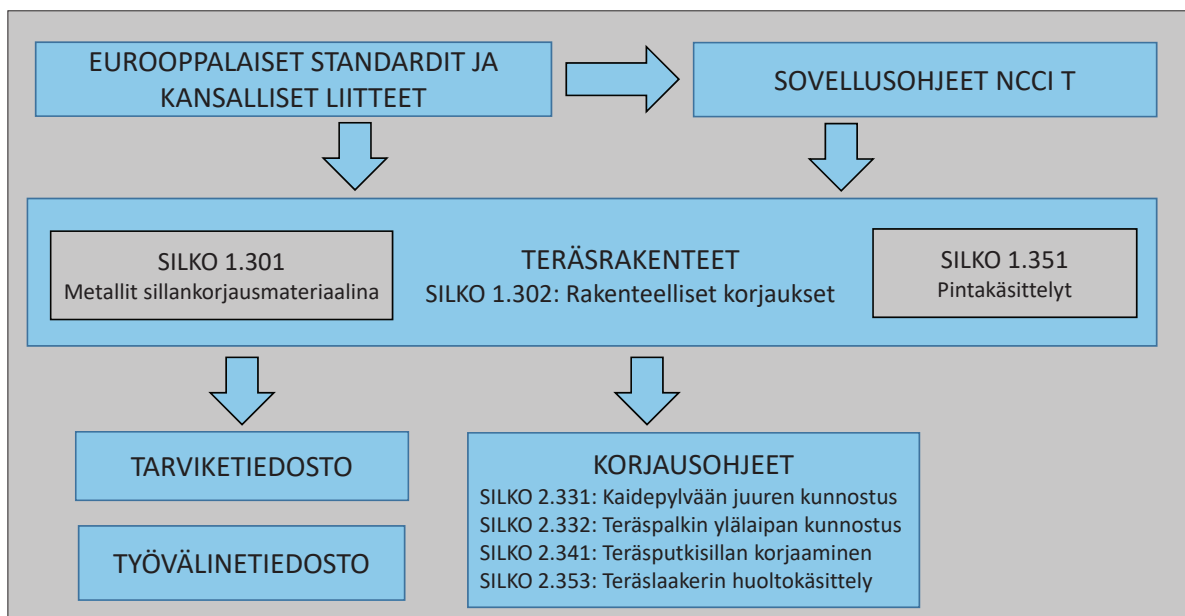
sekä laakereiden, nivelten ja avattavien siltojen koneiston osien valmistuksessa käytettyjä teräslaatuja kohdassa 1.2.3. Teräksen valmistusta, muokkausta, lämpökäsittelyä ja työstämistä on esitelty SILKO-ohjeen 1.301 kohdissa 2.2.1...2.2.3. Eri teräslaatuojen käyttöä vanhoissa siltarakenteissa on selvitetty SILKO-ohjeen 1.301 kohdassa 1.2.1. Nykyisten EN-standardien vertailu aikaisempiin standardeihin ja standardien vastaavuudet erityisesti terästen tärkeimpien mekaanisten ominaisuuksien osalta on esitetty SILKO-ohjeen 1.301 taulukoissa 1 ja 2. Vanhojen siltarakenteiden liitoksien ominaispiirteitä sekä niitti- ja ruuviliitosten vanhoja teräslaatuja on selvitetty SILKO-ohjeen 1.301 kohdassa 1.2.2. Eri metallien yhteensopivuus on esitetty tarkemmin SILKO-ohjeen 1.301 taulukossa 3. Eri metallien yhteensopivuus on esitetty SILKO-ohjeen 1.301 taulukossa 3 ja teräksen korroosiota on käsitelty kohdassa 2.6.

Teräsrakenteiden suunnittelussa noudatetaan Eurokoodin soveltamisohjetta *Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu NCCI 4 /30/*.

Ohje liittyy Eurooppalaiseen standardeihin ja muihin ohjeisiin kuvan 4 mukaisesti.

Täydentäviä tietoja on saatavissa myös muista alan julkaisuista.

Ohjeen käyttäjän tulee ottaa huomioon viitteissä mahdollisesti tapahtuneet muutokset.



Kuva 4. Ohjeen liittyminen muihin ohjeisiin ja standardeihin

1.2 Terässiltojen historia Suomessa

1.2.1 Teräsiltatyypien aikakaudet

Maamme ensimmäiset terässillat olivat Saimaan kanavan rakennustyön yhteydessä vuosina 1845–1856 rakennetut rullasillat ja Strömman kanavan rullasilta.

Vuonna 1862 käyttöön otetulle Helsinki–Hämeenlinna-rautatielle Vantaanjoen yli rakennettiin Suomen ensimmäinen rautasilta. Se suunniteltiin sekä valmistettiin Englannissa, josta saman vuosikymmenen lopulla hankittiin ensimmäinen suur-siltamme, Kymijoen rautatiesilta Koriolla (kuva 5). Rautatierakennuksista vastasi vuonna 1860 toimintansa aloittanut tie- ja vesikulkulaitosten ylläpito. Sille kertyi tällä tavoin asiantuntemusta, jota alettiin hyödyntää myös maantiesiltojen rakentamisessa. Tientekovelvollisten siltahankkeiden avustamisen ohella valtio alkoi 1860-luvulla itse rakennuttaa myös maantiesiltoja.

Rautatiesillat hallitsivat Suomen sillanrakennusta 1920-luvulle saakka. Englannin jälkeen asiantuntemusta sekä terässiltoja ostettiin Saksasta aina ensimmäiseen maailmansotaan saakka. Valtaosa rautatiesilloista oli terässiltoja, joissa vallitsevaksi tyyppiä tulivat erilaiset ristikkosillat. Jänteeltään pisin - 125-metrinen - Suomessa koskaan rakennettu teräsristikkosilta valmistui jo vuonna 1908 Savonlinnan Kyrönsalmeen. Pohjois-Suomen suurten jokien ylitykseen jouduttiin rakentamaan monijänteisiä suursiltoja, kuten esimerkiksi Kemijoen Vähähaaran 5-jänteinen 370-metrinen teräsristikkosilta, joka otettiin käyttöön vuonna 1903. Kemijoen teräsristikkosillat olivat Suomen suurin siltarakennelma vuodesta 1903 vuoteen 1944, jolloin ne tuhottiin sodassa. 1900-luvun alussa valantateräksestä valmistetut siltarakenteet olivat kapealaippaisista terässauvoista niittaamalla koottuja ristikkosiltoja.

Koska rautateitä pidettiin tärkeimpänä maaliikennevälineenä, maanteiden kehittäminen jäi toissijaiseksi ennen 1920-lukua ja moottoriajoneuvojen käyttöönottoa. Terässiltoja tehtiin maantieliikennettä varten vain poikkeustapauksissa.

Maanteillä lyhyet teräspalkkisillat sekä teräsristikkorakenteet yleistyivät 1920-luvulla betonisiltojen rinnalla. Suurimmat maanteiden ristikkosillat valmistuivat 1930-luvulla: Lauttasaaren vanha silta vuonna 1935 ja Tornion silta sekä Kuukaupin silta Vuoksen yli Antreassa vuonna 1939. Tornion vanha silta vuodelta 1939 oli suurin tiesilta (kuva 6). Sen kokonaispituus on 252 metriä ja pääjänne 108-metrinen.

Suomen päätieverkosto rakennettiin pääosiltaan 1950- ja 1960-luvulla. Lossit eivät tulleet enää kysymykseen, kun valtatie ylittivät vesistöjä, joten pienten siltojen lisäksi jouduttiin rakentamaan myös varsin kookkaita siltarakenteita. Rautateillä vanhojen siltojen uusimisesta nopeampia ja raskaampia junia varten tuli entistä tärkeämpää. Myös tasoristeyksiä alettiin korvata turvallisemmilla silloilla. Ensimmäiset moottoritiet toivat 1960-luvulla risteysillat maanteille ja vähitellen eritasoristeyksiä alettiin rakentaa myös vilkkaimmille tavallisille teille.

Siltojen tekniset ratkaisut monipuolistuivat 1950-luvulla, eikä ylläpitokustannuksiltaan kalliita niitattuja teräsristikkosiltoja rakennettu entiseen tapaan. Riippusillat olivat olleet harvinaisia ennen 1950-lukua, mutta vuosina 1957–1969 rakennettiin seitsemän suurehkoa riippusiltaa osittain tanskalaista asiantuntemusta hyväksikäyttäen. Vuonna 1964 valmistuneessa Kirjalansalmen riippusillassa (kuva 7) oli Suomen maanteiden pisin siltajänne 220 m aina vuoteen 1997 saakka, jolloin Raippaluodon silta valmistui. Hännilänsalmen riippusilta Viitasaarella valmistui vuonna 1962. Sen pääjänneen pituus oli 125 metriä. Silta on korvattu betonirakenteisella sillalla vuonna 2009.

Toinen ajanjaksolle luonteenomainen siltatyyppi oli teräskaarinen langerpalkkisilta, joita rakennettiin parikymmentä kappaletta. Niistä ensimmäinen oli jänteeltään 100-metrinen Jännevirran silta Kuopiossa. Useita langer-palkkisiltoja tehtiin silloisen TVH:n siltaosaston laatimilla tyyppi- ja tyypipiirustuksilla. Viimeinen tyyppisuunnitelmilla toteutettu silta on vuonna 1976 valmistunut Haukiperrän silta Suomussalmella. Myös vuonna 1965 rakennettu 65-metrinen Ahvenkosken voimalaitoksen alakanavan silta Pyhtään ja Ruotsinpyhtään rajalla on toteutettu tyyppisuunnitelmilla. Tämän aikakauden jälkeen on rakennettu vain muutamia suuria langer-palkkisiltoja. 1990-luvulla venäläiset suunnittelivat ja rakensivat jännemitaltaan 120-metrinen Pörrin langer-palkkisillan. Vuonna 2013 rakennettiin jännemitaltaan 90-metrinen yksikaarinen Ahvenkosken langer-palkkisilta.

Ensimmäinen Suomessa rakennettu liittopalkkisilta on Läsäkosken silta Mikkelissä vuodelta 1955. Liittopalkkisillat syrjäyttivät hyvin nopeasti 1970-luvun lopulla tavanomaisten teräspalkkisiltojen käytön vesistösiltoina ja vähensivät myös jännitettyjen betonisiltojen käyttöä vesistösiltoina. Rautateillä liittorakenteinen palkkisilta on harvinaisempi siltatyyppi ja niitä on rautateillä vain muutama kappaletta.

Ensimmäiset vinoköysisillat maanteillemme rakennettiin 1980-luvun lopussa ja 1990-luvun alussa. Tätä aikaisemmin oli jo rakennettu joitakin vinoköysisilloja kevyelle liikenteelle. Suurimmat vinoköysisillamme ovat vuonna 1993 valmistunut Tähtiniemen silta Heinolassa ja vuonna 1997 valmistunut Raippaluodon silta Mustasaarella.

1980-luvulta lähtien terässillat on tehty mahdollisimman valmiiksi konepajalla.

Teräsputkisilloja alettiin käyttää 1930-luvulla, mutta niiden käyttö yleistyi maanteillä 1960-luvulla. Rautateillä teräsputkisilloja alettiin käyttää 1960-luvulla. Teräsputkisillat on aina suojattu kuumasinkityksellä.

Viimeiset niitaamalla kootut sillat tehtiin 1962 Sukevalle. Samana vuonna tehtiin ensimmäiset hitsaamalla kootut sillat, sitten 1930-luvun koe- luontoisesti hitsaamalla koottujen rautatiesiltojen jälkeen.

Rautateiden teräsrakenteisia kaukalopalkkisilloja, joissa on tukikerros, on tehty noin 30 vuoden ajan. Teräsrakenteisia kaukalopalkkeja on käytetty usein päällysrakenteen vaihdon yhteydessä.

Terässiltojen historiaa on selvitetty tarkemmin teoksessa *Siltojemme historia 171*.

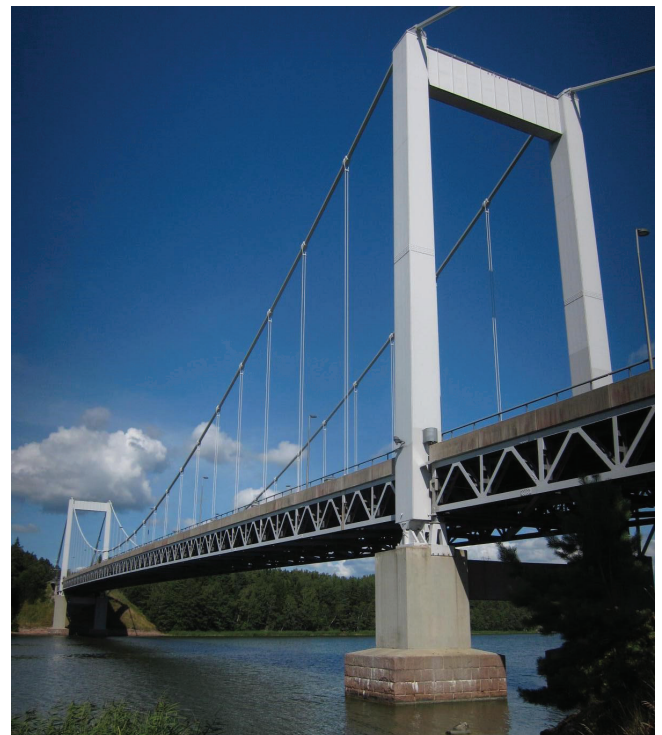
Vuonna 1992 silloinen Tiehallitus julkaisi ensimmäisen kerran Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset (SYL). Tätä ennen käytettiin kohdekohtaisia laatuvaatimuksia. Teräsrakenteiden laatuvaatimukset oli esitetty osassa SYL 4 – Teräsrakenteet. Vuoden 2009 alusta alkaen Liikenneviraston hankkeissa otettiin käyttöön InfraRYL 2006 Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat, joka korvasi Sillanrakentamisen laatuvaatimukset (SYL). Vuonna 2014 otettiin käyttöön teräsrakenteiden toteuttamisessa soveltamisohje NCCI T/4/, joka korvasi InfraRYL 2006:n teräsrakenteiden toteuttamisen osalta.



Kuva 5. Kymijoen (Korian) rautatiesilta Elimäellä on rakennettu 1870.



Kuva 6. Tornion vanha teräksinen ristikkosilta vuodelta 1936 oli Suomen siihen asti suurin tiesilta.



Kuva 7. Kirjalansalmen riippusillassa oli Suomen maanteiden pisin siltajänne 220 m aina vuoteen 1997 saakka. Silta valmistui vuonna 1964.

1.2.2 Siltojen suunnittelukuormien historia

Sillan rakenteellisten korjaustöiden tekeminen edellyttää aina rakennussuunnitelmien laatimista ennen korjaustöihin ryhtymistä. Rakennussuunnitelmien laatimisen alkuvaiheessa selvitetään korjattavan sillan alkuperäiset suunnittelukuormat. Yleensä suunnittelukuormat selviävät sillan piirustuksista tai muista sillan rakentamisaikaisista asiakirjoista, myös Taitorakennerekisteristä saa tietoa sillan suunnittelukuormista. Taitorakennerekisteristä saatavia kuormitustietoja tulee verrata rakentamisaikaisissa asiakirjoissa ilmoitettuun kuormiin, koska Taitorakennerekisterin kuormitustiedoissa on havaittu olevan virheitä.

Ensimmäinen tiesiltojen suunnittelua koskeva ohje on annettu kiertokirjeellä vuonna 1891. Ensimmäiset siltojen suunnittelua ohjaavat teknilliset määräykset ovat vuodelta 1921. Nykyiset Euronormeihin pohjautuvat suunnittelukuormat otettiin suunnittelussa käyttöön 1.6.2010. Euronormin mukaiset kuormat on selvitetty tarkemmin Liikenneviraston julkaisussa Eurokoodin sovellusohje, *Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet NCCI 1* /8/. Tiesiltojen suunnittelukuormien kehitystä on selvitetty tarkemmin *Taitorakenteiden tarkastusohjeen* /9/ liitteessä 6.

Suomen ensimmäiset rautatiesillat olivat teräs-rakenteisia. Sillat tilattiin Englannista 1860-luvun alussa eikä niiden laskelmien perusteena käytetyistä kuormitusoletuksista ole tarkkaa tietoa. Suunnitteluperusteina lienee käytetty kyseisten maiden kansallisia ohjeita. Siltojen teräksisten päällysrakenteiden kantavuudet on suuremmalta osin selvitetty tai kantavuusselvitys on työn alla. Vanhojen teräsiltojen perustusten kantavuutta ei ole selvitetty yhtä laajasti kuin teräsrakenteisten päällysrakenteiden kantavuutta. Ensimmäiset viralliset normit rautatiesiltojen suunnittelua varten julkaistiin vuonna 1910.

Tällä hetkellä on käytössä kuormakaavio LM71-35, jonka Ratahallintokeskus vahvisti vuonna 2001 käytettäväksi kuormakaavioksi ja joka on vuonna 2010 päivitetty osana Eurokoodeja. Tällä hetkellä voimassa olevat kuormat on selvitetty tarkemmin Liikenneviraston julkaisussa *Eurokoodin sovellusohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet* /8/. Rautatiesiltojen suunnittelukuormien kehitystä on selvitetty tarkemmin *Taitorakenteiden tarkastusohjeen* /9/ liitteessä 7.

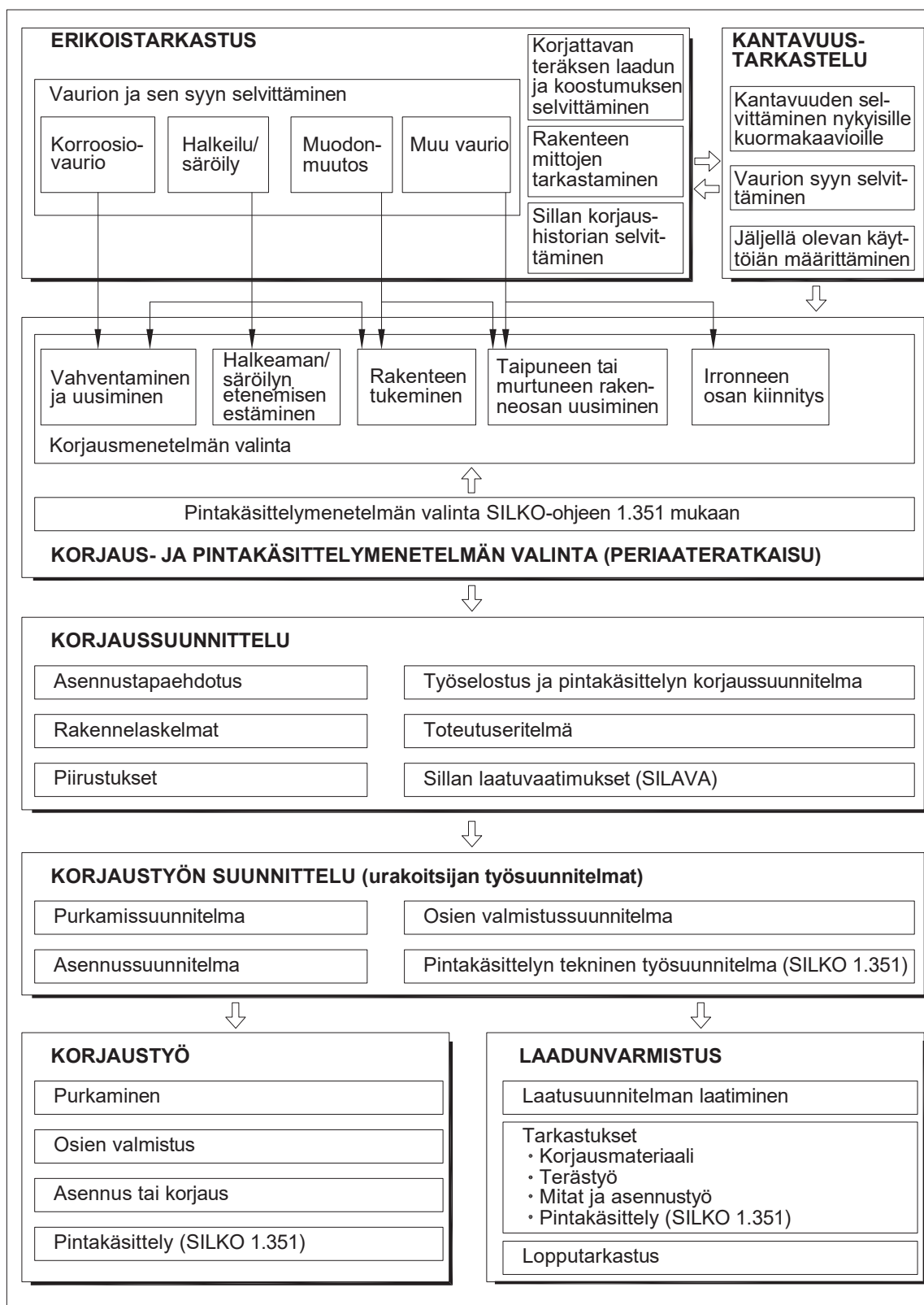
Suunnittelukuormien kehityksestä on kattava kuvaus julkaisussa *Siltojemme historia* /7/.

1.3 Teräsrakenteiden korjaukseen liittyvät käsitteet

1.3.1 Teräsrakenteiden korjaustyön vaiheet

Teräsrakenteiden korjaustyön päävaiheita ovat erikoistarkastus, kantavuustarkastelu, korjausmenetelmän valinta, korjaussuunnittelu, korjaustyön

suunnittelu (urakoitsijan työsuunnitelmat), sekä korjaustyö ja sen laadunvarmistus, jotka jakaantuvat työvaiheisiin kuvan 8 mukaisesti.



Kuva 8. Teräsrakenteen korjaustyön vaiheet sillankorjauksessa

1.3.2 Termit ja määritelmät

Metalleja kuvaava käsitejärjestelmä on esitetty *SILKO-ohjeen 1.301 Metallit sillankorjausmateriaalina /1/* liitteessä 1. Rauta- ja terästuotteiden lämpökäsittelysanasto on esitetty standardissa SFS-EN ISO 4885.

Siltojen eri rakenneosien termit on esitetty *Sillan tarkastuskäsikirjan /10/* liitteessä 2 ja *Taitorakenteiden tarkastusohjeen /9/* kohdassa 2.2.6.

Terästen pintakäsittelyä koskevat termit on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* liitteessä 1.

1.3.3 Merkinnät

Teräksen ja alumiinin merkintää piirustukseen ja tilaukseen on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.301 Metallit sillankorjausmateriaalina /1/* kohdassa 1.4.3. Samassa kohdassa on esitetty myös eri metallien ohjeteksteissä esiintyvät kemialliset lyhenteet. Terästen pintakäsittelyä koskevat merkinnät on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 1.6.3.

Hitsausliitosten merkinnät on esitetty standardissa SFS-EN ISO 2553.

1.3.4 Rakenne- ja toteutusluokat

Teräsrakenteiden toteutusluokan valitsee suunnittelija ja hyväksyytään sen tilaajalla.

Nykyisin ajoneuvo- ja rautatiesiltojen sekä vaativien kevyen liikenteen siltojen kantavuuden kannalta keskeiset teräsrakenneosat toteutetaan toteutusluokassa EXC 3. Toteutusluokkaa EXC 4 käytetään vain suurten ja/tai erikoisrakenteisten ajoneuvo- ja rautatieliikenteen siltojen kantavuuden kannalta keskeisille osille. Toteutusluokkaa EXC 2 käytetään normaaleille kevyen liikenteen silloille. Toteutusluokkaa EXC 1 ei käytetä lainkaan silloissa. Edellä esitetyt toteutusluokan valintaohjeet ovat yleispiirteisiä. Toteutusluokka tulee aina esittää yksiselitteisesti suunnitelmissa. Toteutusluokka voi vaihdella rakenneosittain. Toteutusluokan valintaa on käsitelty sovellusohjeessa NCCI T /4/.

Sillat kuuluvat seuraamusluokkiin CC2 ja CC3. Karkeasti luokiteltuna vain erittäin suuret ja vaativat sillat kuuluvat seuraamusluokkaan CC3 ja muut sillat seuraamusluokkaan CC2.

Aikaisemmin käytössä oli Suomen rakentamismääräyskokoelman osan B7 mukaiset rakenneluokat. Sillat kuuluivat rakenneluokkaan 1. Muita rakenneluokkia olivat 2 ja 3, joihin kuuluivat vaatimattomammat rakenteet.

Liikennevirasto edellyttää varsinaisten siltojen suunnittelijoilta 1.9.2013 alkaen pätevyyttä, jonka myöntää Fise Oy. Terässiltojen korjausrakentamisessa vastaa-valla suunnittelijalla tulee olla teräsrakenteiden suunnittelijapätevyys poikkeuksellisen vaativassa luokassa tai AA-vaativuusluokassa Liikenneviraston ohjekirjeen Sillansuunnittelijan pätevyys http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/ohje_2015_sillansuunnittelijan_patevyys_web.pdf mukaisesti, jos korjauksen suunnittelu edellyttää lujuuslaskelmien laatimista. FISE-vaatimus koskee rakennesuunnittelua. Vaatimus koskee varsinaisia siltoja, ei putkisiltoja.

2 SILTA- JA RAKENNETYYPIT

2.1 Teräsiltojen tyypit

2.1.1 Teräspalkkisillat

Palkkisilta on vanhin teräsilta-tyyppi. Palkkisillan perusmuodossa molemmista päistään tuettu palkki kantaa silta-aukon eli jänteen yli. Ensimmäiset teräspalkkisillat Suomessa rakennettiin jo Saimaan kanavan rakennustöiden yhteydessä 1844–1853. Suomessa palkkisillat ovat tavanomaisin teräsilta-tyyppi ja niitä on käytetty yleisimmin jänteiltään lyhyehköissä silloissa ja liittorakenteisina myös pitkäjänteisissä silloissa.

Teräspalkkisilloja on rakennettu yksiaukkoisina (kuva 9.) ja jatkuvina palkkisiltoina. Jatkuvassa teräspalkkisillassa pääpalkit ulottuvat päätytuolta toiselle yhtenäisinä eikä välitukien kohdilla ole liikuntasauvoja. Yksiaukkoisissa ja lyhytjänteisissä moniaukkoisissa silloissa pääpalkit ovat yleensä viisteettömiä eli pääpalkin korkeus ei kasva tuilla vaan pääpalkin korkeus pysyy samana koko sillan pituudella. Ulokepalkkisillassa pääpalkkeja ei tueta päistään vaan palkin päät ulottuvat tukien ohitse.

Pääpalkkeja on yleensä vähintään kaksi kappaletta. Pääpalkit on yhdistetty toisiinsa teräksisillä poikkipalkkeilla tai -ristikoilla ainakin pääty- ja välitukien kohdilla. Pääpalkkien vaakasuuntainen jäykistys erityisen pitkillä jänneväleillä (>50...70m) on toteutettu teräksisellä vaakaristikolla. Pääpalkkien uumat on yleensä jäykistetty lommahdusta vastaan uuman pintaan hitsatuilla jäykistelevyillä ja vanhoissa niitatuissa silloissa uumaan pintaan niittaamalla kiinnitetyillä L-profiileilla.

Lyhyt jänteisissä ja matalapalkkisissa pienissä ajoneuvo- ja kevyenliikenteensilloissa poikkipalkit voivat olla myös puurakenteisia.

Tiesilloissa kansirakenne on valmistettu yleensä betonista tai puusta. Vanhemmissa teräspalkkisilloissa betoninen kansilaatta ei toimi liittorakenteena yhdessä teräspalkkien kanssa. Ratasilloissa tämän tyyppisiä kansirakenteita on tehty vielä 1990-luvun alussa. Uudemmissa silloissa teräsbetoninen kansilaatta ja teräspalkit toimivat liittorakenteena. Liittopalkkisilloja on käsitelty kohdassa 2.1.2.

Puukantaisia 1-aukkoisia ajoneuvoliikenteen teräspalkkisilloja on rakennettu tyyppipiirustusten TR/1...TR/63 mukaisesti vuodesta 1929 aina

1970-luvulle saakka. Näissä silloissa jännevälit vaihtelevat 6 metristä 22 metriin. Teräspalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty niittaamalla tai ruuviliitoksina. Pääpalkkien välissä poikkirakenteena on käytetty sidetankoja tai teräksisiä poikkipalkkeja tai ristikoita. Osassa tyyppisilloista on käytetty myös pituussuuntaisia sekundääripalkkeja, jotka tukeutuvat poikkipalkkeihin.

Puukantaisia jatkuvia ajoneuvoliikenteen teräspalkkisilloja on rakennettu tyyppipiirustusten TC/1...4 mukaisesti vuodesta 1960 aina 1970-luvulle saakka. Sillat ovat 2-, 3- tai 4-aukkoisia ja yhdessä tyyppisilloista teräspalkit eivät ole jatkuvia vaan sillassa on kaksi 1-aukkoista päällysrakenteen palkistoa. Näissä silloissa jännevälit vaihtelevat 10,4 metristä 20,15 metriin. Teräspalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty niittaamalla tai ruuviliitoksina. Pääpalkkien välissä poikkirakenteena on käytetty sidetankoja tai teräksisiä poikkipalkkeja tai tuilla päätykehiä.

Teräsbetonikantaisia 1-aukkoisia ajoneuvoliikenteen teräspalkkisilloja on rakennettu tyyppipiirustusten TD/1...TD/49 mukaisesti vuodesta 1936 aina 1970-luvun loppupuolelle saakka. Näissä silloissa jännevälit vaihtelivat 10 metristä 20 metriin. Teräspalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty pääsääntöisesti niittaamalla, mutta myös sorvattuja ruuveja on käytetty. Teräspalkkeissa ei ole vaarnoituksia yhtä silta-tyyppiä lukuun ottamatta. Yleensä pääpalkkien välissä poikkirakenteena on käytetty teräksisiä poikkipalkkeja tai ristikoita sekä päätytuilla kehiä. Muutamissa näistä tyyppisilloista on käytetty myös betonisia pääty- ja poikkipalkkeja. Osassa tyyppisilloista on käytetty myös pituussuuntaisia sekundääripalkkeja, jotka tukeutuvat poikkipalkkeihin. Yhdessä tyyppisillassa teräspalkit ovat kokonaan betonikannen sisässä. Tyyppisuunnitelmissa on myös 1-aukkoisen liittopalkkisilta, jonka jännemitta on 52 m. Tässä silta-tyypissä vaarnat ovat tehty lenkeistä ja neliöteräksistä.

Teräsbetonikantaisia jatkuvia ajoneuvoliikenteen teräspalkkisilloja on rakennettu tyyppipiirustusten TE/1...TE/17 mukaisesti vuodesta 1954 aina 1970-luvun loppupuolelle saakka. Näissä silloissa jännevälit vaihtelevat 10 metristä 60 metriin ja sillat ovat 2-, 3- tai 4-aukkoisia. Lyhyt jänteisimmissä silloissa TE/1...12 teräspalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty pääsääntöisesti niittaamalla,

mutta myös sorvattuja ruuveja on käytetty. Pitempi aukkoisissa tyyppisilloissa TE/13...17 teräspalkit ovat hitsattuja levypalkkeja ja lisäksi tyyppisillassa TE/13 palkit ovat viisteelliset. Näissä silloissa liitokset on tehty HV-ruuveja käyttämällä. Teräspalkeissa ei ole vaaroituksia. Yleensä pääpalkkien välissä poikkirakenteena on käytetty teräksisiä poikkipalkkeja tai ristikoita. Muutamissa tyyppisilloissa on käytetty myös betonisia pääty- ja poikkipalkkeja.

Rautatiesilloissa on käytetty siltatyyppiä, jossa pääpalkit ovat sillan molemmilla reunoilla ja raiteet sijaitsevat pääpalkkien keskilinjan tasossa tai sen alapuolella. Siltatyyppistä käytetään yleisesti nimitystä ajorata-alhaalla tyyppinen silta. Pääpalkit on yhdistetty toisiinsa poikkipalkeilla. Poikkipalkkien päällä tai niiden tasossa on pituussuuntaiset sekundääripalkit, joiden päälle on asennettu puiset ratapölkkyt ja raiteet (kuva 10). Rautatiesilloissa on yleisesti käytetty myös palkkisiltatyyppiä, jossa on kaksi pituussuuntaista pääpalkkia ja raiteet sijaitsevat pääpalkkien yläpuolella. Siltatyyppistä käytetään yleisesti nimitystä ajorata-ylhäällä tyyppinen silta. Tällöin ratapölkkyt tukeutuvat suoraan pääpalkkeihin (kuva 11).

Levypalkkisilta-termiä käytetään yleisesti palkkisilloista, joiden pääkannattimet muodostuvat hitsaamalla tai niittaamalla kootuista kapeista ja korkeista teräspalkeista. Viimeiset rautateiden niittaamalla kootut levypalkkisillat asennettiin Sukevalle vuonna 1962. Samana vuonna valmistuivat ensimmäiset hitsatut levypalkkisillat, tosin 1930-luvulla tehtiin jo muutamia hitsaamalla koottuja siltoja.



Kuva 9. Yksiaukkoinen teräksinen ajoneuvo-liikenteen palkkisilta



Kuva 10. Rautatiesilloissa käytetty teräspalkiston tyyppi, jossa raiteita kantavat sekundäärirakenteet sijaitsevat pääpalkkien alaosan tasolla.



Kuva 11. Rautatiesilloissa yleisesti käytetty teräspalkiston tyyppi, jossa raiteet sijaitsevat pääpalkkien yläpuolella ja ratapölkkyt tukeutuvat suoraan pääpalkkeihin.

2.1.2 Liittopalkkisillat

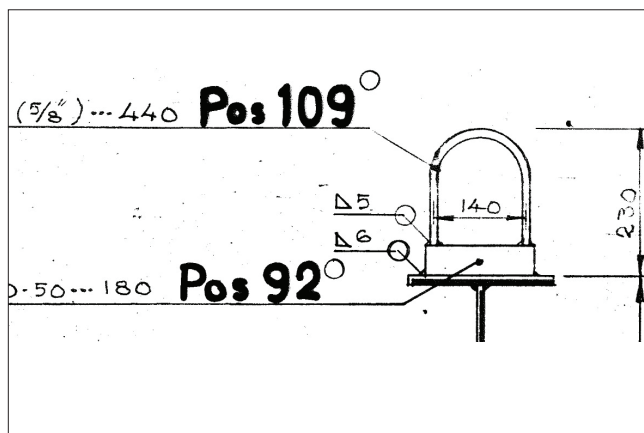
Nykyään pitkät palkkisillat ovat yleensä liittorakenteisia eli teräksinen palkki ja betoninen kansilaatta liitetään toisiinsa vaaroituksella yhtenäiseksi kantavaksi liittorakenteeksi. Liittopalkkisiltojen rakentamisen alkuvaiheessa käytettiin vaaroina muototeräksiä ja terästangoista taivutettuja lenkkejä (kuva 12). Myöhemmin, kun tappihitsauslaitteet yleistyivät, siirryttiin tappivaarointien käyttöön (kuva 13). Ne jäivätkin lähes yksinomaan ainoaksi käytetyksi liitosvaarointityypiksi. Ensimmäinen tappivaaroinilla varustettu liittopalkkisilta tehtiin 1978.

Teräksisiä pääpalkkeja on yleensä vähintään kaksi kappaletta. Pääpalkit on yhdistetty toisiinsa teräksillä poikkipalkeilla tai -ristikoilla ainakin pääty- ja välitukien kohdilla. Pääpalkkien alalaippojen taso on pitkällä jänneväleillä jäykistetty vaakasuunnassa teräsrakenteisella tuuliristikolla. Palkkien uumat on jäykistetty lommahdusta vastaan uuman pintaan hitsatuilla jäykistelevyillä.

Liittopalkkisilloja on rakennettu yksiaukkoisina ja jatkuvina liittopalkkisilloina (kuva 14). Yksiaukkoisissa ja lyhytjänteisissä moniaukkoisissa silloissa teräspalkit ovat yleensä viisteettömiä. Jatkuviissa pitkäjänteisissä silloissa on käytetty myös viisteellisiä palkkeja. Liittopalkkisilloja on tehty myös ulokkeellisina, joissa palkkia ei tueta päistään vaan palkin päät ulottuvat tukien ohitse.

Yksiaukkoisia liittopalkkisilloja on tehty runsaasti Tielaitoksen 1970- ja 1980-lukujen vaihteessa sekä 1990-luvun alussa suunnitteluttamilla tyyppi-piirustussarjojen Tp I/1...38 (1979), Tp II/1...38 (1981, 1991) ja Tp III/1...32 (1993) mukaisilla suunnitelmilla (kuva 15.). Sillan hyödyllinen leveys on 3,5, 4,5, 6,5, 7,5, 8,5 tai 10,5 metriä ja sillan jännemitat vaihtelee 15,4 metristä 37,45 metriin. Pääpalkkeina on kaksi hitsattua levypalkkia. Teräsbetoninen kansilaatta on suunniteltu paikalla valettavaksi tai elementtirakenteiseksi.

Suomen pisin palkkisiltajänne on Puumalassa vuonna 1995 valmistuneen Saimaan sillan 140-metrinen teräksinen viisteellinen liittorakenteinen pääjänne.



Kuva 12. Terästangosta taivutettu vaarna, tyyppi-piirustus TK3-7m.



Kuva 13. Tappivaarna



Kuva 14. Jatkuva viisteellinen liittopalkkisilta



Kuva 15. Tyyppi-piirustussarjan mukaisen yksiaukkoisen liittopalkkisillan päällysrakenne.

2.1.3 Kotelopalkkisillat

Kotelopalkkisillan etuna tavalliseen palkkisillan verrattuna on sen suuri vääntöjäykkyys. Kotelopalkkisilloja on käytetty leveillä silloilla, joissa liikennekuorman epäkeskisyys on suuri tai jostakin muusta syystä on tarvittu päällysrakennetta, jolla on suuri vääntöjäykkyys.

Kotelopalkkisillan kansilaattana voi olla teräsbetoninen kansi tai ortotrooppinen teräskansi. Yleensä teräsbetoninen kansilaatta toimii liittorakenteena yhdessä teräskotelon kanssa. Kotelopalkkisilloissa on kuitenkin joskus käytetty keveyden vuoksi ortotrooppista teräskantta. Etenkin avattavissa silloissa on useimmiten käytetty ortotrooppikantta keveyden vuoksi. Sen muodostavat yhtenäinen, yli koko ajoradan ulottuva 12...20 mm paksuteräslevy, joka on jäykistetty levyn alapintaan hitsatuilla pitkittäisrivoilla ja 2...3 metrin välein sijaitsevilla poikkikannattimilla (kuva 16). Pitkittäisrivat voivat olla avonaisia tai umpinaisia. Umpinaisten ripojen etuna on niiden suuri vääntöjäykkyys. Asfaltin paikoillaan pysyminen on yleensä varmistettu muototeräksien avulla. Yleensä on käytetty yksikoteloista rakennetta, mutta myös kaksikoteloisia rakenteita löytyy jonkin verran.

Kotelopalkkisilloja on käytetty pääasiassa suurissa silloissa jatkuvina palkkirakenteina. Usein ne ovat muuttuva korkeuksisia eli kotelopalkki on korkeampi tuilla kuin aukossa.



Kuva 16. Kotelopalkkisilta, jossa on ortotrooppinen teräskansi.

2.1.4 Kaukalopalkkisillat

Ratasilloissa, varsinkin niiden päällysrakenteiden uusimisen yhteydessä, on käytetty kaukalopalkkirakennetta, jossa pääkannattimina toimivat hitsatut I-palkit on yhdistetty poikkipalkkien ja pohjalevyn muodostamalla rakenteella. Kaukalopalkkirakennetta on käsitelty tarkemmin kohdassa 2.2.8.2. Kaukalopalkkisillat ovat yleensä yksiaukkoisia siltoja, joissa laakerit sijaitsevat pääkannattimien alla.

2.1.5 Ristikkosillat

Ensimmäiset rautateille rakennetut ristikkosillat olivat ajorata-ylhäällä tyyppisiä terässilloja, joissa pääkannattimina toimivat ristikot sijaitsevat kansitason alapuolella (kuva 17).

Yleisemmin käytössä olevassa ristikkosiltatyyppissä pääkannattimina toimivat ristikot on sijoitettu sillan kansitason yläpuolelle sillan molemmille reunoille (kuva 18). Yleensä pääristikot on yhdistetty yläpaarten ta-sossa vaakaristikoilla tai -sauvoilla toisiinsa. Yleensä yläpaarten muoto on vaakasuora, mutta yläpaarten muoto voi olla myös kaareva. Rautatiesilloissa alapaarteet on yhdistetty toisiinsa pääsääntöisesti poikkipalkkeilla, joiden varaan on tuettu pituussuuntaiset sekundääripalkit. Pituussuuntaisten sekundääripalkkien päälle tukeutuvat ratapölkkyt ja raidekiskot. Alapaarten taso on jäykistetty vaakaristikoilla tai tuulisiteillä. Ristikkosiltojen sauvat olivat 1960-luvulle saakka niittaamalla levyistä ja L-profiileista koottuja avonaisia profiileja. Sauvojen liitokset on tämän tyyppisissä silloissa tehty myös niittiliitoksina (kuva 19.). Viimeinen niitattu ristikkosilta asennettiin Simojoen ylittävälle radalle vuonna 1964.

Ensimmäiset sillat, joissa sauvojen liitokset tehtiin kitkaliitoksina esijännitetyillä ruuveilla, tehtiin 1960-luvun alussa (kuva 20). Näissä silloissa paarteina ja sauvoina käytettiin hitsaamalla koottuja umpinaisia koteloprofiileja tai avonaisia profiileja.

Puukantaisia ajoneuvoliikenteen teräsristikkosillat on rakennettu tyyppiirustusten TR/1...TR/10 mukaisesti vuodesta 1927 aina 1970-luvulle saakka. Näissä silloissa jännemitat vaihtelevat 20 metristä 60 metriin. Ajorata näissä silloissa sijaitsee alhaalla lukuun ottamatta tyyppisilltaa TR/10, jossa ajorata sijaitsee ylhäällä. Ristikon sauvat ovat muotoprofiileista ja levyistä niittaamalla koottuja. Pituussuuntaiset sekundääripalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty niittaamalla. Alapaarteiden

välissä on levyistä ja muototeräksistä niittaamalla kootut poikkipalkit. Normaaliپیrustusten mukaisia ristikkosilloja rakennettiin 1930-luvun loppuun mennessä yli 50 kappaletta. Myöhemmin 40-luvulta alkaen puukantaisia ristikkosilloja on rakennettu tyyppiپیrustussarjan TR/9 mukaisesti. Teräsbetonin käytön yleistyttyä 1930-luvulla siirryttiin teräsilloilla osaksi teräsbetonisiin kansilaattoihin.

Betonikantaisia ajoneuvoliikenteen teräsristikkosilloja on rakennettu tyyppiپیrustusten TT/1...TT/8 mukaisesti vuodesta 1937 aina 1970-luvulle saakka. Näissä silloissa jännemitat vaihtelevat 50 metristä 60 metriin. Ajorata näissä silloissa sijaitsee alhaalla. Ristikon sauvat ovat muotoprofiileista ja levyistä niittaamalla koottuja. Pituussuuntaiset sekundääripalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty niittaamalla. Alapaarteiden välissä on levyistä ja muototeräksistä niittaamalla kootut poikkipalkit. Betonisen kansilaatan ja teräspalkkien välisessä liitoksessa ei ole vaaroitusta.

Käytössä olevat ajoneuvo- ja junaliikenteen yhdistetyt sillat ovat yleensä teräsristikkosilloja. Ajoneuvoliikenteen kansirakenne sijaitsee ristikoiden alapaarten tasolla ja raiteet sijaitsevat yläpaarteiden tasossa olevien poikki- ja sekundääripalkiston päällä. Ajoneuvoliikenteen kansirakenne on yleensä puurakenteinen. Ristikoiden sauvat, paarteet, poikki- ja sekundääripalkit sekä jäykistysristikot on koottu levyistä ja muotoprofiileista niittaamalla samaan tapaan kuin muissakin ristikkosilloissa.



Kuva 17. Ristikkosilta, jossa ristikot sijaitsevat ajoradan alapuolella.



Kuva 18. Ristikkosilta, jossa ristikot sijaitsevat ajoradan yläpuolella sillan molemmilla reunoilla.



Kuva 19. Ristikkosillan niittiliitos.



Kuva 20. Ristikkosillan kitkaliitos esijännitetyn ruuvein

2.1.6 Kaarisillat

Kaarisilloissa ajorata voi sijaita pilareiden varassa ylhäällä, ripustettuna kaaresta alhaalla tai edellisten välimuotona kaaren kannan ja laen välissä. Jos ajorata on alhaalla ja jäykistyspalkki toimii samalla vetotankona, käytetään sillasta nimitystä Langer-palkkisilta. Langer-palkkisiltaa on käsitelty kohdassa 2.1.7.

Toinen tyypillinen kaarisilta on jäykistetty sauvakaarisilta, jossa kaari sijaitsee ajoradan ja jäykistyspalkin alapuolella (kuva 21). Jäykistetyssä sauvakaareissa taivutusrasitukset jakaantuvat kaarelle ja palkille näiden jäykkyyksien suhteessa. Kun kaari tehdään tarkoituksellisesti mahdollisimman ohueksi ja taipuisaksi, kohdistuvat epäsymmetrisestä kuormituksesta aiheutuvat taivutusrasitukset pääosin jäykistyspalkkiin. Jäykistetyssä sauvakaareissa kaari on kokonaisuudessaan jäykistyspalkin alapuolella ja kaari tukee jäykistyspalkkia pilareiden välityksellä. Jäykistyspalkit ja kaaret on yhdistetty toisiinsa poikkipalkkeilla ja teräsristikoilla.

Betonikantaisia ajoneuvoliikenteen yhdistettyjä kaari- ja palkkisilloja on rakennettu tyyppiirustusten TK/1 mukaisesti vuodesta 1951 aina 1960-luvulle saakka. Näissä silloissa pääjätteiden mitat ovat 51 m tai 37 m ja reunajätteiden mitat ovat 11 m ja 10 m. Reuna-aukkojen sillat ovat tyypiltään palkkisilloja, joiden palkit ovat jatkuvia kaarisillan palkkien kanssa. Ajorata näissä silloissa sijaitsee ylhäällä. Kaaren pilarisauvat, kaarien väliset poikkisauvat ja pääpalkit ovat muotoprofiileista ja levyistä niittaamalla koottuja. Kaaren sauvat on tehty valssatusta I-profiilista. Pituussuuntaiset sekundääripalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty niittaamalla. Betonisen kansilaatan ja teräspalkkien välisessä liitoksessa ei ole vaarnoitusta.

Samankaltaisia betonikantaisia ajoneuvoliikenteen teräskaarisilloja on rakennettu tyyppiirustusten TK/2 mukaisesti vuodesta 1957 aina 1960-luvulle saakka. Näissä silloissa pääjätteiden mitta on 70 m ja reunajätteiden mitat ovat 20 m. Reuna-aukkojen sillat ovat tyypiltään palkkisilloja, joiden palkit ovat jatkuvia kaarisillan palkkien kanssa. Ajorata näissä silloissa sijaitsee alhaalla. Pää- ja poikkipalkit ovat valssattuja profiileja. Kaaren pilarisauvat, kaarien väliset poikkisauvat ja kaaren sauvat ovat muotoprofiileista ja levyistä niittaamalla koottuja. Pituussuuntaiset sekundääripalkit ovat valssattuja ja liitokset on tehty niittaamalla. Betonisen kansilaatan ja teräspalkkien välisessä liitoksessa ei ole vaarnoitusta.



Kuva 21. Jäykistetty sauvakaarisilta, jossa kaari sijaitsee ajoradan alapuolella.

2.1.7 Langer-palkkisillat

Langer-palkkisillat ovat yksiaukkoisia siltoja, joissa yleensä sillan molemmilla reunoilla on teräskaaret (kuva 22). Teräskaaret on yhdistetty toisiinsa poikkipalkeilla ajoradan yläpuolella. Teräskaaret kannattelevat pituussuuntaisia jäykistyspalkkeja vetotankojen välityksellä. Vetotangot on yleensä tehty pyöröteräksestä. Jäykistyspalkit on yhdistetty toisiinsa poikkipalkeilla. Poikkipalkit kannattelevat pituussuuntaisia sekundääripalkkeja (kuva 23). Betoninen kansilaatta tukeutuu poikkipalkkeihin ja pituussuuntaisiin sekundääripalkkeihin. Kansilaatan ja teräspalkkien liitoksessa on yleensä käytetty vaarnoitusta. Vaarnat on yleensä tehty muototeräksistä ja teräsenkeistä.

Teräksisiä langer-palkkisilloja käytettiin edelleen 1960-luvulla pidemmissä jänneissä. Teräskaaret ja jäykistyspalkit tehtiin jo hitsaamalla. Näin kaaren muoto saatiin jouhevaksi verrattuna aikaisemmin tehtyihin, kuumavalssatuista profiileista koottuihin taitteellisiin kaariin. TVH:n siltaosasto suunnitteli 1960-luvulla tyyppiinrakentussarjat TK/3...5 langer-palkkisilloille, joiden jänneväli oli 65 metriä ja hyötyleveys vaihteli 7 metristä 10 metriin. Näitä piirustuksia käytettiin useiden langer-palkkisiltojen rakentamisessa. Lisäksi tuolloin laadittiin myös tyyppiinrakentussarja TK/6 langer-palkkisillalle, jonka jännemitta on 81,5 m ja hyötyleveys 9,0m. Tässä tyyppisillassa vetotangot ja poikkipalkit ovat tiheämmässä kuin muissa tyyppiinrakentusten mukaisissa langer-palkkisilloissa. Lisäksi sekundääripalkit ovat ainoastaan kansilaatan reunoilla ja kansilaatta tukeutuu pääosien tiheässä oleviin poikkipalkkeihin.

1960-luvulla suunnittelussa ei vielä otettu huomioon väsymistä maantiesiltojen mitoituksessa. Tästä johtuen joissakin langer-palkkisilloissa on havaittu väsymisen aiheuttamia vaurioita mm. riipputankojen kiinnityskohdissa ja poikkipalkkien liitoksissa pääpalkkeihin.



Kuva 22. Langer-palkkisilta. Kannen alapuolelle on tehty telineet pintakäsittelyä varten



Kuva 23. Langer-palkkisillan tyypillinen päällysrakenteen palkisto

2.1.8 Riippusillat

Riippusillat ovat tyypillisesti kolmiaukkoisia siltoja, joissa reuna-aukot ovat lyhyet verrattuna keskiaukkoon (kuva 24). Riippusilloja on käytetty pääsääntöisesti vesistösiltoina, joissa pylonirakenteiset välituet on sijoitettu lähelle rantaviivoja, jolloin vapaa-aukko on lähes koko vesistön levyinen.

Riippusiltojen tyypillinen päällysrakenne muodostuu jäykistyspalkeista, poikkipalkeista, niiden varassa olevista sekundaarisista pituuskannattimista sekä kaikkien näiden varaan tukeutuvasta teräsbetonisesta kansilaatasta (kuva 25). 1960-luvulla jäykistyspalkit olivat valssattuja ja/tai hitsattuja ristikko- tai levypalkkeja. Työmaa-jatkokset on tehty niittaamalla tai kittkaliitoksia esi-jännitettyillä ruuveilla.

Jäykistyspalkki on pylonien kohdalla epäjatkuva, nivelellinen tai jatkuva.

Teräsrakenteiset pylonit koottiin hitsaamalla teräslevyistä ja jäykisteinä toimivista muototeräk-sistä. Teräsbetoninen kansilaatta yhdistettiin usein muoto- ja betoniteräsvaarnoilla sekundaari-siin pituuskannattimiin liittorakenteeksi. Myös yksiaukkoisina toimivat reunajänneet ovat usein liittorakenteisia, vaikkakin tätä ei ole laskennallisesti yleensä otettu huomioon.

Riippuköydet (pääköydet) sijaitsevat sillan molemmilla reunoilla. Riippuköydet on ripustettu kulkemaan pylonien yläpäissä sijaitsevien satuloiden kautta ja ankkuroitu maatuilla maahan (kuva 26). Riippuköysiin kiinnittyvät pystysuorat riipputangot (sekundaariköydet), jotka kannattelevat päällysrakenteen palkistoa. Riippusilloissa käytetyt riippuköydet ovat olleet joko kokonaan pyöreistä langoista punottuja tai suljettuja köysiä, joissa uloimpien kerrosten poikkileikkaukseltaan z-kirjaimen muotoiset langat aikaansaavat suljetun rakenteen, kun köysi jännittyy vetovoimasta. Köysien ruostesuojaus on hoidettu punontavaiheessa ruostumista estävällä kitillä ja valmiissa köysissä pohjamaalaamalla lyijymönjällä ja pintamaalaamalla alkydimaalilla. Pienissä riippusilloissa sekundaariköysinä on käytetty myös teräsketjuja- ja -tankoja.

Riippusiltojen rakenteet poikkeavat tavanomaisista siltarakenteista ja niiden rakenteellisten korjaustöiden suunnittelu edellyttää aina siltatyyppiin perehtyneen asiantuntijan käyttöä korjaussuunnitelmien laatimisessa.



Kuva 24. Riippusilta



Kuva 25. Riippusillan tyypillinen päällysrakenteen palkisto.



Kuva 26. Riippuköyden ankkurointi.

2.1.9 Vinoköysisillat

Vinoköysisilloissa sillan pääaukko on kannatettu vinoköysillä, lyhemmät reuna-aukot ovat tyy-piltään yleensä jatkuvia liittopalkkirakenteita (kuva 27). Köydet voivat sijaita sillan keskilinjalla tai sillan reunoilla. Jäykistepalkit muodostuvat yleensä I-muotoisista levyvalkeista. Pääpalkit on yhdistetty toisiinsa poikkivalkeilla. Yleensä kansirakenteena on teräsbetoninen laatta, joka toimii liittorakenteena yhdessä teräspalkiston kanssa (kuva 28). Vääntöjäykkää kotelopoikkileikkausta on käytetty mm. silloissa, joissa köydet ovat sillan keskilinjalla.

Yleisimmin on käytetty H-kirjaimen muotoisia pylonirakenteita. Pylonit ovat teräsrakenteisia tai teräsbetonirakenteisia. Köydet kiinnittyvät päällysrakenteeseen teräksisten poikkivalkeiden kautta tai suoraan pääpalkin uumaan.

Vinoköysisiltojen köydet on yleensä tehty yhdensuuntaisista langoista tai punoksista, jotka on sijoitettu polyeteeniputken sisään. Joissakin silloissa jokainen punos on erikseen ruostesuojattu punoksia ympäröivällä suojarasvalla ja muoviputkella. Mekaanisen suojan antavan polyeteeniputken sisäpuolelle jäävä tila on injektoitu sementtilaastilla. Myöhemmin rakennetuissa silloissa sementtilaastia ei ole enää käytetty, vaan yhdensuuntaisista langoista kootuissa köysissä sementtiinjektointi on korvattu suojarasvalla ja punoksista muodostetuissa köysissä tyhjällä tilalla. Korroosiosuojauksen varmistamiseksi uusimmissa silloissa langat ja punokset ovat kuumasinkittyjä, kun ne aikaisemmin olivat pinnoittamattomia. Köysiä ja köysien suojaamista on käsitelty standardissa SFS-EN 1993-1-11. Pienemmissä kevyen liikenteen silloissa vinoköysinä on käytetty myös terästankoja.

Vinoköysisiltojen rakenteet poikkeavat tavomaisista siltarakenteista ja niiden rakenteellisten korjaustöiden suunnittelu edellyttää aina siltatyyppiin perehtyneen asiantuntijan käyttöä korjaussuunnitelmien laatimisessa.



Kuva 27. Vinoköysisilta.



Kuva 28. Vinoköysisillan tyypillinen päällysrakenteen palkisto.

2.1.10 Muut terässiltatyypit

Teräksistä holvisiltaa on käytetty lähinnä kevyen liikenteen alikulkukäytävänä, mutta sitä on käytetty myös muutamissa risteysilloissa (kuva 29). Tyypillisesti yläosan teräsrakenteinen holvirakenne on tehty puolikaaren muotoisesta aallotetusta teräslevystä, jotka tukeutuvat teräsbetonirakenteisiin tukimuureihin. Tukimuurien peruslaattojen välissä on yleensä teräsbetonirakenteiset poikittukipalkit. Tämän sillan teräsrakenteinen korjauksessa voidaan soveltaa teräsputkisiltojen korjausohjeita, joten tässä ohjeessa tätä siltatyyppiä ei käsitellä tarkemmin.



Kuva 29. Teräksinen holvisilta kevyenliikenteen alikulkukäytävänä.

Ansassilta voi olla tyypiltään tuki- tai riippuansassilta. Riippuansassillassa ansasrakenne sijaitsee ajoradan yläpuolella (kuva 30) ja tukiansassillassa ansasrakenne sijaitsee ajoradan alapuolella. Ansaat sijaitsevat ajoradan molemmilla reunoilla. Teräksinen ansassilta on vähän käytetty siltatyyppi Suomessa.



Kuva 30. Riippuansassilta

Avattavat sillat ovat yleensä teräsrakenteisia. Avattavia terässiltatyyppejä ovat kääntösilta, läppäsilta (kuva 31), nostosilta ja työntösilta. Avattavissa silloissa on yleensä käytetty päällysrakenteena teräskotelorakennetta, palkkirakennetta ortotrooppisella kannella tai teräsritiläkantta.

Teräksinen ponttonisilta on Suomessa harvinaisen siltatyyppi ja niitä on käytetty lähinnä kevyen liikenteen siltoina. Ponttonisillassa teräsputkesta hitsatut umpinaiset ponttonit kannattelevat nosteen avulla sillan kansirakennetta. Silta on ankkuroitu paikoilleen yleensä harusketinkien ja ankkuripainojen avulla. Sillan päissä on lyhyet käyntisillakkeet, jotka tukeutuvat maatukeen ja kansirakenteeseen.

Teräksistä kehäsilttaa ei ole käytetty Suomessa siltatyyppinä.



Kuva 31. Avattava teräsrakenteinen läppäsilta.

2.2 Rakennetyypit

2.2.1 Pääpalkit

Pääpalkkien tehtävänä on kantaa kansirakenne ja sen kuormat tukien välillä. Pääpalkeilta kuormat välittyvät laakereiden välityksellä tuille. Laakerit on kiinnitetty pääpalkin alalaippaan hitsaamalla tai ruuviliitoksin.

Niittiliitoksilla kootuissa silloissa pääpalkin uuman muodostaa noin 12...20 mm:n paksuinen teräslevy. Ylä- ja alalaippojen teräslevyt on kiinnitetty uumaan molemmille niitattujen L-terästen välityksellä. Uuman pystyjäykisteet on tehty yleensä niittaamalla uuman molemmille L-profiilit (kuva 32).

1960-luvun alun jälkeen rakennetuissa silloissa pääpalkkien ylä- ja alalaipat, uumalevyt sekä jäykistelevyt on liitetty toisiinsa hitsaamalla. Asennusjatkokset on tehty hitsaamalla tai ruuviliitoksin.

Pääpalkkien ylä- ja alalaippoja on usein vahvistettu peittolevyillä rasitetuimmilla kohdilla aukossa ja tuilla. Peittolevyjä voi olla päällekkäin useampia. Ylemmät peittolevyt ovat yleensä alempia peittolevyjä lyhempiä ja kapeampia. Peittolevyt on kiinnitetty laippoihin ja toisiinsa niittaamalla tai hitsaamalla. Peittolevyjä on käytetty myös asennusjatkoksissa. Asennusjatkoksissa peittolevyt on kiinnitetty niittaamalla tai pulttaamalla.

Liittopalkkisilloissa pääpalkkien ylälaippoihin on hitsattu teräsvaarnat. Liittopalkkisiltojen rakentamisen alkuvaiheessa vaarnat tehtiin muototeräksistä ja teräslenkeistä. Vuodesta 1978 lähtien on käytetty tappivaarvoja.

Pääpalkit voivat olla lyhytjänteisissä silloissa myös profiilipalkkeja.



Kuva 32. Niittaamalla koottu pääpalkki. Ylä- ja alalaipat on yhdistetty uumaan niitattujen L-terästen avulla. Pystyjäykisteet on tehty niittaamalla uuman molemmille puolille L-teräkset.

2.2.2 Pituussuuntaiset sekundääripalkit

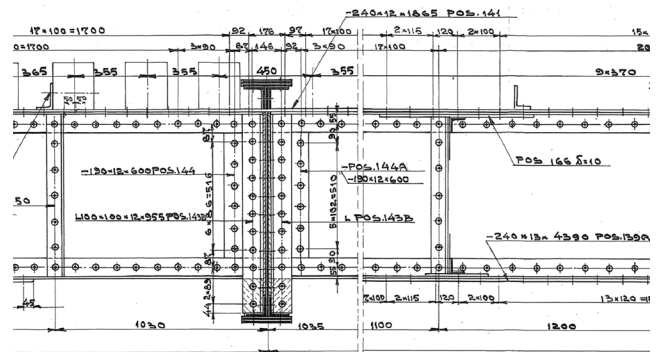
Pituussuuntaiset sekundääripalkit tukeutuvat poikkipalkkeihin ja kannattelevat kansilaattaa tai raiteita poikkipalkkien välillä. Sekundääripalkit voivat tukeutua poikkipalkkien päälle tai poikkipalkkien kylkeen. Pituussuuntaiset sekundääripalkit on yleensä tehty samalla tavalla kuin sillan pääpalkit, hitsaamalla tai niittiliitoksin L-teräksiä käyttämällä (kuva 33). Joissakin tapauksissa niitatuissa silloissa sekundääripalkkeina on käytetty profiilipalkkeja niitattujen sekundääripalkkien sijasta.

Niitatuissa silloissa liitos poikkipalkin kylkeen on tehty L-terästen avulla, jotka on niitattu sekundääripalkin uuman molemmille puolille ja L-teräkset on niitattu poikkipalkin uumaan. Lisäksi tällöin sekundääripalkin alalaipan ja poikkipalkin alalaipan väliin on niitattu tukilevy poikkipalkin uuman pintaan. Sekundääripalkin ylälaippa on jatkettu yleensä peittolevyllä. Mikäli sekundääripalkin ylälaippa on alempana kuin poikkipalkin alalaippa, sekundääripalkin ylälaipat yhdistävä peittolevy lävistää poikkipalkin uuman (kuva 34). Mikäli ylälaipat ovat lähes samassa tasossa, peittolevy ylittää poikkipalkin ylälaipan (kuva 35). Joissakin silloissa on käytetty liitostapaa, jossa sekundääripalkin ylälaippa ja peittolevy ovat samassa tasossa ja sekundääripalkin ylälaippa päättyy samaan kohtaan, josta peittolevy alkaa (kuvat 34 ja 35). Tässä kohdassa sekundääripalkin ylälaippana toimivat vain uuman ja ylälaipan välisen liitoksen L-teräkset. Korjaussuunnittelussa tulee kiinnittää huomiota tämän tyyppisen liitoksen mahdollisiin vaurioihin ja korjaamiseen.

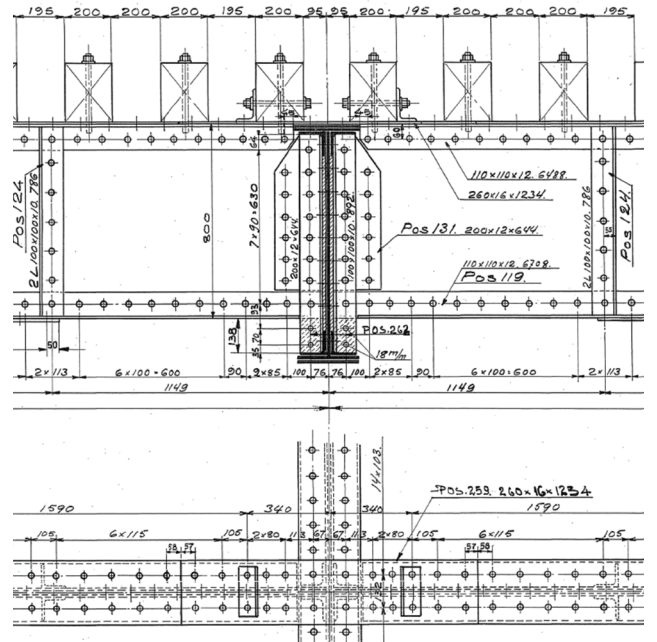
Korjaussuunnittelun yhteydessä tulee kiinnittää huomiota pituussuuntaisten sekundääripalkkien toimimiseen koko rakenteen osana erityisesti ristikko- ja langer-palkkisilloissa. Pituussuuntaiset sekundääripalkit on yleensä suunniteltu siten, että poikkipalkkien välisessä aukossa sekundääripalkin ylälaipan on oletettu olevan puristettu ja poikkipalkkien kohdilla ylälaippa on vedetty ja alalaippa puristettu eli rakennemallina on käytetty jatkuvaa palkkia, jossa poikkipalkit toimivat välitukena. Ristikkosillan taipuessa sekundääripalkit saavat vetoa ajoradan sijaitessa alhaalla ja sekundääripalkit saavat puristusta ajoradan sijaitessa ylhäällä. Palkkisilloissa sekundääripalkit sijaitsevat yleensä lähellä pääpalkin neutraaliakselia, jolloin sen toiminta voimia ottavana pääpalkin osana on huomattavasti vähäisempää. Lisäksi sekundääripalkkien välitukina toimivat poikkipalkit taipuvat kuormituksen alaisena, jolloin sekundääripalkin tukimomentti pienenee eli poikkipalkin kohdalla sekundääripalkin ylälaipan puristus pienenee ja alalaipan veto lisääntyy. Mikäli sekundääripalkin jatkosliitos saa vastakkaissuuntaisen taivutusrasituksen kuin mille se on suunniteltu, vaurion riski on suuri. Sekundääripalkin saadessa vetorasitusta sillan taipumasta voi peittolevy yllirasittua. Tällöin myös uuman liitososat niitteineen voi saada rasituksia, joille niitä ei ole suunniteltu.



Kuva 33. Niittaamalla kootun sillan tyypillinen pituussuuntainen sekundääripalkki.



Kuva 34. Sekundääripalkin ja poikkipalkin liitos, jossa sekundääripalkin ylä- ja alalaippa katkeaa lähes samassa kohdassa, josta peittolevy alkaa. Sekundääripalkin ylälaippa ja peittolevy ovat samassa tasossa. Laipponen päättymiskohdassa laippoina toimivat vain L-teräkset.



Kuva 35. Pituussuuntaisen sekundääripalkin liitos poikkipalkkiin niittaamalla kootussa sillassa, jossa palkkien ylälaipat ovat lähes samassa tasossa ja peittolevy ylittää poikkipalkin ylälaipan. Sekundääripalkin ylälaippa ja peittolevy ovat samassa tasossa.

2.2.3 Poikkipalkit

Palkkisilloissa poikkipalkit yhdistävät sillan pääpalkit toisiinsa. Niiden avulla jäykistetään sillan päällysrakennetta vaakatasossa ja yleensä ne toimivat myös mahdollisten vaakajäykistysristikoiden vertikaalisauvoina. Poikkipalkkeja käytetään myös tuilla pääpalkkien alalaipan ja aukossa pääpalkkien ylälaipan stabiliteetin varmistamiseen sekä korkeiden palkkien stabiliteetin varmistamiseen. Liittopalkkisilloissa pääpalkkien ylälaippojen tason vaakajäykistys ja ylälaippojen stabiliteetin varmistaminen valmiissa rakenteessa on toteutettu teräsbetonisen kansilaatan avulla.

Poikkipalkkeja käytetään usein myös rakentamisen ja asennuksen aikaisten vaakakuormien hallitsemiseksi ja pääpalkkien stabiliteettien varmistamiseksi. Poikkipalkkien tehtävänä on joissakin rakennetyypeissä myös jakaa kannelta tulevia kuormia pääpalkilta toisella, jolloin päällysrakenteen palkisto toimii osittain arinarakenteena. Ratasilloissa, joissa raiteet sijaitsevat levypalkkien alaosan tasolla, poikkipalkit kannattelevat myös pituussuuntaisia sekundääripalkkeja, joihin ratapölykyt tukeutuvat.

Hitsatuissa levypalkkisilloissa myös poikkipalkit ovat teräslevyistä hitsaamalla koottuja I-palkkeja. Poikkipalkit on yleensä liitetty ruuviliitoksin pääpalkkien kylkeen hitsattuihin teräslevyihin. Myös hitsausliitoksia on käytetty poikkipalkkien liitoksissa pääpalkkeihin (kuva 36).

Niittaamalla kootuissa teräspalkkisilloissa poikkipalkit ovat yleensä niittaamalla teräslevyistä ja muototeräksistä, yleensä L-profiileista, koottuja palkkeja (kuva 37). Poikkipalkkien liitokset pääpalkkeihin on näissä silloissa tehty myös niittaamalla. Liitos pääpalkkien uumaan on yleensä tehty L-profiilein avulla. Poikkipalkin uuman molemmille puolille on niitattu L-profiilit. L-profiilien toiset kyljet on niitattu kiinni pääpalkkien uumaan. Yleensä pääpalkin uuman toisella puolella on jäykisteenä L-profiili tai levy, joka on kiinnitetty uumaan samoilla niiteillä kuin poikkipalkki.

Ristikkosilloissa, joissa ajorata sijaitsee ristikon alapaarten tasossa, kannen alapuoliset poikkipalkit yhdistävät ristikoiden alapaarteet. Poikkipalkit kannattelevat yleensä pituussuuntaisia sekundääripalkkeja. Kansirakenne tukeutuu pituussuuntaisiin sekundääripalkkeihin. Teräsbetoninen kansirakenne tukeutuu yleensä myös poikkipalkkeihin. Myös ristikkosilloissa alapaarten tasossa sijaitsevat poikkipalkit toimivat yleensä myös vaakajäykistysristikoiden vertikaaleina.

Ajoradan yläpuolella yläpaarteiden välissä sijaitsevat poikkipalkit toimivat yläpaarteiden tason vaakaristikoiden vertikaaleina. Vaakaristikoiden estetään myös puristetun yläpaarten nurjahtaminen sivusuunnassa.

Niittaamalla kootuissa ristikkosilloissa poikkipalkit ovat samantyyppisiä kuin niitatuissa levypalkkisilloissa eli niittaamalla teräslevyistä ja muototeräksistä, yleensä L-profiileista, koottuja palkkeja. Poikkipalkkien kiinnitys alapaarteisiin on tällöin tehty myös niittiliitoksin (kuva 38). 1960-luvulla ristikkosilloissa alettiin käyttämään hitsattuja I-palkin

muotoisia poikkipalkkeja, jotka liitettiin alapaarteisiin kitkaliitoksin esijännitetyillä ruuveilla. Ristikkosilloissa poikkipalkit sijaitsevat yleensä pääristikoiden vertikaalisauvojen kohdilla. Myös tämän tyyppisissä silloissa poikkipalkkeja on yleensä käytetty pääristikoiden alapaarretason vaakaristikoiden vertikaaleina.

Joissakin rautatiesilloissa yläpaarteiden välisiä poikkipalkkeja on jouduttu korottamaan sähköistyksen yhteydessä. Tällöin yläpoikkipalkin muoto voi olla pystygeometrialtaan kaareva tai murtoviiva. Tällöin myös yläpaarteiden tasossa sijaitsevaa vaakaristikkoa on siirretty ylöspäin.

Ajoradan yläpuoleisia poikkipalkkeja on käytetty Langer-palkkisilloissa ja ristikkosilloissa, joissa ajorata sijaitsee pääristikoiden alapaarten tasossa. Ristikkosilloissa ajoradan yläpuoliset poikkipalkit koostuvat samantyyppisistä profiileista ja liitoksissa on käytetty samaa kiinnitystekniikkaa kuin ajoradan alapuolella sijaitsevilla poikkipalkkeilla.



Kuva 36. Hitsatun levypalkkisillan tyypillinen poikkipalkki. Poikkipalkin liitos pääpalkkiin on tehty hitsaamalla



Kuva 37. Niittaamalla kootun teräspalkkisillan tyypillinen poikkipalkki.



Kuva 38. Niittaamalla kootun ristikkosillan tyypillinen poikkipalkki.

2.2.4 Poikkiristikot

Poikkiristikoita on käytetty yleisimmin levyvalkko-silloissa, joissa ajorata tai raiteet sijaitsevat palkkien yläpuolella. Poikkiristikoita on käytetty myös ristikkosilloissa, joissa pääristikot sijaitsevat ajoradan tai raiteiden alapuolella. Poikkiristikoita käytetään sillassa samoihin rakenteellisiin tarkoituksiin kuin poikkipalkkeja, katso kohta 2.2.3. Tosin poikkiristikoita ei ole yleensä käytetty pituussuuntaisten sekundääripalkkien tukemiseen.

Niittaamalla kootuissa silloissa poikkiristikot on tehty yleensä latta-, L- tai T-profiiliteräksistä. Poikkiristikoiden liitokset on tällöin tehty myös niittaamalla (kuva 39).

Hitsauksen yleistyttyä teräsiltojen poikkiristikot tehtiin yleensä myös latta-, L- tai T-profiiliteräksistä. Poikkiristikoiden liitokset on näissä silloissa tehty yleensä ruuviliitoksien (kuva 40). Poikkiristikoiden liitoksia on tehty myös hitsaamalla. Myöhemmin alettiin poikkiristikoissa käyttämään myös rakenneputkia. Joissakin silloissa pääpalkkien välissä on käytetty sekä poikkiristikoita että poikkipalkkeja. Tällöin poikkipalkit sijaitsevat tuilla ja poikkiristikot aukoissa.



Kuva 39. Niittaamalla kootun palkkisillan poikkiristikko.



Kuva 40. Hitsaamalla kootun palkkisillan poikkiristikko, joka on tehty L- ja T-profiileista

2.2.5 Vaakaristikot ja tuuliseiteet

Vaakaristikoilla siirretään sillan päällysrakenteen vaakakuormat tuille. Vaakaristikoilla myös jäykistetään sillan rakenteita vaakasuunnassa ja niillä estetään puristettujen rakenneosien stabiliteetin menetys vaakaristikon suunnassa. Tällaisia rakenneosia ovat mm. palkin ylälaippa aukossa, jatkuvan palkin alalaippa tuella, ristikkosillan yläpaarre aukossa ja jatkuvan ristikkosillan alapaarre tuella.

Vaakaristikot voivat ottaa vastaan myös rasituksia, jotka aiheutuvat epäkeskisten pystysuorien liikennekuormien aiheuttamasta vääntörasituksesta koko päällysrakenteelle. Pääkannattimet, vaakaristikko ja kansilaatta muodostavat rakenteen, joka ottaa vastaan myös vääntökuormituksia. Vaakaristikoiden mitoituksessa ei aina ole otettu huomioon päällysrakenteen vääntökuormituksesta aiheutuvia lisärasituksia vaakaristikolle. Korjaussuunnitelmissa tulee aina tarkistaa vaakaristikoiden toimiminen vääntökuormitukselle osana koko päällysrakennetta. Vaakaristikoiden toimiminen sillan taipumista aiheutuvilla pituussuuntaisilla vaakaristikon rasituksille on myös tarkasteltava korjaussuunnitelmien yhteydessä.

Vaakaristikoiden vertikaaleina toimivat yleensä poikkipalkit tai poikkiristikoiden alapaarteet. Vaakaristikoiden diagonaaleina toimivat tuuliseiteet. Vaakageometrialtaan suorissa (ei kaarevissa) ajoneuvoliikenteen palkkisilloissa vaakaristikoita käytetään vain pitkillä (>50...70m) jänneväleillä. Ratasilloissa vaakaristikoita käytetään myös lyhytjänteisemmällä silloilla. Lyhytjänteisissä ja rakennekorkeudeltaan matalissa liittopalkkisilloissa ei ole yleensä käytetty vaakaristikoita vaan päällysrakenteen vaakasuuntainen jäykistys on toteutettu

teräsbetonisen kansilaatan avulla sekä palkkien kaatumisen ja puristettujen laippojen nurjahtaminen (palkin kiepahtaminen) on estetty jäykästi pääpalkkeihin kiinnitettyjen poikkipalkkien avulla.

Niitatuissa silloissa vaakaristikot ja tuulisiteet on tehty yleensä L-profiileista, yhteen niitatuista L-profiileista tai T-profiileista. Vaakaristikoiden liitokset on tällöin tehty myös niittaamalla (kuva 41). Ensimmäisissä hitsatuissa silloissa on käytetty samantyyppisiä avoprofiileja, mutta liitokset on tehty ruuvi- tai hitsiliitoksina. Myöhemmin hitsiliitoksin koottujen teräsiltojen vaakaristikko on tehty rakenneputkista (kuva 42).

Yleisin vaakaristikon tyyppi on K-mallinen ristikko. Tässä vaakaristikkomallissa yksittäinen ristikko muodostuu yhdestä vertikaalisauvasta ja kahdesta diagonaalisauvasta, jotka on asennettu pääkannattimien väliin K-muotoon (kuva 43). Diagonaalisauvat yhtyvät pääkannattimiin samassa kohdassa kuin vertikaalisauva. K-mallinen ristikko ei ota pääkannattajien pituussuuntaisia kuormia kuten Andreas-ristikko.

KT-ristikossa vertikaalisauvojen välissä on kaksi diagonaalisauvaa, jotka yhtyvät toiseen pääkannattimeen samassa kohdassa kuin vertikaalisauvat ja toiseen pääkannattimeen vertikaalisauvojen solmupisteiden puolivälissä (kuva 44).

N-ristikossa vertikaalisauvojen välissä on vain yksi diagonaalisauva, joka liittyy pääkannattajiin samassa kohdassa kuin vertikaalisauvat. Diagonaalisauvojen suunta muuttuu yleensä aukon keskikohdalla (kuva 45).

Andreas-ristikkoa on käytetty mm. ratasilloissa, joissa ajorata sijaitsee pääkannattimien alaosan tasolla. Näissä silloissa myös vaakaristikko sijaitsee pääkannattimien alaosan tasolla. Andreas-ristikoissa ristikot ottavat käytännössä osan pituussuuntaisista kuormista, jopa 5–10 % ristikon alapaarteiden kuormasta. Andreas-ristikoissa yksittäinen ristikko muodostuu vertikaalisauvoista ja kahdesta diagonaalisauvasta. Vertikaali- ja diagonaalisauvat liittyvät samassa kohdassa pääkannattimiin (kuva 46).

Timanttimalaisia vaakaristikoita on käytetty mm. ristikkosiltojen yläosissa. Timanttiristikot eivät tyypillisesti ota normaalivoimia vaan rakenteen toimintatapa johtaa kuormitettuna ns. saksivaikutukseen. Timanttiristikko on muodoltaan samanlainen kuin Andreas-ristikko, mutta siinä

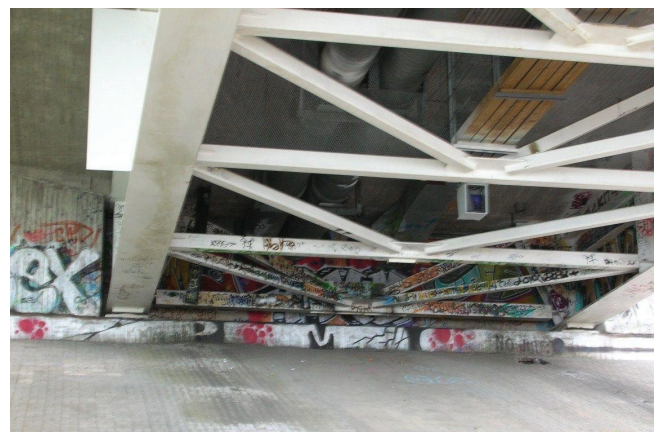
vertikaalisauvat sijaitsevat diagonaalisauvojen risteämäkohdan kohdalla tai vertikaalisauvoja ei ole (kuva 47). Joissakin rautatiesiltojen timanttimalisissa vaakaristikoissa sillan keskijänteellä olevassa timanttiristikossa on myös pituussuuntainen sidesauva.



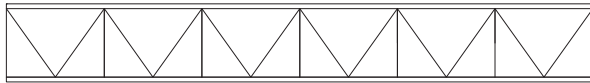
Kuva 41. Vaakaristikko, jossa sauvojen liitokset on toteutettu niittiliitoksen ja profiileina on L- ja T-teräkset.



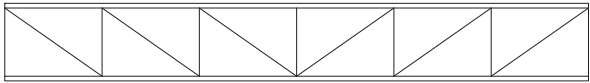
Kuva 42. Hitsaamalla kootun sillan vaakaristikko, joka on tehty rakenneputkista



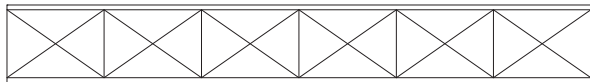
Kuva 43. K-mallinen vaakaristikko, jossa sauvat on tehty rakenneputkista ja sauvojen liitokset on toteutettu hitsaamalla.



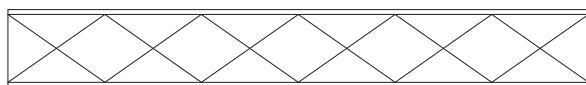
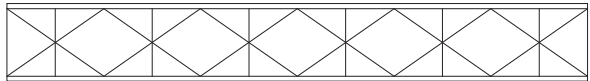
Kuva 44. KT-mallinen vaakaristikko



Kuva 45. N-mallinen vaakaristikko



Kuva 46. Andreas-mallinen vaakaristikko



Kuva 47. Timanttimallisia vaakaristikoita

2.2.6 Ala- ja yläpaarteet

Niitatuissa ristikkosilloissa, joissa ajorata sijaitsee alhaalla, ylä- ja alapaarteet on yleensä tehty kahdesta erillisestä profiilista, jotka myös on koottu niittaamalla levyistä ja L-profiileista. Paarteet voi olla tehty myös kahdesta valssatusta profiilista. Ristikon vertikaali- ja diagonaalisauvat on asennettu yleensä näiden kahden paarreprofiilin väliin (kuva 48).

Vanhemmissa tyyppiirustussarjan TR/4 mukaan toteutetuissa ristikoissa alapaarre muodostuu teräslevystä, jonka alalaipaksi on niitattu L-profiilit levyn molemmille puolille eli alapaarteiden muoto on ylösalaisin oleva T-muoto (kuva 49). Yläpaarre on toteutettu vastaavasti, L-profiilit ovat yläpaarteiden ylälaippoina ja yläpaarre on T-muotoinen. Vertikaali- ja diagonaalisauvat liittyvät suoraan paarresauvojen uuman teräslevyyn.

Ristikkosilloissa, joissa ajorata on ylhäällä, paarteet on yleensä koottu niittaamalla teräslevyistä ja L-profiileista. Pitkäjänteisissä silloissa paarteet muodostuu kahdesta niitatusta profiilista, joiden välissä on vertikaali- ja diagonaalisauvat. Lyhytjänteisemmissä silloissa paarteet on tehty yhdestä niittaamalla kootusta T-mallisesta profiilista, joka on koottu teräslevyistä ja L-profiileista.

Yläpaarre voi olla muodoltaan suora, kaareva tai murtoviivan muotoinen kaari.

Hitsatuissa ristikkosilloissa paarteet on yleensä hitsatuista umpiprofiileista tai putkipalkeista.

Langer-palkkisiltojen yläpaarteiden profiilit on tehty levyistä hitsaamalla. Kaarien asennusjatkokset on tehty ruuviliitoksien. Yläpaarteessa on kaksi uumaa, joilla on yhteinen ylälaippa. Molemmilla uumilla on omat alalaipat. Uumalevyt on yhdistetty toisiinsa myös hitsaamalla kiinnitetyillä jäykistelevyillä. Vetotankojen yläpäät kiinnittyvät uumien väliin (kuva 50). Langer-palkkisiltojen alapaarteet muodostuvat kahdesta rinnakkain olevasta valssatusta I-profiilipalkista. I-profiilit on yhdistetty toisiinsa hitsaamalla kiinnitetyillä jäykistelevyillä. Vetotangot liittyvät alapaarteeseen I-profiilien välissä. Alapaarteiden asennusjatkokset on tehty myös ruuviliitoksien.



Kuva 48. Niitatusen ristikkosillan yläpaarre, joka muodostuu kahdesta erillisestä profiilista. Vertikaali- ja diagonaalisauvat on asennettu profiilien väliin.



Kuva 49. Niitatusen ristikkosillan alapaarre, joka on tehty teräslevystä ja kahdesta L-profiilista.



Kuva 50. Langer-palkkisillan kaksiumainen alapaarre ja vetotangon liitos uumien välissä.

2.2.7 Ristikkosiltojen vertikaali ja -diagonaalisauvat

Ajorata alhaalla tyyppisissä niitatuissa ristikkosilloissa vertikaali- ja diagonaalisauvat sijaitsevat yleensä kaksiumaisten parreprofiilien välissä. Sauvat on yleensä koottu teräslevyistä ja L-profiileista niittaamalla. Vertikaalisauvat sijaitsevat poikkipalkkien kohdalla. Vertikaalisauvan ja poikkipalkin välinen liitos on yleensä jäykistetty kolmion muotoisella jäykistysosalla, joka on myös koottu teräslevyistä ja L-profiileista niittaamalla (kuva 51).

Ristikkosiltojen vertikaalisauvoina on käytetty myös valssattuja I-profiileja. Näissä silloissa diagonaalisauvat on tehty kahdesta U-profiilista, jotka ovat yhdistetty toisiinsa teräslevyillä. Vertikaalisauvat liittyvät paarteisiin parreprofiilien välissä. Diagonaalisauvat liittyvät paarteisiin teräslevyjen välityksellä ja kaksiprofiiliset diagonaalisauvat sijaitsevat samalla pystysuoralinjalla paarteiden kaksoisprofiilien kanssa (kuva 52). Usein näissä silloissa päädymmäisissä diagonaalisauvoissa U-profiilit ovat yhdistetty yläpinnastaan koko sauvan pituisella teräslevyllä eikä lyhyillä teräslevyillä kuten sillan keskialueella sijaitsevilla diagonaalisauvoissa. Tämän tyyppisiä siltojen päällysrakenteita on rakennettu mm. tyyppiirustusten TR/9-1...TR/9-5 perusteella.

Vanhemmissa ristikkosilloissa sillan keskiosan vertikaalisauvat ja keskiosan vetorasitetut diagonaalisauvat ovat tehty L-profiileista, jotka sijaitsevat kulmittain toisiinsa nähden ja ne ovat yhdistetty teräslevyillä toisiinsa (kuva 53). Puristetut diagonaalisauvat ja sillan päätyosilla sijaitsevat vertikaalisauvat ovat tehty teräslevyistä ja neljästä L-profiilista niittaamalla ne +-muotoisiksi profiileiksi. Päädymmäiset diagonaalisauvat ovat tehty samantyyppisillä niitatuilla profiileilla kuin yläpaarteet eli teräslevyn molemmille puolille on niitattu L-profiilit ylälaipoiksi ja sauvan profiili on T-muotoinen. Tämän tyyppisiä siltojen päällysrakenteita on rakennettu mm. tyyppiirustusten TR/4-1...TR/4-3 perusteella.

Uudemmissa ristikkosilloissa vertikaali- ja diagonaalisauvat ovat tehty umpiprofiileista.



Kuva 51. Niitatus ristikkosillan vertikaali- ja diagonaalisauvojen liitos alapaarteeseen. Vertikaalisauvan ja poikkipalkin välinen liitos on jäykistetty kolmiomaisella teräs-rakenteella.



Kuva 52. Ristikkosillan vertikaali- ja diagonaalisauvojen liittyminen alapaarteeseen. Vertikaalisauva on tehty valssatusta I-profiilista ja diagonaalisauvat on tehty kahdesta U-profiilista



Kuva 53. Ristikkosillan vertikaalisauva, joka on tehty kahdesta kulmittain sijaitsevasta L-profiilista. L-profiilit on yhdistetty toisiinsa teräslevyillä.

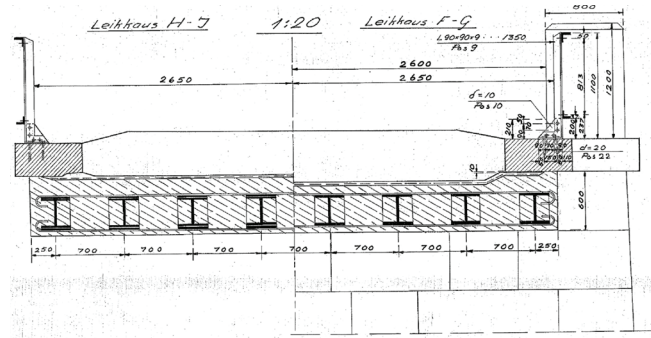
2.2.8 Rautatiesiltojen erikoisrakenteet

2.2.8.1 Teräspalkit betonissa

Teräspalkkibetonista laattasiltaa (Tpalkkibi) on käytetty siltatyypinä lyhytjanteisissa ratasilloissa. Teräspalkit ulottuvat tuelta toiselle ja niitä on rakennettu myös jatkuvina rakenteina. Teräspalkit ovat yleensä valssattuja I-profiileja. Lyhytjanteisimmissä silloissa teräsprofiileina on käytetty myös kiskoprofiileja. Teräspalkit on asennettu rakenteeseen ennen betonivalua. Teräspalkkien ylä- ja alapuolelle on yleensä asennettu poikittaiset jakoteräkset, jotka ovat yleensä pyöröterästä. Teräspalkkien ympäri on asennettu hakateräkset, jotka ovat selvästi halkaisijaltaan pienempää pyöröterästä kuin jakoteräkset (kuva 54).

Joissakin teräspalkkibetonisissa laattasilta-typeissa teräspalkkien alapinnat ovat samassa tasossa kuin betonilaatan alapinta. Näissä silloissa ongelmana on ollut teräspalkkien alalaippojen ruostuminen.

Teräspalkkibetonisia laattasiltoja on tehty myös siten, että teräspalkkien alaosat ovat betonilaatan alapinnan alapuolella.



Kuva 54. Teräspalkkibetonisen laattasilan päällysrakenteen poikkileikkaus.

2.2.8.2 Kaukalopalkkirakenteet

Teräsrakenteisia kaukalopalkkisilloja on käytetty ratasilloissa lähinnä kohteissa, joissa on tehty päällysrakenteen vaihto. Päällysrakenteen molemmilla reunoilla on I-muotoiset hitsatut levyपालkit. Palkit on yhdistetty toisiinsa poikkipalkeilla, jotka sijaitsevat I-palkkien alaosassa. Poikkipalkit ovat hitsaamalla koottuja palkkeja, joissa kaukalon pohjalevy toimii myös poikkipalkkien ylälaippana. Poikkipalkkien väli on yleensä vain noin k600...k800, jotta kaukalon pohjalevyn paksuus pysyy kohtuullisena. Pääpalkkien yläosat toimivat kaukalon sivuseininä ja kaukalon pohjalla on teräksinen pohjalevy. Joissakin kaukalopalkkeissa on käytetty kaukalon seinäminä irrotettavia teräsrakenteisia suojalevyjä, jolloin tukikerroksen sepeli ei tukeudu suoraan pääpalkkien uumalevyjä vasten. Kaukalon sisäpinnat on vesieristetty polyuretaanielastomeerillä, joka on suojattu kumirouhematoilla. Myös epoksia on käytetty vesieristysmateriaalina kaukalopalkkisilloissa. Raipat ja kiskot tukeutuvat kaukalossa olevaan raidesepeliseen tukikerrokseen (kuva 55).

Harvemmin käytetyssä kaukalopalkkirakenteessa raiteet tukeutuvat ilman tukikerrosta suoraan teräsrakenteeseen (kuva 56). Raiteiden kohdalla on tällöin hitsaamalla kootut pituusuntaiset sekundääripalkit, joissa ylälaippana toimii kaukalon pohjalevy.



Kuva 55. Teräsrakenteinen kaukalopalkkisilta, jossa ratapölkkyt ja kiskot tukeutuvat tukikerroksen välityksellä teräsrakenteeseen.



Kuva 56. Teräsrakenteinen kaukalopalkkisilta, jossa raiteet tukeutuvat suoraan teräsrakenteeseen.

2.2.8.3 Raiteiden tuenta ja kiinnitykset

Ratapölkkyjen kiinnittämisessä teräsrakenteeseen tukikerroksettomilla silloilla on yleensä käytetty koukkupultteja. Pultti lävistää ratapölkyn ja pultin alapäässä oleva vaakasuora pultin pää (koukku) puristuu teräsprofiilin ylälaipan alapintaa vasten (kuva 57). Kiristäminen tapahtuu ratapölkyn yläpinnassa olevaa kuusioruuvia kiristämällä. Tukikerroksettomilla terässilloilla käytetään puisia siltapölkkyjä.

Tukikerroksettomilla silloilla kiinnityksessä on käytetty myös jarrukorvakkeita. Jarrukorvakkeet on kiinnitetty pääkannattimien ylälaippoihin. Ratapölkkyt on kiinnitetty jarrukorvakkeisiin vaakasuorilla läpipulttauksilla.

Kreosoottikyllästetyt, vahvasti ympäristölle ja asentajille myrkylliset ratapölkkyt voidaan korvata käyttämällä silloissa uudenaikaisia tukikerroksettomia rakenneratkaisuja. Rataverkolla olevissa silloissa (mm. Saimaan kanavan RS, Paimionjoen RS, Osolankosken RS) on jo olemassa tukikerroksettomia ratkaisuja ilman ratapölkkyjä.

Kiskojen suoraa kiinnitystä pituussuuntaisiin sekundääripalkkeihin on käytetty mm. Paimionjoen ratasillassa. Sillan korjaustyössä ratapölkkyt on poistettu ja sekundääripalkit on uusittu. Sekundääripalkkien ylälaippojen ja kiskonkiinnityslevyjen väliin on asennettu joustomassalevyt, jotka vaimentavat tärinää.

Levymäiset ERS-rakente-elementit ovat Keski-Euroopassa yleisesti käytetty rakenne teräksisten rautatiesiltojen saneerauksien yhteydessä. Toinen tapa on asentaa pituussuuntaisten sekundääripalkkien ylälaippojen päälle ERS-kourut, joihin kiskot on kiinnitetty joustavalla juotomassavalulla. Näiden rakenteiden käyttöä Suomen terässilloissa on selvitetty Liikenneviraston toimesta. Tukikerroksettomia rautatiesiltojen rakenneratkaisuja on selvitetty tarkemmin Liikenneviraston julkaisussa ”Tukikerroksettomien rautatiesiltakansien kehittäminen /49/”.

Kun sekundäärikannattimet ja kiskojen kiinnitys uusitaan joustomassarakenteita käyttäen, voidaan parantaa hieman myös sillan kantavuuskapasiteettia. Useimmissa tapauksissa vanhojen terässiltojen ongelmana on akselipainojen kasvamisen kannalta juuri sekundääripalkiston kapasiteetti. Kun puurakenteisista siltapelkoista päästään eroon, voidaan sekundäärikannattimien kapasiteettia kasvattaa valitsemalla korkeammat sekundääripalkit. Radan korkeusviivan asema pysyy näin ollen samana ja pelkoilta vapautunut tila voidaan hyödyntää sekundääripalkiston kapasiteetin kasvattamiseen.

Kiskojen kiinnitystä ratapölkkyihin ei käsitellä tässä ohjeessa.



Kuva 57. Puusiltapölkkyjen kiinnitys teräsrakenteeseen koukkupultilla.

3 TYYPILLISET VAURIOT JA VIRHEET

Teräsrakenteiden rakenteellisten vaurioiden vaurioluokitus on esitetty *Sillantarkastuskäsikirjan /10/* taulukossa 8. Sillantarkastuskäsikirjan mukaiset vaurioluokat ovat seuraavat:

1. Ei-kantavan rakenteen osa on taipunut tai kiertynyt, mutta vaurio ei haittaa rakenteen toimintaa.
2. Kantavan rakenteen rakenneosaa on taipunut, siirtynyt tai kiertynyt, mutta vaurio ei haittaa rakenteen toimintaa.
3. Rakenneosaa on taipunut, siirtynyt tai kiertynyt huomattavasti, voidaan epäillä vaikuttavan rakenteen toimintaan. Rakenneosassa on hal-

keama. Köyden yksittäisiä säikeitä on poikki. Riipputangon solki köydessä on liukunut ja siirtynyt alkuperäisestä asemastaan.

4. Rakenneosassa on pahoja halkeamia tai rakenneosaa on taipunut tai siirtynyt vaarallisesti, lommahtanut, murtunut tai sortunut ja vaurio haittaa rakenteen toimintaa. Köydestä on useita säikeitä poikki.

Ohjeelliset korjaustoimenpiteet eri vaurioluokissa ja korjaustoimenpiteiden ohjeelliset kiireellisyysluokat on esitetty samassa taulukossa.

3.1 Syöpymisvauriot

Korroosio on yleisin vaurion aiheuttaja terässilloissa. Jos pintakäsittely ei ole kunnossa, teräsrakenteisiin tulee aluksi pistekorroosiota, joka etenee myöhemmin kuoppamaisen syöpymän (kuopparuosteen) kautta puhkiruostumiseen. Ruostuminen käsitetään yleensä maalipinnan ja teräsrakenteen pinnan vauriona, joka voidaan korjata pintakäsittelmällä. Ruostumisen edetessä pitemmälle vaurio etenee syöpymisvaurioksi, joka on korjattava rakenteellisena korjauksena. Tällaisia vaurioita esiintyy varsinkin rakenteissa, jotka ovat olleet jatkuvasti maa-ainesten peitossa tai joiden päälle on jatkuvasti valunut suolaista vettä. Tässä ohjeessa käsitellään rakenteellista korjausta vaativia syöpymisvaurioita. Pinnoitteiden vaurioita ja pintakäsittelyn korjaamista ruostumisvaurioiden yhteydessä on käsitelty *SILKO-ohjeessa 1.351 Pintakäsittely /2/*.

Maalattun teräspinnan ruostumisasteita (Ri0... Ri5) on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* taulukossa 10 ja *SILKO-ohjeissa 1.353–1.355 Ruostumisasteen Ri 3,4,5 vertailutaulukot /11/*. Näitä ruostumisasteita ei varsinaisesti käytetä rakenteellisten korjaustoimenpiteiden yhteydessä vaan niitä käytetään pintakäsittelykorjausten yhteydessä. Vaikka maalattun teräspinnan ruostumisaste olisi Ri5, rakenteellisia korjaustoimenpiteitä ei välttämättä tarvita.

Teräsrakenteiden korroosiovaurioiden vaurioluokitus on esitetty *Sillantarkastuskäsikirjan /10/* taulukossa 7. Luokitus ei koske teräsrakenteita, joiden vaurioluokitus on kuvattu Sillantarkastuskäsikirjan rakenneosakohtaisissa taulukoissa mm. kaiteet, laakerit ja kuivatuslaitteet. Mikäli ruostuminen on aiheuttanut rakenneosan ainevahvuuden pienentymistä tai siinä on lehtiruostetta, vaurioluokka on 4 (erittäin vakava). Tällöin kantavalle rakenteelle tehdään erikoistarkastus ja rakenneosaa korjataan uusimalla tai vahvistamalla tai laskennallisesti osoitetaan, ettei vauriolla ole merkittävää vaikutusta kantavuuteen. Korjauksen kiireellisyysluokka kantavalla rakenteella on tällöin 11 (korjataan 2 vuoden kuluessa), muutoin yleensä 12 (korjataan 4 vuoden kuluessa).

Tyypillinen syöpymisvauriokohta on leveän alalaipan yläpinta, jolta vesi ei pääse poistumaan. Niitatuissa silloissa alalaippalevy on kiinnitetty L-profiiliin avulla palkin uumaan. Mikäli L-profiiliin ja uuma- sekä alalaippalevyjen saumarakojen ei ole kitattu umpeen tai kittaukset ovat vioittuneet, vesi voi päästä saumarakoon ja kiihdyttää korroosiota (kuva 58). Poikkipalkkien ja -ristikoiden, vaakarikoiden ja tuulisiteiden liitoksissa alapaarteeseen on usein käytetty vaakasuoria liitoslevyjä. Poikittaisrakenteiden liitoslevyt yhdessä alalaippojen vaakapintojen kanssa muodostavat rakennedetaljeja joilta vesi ei pääse poistumaan, jos suunnitteluvaiheessa ei ole kiinnitetty huomioita liitoksen muotoiluun (kuva 59).

Tyypillinen ylälaippojen syöpymisvaurio on samankaltainen kuin alalaippojen yläpinnoilla, jossa vesi jää seisomaan vaakapinnalle. Ylälaipan korroosiorasitus lisääntyy, mikäli ylälaippaan tukeutuu suoraan puusiltapölkyt tai puurakenteinen kansilaatta (kuva 60). Liikennekuormista aiheutuva ratapölkkyjen ja puisen kansilaatan liike vaurioittaa ylälaipan yläpinnan pinnoitetta. Lisäksi puuosat voivat olla suolakyllästettyjä, joka lisää korroosiovaurion tekijöitä entisestään. Kyllästysaineessa käytetty kupari lisää korroosiota, koska kupari on hyvä sähkönjohde ja sähkökemiallinen korroosio pari pääsee syntymään. Kreosotitkyläste värjää alapuolisen rakenteet ruskeaksi, mikä vaikeuttaa ruostevaurioiden havaitsemista. Puukannen ja teräspalkin välinen saumakohta on lähes aina kostea, koska syrjälantukukansi vuotaa aina vettä ja saumakohta ei pääse kuivumaan.

Betonisen kansilaatan vesieristeen vuotaessa suolapitoinen ja alkalinen vesi pääsee halkeamien kautta ylälaipan pinnalle. Alkydimaalit eivät kestä alkalirasitusta ja pinnoitteen vaurioituessa alkalirasituksesta ylälaippaan syntyy ruostumisvaurio, joka voi johtaa syöpymisvaurioon, ellei pinnoitetta korjata ajoissa. (kuva 61). Ns. "laiskakantisissa" silloissa (=betonikansilaatta ja teräspalkki eivät toimi yhdessä liittorakenteena) kansilaatan ja teräspalkin välinen liike hankaa pintakäsittelyn rikki ja näin edistää korroosiota. Leveiden kotelo- ja laippapintojen jatkuva kondenssirasitus edesauttaa syöpymisvaurion syntymistä.

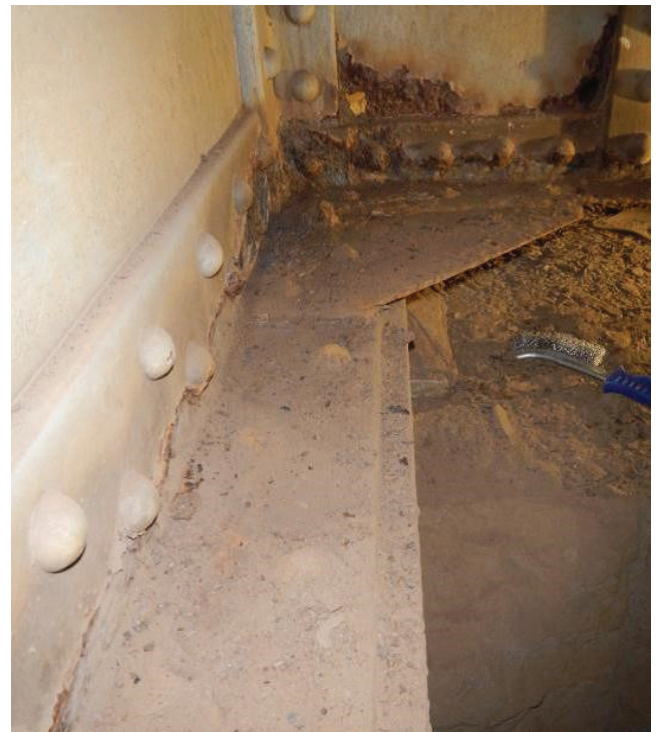
Liikuntasaumalaitteiden vuotaminen aiheuttaa alapuolisissa teräsrakenteissa samantyyppisiä syöpymisvaurioita kuin teräspalkin ylälaipoissa. Yleensä liikuntasauvan vieressä on kantavassa rakenteessa teräksisiä poikkipalkkeja tai -ristikoita, joiden päälle vesi pääsee valumaan liikuntasaumalaitteen vuotaessa (kuva 62).

Liikuntasumalaitteesta vuotanut vesi voi kulkea melko pitkänkin matkaa ylälaipan päällä ja aiheuttaa ruostealumaa laipan reunassa.

Tippu- ja pintavesiputkista tippuva suolapitoinen vesi vaurioittaa pinnoitteen ja korroosio etenee nopeasti syöpymisvaurioksi (kuva 77), mikäli putket on sijoitettu virheellisesti kansilaatan alapuolella sijaitsevien poikkipalkkien, poikkiristikoiden, vaakaristikoiden sauvojen tai teräsrakenteiden kohdalle tai putket ovat liian lyhyet.

Teräsrakenteiden niitti-, ruuvi- ja hitsausasennusjatkoksien kohdilla esiintyy usein korroosiovaurioita, koska työmaaolosuhteissa tehty vanhojen siltojen pintakäsittely on jäänyt usein laadultaan huonommaksi kuin maalaamossa tehty pintakäsittely. Nykyisin työmaalla tehty pintakäsittely ja sen laatu ovat jo varsin hyvällä laatutasolla verrattuna aikaisempaan. Uusissa silloissa maalivaurioita ei esiinny asennushitsauskohdilla juuri sen enempää kuin muuallakaan rakenteissa.

Rakenteen muotoilulla, hyvällä profiilin muodon valinnalla ja detaljien hyvällä suunnittelulla voidaan parantaa rakenteen korroosiokestävyyttä. Rakenteita, joissa on vaakapintoja, ahtaita rakoja ja koloja tulee välttää, koska niihin kertyy vettä ja likaa joka edes auttaa korroosiota. Korjaustöiden yhteydessä voidaan detalleja korjata muotoilemalla ja peittämällä likaa keräävät kolot peitelevyillä (kuva 63). Esimerkiksi ristikkosillan uumasauvojen ja alapaarten liitos muodostaa suojan, johon kertyy likaa ja esim. linnut tykkäävät pesiä. Samantyyppinen helposti likaa ja vettä keräävä kohta on ristikkosillan päätykehän alanurkan liitos, mikä on myös päällysrakenteen kriittisimpiä kohtia kantavuuden kannalta.



Kuva 58. Pääpalkin alalaipan ylälaipan syöpymä. Niittien kannat ovat myös syöpyneet.



Kuva 59. Pääpalkin ja poikkipalkin välisen liitoksen vaakasuoran liitoslevyn syöpymisvaurio



Kuva 62. Poikkiristikon alapaarteen syöpymisvaurio vuotavan liikuntasaumalaitteen kohdalla.



Kuva 60. Palkin ylälaipan korroosiovaurioita. Kyllästetyn puukannen tukeutuminen suoraan ylälaipan päälle on lisännyt korroosiota.



Kuva 63. Likaa ja vettä keräävä vetotangon alapään liitos. Korjaustöiden yhteydessä tämän tyyppiset detaljit tulisi suojata peitelevyillä pintakäsittelyn uusimisen jälkeen.



Kuva 61. Palkin ylälaipan syöpymisvaurio kansilaatan vuotokohdassa.

3.2 Törmäysvauriot

Törmäysvaurioita esiintyy yleisimmin seuraavissa siltojen teräsrakenteissa:

- ajorata alhaalla tyyppisten ristikkosiltojen yläpaarteiden tasossa sijaitsevien portaalien yläpoikkisiteissä (kuva 64) ja vaakaristikon muissa vertikaali- ja diagonaalisauvoissa
- Langer-palkkisiltojen kaaria yhdistävissä alimmaisissa poikkipalkeissa (kuva 65)
- risteyssiltojen, ylikulkukäytävien ja alikulkusiltojen teräspalkeissa ja palkin alapinnassa sijaitsevissa vaakajäkistysrakenteissa (kuva 66)
- ajorata alhaalla tyyppisten ristikkosiltojen vertikaali- ja diagonaalisauvoissa (kuva 67)
- köysisiltojen köysissä ja köysien ankkurointirakenteissa
- kaiteissa (kuva 68).

Ajoradan yläpuolisten osien törmäysvauriot aiheutuvat ylikorkean ajoneuvon tai ajoneuvon kyydissä olevan ylikorkean kuorman törmäämisestä sillan rakenteisiin.

Ajorata alhaalla tyyppisten ristikkosiltojen vertikaali- ja diagonaalisauvojen törmäysvauriot aiheutuvat ajoneuvojen tai kunnossa pitokaluston törmäämisestä sillan rakenteisiin. Törmäysvaaran riski on suurempi silloilla, joilla ei ole kaidetta ajoradan (kuva 67) ja ristikkorakenteen sauvojen välissä tai kaide on puutteellinen.

Ratasilloissa on havaittu myös sodanaikaisia “ampumahaavoja”.

Erityisen vaarallisia ovat ajoneuvojen törmäykset riipputankoihin tai köysirakenteisiin, tosin törmäykset niihin ovat harvinaisia. Riipputangot ja köysirakenteet on aina törmäyssuojattava.



Kuva 64. Törmäysvaurio ristikkosillan portaalin yläpoikkisiteessä.



Kuva 65. Törmäysvaurio Langer-palkkisillan alimmaisessa kaaren poikkipalkissa.



Kuva 66. Törmäysvaurio alikulkusillan päällysrakenteen alaosan vaakajäkistysristikon diagonaalisauvassa.



Kuva 67. Törmäysvaurio ristikkosillan vertikaalisauvassa. Ajoradan ja ristikkorakenteen sauvojen välissä ei ole kaidetta.



Kuva 68. Törmäysvaurio sillan kaiteessa.

3.3 Ylikuormitusvauriot

Ajoneuvot ovat suurentuneet ja niiden aiheuttamat ajoneuvokuormat ovat kasvaneet vuosien saatossa. Tiesilloilla suurimmat sallitut ajoneuvopainot ovat kaksinkertaistuneet 50 vuodessa ja liikennemäärät raskaimpien ajoneuvojen osalta moninkertaistuneet. Silloille, joiden kantavuus ei enää riitä nykyiselle ajoneuvoasetuksen mukaisille kuormille, asetetaan painorajoitus liikennemerkein. Painorajoitus ei kuitenkaan poista kaikkien ylipainoisten ajoneuvojen liikennöimistä silloilla, vaan painorajoitetuilla silloilla liikennöidään josain määrin myös ylipainoisilla ajoneuvoilla.

Ylikuormitusvaurioita voi aiheutua myös lämpötila kuormista ja betonikannen kutistumiskuormista. Betonisilloihin verrattuna terässillat ovat usein jännemitoiltaan pidempiä ja myös siltana keskimääräistä pidempiä. Terässillan muodonmuutokset sillan omasta painosta ja ajoneuvokuormasta (taipumat, kiertymät, kallistumat) ovat yleensä suurempia kuin vastaavankokoisilla betonisilloilla. Pitemmässä silloissa myös lämpötilamuutoksista johtuvat pääkannattimien aksiaaliset pituuden muutokset ovat absoluuttisilta arvoiltaan selvästi suurempia kuin tavanomaisissa pienissä silloissa. Suuremmat muodonmuutokset voivat aiheuttaa pakkovoimia ja vaurioita liitoksiin, sillan laakereihin ja liikuntasaumalaitteisiin tai kaiteiden liikuntajatkoksiin, jos niiden liikevarat ovat riittämättömiä johtuen esimerkiksi suunnitteluvirheestä, liikuntasauaman jumittumisesta, rakennusvirheestä tai sillan suunnitteluajankohdasta kasvaneista ajoneuvokuormista tai ennakoimattomista kuormitusyhdistelmistä.

Ylikuormitus aiheuttaa terässiltojen taivutusrasitetuissa rakenneosissa ylisuuria taipumia tai jopa pysyviä muodonmuutoksia teräsännitysten ylittäessä myötörajan. Jos pysyvän taipuman epäillään ylittävän omasta painosta johtu-

van normaalin taipuman, niin rakenne tulee ottaa välittömästi tarkempaan tutkimukseen. Suuremmissa terässilloissa omapainon aiheuttama taipuma on ennakoitu esikohotuksella, joten muoto- poikkeamiin tulee aina suhtautua vakavasti.

Puristetuille rakenteille tyypillinen vaurio ylikuormituksesta on nurjahdus. Mikäli yksittäisessä puristetussa rakenneosassa on sivusuuntaisia taipumia tai käyristymiä, rakenneosan kuormituskapasiteetti on tarkistettava, koska sivusuuntainen muodonmuutos voi johtaa äkillisesti tapahtuvaan puristussauvan nurjahdukseen. Tällöin koko rakenteen kantavuus voi vaarantua.

Palkkisilloissa ylikuormitus voi aiheuttaa uuman paikallisia lommahtamisia. Palkin uuman lommahtaminen tapahtuu leikkausvoiman vaikutuksesta. Palkin leikkausvoimat ovat suurimmillaan välitukien ja päätytukien läheisyydessä ja nämä kohdat palkeista ovat altteimpia lommahtamisen tapahtumiselle. Uuman lommahtaminen voi näkyä uumassa paikallisen pintakäsittelyn vaurioitumisena ja tästä seuraavana uuman korrosiovauriona.

Ylikuormitus voi aiheuttaa myös liitosten vaurioitumista. Niitti- tai ruuviliitoksissa ensimmäinen merkki ylikuormituksesta on yleensä liitoksessa tapahtunut siirtymä. Liitoksessa tapahtunut siirtymä voidaan havaita liitososien saumakohdissa maalipinnoitteen ratkeamana tai kittausten irtoamisena. Mikäli ylikuormitus on voimakkaampaa, liitoksesta voi katketa yksittäinen ruuvi tai niitti tai liitososissa on havaittavissa reunapuristumaa tai -repeilyä. Riippu- ja vinoköysisilloissa liukumien köysi- rakenteiden liitoksissa voivat olla myös merkki ylikuormituksesta.

Useissa ylläritetuissa silloissa on havaittu sekundääristen siteiden irtoamisia. Ajourataylhäällä tyypisissä silloissa on havaittu yläpaarteiden välisten siteiden liitoskiinnikkeiden irtoamisia ja kannen alapuolisten poikittaisten Andreas-typin pystyristikoiden ruuvien irtoamisia. Ajourata-alhaalla tyypisissä silloissa on havaittu sillan alapinnan siteiden liitoskiinnikkeiden irtoamisia. Edellä mainitut voivat olla ensimmäinen oire ylikuormituksesta aiheutuneesta rakennevauriosta tai sillan värähtelyyn liittyvästä ongelmasta. Myös normaalia kulumisesta eroavat kiskoviat indikoivat mahdollisesta rakenteellisesta ongelmasta. Painuma sillan päädyssä lisää sillalle aiheutuvia sysäysrasituksia ja voi olla myös merkki rakenteellisista ongelmista.

Riippuköysi-, vinoköysi- ja Langer-palkkisilloissa köysien ja vetotankojen epätasaiset jännitykset voivat aiheuttaa ylikuormitusta muille kantaville rakenneosille. Riippuköysisilloissa riippujänteen painuminen vastapainoankkureiden myötäämisen johdosta voi myös aiheuttaa ylikuormitusta muille rakenneosille.

Ylikuormitusvaurioita on voinut aiheutua myös heti rakentamisen jälkeen tehdyissä koekuormituksissa. Rakentamisen jälkeisiä koekuormituksia on tehty lähinnä niitatuille silloille.

Monissa silloissa on havaittu maatumien liikkumista sillan aukkoon päin. Pahimmissa tapauksissa maatumien otsamuurit koskettava jo päällysrakennetta ja maatumet nojaavat kansilaattaa tai palkkeja vasten. Vaikka kyseessä ei ole varsinaisesti teräsrakenteen vaurio, se tulee ottaa huomioon teräsrakenteiden korjaustyössä ja korjaussuunnitelmissa. Maatumien liikkuminen voidaan havaita liian pieninä liikevaroina liikuntasuomissa ja laakereiden liikevarojen loppumisena. Maatumien korjaaminen tai lisäsiirtymien ehkäiseminen vaatii yleensä mittavia maatumien korjaustöitä. Maatumien kallistumien voi johtua ylikuormituksesta, rakentamisvirheestä tai suunnitteluvirheestä.

3.4 Väsymisvauriot

Terässilloissa vaihtorasituksia aiheuttavan liikennekuorman suhteellinen osuus sillan kokonaiskuormituksesta on selvästi suurempi kuin betonisilloilla. Tämän takia terässillat ovat merkittävästi alttiimpia väsymisvaurioille kuin betonisillat. Vaihtorasituksien merkitys korostuu erityisesti raskaiden junakuormien kuormittamisissa ratasilloissa. Väsytyksimitoitusta teräsrakenteisille tie- ja ratasilloille alettiin tekemään vasta 1970-luvulla. Tätä ennen väsytyksimitoitus oli yksittäisen suunnittelijan tietämyksen varassa.

Liikennekuorma aiheuttaa rakenteeseen usein toistuvia jännitysvaihteluita. Jokaisella teräsrakenteen osalla on tietty väsymiskestävyys, jonka suuruutta arvioidaan toistuvien jännitysvaihteluiden suuruuden, jännitysvaihteluiden lukumäärän ja kyseisen rakennusosan rakenteellisen muodon perusteella. Jos liikennekuorman tai muun usein toistuvan kuorman aiheuttamien jännitysvaihteluiden suuruus ja toistumiskertojen lukumäärä ns. väsymisjännityskertymä ylittää kyseisen rakennusosan väsymislujuuden, syntyy väsymismurto. Väsymisprosessi on vähitellen etenevä ilmiö, joka voidaan jakaa kolmen eri vaiheeseen:

- vaihe 1: särön ydintyminen
- vaihe 2: särön kasvu
- vaihe 3: lopullinen murtuminen.

Sen ensimmäisenä näkyvänä oireena on kyseiseen teräsosaan tai hitsiin muodostunut särö, joka usein tasaa jännityshuippuja, mutta joka on kuitenkin selkeä oire väsymisongelmista. Säröt voivat pahimmillaan johtaa jopa teräsrakenteen tai sen rakenneosan täydelliseen murtumiseen. Särön ydintyminen voi kestää vuosikymmeniä, mutta särön kasvu voi tapahtua muutamissa viikoissa. Tämän takia säröjen kasvua on seurattava ja suoritettava tarvittaessa nopeasti tarvittavat korjaustyöt. Rakenteen yleistarkastuksessa voidaan havaita lähinnä suurimmat näkyvät halkeamat. Särö havaitaan useimmiten pintakäsittelyn halkeamana, jolloin särö on jo selvästi pitemmällä. Myös halkeaman sijainti kertoo ammattitaitoiselle tarkastajalle, voiko kyseessä olla särö vai onko kyse pelkästään pintakäsittelyn halkeamasta. Kun särön näkee paljaalla silmällä maalikalvon rikkoutumisena, vaurio on jo päässyt tapahtumaan. Säröilyn laajuus ja tyyppi selvitetään tarkemmin erikoistarkastuksessa.

Väsymisen kannalta kriittisimpiä rakenteita ovat pääkannattimet lyhyillä ja keskimittaisilla silloilla, sekundäärirakenteet sekä suuria voimia siirtävät liitososat, kuten köysirakenteiden ja niihin välittömästi liittyvien rakenneosien liitokset (kuva

69). Terässilloissa säröt ilmestyvät tavallisimmin paikkoihin, joissa liikenne- ja tuulikuorman suhteellinen osuus kokonaisjännityksistä on suuri ja rakenteellinen muotoilu ei ole juoheva. Tällaisia rakenteellisia paikkoja terässillassa ovat erilaiset liitokset, kuten vetorasitetut pääkannattimen hitsausjatkokset ja poikkileikkauksen muutoskohdat (laipan lisälevyjen päiden alue) sekä poikkipalkkien, sekundääristen pituuskannattimien ja ristikoiden liitoshitsit. Myös teräspalkin pystyjäykisteiden liitoshitsit ja laipat niiden kohdalla ovat väsymisvaurioille alttiita (kuva 70), koska niissä vaikuttaa moniulotteinen jännitystila, jota ei ole osattu ottaa aina huomioon suunnittelussa. Hitsausliitoksilla on väsymislujuutta heikentäviä tekijöitä, kuten geometriamuutokset, hitsausvirheet ja jäännösjännitykset.

Niitatut liitokset ja ruuviliitokset ovat liitostyyppinä väsymisen kannalta parempia. Niitattujen rakenteiden osalta niiden kestävyyttä pienentää kuitenkin keskimääräistä vanhempi ikä ja käytettyjen suunnittelukuormien pienuus verrattuna nykyisiin suunnittelukuormiin.

Tyypilliset vauriokohdat ovat sekundääripalkkien liitokset poikkipalkkeihin ja poikkipalkkien liitokset pääpalkkeihin. Huonolaatuinen hitsaustyö ja puutteellinen hitsien ja notsikolojen muotoilu myös edesauttaa särön syntymistä.

Useissa tyypipiirustussarjan TK/3 mukaan rakennetuissa Langer-palkkisilloissa on havaittu säröjä. Näissä Langer-palkkisilloissa säröt ovat sijainneet poikkipalkkien ylälaippojen ja pääpalkkien ylälaippojen välisissä hitsiliitoksissa (kuva 71). Särövuoriot ovat näissä silloissa keskittyneet sillan päätyosilla sijaitseviin poikkipalkkeihin. Säröjen syntyminen voi aiheutua myös muusta syystä kuin väsytyksistä. Langer-palkkisillojen poikkipalkkien ylälaippoihin voi myös kehittyä muodonmuutoskuormista jopa murtolujuustason poikittaisia reunajännityksiä kannen liittorakennemuotojen ja pääpalkkien välisiin sillan suuntaisiin vaakasiirtymäeroihin liittyen. Laipan reunasta alkava murtohalkeama on mahdollinen yksinomaan tästä pakkorasi- tuksesta. Poikkipalkin ylälaippaliitoksen (kuva 72) murtumisriskiä kasvattaa liitoksen epäkeskisyydestä johtuvat lisäjännitykset ja mahdollisesti oletettuakin suurempi lovi- vaikutus, jännitysyhdistelmähuippu, hitsin lähialueen mahdollinen mikrorakennemuutos (karkeneminen, myötövanheneminen), alhainen lämpötila ja varsinkin päätypalkin osalla lisäksi haurasmurtumalle altistavat kuormasäykset.

Tyypillisesti vaurioiden taustalla on eri tekijöiden yhteisvaikutus, mutta toisiaan tukevien teoreettisten laskelmien ja todettujen vaurioiden perusteella muodonmuutoskuormien voidaan arvioida olevan tässä tapauksessa vaurioiden synnyn määräävä osatekijä.

Teräslaakereissakin voi olla teräksen väsymisestä johtuvia ongelmia. Tavanomaisista teräslaaduista valmistettujen suuriläpimittaisten rullalaakerien jälkeen alettiin valmistaa rullalaakereita myös karkaistusta teräksestä. Tällöin rullan halkaisijaa pienennettiin merkittävästi suuruusluokkaan 100 mm tai jopa pienemmäksi. Laakerin suunnittelussa teräksen väsyminen jäi ottamatta riittävästi huomioon. Sen seurauksena monet tämän tyyppisistä ns. "Kreutzin laakereista" ovat jo tulleet elinkaarensa loppuun, laakerien rullat ovat yhtäkkiä haljenneet ja laakerit on jouduttu uusimaan. Sillastossamme on vieläkin näitä karkaistusteräksestä valmistettuja rullalaakereita arviolta 35 tiesillassa ja 20...30 ratasillassa, joiden matalien laakerirullien säännöllinen särötutkimus laajennetussa yleistarkastuksessa on perusteltua. Kaikki tällaiset onnettomuusriskejä aiheuttavat laakerirullat tulisi korjata tai vaihtaa parempiin laakereihin mahdollisimman nopeasti.

Liitoksissa väsytyskuormitukset voivat aiheuttaa niittien ja ruuvien löystymistä tai jopa murtumisia. Niittien ja ruuvien murtumisen syy on aina selvitettävä ennen korjaustöihin ryhtymistä.

Riippusilloissa mm. sillan pituussuuntainen värähtely ja kannen sivusuuntainen siirtymä voi aiheuttaa säikeiden katkeamisia pääköysissä ja köysirakenteisissa riipputangoissa.



Kuva 69. Särö köysipoikkipalkin alalaipan ja pääpalkin uuman välisessä hitsiliitoksessa.



Kuva 70. Väsymyssärö palkin uumassa pystyjäykisteen alapään kohdalla.



Kuva 72. Langer-palkkisillan poikkipalkin ylälaipan epäkeskinen liitos pääpalkkiin.



Kuva 71. Langer-palkkisillan pääpalkin ja pääty-poikkipalkin välinen liitos. Pääpalkin ylälaippaan hitsatun kiinnityslevyn saumakohdassa oleva särö kuvattuna magneettijauhetarkastuksen jälkeen.

3.5 Haurasmurtuma, lamellirepeily ja materiaalivirheet

Valantateräs, joka otettiin käyttöön 1800-luvun lopulla, oli alkuvaiheessa laadultaan hyvin haurasta. Silloin tehdyissä kokeissa valantateräksestä tehdyt palkit kestivät vain 47... 72 % lasketusta kuormasta. Teräslaadun hauraus johtui siitä, ettei Bessemer-valmistustekniikalla saatu riittävästi poistetuksi saksalaisista malmeista niiden sisältämää runsasta fosforimäärää. Suomessa tehtiin ensimmäiset sillat valantateräksestä 1890-luvun alussa. Samaan aikaan tie- ja vesirakennusten ylihallitus otti hankintamääräyksissä käyttöön teräksen sitkeyttä kuvaavan laatuluvun C eli Tetmajerin laatuluvun. Laatuluvun arvot edellyttivät, että valantateräksen murtovenymä oli noin 21–25 %. Lisäksi vaadittiin, että fosforipitoisuus on $\leq 0,06$ P. Valantateräsrakenteille on tyypillistä, ettei niitä hitsata.

Haurasmurtuma on äkillistä murtumista ilman selvästi havaittavaa plastista muodonmuutosta. Haurasmurtuma voi saada alkunsa staattisesti

kuormitetussa rakenneosassa olevasta alkusäröstä (esim. hitsin virhe) tai väsymällä kasvaneesta säröstä, jonka jälkeen murtuma etenee nopeasti myös virheettömässä rakenteessa. Välttämättä hitsauksessa ei tarvitse olla edes virhettä (esim. reunahaavaa) vaan hitsauksessa tai kuumasinkityksessä tapahtuvien lämpötilaerojenjäännösjännityksetvoivat aiheuttaa alkusärön, joka voi toimia haurasmurtuman alkukohtana. Sitkeän murtumisen aikana rakenteeseen muodostuu plastisia niveliä, jotka muuttavat kuormitusjakaumaa ja vaurio voi rajoittua paikalliseksi. Haurasmurtuman todennäköisyys riippuu seuraavista seikoista:

- teräksen lujuus
- jännitystaso- ja tila
- ainepaksuus
- kuormitusnopeus
- käyttölämpötila ja
- teräksen sitkeys.

Korkealujuuksinen ja paksuseinämainen rakenneosia on alttiimpi haurasmurtumalle kuin matalalujuuksinen ja ohutseinäinen. Suuri kuormitusnopeus ja matala käyttölämpötila lisäävät haurasmurtuman riskiä merkittävästi. Sitkeämpi teräslaji kestää paremmin matalissakin lämpötiloissa. Haurasmurtuma-alttiutta kuvaavia materiaaliominaisuuksia ovat transitiolämpötila ja iskusitkeys. Teräksen murtumismuoto muuttuu sitkeästä hauraaksi transitiolämpötila-alueella. Transitiolämpötila ei ole yksikäsitteinen materiaaliominaisuus, vaan se riippuu käytetyssä testausmenetelmästä ja hauraudelle asetetuista vaatimuksista. Testausmenetelmänä käytetään yleisesti Charpy-V-koetta. Kokeessa murretaan iskukoesauva, jossa on 2 mm paksuinen V-lovi, heilurivasaran avulla tietyssä lämpötilassa. Transitiolämpötilaksi kutsutaan lämpötilaa, jossa koesauvan murtumiseen käytetty energia on vähintään 27 J. Lujilla hienoraeteräksillä käytetään myös mm. 30 J ja 40 J kriteeriä. Suunnitteluohjeet haurasmurtuman estämiselle on esitetty Eurocoden osassa EN 1993-1-10. Ohjeet soveltuvat vedetyille rakenneosille sekä hitsatuille ja väsytytkuormitetuille rakenneosille, joissa osa jännityssyklistä on vetoa. Ohjeet koskevat kaikkia osan EN 1993-1-9 väsymisluokkien mukaisia väsytytkuormitettuja rakenneosia, kun jännitykset lasketaan nimellisinä jännityksinä. Rakenneosille, joihin ei kohdistu vetoa, hitsausta tai väsyttävää kuormaa, säännöt voivat olla varmallalla puolella. Standardin EN 1993-1-10 mukaan pelkästään puristetuille rakenneosille ei tarvitse asettaa haurasmurtumasta johtuvia murtumissitkeyttä koskevia vaatimuksia. Rakenneosissa saattaa kuitenkin olla valmistuksesta (valssaus/hitsaus) aiheutuvia jäännösjännityksiä, jotka aiheuttavat vetoa myös puristetussa rakenneosassa. Siksi Eurocoden osa EN 1993-1-1 edellyttää myös puristetuille rakenneosille riittävää murtumissitkeyttä.

Haurasmurtuman yksi laji on lohkomurtuma, jossa teräs murtuu ilman muodonmuutosta. Hitsatuissa rakenteissa lohkomurtuman lähtöpaikka on usein hitsissä tai sen lähistöllä. Lohkomurtuman edellytyksenä:

- on olemassa murtumalle sopiva alkusärö
- rakenteessa on riittävän voimakas jännitystila ja
- lämpötila on alhaisempi kuin transitiolämpötila.

Käytännössä vain transitiolämpötilaan voidaan vaikuttaa teräksen valinnalla, sillä hitseissä on useimmiten murtuman alulle riittävän suuria vikakohtia.

Sopivan teräksen laatuluokan valinta ei aina riitä estämään lohkomurtumaa vanhenemisilmiön takia. Kun teräs on vanhentunut, rakenne ei pääse myötäämään kuormituksen kasvaessa ennen kuin noin äänen nopeudella etenevä lohkomurtuma purkaa jännityksen (kuva 73). Hitsauksen yhteydessä tavallisin esiintyvä nk. myötövanheneminen riippuu teräslaadun lisäksi plastisen muodon muutoksen suuruudesta ja lämpötilasta. Plastista muodonmuutosta (myötäämistä) tapahtuu särmäyksen yhteydessä ja vähäisessä määrin myös hitsin ympäristössä lämpöjännityksen vaikutuksesta. Myötövanheneminen voidaan välttää käyttämällä vanhenemisen kestäviä teräslaatuja (näissä teräslaaduissa tyyppi on sidottu alumiinilla nitrideiksi) ja välttämällä hitsausta muokatuissa kohdissa.

Lamellirepeily voi tapahtua hitsatussa liitoksessa, jos levyyn kohdistuu sen pintaan vastaan kohtisuorassa suunnassa vetojännitystä. Vetojännityksen aiheuttajan voi olla valmistuksessa hitsauksesta aiheutuvat kutistumisjännitykset tai liitokseen kohdistuvan ulkoisen kuormituksen aiheuttamat vetojännitykset. Lamellirepeily-alttiuteen vaikuttavat:

- materiaalin paksuussuuntaiset ominaisuudet
- liitoksen rakenne ja muotoilu
- liitosta ympäröivän rakenteen jäykkyys (hitsauskutistuman estyminen)
- hitsauksen suoritus
- liitokseen kohdistuvan kuormituksen suunta ja suuruus

Kuumavalssattujen terästen sitkeys ja muodonmuutoskyky ovat huonoimmillaan levyn paksuussuunnassa. Jos teräksen muodonmuutoskyky ei ole riittävä, varsinkin lujia teräslaatuja käytettäessä, saattaa hitsiliitoksessa esiintyä lamellirepeilyä. Lamellirepeily ilmenee hitsausliitoksen alaisina pinnansuuntaisina murtumina. Lamellirepeilylle mahdollisia rakenteita ovat jäykät piena- tai päittäishitsatut L- ja T-liitokset, koska niissä voi esiintyä suuria paksuussuuntaisia jännityksiä.

Teräksen valmistuksen yhteydessä voidaan lisäkäsittelyllä parantaa teräksen paksuussuuntaisia ominaisuuksia. Erityisesti korkea rikkipitoisuus, vaikka se olisi tavallisen teräksen tuotestandarteissa esitettyjen rajojen alapuolella, voi kasvattaa lamellirepeily herkkyyttä.

Materiaalin paksuussuuntaisia ominaisuuksia ja lamellirepeily vaaraa voidaan arvioida levyn paksuussuunnassa tehdyssä vetokokeessa mitatun murtokourouman eli Z-arvon perusteella. Paksuussuunnassa testattuja levyjä kutsutaankin yleisesti Z-levyiksi. Standardin EN 10164 mukaisesti kyseessä on lisäominaisuus, joka voidaan määritellä käytännössä kaikille teräslajeille edellyttäen, että ainepaksuus on suurempi kuin 15 mm. Standardi EN 10614 sisältää Z-levyille kolme eri laatuluokkaa, Z15, Z25 ja Z35. Standardin SFS-EN 1993-2 kansallisen liitteen (LVM) mukaan siltojen paksuussuunnassa sitkeyttä vaativissa osissa käytettävien terästen luokka on vähintään Z25 standardin EN 10164 mukaan.

Materiaaliominaisuuksien ohella lamellirepeilyriskiä voidaan pienentää muuttamalla liitoksen muotoilua ja hitsauksen suoritusta. Hitsatessa suuremmalla energialla repeilyalttius on yleensä hieman pienempi. Syynä tähän ovat parempi tunkeuma ja leveämpi hitsi, jotka johtavat muodonmuutoksen laajemmalle alueelle levyn paksuussuunnassa. Liitosten perusrakenne kannattaa konstruoida siten, että ulkoinen kuormitus ei aiheuta kohtisuoraa vetoa levyn pinnalle (kuva 74). Myös liitosten detaljisuunnittelussa voidaan pienentää lamellirepeilyriskiä (kuva 75).

Hitsauksessa aiheutuvia kutistumisjännityksiä voidaan pienentää rakenneosan liitosten hitsausjärjestyksellä sekä yksittäisten liitosten muotoilulla ja hitsauksen suoristustavalla. Yksittäisen liitoksen osalta kutistumisjännityksiä voidaan vähentää:

- pienentämällä tarvittavaa hitsiainemäärää
- hitsaamalla mahdollisimman vähän palkoja
- käyttämällä railopinnan välikerroshitsausta
- käyttämällä symmetristä hitsausjärjestystä kaksipuoleisissa raitoissa.

Hitsauksen kutistumisjännityksistä aiheutuva lamellirepeily voidaan mahdollisesti havaita hitsauksen jälkeisellä ultraäänitarkastuksella.

Eurocoden osassa EN 1993-1-10 on annettu ohjeet lamellirepeilyn estämiselle teräslaaduille, joiden lujuusluokka on S235...S460. Myös lujuusluokkien S500-S700 teräksille on tarkoituksenmukaista soveltaa standardin EN 1993-1-10 mukaisia lamellirepeilyohjeita. Lamellirepeilyvaara estetään vaatimalla materiaailta riittävä standardin EN 10164 mukainen Z-arvo tai käyttämällä rakenteen valmistuksen jälkeistä ultraäänitarkastusta. Ohuilla materiaaleilla ($t < 15$ mm) voidaan tarkistaa ainoastaan hitsauksen jälkeinen lamellirepeily.

Kuumavalssattujen levyjen yleisimmät materiaali- virheet ovat kerrostumat eli laminaarisuus, valssaussälöt, kuonasulkeumat, pintasäröt ja halkeamat. Termomekaanisesti valssatuissa teräksissä on esiintynyt aikaisemmin ns. keskilinjan suotautumaa levyn paksuussuunnassa paksummilla (yli 30 mm paksuilla levyillä) levyn paksuuksilla.

Teräsmateriaalin pintaosien virheet, valssaussälöt, kuonasulkeumat ja pintasäröt, eivät yleensä vaikuta rakenteen kestävytyteen, koska virheet rajoittuvat teräksen pintaosiin ja ovat yleensä paikallisia. Väsytytkuormitetussa rakenteessa teräksen pintaosien virheet voivat toimia kuitenkin väsytyssärön alkukohtana, mikäli pintaosan materiaalivirhe sijaitsee voimakkaasti väsytyksrasitetussa kohdassa. Teräsmateriaalin pintaosien virheet huonontavat myös pintakäsittelyn laatua, mikäli teräsmateriaalin pintavirheitä ei korjata ennen pintakäsittelyä. Materiaalivirhe voi toimia alkukohtana korroosio- vauriolle, joka ajan myötä etenee syöpymis- vaurioksi.

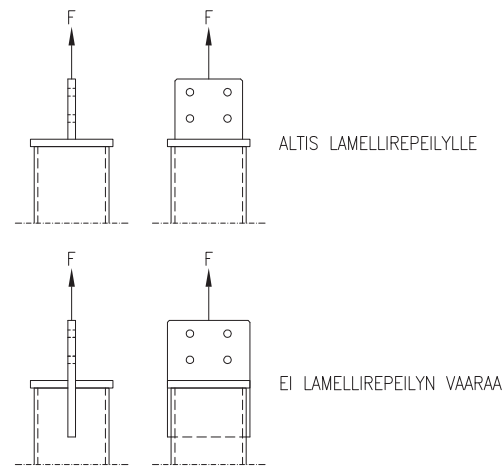
Teräsmateriaalin laminaarisuus voi heikentää pahimmassa tapauksessa teräksen lujuutta erityisesti levyn paksuussuunnassa. Usein on kyse yksinkertaisesta kerrostumisesta, joka tosin paljastuu ultraäänitutkimuksessa. Jos ultraäänitutkimuksessa hyväksi todettu levy käyttäytyy samalla tavalla, kyseessä on teräslevyn taipumus lamellirepeilyyn. Kerrostuneessa levyssä on alueita, jossa valukutistuma tai muunlaiset valanteen virheet ovat valssautuneet tasomaisiksi, joskus hyvin laajoiksi virheiksi. Tällä kohdalla paksuussuuntainen lujuus on olematonta. Lamellirepeämään taipuvaisessa levyssä paksuussuuntaisen heikkouden aiheuttajana ovat kerrostumia paljon pienemmät ei-metalliset sulkeumat, jotka ovat litistyneet levyn suuntaisiksi. Murtuma etenee pitkin sulkeumia ja vain pienet välimatkat itse terästä pitkin. Laminaarisuus voi väsytytkuormitetussa rakenteessa edistää myös säröilyä.

Teräsmateriaalin sisäiset viat voidaan havaita ultraäänitutkimuksella. Ultraäänitarkastus on yleensä mahdollinen vähintään 6 mm paksuille teräslevyille.

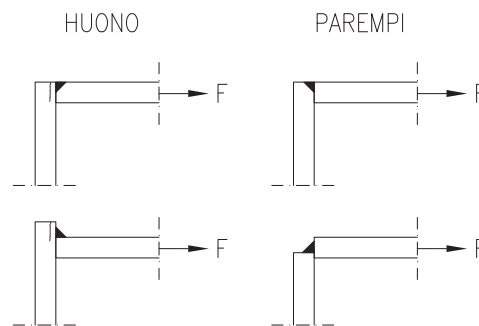
Niiteissä on havaittu epähomogeenisuutta ja huokoisuutta kuten muissakin valantateräksessä. Niiteissä on havaittu myös kovuseroja, jotka paljastuvat hionnan aikana (karkaistumisen eroja). Niittien kannoissa on myös tummempia sulkeumia,



Kuva 73. Lohkomurtuma



Kuva 74. Vetosauvan liitoksen lamellirepeilyvaaran pienentäminen liitoksen konstruktioita muuttamalla.



Kuva 75. Hitsausliitoksen lamellirepeilyvaaran pienentäminen.

3.6 Rakentamisvirheet

3.6.1 Hitsausvirheet

Yleisimpiä rakentamisaikaisia virheitä ovat hitsausvirheet. Erityisesti paikan päällä tehtävissä hitsauksissa tulee kiinnittää huomiota hitsausolosuhteisiin ja hitsauksen onnistumiseen. Tärkein teräksen hitsattavuuden vaikuttava ominaisuus on hiiliekvivalentti koostumus. Hiiliekvivalentista selviää teräksen karkenemistaipumus ja kuumahalkeamaherkkyys. Yleisimmin hiiliekvivalentin laskennassa käytetään standardin SFS-EN 10025-1 mukaista CEV-kaavaa:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Kaavassa olevat tekijät ovat kunkin alkuaineen ainespitoisuudet prosentteina teräksessä. Kun hiiliekvivalentti arvo jää pienemmäksi kuin 0,41 ei tarvita erikoistoimenpiteitä. Välillä 0,41...0,45 tulee käyttää emäspäällysteisiä puikkoja, joiden on oltava kuivia. Yli 0,45:n hiiliekvivalenttiarvoilla hitsaus on lisäksi suoritettava esikuumentamalla käyttäen.

Yleisimpiä hitsausvirheitä ovat:

- reunahaavat
- huokokset
- kuonatulkeutumat
- kutistumisontelot ja päatekraaterihalkeamat
- hitsausaineen ja teräksen välinen liitosvirhe
- vetyhalkeama muutosvyöhykkeellä
- kuumahalkeama hitsin keskellä
- sovitusvirheet
- vajaa hitsaus- tai tunkeutumissyvyys
- muodonmuutokset hitsattavassa rakenteessa
- vajaa hitsipaksuus
- pienahitsien korkea kupu
- pienahitsien ylisuuri a-mitta
- pienahitsien kateettipoikkeama
- hitsipalon liian jyrkkä liittymä perusaineeseen
- riittämätön hitsausenergia

Reunahaavalla tarkoitetaan hitsin rajaviivan viereen perusaineeseen muodostuvaa uraa, joka muodostuu, kun valokaaren sulattama perusaine valuu ilman että lisäaine täyttäisi sulaneen kohdan.

Kaasuhuokokset syntyvät hitsisulaan liuenneiden kaasujen muodostamista kuplista, jotka eivät ole ehtineet poistua sulavaiheen aikana. Kaasuhuokokset ovat tavallisesti pallomaisia ja siten suhteellisen vaarattomia, mutta myös lieriömäisiä onteloita voi esiintyä. Kaasuhuokosten syynä on usein puikon päällysteen tai jauheen kosteus tai railossa oleva kosteus, lumi, rasva tms. Myös puutteellinen kaasusuojauksen rikkoutuneen päällysteen tai puikon virheellisen kuljetuksen takia voi olla syynä kaasuhuokosten syntymiseen. Useilla rutiili- ja hapantäpläisillä puikoilla on taipumusta huokoisuuteen monipalkohitseissä. Nykyisin kenttäolosuhteissakin käytetään hyvin yleisesti kaasukaarihitsausta (MAG-hitsaus). Tällä menetelmällä hitsattaessa on tärkeää suojata hitsauskohta tuulelta huolellisesti, jotta kaasusuojauksen pysyminen hitsisulan ympärillä. Jos kaasusuojauksen ei ole hyvä, syntyy hitsisaumaan mm. huokosia.

Kuonasulkeutumien esiintyminen hitseissä täplämuotoisina tai viivamaisina. Niiden syynä on puutteellinen kuonan poisto palkokerrosten välistä, ahdas railo tai virheellinen hitsaustapa, jolloin sula kuona pääsee valumaan railoon sellaiseen soppeeseen, jota valokaari ei kykene täydellisesti sulattamaan. Väsymislujuttua heikentävät erityisesti hitsin rajaviivalle jääneet kuona- ja oksidisulkeutumien.

Hitsin sisäinen kutistumisontelo syntyy hitsin lopetuskohtaan, kun hitsaus keskeytetään ilman lämmöntuonin hidasta vähentämistä. Tällöin hitsin lopetuskohtaan voi muodostua myös pintaan asti ulottuva suppilomainen reikä. Tavallisesti päätteeseen syntyy vielä kraaterihalkeama. Varsinkin jauhekaarihitsauksessa on välttämätöntä jatkaa hitsausta aloitus- ja lopetuspalojen avulla ohi perusaineen reunan. Aloitus- ja lopetuspalojen käyttö on tarpeen kaikilla hitsausmenetelmillä esim. sillan laippalevyjen päittäisliitoksissa, kun halutaan saada mahdollisimman virheetön hitsi reunaan saakka.

Liittymisvirheellä tarkoitetaan perusaineen ja lisäaineen rajalla olevaa hitsautumatonta kohtaa. Se johtuu tavallisesti hitsisulan valumisesta sulamattomaan railonosaan (ns. kylmäjuoksu). Syynä on tavallisesti karkea suoritusvirhe, hankalat hitsausolosuhteet tai huono railon muoto.

Vety- eli karkenemishalkeamat eivät useinkaan synny ilman vedyn myötävaikutusta. Ne esiintyvät hitsipalon vieressä palon suuntaisina eivätkä ne aina ulotu pintaan saakka. Vety tulee hitsiin tavallisimmin puikosta, railosta tai ilmassa

olevasta kosteudesta. Karkenemishalkeama voidaan välttää estämällä vedyn pääsy hitsiin tai estämällä karkeneminen muutosvyöhykkeellä. On käytettävä kuivia hitsauspuikkoja. Korotettu työlämpötila, hitsattavan kohdan lämmittäminen tavallisesti 100...200 °C:een, kuivaa railon ja estää jäähtymisnopeutta hidastamalla usein karkenemisen. Hiili- ja seosainepitoisuuksien kasvaessa on käytettävä tätä korkeampi työlämpötiloja. Jäähtymisnopeus pienenee myös tuomalla hitsiin runsaasti lämpöä hitsaamalla suurilla virran arvoilla tai useampi palko välittömästi toisensa jälkeen antamatta hitsin välillä jäähtyä. Hitsisauman lämpösuojaus tulee tehdä erityisesti paksuja teräksiä ja vanhoja teräslaatuja hitsatessa. Hitsisauman lämpösuojaus voidaan toteuttaa esim. asentamalla mineraalivillakaista sauman päälle. Hidas jäähtyminen on tärkeää ja teräksen karkeneminen voi olla ajallisesti muutamasta sekunnista kiinni. Koehitsaus, jossa lämpösuojaus saadaan toteutettua, voi onnistua hyvin, mutta rakenteessa jossa lämpösuojaus jää puutteelliseksi voidaan saada aikaiseksi haurashitsi.

Kuumahalkeama syntyy hitsin keskikohdalle ja on hitsipalon suuntainen. Hitsisulan jähmettyminen alkaa railon reunoilta. Jähmettymisen fysiikkaan liittyvät ilmiöt aiheuttavat sen, että viimeksi jäähtyvään palon keskiosaan rikastuu sulamislämpötilaa alentavia aineita, kuten hiiltä ja rikkiä. Tämä verraten kapea vyöhyke on mekaanisesti heikko ja hitsausjännitykset voivat repäistä sauman halki tältä kohdalta.

Muotovirhe on hitsin kuvun mittojen poikkeaminen suunnitelmien ja standardin mukaisista arvoista, jotka määrittellään esimerkiksi hitsiluokan yhteydessä. Virheitä ovat alamittainen hitsi, liian korkea tai liian kupera kupu, liian jyrkkä liittymä perusaineeseen, liitettävien osien virheellinen sovituminen, sytytysjäljet, roiskeet ja kuonan hakkauksen jättämät jäljet.

Puutteellisessa tunkeumassa eli juurivirheessä railopinnat eivät ole sulaneet kokonaan tai haluttuun syvyyteen. Juurivirheen syynä voi olla huono railon sovituminen kuten liian pieni ilmarako, hitsausvirhe kuten kuonan tai hitsisulan juoksu sulamattomaan railonosaan, riittämätön hitsausenergia tai puutteellinen juuren aukaisu. Jauhekaarihitsauksessa voi syynä olla myös tunkeuman kohdistuminen railon viereen.

3.6.2 Pintakäsittelyn virheet

Toinen yleinen rakentamisvirhe on pintakäsittelyn epäonnistuminen. Pintakäsittelyn virheet johtavat ennen aikaiseen korroosiovaurioon ja korroosioaurion edetessä syöpymisvaurioon, mikäli pintakäsittelyn vaurioita ei korjata ajoissa. Pintakäsittely työvirheitä ovat puutteellinen esikäsittely, väärät maalausolosuhteet, väärä kalvopaksuus, riittämätön ammattitaito ja huolimaton maalaus työ. Teräsrakenteiden pintakäsittelyn vaurioita ja virheitä on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeessa 1.351 Pintakäsittely /2/*.

3.6.3 Mekaanisten liitosten virheet

Kitkaliitoksessa yleisin puute on kitkapintojen puutteellinen karhennus ja puhdistus, väärä pintakäsittely sekä kitkapintojen epätäydellinen sovitus toisiinsa, jolloin kitkapinnat eivät kosketa toisiaan koko alueelta. Esijännitettävien ruuvien liian alhainen kiritysmomentti ja ruuvien vääränlainen kiristysjärjestys voi myös alentaa kitkaliitoksen kapasiteettia. Kitkaliitoksissa ruuvit eivät välitä leikkausvoimia reunapuristuksen välityksellä. Kitkaliitoksissa ruuvien reikien nimellishalkaisijan täytyy olla 1...2 mm suuremmat kuin ruuvien halkaisija ja ruuveja ei saa asentaa pakottamalla reikiinsä.

Ruuviliitoksissa ruuvien kierreosa voi yltää liitettävien osien alueella vaikka suunnittelussa on edellytetty, että kierteet eivät ulotu liitettävien osien alueelle. Tämä alentaa kyseisen ruuvien leikkaus- ja reunapuristuskapasiteettia. Reikiä on voitu myös joutua työstämään asennusvaiheessa ruuvien reikään sovittamisen yhteydessä, jolloin reunapuristus ei vaikuta tasaisesti kaikissa ruuveissa ja liitoksen leikkauskapasiteetti alenee.

Niittiliitoksissa yleisin rakentamisvirhe on, ettei niitti täytä koko reikää. Niitin reikää on mahdollisesti jouduttu suurentamaan, jotta niitti saadaan sovitettua reikään, jolloin reunapuristusvaikutus leikkausvoiman vaikuttaessa jää kyseisen niitin osalta vajaaksi. Tuumakokoisten niittien reikien teon yhteydessä tapahtuneet ”tuuma vs. mm”-yksiköiden muunnosvirheet ovat myös johtaneet väärän kokoisten niitin reikien tekemiseen. Mahdollisesti niitin lämmittäminen ja lyöntityö on voinut olla myös puutteellinen, jolloin myös niitin reunapuristusvaikutus voi jäädä vajaaksi leikkausvoimien vallitessa.

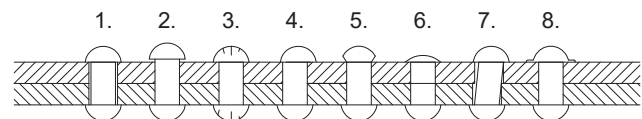
Mikäli niitin reiät eivät ole olleet kohdakkain niittejä punahehkuisina ja pehmeinä lyötäessä, niitin varsi on voinut vääntyä jo asennusvaiheessa.

Niittiliitoksissa on voitu käyttää myös liian pitkiä niittejä, jolloin niittiä asennettaessa, niitin kannan ympärille on pursunnut ohut kaulus (kuva 77). Niitin pursunneeseen helmaan syntyy helposti korroosiovaurioita.

Niitatuissa liitoksissa niittien tiukkuus voi vaihdella. Ensimmäisenä lyödyt niitit ovat löystyneet, kun liitoslevy on asettunut paremmin paikoilleen. Tästä syystä liitoksissa voi olla niittejä, joissa kanta ei ole tiivistä kiinni alustassa.

Yleinen rakentamisvirhe on, ettei liitososien sovitus ole riittävän tiivis. Esimerkiksi uuman kylkeen kiinnitetty L-teräs on liian pitkä ja ulottuu palkin laipan pyörityksen päälle, jolloin L-teräksen ja uuman väliin jää rako. Liitoslevyn ja uuman väliin jää rako, mikäli uuman paksuus muuttuu liitoskohdassa ja täytelevyjä ei ole käytetty. Samantyyppisiä liitoskappaleiden sovitusvirheitä on myös muissa liitoksissa, joissa liitettävien osien paksuudet ovat erilaisia. Sekundääriseen pituussuuntaisen palkin ja poikkipalkin uuman välissä on yleensä rakoa 0,5...10 mm johtuen huonosta sovituksista. Palkki on erittäin haastava (mahdoton) sovittaa tiukasti poikkipalkkien väliin, joten kyse on suunnitteluvirheestäkin.

Niittauksessa tavallisimpia virheitä *Sillanrakennuksen oppikirjan /12/* vuodelta 1959 mukaan ovat:



1. Niitin varsi ei täytä tiivistä niitin reikää. Vasaralla niitin kantaa koputettaessa niitti värisee. Syynä on virheellinen niittaus.
2. Niitin kanta ei ole tiivis. Niitti liikkuu päälle lyötäessä. Virheellinen niittaus.
3. Niitin kannassa on halkeamia. Kyseessä on ainevika tai liiallinen niitin kuumentaminen.
4. Epäkeskinen niitin kanta. Virhe havaitaan mittaamalla niittivälit.
5. Niitin päatekanta jää reunoiltaan koholle, kun päatekannassa on liian vähän ainetta.
6. Niitin päatekanta on pieni, kun päatekannassa on liian vähän ainetta.
7. Niitti on vinossa asennossa.
8. Kun niitin päatekannassa on liian paljon ainetta, syntyy reunaan purseita.

Laakereiden ja liikuntasauvojen asennuksen yhteydessä lämpötilakorjaukset on voitu tehdä väärin, jolloin liikevarat eivät ole suunnitellun mukaisia.

Joissakin vanhoissa valssatuissa profiilipalkeissa on havaittu myös muoto- ja poikkileikkausmittavirheitä.



Kuva 76. Liian pitkän niitin takia syntynyt ”helma-riitti”, jossa kannan ympärille on pursunnut asennettaessa kaulus.

3.7 Suunnitteluvirheet

Yleisimpiä suunnitteluvirheitä on liitosten ja detaljien puutteellinen muotoilu. Detaljit on suunniteltu sellaisiksi, että ne keräävät likaa tai vesi ei pääse poistumaan rakenteen pinnalta. Detaljiin on saatettu suunnitella liian pienet vedenpoistoreiät, jolloin lika tukkii vedenpoistoreiät ja vesi pääsee kertymään koloon (kuva 63). Tämä aiheuttaa ennen aikaista korroosiota, joka myöhemmin johtaa teräsrakenteen syöpymisvaurioon, ellei pinnoitetta korjata korroosiovaurion alkuvaiheessa.

Samassa kohdassa useamman kuin kahden teräslevyn liittäminen hitsaamalla toisiinsa vaatii yleensä notsiaukon käyttöä. Ellei notsiaukkoa käytetä, teräslevyihin syntyy moniulotteisia jännitystiloja. Esimerkiksi uuman pystyjäykisteeseen syntyy tällöin jäykistelevyn paksuussuuntaisia jännityksiä, joka ei ole suotavaa. Lisäksi ilman notsiaukkoa tehtävässä liitoksessa joudutaan jäykistelevyn hitsit hitsaamaan uuman ja laipan välisen hitsin päälle. Hitsausta toisen hitsauksen päälle on vältettävä erityisesti tapauksissa, joissa jännitykset vaikuttavat eri suuntiin. Pystyjäykisteiden alapäässä notsiaukko kasvattaa jäykisteen kokoa etenkin tukialueella (laakerin kohdalla). Kaarevasa alalaipassa notsikaukot pitää olla, ettei vesi jää makaamaan jäykisteen yläpuolella alalaipan päälle.

Tippu- ja pintavesiputkia on sijoitettu kansilaatan alapuolella sijaitsevien poikkipalkkien, poikkiristikoiden, vaakaristikoiden sauvojen tai teräsrakenteiden kohdalle tai putket ovat liian lyhyet. Putkesta tippuva suolapitoinen vesi vaurioittaa pinnoitteen ja korroosio etenee nopeasti syöpymisvaurioksi (kuva 77). Tippu- ja pintavesiputkien oikealla sijoittamisella ja liikuntasauvalaitteen vedenpois-

ton järjestäminen ovat pieniä detaljeja, joilla on kuitenkin iso vaikutus rakenteen säilymiseen.

Kutistumasta ja lämpötilakuormista aiheutuvat kuormat on voitu ottaa huomioon puutteellisesti suunnitteluvaiheessa. Nämä kuormat voivat aiheuttaa rakenteeseen pakkovoimia, jotka ilmenevät sillan päädyissä mm. poikkirakenteiden liitoksien säröinä tai halkeamina. Tyypillinen esimerkki tästä on Langer-palkkisillojen päällysrakenne. Langer-palkkisillassa kansilaatta jakaa kuormitusta sekundääri- ja poikkipalkeille ja toimii liittorakenteen osana. Pituussuuntaiset sekundääripalkit ja niiden välinen osa poikkipalkeista toimii liittorakenteena kansilaatan kanssa. Poikkipalkit toimivat reunasekundäärien ja pääpalkkien välisellä osalla pelkkinä teräspalkkeina. Pääpalkit toimivat kaaren kantojen välillä kansilaatasta irti olevina pelkästään teräsrakenteisina taivutettuina ja vedettyinä vetosauvoina. Liittorakenteinen laatta jäykistää reunasekundäärien rajaaman kansiosan vaakatasossa jäykästi toimivaksi levyrakenteeksi, joka kiinnittyy laatasta irti oleviin teräksisiin pääpalkkeihin liittorakenteen ulkopuolisten poikkipalkkiosien välityksellä (kuva 78). Muodonmuutoskuormista (kutistuma, materiaalien lämpötilaerot) johtuvista siirtymäeroista pääpalkkien ja kannan jäykän osan välillä aiheutuu merkittäviä rasituksia näille lyhyille (1,1 m), molemmista päistään jäykästi kiinnittyville poikkipalkkiosille. Laskelmien perusteella näistä lähtökohtaisesti sekundäärisistä pakkovoimista voi kehittyä sillan päissä poikkipalkin laippoihin määrääviä, jopa murtolujuusluokkaa olevia jännityksiä.

Rakenne voi toimia erilalla kuin suunnittelussa on oletettu. Tyypillinen esimerkki tästä on ristikkosillan pituussuuntaisten sekundääripalkkien toimiminen paarteiden tavalla veto- tai puristusauvana sillan pituussuuntaisille voimille. Nämä lisäjännitykset pienentävät pituussuuntaisten sekundääripalkkien kestävyyttä. Pituussuuntaisten sekundääripalkkien liikkeet aiheuttavat nopeasti kiskon epänormaalin kulumisen ja kiskovaurion. Vastaavasti päältä havaittava kiskovaurio voi olla oire ongelmista sekundääri- ja poikkipalkeissa. Pituussuuntaisten sekundääripalkkien ylälaippa ja ylälaippojen liitokset tulisi aina tarkastaa siltapölkkyjen vaihdon yhteydessä, muuten levyjen halkeamia voi olla vaikea havaita pölkyn alta. Pituussuuntaiset sekundäärikannattimet on voitu suunnitella jatkuvina palkkeina, joihin muodostuu poikkipalkkien kohdille tukimomenttia. Todellisuudessa poikkipalkit ovat joustavia tukia, jolloin pituussuuntaisten sekundääripalkkien tukimomentti on pienempi ja vastaavasti aukkomomentti suurempi kuin suunnittelussa on oletettu. Pituussuuntaisen sekundääripalkin alalaipan ja poikkipalkin uuman välissä on lähes poikkeuksetta rakoa, jolloin pituussuuntainen sekundääripalkki toimii jatkuvana vain osalle kuormaa ja kentän momentti edelleen kasvaa.

Myös vaakajäykistysristikon muoto voi olla sellainen (mm. Andreas-ristikko), että se toimii myös pituussuuntaisia kuormia ottavavana rakenteena vaikka suunnittelussa vaakaristikon on oletettu toimivan vain sivusuuntaisille vaakakuormille.

Betonikantisessa teräspalkkisillassa kansilaatta voi toimia osittain liittorakenteen tavoin vaikka suunnittelussa kansilaatan ja teräspalkkien on oletettu toimivan erillisinä rakenteina. Osittainen liittovaikutus voi syntyä kansilaatan ja teräspalkin ylälaipan välisessä liitoksessa vaikuttavan kitkan vaikutuksesta. Osittainen liittovaikutus voi syntyä myös ylälaipan leveys- ja paksuusmuutoksien takia, mikäli ylälaippa on valettu kokonaan betonin sisään. Osittainen liittovaikutus voi syntyä myös ylälaippaan kiinnitettyjen lisälevyjen takia.

Joissakin silloissa päätyilla on käytetty betonirakenteista poikkipalkkia, joka toimii painona laakereiden ylösnousemisen estämiseksi keskiaukon ollessa pitkä verrattuna reunaaukon pituuteen. Betoniset päätypoikkipalkit on valettu suoraan kiinni teräksissä pääpalkkeissa oleviin tartuntoihin ja jäykisteisiin. Tällöin päätypoikkipalkki toimii myös vääntörasituksia ottavana rakenteena vaikka vääntörasitusta ei suunnittelussa ole huomioitu. Päätypoikkipalkin

vääntörasitukset aiheutuvat pääpalkkien taipumaeroista liikennekuorman sijaitessa epäkeskisesti vain toisella kaistalla.

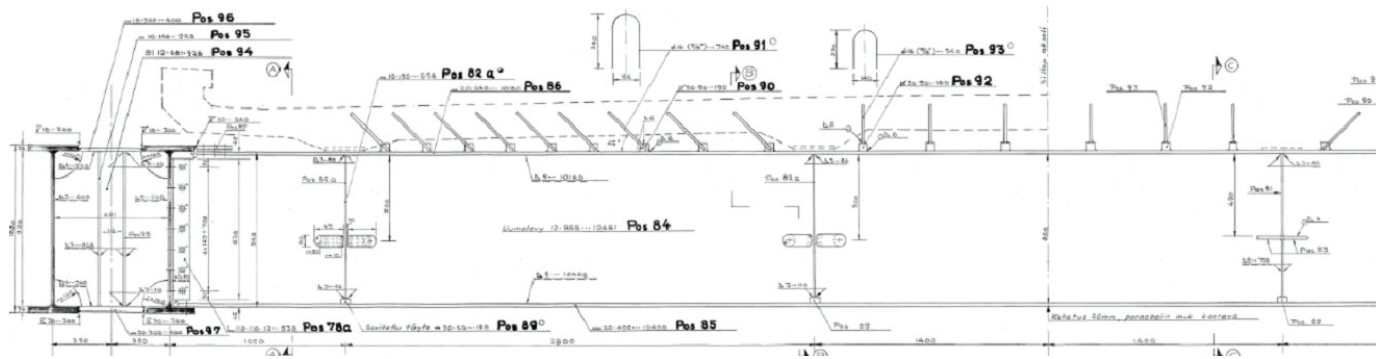
Siltojen kaidetolpissa tyypillinen suunnitteluvirhe on vedenpoistoreikien puuttuminen onton tolpan alapäästä, ellei tolppa ole ilmatiivis. Putken sisään kertynyt vesi jäätyessään halkaisee putken seinämän. Vastaavia vaurioita voi esiintyä myös muissa suljetuissa sillan rakenneosissa.

Mikäli sillassa on havaittu rakenteellisia vaurioita, on niiden syyt selvitettävä aina ennen varsinaisen korjaussuunnittelun aloittamista. Tällöin korjaussuunnittelun alkuvaiheessa sillasta on laadittava riittävän tarkka rakennemalli, jotta rakenteiden todellinen toimintatapa ja eri rakenneosien todelliset voimasuureet saadaan selvitettyä luotettavasti riittävällä tarkkuudella.

Joissakin rakenteissa niittiliitokset on sijoitettu siten, että niitteihin voi tulla vetorasituksia. Ratasilloissa sekundääristen pituuskannattimien ylälaippojen ollessa samalla tasolla poikkipalkkien ylälaippojen kanssa, universaalijatkoksen peittolevyt on niitattu sekä sekundääriseen pituuskannattimeen että poikkipalkkiin, jolloin on mahdollista että peittolevyn niitit saavat vetoa. Sekundääriset pituuskannattimet on sijoitettu muutamissa silloissa niitattujen ulokkeiden varaan, jolloin ulokkeen niitit saavat vetorasituksia.



Kuva 77. Tippuputki on sijoitettu virheellisesti poikkiristikon kohdalle. Tippuputkesta valuva vesi on vaurioittanut pinnoitteen ja korrosio on edennyt poikkiristikon koko yläpaarten osalle.



Kuva 78. Langer-palkkisillan kannen puolikkaan poikkileikkaus, tyyppiirustus TK 3-5.

3.8 Ilkivalta ja puutteellinen kunnossapito

Ilkivallasta aiheutuvat vauriot kohdistuvat lähinnä teräsrakenteiden pintakäsittelyyn. Pintakäsittelyä sotketaan töherryksillä, jotka ovat toisin vain esteettinen haitta. Pintakäsittelyä voidaan vahingoittaa naarmuttamalla tai kiviä heittelemällä, jolloin vaurioitettuun kohtaan voi tulla ennen aikaisia korroosiovaurioita.

Vinoköysisiltojen köysien suojaputkia vahingoitetaan ilkivaltaisesti, jolloin köysien korroosiosuojaus voi heikentyä. Riippuköysisiltojen köysissä ei yleensä ole suojaputkia ja ilkivalta kohdistuu köysien pintakäsittelyyn ja köysinippujen kittauksiin, myös tällöin köysien korroosiosuojaus heikentyy.

Muille kantaville teräsrakenteille pystytään harvoin tekemään ilkivaltaa siten, että sillä olisi merkitystä rakenteen kantavuuteen tai toimintaan. Kantavat rakenteet ovat niin massiivisia ja lujia, että niiden vahingoittaminen vaatisi työkaluja.

Töherrysten ja muun ilkivallan tekemistä voidaan vähentää rakentamalla palkkeihin nousuesteitä.

Puutteellinen tai virheellinen kunnossapito edistää teräsrakenteiden vaurioiden syntymistä. Tyypillisesti kunnossapidon laiminlyönnit liittyvät sillan varusteisiin kuten liikuntasaumalaitteisiin, laakereihin, vedenpoistolaitteisiin sekä sillan pintakäsittelyn korjauksiin.

Liikuntasaumalaitteiden kumien vioittuessa suolapitoinen vesi pääsee valumaan kansilaatan alapuolella olevien teräsrakenteiden päälle. Yleensä liikuntasauaman läheisyydessä on myös kansilaatan alapuolisia poikkirakenteita, jotka ovat tällöin alttiina liikuntasauamasta valulle suolapitoiselle vedelle. Valuva vesi yhdessä hiekan ja muuan

lian kanssa vaurioittavat teräsrakenteen pinnoitetta, joka johtaa korroosiovaurioon ja lopulta syöpmisvaurioon, ellei liikuntasaumalaitetta ja teräsosien pintakäsittelyä korjata ajoissa.

Liikuntasauamasta valuva vesi vaurioittaa myös laakereita. Laakerit sijaitsevat liikuntasauaman alapuolella ja sen välittömässä läheisyydessä, joten ne ovat hyvin alttiita korroosio- ja syöpmisvaurioille liikuntasaumalaitteen vuotaessa. Laakerisuoja-keräät sisäänsä lian, joten on hyvä harkita siltakohtaisesti onko laakerisuojusta enemmän haittaa kuin hyötyä. Laakerin huoltokäsittelyn laiminlyönti edistää korroosio- ja syöpmisvaurioiden syntymistä entisestään. Terässillan laakereita on tehty tyyppiirustusten DT/1...21 mukaisesti vuodesta 1951 aina 1970 luvulle saakka.

Tukkeutunut pintavesiputki aiheuttaa vesilätäkön pintarakenteiden pinnalle. Ajoneuvojen renkaista aiheutuvat paineiskut vesilätäkön välityksellä pintarakenteisiin ja vesilätäkön jäätyminen rikkovat pintarakenteita.

Siltojen huolellisella pesulla voidaan ehkäistä korroosio- ja syöpmisvaurioiden syntymistä. Myös vaikeat piilossa olevat raot pitää puhdistaa pesun yhteydessä. Ennen pesua olisi hyvä korjata vuotavat vedenjohtolaitteet ja liikuntasauamat ja muut likaantumista aiheuttavat puutteet.

Lintujen ulosteet ja pesät aiheuttavat myös pintojen likaantumista ja voivat edistää pintakäsittelyn vaurioita ja korroosiota. Lintujen aiheuttamia haittoja voidaan ehkäistä asentamalla lintuesteitä.

Betonikantisissa terässilloissa kannen veden-eristyksien vuotaminen aiheuttaa korroosio- ja syöpymisvaurioita teräspalkkien ylälaipoissa. Mikäli kannen veden eristystä ei korjata ajoissa, vaurioita alkaa ilmetä myös palkkien muissa osissa suolapitoisen veden valuessa palkin kylkeä pitkin alalaippaan saakka. Vesi pääsee valumaan kansilaatan läpi yleensä kansilaatan poikittaisten halkeamien kautta, jolloin ensimmäiset teräsrakenteen vauriot syntyvät kansilaatan halkeaman kohdalle. Pintarakenteiden vuotaminen tulee näkyviin kansilaatan alapuolella melko myöhään, jolloin korroosio ja betonin rapautuminen ovat jo käynnissä. Pintarakenteiden kuntoa voidaan tutkia tehokkaasti NDT-menetelmillä jo ennen kuin vesi vuotaa kannen läpi.

Puukantisissa tiesilloissa kansirakenteen ja rata-silloissa puusiltapölkkyjen löystyneet kiinnitykset mahdollistavat puuosien liikkumisen liikennekuormituksesta. Liikkuvat puuosat vaurioittavat alapuoleisen teräspalkin ylälaipan yläpinnan pinnoitetta, joka aiheuttaa ennen aikaisia korroosio- ja syöpymisvaurioita ylälaipassa.

Siltojen päät ovat usein teräksisten rautatiesiltojen ongelmapaikka, koska silta ja penger muodostavat epäjatkuvuuskohdan, johon syntyy herkästi raiteen painumaa. Radan tukeminen on sillan päässä vaikeaa, koska tukemiskone ei pääse sillan päähän ja siltojen suojakiskot vaikeuttavat kiskojen tukemista. Taustapenkereen painuman korjauksen ja kiskojen tukemisen laiminlyönti aiheuttaa sillan rakenteille ylimääräistä kuormitusta. Junan tullessa sillalle epäjatkuvuus sillan päässä aiheuttaa ylimääräisen sysäyksen, jonka vuoksi sillan 1-3 ensimmäistä poikki- ja pituuskannattinta vaurioituvat helpommin kuin muut poikki- ja pituuskannattimet.

4 TUTKIMUKSET JA PERIAATERATKAISU

4.1 Tarkastukset ja tutkimukset

4.1.1 Siltojen tarkastukset

Siltojen osalta käytönaikaiset tarkastustyyppit jaotellaan seuraavasti:

- vastaanottotarkastus (VOT)
- vuositarkastus (VT)
- yleistarkastus (YT)
- laajennettu yleistarkastus (LYT)
- erikoistarkastus (ET)
- tehostettu tarkkailu (TT)
- monitorointi, koekuormitus

Vastaanottotarkastus käynnistää sillan tarkastustoiminnan. Vastaanottotarkastuksessa kerätään tarkastustoiminnan lähtöasiakirjat. Niiden perusteella sillan perustiedot päivitetään Taitorakennerekisteriin ja määrätään ensimmäisen yleistarkastuksen ajankohta. Urakoitsija toimittaa tilaajalle tarkepiirustukset viimeistään vastaanottotarkastuksessa.

Vuositarkastus on sillalle vuosittain tehtävä silmämääräinen tarkastustoimenpide, jonka tarkoituksena on havaita liikenneturvallisuutta vaarantavat tai liikenteen sujuvuutta tai rakenteiden käyttöturvallisuutta haittaavat tekijät ja sillan kunnossapitoon liittyvät puutteet. Vuositarkastus tehdään tiesilloille ohjeen *Siltojen vuositarkastusohje /13/* ja rautatiesilloille ohjeen *Rautatiesiltojen vuositarkastusohje /14/* mukaisesti. Vuositarkastuksessa tehdään havainnot rakenneosien kunnosta ja tarkastetaan hoidon taso. Vuositarkastuksessa havaitut vauriot saatetaan tilaajan tietoon tiesiltojen osalta *Sillan vuositarkastuslomakkeella /15/* ja rautatiesiltojen osalta *Rautatiesillan vuositarkastuslomakkeella /16/*. Pahat vauriot siirretään tarkastettavaksi yleistarkastuksessa tai tutkittavaksi erikoistarkastuksessa.

Yleistarkastus on sillalle tehtävä ”pää tarkastus”, jolla seurataan sillan kunnan kehittymistä koko sillan käyttöajan ajan. Yleistarkastus on vuositarkastusta tarkempi, pääsääntöisesti silmämääräinen tarkastus, joka tehdään yleensä 3–8 vuoden välein. Yleistarkastus on pohjana seuraavalle tarkastukselle ja toimenpiteiden ohjelmoinnille. Yleistarkastuksessa havaittujen vakavien vaurioiden perusteella rakenne voidaan asettaa tehostettuun tarkkailuun tai sille suositellaan erikoistarkastusta.

Terässilloille tehdään yleensä laajennettu yleistarkastus joka toisella yleistarkastuskerralla. Laajennettu yleistarkastus sisältää normaalin yleistarkastuksen lisäksi näytteidenottoa ym. tarkastusta tukevia toimenpiteitä, jotka on katsottu tarpeelliseksi riittävän kattavan tiedon saamiseksi sillan kunnosta. Pääsääntöisesti terässiltojen laajennettu yleistarkastus tehdään erillisten ohjeiden mukaisesti. Teräs- ja köysisiltojen yleistarkastuksille on julkaistu omat ohjeensa Liikenneviraston ohjeita -sarjassa:

- *Sillan laajennettu yleistarkastus, osa 1: Terässillat /17/*
- *Sillan laajennettu yleistarkastus ja huolto-ohje, osa 2: Köysisillat /18/*.

Siltojen yleistarkastuksien ja laajennettujen yleistarkastuksien laatuvaatimukset on esitetty ohjeessa *Siltojen yleistarkastusten laatuvaatimukset /19/*.

Erikoistarkastuksen tarkoituksena on saada yleistarkastusta tarkempaa tietoa sillan kunnosta korjaussuunnittelun ja/tai muiden toimenpidepäätösten lähtötiedoksi. Erikoistarkastus tehdään, kun vuosi- tai yleistarkastuksen perusteella on syytä selvittää rakenteessa näkyvien vaurioiden syntymekanismia tarkemmin, selvittää rakenteen vaurioitumisaste syvemältä, tarkentaa rakenteen kuntoarviota tai kun vaurioita on niin paljon, että sillan peruskorjaus alkaa olla ajankohtainen. Erikoistarkastuksessa käytetään silmämääräisten tarkastuksien lisäksi tarkempia tutkimusmenetelmiä, joiden avulla rakenteiden kuntoa voidaan arvioida pintaa syvemältä. Siltojen erikoistarkastuksien laatuvaatimukset on esitetty ohjeessa *Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset /20/*.

Tehostettua tarkkailua käytetään esimerkiksi, kun vauriot vaikuttavat rakenteen kantavuuteen tai rakenteen kunto huonontuu kriittiseksi. Tehostettua tarkkailua voidaan käyttää seurattessa tietyn tyyppisen vaurion etenemistä ja sen varmistamista, että vaurio ei kehity niin pitkälle, että liikenne- tai käyttöturvallisuus vaarantuisi. Tällöin tehostetun tarkkailun tavoitteena on määrittää rakenteen kunnan muutos aikayksikköä kohti. Tarkastuksessa kiinnitetään päähuomio kantavuuteen vaikuttaviin seikkoihin ja erityisesti tarkkailuun johtaneeseen syyhyn. Näin ollen tarkastus keskittyy yleensä muodonmuutosten, halkeamien, murtumien ja syöpymien tarkkailuun.

Tehostettua tarkkailua käytetään myös niissä tapauksissa, jolloin rakenne tai sen osa kulutetaan loppuun. Tehostetun tarkkailun tarkoituksena on mahdollistaa sillan tai sen osan laskennallisen kantavuuden ylittäminen. Tällöin rakenteen käyttöikä lyhenee, mutta hyötykuorman lisäyksen kautta voidaan saavuttaa paras mahdollinen kansantaloudellinen hyöty. Silta asetetaan tehostettuun tarkkailuun esimerkiksi silloin, jos painorajoitus poistetaan vahventamatta rakennetta.

Tehostettua tarkkailua voidaan suorittaa myös monitoroimalla rakennetta, jolloin rakenteeseen asennetaan kiinteät mittalaitteet ja anturit. Laitteet mittaavat määritettyjä ominaisuuksia (jännitys, siirtymä, värähtely) tietyn ajanjakson välein ja ilmoittavat tarvittaessa kriittisen raja-arvon ylittävistä mittaustuloksista automaattisesti. Monitorointiin yhdistetään usein myös koekuormitus. Monitorointia ja koekuormitusta on käsitelty tarkemmin tämän ohjeen kohdassa 4.1.2.8.

Siltojen tarkastusjärjestelmää on käsitelty tarkemmin *Taitorakenteiden tarkastusohjeessa* /9/. Ohjeita tarkastuksien suorittamiseen on annettu *Sillan tarkastuskäsikirjassa* /10/.

4.1.2 Teräsiltojen tutkimukset

Silmämääräisten tarkastusten perusteella päätetään muiden tarkempien tutkimusmenetelmien käytöstä niin, että valittu tutkimusmenetelmä soveltuu kohteeseen ja tutkittavaan asiaan sekä vältetään tarpeetonta tutkimista ja tarpeetonta rakenteiden tai pintakäsittelyjen rikkomista.

Erilaisten erikoistutkimusmenetelmien käyttö on keskeistä erikoistarkastuksessa. Erikoistarkastukseen liitetään silmämääräisen tarkastuksen lisäksi sekä ainetta rikkomattomien tutkimusmenetelmien käyttöä kohteessa että rakenteesta otettujen näytteiden laboratoriotutkimuksia. Erikoistutkimuksia ovat myös rakenteiden koekuormitukset ja laskennalliset tarkastelut.

Erikoistutkimusten tekijöiden on oltava koulutettuja ja kokeneita kyseisen tutkimusmenetelmän asiantuntijoita. Tutkijoiden on ymmärrettävä rakenteen ominaisuuksien, ilmasto- ja kuormitusolosuhteiden sekä tutkimusmenetelmien riippuvuus toisistaan ja pystyttävä huomioimaan ne tulosten laadunvarmistamisessa ja johtopäätösten teossa.

Teräsrakenteiden erilaisia erikoistutkimusmenetelmiä on esitelty kohdissa 4.1.2.1...4.1.2.9. Taulukossa 1. on esitetty eri tutkimusmenetelmien soveltuvuus eri tutkimuskohteisiin.

4.1.2.1 Visuaalinen tarkastus ja pintatestaus

Taitorakenteiden tarkastaminen ja vaurioiden ja vikojen havainnointi tehdään pääsääntöisesti silmämääräisiin havaintoihin perustuen. Tarkemmillä tutkimusmenetelmillä voidaan havainnoida asioita mitä ei nähdä, mutta tarve tarkempien tutkimusten tekemiseen selviää näköhavaintojen perusteella. Tarkempia tutkimusmenetelmiä ei useinkaan ole syytä käyttää, jos ei silmämääräisen tarkastuksen perusteella ole aihetta epäillä rakenteessa olevan vaurioita.

Taitorakenteen silmämääräinen tarkastaminen perustuu koko rakenteen tarkastelemiseen, rakenneosien tarkastelemiseen sekä yksittäisten vaurioiden tarkastelemiseen. Tarkastelemalla koko rakennetta voidaan havaita normaalista poikkeavat muodonmuutokset ja siirtymät koko rakenteessa. Rakenneosakohtaisessa tarkastelussa voidaan myös muodonmuutosten perusteella arvioida vaurioita. Rakenneosakohtaisessa tarkastelussa myös yksittäisten vauriomekanismien aiheuttamat vauriot rakenneosakokonaisuudelle tulevat esiin. Yksittäisen vaurion tarkastelu antaa tarkastajalle mahdollisesti jo tarkempaa informaatiota vaurion vakavuudesta, sen seurauksista ja mahdollisesti syntyvästä.

Visuaalisen tarkastuksen yhteydessä tulee tarkastella myös sitä, miten sillan rakenteet toimivat kuormituksen alaisena. Usein vialliset liitokset, liian suuret taipumat ja muodonmuutokset sekä liian suuret värähtelyt paljastuvat vain, kun siltaa kuormitetaan liikkuvalla kuormalla.

Näköhavaintoja voidaan mittausten lisäksi täydentää ainetta rikkomattomilla pintatestausmenetelmillä. Pintatestausmenetelmillä saadaan näköhavaintoja tukevia tuloksia rakenteen rakenneosan vauriosta tai itse rakenteesta. Visuaalisella tarkastuksella ja pintatestauksella on myös mahdollista rajata alueita tarkempaa tutkimusta varten.

Silmämääräisessä tarkastelussa säröt havaitaan useimmiten pintakäsittelyn halkeamana, jolloin särö on edennyt jo selvästi pitemmälle. Myös särön paikka kertoo ammattitaitoiselle tarkastajalle, voiko kyseessä olla särö vai onko kyse pelkästään pintakäsittelyn halkeamasta.

Niitattujen teräsrakenteiden niittien kiinnitys on syytä tarkistaa aika ajoin kevyellä vasaralla (noin 350 g) koputtelemalla. Murtunutta tai löystynyttä niittiä iskemällä antaa isku vastakkaisen puolen kantaa vasten painetulle sormelle selvän tärähdysten tai kopautuksen antama ääni on erilainen kuin kiinteän niitin kyseessä ollen.

Teräsrakenteen pinnoitteen paksuus mitataan yleensä sähkömagneettisella menetelmällä. Kuvan kalvon paksuuden mittaustaite on kalibroitava aina ennen käyttöä laitteen valmistajan antamien ohjeiden mukaan. Käytön aikana kalibrointi on tarkistettava, jos mittaustuloksissa havaitaan poikkeuksellisuutta. Lähellä reunaa tai sisäpuolista nurkkaa tehtävät mittaukset eivät ole päteviä, ellei laitetta ole kalibroitu tällaista mittausta varten.

Hitsiliitoksien silmämääräinen tarkastus (VT) tehdään standardin SFS-EN ISO 17637 mukaisesti ja hyväksymisrajat ovat standardin SFS-EN 5817 mukaan. Olemassa oleville rakenteille ei yleensä käytetä niin tiukkoja hyväksymisrajoja kuin uudisrakenteille. Hitsin silmämääräisen tarkastuksen tekijältä ei vaadita standardin SFS-EN 9712 mukaisia tarkastajapätevyksiä. NDT-menetelmien käyttöalueet on esitetty niitä koskevissa standardeissa.

Muut teräsrakenteiden testausmenetelmät ovat luonteeltaan erikoistutkimuksia.

4.1.2.2 Ultra-äänitutkimukset

Ultraäänitarkastus on yleisesti käytetty NDT-tutkimusmenetelmä siltojen teräsrakenteiden tutkimuksissa. Ultraäänitarkastuksella etsitään ensisijaisesti materiaalin sisäisiä virheitä, mm. levyjen lamellivirheitä, säröjä teräsrakenteista, teräslaakereista, niiteistä ja muista teräsrakenteista sekä tarkastetaan hitsien kunto. Hitsiliitoksien ultraäänitarkastus (UT) tehdään standardien SFS-EN ISO 17640 mukaisesti ja hitsausvirheet määritetään standardin SFS-EN ISO 23279 mukaisesti. Hyväksymisrajat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 11666. Tarkastuksen tekijällä täytyy olla standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 mukainen tarkastajapätevyys.

Mittaustapahtuma perustuu äänilähteen lähettämään signaaliin ja ääniaallon vastaanoton aikaeron ja signaalitason analysointiin. Rakenteeseen lähetetty korkeataajuuksinen ääniaalto heijastuu takaisin rakenteessa olevista epäjatkuuskohdista, jolloin materiaalin sisäiset vauriot saadaan selville. Tarkastustekniikan eräs

menetelmä on pulssikaikutekniikka, jossa pulssi lähetetään ja vastaanotetaan kaikuna. Lämpäisyteknikassa lähetin ja vastaanotin sijaitsevat vastakkaisilla puolilla tarkastuskohdetta. Myös sivuttainen yhdistelmä on mahdollinen. Tandemteknikassa käytetään kahta luotainta, joista toinen toimii lähettimenä ja toinen vastaanottimena. Työmaaolosuhteissa tandem-menetelmä on vaikeampi toteuttaa ja se vaatii yleensä kaksi henkilöä. Tämä tekniikka soveltuu hitsisaumojen tarkastukseen. Hitsisaumojen mittaus edellyttää aina kulmaluotaimen käyttöä. Hitsisaumoissa virheet ovat siten suuntautuneita, ettei suoralla mittauksella saada luotettavaa tulosta. Hitsausliitosten tarkastamisessa rakenteen geometria saattaa rajoittaa mittauksen suorittamista. Vaiheistetussa ultraäänitutkimuksessa merkittävin ero tavanomaiseen ultraustekniikkaan verrattuna on äänikeilan muokkaamisen mahdollisuus. Äänikeilan muotoilun mahdollisuus ja tarkastustiedon tallentaminen lisäävät virheiden havaitsemistodennäköisyyttä. Vaiheistettu ultraäänitekniikka sopii hyvin myös ruuvien ja niittien tarkastamiseen.

Ultraäänimittaus on hyvin herkkä pienillekin epäjatkuuuksille ja siten se on hyvä tarkastusmenetelmä. Sen suurimmat puutteet liittyvät vian olemuksen tulkitsemiseen, joka on käyttäjäkohtainen ja siihen, että vikojen koko on rajoitettu (korkeus 3–4 mm, pituus 5 mm).

Ultraäänimittausta voidaan käyttää myös levypaksuuksien määrittämiseen sekä ruostuneissa teräsrakenteissa myös jäljellä olevan levypaksuuden arviointiin. Paksuusmittaukset ultraäänellä tehdään standardin SFS-EN 14127 mukaisesti. Vähintään 6 mm paksujen teräslevytuotteiden ultraäänitarkastukset tehdään standardin SFS-EN 10160 mukaisesti.

Siltarakenteiden niittiliitosten ultraäänitarkastus tehdään Liikenneviraston ohjeen *Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset /21/* liitteen *Niitattujen siltarakenteiden niittien UT-testaus* mukaisesti.

Niittien ultraäänitarkastusta hankaloittaa niitin kannan maalikerros ja niitin kannan kupera muoto. Niitin kannan hiomiseen ultraäänitarkastusta varten on saatava hyväksyntä tilaajan silta-asiantuntijalta. Myös niiteissä olevat mutkat ja terävät kulmat (kuva 79), jotka aiheutuvat punahehkuisen niitin täyttäessä levyissä olevien epäkeskeisten reikien muodostaman tilan, ja muut pienet virheet voivat aiheuttaa vikakaiun vaikka niitti olisi vielä toimiva.

Niitin ultraäänitutkimusten ja tulosten raportoinnin laatuvaatimukset esitetään ohjeessa *Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset I/20*.



Kuva 79. Niitti, jossa on reikien epäkeskisyydestä johtuvia teräviä kulmia, jotka voi aiheuttaa vikakaiun ultraäänitarkastuksessa vaikka niitti olisi vielä muuten toimiva.

4.1.2.3 Magneettijauhetarkastukset

Magneettijauhetarkastuksella etsitään rakenteen pinnassa olevia tai pintaan asti ulottuvia säröjä ja muita pintavaurioita. Menetelmässä liitokseen tuotetaan magneettikenttä kestopagnetoinnilla tai sähkövirralla joko virta- tai kelamagnetoinnilla. Magneettijauheena käytetään hyvin hienojakoista joko kuivaa tai nesteeseen sekoitettua rautajauhetta. Tutkittavalla teräspinnalla käytetään valkoista kontrastiväriä vikakohdan helpompaa havainnointia varten.

Märkämenetelmä on Suomessa yleisempi tapa. Tässä tavassa rautajauheliuos ruiskutetaan ns. kontrastiväriin levittämisen ja magnetoinnin jälkeen suoraan metallin pintaan joko aerosolipullolla tai ruiskutuspullolla. Rautajauhe kerääntyy säteittäisesti halkeamien ja huokosten kohdalle. Menetelmää on helppo käyttää, mutta siitä ei jää pysyvää dokumenttia, ellei tilannetta valokuvata. Menetelmällä havaitaan särö, jonka pituus on 1 mm ja leveys 0,1 µm. Verkkovirralla toimivilla magnetointilaitteilla tutkittava syvyys rajoittuu 1–2 mm:iin. Pinnan puhtaustason nosto parantaa tuloksen luotettavuutta. Samoin paksu maalikalvo haittaa tarkastusta merkittävästi. Magneettijauhetarkastusmenetelmä soveltuu vain magnetoituville metalleille kuten teräs ja valurauta. Rakenteiden muoto voi vaikeuttaa tai estää magneettijauhetarkastuksen tekemisen varsinkin paikan päällä tehtynä.

Hitsiliitoksien magneettijauhetarkastus (MT) tehdään standardin SFS-EN ISO 17638 mukaisesti. Hyväksymisrajat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 23278. Magneettijauhetarkastuksen tekijällä täytyy olla standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 mukainen tarkastajapätevyys.

4.1.2.4 Radiografiset (röntgen) tutkimukset

Radiografinen tarkastus on luonteeltaan radiografista kuvan tuottamista läpivalaisumenetelmällä kohteesta ja syntyneen kuvan analysoinnista. Kuvauksessa havaitaan tilavuusperusteisia (kolmiulotteinen) materiaalivikoja. Tyypillisiä materiaalivikoja ovat huokokset, kuonasulkeumat, reunahaavat ja vajaanmittaiset hitsit. Säteilylähteestä suunnataan säteilykeila, joka läpäisee tutkittavan kappaleen. Materiaalissa olevat epäjatkuvuuskohdat aiheuttavat säteilykeilassa intensiteettieroja, jotka nähdään kehitetyssä kuvassa mustumaeroina.

Röntgen ja gammasäteilyn avulla voidaan siis havaita materiaalin sisäiset epäjatkuvuuskohdat, mutta ei niiden syvyysijaintia. Radiografisen tarkastuksen etuna on hyvä tarkkuus ja dokumentiksi jäävä kuva. Jännekaapeleiden (esim. riippuköydet, riipputangot) korroosiotutkimuksiin on kehitetty NDT-menetelmiä, jotka perustuvat mm. sähköjohtavuuden ja magneettikentän muutoksiin korroosioikohdassa (esim. Main Flux Method). Niitä ei kuitenkaan ole käytetty Suomessa.

Röntgentarkastus ei sovellu hyvin teräslevyjen tasomaisten sisäisten virheiden esim. levyn laminaarisuusvirheiden paljastamiseen. Röntgentarkastus on hidas menetelmä paksuille yli 50 mm materiaaleille ja soveltuu siten parhaiten ohuiden materiaalien sisäisten virheiden tarkastuksiin. Lisäksi menetelmän ongelmia ovat usein hankalat kuvausjärjestelyt ja lähellä oleville ihmisille haitallinen röntgensäteily kuvauksen aikana. Röntgentutkimuksia ei yleensä käytetä siltojen teräsrakenteiden tutkimuksissa, koska röntgentutkimuksia on hankala tehdä siltapaikalla.

Nykyään on saatavilla hyviä digiröntgensovelluksia, jotka ovat perinteisiä filmiröntgenmenetelmiä helpompia toteuttaa myös paikan päällä kohteessa tehtynä. Näiden menetelmien tarkkuus on vähintään yhtä hyvä kuin perinteisten filmiröntgenmenetelmien tarkkuus. Digiröntgenlaitteilla kuvatessa varoalue voi olla jopa 100 m, kun tutkitaan paksuja ja tiheitä materiaaleja käyttäen säteilylähteinä isotoopeja. Varoalue voi olla pienimmillään 10...20 m ohuita materiaaleja kuvattaessa. Sillan rakenteita kuvattaessa alitse menevä liikenne joudutaan yleensä katkaisemaan, riippuen kuvaussuunnasta. Kuvausaika on erittäin lyhyt, joten tarvittavat liikennekatkot ovat lyhytaikaisia. Digiröntgenkuva saadaan heti käyttöön ja data on erittäin hyvälaatuista. Digiröntgenkuva on yleensä

3D-kuva ja kuvatus rakenteesta saadaan myös levityskuva. Luotauslaitteet ovat samakokoisia kuin normaalissa ultraäänitarkastuksessa. Digiröntgenkuvaus on menetelmänä noin 10... 15 % kalliimpi kuin normaali ultraäänitarkastus.

Hitsiliitoksien radiografinen kuvaus (röntgen- ja gammakuvaus) (RT) tehdään filmitekniikkaa käytettäessä standardin SFS-EN ISO 17636-1 mukaisesti ja digitekniikkaa käytettäessä standardin SFS-EN ISO 17636-2 mukaisesti. Hyväksymisrajat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 10675-1. Radiografisen kuvauksen tekijällä täytyy olla standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 mukainen tarkastajapätevyys. Radiografisella tarkastuksella täydennetään tarvittaessa hitsiliitoksien UT-tarkastusta.

4.1.2.5 Tunkeumanestetarkastukset

Tunkeumanesteen (halkeamavärien) avulla voidaan havaita rakenteen pinnassa olevat säröt ja vauriot ruiskuttamalla rakenteen pinnalle väriainetta, joka imeytyy halkeamaan tms. vaurio-kohtaan. Tunkeumanestetarkastus on harvoin käytetty menetelmä siltojen teräsrakenteiden tutkimuksissa. Tunkeumanestetarkastus soveltuu myös ei magneettisten metallien (esim. alumiinin) vikojen tutkimiseen. Tunkeumanestetarkastusta voidaan käyttää vain puhdistetulle pinnalle. Tunkeumanestetarkastuksia käytetään kohteissa, joissa ei voi käyttää magneettijauhetarkastusta tai korvaavana menetelmänä magneettijauhetarkastukselle.

Hitsiliitoksien tunkeumanestetarkastus (PT) tehdään standardin SFS-EN ISO 3452-1 mukaisesti. Hyväksymisrajat on esitetty standardissa SFS-EN ISO 23277. Tunkeumanestetarkastuksen tekijällä täytyy olla standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 mukainen tarkastajapätevyys.

4.1.2.6 Pyörrevirtamittaukset

Menetelmä perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Tarkastuskelaan johdetaan vaihtovirtaa, joka synnyttää kelan ympärille primäärimagneettikentän. Sähköä johtavan materiaalin lähellä kela synnyttää materiaaliin sekundäärimagneettikentän, joka vastustaa primäärimagneettikenttää eli on vastakkaisuuntainen. Indusoitunut virta materiaalissa kulkee sulkeutuvaa pyörrevirtää, josta menetelmän nimi pyörrevirta. Materiaalissa olevat poikkeamat häiritsevät indusoituneen virran kulua aiheuttaen muutoksia sekundäärikenttään. Tämä muutos havaitaan kokonaiskentän muutok-

senä ja siten kelan impedanssi muuttuu, mikä havaitaan pyörrevirtamittarin näytöllä. Normaalitekniikalla syvyyden määrittäminen vioille on alle 4 mm ja erikoistekniikalla päästään 8 mm syvyyteen.

Menetelmän etuna on mittauksen nopeus, reaaliaikainen tuloksen seuranta ja raportoinnin monipuolisuus nykyaikaisen tietotekniikan avulla. Menetelmällä havaitaan säröjä joiden syvyys on vähintään 1 mm ja pituus 1 mm. Pyörrevirtamittaukset eivät sovellu hyvin pintakäsitteltyjen teräsrakenteiden tarkastamiseen. Pyörrevirtamittauksissa virhemarginaali on suuri erityisesti tarkistettaessa pintakäsitteltyjä teräsrakenteita. Käytännössä on havaittu, että pyörrevirtamittaus näyttää esim. alalaipan alapinnan maalipinnan vauriot työntämällä asennetussa sillassa. Näissä tapauksissa pyörrevirtamittaus on näyttänyt pituussuuntaisia säröjä alalaipassa, joka ei ole käytännössä mahdollista.

Hitsiliitoksien pyörrevirtatarkastus (ET) tehdään standardin SFS-EN ISO 17643 mukaisesti. Pyörrevirtatarkastuksen tekijällä täytyy olla standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 mukainen tarkastajapätevyys. Pyörrevirtamittauksia on tehty jonkin verran siltojen teräsrakenteille.

4.1.2.7 Taipuma- ja värähtelymittaukset

Siltojen taipuma- ja värähtelymittauksia tehdään yleensä koekuormitusten ja monitorointien yhteydessä. Kevyen liikenteen silloille tehdään värähtelymittauksia, mikäli aistinvaraisten havaintojen perusteella on syytä epäillä sillan värähtelyominaisuuksien olevan puutteellisia. Taipuma- ja värähtelymittaukset suorittaa mittauksiin erikoistunut yritys. Taipuma- ja värähtelymittausten tekeminen edellyttää mittaussuunnitelman tekemistä ennakoon. Mittaussuunnitelma laaditaan yhteistyössä mittaajan ja siltoihin perehtyneen asiantuntijan kanssa. Siltojen taipuma- ja värähtelymittauksista on kerrottu tarkemmin Liikenneviraston oppaassa *Siltojen monitorointikäsi kirja /22/* ja ohjeessa *Siltojen monitorointiohje /23/*.

Taivutettujen teräsrakenteiden muodonmuutoksia tarkkaillaan taipuman avulla. Taipumamittaukset tehdään sekä kuormittamattomana että kuormitettuna.

Rautateiden ratamittauksien yhteydessä mitataan radan painumaa myös siltojen kohdalla. Ratamittauksia tehdään 5–6 kertaa vuodessa. Ratamittauksien yhteydessä voi ilmetä vikoja myös silloissa mm. päällysrakenteen liian suurilla taipumilla ja sillan päätypenkereiden painumilla maatumien takana.

Vinoköysisiltojen voimien tarkistusmittaus tehdään käyttäen värähtelymenetelmää. Köysivoimien mittauksen kanssa samanaikaisesti mitataan kannen muoto. Ennen mittausta köysiasiantuntija laskee teoreettisia köysivoimia vastaavat värähtelyajat. Todelliset voimat saadaan mitattujen värähtelyaikojen perusteella. Mittauksessa köysi saateetaan värähtelemään poikkisuunnassa ja mitataan värähdysten lukumäärään kulunut aika. Tuloksena saadaan lasketuksi taajuus ja taajuuden avulla voidaan laskea köydessä vallitseva voima. Köysivoiman mittaamista värähtelymenetelmällä on käsitelty tarkemmin ohjeessa *Sillan laajennettu yleistarkastus ja huolto-ohje, osa 2: Köysisillat /18/*.

4.1.2.8 Monitorointi ja koekuormitus

Monitorointi on rakenteen tai sen rakenneosan kertaluontoista, jatkuvaa tai jaksottaista mittaamista ja mitatun tiedon analysointia. Monitoroinnin kesto voi vaihdella yhdestä päivästä useaan vuoteen. Mittaaminen tapahtuu automaattisesti käyttäen erityyppisiä mittalaitteita sekä antureita, joista mitattu tieto voidaan siirtää ja tallentaa automaattisesti tai manuaalisesti tiettyyn tietorekisteriin (palvelin, tietokanta).

Monitorointi voi olla osa rakenteen kunnon hallintaa, jolloin tarkoituksena on kerätä tietoa rakenteen kuntoon vaikuttavista parametreista kuten esim. halkeilusta, korroosiosta, kloridien tunkeutumisesta, ruostumisesta, säröistä, kosteudesta, lämpötilasta ja muodonmuutoksesta. Monitoroinnilla voidaan myös seurata rakenteen käyttäytymistä, esim. taipumaa, venymiä, jännityksiä, värähtelyitä, siirtymiä ja tukivoimia sekä kohteen turvallisuutta ja turvallista käyttöä.

Monitorointi on suunniteltava kohdekohtaisesti mittalaitetoimittajan, rakennesuunnittelukonsultin ja rakenteen omistajan kanssa siten, että monitoroimalla saatava hyöty on rakenteen omistajan kannalta riittävä.

Monitorointiin kuuluu tärkeänä osana mitatun tiedon systemaattinen tallentaminen, tulosten jatkokäsittely, sovittu analysointi, yhdistely muiden tulosten kanssa sekä raportointi. Monitoroinnista saadaan paras hyöty, kun siihen yhdistetään koekuormitus sekä lujuus- ja turmeltumismalli, jolloin mitattu tieto voidaan siirtää laskentamalliin ja näin arvioida koko sillan käyttäytymistä, eikä pelkästään yksittäisen mittauspisteen tuloksia. Rakenteen lujuus- ja turmeltumismallin muodostamisessa voidaan käyttää apuna rakenteesta

laadittua tietomallia, mikäli se on saatavilla. Siltojen monitoroinnista on kerrottu tarkemmin Liikenneviraston oppaassa *Siltojen monitorointikäsikirja /22/* ja ohjeessa *Siltojen monitorointiohje /23/*.

Siltojen koekuormitukset ovat vakiintuneet käytössä olevien siltojen erikoistutkimusmenetelmäksi, kun halutaan määrittää mm. niiden kantavuutta, vahventamistarvetta ja vahventamismenetelmien toimivuutta. Koekuormituksen yhteydessä tehdään myös sillan monitorointia. Sillan koekuormitus on yleensä kertaluontoinen mittaustapahtuma ja se poikkeaa tässä suhteessa jatkuvasta tai jaksottaisesta monitoroinnista. Ennen koekuormitusta tehdään sillan kantavuuslaskentaa, jonka perusteella voidaan ohjeistaa koekuormitettavalle sillalle oikea kuormitus, kuormituksen sijainti ja mitattavat suureet ja kohteet sekä niiden sijainnit. Koekuormituksia ja siihen liittyvää monitorointia käytetään, kun laskennallinen kantavuus ei riitä tai sillan rakennemallin todellinen toiminta on epäselvä. Koekuormitukseen sisältyy yleensä staattinen kuormitus paikoillaan olevalla ajoneuvolla ja dynaaminen kuormitus liikkeessä olevalla ajoneuvolla. Koekuormituksen aikana tarkkaillaan myös silmämääräisesti rakenteiden käyttäytymistä.

4.1.2.9 Teräsrakenteen näytteenotto ja testaus

Mikäli korjattavassa kohteessa käytetyn teräksen laatu ja ominaisuudet eivät selviä suunnitelma- tai rakentamisasiakirjoista, teräksen laatu ja ominaisuudet on selvitettävä näytteistä laboratoriokeuin. Teräksen laadun, lujuus- ja sitkeysominaisuuksien sekä hitsattavuuden selvittäminen edellyttää aina näytekappaleen irrottamista rakenteesta. Paikka valitaan ja työ tehdään teräsrakenteiden asiantuntijan ohjeiden mukaan. Näytteenottokohdat korjataan asiantuntijan ohjeiden mukaan. Korjatut näytteenottokohdat eivät saa myöskään synnyttää rakenteeseen epäjatkuvuuskohtia, jotka olisivat alkuperäistä rakennetta alttiimpia käytönaikaiselle vaurioitumiselle (korrosio, säröt yms.). Näytteenottokohtien ja muiden tutkimusten vaatimien kohtien paikkausmaalaus tehdään *SILKO-ohjeen 2.351 Kaiteen paikkausmaalaus /25/* mukaan.

Rakenteesta irti leikatuihin näytteisiin määritetään laboratorio-olosuhteissa ja -laitteistolla käytetyn teräksen materiaaliominaisuuksia. Näistä tärkeimmät ovat:

- Vetokokeessa koekappaleen vetokestävyyttä (voimaa) ja venyvyyttä mitataan. Mittauksen perusteella määritetään teräksen myötölujuus, murtolujuus sekä murtovenymä.

- Charpy V -iskutitkeys-kokeessa teräksen iskutitkeysominaisuudet (pakkasenkestävyys, haurasmurtuma) selvitetään tutkimalla teräksen iskutitkeyttä eri lämpötiloissa.
- Poikittaisella vetokokeella voidaan mitata teräksen lamellirepeilyherkkyyttä.
- Teräksen kemiallisella analyysillä selvitetään teräksen koostumus ja hitsattavuus.

Näytekappaleen vaadittu koko määräytyy näytteelle tehtävien eri testien ja niitä koskevin standardien mukaan. Näytekappaleelta vaadittava koko on selvitettävä ennen näytekappaleen leikkaamista.

Teräksen vetokokeet tehdään yleensä standardin SFS-EN ISO 6892-1 mukaan, jolloin testaus suoritetaan huoneenlämmössä. Vetokokeessa käytetään koekappaleena yleensä pyöreää sauvaa, joka on keskiosaltaan työstetty ohuemaksi ja sauvan päissä on paksummat vetopäät. Koesauvan mittasuhteet on esitetty standardissa SFS-EN ISO 6892-1. Vetokokeessa koesauva kiinnitetään vetokoneen vetopäihin ja sauvaa vedetään pituusakselinsa suuntaisesti katkeamiseen asti. Kokeen aikana mitataan sauvan venymää ja kuorman annetaan kasvaa sauvan murtumiseen saakka.

Teräksen iskutitkeys-kokeet tehdään standardin SFS-EN ISO 148-1 mukaisella Charpyn iskutitkeys-kokeella. Charpyn iskukokeeseen on olemassa kaksi standardin mukaista koesauvaa. Charpyn V-koesauva ja Charpyn U-koesauva. Yleensä käytetään Charpyn V-koesauvaa, jota voidaan valmistaa kolmea eri standardin mukaisista kokoa ja yhdessä koesauvatyyppissä näytteen leveys voi olla testattavan kappaleen paksuuden levyinen. Suositeltava sauvavaihtoehto on standardin mukainen sauva tyyppi A, joka on standardin mukainen yleissauva. Koesauvan pituus on 55 mm sekä korkeus ja leveys ovat 10 mm. Koetta ei voi toteuttaa alle 6 mm:n vahvuiselle teräkselle.

Teräksen paksuussuuntainen vetokoe tehdään standardin SFS-EN 10164 mukaisesti. Kokeessa mitataan koekappaleen murtokuroumaa eli Z-arvoa. Testin avulla voidaan arvioida teräksen paksuussuuntaisia ominaisuuksia ja lamellirepeilyn vaaraa. Teräksen ainepaksuus on oltava suurempi kuin 15 mm.

Teräksen hitsattavuuden selvittäminen vaatii yleensä kemiallisen analyysin tekemisen näytekappaleesta. Vanhoissa rakenteissa saattaa esiintyä runsashiilisiä ja paljon epäpuhtauksia

sisältäviä teräksiä. Tällöin hitsauksen epäonnistumisen vaara kasvaa oleellisesti. Onnistuneen hitsaustuloksen saavuttamiseksi on yleensä pyrittävä saamaan hitsin ja perusaineen ominaisuudet mahdollisimman yhteneviksi. Tällöin on otettava huomioon perus- ja hitsiaineen kemialliset koostumukset sekä metallurgiset ja fysikaaliset ominaisuudet. Hitsauksen epäonnistuminen näkyy usein nopeasti erilaisina repeilyilmiöinä; joita ovat mm. kylmä-(vety-), kuuma- ja lamellirepeily. Vaikka repeilyä ei tapahtuisikaan, hitsin ja perusaineen välinen metallurginen ja fysikaalinen yhteensopimattomuus voi aiheuttaa liitoksen pettämisen käytön aikana.

Hiilen osuuden kasvaessa lisääntyy samalla teräksen karkenevuus, joka voi johtaa kovan ja hauraan martensiitin syntymiseen hitsiin tai perusaineeseen. Martensiitin syntyy liittyy myös lisääntynyt taipumus vetyhalkeiluun. Haitallisen hitsin ja/tai perusaineen karkenemisen estäminen on siten onnistuneen hitsaamisen edellytys. Karkenevuudelle on laadittu ns. hiiliekvivalentti, jolla voidaan arvioida teräksen hitsattavuutta. Hiiliekvivalentin arvon laskemiseen on olemassa lukuisia eri kaavoja eli tulee olla tarkkana vertaillessa laskettuja arvoja keskenään. Yleisimmin käytetty hiiliekvivalentin laskentakaava on CEV-laskentakaava, jota on käsitelty tarkemmin kohdassa 3.6.

Taulukko 1. Teräsrakenteiden tutkimusmenetelmiä ja niiden soveltuvuus eri tutkimuskohteisiin.

| TUTKIMUSMENETELMÄ | | OMINAISUUS TAI VAURIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|-----------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------|--------------------------|-----------|---------|-----------------------|-------|--|--------------------------------------|--|----------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|--|
| | | Mitat | Taipumat ja muodonmuutokset | Värähtely | Teräksen venymän mittausta | Teräsrakenteen kantavuus | Korroosio | Syöpymä | Repeämät ja halkeamat | Säröt | Sisäiset hitsausvirheet, V, K, X, päittäishitsit | Sisäiset hitsausvirheet, pienahitsit | Pintahitsausvirheet, V, K, X, päittäishitsit | Pintahitsausvirheet, pienahitsit | Teräslävyn paksuus | Teräslävyn laminaarisuus | Niittien viallisuus | Ruuvien viallisuus | Teräksen laatu | Teräksen myötö- ja murtolujuus | Teräksen myötö- ja murtovenymä | Teräksen iskusitkeys | Teräksen hitsattavuus | Teräksen Z-arvo ja laminaarisuus | |
| KOE TAI MITTAUS KOHTEESSA | Silmämääräinen tarkastus | ● | ● | ● | | | ● | ● | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Silmämääräinen tarkastus kuormitettuna | | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Iskukoe (koputtelu) | | | | | | | | | | | | | | | | ● | ● | | | | | | | |
| | Mittaukset | ● | ● | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | | | | | |
| | Laserkeilaus | ● | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Kantavuuslaskenta | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Koekuormitus | | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -venymäliuskamittaus | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -optiset kuituanturit | | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -liikeanturit | | ● | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -lasermitta-anturit/laitteet | | ● | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -kiihtyvyyssanturit | | | ● | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Monitorointi | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Ultraäänitutkimus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -pulssikaikumenetelmä | | | | | | ● | | ● | ○ | | | | | ● | | ● | ● | | | | | | | |
| | -tandem-tekniikka | | | | | | ● | | ● | ● | | | | | ● | | ○ | ○ | | | | | | | |
| | -kulmaluotain menetelmä | | | | | | ● | | ● | ● | | | | | ● | ● | | | | | | | | | |
| | -vaiheistettu menetelmä | | | | | | ● | | ● | ● | | | | | ● | ● | ● | ● | | | | | | | |
| | Magneettijauhutkimus | | | | | | | | ○ | | | ● | ● | | | | | | | | | | | | |
| | Röntgentutkimus | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | -filmiröntgen menetelmä | | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ | ○ | | | | | | | |
| | -digiröntgen menetelmä | | | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ | ○ | | | | | | | |
| | Tunkeumanestetutkimus | | | | | | | | ○ | | | ○ | ○ | | | | | | | | | | | | |
| Pyörrevirtamittaus | | | | | | | | ○ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KOESTUS LABORATORIOSSA | Vetokoe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | ● | | | | |
| | Paksuus suuntainen vetokoe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | |
| | Charpyn iskusitkeys | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | |
| | Kemiallinen analyysi | | | | | | | | | | | | | | | | | | ● | | | | | | |

● Perusmenetelmä
○ Täydentävä menetelmä

4.2 Periaateratkaisu

Sillan peruskorjaushankkeen tärkein vaihe on periaateratkaisun teko, jossa työlle määritetään sellaiset toteuttamisratkaisut, työmenetelmät ja materiaalit, joilla voidaan saavuttaa paras mahdollinen teknistaloudellinen lopputulos.

Periaateratkaisulla tarkoitetaan terässillan korjaustoimenpiteen valintaa seuraavista vaihtoehdoista:

- Ei tehdä toistaiseksi mitään. Riskit on selvitettävä.
- Arvioidaan sillan kantavuus ja asetetaan sen

perusteella sillalle painorajoitus tai asetetaan silta tehostettuun tarkkailuun.

- Vain kriittisimmät rakenneosat korjataan tai uusitaan. Riskit on selvitettävä.
- Päälysrakenne vahvistetaan.
- Päälysrakenne uusitaan.
- Koko silta uusitaan.

Teräsrakenteiden pintakäsittelyn korjauksen osalta periaateratkaisu tehdään *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdan 4 mukaisesti.

Edellä esitettyä periaateratkaisua varten selvitetään:

- Sillan yleiskunto ja käyttöikä (kohta 4.2.1)
- Pintakäsittelyn kunto ja käyttöikä (kohta 4.2.2)
- Sillan kantavuus (kohta 4.2.3)
- Jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen väsymismitoituksen perusteella (kohta 4.2.4)
- Paikalliset olosuhteet (kohta 4.2.5)
- Ympäristönsuojelu, työturvallisuus ja liikenneturvallisuus (kohta 4.2.6).
- Kustannukset (kohta 4.2.7)

Suunnittelija selvittää kussakin tapauksessa kysymykseen tulevat vaihtoehdot ja esittelee ne tilaajalle. Tilaaja tekee päätöksen jatkotoimista.

4.2.1 Sillan yleiskunnon ja käyttöiän arviointi

Korjattavan sillan jäljellä oleva käyttöikä määritetään ennen periaateratkaisun tekoa. Käyttöiän määrittämisessä käytetään apuna väsymismitoituksen perusteella määritettyä käyttöikää (kohta 4.2.4). Rakenteellisten korjaustöiden pitää olla oikeassa suhteessa sillan jäljellä olevaan käyttöikään. Suomessa siltojen rakenteellisissa korjauksissa pyritään yleensä yli 30 vuoden käyttöikään.

Lähtötiedot kuntoselvitystä varten saadaan Liikenneviraston taitorakennerekisteristä. Kunnan arvioimisessa käytetään apuna sillan yleistarkastuksen ja mahdollisesti tehdyn erikoistarkastuksen tuloksia. Erityisesti on kiinnitettävä huomiota sillan liikenteenvälityskyvyn ja kantavuuden riittävyyteen. Kantavuuden riittävyyden määrittämisessä käytetään apuna kantavuuslaskentaa (kohta 4.2.3).

Sillan kunnossapitoa ja korjausta helpottavat varusteet ja laitteet tehdään tai kunnostetaan korjaustyön alussa. Toimenpiteiden tarve on selvitettävä periaateratkaisujen lähtötiedoksi tarkastellen muun muassa korjattavien kohteiden luoksepäästävyyttä.

4.2.2 Pintakäsittelyn kunnan arviointi

Päällysrakenteen tai rakenneosan pintakäsittelyn uusimista puoltaa, mikäli päällysrakenteen tai rakenneosan maalattu teräspinta on laajalti ruostumisasteessa Ri5 tai niiden *Sillantarkastuskäsikirjan* /10/ mukainen vaurioluokka on 4. Työmaalla tehtävän uusintamaalauksen kustannukset ovat yleensä selvästi suuremmat kuin vastaava maalaustyö maalaamossa tehtynä. Pintakäsittelyolosuhteisiin tulee kiinnittää erityistä huomiota työmaalla tehtävissä pintakäsittelytyöissä.

Pintakäsittelyn vaurioluokitus tehdään sillan yleisjä erikoistarkastuksissa *Sillantarkastuskäsikirjan* /10/ taulukon 7 avulla ja *SILKO-ohjeen* 1.351 *Pintakäsittely* /2/ kohdan 4.2.1 mukaan.

Tarkemmassa teräsrakenteen pintakäsittelyn korjaustoimenpiteen määrittämisessä käytetään apuna tarkoitusta varten laadittua *SILKO-ohjetta* 1.356 *Pintakäsittelyn korjaustoimenpiteen määrittäminen* /26/. Putkisiltoja varten on laadittu oma *SILKO-ohje* 1.357 *Teräsputken korjaustoimenpiteen määrittäminen* /27/.

Pintakäsittelyn kunnan arviointia on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeen* 1.351 *Pintakäsittely* /2/ kohdassa 4.2.

4.2.3 Sillan kantavuuslaskenta ja -selvitykset

Korjattavan sillan kantavuus selvitetään yleensä kantavuuslaskennan avulla. Olemassa olevien siltojen kantavuuslaskennassa käytetään ohjetta *Siltojen kantavuuslaskentaohje* /28/. Ohjetta käytetään olemassa olevien maantie-, rautatie- ja katusiltojen kantavuuden laskennallisessa määrittämisessä tavanomaiselle liikenteelle tai erikoiskuljetuksille. Ohjetta ei voi käyttää uusien tai uusittavien siltojen mitoituksessa. Ohjeen tarkastelut ja luotettavuustaso poikkeavat suurelta osin uudissiltojen suunnittelun mukaisista.

Kantavuuslaskelmien laadinnassa tarkastelun vastaavalla henkilöllä tulee olla FISEn vaatavuusluokan poikkeuksellisen vaativa tai vaatavuusluokan AA mukainen teräsrakenteiden suunnittelijapätevyys Liikenneviraston ohjekirjeen *Sillansuunnittelijan pätevyys* http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/ohje_2015_sillansuunnittelijan_patevyys_web.pdf mukaisesti. Tilaaja hyväksyy sillan kantavuuslaskennan. Suunnittelijan laadunvarmistuksesta tulee tehdä Liikenneviraston julkaisun *Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohjeen* /29/ liitteen 1 mukainen dokumentti. Tarvittaessa tilaaja voi käyttää ulkoista tarkastusta.

Siltojen kantavuuslaskentaohjeessa /28/ esitetyt laskentaperiaatteet koskevat pääasiassa siltoja, joissa ei ole kantavuuteen vaikuttavia vaurioita. Siltojen vaurioita voi ottaa huomioon ohjeessa esitetyllä tavalla. Ohjeessa määritellään siltojen kantavuuslaskennan rajatilatarkastelun laajuus, voimasuureiden laskeminen, kuormien yhdistely sekä rajatilatarkastelujen periaatteet.

Tilaaaja määrittää sillan kantavuuslaskennan laajuuden ja käytettävät liikennekuormat kohdekohtaisesti. Laskennan laajuus on jaettu kahteen eri tarkastelutasoon, jotka on esitetty *Siltojen kantavuuslaskentaohjeessa /28/*.

Luotettavuusanalyysiä voidaan käyttää vaihtoehtoisena tarkastelumenetelmänä siltojen kantavuuslaskennassa. Siltojen kantavuuksia voidaan selvittää myös koekuormituksilla.

Maantiesiltojen kantavuuslaskennassa käytettävät kuormakaaviot perustuvat Suomessa yleisesti maantie- ja katusilloilla kulkevaan raskaaseen kalustoon. Silloilla voi ilman erikoislupaa ajaa ajoneuvoasetuksen mukaisilla ajoneuvoilla. Painorajoitus määritetään silloille, jotka eivät kantavuuslaskennan perusteella kestä ajoneuvoasetuksen mukaista kuormaa.

Rautateillä liikkuvan kaluston suurin sallittu akselipaino määräytyy ratalinjoittain aikataulukausittain julkaistavan Rataverkon kuvauksen mukaisesti (jatkossa Rautateiden verkkoselostus). Raskaimmat rautateiden erikoiskuljetukset tehdään Suomessa OSG-vaunulla. Muita erikoiskuljetuksia ovat SECU-konttien kuljetukset ja yhdistetyt kuljetukset. Näissä kuljetuksissa käytetään neliakselisia vaunuja, joiden suurin akselipaino on 250 kN.

Kantavuusselvityksen ja erikoistarkastuksen yhteydessä selvitetään myös sillassa käytetyn teräslaadun lujuusominaisuudet, iskusitkeys, väsymisominaisuudet ja hitsattavuus. Teräsrakenteesta otetaan näyte teräksen laadunselvittämiseksi laboratoriokokeilla, elleivät teräksen ominaisuudet selviä luotettavasti vanhoista suunnitelma-asiakirjoista.

4.2.4 Jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen väsymismitoituksen perusteella

Terässillan jäljellä oleva käyttöiän määrittämisessä käytetään apuna väsyttämismitoitusta. Väsyttämistarkastelu ja jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen tehdään yleensä kantavuuslaskennan yhteydessä.

Sillan väsymistarkastelun tarpeellisuus harkitaan yhdessä tilaajan kanssa. Väsymistarkastelu tehdään liikenteellisesti merkittävillä kohteilla, joissa on arvioitu olevan detaljeiltaan, materiaaleiltaan, ympäristöolosuhteiltaan, kuormitustasoltaan tai kuormituskertymältään väsymisen kannalta kriittisiä rakenteita. Väsymistarkasteluja tehdään lähinnä vain päällysrakenteen teräsrakenteille.

Alusrakenteita ei tarvitse yleensä tarkastella väsytykselle.

Väsymismitoituksen laadinnassa käytetään eurokoodien soveltamisohjeissa *NCCI 1 /8/* ja *NCCI 4 /30/* sekä ohjeessa *Siltojen kantavuuslaskentaohje /28/* esitettyjä menetelmiä.

Väsymistarkasteluissa käytetyn liikennemäärän ja -kertymän tulee vastata mahdollisimman hyvin todellista sillalla ollutta liikennettä ja tulevaisuudessa tapahtuvaa liikennettä. Ajoneuvoliikenteen siltojen kantavuustarkasteluissa käytetään ensisijaisesti eurokoodin soveltamisohjeen *NCCI 1 /8/* mukaista kuormakaaviota FLM4 sekä *Siltojen kantavuuslaskentaohjeen /28/* liitteessä esitettyä tieliikenteen jakaumaa.

Rautatiesillan väsyttävänä kuormana käytetään joko junakuormaa LM71 (SW/0) tai väsyttävää ominaiskuormaa. Kuormien luokittelukerroin $\alpha=1$.

Väsymismitoituksen laadinnassa jäljellä olevan käyttöiän arvioinnissa käytetään eurokoodin SFS-EN 1993-1-9 taulukon 3.1 mukaisia vauriosietoperiaatteeseen perustuvia materiaalin osavarmuuslukuja.

Teräksen korroosiovauriot, säröt ja halkeamat otetaan huomioon poikkileikkauksen pienentymisenä. Lisäksi jos teräsrakenteessa on korroosion aiheuttamaa syöpymää, tulee kyseisen rakenteen väsymisluokkaa alentaa.

Yksittäisten liitososien vauriot otetaan huomioon liitoksen kapasiteetissa. Jos liitososien vauriota on samassa liitoksessa useita, otetaan tämä huomioon rakennemallissa liitoksen jäykkyydessä tilaajan kanssa sovittavalla tavalla. Selkeästi väsymislajuuden ylittymisestä aiheutuneiden vaurioiden käsittely tehdään tilaajan kanssa sovittavalla tavalla.

Rakenneosiin mahdollisesti muodostuneet ylimääräiset jännitykset otetaan huomioon kapasiteetin vähennyksinä tai vähennetään rakenneosaan kohdistuvia jännityksiä muuttamalla tai vahvistamalla rakennetta tai sen muotoilua.

4.2.5 Paikalliset olosuhteet

Periaateratkaisun tekemistä varten on selvitettävä liikenne-, ilmasto- ja ympäristöolosuhteet.

Liikenne-, tiestö- ja ratatiedot saadaan Liikenneviraston tietokannoista. Siltapaikalla on tarkistet-

tava näkemäolosuhteiden, liittymien yms. vaikutus liikenteenohjaukseen ja nopeuden rajoittamiseen. Jos sillan ali kulkee vesiliikennettä, selvitetään sen vaatimukset kulkuaukon suhteen ja mahdollisen säännöllisen liikenteen kulkuajat. Ratasilloissa ja jos tiesilta ylittää radan, junaliikenteen asettamat vaatimukset on selvitettävä Liikennevirastosta. Varsinkin sähköistetyt radat asettavat suuria rajoituksia. Asiaa on käsitelty *Taitorakenteiden tarkastusohjeen /9/* kohdassa 5. Junaliikennekatkojen pituudet ja ajankohdat asettavat rajoituksia eri työvaiheille ja ne on selvitettävä ennen periaateratkaisun tekoa.

Siltapaikkaluokituksen määrittäminen tehdään ohjeiden *Siltapaikkojen luokitusohje /54/* ja *Sillansuunnittelun lähtötiedot /35/* mukaisesti. Olemassa oleville silloille siltapaikkaluokitus on yleensä ilmoitettu Taitorakennerekisterissä, mutta siltapaikkaluokitus on hyvä tarkistaa peruskorjaushankkeiden yhteydessä. Siltapaikkaluokituksen mukaisia vaatimuksia on esitetty ohjeissa *Siltapaikkojen luokitusohje /54/* ja *Sillansuunnittelun lähtötiedot /35/*.

Sillan ympäristön rasisuusluokka määritetään kohdan *SILKO ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdan 1.4.1 mukaan.

Siltapaikalla on tarkistettava korjattavien rakenteiden luoksepäästävyys, telineiden rakentamista ja nostureiden käyttöä rajoittavat tekijät sekä jätteiden talteenottomahdollisuudet. Eryyisesti ratasilloissa on syytä selvittää voidaanko silta ottaa väliaikaisesti pois käytöstä ja korjata sekä pintakäsittellä hallituissa olosuhteissa radan vieressä tai maalaamossa. Jos suuresta sillasta puuttuu kiinteä hoitosilta, on harkittava joko kiinteän hoitosillan tai siirrettävän hoitosillakkeen tekemistä korjaustyötä varten. Telineiden ja sillan varusteiden suunnittelussa on otettava huomioon myös purku- ja puhallusjätteiden talteenottoa varten tarvittavat rakenteet.

Liikennevirastolla on varasiltakalusto, jota urakoitsijat voivat vuokrata käyttöönsä. Varasiltakaluston käyttömahdollisuus on selvitettävä tapauskohtaisesti. Varasiltojen käyttöä ja tyyppisiä on selvitetty tarkemmin ohjeessa ”*Varasiltakaluston hoito- ja varastointiohje*” /31/.

Rakenteellisten korjaustöiden yhteydessä tehdään usein myös pintakäsittelyitä. Pintakäsittelymenetelmän valinnassa huomioon otettavia, paikallisista olosuhteista aiheutuvia asioita on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 4.3.

4.2.6 Työturvallisuus, liikenneturvallisuus ja ympäristönsuojelu

Periaateratkaisun tekemistä varten on selvitettävä

- liikenne- ja rataturvallisuusvaatimukset
- työturvallisuusvaatimukset
- siltapaikkaluokka
- ympäristönsuojeluvaatimukset

Työmaasta aiheutuvat vaaratekijät liikenteelle tulee ottaa huomioon periaateratkaisua tehtäessä. Liikenneturvallisuusvaatimukset toteutetaan selvittämällä (riskien arviointi) liikenneturvallisuutta vaarantavat tekijät sillalla ja siltapaikalla. Korjaustyöt vaikeuttavat yleensä liikennettä ja liikenne on puolestaan vaara työntekijöille. Työnaikaiset liikennejärjestelyt ja liikenteenohjaus toteutetaan niitä koskevien ohjeiden *Liikenne tietyömaalla /32/*, */33/* ja */34/* mukaisesti.

Rautatiesilloilla junaliikenteestä aiheutuvan ja sille aiheutettavan vaaran lisäksi on erityistä huomiota kiinnitettävä putoamisvaarallisiin töihin sillan alla oleva vesiliikenne huomioiden. Korjaustyön aikana tulee ottaa huomioon sähköistetyn radan asettamat vaatimukset ja varautua niihin tarpeen mukaan (jännitekatkot, nostimien rajoittimet). Myös sillan pesemisessä tulee huomioida sähköistetyn radan aiheuttamat vaatimukset ja sähköiskun vaara.

Työturvallisuutta on käsitelty kohdassa 8. Tärkeätä on työntekijöiden opastus ja motivointi työsuojeluun. Periaateratkaisua tehtäessä turvallisuusasioista tulee ottaa huomioon ajoneuvoliikenteen aiheuttamat vaaratekijät työturvallisuudelle, ratasilloissa junaliikenteen ja sähköistyksen aiheuttamat vaaratekijät sekä putoamisen ja hukkumisen estämisen toteutustapa. Pintakäsittelytyöiden yhteydessä työturvallisuusvaatimukset määräytyvät pääosin käytettävien kemikaalien käyttöturvallisuustiedotteiden perusteella. Periaateratkaisua tehtäessä turvallisuusasioista tulee ottaa huomioon myös vanhan pinnoitteen tai vesieristeen mahdolliset sisältämät terveydelle haitalliset aineosat mm. PAH-yhdisteet.

Pintakäsittelytyöiden yhteydessä vaadittava suojaus ilmaistaan puhalluspölyn ja -jätteen sekä maaliumun talteenottovaatimuksena. *SILKO-ohjeen 1.112 Ympäristönsuojelu /36/* mukaisesti. Lisäksi voidaan asettaa mm. pesua, melua, liikennettä, työaikaa ja jätteenkäsittelyä koskevia vaatimuksia.

Periaateratkaisuja tehtäessä otetaan huomioon korjaustyön, pintakäsittelyn ja sen huoltokäsittelyjen ympäristövaikutukset sillan käyttöiän aikana. Pintakäsittelytöistä aiheutuvat ympäristöhaitat ovat pääasiassa liuotepäästöjä eli VOC-päästöjä. Ne vaikuttavat ratkaisevasti varsinkin silloin, jos pintakäsittelyvaihtoehdot ovat teknisesti ja säilyvydeltään samanarvoiset.

Ympäristölle ja liikenteelle aiheutuvat haitat on otettava huomioon korjaustyötappaa suunniteltaessa. Korjaustyöllä saavutettava käyttöiän jatkumisen suuruus on usein merkittävä valintaperuste. Valinnassa merkittäviä asioita ovat myös rakenneosien irrotettavuus ja vaihdettavuus, jotka helpottavat rakenteen myöhempiä korjaus- ja huoltotoimenpiteitä.

4.2.7 Kustannukset

Merkittävimpiä korjaustyön kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat:

- työnaikaiset liikennejärjestelyt, varasillat ja kiertotiet
- ratasilloissa junaliikennekatkot ja sähköistykseen purku
- telineet
- nosto-, tunkkaus- ja siirtokalusto
- työvoimakustannukset
- pintakäsittelytöiden kustannukset sisältäen sää- ja ympäristösuojauksen, puhallusjätteen talteenoton, terästyön laatuasteen parantamisen, teräspinnan puhdistusasteen ja maalattavien kerrosten lukumäärän.

Rakenteellisissa korjaustöissä teräksen materiaalikustannukset eivät ole yleensä merkittäviä edellä mainittuihin kustannuksiin verrattuna.

Korjauskustannuksia tulee verrata aina sillan jäljellä olevaan käyttöikänsä suhteutettuna. Usein lopullisella sijoituspaikalla tehty korjaustyö tulee monin verroin kalliimmaksi kuin samantyyppisen rakenteen tekeminen konepajatyönä. Korjatun rakenteen kestoikä vaikuttaa ratkaisevasti korjaustyön taloudellisuuteen. Valittaessa korjausmenetelmää on otettava huomioon korjatun rakenteen mahdolliset huoltokustannukset kokonaisuudessaan oletetun kestoikänsä aikana. Tällöin lähtökustannuksiltaan kalliimpi korjaustyö voi tulla lopulta edullisemmaksi.

Työnaikaiset liikennejärjestelyt vilkkaasti liikennöidyllä väylillä aiheuttavat merkittäviä kustannuksia korjaustyöhön. Vesistösiltojen korjaustöiden yhteydessä varasiltojen ja kiertoteiden rakentamisesta ja käytöstä aiheutuu myös merkittäviä lisäkustannuksia korjaustyölle. Työnaikaiset liikennejärjestelyt, varasiltojen käyttö ja kiertotiet

aiheuttavat lisäkustannuksia myös tienkäyttäjille pidentyneen matka-ajan takia.

Ratasilloissa merkittäviä lisäkustannuksia voi aiheuttaa korjaustöiden vaatimat junaliikennekatkot. Junaliikennekatkojen tarpeellisuus, katkojen toteutusmahdollisuus ja niiden kustannukset on selvitettävä alustavasti jo periaateratkaisua tehtäessä. Ratasilloissa lisäkustannuksia voi aiheutua myös sähköistykseen purkamisesta ja sähköistykseen aiheuttamista muista rajoitteista työalueille ja -tavoille.

Siltapaikalla suoritettavissa korjaustöissä merkittäviä lisäkustannuksia syntyy telinetöistä ja sääsuojista. Teline- ja sääsuojaratkaisuja harkittaessa tulee ottaa huomioon myös jätteen talteenotto. Ympäristömääräysten ja -lakien vaikutuksesta myös syntyneen jätteen määrä ja laatu vaikuttaa kokonaiskustannuksiin. Kiinteitä telineitä käytettäessä laatuksustannukset ovat usein alemmat verrattaessa siirrettäviin telineratkaisuihin. Korjaustyössä mahdollisesti tarvittavan nosto-, tunkkaus- tai siirtokaluston käytöstä voi aiheutua merkittäviä lisäkustannuksia korjaustyön kokonaiskustannuksiin.

Paikanpäällä tehtävissä korjaustöissä työvoimakustannusten osuus kaikista kustannuksista voi olla suurempi kuin vastaavan uuden rakenteen toteuttaminen esim konepajatyönä. Paikanpäällä tehtäessä teräsosia joudutaan mahdollisesti sovittamaan ja työstämään leikkaamalla, hiomalla tai poraamalla. Työt ovat käsityövaltaisia ja kaikkia tehokkaampia työtapoja ja koneita, joita käytetään konepajaolosuhteissa, ei voida käyttää työmaaolosuhteissa. Työmaalla tehtävien töiden osuutta voidaan merkittävästi vähentää huolellisella korjaustyön suunnittelulla ja ottamalla tarkat mitat ja muodot sillasta vaihdettavista osista ennen valmistusta. Geometrialtaan monimuotoisten rakenteiden mittaus olisi hyvä tehdä laserkeilaamalla.

Pintakäsittelytyön lopulliset kokonaiskustannukset määrittyvät vasta mahdollisesti tarvittavien huoltokorjausvaiheessa tehtävien toimenpiteiden perusteella. Usein lopullisella sijoituspaikalla tehty uusintamaalaus tulee monin verroin kalliimmaksi kuin alkuperäinen pintakäsittely. Maalausjärjestelmän kestoikä vaikuttaa ratkaisevasti maalauksen taloudellisuuteen. Valittaessa maalauksjärjestelmää on otettava huomioon huolto- ja maalaukskustannukset kokonaisuudessaan maalauksjärjestelmän oletetun kestoikänsä aikana. Tällöin lähtökustannuksiltaan kalliimpi maalaus voi tulla lopulta edullisemmaksi. Pintakäsittelytöiden kustannuksia on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely* /2/ kohdassa 4.5.

5 KORJAUSTYÖN SUUNNITTELU

5.1 Korjaustyön rakennussuunnitelmat

5.1.1 Korjausmenetelmän valinta

Metallirakenteiden korjaamisessa tulee tapauskohtaisesti kysymykseen seuraavat korjaustavat:

- Loivien taipumien ja muodonmuutosten korjaaminen taivuttamalla alkuperäiseen asentoon. Oikominen voidaan tehdä tapauksesta riippuen kylmänä tai esilämmitystä käyttäen.
- Säröjen ja repeämien korjaaminen hitsaamalla. Tätä korjaustapaa käytettäessä viat avataan täydellisesti hiomalaikalla tai hiilikaaritalttauksella, minkä jälkeen hitsaus tehdään suunnitelman mukaan.
- Särön etenemisen pysäyttäminen poraamalla reikä särön päähän esim. silloin, kun hitsaamista ei voida käyttää.
- Pienet pintasäröt voidaan korjata pelkästään hiomalla jouheasti ja tarkastamalla, että virhe on saatu pois.
- Rakenteen muotoilua muutetaan siten, että rakenteelle tulee parempi väsytykestävyys (väsytyluokka) ja rakenteen alttius säröjen muodostumiselle vähenee.
- Vauriokohtien vahventaminen lisämateriaalilla. Vauriokohtaan kiinnitetään hitsaamalla, pulttaamalla tai liimaamalla vahvikelevy tai jäykiste.
- Vaurioitunut kohta poistetaan ja korvataan kokonaan uudella materiaalilla.
- Vaurioitunut rakenne tai rakenneosia korvataan vaihtamalla se uuteen. Näistä laajimpana korjauksena päällysrakenteen vaihto ja pienimpänä esim. yksittäisen ristikkosauvan vaihto.
- Niittiliitoksien korjaaminen korvaamalla vaurioituneet niitit soviteruuveilla tai kitkaruuviliitoksena
- Niitti- ja kuusioruuviliitosten vahvistaminen lisäämällä liitokseen kuusioruuveja tai soviteruuveja.
- Rakenteen muuttaminen siten, että vaurio ei enää jatkossa toistu. Esimerkiksi rakenteen muotoilu tehdään siten, että vesi ja lika eivät kerry rakenteeseen ja vältetään niistä aiheutuvat syöpymisvauriot.

Korjaustavan valinnassa on otettava huomioon se, että korjauksen laajuus ja korjauskustannukset ovat oikeassa suhteessa koko sillan jäljellä olevaan käyttöikään.

Ratasilloissa korjausmenetelmän valintaan vaikuttaa ratkaisevasti junaliikennekatkojen saatavuus ja niiden pituus sekä kustannukset. Liikennekat-

kojen pituus voi määrittää korjaustavan. Ratasiltojen korjaamisen suunnittelussa korjaustyön suunnittelu ja jaksotus tulee tehdä työvaihekohtaisesti.

Suunnittelija valitsee korjausmenetelmän kohdassa 4 selostetun periaateratkaisun pohjalta. Tilaaja hyväksyy valitun korjausmenetelmän.

5.1.2 Korjaussuunnitelman sisältö

Poikkeuksellisen vaativien kohteiden korjaussuunnitelmien laadinnassa suunnittelun vastavalla henkilöllä tulee olla FISEn vaativuusluokan poikkeuksellisen vaativa tai vaatimusluokan AA mukainen teräsrakenteiden suunnittelijapätevyys Liikenneviraston ohjekirjeen Sillansuunnittelijan pätevyys http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisu/pdf8/ohje_2015_sillansuunnittelijan_patevyys_web.pdf mukaisesti. Tällöin tilaaja hyväksyy sillan korjaussuunnitelmat. Suunnittelijan laadunvarmistuksesta tulee tehdä Liikenneviraston julkaisun *Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohjeen /29/* liitteen 1 mukainen dokumentti. Tarvittaessa tilaaja voi käyttää suunnitelmien tarkastamisessa ulkoista tarkastusta.

Korjauskohde katsotaan poikkeuksellisen vaativaksi ja korjaussuunnitelmat toimitetaan Liikennevirastoon hyväksyttäväksi silloin, kun:

- korjaukseen sisältyy sellaisia kantaviin rakenteisiin kohdistuvia rakenteellisia muutoksia tai vahvistamisia, jotka vaativat lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat
- korjaus saattaa vaikuttaa rakenteen lopulliseen tai työnaikaiseen kantavuuteen, esimerkiksi kantaviin, jännityksen alaisiin teräsrakenteisiin tehdään hitsauksia tai muita liitoksia
- kyseessä on museosilta
- kyseessä on rautateihin tai vesiväyliin liittyvä taitorakenne
- kyseessä on avattavan sillan avattava osuus koneistoineen ja järjestelmineen.

Suunnittelija laatii erikois- ja yleistarkastuksien, vaurioselvityksen, kantavuuslaskelmien, vanhojen suunnitelmien ja tehdyn periaateratkaisun perusteella korjaussuunnitelman, johon kuuluvat siltakohtaiset laatuvaatimukset, korjaustyöselitys, teräsrakenteiden toteutuseritelmä, kustannusarvio ja tarvittavat piirustukset. Tarvittaessa laaditaan asennustapaehdotus sisältäen tuenta- sekä tunkkaustapaehdotuksen ja purkutapaehdotus.

Korjaussuunnitelman lähtötiedoiksi erikois- ja yleistarkastusten lisäksi tehdään tarvittaessa myös

- metallin lujuusarvojen (murto- ja myötölujuus sekä iskutkeys) määrytykset
- metallin koostumuksen analyysit
- hitsattavuuden arviointi
- pinnoitteen analyysit
- rakenteen mittojen tarkastus ja tarkistetaan, että rakenne on vanhojen suunnitelmien mukainen
- taipumien ja värähtelyjen mittaus ja mahdollisesti monitorointi.

Korjaustyön suunnitteluvaiheessa selvitetään ja päätetään, mitä materiaalia korjauksessa käytetään. Korjaamisessa pyritään yleensä aina käyttämään alkuperäistä materiaalia vastaavaa ainetta, mikäli se on osoittautunut lujuudeltaan, väsymiskestävyydeltään ja korroosio-ominaisuuksiltaan tavoitteen mukaiseksi. Jos vaurio normaalikäytössä on syntynyt aikaisemmin kuin alkuperäisten kestävyysuunnitelmien mukaan olisi ollut odotettavaa, korjausmateriaaliksi valitaan yleensä lujempi aine tai lisätään poikkileikkausta tai rakennepaksuutta. Materiaalin valintaan vaikuttaa myös korjaustapa esim. onko kyseessä ruuvi- vai hitsiliitoksella korjaaminen. Materiaalin valinnassa täytyy ottaa huomioon myös paikalliset olosuhteet.

Korjaussuunnitelmaa laadittaessa on otettava huomioon seuraavat korjauksessa ja asennuksessa mahdollisesti esiintyvät erityispiirteet:

- rakenteen massat ovat suuria
- tuenta- ja apurakenteiden sijoittaminen on vaikeaa
- rakenteen jännityksetön tila korjauskohteessa on vaikea saavuttaa ja rakenteessa voi olla pakkovoimista aiheuttavia jännityksiä
- vanhoja materiaaleja ja pinnoitetta voi olla vaikea tunnistaa
- vanhoissa piirustuksissa esitetyt rakenteen mitat poikkeavat toteutetusta rakenteesta ja uusia esivalmistettuja osia joudutaan sovittamaan ja työstämään paikan päällä asennustyön yhteydessä
- joidenkin materiaalien hankinnoissa voi kestää normaalia kauemmin, esim. ML-teräslaatu paksumuksissa 13 mm ja 23 mm
- hitsaus ei ole aina mahdollinen vanhaan teräsrakenteeseen teräslaadun tai mahdollisen valitsevan jännitystilän takia
- rakenteen vakavuus voi vaarantua työn aikana
- liikenteenjärjestely voi olla vaikeaa työn aikana.

Korjaustöiden yhteydessä on otettava huomioon, ettei jännityksen alaista rakennetta saa korjata hitsaamalla eikä lämpökäsittelyllä. Rakennetta on tunkattava tai tuettava sitten, että hitsattava tai lämpökäsitteltävä rakenneosaa saadaan mahdollisimman jännityksettömäksi.

Kantavien teräsrakenteiden korjaussuunnitelmasa esitetään ainakin seuraavat asiat (jotka eivät aina kaikki esiinny korjauksissa):

- Tiedot korjattavasta rakenteesta; vaurioituneiden osien nimeäminen ja sijainti rakenteessa (kaavio).
- Selvitys vaurioiden laadusta ja laajuudesta eri rakenneosissa.
- Tiedot korjattavan rakenteen materiaaleista ja korjauksessa käytettävät materiaalit, aineet ja tarvikkeet sekä niiden soveltuvuus korjauksiin.
- Selvitys pintakäsittelyyn liittyvien näkökohtien huomioon ottamisesta uusien osien muotoilussa.
- Selvitys korjausten mahdollisesta vaikutuksesta materiaalien ja rakenteen ominaisuuksiin.
- Alustava suunnitelma työvaiheista eri korjauskohteille. Ratasilloissa laaditaan myös alustavat aikataulutavoitteet, mikäli korjaustyössä tarvitaan junaliikennekatkoja. Urakoitsija laatii tarkemmat työvaihesuunnitelmat ja tekniset työsuunnitelmat.
- Uusittavien osien piirustukset ja yksityiskohdat.
- Laatuvaatimukset.
- Laadunvalvontatoimenpiteet ja -tarkastukset sekä valmiin työn vaatimusten mukaisuuden osoittaminen.
- Työturvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskevat vaatimukset.

5.1.2.1 Rakennelaskelmat

Korjaustyön rakennelaskelmat tehdään ohjeen *Siltojen rakennelaskelmat /37/* mukaisesti. Korjaustyön rakennelaskelmat ja kantavuuslaskelmat liittyvät tiiviisti toisiinsa.

Rakennelaskelmien tarkoituksena on osoittaa, että rakenteet on suunniteltu ohjeiden ja määräysten mukaisesti riittävän pätevien henkilöiden toimesta, jolloin rakenteiden voidaan olettaa olevan turvallisia käyttää ja niiden pitkäaikaiskestävyys täyttää vaatimukset.

5.1.2.2 Yleis- ja rakennepiirustukset

Korjauksen yleispiirustus on sillan korjauksen rakennussuunnitelmaan kuuluva piirustus ja sen tarkoituksena on antaa yleiskäsitys ja koottua tietoa korjattavasta sillasta. Jos silta suunnitellaan

vaiheittain korjattavaksi, lopullinen korjauksen yleispiirustus laaditaan siitä vaiheesta, jonka korjaaminen on kysymyksessä. Muut vaiheet voidaan esittää kaavamaisesti ääriiviivoilla.

Korjauksen yleispiirustuksessa selvitetään mm. korjattavat rakenteet, sillan ulkonäkö korjauksen jälkeen, sijainti ja geometria, päämitat, perustaminen ja rakenteelliset pääperiaatteet. Korjauksen yleispiirustuksessa ei tarvitse esittää kaikkia samoja asioita kuin uuden sillan yleispiirustuksessa.

Yleis- ja rakennepiirustuksissa käytetään ohjeen *Siltojen suunnitelmat /38/* mukaisia mittakaavoja.

Rakennepiirustuksissa esitetään rakenteiden rakennusaineet, muoto, mitat, työstö ja osien kokoonpano sekä tarvittavat työtapaa ja työjärjestystä koskevat ohjeet.

Laajoissa korjaustöissä voidaan vaatia laadittavaksi ensin alustavaan rakennussuunnitelmaan kuuluvat alustavat rakennepiirustukset. Niiden laajuus ja sisältö määritellään tarkemmin toimeksiannossa. Niissä esitetään sillan korjaus- ja rakenneratkaisut sillä tarkkuudella, että voidaan arvioida korjaustyön tekninen toteuttamiskelpoisuus ja taloudellisuus korjaus- ja ylläpitokustannusten osalta. Teräsrakenteista esitetään teräsrakenteen yleispiirustus ja yksi tai useampia lohkopiiirustuksia, yksityiskohtia sekä tyypilliset poikkileikkaukset. Laakereista ja liikuntasaumalaitteista esitetään periaatepiirustukset tai selvitykset.

Teräsrakenteen rakennepiirustuksiin kuuluvat teräsrakenteen yleispiirustus, kokoonpanopiirustukset sekä mahdolliset osapiirustukset.

Teräsrakenteen yleispiirustuksessa esitetään rakenne kokonaisuutena, sen muodostuminen kokoonpanoista ja liittyminen muihin rakenteisiin.

Piirustuksessa esitetään vähintään

- rakenteen päämitat annetussa lämpötilassa
- lujuus- ja laatuluokat
- kokoonpanot ja niiden tunnuksot
- asennuslohkot ja niiden tunnuksot
- asennusjatkosten sijainti ja niiden tunnuksot
- kiinnikkeet ja niiden lujuus- ja tarkkuusluokat
- mahdolliset asennusta koskevat vaatimukset ja ohjeet
- rakenteen muoto kuormittamattomana, asennettuna ja valmiina
- rasitusluokka, pinnoiteyhdistelmä ja värisävy
- luettelo teräsrakenteen rakennepiirustuksista.

Asennuslohkolla tarkoitetaan kokoonpanoista muodostuvaa asennusvaiheiden kuvauksessa käytettävää kokonaisuutta.

Kokoonpanopiirustuksessa esitetään kokoonpanon muodostuminen osistaan. Piirustuksessa esitetään vähintään

- kokoonpanon tunnus ja mitat annetussa lämpötilassa
- osien tunnuksot
- toteutusluokka (EXC-luokka)
- mitoitettut piirroksot kokoonpanoon käytettävistä osista
- osien toisiinsa liittäminen, tarvittaessa liittämissjärjestys
- liitosten rakenne, mitat ja laatuvaatimukset sekä niiden tarkastusta koskevat ohjeet
- työstömerkinnät ja valmistusta koskevat muut erityisvaatimukset
- osaluettelo.

Kokoonpanopiirustukseen liittyvässä osaluettelossa esitetään kunkin osan tunnus, lukumäärä, mitat, kappalepaino, yhteispaino, lujuus- ja laatuluokka sekä kaikkien osien yhteispaino. Luetteloon varataan huomautuksia varten sarake, jossa voidaan esim. esittää kaaviopiirroksin yksinkertaisten osien mitat tai viittaus osapiirustukseen. Osien painot lasketaan nettopainoina, jolloin otetaan huomioon muut vähennykset paitsi ruuvien reiät sekä hitsien railot.

Osaluettelo esitetään piirustuksen oikeassa reunassa.

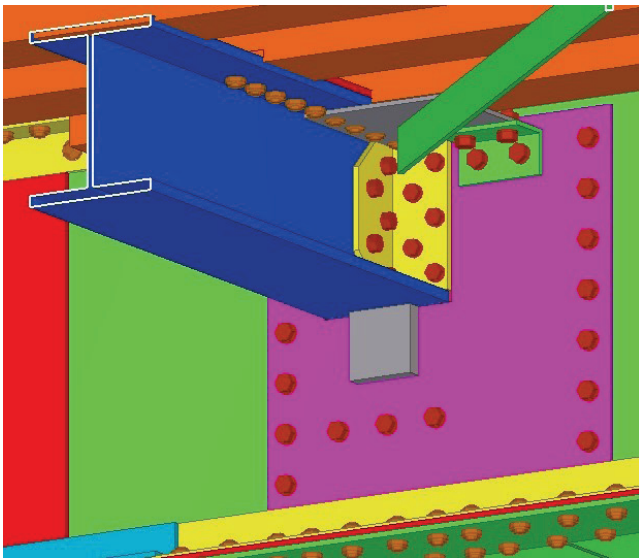
Osat ryhmitellään luetteloon ja osien tunnuksot muodostetaan sen mukaan, miten ne sijaitsevat rakenteessa.

Osapiirustuksen laatiminen erilleen kokoonpanopiirustuksesta on tarkoituksenmukaista, jos samaa osaa käytetään usean kokoonpanon kokonaisuudessa. Osapiirustuksessa esitetään tällöin osan tunnus, osien lujuus- ja laatuluokka, mitat ja työstö. Osien sallitut mittapoikkeamat annetaan, jos ne poikkeavat NCCI T:n ja standardin EN 1090:n mukaisista laatuvaatimuksissa.

Mallinnusta voidaan myös käyttää korjaussuunnittelussa. Yleensä riittää pelkän korjattavan detaljin mallintaminen (kuva 80), eikä koko rakennetta tai siltaa ole tarpeen mallintaa. Mallinnuksessa noudatetaan soveltuvilta osin Liikenneviraston ohjetta *Siltojen tietomalliohje /39/*.

Mikäli sillan laakerit uusitaan korjaustyön yhteydessä, suunnittelija laatii laakerointipiirustuksen. Laakerointipiirustuksella tarkoitetaan piirustusta, jossa esitetään sillan laakeroinnin periaatteet, laakereilta vaadittavat ominaisuudet ja laakereiden suunnittelussa tarvittavat lähtöarvot. Uusien laakereiden sopivuus niille varattuun tilaan tarkistetaan myös laakerointipiirustuksen teon yhteydessä. Usein korkeussuunta on rajoittava tekijä.

Mikäli sillan liikuntasaumalaitteet uusitaan korjaustyön yhteydessä, suunnittelija laatii liikuntasaumapiirustuksen. Liikuntasaumapiirustuksessa esitetään liikuntasaumalaitteilta vaadittavat ominaisuudet ja laitteiden suunnittelussa tarvittavat lähtötiedot.



Kuva 80. Korjattavan liittokohdan mallinnuskuvaa ja valokuva samasta liittoksesta.

5.1.2.3 Asennustapaehdotus ja tuenta- ja tunkkaehdotus

Terässillan korjaussuunnitelmaan liitetään yleensä toimeksiannon pohjalta teräsrakenteen asennustapaehdotus. Siinä esitetään teräsrakenteen asentaminen yhdellä teknisesti ja taloudelli-

sesti toteuttamiskelpoisella tavalla. Kun urakoitsija asentaa sillan teräsrakenteen asennustapaehdotuksen mukaisesti, urakoitsijan ei tarvitse tutkia itse sillan kantavan teräsrakenteen kestävyttä asennusaikaisissa kuormitustilanteissa. Sen sijaan poiketessaan asennustapaehdotuksesta tulee urakoitsijan tutkia sillan kantavan teräsrakenteen kestävyys asennuksen aikana oman asennussuunnitelmansa mukaisesti asennettuna. Asennustapaehdotuksesta on kerrottu tarkemmin sovellosohjeen *NCCI T /4/* kohdassa 2.7. Ratasiltojen yhteydessä laaditaan myös työtapiirustus.

Ehdotus esitetään selostuksin työselostuksessa ja periaatepiirroksin, jotka numeroidaan asennuspiirustuksiksi (piirustuksen laatua osoittava kirjaintunnus e-).

Tuenta- ja tunkkaehdotus tulee laatia yksittäisten rakenneosien vaihtamisen yhteydessä tai mikäli rakenneosa tulee saada jännityksettömäksi esim. hitsauksen takia. Tuenta- ja tunkkaehdotus voidaan laatia pienemmissä korjaustöissä asennustapaehdotuksen sijasta. Suuremmissa korjaustöissä tuenta- ja tunkkaehdotus sisällytetään yleensä asennustapaehdotukseen. Tunkkaehdotuksessa tulee esittää vähintään tunkkausvoima, tunkkauspisteiden sijainti, tunkkausvoimien vaatimat minimipinta-alat, tunkkauskorkeus ja työnaikainen tuenta. Asennustapaehdotuksessa on esitettävä vaaditut liukumavarat ja liukumisen mahdollistavat rakenteet, jos tunkkaus ja työnaikainen tuenta on pitempi aikainen. Lyhyt aikaisissa muutaman tunnin kestoissa tunkkauksissa liukuman mahdollistavat rakenteet voidaan jättää tekemättä kohde kohtaisen tarkastelun perusteella. Tunkatun rakenteen tuenta tulee varmistaa työnaikaisesti ja rakenne ei saa olla pelkästään tunkkien varassa työskentelyn aikana.

Asennustapaehdotusta ja tuenta- sekä tunkkaehdotusta koskevat laskelmat sisällytetään rakenne-laskelmiin.

Teräsrakenteen asentamista koskevat lopulliset työsuunnitelmat laaditaan rakentajan toimesta perustuen joko asennustapaehdotukseen tai urakoitsijan omaan asennustapaehdotuksesta poikkeavaan asennustapaan perustuen.

5.1.2.4 Purkutapaehdotus

Tarvittaessa laaditaan purkutapaehdotus, jossa esitetään rakenteen purkamisen yhdellä toteuttamiskelpoisella tavalla. Purkutapaehdotuksessa

tulee esittää myös, miten rakenteen purkutyön aikainen stabiilitetti varmistetaan. Ehdotus esitetään selostuksin työselostuksessa ja periaatepiirroksin. Purkutapaehdotusta koskevat laskelmat sisällytetään rakennelaskelmiin. Lopullinen työsuunnitelma laaditaan rakentajan toimesta. Purkutapaehdotus voidaan esittää myös asennustapaehdotuksen yhteydessä.

5.1.2.5 Pintakäsittelyn korjaussuunnitelmat

Pintakäsittelyn korjaussuunnitelman laatii suunnittelija työselityksen muotoon. Tarvittaessa suunnitelmaan liitetään työkohteen määrittelyä helpottavia piirustuksia. Suunnitelmaa laadittaessa otetaan huomioon työn aiheuttamat ympäristöhaitat ja työsuojelulliset näkökohdat. Suunnitelmaan liitetään suojausta koskevat vaatimukset ja mahdollisesti suojaustapaehdotus. Rakenne suunnittelijan on hyvä tarkistaa laajojen suojahuputusten yhteydessä telineiden ankkuroinnin vaikutukset siltarakenteisiin. Tarkempia ohjeita pintakäsittelysuunnitelman laatimiseksi on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely I/2* kohdassa 5.1.2.

5.1.2.6 Työselitys, laatuvaatimukset ja teräsrakenteiden toteutuseritelmä

Suunnittelija laatii korjattavasta kohteesta työselityksen, laatuvaatimukset ja teräsrakenteiden toteutuseritelmän. Työselitys ja laatuvaatimukset voidaan esittää myös samassa asiakirjassa.

Teräsrakenteiden osalta soveltamisohjeessa NCCI T, standardissa SFS-EN 1090-2 ja SILKO-ohjeissa on esitetty materiaaleja ja valmista rakennetta koskevat yleiset laatuvaatimukset sekä laadunvalvontaa ja kelpoisuuden osoittamista koskevia määräyksiä ja ohjeita.

Muiden siltarakenteiden osalta vastaavat asiat on esitetty ohjeessa *Infrarakenteiden yleiset laatuvaatimukset, Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat, Infra-RYL2006 /40/* ja SILKO-ohjeissa.

Suunnittelija laatii korjattavaa siltaa koskevat siltakohtaiset laatuvaatimukset, jotka täydentävät ohjeissa NCCI T, InfraRYL, standardissa SFS-EN 1090-2 ja SILKO-ohjeissa esitettyjä yleisiä laatuvaatimuksia. Siltakohtaisten laatuvaatimusten tarkoituksena on täydentää rakenteen laatuvaatimukset ja laadunvalvontaa ja kelpoisuuden osoittamista koskevat määräykset sekä täydentää yksityiskohdissa siltapiirustuksia.

Laatuvaatimuksissa käsiteltävät asiat esitetään Infra-RYLin mukaista numerointia noudattaen. Tekstissä ei toisteta tarpeettomasti NCCI T:ssä, standardissa SFS-EN 1090-2, InfraRYLissä tai piirustuksissa esitettyjä asioita.

Siltakohtaiset laatuvaatimukset voidaan esittää myös atk-tiedostona laadunvarmistusohjelman (SILAVA) avulla, tällöin noudatetaan järjestelmää koskevia käyttö- ja laatimisohejeita. Ohjelman esitetyt laatuvaatimukset tarkistetaan ja muutetaan siltakohtaisiksi. Laatuvaatimuksissa voidaan esittää myös siltakohtainen kelpoisuuden varmistusmenettely jo suunnittelijan toimesta tai täydentää sisältöä tältä osin rakentajan toimesta. SILAVA-ohjelmisto soveltuu parhaiten uuden sillan laatuvaatimusten laatimiseen ja ohjelman käyttämistä korjauskohteissa tulee harkita tapauskohtaisesti. Myös SILAVA-ohjelmassa annettuja yksikköhintoja on käytettävä korjauskohteissa harkiten, koska kyseiset yksikköhinnat koskevat lähinnä uudisrakentamista ja korjausrakentamisessa yksikköhinnat ovat yleensä korkeampia.

Teräsrakenteen toteutuseritelmä laaditaan soveltamisohjeen NCCI T kohdan 2.1 ja sen liitteen 1 mallidokumentin mukaisesti.

5.1.2.7 Kustannusarvio ja määräluettelo

Kustannusarvio laaditaan ohjetta *Sillan kustannusarvio /41/* soveltaen. Kustannusarvio laaditaan määräluettelosta saatavien aine- ja työmäärien sekä arvioitujen yksikköhintojen perusteella. Laadittavan kustannusarvion yksikköhinnoissa tulee huomioida, että korjaustöissä yksikköhinnat ovat yleensä selvästi suurempia kuin ohjeessa esitetyt uudisrakentamisen yksikköhinnat. Korjausrakentamisessa määrät ovat pieniä ja työaikamenekki yksikköä kohden on selvästi suurempi kuin uudisrakentamisessa. Kustannusarvion laatimista varten laaditaan myös määräluettelo ohjetta *Sillan määräluettelo /42/* soveltaen. Määräluettelossa esitetään piirustusten perusteella lasketut työmäärät ja ainemenekit.

5.2 Urakoitsijan suunnitelmat

Urakoitsija laatii ennen korjaustyön aloittamista korjaussuunnitelman perusteella työkohtaiset tekniset työsuunnitelmat, valmistus- ja asennussuunnitelmat sekä korjaustyöhön liittyvät laatusuunnitelmat. Näiden suunnitelmien liitteeksi laaditaan tarvittaessa yksityiskohtaisia teknisiä työsuunnitelmia tärkeimmistä työvaiheista, kuten pintakäsittelystä ja hitsauksesta.

Valmistusta ja asennusta koskevat suunnitelmat on jaettu kahteen osaan:

- 1) tekniset työsuunnitelmat
- 2) laatusuunnitelmat.

Tekniset työsuunnitelmat sisältävät työnsuoritukseen liittyvät suunnitelmat ja niiden tehtävä on varmistaa, että a) toteutus tapahtuu suunnitellusti aikajärjestyksessä, b) käytettävät menetelmät ovat soveltuvia, c) toteuttajalla on riittävä ammatillinen pätevyys työn toteuttamiseen, d) toteutuksen lopputuloksena saadaan laadukas, suunnitelmien mukainen ja pitkäikäinen teräsrakenne ja e) toteutus suoritetaan turvallisesti.

Laatusuunnitelmien avulla asetetaan laadunmittarit, joilla teräsrakenteen laatua seurataan toteutuksen eri vaiheissa.

Urakoitsijan on huomautettava rakennussuunnitelmassa havaitsemistaan virheistä ja puutteista sekä sellaisista rakenneratkaisuista, joita on mahdotonta toteuttaa siten, että vaadittu laatu voidaan saavuttaa ja tarkastuksin todeta.

5.2.1 Tekniset työsuunnitelmat

Valittu urakoitsija laatii ennen työn aloittamista tekniset työsuunnitelmat. Teräsrakenteiden osalta tekniset työsuunnitelmat jaetaan konepajan valmistussuunnitelman alaisiin teknisiin työsuunnitelmiin ja asennussuunnitelman alaisiin teknisiin työsuunnitelmiin.

Sillan rakennussuunnitelmassa ja InfraRYLin jakson 42000 materiaaliikohtaisissa luvuissa on lueteltu ne työt, joista laaditaan erillinen tekninen työsuunnitelma. Terässillan korjauksen yhteydessä tärkeimmät tekniset työsuunnitelmat ovat:

- valmistussuunnitelmaan sisältyvät
 - hitsaussuunnitelma
 - pintakäsittelysuunnitelma

- asennussuunnitelmaan sisältyvät
 - purkusuunnitelma, ellei ole tehty erillistä purkusuunnitelmaa
 - työnaikainen nosto-, tunkkaus-, tuenta- ja/ tai siirtosuunnitelma
 - hitsaussuunnitelma
 - pintakäsittelysuunnitelma

Asennussuunnitelmassa esitetään asennukseen liittyvät asiat niiltä osin, joita asennustapaehdotuksessa ei ole esitetty.

Tekniset työsuunnitelmat on jätettävä tilaajan edustajalle tarkastettavaksi vähintään viikkoa ennen työn tai työvaiheen aloittamista.

Jos työsuunnitelmassa poiketaan sillan rakennussuunnitelmasta, suunnitelma toimitetaan tilaajalle hyväksyttäväksi kaksi viikkoa ennen kyseisen työn aloittamista. Suunnitelmassa tulee esittää, miltä osin poiketaan suunnitelman vaatimuksista.

Ratatyövarauksen vaativissa työvaiheissa tekniset työsuunnitelmat on toimitettava tarkastettavaksi kaksi viikkoa ennen toteutusta varten varattua ratatyövarausta.

Teknisissä työsuunnitelmissa esitetään myös suojarahuputukset ja telineet sisältäen myös telineiden ankkuroinnin ja tuentojen detaljisuunnittelun. Mikäli laajoissa huputuksissa ankkurointi tehdään siltarakenteisiin, ankkuroinnin vaikutukset sillan rakenteisiin on myös selvitettävä.

Tekniseen työsuunnitelmaan liitetään mm. terveydelle vaarallisten aineiden suomenkieliset käyttöohjeet, pintakäsittelyaineiden tuoteselosteet ja käyttöturvallisuustiedotteet.

Myös työturvallisuutta ja ympäristönsuojelua koskevat toimenpiteet esitetään teknisessä työsuunnitelmassa, ellei niistä ole tehty erillisiä suunnitelmia.

5.2.1.1 Valmistussuunnitelma (konepaja)

Valmistussuunnitelmassa käsitellään kaikki rakenneosien valmistuksen vaiheet. Valmistussuunnitelma laaditaan sovellusohjeen NCCI T /4/ kohdan 3.2.1, standardin SFS-EN 1090-2 kohdan 4.2 ja InfraRYL kohdan 42040.3.2.1.1 mukaisesti. Valmistussuunnitelma toimitetaan tilaajan edustajalle viimeistään viikkoa ennen valmistuksen aloittamista. Jos valmistussuunnitelmassa on viitattu

laatujärjestelmäasiakirjoihin, tulee tilaajan edustajalle mahdollistaa ko. dokumentteihin tutustuminen viimeistään viikkoa ennen valmistuksen aloittamista.

Tarvittaessa valmistussuunnitelmaan liitetään laskelmat tai niitä vastaavat selvitykset rakenteiden lujuudesta, vakavuudesta ja muodonmuutoksista käsitellyn eri vaiheissa. Valmistussuunnitelma voi koostua useasta erillisestä suunnitelmasta.

Konepajan valmistussuunnitelman alaisia teknisiä työsuunnitelmia ovat hitsaussuunnitelma ja pintakäsittelysuunnitelma.

Hitsaussuunnitelma laaditaan standardin SFS-EN 1090-2 ja sovellohjeen NCCI T /4/ kohdan 3.6.1 mukaisesti. Työmaalla tehtävissä hitsauksissa voidaan noudattaa myös standardia SFS-EN ISO 3834. Hitsaussuunnitelmaan sisällytetään myös kokoonpanosuunnitelma.

Pintakäsittelysuunnitelma laaditaan sovellohjeen NCCI T /4/ kohdan 3.9 ja standardin SFS-EN 12944-8 mukaisesti. Lisäksi esitetään seuraavat asiat tarpeen mukaan:

- vahvennusmaalaukset
- vaikeasti maalattavien kohtien maalaus
- rakojen ja huokosten kittaus

Myös *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 5.2 on annettu ohjeita pintakäsittelyn työsuunnitelman laatimiseen. Pintakäsittelyn työsuunnitelma toimitetaan tilaajan edustajalle viimeistään viikkoa ennen pintakäsittelyn aloittamista. Työsuunnitelma muodostuu standardin SFS-EN 12944-8 erittelystä (työseloste), joka koostuu em. standardin mukaisesta projektierittelystä, suojamaaliyhdistelmän erittelystä, maalaustyöselosteesta ja tarkastus- ja arviointierittelystä.

Tekniseen työsuunnitelmaan liitetään mm. terveydelle vaarallisten aineiden suomenkieliset käyttöohjeet, pintakäsittelyaineiden tuoteselosteet ja käyttöturvallisuustiedotteet.

Valmistussuunnitelmassa on hyvä ottaa huomioon myös materiaalien hankkimiseen tarvittava aika. Korjauskohteissa joudutaan käyttämään usein teräslaatuja ja levypaksuuksia, jotka eivät ole varastotavaraa ja nopeasti saatavilla.

Valmistaja täydentää suunnittelijan laatiman toteutuseritelman liittämällä valmistuksen työ- ja laatusuunnitelmat aineistoon.

5.2.1.2 Asennussuunnitelma

Teräsrakenteen asentajan on aina – riippumatta siitä, noudattaako hän suunnittelijan laatimaa asennustapaehdotusta vai ei - laadittava teräsrakenteen asennussuunnitelma. Asennussuunnitelmassa on aina tehtävä tarvittavat mitoitustarkastelut, jotta varmistetaan teräsrakenteen kestävyys kaikissa valmistuksen ja kuljetusten eri vaiheissa - sekä asentamisen vaiheissa, jos asennustapaehdotusta ei noudateta. Asennussuunnitelmassa esitetään mm. asennusalueen tilankäyttö, työmaan sisäinen liikenne, asennuksessa tarvittava kalusto, osien varastointi, uusittavien tai korjattavien osien kokoaminen ja paikoilleen asentaminen kaikkine siihen liittyvine toimenpiteineen sekä selvityksineen. Asennussuunnitelman on oltava kirjallinen.

Uusittavien tai korjattavien osien paikoilleen asentamisesta on suunnittelijan toimesta laadittu asentamistapaehdotus, jota noudattamalla muiden siltarakenteiden kestävyttä ei tarvitse tarkistaa teräsrakenteen paikoilleen asennuksen aikana. Jos asennusurakoisija poikkeaa asennustapaehdotuksesta, tulee hänen tarkistaa teräsrakenteen kestävyys asennustapaehdotuksesta poikkeavilta osin. Jos asennustapaehdotuksesta poikkeaminen on suunnittelijan mielestä vähäinen ja selvästi rajattavissa tiettyyn asennuksen vaiheeseen, voi asentaja tarkastaa teräsrakenteen kestävyden vain näiden vaiheiden osalta. Tällöin suunnittelijalta tulee aina saada kirjallinen lausunto asentamistapaehdotuksesta poikkeamisesta, joka liitetään asennussuunnitelmaan. Muussa tapauksessa teräsrakenteen kestävyys tulee tarkistaa kaikissa asennuksen vaiheissa.

Asennussuunnitelma laaditaan sovellohjeen NCCI T /4/ kohdan 3.2.1, standardin SFS-EN 1090-2 kohdan 9 ja InfraRYL kohdan 42040.3.9.4.2 mukaisesti. Asennussuunnitelma toimitetaan tilaajan edustajalle viimeistään viikkoa ennen asennustyön aloittamista.

Suunnitelmat mitoituskalkelmineen on laadittava kaikista sellaisista apurakenteista, joiden varaan asennettava rakenne tai sen osia tuetaan varastoinnin, siirtojen tai asentamisen aikana. Myös niistä apurakenteista, joiden varaan tuetaan nostoon tai siirtoon käytettäviä koneita tai laitteita, on laadittava suunnitelmat mitoituskalkelmineen.

Asennussuunnitelmaan sisältyviä teknisiä työsuunnitelmia ovat myös asennushitsien hitsaussuunnitelma ja työmaalla tehtävien pintakäsittelyjen pintakäsittelysuunnitelma.

Hitsaussuunnitelma laaditaan standardin SFS-EN 1090-2 ja sovellusohjeen NCCI T kohdan 3.6.1 mukaisesti.

Pintakäsittelysuunnitelma laaditaan sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdan 3.9 ja standardin SFS-EN 12944-8 mukaisesti. Myös *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 5.2 on annettu ohjeita pintakäsittelytöiden työsuunnitelman laatimiseen.

5.2.1.3 Purkusuunnitelma

Mikäli korjaustyöhön sisältyy purkutöitä, laaditaan erillinen purkusuunnitelma. Pienissä purkutöissä purkusuunnitelma voidaan sisällyttää myös asennussuunnitelmaan. Mikäli urakoitsija poikkeaa suunnittelijan laatimasta purkutapaehdotuksesta, tulee urakoitsijan tarkistaa rakenteiden purkutyön aikainen kestävyys.

Rakenteiden purkujärjestys on suunniteltava niin, ettei työstä aiheudu sortumisvaaraa. Purkusuunnitelmassa tulee esittää vähintään purkutyön laajuus, purkumenetelmät, purkujärjestys ja -vaiheet, purkujätteen sijoitus, työnaikaiset tuennat sekä purkutyön turvallisuuteen ja rakenteiden kantavuuteen vaikuttavat seikat. Telineiden kestävyys purkujätteille ja purkutyössä käytettäville koneille tarkistetaan. Purkusuunnitelmaan sisällytetään myös purkutyöselostus.

5.2.2 Laatusuunnitelma

Urakoitsija ja teräsrakenteiden valmistaja laativat aina siltojen korjaustöistä laatusuunnitelman. Laatusuunnitelma laaditaan InfraRYLin kohdissa 42001.4.2...4 esitetyllä tavalla noudattaen sovellusohjeessa NCCI T /4/ ja standardissa SFS-EN 1090-2 esitettyjä laatuvaatimuksia. Laatusuunnitelman perusteella laaditaan lopulliset laatuasiakirjat.

Laatusuunnitelma koostuu kolmesta osa-alueesta:

- Projektikohtainen laatusuunnitelma (Urakan laatusuunnitelma)
- Tarkastussuunnitelma (Työvaiheen laatusuunnitelma)
- Työturvallisuussuunnitelma

Laatusuunnitelmat on jätettävä tilaajan edustajalle tarkastettavaksi vähintään viikkoa ennen työn tai työvaiheen aloittamista.

Ratatyövarauksen vaativissa työvaiheissa laatusuunnitelmat on toimitettava tarkastettavaksi kaksi viikkoa ennen toteutusta varten varattua ratatyövarausta.

Urakoitsija laatii korjaustyön aikana tai lopussa tarkepiirustukset. Urakan aikana tehdyt muutokset päivitetään tarkepiirustuksiin ja tarkepiirustuksissa esitetään rakenteet sellaisina kuin ne on toteutettu.

5.2.2.1 Projektikohtainen laatusuunnitelma (Urakan laatusuunnitelma)

Projektikohtaisessa laatusuunnitelmassa esitetään kuinka laadunvarmistustoimenpiteet kohteessa toteutetaan. Projektikohtaisessa laatusuunnitelmassa esitetään mm. työhenkilöstö- ja laaduntarkastusorganisaatio, henkilöstön pätevyyssiedot ja laadunvarmistuksen apuneuvot. Projektikohtaisessa laatusuunnitelmassa esitetään myös luettelo laadittavista työvaiheen laatusuunnitelmista ja teknisistä työsuunnitelmista. Projektikohtaisen (urakan) laatusuunnitelman sisältöä on esitelty tarkemmin InfraRYLin kohdassa 42001.4.2. Pienissä kohteissa voidaan tehdä viittaukset yrityksen laatujärjestelmään, mutta yleensä on suositeltavaa tehdä projektikohtainen laatusuunnitelma.

5.2.2.2 Tarkastussuunnitelma (Työvaiheen laatusuunnitelma)

Tarkastussuunnitelmassa esitetään työvaiheen varsinaiset laadunvarmistustoimenpiteet ja vaatimustenmukaisuus. Tarkastussuunnitelman asiat voidaan esittää vaihtoehtoisesti myös työvaiheen laatusuunnitelmassa

Tarkastussuunnitelma voi olla yksi, koko valmistuksen kattava suunnitelma tai siihen voi kuulua myös useampia erillisiä suunnitelmia (esim. materiaalien, hitsaustöiden, muiden liitosten, vaarnojen hitsauksen ja rakenneosien mittojen laadunvarmistus).

Tarkastussuunnitelmassa esitetään InfraRYL kohdan 42001.4.3.3 mukaiset asiat.

Asennusvaiheen tarkastussuunnitelmassa esitetään lisäksi mm. eri asennusvaiheisiin liittyvät

- rakenteen mittojen, muodon, siirtymän ja muodonmuutosten mittaaminen
- nosto- ja tukivoimien mittaaminen
- asennusliitosten laadunvalvonta
- laakerointiin liittyvät mittaukset ja tarkastukset
- viimeistelyyn ja pintakäsittelyyn liittyvät tarkastukset ja
- tarkastuslaajuudet eri tarkastuksille.

Tarkastussuunnitelma tai kopio laatujärjestelmään kuuluvista vastaavista asiakirjoista toimitetaan tilaajan edustajalle viimeistään viikkoa ennen kyseiseen suunnitelmaan sisältyvien töiden aloittamista.

5.2.2.3 Työturvallisuussuunnitelmat

Päätoteuttaja laatii ennen korjaustyön aloittamista työmaan turvallisuussuunnitelman. Tie-, juna- ja vesiliikenteen sekä työmaan sisäisen liikenteen järjestelyistä laaditaan erilliset suunnitelmat. Työmaan sisäisen liikenteen järjestelyt esitetään yleensä työmaa-alueen käyttösuunnitelmassa. Työturvallisuudesta projektin eri vaiheissa on aina laadittava oma suunnitelma. Työvaihekohtainen turvallisuussuunnitelma laaditaan kaikista työvaiheista, joihin liittyy työturvallisuusriskejä. Tämän ohjeen luvussa 8 on esitetty tarkemmin työturvallisuussuunnitelmassa huomioon otettavia asioita.

Teräsrakenteiden toteutuksen osalta työturvallisuudessa noudatetaan InfraRYLin kohtaa 42001.8.3 ja *SILKO-ohjetta 1.111 Työturvallisuus /43/*.

5.2.3 Laakeri- ja liikuntasaumalaittepiirustukset

Urakoitsijan toimeksiannosta laakereiden toimittaja laatii yksityiskohtaiset laakeripiirustukset, joiden perusteella laakerit valmistetaan. Laakeripiirustuksissa esitetään laakerin valmistamiseksi tarvittavat mitta- ja laatutiedot, liikevarat, kuormat, materiaalit, kiinnittäminen rakenteeseen sekä asentamisohjeet. Laakeripiirustus liitetään suunnitelmaan rakentamisen yhteydessä.

Urakoitsijan toimeksiannosta liikuntasaumalaitteiden toimittaja laatii yksityiskohtaiset liikuntasaumalaittepiirustukset, joiden perusteella liikuntasaumalaitteet valmistetaan. Liikuntasaumalaittepiirustuksissa esitetään laitteen valmistamiseksi tarvittavat mitta- ja laatutiedot, liikevarat, materiaalit, kiinnittäminen rakenteeseen sekä asentamisohjeet. Ne liitetään suunnitelmaan rakentamisen yhteydessä.

6 PURKUTYÖT JA TYÖNAIKAISET TUENNAT

6.1 Purkutöiden työturvallisuus

Työturvallisuutta on käsitelty tarkemmin *SILKO-yleisohjeessa 1.111 Työturvallisuus /43/* ja tämän ohjeen kohdassa 8. Tässä kohdassa käsitellään vain purkutöihin liittyvä erityispiirteitä työturvallisuuden kannalta.

Rakenteiden purkujärjestys on suunniteltava niin, ettei työstä aiheudu sortumisvaaraa. Rakenteita purettaessa tulee huomioida, että rakenteissa voi olla pakkovoimia. Pakkovoimat purkautuvat rakennetta purettaessa ja voivat aiheuttaa purettavan rakenteen äkillisiä siirtymiä.

Purkutyömaa on eristettävä tarpeellisissa kohdissa muista alueista. Tällöin estetään asiattomien pääsy työmaalle. Purkutöissä on yleensä käytettävä suojatelineitä tai -verkkoa estämään purkujätteiden, työkalujen, tarvikkeiden yms. putoaminen vesistöön tai alikulkevan liikenteen päälle sekä niiden kulkeutuminen ympäristöön. Kaiteita ei yleensä saa poistaa ennen kuin ryhdytään purkamaan rakenteita, joihin kaiteet on kiinnitetty. Työntekijöiden putoaminen on estettävä turvalajilla, ellei käytetä työturvallisuusmääräykset täyttäviä työtelineitä ja kulkutietä. Purkutyössä voidaan käyttää myös henkilönostinta. Purettavaa osaa ei saa kuitenkaan koskaan laskea henkilönostimen varaan, eikä yleensä myöskään työtelien varaan, ellei telineitä ole erityisesti mitoitettu kestäämään purkujätteiden kuormaa.

Sillassa ja sen lähiympäristössä olevien kaapeleiden ja muiden johtolinjojen sijainti on selvitettävä, ennen purkutöihin ryhtymistä. Johtolinjat suojataan tai siirretään ennen purkutöihin ryhtymistä. Ratasiltojen purkutöissä radan sähköistys on otettava huomioon *Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO) /44/* mukaisesti.

Purku- ja nostotöissä on aina käytettävä henkilökohtaisia suoja- ja turvavarusteita. Käytettävien nostolaitteiden ja nostoapuvälineiden on oltava asianmukaisia ja työhön sopivia sekä määräysten mukaisessa kunnossa ja tarkastettuja (Valtioneuvoston asetus VNa 205/2009 /45/). Erityisesti on kiinnitettävä huomiota kappalenostoihin käytettäviin nostoapuvälineisiin, jotta erilaisten kappaleiden kiinnitysvarmistus varmistetaan. Tarraimilla nostettaessa nosto on yleensä varmistettava ketjuilla.

Henkilöiden nostamiseen saa käyttää vain tähän tarkoitukseen valmistettuja nostolaitteita, henkilönostimia (VNa 205/2009 /45/ § 22). Henkilönostaja on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.5. Henkilönosto on sallittu tiettyissä poikkeustapauksissa myös tavaroiden nostamiseen tarkoitettulla nosturilla tai haarukkatrukilla (VNa 403/2008 ja sen muutosasetus VNa 1101/2010 /46/). Henkilönostinten tarkastuksia on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.5.4.

Metalleista voi niitä käsiteltäessä, työstettäessä, hitsattaessa ja polttoleikattaessa aiheutua haittaa työntekijöille. Mahdollisten terveyshaittojen vähentämiseksi on työssä aina käytettävä hyväksytyjä ja työtehtävään soveltuvia henkilösuojaimia. Metallikuumetta voi aiheutua sinkittyjä, kuparia tai magnesiumia sisältäviä aineita ja esineitä hitsattaessa ja polttoleikattaessa. Aineiden pölykin voi aiheuttaa oireita kiillotettaessa ja hiottaessa näitä metalleja. Metallikuumeen ensioireita ovat kuiva yskä ja kurkkukipu. Muutaman tunnin kuluttua ilmenee vilunväreitä, raajasärkyä ja kovaa kuumetta. Oireet voivat kestää jopa vuorokauden. Tauti on erittäin kiusallinen, mutta toipuminen on täydellistä.

Nikkeliä käytetään terästeollisuudessa seosaineena metallien pintakäsittelyssä. Sille altistutaan hitsattaessa ruostumatonta terästä tai käsiteltäessä erilaisia nikkelpitoisia metalliseoksia, mikä herkistää hengitysteiden limakalvoja. Nikkelille altistunut ei kuitenkaan saa oireita koskettaessaan ruostumatonta terästä. Sen sijaan metallien lastuavassa työstössä iho joutuu kosketuksiin leikkuunesteen kanssa, joka saattaa sisältää työstettävästä metallista irronnutta nikkeliä. Nesteessä voi olla myös pieni määrä kobolttia, jota on yleisesti nikkelin epäpuhtautena. Usein siis herkistytään samanaikaisesti sekä nikkelille että koboltille. Kromi on tunnetuimpia työelämässä käytettävistä herkistävästä aineista. Kromille altistutaan myös hitsattaessa ja polttoleikattaessa ruostumattomia teräksiä, jotka voivat sisältää seosaineena kromia 8–18 %.

Metallia hitsattaessa ja polttoleikattaessa on otettava huomioon seuraavaa:

- Metallin pinnoitteesta voi kuumennettaessa haihtua hengitykselle vaarallisia yhdisteitä. Lisätietoja on saatavissa *SILKO-yleisohjeesta 1.202 Polymeerit sillankorjausmateriaalina /47/*.

- Lyijyhuuruille altistutaan polttoleikkauksessa lyijypitoisella maalilla pinnoitettuja metalleja.
- Kadmiumille ja kromille altistutaan, kun hitsataan tai polttoleikataan metallipintoja, jotka on maalattu kadmiumia ja kromia sisältävillä maaleilla.

Hitsaus- ja polttoleikkaustöissä onkin aina oltava erittäin hyvä ilmanvaihto ja paikallispoisto tai työntekijöiden on käytettävä henkilökohtaisia hengityksensuojaimia. Tehokasta paikallispoistoa ei voi käyttää, jos hitsataan suojakaasulla. Silloin on käytettävä hengityksensuojaimia. Ennen hitsaustöiden aloittamista tulee pintakäsittely poistaa riittävän leveältä alueelta hengitysoireiden minimoimiseksi.

6.2 Rakenteen kestävyys korjaustyön aikana

Rakenteen kestävyys korjaustyön aikana on varmistettava aina etukäteen ennen korjaustyöhön ryhtymistä. Rakenteen kestävyys on varmistettava kaikissa eri purku- ja korjaustöiden vaiheissa. Suunnittelijan tehtävänä on varmistaa sillan kantavuus kaikissa purkutapa- ja asennustapaehdotuksen mukaisissa työvaiheissa. Mikäli urakoitsija poikkeaa suunnittelijan laatimasta purkutapa- ja asennustapaehdotuksesta urakoitsija laatii uudet purku- ja asennussuunnitelmat sekä varmistaa sillan kantavuuden.

Mikäli rakenteen kestävyys ei ole riittävä korjaustöiden aikana, voidaan rakenteen kestävyyttä kompensoida:

- liikennettä rajoittamalla
- tunkkaamalla tai nostamalla rakennetta
- työnaikaisilla tuennoilla

Rakenteita purettaessa betonisen rakenneosien kutistumisesta ja kaikkien materiaalien lämpölaajenemisesta aiheutuvia pakkovoimia voi purkautua rakenneosasta.

6.2.1 Liikenteen rajoittaminen

Yleisin ja tehokkain tapa varmistaa rakenteen kestävyys korjaustöiden aikana on liikenteen rajoittaminen. Liikennettä sillalla voidaan rajoittaa

- siirtämällä liikenne sillan toiselle puolelle
- asettamalla korjaustöiden aikainen painorajotus
- asettamalla korjaustöiden aikainen nopeusrajoitus ja käyttämällä nopeutta alentavia tehosteita
- katkaisemalla liikenne lyhytaikaisesti
- siirtämällä liikenne varasillalle tai
- siirtämällä liikenne kiertotielle kriittisten työvaiheiden ajaksi.

Hitsaus- ja polttoleikkaustöissä työntekijöillä ja työnjohdolla on oltava voimassa oleva tulityökortti. Hitsaus- ja polttoleikkaustöiden tekemiseen pitää olla myös tulityölupa ja tulityösuunnitelma.

Hiontatyössä on aina käytettävä asianmukaisia henkilösuojaimia. Silmien suojaimissa tulee olla sivusuojat. Ne estävät hiontariskeiden pääsyn silmiin. Metallien ja niiden pinnoitteiden hiontapölyn hengittämistä on vältettävä; mieluiten on käytettävä hyväksyttyä pölysuojainta altistumisen välttämiseksi.

Ajoneuvoliikenteelle varattavan yhden ajokais-tan leveys sillan korjaustöiden aikana on oltava yleensä vähintään 3,0 m.

Liikennejärjestelyiden muutoksesta on laadittava Liikenteenohjaussuunnitelma. Liikenteenohjaussuunnitelma laaditaan päätoteuttajan toimesta. Liikenteenohjaussuunnitelma on tiealueella tapahtuvaan työskentelyyn tarvittavan työlupahakemukseen liitettävä selostus ja kaavio liikennejärjestelyistä hakemuksen kohteena olevasta paikasta. Suunnitelmassa esitetään kaikki liikennemerkit ja sulku- ja varoituslaitteet sijaintitietoineen sekä mahdolliset työturvallisuuden vaatimat kaideratkaisut. Ohjeita liikenteenohjaussuunnitelman laatimiseen on annettu Liikenneviraston julkaisusarjassa ”*Liikenne tietyömaalla*”. Myös ELY-keskuksilla on ohjeita liikenteenohjaussuunnitelman laatimiseen.

Töiden aloittamista koskeva hakemus on tehtävä kirjallisesti ja se on jätettävä hyvissä ajoin lupaviranomaisen käsiteltäväksi. Lupia koskevassa hakemuksessa tulee tuoda esille kaikki hankkeeseen liittyvät tiedot, kuten työn laatu ja työmenetelmä, toteuttamisajankohta ja hankkeen tarkka sijainti ja työn kesto sekä lupahakemuksessa ilmoitetun hakijan yhteystiedot. Hakemuskaavake on saatavissa ELY-keskuksen internetsivuilta.

Työluvalla annetaan työturvallisuutta ja liikennejärjestelyjä koskevat ohjeet työskentelyyn tiealueella tai tiealueen kautta. Tavallisimmin edellytetään hakijalta ehdotusta liikenteenohjaussuunnitelmaksi. Työlupa koskee työskentelyn aloittamisajankohtaa, tiedottamista, tiealueella työskentelyn ehtoja sekä työn suorittamisen valvontaa ja loppukatselmuksen pitämistä.

Maantiellä tehtävistä töistä tulee ilmoittaa ennakoon Liikenneviraston tieliikennekeskukseen. Ilmoitus tehdään ensisijaisesti kirjallisesti Liikenneviraston tieliikennekeskukseen käyttäen Liikenneviraston sivuilta löytyvää lomaketta Ilmoitus liikennettä haittaavasta työstä (www.liikennevirasto.fi/lomakkeet). Ilmoitukseen täytetään perustietoja työkohteesta sekä työn alkamis- ja päättymisajat. Lisäksi ilmoituksessa määritellään työn vaikutukset liikenteelle.

Jos tie joudutaan sulkemaan liikenteeltä yli 15 minuutiksi, tulee ilmoitus työstä tehdä myös pelastuslaitokselle 1 viikkoa ennen. Toistuvista 15 minuuttia lyhemmistä tien sulkemisista sekä pidempiaikaisista liikennettä haittaavista töistä ilmoitetaan myös pelastuslaitokselle, jotta he voivat suunnitella pelastusreitit tarvittaessa uusiksi. Tien sulkemisesta on kerrottu tarkemmin Liikenneviraston ohjeessa *Liikenne tietyömaalla – Kunnossapitotyöt* LO 3/2015 /33/ kohdassa 7.

Kaikista aikataulu yms. muutoksista, jotka vaikuttavat liikenteen ohjaamiseen, on ilmoitettava tieliikennekeskukseen.

Ratasiltojen ratatöiden ja liikennejärjestelyjen osalta ohjeita on annettu *Radanpidon turvallisuusohjeessa (TURO) /44/*. Ratatyöhön on ensimmäisen luokan liikenteenohjauksen alueella oltava liikenteenohjauksen lupa. Toisen luokan liikenteenohjauksen alueella ratatyötä tekevät vastaavat itsenäisesti omasta toiminnastaan. Ratatöistä on laadittava ratatyöilmoitus (Rt-ilmoitus). Urakoitsijan on toimitettava ratatyöstä ratatyöilmoitus (Rt-ilmoitus) sille liikenteenohjaukselle, jonka alueella ratatyö tehdään. Ilmoitus on annettava kirjallisesti Rt-ilmoituslomakkeella. Lähettäjän on varmistettava vastaanottajalta Rt-ilmoituksen saapuminen ja oikeellisuus. Rt-ilmoituksen lähettäminen ei oikeuta aloittamaan ratatyötä, vaan siihen pitää saada aina liikenteenohjauksen lupa. Ratatyö on aina ensisijaisesti tehtävä ennalta suunniteltuna ratatyönä. Ennalta suunnitellusta ratatyöstä tehdään ennakkosuunnitelma JETI-järjestelmään. Ennakkosuunnitelman perusteella liikennesuunnittelija laatii ennakoilmoituksen JETIin.

6.2.2 Tunkkaus ja nostaminen

Tunkkausta ja nostamista voidaan käyttää rakenteen tai rakenneosan kuormien ja jännitysten poistamiseksi, kun rakenneosaa korjataan tai vaihdetaan. Tunkkausta käytetään silloilla myös vaakasiirtoja tehtäessä ja laakereita vaihdettaessa.

Mikäli tunkattu tai nostettu rakenne on pelkästään tunkkien varassa ja sillalla on liikennekuormaa, tunkkien on oltava lukittavia lukkorengastunkkeja tai muun tyyppisiä lukittavia tunkkeja. Tunkkien on oltava lukittuna, kun sillalla on liikennekuorma. Tällöin tunkkien ja tunkattavan rakenteen välissä on oltava liikkeen mahdollistava rakenne ja tunkkauksen on oltava lyhytaikainen. Usein esimerkiksi välituilla tunkattavan rakenteen ja välituen välissä on vähän tilaa vaakasuunnassa ja tunkkauslaitteiden ulkopuolelle ei jää riittävästi tilaa väliaikaisille kiinteille tuennoille.

Tunkkaussuunnitelmassa annettua rakenteen tunkkauksen tai noston korkeutta ei saa ylittää, koska suurempi tunkkauksen tai noston korkeus aiheuttaa jännityksien kasvamista tunkattavassa ja sen läheisissä rakenteissa. Mikäli rakennetta on tarve tunkkata enemmän kuin tunkkaussuunnitelmassa, rakenteiden kestävyys on selvittävä laskelmilla.

Tunkkaus tehdään aina tunkkaussuunnitelman mukaisista paikoista. Tunkkien alla ja tunkin yläpäässä käytetään tunkkaussuunnitelman mukaisia kuormanjakolevyjä. Yleensä poikkipalkkien ja uuman kestävyys on rajallinen ja tarvitaan lisäjäykisteitä, ellei kyseistä rakennetta ole mitoitettu jo alun perin tunkkauksesta aiheutuvalle pistekuormalle. Tunkkausalustan kestävyys tulee tarkistaa, ellei tunkkauspistettä ja tunkkauskuormaa ole esitetty sillan alkuperäisessä suunnitelmassa. Tällöinkin tunkkausalusta on yleensä mitoitettu pelkälle omapainolle. Tunkkauskalusto valitaan nostettavan kuorman, käytössä olevan korkeussuuntaisen tilan, tunkin iskupituuden ja nostokorkeuden mukaan.

Siltarakenteiden nostojen yhteydessä tunkit ovat yleensä hydraulisesti toimivia yksimäntäisiä korkeapainetunkkeja (kuva 81). Hydraulisten tunkkien nostokapasiteetit vaihtelevat muutamasta tonnista satoihin tonneihin. Mekaanisesti toimivia tunkkeja ei yleensä käytetä siltarakenteiden nostoissa, koska niiden nostokapasiteetit ovat yleensä liian pieniä. Laakereiden vaihdossa ja muissa korkeudeltaan ahtaissa tunkkauksissa käytetään lyhytiskuisia matalarakennesyliintereitä. Tunkkien hydraulipumput ovat 1- tai 2-vaiheisia

käsi-, paineilma-, polttomoottori- tai sähkökäyttöisiä pumppuja. Mikäli tunkkauksessa käytetään useampia tunkkeja, käytetään jakotukia, jolloin tarvitaan vain yksi hydraulipumppu.

Tunkkien nostovoima määritetään mittaamalla tunkin hydrauliiikan painetta ja muuttamalla se tunkkikohtaisilla kertoimilla nostovoimaksi. Mikäli tunkkauksessa käytetään useita tunkkeja, joihin halutaan sama nostovoima, tunkit asennetaan samaan hydrauliiikkapiiriin. Nykyaikaisissa jakotuisissa hydrauliiikan painetta voidaan säätää ja mitata tunkkikohtaisesti, mikäli tunkkeihin halutaan eri nostovoimat.

Lämpölaajenemisen huomioon ottamista tunkkaustöiden yhteydessä on käsitelty kohdassa 6.2.4.

Hydraulisia vetosylintereitä voidaan käyttää hydraulitunkkien tapaan töissä, jotka vaativat rakenteen tai rakenneosan vetämistä.

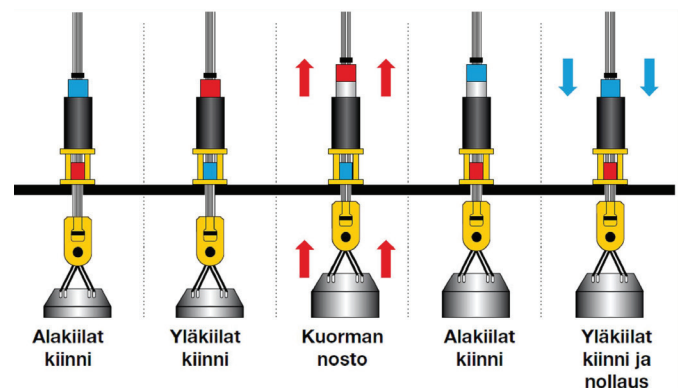
Vaijeritunkkeja voidaan käyttää rakenneosien ja lohkojen nostoissa ja vaakasiirroissa. Vaijeritunkkeja käytetään erityisesti korkeissa nostoissa ja pitkissä vaakasiirroissa, kun tunkille on vähän tilaa. Vaijeritunkissa nostovaijerit kulkevat tunkin rungon läpi ja iskupituuden loppuasennossa vaijerit kiilataan alakiiilojen ja lukkolaitteen avulla paikoilleen. Noston alitusvaiheessa yläkiilat kiinnittyvät vaijeriin ja alakiiilat vapautuvat (kuva 82).

Muita nostotapoja on

- nosturit
- nostotyönyyt
- viputaljat
- käsiketjutaljat
- vaijeritaljat
- hydrauliset vaihenostimet



Kuva 81. Yksimäntäiset hydraulitunkit laakereiden korjaukseen liittyvässä nostotyössä.



Kuva 82. Vaijeritunkin nostojärjestys ja periaate

6.2.3 Työnaikaiset tuennat

Työnaikainen tukeminen on tehtävä aina kohdekohtaisten tuentasuunnitelmien mukaisesti.

Mikäli työnaikainen tukeminen tehdään maahan perustamalla, maaperän kantokyky on aina selvitettävä etukäteen. Selvityksen perusteella laaditaan mahdolliset maapohjan vahvistamistoimenpiteet. Lisäksi on huomioitava maaperän ja alustäyttöjen painuminen työnaikaisten tuentojen alla. Työnaikaisten tuentojen perustamisessa voidaan joutua käyttämään paalutusta maaperäolosuhteiden ollessa huonot, jotta riittävä kantavuus ja painumattomuus saavutetaan.

Maasta tukemiselle usein parempi vaihtoehto on tukea rakennetta sillan olemassa olevista maa- ja välituista tai muista kiinteistä rakenteista. Tällöin

olemassa olevien tukien kestävyys ja stabiliteetti on tarkistettava laskelmin työnaikaiselle kuormitustilanteelle. Kun työnaikainen tuenta tehdään olemassa olevan peruslaatan varaan, tarkistetaan pohjapaineet ja paalurasitukset sekä varmuus kaatumista ja liukumista vastaan. Mikäli työnaikaisia kannattimia tuetaan esimerkiksi maatuen laakeritasolle, käytetään tukemisessa kumilevylaakereita, jotta kannattimen kulman muutos ei aiheuttaisi laakeritasoon epätasaisia jännityksiä.

Työnaikaisissa tuennoissa tulee huomioida myös riittävä vaakatuenta ja tukirakenteen stabiliteetti. Tukitolppien nurjahtaminen puristusvoimasta on estettävä vähintään kahdessa toisiaan risteävässä vaakasuunnassa, ellei tukitolppa ole itsessään riittävän vahva nurjaldusta vastaan. Mikäli saman rakenteen tuennassa käytetään useampia tolppia, on kuorman jakautumisesta tasaisesti eri tukitolpille huolehdittava. Kuorman jakautumista tukitolpille voidaan tasata kiertämällä korkeussäädettävillä tukijaloilla ja säätöpäillä tai käyttämällä kiilausta tai täytelevyjä tukitolpan ja rakenteen välissä.

Yksittäisiä tukitolppia parempi vaihtoehto pystysuuntaiseen tukemiseen on tukitornit. Tukitornit ovat esivalmisteisista rakenneosista koottavia kolmi- tai useampijalkaisia ristikko- tai kehärakenteita, joita pääasiassa kuormittaa pystykuorma. Tukitornin pääosia ovat säätöjalat, pystykehät, vinositeet, vaakasiteet vaakavinositeet ja säätöpäät. Säätöjalan ja säätöpään ruuvit ovat jäykästi tai nivelellisesti liitetty tukilevyyn. Kehät liitetään toisiinsa tavallisesti tappi- tai kiilaliitoksilla. Tukitorni pyritään sijoittamaan kannatettavan rakenteen alle siten, että tornille tuleva kuorma on keskeinen ja jokaisen pystyputken kuorma yhtä suuri. Jos kuorma on epäkeskinen, tulee tukitornille sallittavaa pystykuormaa pienentää käyttöselosteen ohjeen mukaan. Kun tukitornien perustuksena on maa, tukeutuvat säätöjalat siihen aluspuiden, teräksisten telineantureiden tai teräsbetonisten elementtilaattojen välityksellä. Tukitornit sijoitetaan keskeisesti kuormitusta jakavien rakenteiden päälle. Perustamistapaa, jossa osa tornista on painumattomalla alustalla (esim. peruslaatan päällä) ja osan maan varassa, tulee epätasaisten painumien takia välttää. Erilaisia tukirakenteita on käsitelty myös ohjeessa *Siltojen tukitelinet-2007 /48/*.

Nostoliinon käyttö työnaikaisessa tuennassa on sallittu ainoastaan lyhytaikaisissa tuennoissa. Tällöinkin nostoliinoilla on oltava nostoelimiltä

vaadittava tarkastus ja hyväksyntä. Lisäksi nostoliinon on oltava täysin ehjiä ja niissä on oltava nostoliinan kapasiteetin ilmoittava merkintä. Normaaliin kuormaliinon käyttö työnaikaisessa tuennassa ei ole suositeltavaa. Mikäli kuormaliinoja kuitenkin käytetään työnaikaisessa tuennassa, niiden käytölle asetetaan samat vaatimukset kuin nostoliinoille.

6.2.4 Pakkovoimien huomioiminen korjaustyössä

Rakenteisiin syntyy pakkovoimia betonin kutistumisesta, eri materiaalien lämpölaajenemisista ja tukien epätasaisista painumista ja vaakasiirtymistä. Pakkovoimia voi aiheutua myös syntyneiden vaurioiden ja pysyvien muodonmuutosten kautta.

Betonin kutistumisesta aiheutuvia pakkovoimia syntyy lähinnä betonisen kansilaatan kutistuessa teräsrakenteiden kannattimien varassa. Kansilaatan kutistuessa teräsrakenteisiin kannattimiin syntyy puristusrasituksia. Betonin kutistumisesta aiheutuvat kuormitukset on yleensä otettu huomioon sillan alkuperäisissä suunnitelmissa. Teräsrakenteita purettaessa kutistumasta aiheutuvia pakkovoimia voi purkautua rakenteesta.

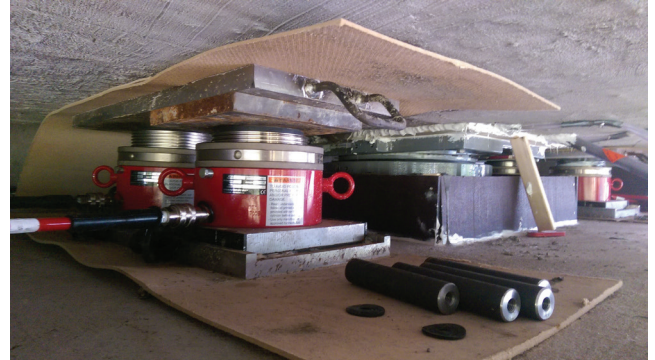
Betonin ja teräksen lämpölaajenemiskertoimet ovat lähes yhtä suuret, joten koko rakenteen lämpötilan muuttuessa tasaisesti pakkovoimia syntyy ainoastaan laakerikitkan johdosta. Rakenteeseen voi syntyä lämpötilaeroja esimerkiksi rakenteen ylä- ja alapinnan välille auringon paisteen vaikutuksesta. Tästä aiheutuu rakenteeseen myös taivutusrasituksia. Myös eri rakenneosien välille voi syntyä lämpötilaeroja. Muun muassa ohuiden vetotankojen ja köysien lämpötila voi nousta auringon paisteen vaikutuksesta huomattavasti nopeammin kuin niitä kannattavien muiden rakenteiden lämpötila. Rakenteiden välisiä lämpötilaeroja voidaan mitata paikan päällä pintalämpötilamittareilla. Lämpötilaeroja on käsitelty tarkemmin ohjeessa *NCCI 1* kohdassa D.

Tunkkauksen ja työnaikaisen tuennan aikana tapahtuvat rakenteen lämpötilamuutokset tulee ottaa huomioon tunkkausta ja työnaikaista tuentaa toteutettaessa. Tunkin tai tuennan ja nostettavan rakenteen väliin on tehtävä nostettavan rakenteen lämpötilamuutoksista aiheutuvan liikkumisen mahdollistava liukupinta tai laakerirakenne (kuva 83). Liukupintoina käytetään usein PTFE- (teflon)levyjä. Liukumispintojen kitkaa voidaan

vähentää käyttämällä liukupinnoissa PTFE rasvaa tai muuta silikoni- tai synteettiöljypohjaista rasvaa tai öljyä. Liukupinnoissa oleva kitka yhdessä lämpöliikkeiden kanssa aiheuttaa tunkin yläpäähän vaakavoimia. Nämä vaakavoimat voivat aiheuttaa tunkkien kaatumisen, ellei niitä ole huomioitu tunkkaussuunitelmassa. Mikäli tunkkauksen ja työnaikaisen tuennan aikana tapahtuvat lämpöliikkeet ovat pieniä, liikevara voidaan toteuttaa myös kumilevylaakereiden avulla. Mikäli työnaikainen tuenta toteutetaan tukitornien tapaisilla korkeilla rakenteilla, joilla on mahdollista kiertyä lämpöliikkeiden mukana liukupinta- tai laakerointirakenteita tuennan ja tuettavan rakenteen välissä ei välttämättä tarvita. Tällöin on varmistettava tukirakenteen kiertymiskapasiteetti ja tuennan kestävyys kiertyneessä tilassa.

Sillan maa- ja välitukien epätasaisista painumista voi syntyä merkittäviä pakkovoimia sillan päällysrakenteeseen. Tukipainumista aiheutuvat kuormat on yleensä huomioitu sillan alkuperäisen suunnittelun yhteydessä jollakin arvioidulla epätasaisen painuman suuruudella. Maa- ja välitukien painumat ja vaakasiirtymät tulee tarkistaa vähintäänkin silmämääräisesti ennen pääkannattamiin kohdistuviin korjaustöihin ryhtymistä. Tukien painumat on yleensä havaittavissa silmämääräisesti päällysrakenteen ja erityisesti reunapalkkien muodon muutoksina. Mikäli silmämääräisen tarkastelun perusteella on aihetta epäillä tukien painumaa, suoritetaan päällysrakenteen muodon mittaus. Maatukien vaakasiirtymät on havaittavissa yleensä liikunta-saumalaitteiden ja laakereiden liian pienistä liikevaroista. Pahimmassa tapauksessa maatuet voivat nojata kansilaattaan tai kannen pääkannattimiin.

Vaihdeettava tai/ja korjattava rakenne on tehtävä jännityksettömäksi pakkovoimista, omasta painosta ja hyötykuormista tunkkauksen ja työnaikaisen tuennan avulla. Mikäli jännityksen alainen rakenneosia irrotetaan tai korjataan ilman tunkkausta ja tuentaa, rakenneosassa olleet kuormitukset siirtyvät yleensä muihin rakenteisiin. Tällöin muiden rakenteiden kapasiteetit voivat ylittyä. Rakenteen vaihtaminen tai korjaaminen siten, että jännitykset poistuvat rakenneosasta, edellyttää aina rakenteen kestävyuden tarkistamista laskemalla.



Kuva 83. Tunkkauksen aikainen rakenteen lämpötilamuutoksista aiheutuvien liikkeiden mahdollistava liukupintarakente tunkkien alla.

6.3 Purkamismenetelmät

Ennen purkutyöhön ryhtymistä on laadittava purkusuunnitelma. Purkusuunnitelmaa on käsitelty kohdassa 5.2.1.3.

6.3.1 Polttoleikkaus ja muut vastaavat leikkausmenetelmät

Näkyviin jääville ja väsymisrasituksen alaisille pinnoille ei sallita jätettävän poltto- ja plasmaleikattuja sekä hiilikaaritalttuja pintoja vaan loput teräksestä tulee poistaa hiomalla.

Polttoleikkaus

Polttoleikkaus on perinteinen tapa leikata metallirakenteita. Polttoleikkauksessa metalli leikataan

hapan ja polttokaasun, esimerkiksi propaanin tai asetyleenin yhteisvaikutuksella. Polttoleikattaviksi soveltuvat paksutkin metallikappaleet, paksuus voi olla jopa 150 mm. Rajoittava tekijä leikkaussyvydessä on kaasusuihkun muodon pysyminen riittävän kapeana.

Polttoleikkauksen edellytyksenä on, että materiaalin tulee palaa puhtaassa hapessa alemmassa lämpötilassa kuin sulaa. Polttoleikkaus ei sovellu kaikille teräslaaduille. Seostetummat teräslaadut vaativat erilaisia menetelmiä, esimerkiksi laser-, plasma- tai jauheleikkaus (rautajauheen avulla).

Polttoleikkaus aloitetaan kuumentamalla teräs punahehkukseksi ja suihkuttamalla tämän jälkeen puhdasta happea punahehkukseen teräkseen, jolloin teräs palaa vapauttaen energiaa prosessiin. Periaatteessa kaasuliekkiä ei tarvitsisi käyttää alun kuumennuksen jälkeen, sillä palava teräs kuumentaa materiaalin, joka taas vuorostaan palaa kohdatessaan hapen.

Muita polttoleikkauksen kaltaisia metallin termisiä leikkaustapoja ovat plasmaleikkaus ja laserleikkaus.

Plasmaleikkaus

Plasmaleikkaus on sulatusleikkausmenetelmä, jossa sula materiaali poistetaan kuumen plasma-
liekin energian avulla. Plasmaleikkausmenetelmä kehitettiin 1950-luvulla sellaisten metallien työstämiseen, joita ei voitu leikata happipolttokaasuleikkauksella. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi ruostumaton teräs, alumiini ja kupari. Menetelmää on alettu myöhemmin soveltaa myös niukkahiilisen ja niukkaseosteisen teräksen leikkaukseen ja tarkkuusleikkaukseen.

Plasma on olotila, jossa kaasu on ionisoitunutta. Se muodostuu positiivisista ioneista ja elektroneista, minkä takia plasmakaasu johtaa sähköä. Plasma sisältää myös paljon energiaa. Plasma sulattaa materiaalia paikallisesti ja sula materiaali poistetaan leikkauksesta kaasusuihkun avulla.

Plasmaleikkauksessa käytetään kyseessä olevalle sovellukselle sopivia kaasuja. Esimerkiksi niukkaseosteisen teräksen leikkauksessa plasma-
kaasuna käytetään happea tai typpiä, kun taas ruostumattoman teräksen leikkauksessa käytetään argonpohjaista (tai typpipohjaista) kaasua, jossa on pelkistimenä vetyä.

Hiilikaaritalttaus

Hiilikaaritalttaus voidaan käyttää pienissä ja tarkkuutta vaativissa metallirakenteiden purkutöissä. Hiilikaaritalttaus talttaushiilellä ja paineilmalla on nopea ja halpa menetelmä leikata ja kovertaa materiaalia korjaustöiden ja vastaavien töiden yhteydessä. Talttaushiilen välityksellä synnytetään valokaari, joka sulattaa metallin ja sulanut metalli puhalletaan pois voimakkaan paineilman avulla. Paineilma myös viilentää talttaushiilen. Paineilmasuihku puhalttaa pitkin talttaushiiltä talttaus-
hiilenpitimessä olevan kosketuskappaleen kautta. Hiilikaaritalttaus on äänekäs ja runsaasti kipinöitä sekä valoa aiheuttava työstömenetelmä. Tapahtumassa käytetty paineilma synnyttää voimakkaan äänen ja sulatetun metallin puhaltaminen pois

työstettävästä kappaleesta synnyttää voimakkaan kirkkaan valon. Koska menetelmä perustuu talttauskohtan sulattamiseen ja sen puhtaasti fyysiseen pois puhaltamiseen, sopii hiilikaaritalttaus useimpien metallisten aineiden, kuten seostamattoman ja matalaseosteisen teräksen, ruostumattoman teräksen, valuraudan, nikkelin, kuparin, magnesiumin ja alumiinin talttaukseen.

Hiilikaaritalttaus menetelmää käytetään myös yleisesti hitsauksen juurenauvuksessa, seevauksessa eli viisteen tekemisessä. Hiilikaaritalttaus-
käytetään myös virheellisten hitsien poistamiseksi.

Laser- ja vesisuihkuleikkaus

Laser- ja vesisuihkuleikkausta käytetään lähinnä konepajateollisuudessa ja niitä ei juurikaan käytetä työmaaolosuhteissa, joten niitä ei käsitellä tässä ohjeessa.

6.3.2 Sahaaminen, laikkaleikkaus ja muut mekaaniset leikkausmenetelmät

Sahaaminen

Sahaaminen on lastuamalla leikkaamista. Sahaamista käytetään erityisesti silloin, kun kipinöintiä ei sallita.

Terän lastutilan suuruus vaikuttaa siihen, paljonko lastuja mahtuu ja terä leikkaa kerralla. Pehmeälle materiaalille ja pitkälle sahauspituudelle käytetään harvaa terää. Koville metalleille, ohuille levyille ja ohutseinäisille putkille käytetään tiheämpi hampaista terää. Kova aine ja lyhyt sahapituus vaativat tiheähampaisen terän. Kovaa materiaalia hienolla terällä leikattaessa on useampia leikkauksia teriä ja näinollen terä kestää kauemmin.

Kovat aineet kuten betoniteräkset ja kovat ruuvit kannattaa katkaista pikaterällä (HSS, High Speed Steel). Pikaterästerä saattaa katketa helposti.

Sahausjälki on terän selkäosaa leveämpi, teriä voidaan myös asentaa kaksi rinnakkain leveämmän uran saamiseksi.

Sahaa työnnetään ja vedetään tasaisesti edestakaisin, leikkaaminen tapahtuu työntöliikkeessä.

Sahattaessa kitkaa ja lämpenemistä voidaan ehkäistä öljyllä tai suopavedellä.

Käsikäyttöistä rautasahaa eli metallikaarisahaa voidaan käyttää pienissä leikkaustöissä esimerkiksi ohuiden ruuvien ja niittien katkaisussa.

Sahat voivat olla myös sähkökäyttöisiä esimerkiksi puukkosahatyyppejä sahoja. Leikkaus tapahtuu työntöliikkeellä eli hampaan kärki on pois päin kahvasta, tarkasti kiinnityspintoja vasten ja kiristetään sopivan tiukasti. Terät ovat jaoteltu tiheydenpuolestasensa mukaan, montako hammasta terässä on tuuman pituudella. Tavallisimmat tiheydet ovat 14, 18, 24 ja 32 hammasta/tuuma, joista yleisin on 18. Terän hammastus on haritettu tai tehty aaltomaiseksi. Terät ovat seosterästä tai pikaterästä.

"Rautasahalla" putki on helppo katkaista, mutta leikkauksen jälkeen joutuu tämän jälkeen siistimään. Leikkauksesta ei välttämättä tule suora. Leikkauksen jälkeen voi siistiä hiomalla.

Laikkaleikkaus

Laikkaleikkaus työmaolosuhteissa tehdään yleensä sähkökäyttöisellä kulmahiomakoneella (rälläkällä). Kulmahiomakoneella tehdään kuiva-katkaisua eli leikattaessa ei käytetä esimerkiksi vettä tai öljyä. Kulmahiomakoneen teriä nimitetään myös laikoiksi. Erimateriaaleja leikattaessa käytetään erityyppisiä laikkoja. Ruostumattomia teräksiä leikattaessa ei saa käyttää normaalin teräksen leikkaamisen tarkoitettuja laikkoja, koska se aiheuttaa ruostumattoman teräksen ruostumista. Laikkoja on koneesta riippuen erikokoisia. Laikkojen halkaisijat ovat pienissä koneissa yleensä 115 mm tai 125 mm ja isoissa koneissa 180 mm tai 230 mm. Erityyppisiä laikkoja ovat esimerkiksi katkaisulaikat ja timanttilaikat katkaisuun sekä hiomalaikat ja lamellilaikat hiomiseen. Laikkojen paksuudet vaihtelevat laikkatyypeittäin, hiomalaikat ovat kaikkein paksuimpia. Timanttilaikassa on joko yhtenäinen terä tai segmentteihin jaettu terä.

Metalleja työstettäessä syntyy paljon kipinöitä, jotka voivat sytyttää materiaaleja palamaan. Kipinäsuihku polttaa reikiä vaatteisiin ja voi sytyttää tulipaloja. Kipinäsuihkut eivät saa suuntautua maalipintoihin vaan maalipinnat on suojattava kipinäsuihkuilta. Kulmahiomakoneella työskentely on tulityötä ja vaatii näin ollen tulityökortin. Kulmahiomakoneen käytön aikana täytyy käyttää asianmukaisia henkilösuojaimia sekä kipinöiltä ja kuumuudelta suojaavaa vaatetusta. Koneen suojavälineitä kuten teräsuojaa ei saa poistaa työskentelyn ajaksi. Etenkin hiomalaikkojen murtuessa irtoaa vaarallisia kappaleita. Rikkinäisiä laikkoja ei tule käyttää. Eri laikkatyypeille on annettu maksimi pyörimisnopeudet. Laikkaa, joka ei kestä koneen pyörimisnopeutta, ei tule käyttää. Suurissa kulmahiomakoneissa pyörimisnopeus

on muutamaa kertaluokkaa pienempi kuin pienissä koneissa ja niille tarkoitettujen terätarvikkeiden ovat vaarallisia pienissä koneissa.

Sinkittyjä rakenteita laikattaessa tulee ottaa huomioon sinkin palaminen leikkauksen kohdan viereltä. Ennen leikkausta sinkki tulee poistaa riittävän leveältä alueelta.

Laikkaleikkausta käytettäessä leikkauksesta ei välttämättä tule suora.

Poraaminen

Poraamista voidaan käyttää niittien ja ruuvien poistamisessa. HSS-poranterät hiottuine kärkinneen sopivat mm. alumiinin, kuparin, messingin, sinkin, raudan ja seostamattoman teräksen poraamiseen. HSS-R perusporanterät ovat valmistettu valssaamalla pikateräksestä ja soveltuvat matalalujuuksisen teräksen ja valuraudan poraamiseen. Hiomalla pikateräksestä valmistetut HSS-G-porat leikkaavat hiukan perusteriä paremmin ja ovat myös jonkin verran kestävämpiä. Niitä käytetään porattaessa terästä, valurautaa ja seostettua sekä seostamatonta terästä. Kobolttiteriä käytetään kovien metallien kuten ruostumattoman ja haponkestävän teräksen poraamisessa. Hyvässä kobolttiterässä kobolttipitoisuus on vähintään 8%, jolloin se kestävä korkeampiakin lämpötiloja. Sopiva poranterän pyörimisnopeus riippuu terän halkaisijasta ja porattavan metallin laadusta. Matala- ja runsashiillisiä teräksiä porattaessa kierrosnopeus vaihtelee välillä 50...1100 kier/min. Halkaisijaltaan suurilla (noin 40 mm) terillä runsashiillisiä ja ruostumattomia teräksiä porattaessa kierrosnopeus on alhainen (jopa vain noin 50 kier/min) ja ohuilla terillä pehmeitä metalleja porattaessa kierrosnopeus voi olla jopa noin 2800 kier/min. Liian suuri kierrosnopeus voi aiheuttaa terän tai porattavan metallin karmenemisen. Tarvittaessa poraus kohtaa on jäähdytettävä tai käytettävä leikkausöljyä karmenemisen estämiseksi.

Putkileikkuri

Putkileikkuri kiristetään putken ympärille ja sitä aletaan pyörittämään putken ympäri. Muutaman kierroksen jälkeen leikkuria kiristetään jälleen ja toistetaan, kunnes putki katkeaa. Putkileikkurilla on useita eri kokoja niin taskukokoisesta isoon moottorilla toimivaan. Leikkurissa oleva terä leikkaa suoran ja siistin jäljen. Putkileikkurin käyttö rajoittuu ainoastaan pyöreiden putkien katkaisuun ja sitä käytetään harvemmin siltarakenteiden purkutöissä.

Timanttivaijerisahaus

Timanttivaijerisahausta käytetään yleensä betonirakenteiden purkamisessa, mutta sitä voidaan käyttää myös metallien leikkaamisessa. Timanttivaijerisahausta ei ole käytetty juurikaan terässiltöjen purkutöissä.

6.3.3 Räjyttäminen

Räjyttämällä purkamista käytetään yleensä vain kun koko sillan päällysrakenne tai koko silta on tarkoitus purkaa. Muuten hankalasti purettavissa oleva päällysrakenne voidaan purkaa räjäyttämällä siten, että päällysrakenne putoaa hallitusti alas ja purkamista voidaan sen jälkeen jatkaa muilla menetelmillä.

Räjyttämisen käyttäminen purkutöissä on harkittava ja suunniteltava aina tapauskohtaisesti. Purettavan kohteen läheisyydessä oleva vilkas liikenne tai rakennukset voivat rajoittaa räjäytystöiden tekemistä. Mikäli purettavan kohteen läheisyydessä on tärinälle alttiita rakenteita tai rakennuksia, tehdään tärinäselvitys.

Räjätystyöstä on tehtävä valtioneuvoston asetuksen 644/2011 mukaisesti työpaikka- ja työvaihekohtaisesti tarkentuva turvallisuussuunnitelma, jossa on selvitettävä ja arvioitava työn ja työympäristön vaarat. Lisäksi räjäytystyöstä on laadittava kirjallinen räjäytysuunnitelma.

Räjätystyöstä tulee ilmoittaa poliisille vähintään seitsemän vuorokautta ennen työn aloittamista. Ilmoituksesta tulee käydä ilmi räjäytystyömaan sijainti, työmaan arvioitu kesto-aika, käytettävien räjähteiden lajit, räjäytystyön johtajan tiedot sekä räjähteiden säilytys- ja varastopaikat.

Poliisi voi ilmoituksen perusteella määrätä rajoituksia aiotulle käytölle ja tarvittaessa määrätä käytön edellyttämistä varotoimenpiteistä. Poliisi voi myös kieltää käytön, jos voidaan katsoa aiheutuvan ilmeistä henkilö-, ympäristö- tai omaisuusvahinkojen vaaraa.

6.3.4 Rakenneosien poistaminen kokonaisuena

Kokonaisia rakenneosia, esimerkiksi pienten siltöjen päällysrakenne, voidaan poistaa kokonaisuena nosturilla nostamalla. Päällysrakenne tai sen osa voidaan poistaa myös uittamalla tai sivuun tunkaamalla.

Nostotyöt on suunniteltava aina tapauskohtaisesti. Nostettavan rakenteen paino on aina selvitettävä luotettavasti ennen nostotöihin ryhtymistä. Vanhoissa suunnitelmissa esitetyt rakenteen teoreettiset painot eivät aina pidä paikkaansa. Nostotyölle joudutaan yleensä varaamaan muita purkutöitä suurempi työalue. Suurempien nostojen yhteydessä voidaan nosturille joutua rakentamaan nostokenttä, jotta nosturi voidaan sijoittaa riittävän lähelle nostettavaa rakenneosaa. Nostokentän maaperäolosuhteet on selvitettävä aina nostosuunnitelman lähtötiedoiksi. Nostokentän rakentamiskustannukset voivat olla merkittäviä, mikäli nostopaikalla on huonot maaperäolosuhteet.

7 KORJAUSTYÖT

7.1 Korjaustöiden laatuvaatimukset

Sillan rakenteellisissa korjauksissa takuu-aika on yleensä kaksi vuotta ja pintakäsittelyn osalta takuu-aika on yleensä 5 vuotta uusintamaalauksille.

Rakenteellisten korjausten käyttökatavoite määritellään korjaussuunnitelmissa.

Korjauksiin liittyvissä maalauksissa, joita ei tehdä uusintamaalauksina, on sama takuu-aika kuin kunnossapitomaalauksessa. Takuu-aika on määritetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely I/2* kohdassa 2.1

Korjaus- ja kunnossapitomaalauksen pintakäsittelyn käyttökatavoitteet on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely I/2* kohdassa 2.1

7.1.1 Valmistusta, asennusta ja pintakäsittelyä koskevat yleiset laatuvaatimukset

7.1.1.1 Laadunhallinta

Laadunhallinnan keinoja ovat

- laadun suunnittelu
- laadun ohjaus
- laadun varmistus
- laadun parantaminen
- olosuhteiden varmistaminen sellaisiksi, että ne täyttävät vaatimukset
- oikea korjaussuunnittelu (mm. oikeat maalauksjärjestelmät).

Pääurakoitsijalla ja tärkeimmillä aliurakoitsijoilla, kuten metallirakenteiden valmistajalla ja asentajalla sekä pintakäsittelijällä on oltava toimiva laadunhallintajärjestelmä.

Pääurakoitsijalla on oltava Rakentamisen Laatu RALA ry:n Rakennusyritysten toimintatapojen hyväksyntä tai vastaava osoitus laadunhallinnan tasosta, esimerkiksi kyseistä toimintaa koskeva sertifikaatti sekä työn vaikeusasteeseen ja laajuuteen soveltuva luokitus siltojen korjaustöistä (K1 tai K2).

Uusittavien teräsosien valmistajan toiminnan laadunvalvonta ja teräsrakenteiden asentajan asennustoiminnan varmennus on oltava sovel-lusohjeen *NCCI T /4/* kohdan 3.1 mukainen.

7.1.1.2 Henkilöstön pätevyys

Urakoitsijalla pitää olla käytettävissään ammattitaitoinen ja laadunhallintajärjestelmän mukaisesti koulutettu henkilökunta, jonka pätevyys voidaan osoittaa kirjallisesti.

Terässiltojen asennusta johtavalla työnjohtajalla, pintakäsittelytyötä johtavalla työnjohtajalla ja kyseisiä töitä tekevillä työntekijöillä on oltava sovellusohjeen *NCCI T* kohdan 3.1 vaatimusten mukainen pätevyys, koulutus ja kokemus.

7.1.1.3 Työtilat ja -välineet

Urakoitsijalla pitää olla asianmukaiset työtilat ja kunnossa olevat työvälineet ja koneet. Siltapaikalla työskentelyolosuhteet mm. hitsaus- ja pintakäsittelytyötä varten on tarkoituksenmukaisia suoja käyttäen saatettava sellaisiksi, että vaadittu laatu-taso voidaan saavuttaa.

7.1.2 Materiaalit ja tarvikkeet

Pysyviin rakenteisiin ei saa käyttää aineita eikä tarvikkeita, joiden laatua ja vaatimustenmukaisuutta ei ole etukäteen todettu.

Tuotteiden valmistuksen on oltava hyväksyttävän laadunvalvonnan alaista ja laadunvalvontakokeiden tulosten tulee olla saatavissa.

Materiaalien ja tarvikkeiden laatuvaatimukset esitetään korjaussuunnitelmassa.

Rakenneterästen sekä muiden teräsmateriaalien ja metallien ominaisuudet on esitetty *SILKO-ohjeen 1.301 Metallit sillankorjausmateriaalina I/1* kohdissa 2.2-2.4. Rakenneterästen mekaaniset, fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet ja muut yleiset laatuvaatimukset käyvät ilmi sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdissa 3.4.1 ja 3.4.2 sekä standardin SFS-EN 1090-2 kohdissa 5.1-5.3.

Liitosaineiden ja -tarvikkeiden, kuten hitsauksen lisäaineiden, ruuvitarvikkeiden, vaarnojen ja muiden aineiden ja tarvikkeiden yleiset laatuvaatimukset käyvät ilmi *NCCI T /4/* kohdissa 3.4.4, 3.4.5 ja 3.4.6 sekä standardin SFS-EN 1090-2 kohdissa 5.5-5.7.

Levytuotteiden pinnan laadun arvostelussa voidaan pitää lähtökohtana standardin SFS-EN 10163-2 luokkaa A2 sekä muodon ja aaltomaisuuden osalta sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdan 3.4.2 ja standardin SFS-EN 1090-2 kohdan 5.3.3 vaatimuksia, ellei suunnitelmissa ole muuta vaadittu.

Materiaalien laatu todetaan 100 %:n varmuudella pitämällä valmistuserätunnuksista kirjaa vastaanoton yhteydessä. Osiin pitää valmistuksen yhteydessä merkitä maalikynällä valmistuserätunnus ja osan nimi sekä sijainti rakenneosassa materiaalin jäljitettävyyden varmistamiseksi. Merkintöjen tekeminen stanssaamalla on sallittu vain *NCCI T:n /4/* kohdassa 3.5.1 mainituissa tapauksissa. Standardin 1090-2 mukaisissa toteutusluokissa EXC3 ja EXC4 sekä toteutusluokassa EXC2 pääkannattimien osalta vaaditaan aina täydellistä osakohtaista jäljitettävyyttä, ellei tilaajan kanssa ole muuta sovittu.

7.1.3 Osien valmistaminen

Uusittavat metalliosat valmistetaan työpiirustusten mukaan konepajassa.

Rakenneosien mittatarkkuusvaatimukset ovat sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdan 3.10.2 mukaiset, ellei korjaussuunnitelmassa ole muuta vaadittu. Yleensä käytetään sovellusohjeen *NCCI T /4/* taulukon 5 luokan 2 mukaisia toleranssiarvoja. Suljettujen koteloiden tulee olla ilmatiiviitä.

Rakenneosien valmistukseen voi kuulua teräsosien paloittelua ja muotoilua, reikien tekemistä, hitsi-, ruuvi- ja kitkaliitoksia sekä osakokonaisuuksien kokoonpanoa. Näitä työvaiheita koskevia yleisiä laatuvaatimuksia on esitetty sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdissa 3.5.3-3.5.9 ja 3.6-3.7.

Osat valmistetaan levystä työpiirustuksen mukaiseen muotoon yleensä polttoleikkaamalla. Osiin mahdollisesti tulevat reiät tehdään poraamalla. Erikoistapauksissa reikiä voidaan tehdä myös lävistämällä tai polttoleikkaamalla. Osat viimeistellään sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdan 3.5.3 mukaan. Osien kokoonpano toteutetaan valmistussuunnitelman mukaisessa työjärjestyksessä siten, että rakenneosat täyttävät mitoiltaan, muodoltaan ja muilta teknisiltä ominaisuuksiltaan suunnitelmissa asetetut vaatimukset.

Hitsaus on tehtävä menetelmäkokeisiin perustuvien hitsausohjeiden mukaisesti.

Valmiit rakenneosat viimeistellään suunnitelmien mukaiseen terästyön laatuasteeseen standardin SFS-EN ISO 8501-3 mukaan. Maalattavien ja kuumasinkittävien sillan rakenneosien terästyön laatuastevaatimukset on annettu sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdassa 3.9.2.

Jos rakenneosia joudutaan siltoja korjattaessa uusimaan, niiden muotoilussa otetaan huomioon yleiset ohjeet pintakäsittelyn kannalta (SFS-EN ISO 12944-3).

Vanhojen teräsrakenteiden terästyön laatuaste ei yleensä vastaa nykyisiä vaatimuksia (SFS-EN ISO 8501-3). Terästyön laatuasteen parantamista korjaustöiden yhteydessä on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittelyt /2/* kohdassa 6.3. Terävät kulmat ja särmit pyöristetään hiomalla pyöristysäteellä $r = 2$ mm työkohtaisesti sovitussa laajuudessa. Pyöristettävien kulmien määrät tulee esittää pintakäsittelyn korjaussuunnitelmassa.

Maalattavan pinnan puhdistuksen esikäsitteilyvaatimus ja pinnan karheusvaatimus on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 6.4 Pinnan esikäsitteilyt.

7.1.4 Asentaminen

Rakenneosien asentaminen siltakohteessa tehdään korjaussuunnitelmaan sisältyvän asennustapaehdotuksen ja/tai korjausurakoitsijan toimesta laaditun asennussuunnitelman mukaan.

Kokoonpanojen ja asennettujen teräsrakenteiden muoto- ja mittatarkkuusvaatimusten on oltava sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohtien 3.10.3 ja 3.10.4 mukaiset, ellei korjaussuunnitelmassa ole muuta vaadittu. Yleensä käytetään sovellusohjeen *NCCI T /4/* taulukon 6 luokan 2 mukaisia toleranssiarvoja.

Siltojen korjaustyöhön liittyvät asennustyön vaiheet ovat pääkohdittain lueteltuna

- rakenteen väliaikaiset tuennat
- purkutyöt
- asennettavien osien kuljetukset, siirrot ja nostot
- asennusliitosten tekeminen
- viimeistelytyöt
- pintakäsittelyt.

Asennusosien kuljetuksissa, nostoissa ja siirroissa kiinnitetään huomiota tuenta- ja nostokohtiin, jotka suojataan siten, että vaurioita kuten taipumia, kolhuja ja naarmuja ei pääse syntymään.

Osien paikoilleen asemoinnin ja väliaikaisen tuennan jälkeen varmistetaan mittauksin, että osien asema ja osakokonaisuuksien muoto sekä pysty- että vaakatasossa on vaatimusten mukainen.

Asennusliitokset tehdään urakoitsijan laatimien teknisten työsuunnitelmien (hitsaus-, kitka- tai ruuviliitossuunnitelmien) mukaan.

Hitsaus asennuspaikalla tehdään yleensä joko MAG- tai puikkohitsauksena menetelmäkokeisiin perustuvien hitsausohjeiden mukaisesti. Hitsausjärjestys on valittava siten, että rakenteisiin syntyvät haitalliset jännitykset ja muodonmuutokset jäävät mahdollisimman pieniksi. Väärin valittu hitsausjärjestys voi ääritapauksessa aiheuttaa halkeamia hitseihin. Muita hitsiliitosten onnistumisen kannalta tärkeitä asioita ovat mm.

- työolojen järjestäminen siten, että tuuli ja sade eivät pääse vaikuttamaan hitsauskohtaan
- hitsauslisäaineiden hallittu säilytys ja kuivaaminen
- sopivien hitsausparametrien valinta
- hitsirailojen puhtaus ja muotoilu
- hitsareiden pätevyys
- huolletut ja kalibroidut/validoitut laitteet.

Hitsausliitosten laatuvaatimukset ja hitsausohjeet on esitetty sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdassa 3.6 ja standardin SFS-EN 1090-2 kohdassa 7.

Ruuvi- ja kitkaliitokset on tehtävä sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdassa 3.7 ja standardin SFS-EN 1090-2 kohdassa 8 esitettyjen laatuvaatimusten mukaisesti.

Ruuvi- ja kitkaliitosten onnistumisen ja kestävyyskannalta tärkeitä asioita ovat

- vastakkain tulevien pintojen puhtaus ja yhteensopivuus
- ruuvien oikea kiristysjärjestys ja oikea lopullinen kireys
- saumojen tiivistys viimeistelyvaiheessa.

Kitkaliitosten kitkapinnat käsitellään korjaussuunnitelmien mukaisesti. Mikäli kitkapinnat maalataan, maalaus on tehtävä välittömästi suihkupuhdistuksen jälkeen.

Asennusliitokset viimeistellään vaaditun laatuasteen edellyttämällä tavalla standardin SFS-EN ISO 8501-3 mukaan.

7.1.5 Pintakäsittely

Teräsrakenteiden pintakäsittelyä koskevat yleiset laatuvaatimukset on esitetty sovellusohjeen *NCCI T /4/* kohdassa 3.9, standardin SFS-EN 1090-2 kohdassa 10 + liite F ja *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 2.

Osat pintakäsitellään korjaussuunnitelman ja valmistajan laatiman pintakäsittelysuunnitelman mukaan. Pintakäsittelyn onnistuminen ja suunnitellun kestoajan saavuttaminen edellyttävät, että

- olosuhteet pintakäsittelylle ovat sopivat
- esikäsittelyn laatuaste on vaatimuksen mukainen
- pintakäsittelyaineet ovat laadukkaita ja tuoreita
- eri kerrosten päällemaalausväliajat ovat riittävät
- kokonaiskalvonpaksuus on suunnitelmien mukainen. Maalikalvon keskimääräinen kokonaispaksuus saa olla enintään 2-kertainen nimelliskalvon paksuuteen verrattuna.

Asennuskohteen pintakäsittelytyöt tehdään korjaussuunnitelman ja urakoitsijan laatiman pintakäsittelysuunnitelman mukaan. Asennuskohteessa työskenneltäessä on otettava huomioon, että sää- ja työolot vaihtelevat ja maalattavat pinnat ovat usein epäpuhtaita.

7.1.6 Telineet, suojaus ja jätteen talteenotto

Korjattavan kohteen ja käsiteltävän pinnan luoksepäästävyys on tärkeää. Siksi korjaustöissä ja niihin liittyvissä maalaustöissä olisi yleensä suositeltavaa käyttää telineitä. Telineiden muoto ja tyyppi valitaan työkohteen mukaan. Ratasilloissa telineen rakenteeseen vaikuttaa radan sähköistys ja junaliikenteestä aiheutuvat rajoitukset. Siltojen korjaus- ja maalaustöihin sopivia telinetyyppejä on esitelty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 6.2

Tarvittaessa vesistöisilloissa telineet rakennetaan lautan tai ponttonin varaan niin, että työskentely voi jokaisessa korjattavassa ja maalattavassa kohdassa tapahtua riittävän läheltä.

Telineet on tarkastettava ennen käyttöönottoa ja tarkastuksia tehdään myös käytön aikana. Telineistä laaditaan telinekortti, joista käy ilmi telineen sallitut kuormat ja siihen merkitään telineen tarkastukset.

Leikkauksesta, hionnasta ja hitsauksesta aiheutuvien kipinäsuihkujen, puhallusmateriaalin ja maaliumun leviäminen ympäristöön ja ajoneuvojen

päälle voidaan estää telineisiin kiinnitettävillä suo-
jilla. Jätteet voidaan kerätä jatkokäsittelyä varten
työkohteen alapuolisilta tasoilta. Korjaustyössä
syntyneet kaikki jätteet kerätään talteen. Suih-
kupuhdistusjäte kerätään talteen *SILKO-ohjeen*
1.351 Pintakäsittely /2/ kohdan 6.2.1 mukaisesti.

Ilmasto-olosuhteet ovat maassamme epävakaut
ja hyvä maalauskausi on lyhyt. Siksi vähänkin
suuremmissa hankkeissa on syytä harkita siir-
rettävän suojakatoksen tai peitteiden käyttöä.
Suojakatoksen, lämminilmapuhaltimien ja ilman-
kuivaajien avulla saadaan työskentelyolot huon-
nollakin säällä vaatimusten mukaisiksi. Lisäksi on
huomattava, että paremmat työskentelyolot johta-
vat parempaan laatuun, nopeampaan valmistumi-
seen ja alempiin kustannuksiin.

7.2 Hitsauskorjaus

Hitsauskorjausta voidaan käyttää syöpymis-
vaurioiden, törmäysvaurioiden repeämien, halkea-
mien ja säröjen korjaamisen yhteydessä.

Mikäli teräsrakenteen pinnan ruostuminen on
edennyt syöpymäksi, jolla on vaikutusta raken-
teen kantavuuteen, teräsrakenteelle on tehtävä
rakenteellinen korjaus. Pelkkä pintakäsittelyn kor-
jaaminen ei ole yleensä riittävä korjausmenetelmä
syöpymisvaurioissa. Syöpymisvaurioista on ker-
rottu tarkemmin kohdassa 3.1.

Mikäli teräsrakenteen pinnan ruostuminen on
edennyt syöpymäksi, mutta siitä ei ole haittaa
teräsrakenteen toiminnalle, syöpymä voidaan kor-
jata pinnan tasauksella ja korjaamalla pintakäsit-
tely syöpymän kohdalta. Mikäli syöpymän korjaus
tehdään pelkästään pintojen tasauksena, korjaus-
suunnittelijan on tarkistettava korjaustoimenpiteen
riittävyys rakenneosakohtaisesti. Pintojen tasaus-
ta on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittelyt*
/2/ kohdassa 6.5.2.

Kaikissa syöpymien korjaustavoissa on ensin
selvitettävä syöpymän syy (esim. väärin sijoitettu
vedenpoistoputki, vuotava liikuntasaumalaite,
huono rakenteen muotoilu jne.) ja pyrittävä
poistamaan tai korjaamaan syöpymän aiheuttaja.
Törmäysvaurioiden korjauksen yhteydessä on
pyrittävä estämään törmäykset rakenneosaan
jatkossa törmäyssuojarakenteiden avulla. Särö-
jen korjaamisen yhteydessä rakennetta on
pyrittävä muuttamaan tai muotoilemaan siten, että
väsytyrasitus pienenee.

Pienet syöpymisvauriot, törmäyksissä syntyneet
pienet repeämät, halkeamat ja säröt voidaan kor-
jata hitsaamalla vaurio kiinni.

Syöpymisvauriot ovat yleensä niin laajoja, että
syöpyneen kohdan korjaaminen ei onnistu pel-
kästään hitsaamalla syöpynyt kohta umpeen.

Yleensä syöpyneestä kohdasta poistetaan teräs-
rakennetta vauriottomaan teräkseen saakka ja
se korvataan uudella teräsrakenteen osalla. Laa-
jan syöpymän korjaaminen voidaan tehdä myös
hitsaamalla syöpymän päälle teräslevy- tai profiili,
jolloin syöpynyttä kohtaa ei tarvitse välttämättä
poistaa rakenteesta.

Törmäysvauriossa, joissa rakenneosaan on syn-
tynyt repeämiä, yleisin korjaustapa on hitsauskor-
jaus. Hitsauskorjaus voidaan joutua tekemään
myös törmäysvaurioissa, jos vaurioitunutta raken-
neosaa ei voida vaihtaa tai oikaista.

Törmäysvaurioissa, joissa rakenteeseen on syn-
tynyt suuria ja jyrkkäpiirteisiä muodonmuutoksia
sekä repeämiä, vaurioitunutta rakennetta voidaan
joutua poistamaan osittain ja korvaamaan pois-
tettu osa uudella rakenteella. Myös aikataululliset
syyt voivat johtaa korjattavan rakenneosan vaihta-
miseen kokonaan.

Hitsauskorjauksen päätyövaiheet ovat:

- vanhan teräksen hitsattavuuden selvitys
- hitsaussuunnitelman teko
- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen
ympäriille
- pintakäsittelyn poisto vaurion (syöpymä, repeä-
mä, halkeama) reuna-alueilta
- vaurion laajuuden, korjattavan alueen ja kor-
vaavan osan mittojen määrittäminen, ellei jo
korjaussuunnitelmassa ole annettu korjattavan
alueen tarkkoja mittoja
- korvaavan teräsoosan valmistaminen konepaja-
työnä
- rakenteen tunkkaus ja työnaikainen tuenta
- vaurioituneen teräsrakenteen osan poistami-
nen tarvittaessa
- leikattujen pintojen työstö ja railojen teko
hitsausta varten
- törmäyksessä vääntyneen teräsrakenteen oi-
kaisu repeämän läheisyydessä esim. käsityö-

- välineillä sisältäen mahdollisen lämmittämisen
- repeämän reunojen työstö ja railojen teko hitsausta varten
- korvaavan teräsrakenteen osan paikoilleen hitsaus sisältäen mm. mahdollisen hitsattavan rakenteen esilämmityksen
- hitsien viimeistely
- hitsien tarkastukset
- työnaikaisen tuennan ja tunkkauksen purkaminen
- pintakäsittävän kohdan esikäsitteily
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus
- suojahuputuksen purkaminen

Jo suunnitteluvaiheessa on selvitettävä korjattavan rakenteen teräslaadun hitsattavuus. Teräksen hitsattavuus on selvitettävä etenkin, kun rakenteessa ei ole vanhoja hitsejä ja niitatuissa rakenteissa. Valantateräsestä tehtyjä rakenteita ei pääsääntöisesti voi hitsata. Teräksen hitsattavuus selvitetään vanhoista suunnitelma- ja rakennusasiakirjoista. Mikäli hitsattavuutta ei voi luotettavasti selvittää asiakirjoista, teräkselle tehdään näytepalasta laboratoriotutkimus hitsattavuuden selvittämiseksi. Näytteenottoa ja testausta on käsitelty tarkemmin kohdassa 4.1.2.9.

Korjauksen alkuvaiheessa pintakäsittely poistetaan vaurion reuna-alueita ehjään teräkseen saakka, jotta korjattavan alueen laajuus ja korvaavan osan tarkat mitat voidaan määrittää tarkasti. Korjattavan alueen määrittämisessä voidaan käyttää apuna NDT-tarkastuksia. Korjattava alue on voitu määrittellä tarkasti erikoistarkastuksen perusteella jo korjaussuunnitelmissa, mutta korjattavan alueen laajuus on hyvä selvittää myös paikan päällä ennen varsinaiseen korjaustyöhön ryhtymistä.

Edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen valmistetaan korvaava teräsrakenteen osa määritettyjen mittojen mukaisesti konepajatyönä.

Rakennetta joudutaan yleensä tunkkaamaan ja tukemaan työnaikaisesti, jotta korjattava rakenneosa saadaan mahdollisimman jännityksettömäksi. Hitsausliitosten tekeminen teräsrakenteeseen, jossa on jännityksiä, tulee olla tarkoin suunniteltua. Tunkkaaminen ja työnaikainen tuenta tehdään asennussuunnitelmaan sisältyvien tunkkaus- ja tuentasuunnitelmien mukaisesti. Korjattavan kohdan ympärille joudutaan yleensä rakentamaan suojahuputus hitsaus- ja pintakäsittelytöiden laadunvarmistamiseksi.

Vaurioituneen kohdan poistaminen voidaan tehdä laikkaleikkaamalla, sahaamalla, hiilikaaritalltauksella tai polttoleikkaamalla. Leikkattuihin pintoihin työstetään railoviisteet ja leikatut pinnat viimeistellään hiomalla hitsausta varten. Leikkauksesta, hionnasta ja hitsauksesta aiheutuvien kipinäsuihkujen leviäminen ympäristöön, liikennevälineiden päälle ja siltarakenteen ehyille maalipinnoille estetään suojauskein.

Törmäyksestä aiheutuneen repeämän hitsauskorjauksen yhteydessä joudutaan yleensä oikaisemaan revenneen teräsosan reunoja. Oikaiseminen voidaan tehdä ohutseinämäisissä rakenteissa kylmänä käsityövälineillä tai paksummissa rakenteissa tunkeilla tms. lämmitystä apuna käyttäen. Lämmittämisen käyttämisestä oikaisemissa on kerrottu tarkemmin kohdassa 7.4. Repeämän reunoihin työstetään railoviisteet ja hitsauspinnat viimeistellään hiomalla hitsausta varten.

Poistettu teräsrakenteen osa korvataan yleensä vastaavan paksuisella teräslevyn palalla tai vastaavalla teräsprofiilin palalla. Teräslaatuina käytetään lujuusluokaltaan vastaavaa tai korkeampi lujuuksista terästä kuin korjattava teräsrakenne. Syöpymisvaurioissa syöpynyttä kohtaa ei välttämättä tarvitse poistaa rakenteesta. Syöpynyt kohta voidaan tällöin korjata hitsaamalla teräslevy tai -profiili syöpymän päälle, mutta hitsaus täytyy tehdä vauriottomaan teräkseen. Tällöin on kiinnitettävä erityistä huomiota korroosionestoon. Yleensä esim. uuma- ja laippalevyjen syöpymävaurioissa levyt hitsataan syöpyneen levyn molemmille puolille, jolloin syöpynyt kohta jää umpinaiseen tilaan, jossa ruostuminen ei enää etene. Konepajalla valmistettu vaurion korvaava teräspala hitsataan paikoilleen tavallisimmin MAG- tai puikko-hitsauksena menetelmäkokeisiin perustuvien hitsausohjeiden mukaisesti. Repeämät ja halkeamat hitsataan umpeen tavallisimmin myös MAG- tai puikkohitsauksena menetelmäkokeisiin perustuvien hitsausohjeiden mukaisesti.

Hitsattavan teräsrakenteen ollessa ainepaksuudeltaan suuri joudutaan hitsattava kohta yleensä esilämmittämään. Kylmissä olosuhteissa (alle +5 °C) hitsattavan rakenteen esilämmitys on tehtävä aina. Esilämmitys on tärkeää erityisesti kantavien rakenteiden päittäisliitoksissa alhaisemminkin hiiliekivalentin arvoilla. Lämmityksen tulee vastata menetelmäkokeen mukaista lämpötilaa. Hitsattavien terästen lämpötila pitää olla vähintään +15 °C. Myös kosteuden täytyy poistua teräksen pinnalta hitsauskohdista lämmityksen

yhteydessä. Etenkin kosteissa olosuhteissa hitsirailojen kuivaus juuri ennen hitsausta on tärkeä toimenpide. Hitsattavan rakenteen lämpötilaa tulee mitata koko hitsaustyön ajan. Paksujen (yli 50 mm) jatkoslevyjen ja päittäisliitoksien lämmittäminen on suositeltavaa tehdä lämpövastuksella ja ohuimmat ainepaksuudet voidaan lämmittää nestekaasulämmityksellä.

Nykyisin kenttäolosuhteissakin käytetään hyvin yleisesti kaasukaarihitsausta (MAG-hitsaus). Tällä menetelmällä hitsattaessa on tärkeää suojata hitsauskohta tuulelta huolellisesti, jotta kaasusuojaus pysyy hitsisulan ympärillä. Jos kaasusuojaus ei ole hyvä, hitsisaumaan syntyy mm. huokosia.

Hitsin aloitus- ja lopetuspalojen käyttö on tarpeen kaikilla hitsausmenetelmillä esim. sillan laippalevyjen päittäisliitoksissa, kun halutaan saada mahdollisimman virheetön hitsi reunaan saakka. Aloitus- ja lopetuspalat estävät myös hitsin aiheuttamia muodonmuutoksia (vetelyjä) perusaineessa. Aloitus- ja lopetuspalojen poiston ja hionnan jälkeen aloitus- ja lopetuspalojen kiinnityskohdille ja varsinaisen hitsin päihin tehdään MT-tarkastus 100 % laajuudessa.

Hitsisauman lämpösuojaus tulee tehdä erityisesti paksuja teräksiä ja vanhoja teräslaatuja hitsatesa. Hitsisauman lämpösuojaus voidaan toteuttaa esim. asentamalla mineraalivillakaista sauman

päälle. Hidas jäähtyminen on tärkeää ja teräksen karkeneminen voi olla ajallisesti muutamasta sekunnista kiinni. Koehitsaus, jossa lämpösuojaus saadaan toteutettua, voi onnistua hyvin, mutta rakenteessa jossa lämpösuojaus jää puutteelliseksi voidaan saada aikaiseksi haurashitsi.

Hitsausluokat on määritetty korjaussuunnitelmasa.

Hitsit viimeistellään hiomalla ja hitseille tehdään NDT-tarkastukset korjaussuunnitelmassa määritetyssä laajuudessa. NDT-tarkastuksien jälkeen työnaikaiset tuennat ja tunkkaukset puretaan.

Korjatun kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsittelyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuputus puretaan.

7.3 Rakenneosan vaihtaminen

Laajoissa syöpmisvaurioissa, joissa hitsauskorjausta ei ole enää järkevä tehdä, voidaan tehdä syöpyneen rakenneosan vaihtaminen uuteen rakenneosaan.

Törmäysvaurioissa, joissa rakenteeseen on syntynyt suuria ja jyrkkäpiirteisiä muodonmuutoksia sekä repeämiä, vaurioitunut rakenneosa voidaan korjata vaihtamalla tilalle uusi rakenneosa. Rakenneosan vaihtamista voidaan käyttää myös lievempien törmäysvaurioiden korjaamisessa, mikäli rakenneosan oikaiseminen ei ole mahdollista.

Ennen korjaustavan päättämistä on selvitettävä rakenneosan vaihdettavuus. Yleensä rakenneosan vaihdettavuus ja korjaustapa on selvitetty jo korjaussuunnittelun yhteydessä.

Tyypillisimpiä vaihtamalla korjattavia rakenneosia ovat:

- ristikkosiltojen portaalien yläpoikkisiteet

- muut ajoradan yläpuolisten kannattimien poikkipalkit ja siteet
 - ristikkokannattimien diagonaali- ja vertikaalisauvat
 - vaakaristikoiden diagonaali- ja vertikaalisauvat
 - kansilaatan alapuoliset poikkipalkit ja -ristikot
 - kansilaatan alapuoliset yksittäiset pituussuuntaiset palkit ja ristikkokannattimet silloissa, jotka eivät ole liittorakenteisia
 - ratasiltojen pituussuuntaiset sekundääripalkit
 - radan yläpuolisen vaakaristikon siirtäminen ylemmäs ristikkorakenteisessa ratasillassa sähköistämisen takia
 - vetotangot ja köydet
 - varusteet ja laitteet
- ja suurimpana toimenpiteenä koko teräksisen päällysrakenteen vaihtaminen. Ratasilloissa voidaan myös tukikerrokseton päällysrakenne muuttaa tukikerrokselliseksi päällysrakenteeksi, jolloin rakenteen toimintatapa myös muuttuu.

Rakenneosaa vaihtamalla tehtävän vaurion korjauksen päätyövaiheet ovat:

- vanhan teräksen hitsattavuuden selvitys tarvittaessa
- hitsaussuunnitelman teko tarvittaessa
- vaihdettavien rakenneosien mittojen varmistaminen paikan päällä
- korvaavan teräsosan valmistaminen konepajatyönä
- rakenteen tunkkaus ja työnaikainen tuenta
- vaihdettavan rakenneosan poistaminen
- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille, mikäli rakenneosan asentaminen tehdään hitsaamalla
- mahdollisesti leikattujen pintojen työstö ja rajojen teko hitsausta varten hitsiliitoksia käytettäessä
- reikien poraaminen ja liitospintojen käsittely, jos vaihdettavan osan liitokset tehdään kitka- tai ruuviliitoksena
- uuden rakenneosan paikoilleen asentaminen
- hitsien teko, viimeistely ja tarkastukset
- ruuviliitosten teko, kiristäminen, tarkastukset ja lukitukset
- työnaikaisen tuennan ja tunkkauksen purkamisen
- suojahuputuksen teko pintakäsittelyä varten, ellei jo hitsausta varten ole tehty suojahuputusta
- pintakäsitteltävän kohdan esikäsittely
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus
- suojahuputuksen purkaminen

Jo suunnitteluvaiheessa on selvitettävä korjattavan rakenteen teräslaadun hitsattavuus. Sen perusteella määritetään voidaanko vaihdettavan osan kiinnitykset tehdä hitsiliitoksina vai joudutaanko käyttämään ruuviliitoksia.

Korjaustyön alkuvaiheessa vaihdettavan rakenteen mitat tarkistetaan paikan päällä. Paikan päällä mitattuja rakenneosan mittoja verrataan korjaussuunnitelmassa esitettyihin mittoihin ja tarvittaessa rakenneosan mitat päivitetään konepajatuotantoa varten tehtyihin suunnitelmiin. Mikäli korjaustyön aikataulu on tiukka, mittaukset tehdään ennen korjaustöihin ryhtymistä ja suunnittelija päivittää vielä suunnitelmat tarkemmittojen perusteella.

Edellä mainittujen toimenpiteiden jälkeen valmistetaan uusi rakenneosa määritettyjen mittojen mukaisesti konepajatyönä.

Rakennetta joudutaan yleensä tunkkaamaan ja tukemaan työnaikaisesti, jotta vaihdettava rakenneosa saadaan mahdollisimman jännityksettömäksi. Tunkkaaminen ja työnaikainen tuenta tehdään asennussuunnitelman mukaisesti.

Vaihdettava rakenneosa voidaan poistaa laikka-leikkaamalla, sahaamalla, hiilikaaritalttauksella tai polttoleikkaamalla. Leikattuihin pintoihin työstetään railoviisteet ja leikatut pinnat viimeistellään hiomalla hitsausta varten.

Ruuviliitoksin kiinnitetyt rakenneosat poistetaan avaamalla mutterit. Mikäli ruuvit ja mutterit ovat ruostuneet kiinni, ruvin kannat ja mutterit voidaan poistaa myös leikkaamalla tai hiomalla. Niittiliitokset puretaan hiomalla niitin kanta teräspinnan tasoon, poraamalla tai polttoleikkaamalla niitin kanta irti. Polttoleikattaessa niitin kantaa pois, ei saa vahingoittaa perusainetta. Usein liitososat eivät irtoa toisistaan vaikka ruuvien ja niittien kannat on hiottu teräspintojen tasaan. Tällöin liitososien toisistaan irrottamiseksi voidaan käyttää ruvin ja niittien varsien pois lyömistä tuunaan avulla, ruvin ja niittien varsien pois poraamista, lämmittämistä ja liitososien välistä kiilausta. Tällaisen rakenneosan poistamista vääntämällä tai vetämällä tulee välttää, koska siitä voi aiheutua pysyviä muodonmuutoksia rakenteeseen jääviin liitososiin.

Ruuvi- ja niittiliitosten yhteydessä rakenneosan poistamisen jälkeen tarkistetaan rakenteeseen jäävien liitososien reikien reunojen syöpymättömyys ja reikien koon sopivuus ja muoto korjaussuunnitelmissa esitettyihin ruuvien halkaisijoiden kokoihin. Mikäli rakenteeseen jäävien liitososien reikien reunat ovat syöpyneet tai reiät ovat suurempia kuin korjaussuunnitelmassa on oletettu, ruuvien halkaisijoita voidaan suurentaa ja reikiä voidaan avartaa poraamalla. Tämän korjaustoimenpiteen soveltuvuus kohteeseen tulee varmistaa aina korjaussuunnittelijalta ennen kyseiseen työhön ryhtymistä. Reikien reunojen teräksen vauriottomuus tarkistetaan tarvittaessa NDT-tarkastuksin.

Mikäli uudet konepajalla valmistetut rakenneosat kiinnitetään hitsaamalla paikoilleen, käytetään tavallisimmin MAG- tai puikkohitsausta menetelmäkokeisiin perustuvien hitsausohjeiden mukaisesti. Hitsaustöistä on kerrottu tarkemmin kohdassa 7.2.

Hitsausluokat on määritetty korjaussuunnitelmasa.

Hitsit viimeistellään hiomalla ja hitseille tehdään NDT-tarkastukset korjaussuunnitelmassa määrityssä laajuudessa. NDT-tarkastuksien jälkeen työnaikaiset tuennat ja tunkkaukset puretaan.

Kuumaniittausliitoksia ei käytetä nykyään juuri-kaan liitoksien tekemisessä. Niittiliitokset korvataan soviteruuveilla tai kitkaruuviliitoksilla. Näiden ruuviliitoksien teossa noudatetaan kohdan 7.6.1 ohjeita.

Aikaisemmin hitsaamalla kiinnitetty rakenneosa voidaan vaihdon jälkeen kiinnittää myös ruuviliitoksin, mutta liittotyyppin vaihtaminen ja uusien ruuviliitoksien toteutus täytyy olla esitetty korjaussuunnitelmissa. Vanhoissa silloissa uuden osan liittäminen vaurioituneen tilalle tehdään pääsääntöisesti kitka- tai ruuviliitoksella, koska

vanhan teräksen hitsattavuus on yleensä huono. Ruuviliitoksien teossa noudatetaan kohdan 7.6.1 ohjeita.

Korjatun kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsittelyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suoja-huputus puretaan.

7.4 Oikaiseminen

Törmäysvaurio voidaan korjata oikaisemalla törmäyksessä vääntynyt rakenne. Törmäysvaurioista on kerrottu tarkemmin kohdassa 3.2.

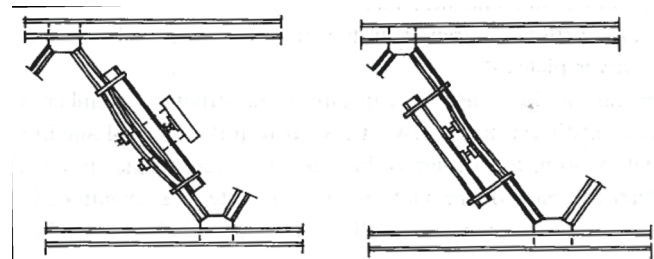
Jo korjaussuunnitteluvaiheessa on selvitettävä myös miten törmäyksiä rakenteeseen voidaan jatkossa vähentää tai estää kokonaan. Törmäyksiä ja niistä aiheutuvia vaurioita voidaan vähentää asettamalla näkyvämmät varoitusmerkinnät, suojaamalla rakenne kaiteella, asentamalla rakenteeseen törmäyssuojia tai korottamalla alikulkukorkeutta.

Oikaiseminen soveltuu loivien taipumien ja muodonmuutosten korjaamiseen taiputtamalla rakenne alkuperäiseen muotoon ja asentoon. Vääntynyttä rakennetta kuormitetaan muodonmuutokselle vastakkaisessa suunnassa niin suurella voimalla, että teräsrakenne taipuu takaisin oikeaan muotoonsa. Tämä korjaustapa aiheuttaa yleensä oikaistun teräksen myötölujuuden alenemista. Oikominen voidaan tehdä tapauksesta riippuen kylmänä tai esilämmitystä käyttäen. Oikomista ei ole suositeltavaa tehdä alle 0°C lämpötilassa. Suurin oikaisuvoima pitäisi pitää rakenteessa noin 15 minuutin ajan oikaisun viimeisessä vaiheessa. Yleensä oikaistaan ensin taivutusmuodonmuutokset ja sen jälkeen vääntömuodonmuutokset.

Jo korjaussuunnitteluvaiheessa selvitetään oikaistavan rakenteen teräslaatu ja se voidaan kyseistä teräslaataa lämpökäsitellä oikaisemisen yhteydessä. Kaikkia teräslaatuja ei saa läm-

pökäsitellä. Mm. termomekaanisesti valssatuista teräslaaduista (M-laadut) valmistettuja teräsrakenteita ei saa lämpökäsitellä oikaisun yhteydessä. Varsinkin niittiliitoksin valmistetun teräsrakenteen lämpökäsiteltävyys ja hitsattavuus on selvitettävä tutkimalla ennen vanhan sillan korjaamista, ellei asia selviä luotettavasti sillan asiakirjoista.

Vääntymän sijainti ja koko sekä teräksen ainepaksuus määrittelevät millaista kalustoa ja työvälineitä oikaisemissa käytetään. Esimerkiksi pienissä vääntymissä ja ohuiden teräslevyjen oikaisemisessa voidaan käyttää käsityökaluja, kuten erilaisia vääntimiä tai lyöntityökaluja yhdessä alasimien kanssa. Suuremmissa vääntymissä ja rakenneosissa käytetään hydraulisia tunkkeja, vinssejä, ketjutaljoja, viputaljoja, vanttiruuveja ja reikäsyilintereitä oikaisevan voiman tuottamiseen. Yleensä tunkit asennetaan rakenteessa taipuman kohdalle ja tunkkien vastavoima ankkuroidaan oikaistavan rakenteen suoralle osalle (kuva 84).



Kuva 84. Diagonaalisauvan oikaiseminen tunkkauksen avulla.

Lämmityksessä käytetään yleensä happi-asety-leeni polttimeita. Lämmittämisessä voidaan käyttää useita eri tapoja:

- pistelämmitys
- V-lämmitys
- suorakulmainen lämmitys
- viivalämmitys
- reunalämmitys

Pistelämmitys on käyttökelpoisin vaihtoehto pienille ja pyöreän mallisille lämmitysalueille. Suositellut lämmitettävän alueen halkaisijat pistelämmityksen yhteydessä ovat:

$$D = 3 * t + 10 \text{ mm ja}$$

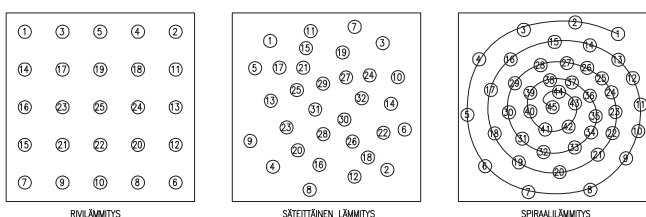
$$D \leq 25 \text{ mm tai}$$

$$D \leq 4 * t$$

joissa t on lämmittävän levyn ainepaksuus [mm]

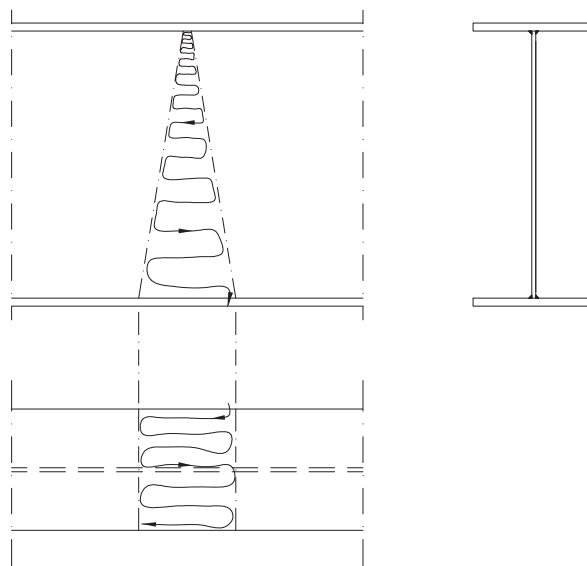
Teräsosan lämpötilan pitäisi olla 650 °C ja 700 °C välillä, mikäli lämmitystä käytetään oikaisun yhteydessä. Lämmitetyn teräsosan lämpötila ei saa ylittää 723 °C lämpötilaa, koska teräs alkaa austenitoitumaan tätä ylempässä lämpötilassa.

Pistelämmitystä käytetään useimmiten aaltomaisen muodonmuutoksien poistamisessa ja sitä voidaan käyttää rivilämmityksenä, säteittäisenä lämmityksenä ja spiraalilämmityksenä (kuva 85.) Riippumatta valitusta pistelämmitystavasta aloituspiste on 100 mm levyn reunasta, lämmittäminen täytyy aloittaa kunkin pisteen keskeltä ja samaa kohta ei pidä lämmittää toista kertaa.



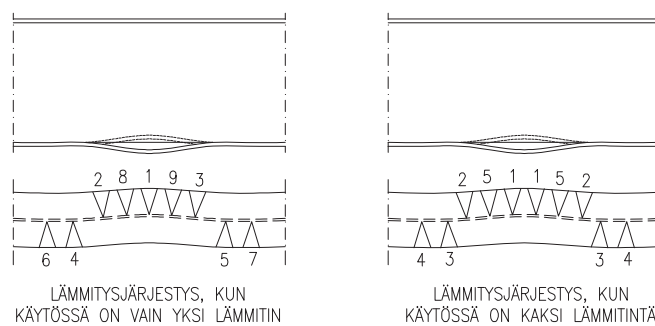
Kuva 85. Pistelämmityksen erilaisia toteutustapoja

V-lämmitystä käytetään useimmiten hitsattujen tai valssattujen teräsprofiilien pullistumien ja taipumien oikaisuun. V-lämmityksessä lämmittäminen aloitetaan V-muodon kärjestä. Lämmittämisen etenemissuunta on esitetty kuvassa 86. Lämmitys tehdään jatkuvana yhtäkestoisesti ilman lämmityksen pysäytys- ja aloituskohtia.



Kuva 86. V-lämmityksen periaate ja etenemissuunta I-palkissa.

V-lämmitystä voidaan käyttää myös esimerkiksi I-palkin alalaipan vaakasuuntaisten törmäyksestä aiheutuneiden vaakasuuntaisten muodonmuutosten oikaisemisessa. Esimerkki alalaipan lämmittämisjärjestyksestä on esitetty kuvassa 87.



Kuva 87. V-lämmittäminen ja sen järjestys alalaipan oikaisemiseksi I-palkissa.

Suorakaiteen muotoista lämmittämistä käytetään useimmiten korvaamaan V-lämmitystä.

Viivalämmitystä käytetään taivutettujen levyjen heikkousvyöhykkeiden korjauksessa. Myös uuman pullistuminen voidaan oikaista käyttämällä suoraviivaista lämmitystä pullistuman kuperalta puolelta. Yleensä pullistumien oikaisemisessa käytetään kuitenkin ns. "haravaa", joka muodostaa 3 liekkiä samanaikaisesti.

Reunalämmitys on käyttökelpoisin lämmitystapa hoikille ja ohutseinämaisille rakenneosille. Tässä lämmitystavassa reuna voidaan lämmittää koko palkin pituudelta.

Lämmittämällä oikaiseminen vaatii yleensä väliaikaisia tuentoja tai kuormituksen rajoittamista. Lämmittämällä oikaiseminen vaatii ammattitaitoisen ja kokeneen työhenkilöstön sekä työmenetelmään sopivan kaluston.

Oikaisemalla tehtävän vaurion korjauksen päätyövaiheet ovat:

- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille
- pintakäsittelyn poisto oikaistavasta kohdasta
- rakenteen vaurioiden tarkastaminen
- tunkkien tai muun ulkoisen oikaisevan voiman tuottajan asentaminen paikoilleen tukirakenteineen
- mahdollisen työnaikaisen tuennan tekeminen
- rakenteen mahdollinen lämmittäminen
- rakenteen oikaisu tunkkia tms. apuna käyttäen
- oikaistun rakenteen mittausta ja NDT-tarkastus
- mahdollisten repeämien ja säröjen korjaus
- työnaikaisen tuennan purkaminen
- korjattavan ja pintakäsitteltävän kohdan esikäsitteily
- korjatun kohdan pintakäsittely
- pintakäsittelyn laadunvarmistus
- huputuksen purkaminen

Oikaistavasta kohdasta on syytä poistaa pintakäsittely varsinkin, jos oikaisemisessa käytetään lämmittämistä. Pintakäsittely on hyvä poistaa vaikka oikaiseminen tehtäisiin kylmänä. Pintakäsittelyn poistamisen jälkeen tarkistetaan teräsrakenteen mahdolliset vauriot (säröt, repeämät, halkeamat) silmämääräisesti. Jo korjaussuunnittelun lähtötiedoksi tulee olla tehtynä vääntyneen rakenteen NDT-tarkastukset mahdollisten säröjen, repeämien ja halkeamien varalta.

7.5 Säröjen korjaus

Kaikissa säröjen korjaustavoissa on ensin selvítettävä säröjen syntymisen syy ja pyrittävä poistamaan se mikäli mahdollista, esimerkiksi rakennetta muuttamalla. Särövaurioista on kerrottu tarkemmin kohdassa 3.4.

7.5.1 Särön etenemisen pysäyttäminen poraamalla

Särön eteneminen voidaan pysäyttää poraamalla reikä särön pään etupuolelle. Tämän korjaustavan käyttämisen edellytyksenä on, että korjaussuunnitelmien laatimisen yhteydessä rakenteen kestävyys on laskelmin todettu riittäväksi. Korjaussuunnitelmassa tulee esittää myös porattavan reiän halkaisija.

Ulkoisen oikaisevan voiman tuottavat laitteet (tunkit tms.) asennetaan paikoilleen. Laitteiden voima ankkuroidaan yleensä oikaistavaan rakenteeseen kuva 84. Mikäli rakenteessa on säröjä yms. vaurioita ja/tai rakenne oikaistaan kylmänä ja on vaara, että oikaisun yhteydessä rakenteeseen syntyy säröjä, rakenne on tuettava työnaikaisesti ennen oikaisutöiden aloittamista.

Korjattavan kohdan huputus kannattaa tehdä ennen mahdollista lämmittämistä. Korjattavan kohdan huputus joudutaan tekemään joka tapauksessa ennen pintakäsittelyihin ryhtymistä.

Rakenteen oikaisun jälkeen mitataan rakenteen suoruus ja tehdään oikaistun rakenteen NDT-tarkastukset. Mikäli rakenteeseen on syntynyt säröjä, halkeamia tai repeämiä ne korjataan hitsaamalla kohdan 7.2 mukaisesti. Työnaikainen tuenta voidaan purkaa tämän jälkeen.

Korjattavan kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsitteilyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuputus puretaan.

Tätä korjaustapaa käytettäessä särö joudutaan avaamaan hiomalaikalla tai hiilikaaritaltauksella, jotta pintakäsittely saadaan tehtyä laadukkaasti myös särön kohdalle.

Särön poraamalla korjaamisen päätyövaiheet ovat:

- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille
- pintakäsittelyn poisto särön kohdalla
- särön pitoisuuden ja porauskohdan määrittäminen, ellei jo korjaussuunnitelmassa ole annettu korjattavan kohdan tarkkoja mittoja
- reiän poraaminen särön pään etupuolelle
- särön avaaminen laikalla tai hiilikaaritaltauksella

- reiän ja särön avauskohdan reunojen viimeistely jouheviksi
- särön poistumisen NDT-tarkastukset
- pintakäsitteltävän kohdan esikäsitteily
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus
- suojahuputuksen purkaminen

Korjauksen alkuvaiheessa pintakäsittely poistetaan särön kohdalta ja sen läheisyydestä, jotta korjattavan särön pituus voidaan määrittää tarkasti. Särön pituuden määrittämisessä käytetään apuna NDT-tarkastuksia. Korjattavan särön pituus on voitu määrittellä tarkasti erikoistarkastuksen perusteella jo korjaussuunnitelmissa, mutta korjattavan särön pituus tulee selvittää myös paikan päällä ennen varsinaiseen korjaustyöhön ryhtymistä. Särö on voinut edetä lisää erikoistarkastuksen jälkeen.

Rakennetta ei yleensä tarvitse tukea työnaikaisesti tätä korjaustapaa käytettäessä, koska korjattavaa rakennosaa ei heikennetä työaikana enempää kuin sen kantavuus on lopullisessa rakenteessa. Työnaikainen tuenta on kuitenkin tehtävä, mikäli se on esitetty korjaussuunnitelmassa. Korjattavan kohdan ympärille joudutaan yleensä rakentamaan suojahuputus pintakäsittelytöiden laadunvarmistamiseksi.

Särön pään etupuolelle (särön etenemissuunnassa) porataan korjaussuunnitelmissa esitetyn halkaisijan suuruinen reikä. Reiän halkaisijaksi riittää yleensä noin 20 mm. Reikä porataan korjaussuunnitelmissa esitettyyn paikkaan. Mikäli särö on edennyt erikoistarkastuksen jälkeen ja porattavan reiän paikkaa joudutaan muuttamaan korjaussuunnitelmissa esitetystä paikasta, korjaussuunnittelijan on tarkistettava laskemalla rakenteen kestävyys ja tämän korjaustavan soveltuvuus muuttuneelle tilanteelle.

Särö avataan leikkaus- tai hiomalalla tai hiilikaaritalttauksella porattuun reikään saakka. Avauksessa tulee varoa ylileikkaamista siten, että poratun reiän toiseen reunaan tulee myös leikkausjälkiä. Leikatut pinnat viimeistellään hiomalla jouheviksi.

Teräsrakenteen säröttömyys korjatun särön etupuolelta tarkistetaan NDT-tarkastuksella.

Korjatun kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään

myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsitteilyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuputus puretaan.

7.5.2 Särön korjaaminen hitsaamalla

Tätä korjaustapaa käytettäessä viat avataan täydellisesti hioma- tai leikkauslaikalla tai hiilikaaritalttauksella, minkä jälkeen särön umpeen hitsaus tehdään suunnitelman mukaan.

Särön hitsauskorjauksen päätyövaiheet ovat:

- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille
- pintakäsittelyn poisto särön kohdalta
- särön pituuden ja korjattavan alueen määrittäminen, ellei jo korjaussuunnitelmassa ole annettu korjattavan kohdan tarkkoja mittoja
- rakenteen mahdollinen tunkkaus ja työnaikainen tuenta
- reiän poraaminen särön pään etupuolelle
- särön avaaminen hiomalalla tai hiilikaaritalttauksella
- leikattujen pintojen viimeistely hitsausta varten ja mahdollisen juurituen asennus
- avatun särön umpeen hitsaus sisältäen mm. mahdollisen hitsattavan rakenteen esilämmityksen
- hitsin viimeistely ja muotoilu jouheviksi
- hitsin ja särön poistumisen NDT-tarkastukset
- työnaikaisen tuennan ja tunkkauksen purkaminen
- pintakäsitteltävän kohdan esikäsitteily
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus
- suojahuputuksen purkaminen

Korjauksen alkuvaiheessa pintakäsittely poistetaan särön kohdalta ja sen läheisyydestä, jotta korjattavan särön pituus voidaan määrittää tarkasti. Särön pituuden määrittämisessä käytetään apuna NDT-tarkastuksia. Korjattavan särön pituus on voitu määrittellä tarkasti erikoistarkastuksen perusteella jo korjaussuunnitelmissa, mutta korjattavan särön pituus tulee selvittää myös paikan päällä ennen varsinaiseen korjaustyöhön ryhtymistä. Särö on voinut edetä lisää erikoistarkastuksen jälkeen.

Rakennetta joudutaan yleensä tunkkaamaan ja tukemaan työnaikaisesti, jotta korjattava rakenne-osa saadaan mahdollisimman jännityksettömäksi. Tunkkaaminen ja työnaikainen tuenta tehdään asennussuunnitelmaan sisältyvien tunkkaus- ja tuentasuunnitelmien mukaisesti. Korjattavan kohdan ympärille joudutaan yleensä rakentamaan suojahuputus hitsaus- ja pintakäsittelytöiden laadunvarmistamiseksi.

Särön pään etupuolelle (särön etenemissuunnassa) porataan korjaussuunnitelmissa esitetyn halkaisijan suuruinen reikä. Reikä porataan yleensä noin 5 mm särön pään etupuolelle. Reiän halkaisija esitetään korjaussuunnitelmassa. Reiän halkaisijaksi riittää yleensä noin 10 mm. Reikä porataan korjaussuunnitelmissa esitettyyn paikkaan tai NDT-tarkastuksien perusteella päivitettyyn paikkaan.

Särö avataan hioma- tai leikkauslaikalla tai hiilikaaritalttauksella porattuun reikään saakka. Säröä aukaistaessa on varottava vioittamasta poratun reiän vastapuoleista pintaa. Leikatut pinnat viimeistellään ja tehdään mahdolliset railoviisteet hiomalla hitsausta varten. Pääsääntöisesti rakenteeseen jäävää hitsin juuritukea ei tule käyttää, ellei sitä ole esitetty korjaussuunnitelmassa käytettäväksi. Hitsatun kohdan väsymisluokka yleensä laskee, mikäli hitsisaumassa käytetään juuritukea. Mikäli juuritukea kuitenkin käytetään vaikka sitä ei ole korjaussuunnitelmassa esitetty, juurituki tulee poistaa ja aukaista hitsi juurituen takaa ja hitsata hitsin pohja uudelleen.

Avattu särö hitsataan täyteen MAG- tai puikko-hitsauksena menetelmäkokeisiin perustuvien hitsausohjeiden mukaisesti. Hitsauksen suorittamisesta on kerrottu tarkemmin kohdassa 7.2.

Hitsausluokat on määritetty korjaussuunnitelmasa.

Hitsit viimeistellään jouheviksi hiomalla ja hitseille tehdään NDT-tarkastukset korjaussuunnitelmassa määritetyssä laajuudessa. NDT-tarkastuksessa tarkastetaan myös teräsrakenteen säröttömyys korjatun särön etupuolelta. NDT-tarkastuksien jälkeen työnaikaiset tuennat ja tunkkaukset puretaan.

Korjatun kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsittelyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuputus puretaan.

7.5.3 Hionta ja hitsien uudelleen muotoilu

Pienet teräsrakenteen pintasäröt voidaan korjata pelkästään hiomalla särö pois ja muotoilemalla kyseinen kohta hiomalla jouheaksi. Myös hitsiliitoksien pienet säröt voidaan korjata samalla tavalla.

Särön hiomalla korjaamisen päätyövaiheet ovat:

- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille
- pintakäsittelyn poisto särön kohdalta
- särön pituuden tarkistaminen
- särön pois hiominen hiomalaikalla
- hiontakohdan reunojen viimeistely jouheviksi tai hitsin muotoilu jouhevaksi hiomalla
- NDT-tarkastukset
- pintakäsitteltävän kohdan esikäsittely
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus
- suojahuputuksen purkaminen

Korjauksen alkuvaiheessa pintakäsittely poistetaan särön kohdalta ja sen läheisyydestä, jotta hiottavan särön pituus voidaan määrittää tarkasti. Särön pituuden määrittämisessä käytetään apuna NDT-tarkastuksia. Korjattavan särön pituus on voitu määrittellä tarkasti erikoistarkastuksen perusteella jo korjaussuunnitelmissa, mutta korjattavan särön pituus tulee selvittää myös paikan päällä ennen varsinaiseen korjaustyöhön ryhtymistä. Särö on voinut edetä lisää erikoistarkastuksen jälkeen.

Rakennetta ei yleensä tarvitse tukea työnaikaisesti tätä korjaustapaa käytettäessä, koska korjattavaa rakenneosaa ei heikennetä työaikana enempää kuin sen kantavuus on lopullisessa rakenteessa. Työnaikainen tuenta on kuitenkin tehtävä, mikäli se on esitetty korjaussuunnitelmassa. Korjattavan kohdan ympärille joudutaan yleensä rakentamaan suojahuputus pintakäsittelytöiden laadunvarmistamiseksi.

Teräsrakenteessa oleva särö hiotaan pois hiomalaikalla. Hiottun kohdan reunat muotoillaan jouheviksi ja kaikki ulkokulmat pyöristetään hiomalla pyörityssäteellä $r = 2 \text{ mm}$.

Myös hitseissä olevat pienet säröt voidaan poistaa hiomalla. Mikäli sillassa on samanlaisia rakenneosia ja niissä samanlaisia hitsiliitoksia, kuin korjattavassa kohdassa, kaikki kyseiset hitsit on syytä tarkistaa säröjen varalta. Kyseiset hitsit on hyvä muotoilla hiomalla jouheviksi vaikka niissä ei vielä olisikaan säröjä. Muotoilemalla säröille alttiit hitsit jouheviksi voidaan ehkäistä säröjen syntymistä hitsiin.

Teräsrakenteen säröttömyys pois hiotun särön etupuolelta tarkistetaan NDT-tarkastuksella.

Korjatun kohdan alueella pintakäsittävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsittävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsittelyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuutus puretaan.

7.6 Ruuvi- ja niittiliitosten korjaus

Kantavien teräsrakenteiden liitosten vaurioluokitus ja ohjeelliset korjaustoimenpiteet kiireellisyysluokkineen on esitetty *Sillantarkastuskäsikirjan* /10/ taulukossa 9.

Vaurioluokkien 4, 3 ja 2 vauriot korjataan rakenteellisina korjauksina. Luokan 4 vaurioissa (niittejä tai kiinnitysruuveja on poikki, irronnut tai löystynyt; liitoksessa on repeämä) tehdään erikoistarkastus ja korjaussuunnitelmat. Lievemmissä 3 luokan vaurioissa (liitoksen yksittäinen ruuvi tai niitti on irronnut tai löystynyt; alkava repeämä) on suositeltavaa selvittää vaurion syyt ja tehdä myös korjaussuunnitelmat. Vaurioluokan 2 vaurioissa (liitoksen kiinnikkeet ovat ruosteessa, mutta liitos toimii vielä hyvin; hitsiliitoksessa tai sen välittömässä läheisyydessä on alkavia säröjä; hitsiliitos on ruosteessa) ruuvi- ja niittikiinnikkeet uusitaan ja säröytyneet hitsiliitokset puhdistetaan ja maalataan. Vaurioluokan 1 (liitoksen yksittäiset kiinnikkeet ovat ruostuneet) vaurioita ei korjata, mutta niiden etenemistä seurataan.

7.5.4 Muut korjaustavat

Mikäli särö tai repeämä johtuu rakenneosan liian alhaisesta kapasiteetista, vauriokohtia voidaan vahventaa lisämateriaalilla tai muuttamalla liitoksen rakennetta. Vauriokohtaan kiinnitetään hitsaamalla, pulttaamalla tai liimaamalla vahvikelevy tai jäykistelevy. Tämä korjaustapa edellyttää aina korjaussuunnitelmien tekoa ja korjaus toteutetaan aina korjaussuunnitelmien mukaisesti.

Säröytynyt kohta voidaan myös poistaa ja korvata poisleikattu osa uudella materiaalilla hitsauskorjauksena kohdan 7.2 ohjeita soveltaen.

Säröytynyt rakenneosa voidaan korjata myös vaihtamalla tilalle uusi rakenneosa kohdan 7.3 ohjeita soveltaen. Muuttamalla ratasiltojen tukikerrokseton päällysrakenne tukikerrokselliseksi päällysrakenteeksi voidaan päällysrakenteisin kohdistuvia paikallisia väsytyksrasituksia pienentää.

7.6.1 Ruuviliitokset

Ruuviliitokset luokitellaan Eurokoodissa toimintatapansa mukaan luokkiin A...E, jotka on esitetty Eurokoodin soveltamisohjeessa *Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu NCCI 4 /30/* taulukossa 6.14. Korjattavan ruuviliitoksen luokka määritellään korjaussuunnitelmissa.

Luokan B, C ja E ruuviliitoksissa voidaan käyttää vain lujuusluokan 8.8 ja 10.9 ruuveja. Luokissa A ja D voidaan käyttää myös alemman lujuusluokan ruuveja lujuusluokkaan 4.6 saakka. Kuitenkin pysyvien siltarakenteiden ruuviliitoksissa käytetään vain lujuusluokkien 8.8 tai 10.9 ruuveja. Tilapäisissä tai ei-kantavissa rakenneosissa voidaan käyttää myös lujuudeltaan heikompia ruuveja.

Ruuvikokoonpanot voivat olla pintakäsittelymättömiä, jotka maalataan asennuksen jälkeen. Suositeltavampaa on käyttää kuumasinkittyjä ruuvikokoonpanoja. Ruuvit, mutterit ja aluslevyt eivät saa olla sähkösinkittyjä. Kuumasinkittyjä kiinnitystarvikkeita käytettäessä ruuvien, mutterien ja aluslevyjen pitää olla saman valmistajan

tuotteita ja kuumasinkitsemiä tai kuumasinkityksen tulee olla kiinnitystarvikkeiden valmistajan hyväksymässä laitoksessa ja hyväksymällä tavalla suoritettu. Kiinnittimien kuumasinkityksen tulee olla standardin SFS-EN ISO 10684 mukainen.

Liitoksissa käytettävien pulttien tulee olla standardin SFS-EN 1090-2 kohdassa 2.2.4 esitettyjen standardien mukaisia. Esijännitetyissä ruuviliitoksissa käytettävien ruuvien ja muttereiden tulee olla standardien SFS-EN 14399-3, -4, -7, -8 ja -10 ja aluslaattojen standardien SFS-EN 14399-5 ja -6 mukaisia.

Ruuvien pienimmät ja suurimmat reuna- ja keskiöetäisyydet on esitetty Eurokoodin soveltamisohjeessa *Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu NCCI 4 /30/* kohdassa 6.1.5.2.

Ruuvien nimellisvälykset on esitetty Eurokoodin soveltamisohjeessa *Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu NCCI 4 /30/* taulukossa 6.17. Nimellisvälyys on pyöreillä rei'illä reiän nimellishalkaisijan ja ruuvin nimellishalkaisijan ero. Soviteruuveille reiän nimellishalkaisijan tulee olla yhtä suuri kuin ruuvin varren nimellishalkaisija. Standardin SFS-EN 14399-8 mukaisilla soviteruuveilla varren nimellishalkaisija on 1 mm suurempi kuin kierteellisen osan nimellishalkaisija.

Kuusioruuvien reikien toleranssi on $\pm 0,5$ mm ja soviteruuvien reikien toleranssi luokan H11 mukainen standardin SFS-EN ISO 286-2 mukaan määriteltynä.

Ruuviliitoksien yleisimpiä vaurioita ovat ruuvien ruostuminen, ruuvien löystyminen, ruuvien vääntymät ja katkeamat, ruuvien puuttumiset, säröt ruuvien reiän ympärillä tai ruuvissa, ruuvien reikiä muodonmuutokset ja ruostuminen ja kitkaliitoksen siirtymät. Ruuviliitosten vaurioita on esitelty kohdassa 3.

Ruuviliitoksen korjauksen päätyövaiheet ovat:

- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille
- pintakäsittelyn poisto liitoksesta
- uusittavien ruuvien määrittäminen, ellei jo korjaussuunnitelmassa ole yksilöity uusittavat ruuvit
- rakenteen mahdollinen tunkkaus ja työnaikainen tuenta
- viallisten ruuvien poistaminen
- reikiä halkaisijan, muodon ja reunojen ruostumiseen tarkastus

- reikiä ympäröivien tarkistaminen mahdollisten säröjen varalta
- mahdollisten säröjen korjaaminen
- mahdollinen reikiä reunojen ja reikiä muotojen korjaaminen
- mahdollisesti liitoksen avaus ja liitospintojen puhdistus ja mahdolliset pintakäsittelyt
- ruuvien asentaminen, kiristäminen ja lukitseminen
- työnaikaisen tuennan ja tunkkauksen purkaminen
- pintakäsittelytävien kohdan esikäsittelyt
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus sekä levyjen välisten rakojen tiivistystaukukset
- suojahuputuksen purkaminen

Korjaustyön alkuvaiheessa poistetaan pintakäsittely liitoskohdasta.

Korjaussuunnitelmassa on yleensä yksilöity vaihdettavat ruuvit erikoistarkastuksen perusteella. Pintakäsittelyn poiston jälkeen tarkistetaan kuitenkin vielä kaikki korjattavan liitoksen ruuvit silmämääräisesti, koputtelemalla ja kiertämällä kiintoavaimella ruuvia ja mutteria. Tarvittaessa ruuville tehdään vielä ultraäänitarkastus.

Rakennetta voidaan joutua tunkkaamaan ja tukemaan työnaikaisesti. Saman liitoksen ruuvien uusimiset voidaan tehdä useammassa vaiheessa, jolloin työnaikaista tuentaa ei välttämättä tarvita. Yhdessä vaiheessa poistettavien ja uusittavien ruuvien määrä ja yksilöinti tulee olla esitettynä korjaussuunnitelmissa. Tunkkaaminen ja työnaikainen tuenta tehdään tarvittaessa asennussuunnitelman mukaisesti.

Ruuvit poistetaan avaamalla mutterit. Kiinni juuttuneiden muttereiden avaamisessa voidaan käyttää apuna lämmittämistä ja irrotuskemikaaleja. Mikäli ruuvit ja mutterit ovat ruostuneet kiinni, ruuvien kannat ja mutterit voidaan poistaa myös leikkaamalla tai hiomalla ne teräspinnan tasoon. Usein liitososat eivät irtoa toisistaan vaikka ruuvien ja muttereiden kannat on hiottu teräspintojen tasoon. Tällöin liitososien toisistaan irrottamiseksi voidaan käyttää ruuvien varsien pois lyömistä tuennan avulla, ruuvien varsien pois poraamista, lämmittämistä ja liitososien välistä kiilausta. Liitososan poistamista vääntämällä tai vetämällä tulee välttää, koska siitä voi aiheutua pysyviä muodon muutoksia rakenteeseen jääviin liitososiin.

Ruuvien poistamisen jälkeen tarkistetaan reikien reunojen syöpymättömyys ja reikien koon sopivuus ja muoto korjaussuunnitelmissa esitettyihin ruuvien halkaisijoiden kokoihin. Mikäli reikien reunat ovat syöpyneet tai reiät ovat suurempia kuin korjaussuunnitelmassa on oletettu, ruuvien halkaisijoita voidaan suurentaa ja reikiä voidaan avartaa poraamalla. Tämän korjaustoimenpiteen soveltuvuus kohteeseen tulee varmistaa aina korjaussuunnittelijalta ennen kyseiseen työhön ryhtymistä. Mahdolliset uudet reiät tehdään ensisijaisesti poraamalla.

Reikien ympärykset tarkistetaan silmämääräisesti säröjen varalta ja tarvittaessa käytetään myös NDT-tarkastusta. Mahdolliset säröt korjataan hitsaamalla kohdan 7.5.2 mukaisesti. Mikäli säröt korjataan hitsaamalla, ruuvien vaihtamista ei yleensä voi tehdä vaihteittain vaan kaikki ruuvit on poistettava samalla kertaa ja liitos on aukaistava kokonaan.

Saman kerroksen muodostavien erillisten levyosien välinen paksuusero saa olla enintään 2 mm ja esijännitettäviä ruuveja käytettäessä enintään 1 mm. Jos käytetään täytelevyjä varmistamaan, että ero ei ylitä edellä esitettyä rajaa, täytelevyjien paksuuden tulee olla vähintään 2 mm. Rakokorroosion välttäminen saattaa edellyttää tiiviimpää kontaktia vaativissa ympäristöolosuhteissa. Täytelevyjien paksuus tulee valita siten, että niiden lukumäärä rajoittuu korkeintaan kolmeen. Paksumman levyn kulma liitoslevyjien välissä on hyvä viistää loivaksi hiomalla.

Ruuveja ja muttereita ei saa hitsata ja rakenteellisen ruuvin nimellishalkaisijan tulee olla vähintään 12 mm, ellei korjaussuunnitelmassa ole toisin esitetty. Ruuvin pituus tulee valita siten, että kiristämisen jälkeen ruuvin varsi ulottuu mutterin pinnan ulkopuolelle vähintään yhden täyden kierteen pituuden verran. Jos kiinnityksessä on tarkoitus hyödyntää ruuvin varren kierteettömän osan leikkauskestävyyttä, ruuvien mitat tulee esittää korjaussuunnitelmissa. Täyden poikki-leikkauksen omaavan ruuvin varren kierteettömän osan pituus on pienempi kuin kierteettömän osan nimellispituus (esim. M20 ruuville jopa 12 mm pienempi). Esijännittämättömillä ruuveilla mutterin kantopinnan ja varren kierteettömän osan väliin tulee jäädä vähintään yksi täysi kierre. Standardien SFS-EN 14399-3, SFS-EN 14399-7 ja SFS-EN 14399-10 mukaisilla esijännitettävillä ruuveilla mutterin kantopinnan ja varren kierteettömän osan väliin tulee jäädä vähintään

neljä täyttä kierrettä. Standardien SFS-EN 14399-4 ja SFS-EN 14399-8 mukaisilla esijännitettävillä ruuveilla puristevälien tulee olla standardin SFS-EN 14399-4:2005 taulukon A.1 mukaisia.

Soviteruuveja voidaan käyttää sekä esijännite-tyissä että esijännittämättömissä liitoksissa noudattaen soveltuvin osin ruuveille esitettyjä vaatimuksia. Soviteruuvien varren kierteellisen osan pituuden (kierteen pääte mukaan lukien) ei pidä ylittää arvoa 1/3 mutterin puolimmaisesta levyn paksuudesta. Soviteruuvit tulee asentaa liikaa voimaa käyttämättä ja kierteitä vahingoittamatta.

Mutterin tulee kiertyä vapaasti sen kanssa yhteen kuuluvassa ruuvissa. Tämä voidaan tarkastaa helposti käsin kiertämällä. Kaikki mutteri-ruuvi kokoonpanot, joissa mutteri ei kierry vapaasti, tulee hylätä. Mutterit tulee asentaa siten, että niiden merkinnät ovat näkyvissä tarkastusta varten asennuksen jälkeen.

Esijännittämättömissä ruuviliitoksissa käytetään mutterin alla aluslaattaa. Aluslaattaa tulee käyttää myös ruuvien kannan alla, jos reiän reunoja ei ole pyörästetty tai kiristäminen voidaan joutua tekemään kannan puolelta. Yksileikkisissä päällekkäisjatkoksissa, joissa on vain yksi ruuvirivi, aluslaatat vaaditaan sekä ruuvien kannan että mutterin alle. Aluslaattojen käyttö voi pienentää metallisten pinnoitteiden paikallisia vaurioita erityisesti, kun pinnoitteet ovat paksuja. Käytettäväksi vaaditut aluslaatat esitetään sillan rakennussuunnitelmissa.

Esijännitettävien ruuvien kannan alla tulee käyttää aluslaattoja, jotka on viistetty standardin SFS-EN 14399-6 mukaisesti ja ne tulee sijoittaa siten, että viiste tulee ruuvien kannan puolelle. Standardin SFS-EN 14399-5 mukaisia aluslaattoja saa käyttää vain mutterien alla. Pyöreitä aluslaattoja (tai tarvittaessa karkaistuja vinoaluslaattoja) tulee käyttää esijännitettävien ruuvien yhteydessä lujuusluokan 8.8 ruuvien kanssa kiristettäessä kiertyvän osan (ruuvien kanta tai mutteri) alla. Lujuusluokan 10.9 ruuvien kanssa aluslaattoja tulee käyttää sekä ruuvien kannan että mutterin alla. Liitoksissa, joissa on pidennettyjä reikiä tai ylisuuria reikiä, tulee käyttää levymäisiä aluslaattoja. Jos ruuvien kannan alla ei käytetä aluslaattaa, viistetään reiän reuna ruuvien kannan ja varren välistä pyörästystä vastaavasti vähintään 1,5 x 1,5 mm.

Ruuvikokoonpanon puristevälin pituuden säätämiseen voidaan käyttää yhtä ylimääräistä levyaluslaattaa tai enintään kolmea lisäaluslaatta-

taa, joiden yhteenlaskettu paksuus on enintään 12 mm. Esijännitetyissä ruuvikokoonpanoissa, joiden kiristäminen tehdään vääntömomenttiin perustuvalla menetelmällä, voidaan käyttää vain yhtä ylimääräistä levyaluslaattaa sen osan alla, jota kierretään. Vaihtoehtoisesti ylimääräistä levyaluslaattaa tai lisäaluslaattoja voidaan käyttää sen osan alla, jota ei kierretä. Muissa tapauksissa, esijännitetyissä tai esijännittämättömissä käyttökohteissa, ylimääräinen levyaluslaatta tai lisäaluslaattoja voidaan käyttää joko sillä puolella, jota kiristetään tai sillä puolella jota ei kiristetä.

Levymäisten aluslaattojen mitat ja teräslaji tulee esittää. Ne eivät saa olla 4 mm ohuempia. Vinoaluslaattoja tulee käyttää, jos kiinnitettävän tuotteen pinnan ja ruuvien akselin normaalitason välinen kaltevuuskulma on suurempi kuin:

- a) 1/20 (3°) ruuveille, joiden $d \leq 20$ mm
- b) 1/30 (2°) ruuveille, joiden $d > 20$ mm.

Ruuvit asennetaan paikoilleen ja kiristetään.

Esijännittämättömin ruuviliitosten (luokat A ja D) ruuvit kiristetään sovellusohjeen NCCI T /4/ taulukon 1 mukaisin kiritysvääntömomentein. Kiinnitettävät kokoonpanot tulee liittää tiiviisti yhteen. Sovitukseen voidaan käyttää lisälevyjä. Ylikiristämistä tulee varoa erityisesti lyhyillä ruuveilla ja M12 ruuveilla. Jokainen ruuviryhmän ruuvi tulee kiristää aloittaen kiinnityksen jäykimmästä kohdasta ja edeten kohti ruuviryhmän vähiten jäykkää kohtaa. Yleensä ruuvien kiristäminen aloitetaan liitoksen keskeltä ja edeten kehämäisesti laajentaen reunoille päin. Tasaisen tiukan kiristyksen saavuttaminen voi vaatia useamman kuin yhden kirityskierroksen.

Liukumisen kestävässä kiinnityksissä liitospinnat puhdistetaan ja pintakäsittelään korjaussuunnitelmassa esitettyllä tavalla vaadittuun kitkapintaluokkaan (kitkapintaluokat A...D), jollei ruuvien vaihtamista tehdä vaiheittain. Korjaussuunnitelmassa tulee esittää myös liitospintojen koko. Ennen asentamista tulee varmistaa, että kosketuspinnat ovat puhtaita öljystä, liasta, maalista ja muista epäpuhtauksista. Liitettävien osien tiiviin asettumisen estävät purseet, irtonaiset aineet ja liian paksu maalikerros tulee poistaa. Pinnoittamattomissa pinnoissa ei saa olla ruostekerroksia eikä muuta irtonaista ainetta. Karhennetun pinnan vahingoittamista tai tasoittamista tulee varoa.

Esijännitettävän liitoksen kitkapinnoissa käytettävän maalin on oltava sinkkipohjaista maalia. Sinkkisilikaattimaalissa tulee olla metallista

sinkkiä vähintään 80 paino-% kuivakalvosta. Kitkaa heikentävien sinkkisuolojen muodostumisen estämiseksi, esijännitetyn ruuviliitoksen kiristäminen on tehtävä saman työvuoron aikana kuin sinkkisilikaattimaalaus. Jos väliaika on pitempi, on sinkkisuolet poistettava pyyhkäisysuihkupuhdistuksella.

Esijännitettyjen ruuviliitosten (luokat B, C ja E) ruuvit kiristetään korjaussuunnitelman mukaiseen esijännitysvoimaan ja korjaussuunnitelmassa esitettyyn kiritysmomenttiin. Kiristysmenetelmänä käytetään standardin SFS-EN 1090-2 taulukossa 20 esitettyä vääntömomenttimenetelmää (K-luokka K2). Kiristysmomentti määritetään valmistajan ruuvi-mutteriyhdistelmälle ilmoittamien K-luokkaan perustuvien kertoimien (km, Vk) avulla. Ruuvit tulee kiristää momenttiavaimella, jolla on sopiva käyttöalue. Kiristämiseen voidaan käyttää käsi- tai konekäyttöisiä momenttiavaimia. Iskevää momenttiavainta voidaan käyttää ruuvien kiristämisen ensimmäisessä vaiheessa. Kiristävä vääntömomentti tulee kohdistaa ruuveihin jatkuvasti ja tasaisesti. Kiristäminen vääntömomenttiin perustuvalla menetelmällä tapahtuu vähintään kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa ruuvit kiristetään momentilla, jonka arvo on yleensä noin 75 % vääntömomentin vertailuarvosta. Kaikki kiinnityksen ruuvit tulee kiristää ensimmäiseen vaiheeseen ennen kuin toinen vaihe aloitetaan. Toisessa vaiheessa ruuvit kiristetään momentilla, jonka arvo yleensä on noin 110 % vääntömomentin vertailuarvosta. Korjaussuunnitelmassa määritetään eri vaiheiden kiritysmomentit.

Ruuvien kiristäminen tulee tehdä mutteria kiertämällä, ellei riittämätön luoksepäästävyys mutterin puolelta ole esteenä. Jos kiristäminen tapahtuu ruuvien kantaa kiertämällä, kalibrointi tulee tehdä standardin SFS-EN 1090-2 liitteen H mukaisesti tai kiinnittimen valmistajalta saatavien standardin SFS-EN 14399-2 mukaisten lisäkokeiden perusteella. Ennen kiristämisen aloittamista liitettävät osat tulee sovittaa yhteen. Ruuviryhmän esijännitetyjä ruuveja kiristettäessä liitettävien osien väliin jäävä rako rajoitetaan enintään 2 mm:iin ja teräsrakenteita korjataan tarvittaessa sovituksen parantamiseksi. Ensimmäisessä vaiheessa sekä kiristämisen loppuvaiheessa tulee kiristäminen aloittaa liitoksen jäykimmästä kohdasta, josta edetään kohti liitoksen vähiten jäykkää kohtaa. Vääntömomenttiin perustuvaa menetelmää käytettäessä momenttiavaimella tulee olla kiristämisen kaikissa vaiheissa vähintään ± 4 % tarkkuus standardin EN ISO 6789 mukaisesti.

Jokainen momenttiavain tulee pitää kunnossa standardin EN ISO 6789 mukaisesti ja paineilmalla toimiva momenttiavain tulee tarkastaa joka kerta, kun ilmajohto vaihdetaan. Tarkastaminen tulee uusia aina momenttiavaimeen kiristämisen aikana kohdistuvan häiriötilanteen (merkittävä tärähdys, putoaminen, ylikuormitus jne.) jälkeen. Esijännitettävien korkealujuusruuviin voitelun tulee olla toimitustilan mukainen. Pienimpään vaadittavaan esijännitysvoimaan kiristetty ja sen jälkeen löysätty ruuvikoonpano tulee poistaa ja koko ruuvikoonpano tulee hylätä. Ruuvikoonpanoja, joita käytetään alkukiristykseen aikaansaamiseen, ei yleensä tarvitse kiristää pienimpään vaadittavaan esijännitysvoimaan eikä jännitystä jouduta poistamaan, minkä vuoksi niitä voidaan käyttää vielä lopullisessa kiinnittämisessä. Jos kiristysprosessi viivästyy ja kokoonpano altistuu ilmastorasituksille, voitelun toimivuus voi muuttua ja se on syytä tarkastaa.

Vääntömomenttimenetelmässä otetaan jo suunnitteluvaiheessa huomioon esijännitysvoiman mahdollinen pieneneminen, mikä voi aiheutua useista tekijöistä, esim. relaksaatiosta ja pinnoitteiden virumisesta. Paksuja pinnoitteita käytettäessä korjaussuunnitelmissa tulee esittää mahdolliset toimenpiteet esijännitysvoiman pienenemisen korvaamiseksi. Jos käytetään vääntömomenttimenetelmää, tämä voi tapahtua muutaman päivän jälkeen suoritettavalla uusintakiristyksellä.

Ruuviin kiristämisen jälkeen ruuviliitos tarkistetaan. Kiristettyjen liitosten ympärillä olevia käsittelemättömiä pintoja ei saa käsitellä ennen kuin liitoksen tarkastaminen on kokonaan suoritettu.

Esijännittämättömät standardin SFS-EN 15048-1 mukaiset ruuvikoonpanot (luokat A ja D) pitää aina lukita kierteet lysmistämällä, lukitusaluslevyllä, lukkomutterilla tai toisella mutterilla pysyvissä sillan rakenteissa. Lukitustapa esitetään aina sillan rakennussuunnitelmassa. Kuumasinkityissä ruuvikoonpanoissa ei saa käyttää lysmistämistä lukitustapana. Ruuviin ja muttereiden hitsaamalla lukitseminen ei ole sallittua.

Esijännitettäville ruuvikoonpanoille (luokat B, C ja E) ei tarvita kiristämisen lisäksi muita varmistamis- tai lukitusmenetelmiä. Jos esijännitetyissä ruuvikoonpanoissa vaaditaan varmistamismenetelmiä esim. poikkeuksellisten dynaamisten vaikutusten vuoksi, ne esitetään korjaussuunnitelmassa.

Tarkastuksien jälkeen työnaikaiset tuennat ja tunkkaukset puretaan.

Korjatun kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsitteilyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelyn yhteydessä levyjen väliset raot kitataan umpeen. Tiivistyskittauksista on kerrottu tarkemmin *SIL-KO-ohjeen 1.351 Pintakäsittelyt I/2* kohdassa 6.5.1.

Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuputus puretaan.

7.6.2 Niittiliitokset

Niittiliitoksien yleisimpiä vaurioita ovat niittien ruostuminen, niittien löystyminen, niittien vääntymät ja katkeamat, niittien puuttumiset, säröt niitin reiän ympärillä tai niitissä, niitin reikien muodonmuutokset ja ruostuminen ja liitoksen siirtymät. Niittiliitosten vaurioita on esitelty tarkemmin kohdassa 3.5 ja 3.6.

Korjauskohteissa vanhat niitit korvataan yleensä soviteruuveilla tai esijännitettävillä ruuveilla, joilla liitoksesta tehdään kitkaliitos. Kun liitoksesta korjataan vain yksittäisiä niittejä, käytetään yleensä soviteruuveja. Mikäli kaikki liitoksen niitit korjataan ja liitospinnat avataan, voidaan käyttää esijännitettäviä kuusiruuveja ja kitkaliitosta tai soviteruuveja. Soviteruuvit voidaan myös esijännittää niittiliitoksia korjattaessa. Ruuviin tyypin, ruuviin esijännittäminen ja liitoksen luokka esitetään korjaussuunnitelmissa. Vanhoissa siltojen niittiliitoksissa yleisimmin käytetty niitin halkaisija on 23 mm, mutta myös muun kokoisia niittejä on käytetty.

Soviteruuveilla reiän nimellishalkaisijan tulee olla yhtä suuri kuin ruuviin varren nimellishalkaisija. Soviteruuveilla reiän halkaisijan toleranssi on luokan H11 mukainen standardin SFS-EN ISO 286-2 mukaan määriteltynä. Standardin SFS-EN 14399-8 mukaisilla soviteruuveilla varren nimellishalkaisija on 1 mm suurempi kuin kierteellisen osan nimellishalkaisija.

Niittiliitoksen korjauksen päätyövaiheet ovat:

- huputuksen rakentaminen korjattavan kohteen ympärille
- pintakäsittelyn poisto liitoksesta
- uusittavien niittien määrittäminen, ellei jo korjaussuunnitelmassa ole yksilöity uusittavat niitit
- rakenteen mahdollinen tunkkaus ja työnaikainen tuenta
- viallisten niittien poistaminen
- reikien halkaisijan, muodon ja reunojen ruostumisasteen tarkastus
- reikien ympäryksen tarkistaminen säröjen mahdollisten säröjen varalta
- mahdollisten säröjen korjaaminen
- mahdollinen reikien reunojen ja reikien muotojen korjaaminen, reikien suurentaminen, uusien reikien poraaminen
- liitospintojen puhdistus ja mahdolliset pintakäsittelyt, mikäli kaikki niitit uusitaan
- ruuvien asentaminen, kiristäminen ja lukitseminen
- työnaikaisen tuennan ja tunkkauksen purkaminen
- pintakäsitteltävän kohdan esikäsittelyt
- korjatun kohdan pintakäsittely ja sen laadunvarmistus sekä levyjen välisten rakojen tiivistyskitkaukset
- suojahuputuksen purkaminen

Korjaustyön alkuvaiheessa poistetaan pintakäsittely liitoskohdasta.

Korjaussuunnitelmassa on yleensä yksilöity vaihdettavat niitit erikoistarkastuksen perusteella. Pintakäsittelyn poiston jälkeen tarkistetaan kuitenkin vielä kaikki korjattavan liitoksen niitit silmämääräisesti ja koputtelemalla. Tarvittaessa niiteille tehdään vielä ultraäänitarkastus. Niittiliitoksen ultraäänitarkastus tehdään ohjeen *Taitorakenteiden erikoistarkastuksen laatuvaatimukset /21/* liitteen *Niitattujen siltarakenteiden UT-testaus* mukaisesti.

Rakennetta voidaan joutua tunkkaamaan ja tukemaan työnaikaisesti. Saman liitoksen niittien uusimiset voidaan tehdä useammassa vaiheessa, jolloin työnaikaistuentaa ei välttämättä tarvita. Yhdessä vaiheessa poistettavien ja uusittavien niittien määrä ja yksilöinti tulee olla esitettynä korjaussuunnitelmissa. Tunkkaaminen ja työnaikainen tuenta tehdään tarvittaessa asennussuunnitelman mukaisesti.

Niitit poistetaan hiomalla tai leikkaamalla niitin kannat teräspinnan tasoon. Usein niitin varsi ja liitososat eivät irtoa toisistaan vaikka kannat on hiottu teräspintojen tasaan. Tällöin niitin varsien

ja liitososien toisistaan irrottamiseksi voidaan käyttää niitin varsien pois lyömistä tuurnan avulla, niitin varsien pois poraamista, lämmittämistä ja liitososien välistä kiilausta. Liitososan poistamista vääntämällä tai vetämällä tulee välttää, koska siitä voi aiheutua pysyviä muodon muutoksia rakenteeseen jääviin liitososiin.

Niittien poistamisen jälkeen tarkistetaan reikien reunojen syöpymättömyys ja reikien koon sopivuus ja muoto korjaussuunnitelmissa esitettyihin soviteruuvien halkaisijoiden kokoihin. Yleensä aina, kun soviteruuveja käytetään korvaamaan niittejä, reiät on työstettävä poraamalla tai avartamalla soviteruuvien halkaisijaan sopiviksi. Mikäli reikien reunat ovat syöpyneet tai reiät ovat suurempia kuin korjaussuunnitelmassa on oletettu, ruuvien halkaisijoita voidaan suurentaa ja reikiä voidaan avartaa poraamalla. Tämän korjaustoimenpiteen soveltuvuus kohteeseen tulee varmistaa aina korjaussuunnittelijalta ennen kyseiseen työhön ryhtymistä.

Reikien ympärykset tarkistetaan silmämääräisesti säröjen varalta ja tarvittaessa käytetään myös NDT-tarkastusta. Mahdolliset säröt korjataan hitsaamalla kohdan 7.5.2 mukaisesti. Mikäli säröt korjataan hitsaamalla, niittien vaihtamista ei yleensä voi tehdä vaiheittain vaan kaikki niitit on poistettava samalla kertaa ja liitos on aukaistava kokonaan.

Liukumisen kestävässä kiinnityksissä liitospinnat puhdistetaan ja pintakäsittellään korjaussuunnitelmassa esitetyllä tavalla samaan tapaan kuin kuusioruuvikokoonpanoissa Tällöin niittien korvaamista ei voida tehdä vaiheittain ja kaikki niitit korvataan soviteruuveilla tai esijännitettävillä kuusioruuveilla. Korjaussuunnitelmassa tulee esittää myös liitospintojen koko. Ennen asentamista tulee varmistaa, että kosketuspinnat ovat puhtaita öljystä, liasta, maalista ja muista epäpuhtauksista. Liitettävien osien tiiviin asettumisen estävät purgeet, irtonaiset aineet ja liian paksu maalikerros tulee poistaa. Pinnoittamattomissa pinnoissa ei saa olla ruostekerroksia eikä muuta irtonaista ainetta. Karhennetun pinnan vahingoittamista tai tasoittamista tulee varoa.

Soviteruuveja voidaan käyttää sekä esijännityksessä että esijännittämättömissä liitoksissa noudattaen soveltuvin osin ruuveille esitettyjä vaatimuksia. Soviteruuvien varren kierteellisen osan pituuden (kierteen pääte mukaan lukien) ei pidä ylittää arvoa 1/3 mutterin puolimmaisesta levyn paksuudesta. Soviteruuvit tulee asentaa liikaa voimaa käyttämättä ja kierteitä vahingoittamatta.

Soviteruuvien kantojen ja muttereiden alla käytetään aluslevyjä samalla tavalla kuin kuusioruuvikokoonpanoissa. Soviteruuveissa käytetään muttereita samalla tavalla kuin kuusioruuvikokoonpanoissa.

Soviteruuvien kiristäminen tehdään samalla tavalla kuin kuusioruuvikokoonpanoissa.

Ruuvien kiristämisen jälkeen ruuviliitos tarkistetaan. Mikäli liitoksen niiteistä uusitaan vain osa, jäljelle jäävien niittien kireyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota. Soviteruuveja kiristettäessä liitososat voivat painua tiukemmin toisiaan vasten, jolloin liitokseen jäävien niittien kannat eivät enää painu tiiviisti teräspintaa vasten. Tällaiset niitit tulee korvata soviteruuveilla, ellei korjaussuunnitelmassa ole toisin esitetty.

Soviteruuvikokoonpanot lukitaan samojen kriteerien perusteella kuin kuusioruuvikokoonpanot, katso kohta 7.6.1. Soviteruuveissa ei voida yleensä käyttää tuplamutteria lukitsemiseen, johtuen soviteruuviin kierreosan pituudesta.

Kiristettyjen liitosten ympärillä olevia käsittelemättömiä pintoja ei saa käsitellä ennen kuin liitoksen tarkastaminen on kokonaan suoritettu. Tarkastuksien jälkeen työnaikaiset tuennat ja tunkkaukset puretaan.

Korjatun kohdan alueella pintakäsitteltävät pinnat työstetään korjaussuunnitelmassa määritettyyn terästyön laatuasteeseen ja puhdistusasteeseen. Pintakäsitteltävältä alueelta pyöristetään myös vanhojen teräsrakenteiden terävät reunat ja nurkat.

Pintakäsittelyn teko aloitetaan mahdollisimman nopeasti pinnan esikäsittelyjen jälkeen. Pintakäsittelyssä käytetään korjaussuunnitelmissa määritettyä maalausjärjestelmää. Pintakäsittelyn yhteydessä levyjen väliset raot kitataan umpeen. Tiivistyskittauksista on kerrottu tarkemmin *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittelyt /2/* kohdassa 6.5.1.

Pintakäsittelylle tehdään korjaussuunnitelmassa määritetyt laadunvarmistustoimenpiteet, jonka jälkeen suojahuputus puretaan.

7.7 Vahvistaminen

Terässillan rakenteita voidaan vahvistaa, mikäli sillan kantavuutta on tarvetta lisätä. Syitä kantavuuden tarpeen lisääntymiseen voivat olla

- lisääntyneet liikennekuormat sillalla
- lisääntyneet erikoiskuljetuskuormat sillalla
- sillan leventäminen ja ajokaistojen lisääminen
- uudet suunnittelunormit
- sillan alimitoitus
- rakentamisvirheet

Sillan teräsrakenteita voidaan vahventaa

- kannattimia lisäämällä
- kuormituksen kulkureittiä ja jakaantumista muuttamalla
- kannattimen laippoja tai profiilia vahventamalla
- kannattimen uumaa jäykistämällä lommahdusta vastaan
- lisäämällä kannattimen tai sen osan nurjahdus- ja kiepahduskapasiteettia
- ristikkokannattimen yksittäisiä sauvoja vahvistamalla
- liitoksia vahvistamalla
- liittovaikutuksen lisäämisellä
- liimattavilla hiilikuiduilla
- jännittämällä.

Vahventamistyö on aina suunniteltava pätevän rakennesuunnittelijan toimesta ennen korjaustoi-miin ryhtymistä. Suunnitelmien sisältöä ja suunnittelijan pätevyyttä on käsitelty tarkemmin tämän ohjeen kohdassa 5. Ennen vahvistamistyön suunnittelua sillalle tehdään yleensä kantavuuslaskenta. Ennen kantavuuslaskentaa tehdään yleensä myös sillan erikoistarkastus.

Tässä ohjeessa ei käsitellä tarkemmin vahvistamistöitä, koska ne on aina toteuttava ja suunniteltava kohdekohtaisesti.

8 TYÖTURVALLISUUS

8.1 Työturvallisuuden suunnittelu, toteutus ja vastuut

Sillankorjaustyömaiden työturvallisuutta koskevissa asioissa on toimittava työturvallisuuslainsäädännön ja Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti.

Yleensä sillankorjaustyömaalla on yksi työmaan kokonaisuutta hallitseva pääurakoitsija ja työmaalla toimii useampi kuin yksi työnantaja tai toimija. Tällöin on noudatettava työturvallisuuslainsäädännön mukaisia yhteisen työpaikan velvoitteita.

Sillankorjaustyömaiden työturvallisuutta käsittelevät asiat on esitetty pääosin *SILKO-ohjeessa 1.111 Työturvallisuus /43/*. Seuraavassa toistetaan ne asiat, joita halutaan korostaa sekä erityisesti terässiltojen korjaustöissä esiintyvät täydentävät ohjeet. Työturvallisuusasioiden organisointi on esitetty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* luvussa 2 seuraavasti:

1. Rakennushankkeessa on oltava rakennuttajan nimeämä turvallisuuskoordinaattori (VNa 205/2009 /45/ 2 §).
2. Suunnittelutoimeksiannossa rakennuttaja antaa suunnittelijalle työturvallisuuteen liittyvät lähtötiedot ja suunnittelua ohjaavat työturvallisuusvaatimukset, jotta suunnittelija voi suunnittelun yhteydessä ottaa huomioon sekä rakentamisen että käytön aikaisen turvallisuuden (VNa 205/2009 /45/ 7 §).
3. Sillan korjaamista valmistellessaan rakennuttajan on laadittava työn suunnittelua ja valmistelua varten turvallisuusasiakirja (VNa 205/2009 /45/ 8 §).
4. Pää toteuttajan on ennen rakennustyön aloittamista laadittava koko työmaata koskeva turvallisuussuunnitelma. Eri työt, työvaiheet ja niiden ajoitus on suunniteltava siten, että ne voidaan toteuttaa turvallisesti ja aiheuttamatta vaaraa työmaalla työskenteleville tai muille työn vaikutuspiirissä oleville (VNa 205/2009 /45/ 10 §).
5. Kantavien rakenteiden, kuten pilarien, palkkien ym. rakenteiden, purkutöitä varten suunnittelijan on laadittava purkus suunnitelma laskelmineen. Tavanomaiset sillan korjaamiseen liittyvät purkutyöt, kuten reunapalkin ja kansilaatan yläpinnan piikkaukset, tehdään työselityksen mukaan. Rakennuttaja laatii aluksi purkutyöohjelman osana hankkeen muuta työnsuunnittelua. Purkutyön suunnittelija laatii purkutyösuunnitelman, joka sisältää myös purkutyöselostuksen.
6. Nosto- ja siirtotyösuunnitelma on laadittava vaikeita nostoja ja siirtoja varten ja silloin, jos taakan nostamiseen käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä nosturia tai työskennellään liikenteen läheisyydessä (VNa 205/2009 /45/ 21 §). Nosto- ja siirtotyösuunnitelma laaditaan päätoteuttajan johdolla yhteistoimin alurakoitsijan ja tarvittaessa rakennesuunnittelijan kanssa.
7. Tulitöiden tekeminen sillankorjaustyömaalla edellyttää aina, että pääurakoitsijalla on kirjallinen tulityösuunnitelma ja tulityölupa. Pää toteuttajan on valvottava, että jokaisella tulitöitä tekevällä on asianmukainen tulityökortti (tulityökortti ei korvaa tulityölupaa).
8. Pää toteuttajan pitää tehdä Aluehallintoviraston (AVI) työsuojelun vastuualueelle ennakkoilmoitus työmaasta, joka on tarkoitettu kestämään kauemmin kuin kuukauden ja jolla itsenäiset työsuorittajat mukaan lukien työskentelee yhteensä vähintään 10 työntekijää sekä työmaasta, jolla työn määräksi arvioidaan yli 500 henkilötyöpäivää (VNa 205/2009 /45/ 4 §).
9. Rakennustyössä on seurattava ja valvottava työturvallisuuteen vaikuttavia seikkoja tarkasti. Työmaatarkastuksista on säädetty VNa 205/2009:n /45/ luvussa 4.
10. Sillan kunnossapitoa varten on laadittava käyttö- ja huolto-ohjeet (VNa 205/2009 /45/ 7 §).

8.2 Työmaan yleisjärjestelyt

Kaikki työntekijät on perehdytettävä työmaan turvallisuusasioihin. Perehdyttämistä on käsitelty tarkemmin tämän *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 4.2. Työntekijöille on annettava työn laadun ja työolosuhteiden edellyttämää opetusta ja ohjausta työssä sattuvan tapaturman sekä työstä aiheutuvan sairastumisen välttämiseksi.

8.2.1 Työmaan liikennejärjestelyt

Korjattavalla sillalla ja sen alla kulkee usein työmaaliikenteen lisäksi tie-, rautatie- tai vesiliikennettä. Liikenneturvallisuutta on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.1. Kun terässillan korjaamista tehdään liikennealueella, on työmaasta oltava hyväksytty, kirjallinen liikenteenohjaussuunnitelma, joka laaditaan Liikenneviraston ohjeen *Liikenne tietyömaalla – kunnossapitotyöt /33/* mukaan. Liikenteenohjaussuunnitelmasta ilmoitetaan Liikenneviraston liikennekeskukseen

Liikenneviraston ja ELYjen hankkeilla sillan- korjaustyötä tekevien on käytävä Tieturva 1 -kurssi. Liikennejärjestelyistä ja työturvallisuudesta vastaavien ja työtä valvovien ja liikenteenohjaussuunnitelmia hyväksyvien henkilöiden on lisäksi pätevoidyttävä Tieturva 2-kurssilla. Liikenteenohjaajalla täytyy olla Liikenneviraston ohjeen *Liikenne tietyömaalla - Pätevyysvaatimukset ja työturvallisuuden perusteet /32/* mukainen pätevyys.

Kaikessa rautatiealueella tehtävässä työssä on noudatettava voimassa olevia *Radanpidon turvallisuusohjeita (TURO) /44/*. Rautatiealueella työskenneltäessä vaaditaan *Radanpidon turvallisuusohjeiden (TURO) /44/* mukainen *Ratatyöturvallisuuspätevyys (Turva)*.

Liikennealueella tehtävässä työssä on käytettävä CE-merkittyä 2. luokan varoitusvaatetusta. Liikenteenohjaajan työssä on käytettävä CE-merkittyä 3. luokan varoitusvaatetusta.

Vesistö sillalla on vesiliikenteelle varattava esteetön kulku telinerakenteista huolimatta. Sillan korjaustyöstä vesiväyliin aiheutuvat liikenne rajoitukset on aina ilmoitettava Liikenneviraston Liikennekeskukseen.

Jo liikennejärjestelyjä suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös ajoneuvoista ja junista mahdollisesti sinkoutuvien jää- ja lumipaakkujen aiheuttamat vaaratekijät työntekijöille. Mikäli liikennejärjestelyjen avulla ei saada eliminoitua vaaraa, jää- ja lumipaakkujen sinkoutumien työntekijöiden päälle on estettävä suojarakenteilla.

8.2.2 Työskentely rautatiealueella

Kaikista liikennekatkoissa tehtävistä töistä on urakoitsijan laadittava yksityiskohtainen työvaihe aikataulu, joka tulee hyväksyttävä rakennuttajalla.

Jos sillan korjaustyöt vaikuttavat radan rakenteisiin, turvalaitteiden toimintaan tai voivat vaarantaa rautatieliikennettä eli ovat niin sanottua ratatyötä, pitää ratatyötä tekevien, tarkastavien ja hyväksyvien henkilöiden noudattaa Liikenneviraston pätevyysvaatimuksia. Luvan ratatyöhön voi pyytää vain ratatyöstä vastaava. Lupamenettely on kuvattu tarkemmin *TUROn /44/* kohdassa 5.

Työvaiheissa, jotka tehdään rautatiealueella, on noudatettava ohjetta *Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO) /44/* ja soveltuvin osin *SILKO-ohjeita 1.111 Työturvallisuus /43/*.

Junaliikenne täytyy suojata hitsausvalokaarien ja kipinäsuihkujen näkyvyydeltä tai muutoin huomioida työsuunnittelussa hitsausvalokaarien ja kipinäsuihkujen näkyvyysvaikutus junan kuljettajalle.

8.2.3 Palosuojelu

Tarvittaessa laaditaan tulityösuunnitelma *Tulityöt suojeluohjeen /50/* mukaisesti.

Palovaaraa aiheuttavia töitä tekevillä työntekijöillä ja työtä valvovalla työnjohtajalla on oltava voimassa oleva asianmukainen tulityökortti. Tulitöiden tekemiseen on oltava tulityölupa.

Polttoleikkaus-, hitsaus-, hionta- ja kannen pintarakennetöissä on otettava huomioon palovaara. Kipinäsuihkun tielle ei saa jäädä mitään helposti syttyvää ja palavaa materiaalia. Tällaisia ovat muun muassa kreosootilla kyllästetyt puukan- net, bitumiset eristysmateriaalit, puutelineet ja sääsuojat. Työpaikalla on oltava myös alkusammutuskalusto. Myös kaikki liikenne pitää suojata leikkaus-, hionta ja hitsauskipinöiltä.

Suojavaatteiden on oltava puuvillaisia, mielellään palosuojattuja, tai on käytettävä nahkaista suojaesiliinaa. Hitsaajan suojavaatetuksen mallia ja materiaalia säätelee standardi SFS-EN ISO 11611. Keinokuituiset vaatteet saattavat syttyä kipinästä ja sulaa erittäin helposti. Keinokuituiset vaatteet aiheuttavat myös hankaussähköä, joka saattaa aiheuttaa esimerkiksi liuotehöyryjen (palovaarallisten kaasujen) syttymisen. Vaatteet eivät saa aiheuttaa staattista sähköä ja kipinöintiä. Myös käytettävien jalkineiden on oltava anti-staattisia.

Pintakäsittelytöihin ja pintakäsittelyaineisiin liittyviä palosuojeluasioita on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 7.2.4

8.3 Korjaustöiden työturvallisuus

8.3.1 Turvallisuustarkastukset

Työmaatarkastuksista on säädetty VNa 205/2009:n /45/ luvussa 4, jonka mukaan tarkastuksia ovat

- koneiden ja laitteiden vastaanottotarkastus
- nostolaitteiden, nostoapuvälineiden ja telien käyttöönottotarkastukset
- viikoittaiset kunnossapitotarkastukset
- lain vaatimat määräaikaistarkastukset.

Työmaan turvallisuustarkastukset on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 2.5. Rakennustyössä on seurattava ja valvottava työturvallisuuteen vaikuttavia seikkoja jatkuvasti Liikenneviraston ohjeita noudattaen. Liikenneviraston ja ELYjen hankkeilla työmailla tapahtuneet turvallisuuspoikkeamat kootaan urakoitsijakohtaisesti *Turvallisuuspoikkeamalomakkeelle /51/* seurantajaksoittain.

8.3.2 Henkilönsuojaimet

Henkilönsuojaimia on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 4.5. Teräsrakenteiden korjaustöissä ja niihin liittyvissä pintakäsittelytöissä on työvaiheita ja aineita, jotka voivat olla haitaksi työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle. Jos työstä aiheutuvia terveysvaaroja ei voida poistaa teknisin toimenpitein tai ainevalinnoilla, työnantajan on hankittava työntekijöiden käyttöön henkilönsuojaimia estämään työntekijöiden altistuminen kemiallisille tai fysikaalisille haitteille. Teräsrakenteiden korjaustöissä tarvittavat suojaimet on esitetty taulukossa 2.

8.2.4 Valaistus

Työturvallisuuden sekä työn onnistumisen ja laadunvalvonnan kannalta korjauskohteen valaistuksen on vastattava riittävää päivänvaloa. Tarvittaessa on käytettävä yleisvalaistuksen lisänä sopivia kohdevalaisimia. Erityisesti kulku- ja kuljetusteillä on oltava riittävä ja sopiva yleis- ja paikallisvalaistus. Suuria ja äkillisiä valaistuseroja ja häikäisyä on vältettävä. Valaistuksen toteuttamisessa on noudatettava valtioneuvoston asetuksen VNa 205/2009 /45/ 26 § mukaisia ohjeita.

Teräsrakenteiden pinta- ja esikäsittelytöissä tarvittavat suojaimet ovat esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittelyt /2/* kohdassa 7.3.3. Lisäksi on noudatettava kemiallisten aineiden käyttöturvallisuustiedotteiden tietoja altistumisen ehkäisystä ja henkilökohtaisista suojaimista.

Hengityksensuojaimia ovat suodattavat suojaimet, jotka suodattavat epäpuhtauksia ja eristävät suojaimet, joiden avulla käyttäjälle voidaan johtaa puhdasta ilmaa.

Hionta- ja teräsharjauspölyn pääsy hengitysteihin estetään käyttämällä pölysuojaimia. Suihkupuhdistuksessa käytetään hiekkapuhaltajan kypärää.

Töissä, joissa melutaso ylittää 85 dB(A), on käytettävä kuulonsuojaimia. Tällaisia töitä ovat muun muassa esikäsittelytöet, kuten suihkupuhdistus.

Turvavaljaita käytetään putoamissuojauksena silloin, kun teknisillä rakenteilla (esim. telineillä) ei voida estää työntekijöiden putoamista. Putoamissuojaimella tarkoitetaan vyötä tai valjaita, köyttä ja erityistä nykyksen vaimenninta.

Työntekijöiden näkyvyyttä pimeässä voidaan tehostaa käyttämällä henkilökohtaisia valaisimia varoitusvaatetuksen lisäksi.

Turvakenkien on hyvä olla korkeavartisia, jota ne tukevat nilkkaa esim. murskeessa käveltäessä.

Työnantajan on varustettava työntekijät erikoistyövaiheiden edellyttämällä suojaimilla.

Taulukko 2. Teräsrakenteiden korjaustöiden aiheuttamat vaarat työntekijöille ja kyseisissä töissä käytettävät henkilönsuojaimet.

| VAARAN AIHEUTTAJA | VAARA | HENKILÖNSUOJAIN | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--|-----------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-------------------|--------|---------------|--------------|---|
| | | Kuulon-suojain | Hengityksen-suojain | Silmien-suojain | Kasvojen-suojain | Suoja-vaatetus ja -käsineet | Varoitus-vaatetus | Kypärä | Turva-valjaat | Turva-kengät | |
| Liikenne ja muu työmaatoiminta | | | | | | | | | | | |
| Liikenne | Törmäys | | | | | | | x | x | | |
| | Ajoneuvoista ja junista sinkoutuvat lumi- ja jääpaakut | | | x | | | | | x | | x |
| Nostot | Nostettavan taa-kan tipahtaminen | | | | | | | x | x | | x |
| Työmaatoiminta | Terävään esi-neeseen astumi-nen ja liukastu-minen | | | | | | | | | | x |
| Korkealla työskentely | Työntekijän putoaminen | | | | | | | | x | x | |
| Purkutytöt | Pöly | | x | x | x | x | | | | | |
| | Melu | x | | | | | | | | | |
| | Tärinä | | | | | x | | | | | |
| | Putoavat esineet | | | | | | | x | x | | x |
| | Sinkovat pienet materiaalipalat | | | x | x | x | | | | | |
| Teräksen työstö | | | | | | | | | | | |
| Laikkaleikkaus ja -hionta | Hiontapöly | | x | x | x | x | | | | | |
| | Työstä aiheutuva melu | x | | | | | | | | | |
| | Kipinät ja roiskeet silmiin ja iholle | | | x | x | x | | | | | |
| Termiset leikkaustavat | Höyryjen ja huu-rujen hengittämi-nen | | x | | | | | | | | |
| | Kipinät ja roiskeet silmiin ja iholle | | | x | x | x | | | | | |
| Hitsaus | Höyryjen ja huu-rujen hengittämi-nen | | x | | | x | | | | | |
| | Valokaari | | | x | | | | | | | |
| | Kipinät ja roiskeet silmiin ja iholle | | | x | x | x | | | | | |
| Poraus | Melu | x | | | | | | | | | |
| | Sinkoilevat lastut | | | x | | x | | | | | |
| | Tärinä | | | | | x | | | | | |

8.3.3 Putoamisen estäminen

Korjaustyömaan päätoteuttajan on suunniteltava putoamisvaaran torjunta VNa 205/2009:n /45/ 27 ja 28 §:n mukaan. Putoamisen estämistä on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 4.3.

Sillankorjaustöissä tarvitaan usein telineitä tilapäisinä työtasoina. Siltojen aukkojen rakenteita purettaessa tarvitaan joskus myös suojarakenteita

estämään purkujätteen ja työvälineiden putoaminen alla kulkevan liikenteen päälle tai vesistöön. Työtelineiden mitoituksessa on otettava huomioon mahdollisen purkujätteen aiheuttama lisäkuorma.

Työtelineet kootaan yleensä elementeistä. Paikalla rakennettavista telineistä pitää laatia rakenne-laskelmat ja -suunnitelmat. Telineiden on aina oltava tukevia sekä työ- ja suojatelineohjeiden /53/ mukaan mitoitettuja.

Elementtitelineen käytössä on joko noudatettava telineen käyttöohjetta tai laadittava telineen rakennesuunnitelma. Työtelineestä on laadittava käyttösuunnitelma, jos teline ominaisuuksiensa vuoksi vaikuttaa olennaisesti työmaa-alueen käyttöön.

Työ- ja suojatelineitä ei saa ottaa käyttöön ennen kuin niille on tehty käyttöönottotarkastus. Käyttöönottotarkastuksessa varmistaudutaan siitä, että teline on suunnitelman mukainen. Tarkastuksesta on tehtävä merkintä telinekorttiin (VNa 205/2009 /45/ § 60). Telineet tarkastetaan myös työmaan viikoittaisen kunnossapitotarkastuksen yhteydessä. Lisäksi tarkastukset on tehtävä telineiden purkamisen aikana.

Työtelineestä on laadittava käyttösuunnitelma, jos työtelineellä suuren korkeutensa tai kokonsa, vaaraa aiheuttavan sijaintinsa, erityisen käyttötarkoituksensa tai muun vastaavan tekijän vuoksi on olennainen vaikutus työmaa-alueen käyttöön (VNa 205/2009 /45/ § 54).

Vesistösiltojen korjaustöissä on aina hukkumisvaara. Vaara voidaan poistaa esimerkiksi kaiteita, suojaverkkoa, turvavaljaita tai pelastusliivejä käyttämällä valiten kyseessä olevaan tilanteeseen parhaiten sopivat suojaustavat. Henkilöstö on perehdytettävä pelastusvälineiden käyttöön (VNa 205/2009 /45/ § 74).

8.3.4 Purkutyöt

Työturvallisuus otetaan purkutöissä huomioon VNa 205/2009:n /45/ luvun 10 mukaan. Purkutöitä on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.2. Rakenteiden purkujärjestys on suunniteltava niin, ettei työstä aiheudu sortumisvaaraa. Kaiteita ei yleensä saa poistaa ennen kuin ryhdytään purkamaan rakenteita, joihin kaiteet on kiinnitetty.

8.3.5 Teräsrakennetyöt ja pintakäsittely

Teräsrakenteiden asennustyön päävastuu kuuluu päätoteuttajalle, mutta asennusurakoitsijan on suunniteltava ja valvottava, että asentaja toteuttaa turvallisuussuunnitelman edellyttämät toimenpiteet työturvallisuuden varmistamiseksi.

Teräsrakennetöiden konepajavalmistuksen työturvallisuus on konepajan vastuulla.

Teräsrakenteiden pintakäsittelytyöihin liittyviä työturvallisuusasioita on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittelyt /2/* kohdassa 7.3.

Asennustyössä suurimpia riskejä ovat teräsosien nostoihin liittyvä osien putoamis- tai kaatumisvaara tai palkkien yms. rakenneosien kiepahdusvaara. Asennustyöt on suunniteltava ja toteutettava niin huolellisesti, ettei em. vahinkoja pääse syntymään. Asennustyön auto- ja kevyelle liikenteelle aiheuttama vaara on torjuttava tehokkaiden liikenteen ohjaustoimenpiteiden avulla ja tarvittaessa katkaisemalla liikenne kriittisten työvaiheiden kusten nostojen ajaksi.

Tapaturman riski on ilmeinen rakenneosia nosteltaessa tai käytettäessä apuvälineitä, kuten tunkkeja, teräslevyjä ja rullastoja.

Siirroissa usein käytettävien vetotunkkien ja -vaijereiden käyttöön liittyy samat vaarat kuin jännittämistöihin. Vetotunkkien käytettäessä on huolehdittava siitä, että tunkin takasektori on ehdottomasti vapaa. Vetovaijereita käytettäessä takasektorin lisäksi on huolehdittava, että myös sivuilla on riittävästi vapaata turva-aluetta. Vetovaijeri voi katketessaan sinkoutua myös sivulle päin.

Työmaalla tehtävät hitsaustyöt aiheuttavat palovaaran, johon on varauduttava asianmukaisilla suojaustoimenpiteillä ja alkusammutuskalustolla. Hitsauksessa on käytettävä tarkoitukseen soveltuvia suojavälineitä. Suojalasien käyttö on välttämätöntä teräsosia hiottaessa, koska tällöin syntyy kipinöintiä ja metallihiukkasia lentää ympäristöön.

8.3.6 Nosto- ja siirtotyöt

Työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta on säädetty VNa 403/2008:ssa /46/ ja sen muutoksessa VNa 1101/2010 /46/. Nosto- ja siirtotyöitä on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.3. Nostokoneen käyttäjällä pitää olla ammattitutkintotodistus. Käytettävien nostolaitteiden ja nostoapuvälineiden on oltava asianmukaisia ja työhön sopivia sekä määräysten mukaisessa kunnossa ja tarkastettuja (VNa 205/2009 /45/ luku 4).

8.3.7 Tavarannostot

Tavarannostoissa noudatetaan työvälineiden käyttöä päätöstä /46/ ja VNa 205/2009:n /45/ luvun 5 määräyksiä. Tavarannostojen on käsitelty *SILKO-*

ohjeen 1.111 *Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.4. Nostot on suunniteltava siten, ettei taakan alla tai vaara-alueella liikuta noston aikana.

8.3.8 Henkilönostot

Henkilöiden nostamiseen saa käyttää vain tähän tarkoitukseen valmistettuja nostolaitteita, henkilönostimia (VNa 205/2009 /45/ § 22). Henkilönostoja on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.5. Henkilönosto on sallittu tietyissä poikkeustapauksissa myös tavaroiden nostamiseen tarkoitettulla nosturilla tai haarukkatrukilla (VNa 403/2008 ja sen muutosasetus VNa 1101/2010 /46/).

Henkilönostinten tarkastuksia on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 3.5.4.

Silloissa olevat tarkastuskelkat kuuluvat myös henkilönostimien tarkastuksen piiriin.

8.3.9 Tulityöt

Sillan korjaustyömaat ovat tilapäisiä tulityöpaikkoja. Terässillan korjaustyömaalla tulitöitä ovat esimerkiksi

- kaasu- ja kaarihitsaus
 - poltto- ja kaarileikkaus
 - hiilikaaritalttaus
 - laikkahionta- ja katkaisutyöt
 - työt, joissa käytetään nestekaasua
 - työt, joissa käytetään kuumailmapuhaltimia.
- Tulitöiden tekeminen sillankorjaustyömaalla edellyttää aina, että pääurakoitsijalla on kirjallinen tulityösuunnitelma ja tulityölupa. Tulityösuunnitelmaa on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeen 1.111 Työturvallisuus /43/* kohdassa 2.8.

9 LAADUNVARMISTUS JA LAADUNOHJAUS

Laadunvarmistus ja laadunohjaus ovat osa laadunhallintaa. Laadunvarmistuksella tarkoitetaan kaikkia niitä ennalta suunniteltuja ja järjestelmällisiä laadunvarmistus- ja laadunohjaustoimia, joilla pyritään saamaan aikaan asetetut vaatimukset täyttävä lopputulos.

Valvonta- ja tarkastustoimenpiteiden pitää olla virheitä ennaltaehkäiseviä. Korjaustyön tarkastuksista, mittauksista ja työn laadusta vastaa ensisijaisesti urakoitsija, joka tekee työn. Tilaaja voi tehdä lisäksi tarpeellisiksi katsomiaan tarkastuksia.

Siltojen korjausrakentamisessa metallirakenteiden valmistuksen ja asennuksen laadunvarmistuksen tavoitteena on

- ominaisuuksiltaan mahdollisimman hyvin vanhaan rakenteeseen ja käyttötarkoitukseen sopivien materiaalien käyttäminen
- osien ja osakokonaisuuksien virheetön valmistus ja asennus (erityisesti liitokset ja korroosiosuojaus).

Laadunvarmistuksen tavoitteisiin pyritään ensisijaisesti suunnittelun, työnopastuksen ja työnaikeisten tarkastusten ja kokeiden avulla. Materiaalitiedot, testaustulokset ja tarkastuspöytäkirjat taltioidaan laaturaportin yhteyteen kohdan 9.5 mukaisesti.

Laadunvarmistuksen osalta noudatetaan standardia SFS-EN 1090-2 ja sen sovellusohjetta NCCI T /4/.

9.1 Tilaajan laadunvarmistus

Tilaaja varmistaa laadun muun muassa

- ylläpitämällä ohjeita laatuvaatimuksista
- ylläpitämällä korjausohjeita (SILKO-ohjeet)
- hyväksymällä korjauksissa käytetyt tuotteet (SILKO-hyväksyntä) ja urakoitsijat
- tarkastamalla korjaustöiden työkohtaista suunnittelua
- tarkastamalla urakoitsijoiden laatujärjestelmien toimivuutta ja tekemällä pistokoeluonteisia tarkastuksia työkohteissa
- järjestämällä koulutusta.

Tilaajan tärkein vaikuttamisvaihe on periaateratkaisun teko, jossa työlle määritetään sellaiset toteuttamisratkaisut, työmenetelmät ja materiaalit, joilla voidaan saavuttaa paras mahdollinen lopputulos. Lisäksi työlle laaditaan toteuttamiskelpoinen aikataulu sijoittamalla työ sellaiseen ajankohtaan, jolloin korjaus- ja pintakäsittelytyöt onnistuvat parhaiten. Työssä saa käyttää vain etukäteen hyväksytyjä materiaaleja ja pintakäsittelyaineita.

Tilaajalla on oikeus toteuttaa laaduntarkastusta korjaustyön aikana. Tilaajan valvojalla voi olla apunaan joko omaan organisaatioon kuuluva tai ulkopuolinen asiantuntija. Valvojalla on oltava riittävä perustietous teräsrakenteiden korjaamisesta ja pintakäsittelystä.

Tilaajan laadunvarmistus edellyttää ainakin seuraavien asioiden selvittämistä ja varmistamista ennen töiden aloittamista:

- ulkopuolisten asiantuntijoiden ja muiden mahdollisten resurssien käyttö
- valvojan perehdyttäminen työhön ja tarvittava lisäkoulutus
- työhön liittyvät erityisvaatimukset ja riskit
- tilaajan valvontaresurssit ja tarvittavat tarkastusvälineet.

9.1.1 Korjaustyön suunnittelu

Ennen korjaustyön suunnittelua tilaaja on yleensä teettänyt kohteeseen erikoistarkastuksen sekä mahdollisesti kantavuustarkastelun ja koekuormituksen, joihin perustuen laaditaan sillan korjaussuunnitelmat. Tarvittaessa erikoistarkastuksen yhteydessä selvitetään myös teräslaatu ja teräksen hitsattavuus.

Korjaussuunnitelmien laatimista varten tilaaja selvittää tarvittaessa myös nykyiset ja tulevat liikennemäärät, raskaan liikenteen määrät sekä erikoiskuljetustarpeet.

Ennen korjaustyön suunnittelua tilaaja selvittää myös korjattavan sillan mahdolliset levittämistarpeet ja kantavuuden lisäämisen tarpeen.

Pintakäsittelytyön suunnittelua varten tarvitaan tiedot alkuperäisestä pinnoitteesta ja ympäristöolosuhteista sekä luokitteluun perustuva arvio pinnoitteen kunnosta. Pintakäsittelytyön suunnittelua on käsitelty tarkemmin *SILKO-ohjeessa 1.351 Pintakäsittely* [2/].

9.1.2 Urakointimenettely

Tilaaaja teettää työt urakoitsijoilla. Urakkatarjoukset pyydetään vain sellaisilta urakoitsijoilta, joilla on ulkoisen virallisen tarkastuselimen antama hyväksyntä (esim. FI-merkintä tai vastaava) ja yritys kuuluu tämän kyseisen tarkastuselimen säännöllisen vuosittaisen tarkastustoiminnan piiriin. Työhön valitulta urakoitsijalta vaaditaan ennen työn aloittamista työ- ja laatusuunnitelmat, joissa esitetään, miten työ teknisesti toteutetaan, miten eri työvaiheiden laatu varmistetaan ja miten kelpoisuus osoitetaan. Alihankittavista töistä urakoitsijan tulee varmistaa vastaavat laadunvarmistusmenettelyt.

Tarjouspyyntöasiakirjat laaditaan Liikennevirastosta sähköisessä muodossa saatavan urakkaohjelman mukaan käyttäen apuna korjaustyön asiantuntijaa. Korjaustyön tarjouspyyntöä valmisteltaessa kiinnitetään erityistä huomiota seuraaviin asioihin:

- korjaussuunnitelma työkohtaisine laatuvaatimuksineen
- vaihtoehtoiset korjaustavat
- aikataulu
- työnaikainen liikenteenjärjestely
- työturvallisuus
- ympäristönsuojelulle asetetut vaatimukset
- mahdollisessa vesiluvassa esitetyt vaatimukset ja aukkolausunto
- vastuukysymykset (tekniset, työ- ja ympäristönsuojeluun liittyvät, kolmannet osapuolet jne.)
- käyttöikävaatimus
- takuuajojen pituudet.

Ennen sopimuksen allekirjoittamista pidetään valitun urakoitsijan kanssa sopimuskatselmus, jossa käydään läpi tilaajan asettamat laatuvaatimukset, muut urakkaa koskevat ehdot ja urakoitsijan tarjous. Näin varmistetaan, että molemmat osapuolet ovat ymmärtäneet työn laadun ja laajuuden samalla tavalla. Sopimuskatselmuksesta laaditaan pöytäkirja.

9.1.3 Laatujärjestelmän toimivuuden seuranta

Urakoitsijan työtä valvotaan

- laatujärjestelmän toimivuutta arvioimalla
- työ- ja laatusuunnitelmien tarkastamisella
- pistokokein tehtävällä valvonnalla ja tarkastuksella työn aikana.

9.1.3.1 Laatujärjestelmän toimivuuden hankeauditointi

Urakoitsijan laatujärjestelmän toimivuuden hankeauditointia työkohteissa tekee ulkoinen virallinen tarkastuselin, jonka tarkastustoiminnan piiriin urakoitsija kuuluu.

Lisäksi Liikennevirasto tekee urakoitsijoiden laatujärjestelmien toimivuuden hankeauditointeja pistokokein harkitsemassaan laajuudessa. Hankeauditointien tulosten perusteella määritetään urakoitsijan laadunvarmistuksen taso ja sovitaan mahdollisesti tarvittavista korjaavista toimenpiteistä tietyssä määräajan kuluessa. Hankeauditoinnista laaditaan pöytäkirja.

Korjaustyön laadussa tai laatujärjestelmän toimivuudessa havaittuihin poikkeamiin on puututtava heti ja vaadittava urakoitsijalta asiasta selvitys ja poikkeamaraportti, joka sisältää mm. poikkeaman syyn, korjauksen ja toimenpiteet poikkeaman toistumisen estämiseksi. Jos urakoitsijan laatujärjestelmän toimivuudessa ilmenee vakavia tai toistuvia puutteita, tehdään siitä urakoitsijalle kirjallinen huomautus.

9.1.3.2 Työ- ja laatusuunnitelmien tarkastus

Valvoja tarkastaa urakoitsijan laatimat suunnitelmat, joita ovat tämän ohjeen kohdan 5.2.2 mukainen laatusuunnitelma ja kohdan 5.2.1 mukaiset tekniset työsuunnitelmat. Suunnitelmien pitää liittyä kiinteästi urakoitsijan laatujärjestelmään. Suunnitelmat voidaan koota myös yhtenäiseksi laadunvarmistussuunnitelmaksi. Suunnitelmat on luovutettava rakennuttajalle tarkastettavaksi viimeistään viikkoa ennen töiden aloittamista.

Jos urakoitsijan suunnitelmissa esiintyy yleisistä laatuvaatimuksista poikkeavia työmenetelmiä tai työvaiheita, valvojan pitää tarvittaessa keskustella urakoitsijan ja asiantuntijoiden kanssa niiden vaikutuksesta lopputuotteen laatuun.

Suunnitelmat tarkastetaan ennen töiden aloittamista, viimeistään aloituskokouksessa. Suunnitelmien tarkastuksessa kiinnitetään erityistä huomiota laadunvarmistustoiimiin ja siihen, miten urakoitsija varmistuu materiaalitoimittajien ja mahdollisten alihankkijoiden toimitusten laadusta. Urakoitsijan on korjattava suunnitelmissa havaitut puutteet ennen töiden aloittamista.

9.1.3.3 Työnaikaiset tarkastukset

Valvojan tehtäviä ovat korjaustyön lopputulokseen vaikuttavien työvaiheiden pistokoeluonteinen valvonta ja tarkastukset sekä raportointi sovituksessa laajuudessa. Valvojan tulee seurata myös korjausmääriä korjaustyön aikana. Valvojan pitää tuntee työssä käytettävät materiaalit, aineet, työvälineet ja työmenetelmät. Lisäksi hänen pitää hallita valvonta- ja mittausmenetelmät sekä niihin liittyvien välineiden käyttö. Valvojan on kyettävä arvostelevaan työtä vallitsevien olosuhteiden perusteella.

Valvoja ja urakoitsijan vastuuhenkilö käyvät läpi tekniset urakka-asiakirjat, jotta ei syntyisi tulkin- taerimielisyyksiä. Valvoja harkitsee työn vaativuuden ja laajuuden perusteella, missä määrin hän osallistuu eri työvaiheiden tarkastuksiin. Valvojan pitää olla selvillä työn etenemisestä ja tärkeiden työvaiheiden suoritusajoista. Pistokoetarkastukset tehdään yleensä valmiille työvaiheille tai koko työlle sen jälkeen, kun urakoitsija on tehnyt omat laatumittauksensa.

Valvojan tarvitsemia apuvälineitä ovat

- tarvittavat asiakirjat
- tarvittavat mittalaitteet
- digikuvauslaitteet
- teräspinnan ja ilman lämpömittarit
- taskulamppu, peili ja puukko
- vahaton merkkaukoliitu
- muistiinpanovälineet
- lisäksi pintakäsittelytyöiden valvonnassa tarvittavat apuvälineet *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdan 9.1.3.3 mukaisesti.

Lisäksi valvojalla pitää olla tarvittaessa käytettävissään

- NDT-tarkastaja
- mittamies ja nykyaikainen mittauskalusto
- pintakäsittelytyöiden testauksessa tarvittavat testauslaitteet ja -mittarit *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdan 9.1.3.3 mukaisesti.

Valvoja kiinnittää työnaikaisissa pistokoetarkastuksissa huomiota muun muassa seuraaviin asioihin urakoitsijan toiminnassa:

- Henkilöstön pätevyys.
- NDT-tarkastajien pätevyys ja tarkastuksia tekevän organisaation akkreditointi.
- Tarkastus- ja mittausvälineet eli niiden
 - kunto ja toimivuus
 - kalibrointi ja sen kirjanpito.
- Materiaalien käyttö eli
 - oikeat teräslaadut
 - oikeat ruuvi- ja muut kiinnitystarvikkeet (mm. teräslaatu, lujuusluokka, tarkkuusluokka)

- oikeat levypaksuudet ja profiilit
- materiaalien säilytysolosuhteet ja varastointi
- hitsauspuikkojen ja -aineiden säilytysolosuhteet.
- Korjattavien kohtien puhdistus ja viimeistely eli
 - esipuhdistus, pintojen pesu
 - puhdistusaste, ruosteenpoisto
 - terästyön laatuaste
 - pintakäsittelyn tarkastuksissa huomioitavat asiat on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 9.1.3.3.
- Korjaustyö eli
 - työmenetelmät ja työvälineet
 - työn toteuttaminen teknisten työsuunnitelmien, asennussuunnitelmien sekä muiden työsuunnitelmien mukaisesti
 - korjausolosuhteet mm. hitsaustöiden yhteydessä (sääsuojaus, tuulisuus, lämpötila, hitsisauman lämpösuojaus, hitsisauman kosteus)
 - hitsaustöiden tekeminen menetelmäkokeissa (WPS) määritetyn mukaisesti (mm. esilämmityksen käyttö ja lämpösuojaus)
 - työskentelyolosuhteet: pääsy työkohteeseen, valaistus, tuulisuus
 - tarvittavat suojaustoimet (aikaisemmin maalatut pinnat, betonipinnat, rakenneosien myöhemmin hitsattavat kohdat, vaarnapulkit, liikenne)
 - ruuvi- ja hitsiliitoksien sovitukset
 - ruuviliitoksissa oikeat kiristysmenetelmät, kiristysjärjestys, kiristysmomentit ja lukitus
 - kitkaliitoksissa kosketuspintojen pintalojen riittävyys ja oikea käsittely
 - NDT-tarkastuksien tekeminen
 - työturvallisuus (katso turvallisuusasiakirja)
 - ympäristönsuojelu: jätteen talteenotto, ongelmajätteiden käsittely, pölyn leviäminen
 - liikennejärjestelyt ja liikenteen ohjaus.
- Korjattu rakenne silmämääräisesti tarkastettuna ennen pintakäsittelyä eli
 - liitosten sovitukset
 - rakenteen mitat, oikea muoto ja suoruus
 - hitsien kelvollisuus ja viimeistely (mm. väsytyrasitettujen hitsiliitosten hionta ja muotoilu)
 - kulmien pyöristys

Pintakäsittelyyn liittyviä työnaikaisia tarkastuksia on käsitelty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 9.1.3.3,

9.1.3.4 Työn laadun arviointi

Valvoja arvioi korjaustyön laatutasoa työn aikana sekä työn valmistuttua omien havaintojensa ja

urakoitsijan tekemien kelpoisuusmittausten ja -tarkastusten perusteella vertaamalla saatu- ja tarkastustuloksia sekä keskenään että suunnitelmien mukaisesti laatuvaatimukseen. Kohdekohtaiset laatuvaatimukset on esitetty suunnitelmissa. Muilta osin noudatetaan yleisiä

laatuvaatimuksia, jotka ovat esitetty Liikenneviraston sovellusohjeessa NCCI T /4/ sekä standardissa SFS-EN 1090-2.

Riitatapauksessa käytetään molempien osapuolten hyväksymää puolueetonta asiantuntijaa.

9.2 Urakoitsijan laadunvarmistus

Urakoitsija noudattaa laadunvarmistuksessaan laadunhallintajärjestelmänsä ja Liikenneviraston ohjeita.

Urakoitsija käynnistää työkohteen laadunvarmistuksen suunnittelemalla työt työkohtaisesti vaiheittain tilaajan asettamien laatuvaatimusten mukaisesti soveltaen suunnittelussa yrityksen laatujärjestelmää. Suunnitelmiin kuuluvat työ- ja työvaihekohtaiset laatusuunnitelmat sekä tekniset työsuunnitelmat mm. asennussuunnitelma. Ne voidaan yhdistää yhdeksi suunnitelmaksi.

Urakoitsijan pitää huolehtia lisäksi

- työssä käytettävien aineiden ja tarvikkeiden laadun varmistamisesta
- työn tekemisestä suunnitelman ja laatujärjestelmän ohjeiden mukaisesti
- työnaikaisesta laaduntarkastuksesta ja laadunohjauksesta
- kelpoisuuden osoittamisesta.

Työn aikana ja valmiista rakenteesta tehdyistä tarkastuksista ja mittauksista laaditaan pöytäkirjat kelpoisuuden osoittamista varten. Kaikki työn aikana kertyneet poikkeamaraportit liitetään pöytäkirjoihin. Kelpoisuusaineisto kootaan työn valmistuttua sillan laaturaportiksi kansioon sisällysluettelolla ja välilehdillä varustettuna.

9.2.1 Henkilöstön pätevyys

Urakoitsijalla pitää olla käytettävissään ammattitaitoinen ja laatujärjestelmän mukaisesti koulutettu korjaustyötä tekevä henkilökunta, jonka pätevyys voidaan osoittaa kirjallisesti. Henkilöstön pätevyysvaatimukset on esitetty sovellusohjeen NCCI T /4/ kohdassa 3.1.

9.2.2 Työ- ja mittausvälineet

Urakoitsijalla pitää olla asianmukaiset ja kunnossa olevat työvälineet ja koneet sekä kalibroidut, laaduntarkastukseen ja kelpoisuusmittauksiin soveltuvat mittalaitteet.

9.2.3 Työnohjeistus ja mallityöt

Työvälineiden, koneiden ja laitteiden käyttöä varten on annettava tarpeellinen määrä työnohjeistusta. Tarvittaessa tehdään ennakkokokeita, esimerkiksi hitsauksesta, korjaustyötä vastaavissa olosuhteissa. Näin työntekijöille muodostuu havainnollinen käsitys työssä huomioon otettavista seikoista. Samalla työntekijät motivoituvat tekemään työn oikein ja vastuuntuntoisesti.

9.2.4 Laadunohjaus ja laaduntarkastukset

Urakoitsijan pitää toteuttaa laadunohjaus, laaduntarkastus ja laatumittaukset hyväksytyjen työvaihekohtaisten laatusuunnitelmien mukaan ja niissä esitetyssä laajuudessa.

Urakoitsijan laadunohjaukseen ja -tarkastuksiin kuuluu

- työntekijöiden perehdyttäminen tilaajan asettamiin laatuvaatimukseen, työ- ja laatusuunnitelmien sisältöön sekä työn laaturiskeihin
- korjausmateriaalien ja -aineiden vastaanotto ja tarkastus
- olosuhteiden seuranta työvaiheiden aikana
- laaduntarkastus työn aikana työvaiheittain
- laaduntarkastukset ja mittaukset työvaiheittain ennen seuraavan työvaiheen aloittamista (muun muassa silmämääräiset tarkastukset, NDT-tarkastukset ja mittatarkastukset)
- laatu-poikkeamien raportointi, virheiden korjaaminen ja tarvittavat toimenpiteet virheiden toistumisen estämiseksi
- vaatimustenmukaisuuden osoittaminen tarkastusten ja mittausten perusteella
- laadun raportointi tilaajalle.

Työnaikana tehtäviä tarkastuksia ja mittauksia on käsitelty tarkemmin kohdassa 9.3.

Vaatimustenmukaisuuden osoittamista on käsitelty tarkemmin kohdassa 9.4.

Laadun raportointia tilaajalle on käsitelty tarkemmin kohdassa 9.5.

9.3 Työnaikaiset tarkastukset ja mittaukset

Korjaustyön aikana ja työn valmistuttua pitää tehdä laadun toteamiseksi ainakin taulukossa 3 esitetyt tarkastukset ja mittaukset. Taulukossa on esitetty myös hyväksymisperusteet ja korjaustoimenpiteet.

Pintakäsittelytyön aikana ja sen valmistuttua pintakäsittelyn laadun toteamiseksi tehtävät tarkastukset on esitetty *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdassa 9.3.

Urakoitsijalla pitää olla asianmukaiset ja kunnossa olevat sekä kalibroidut, laaduntarkastukseen ja vaatimustenmukaisuusmittauksiin soveltuvat mittalaitteet. Hitsiliitosten tarkastajalla on oltava standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 mukainen tai sitä vastaava pätevyys NDT-tarkastuksiin

Taulukko 3. Teräsrakenteiden korjauksissa vaadittavat tarkastus-, testaus- ja korjaustoimenpiteet.

| TARKASTUSKOHDDE | MENETELMÄ | LAAJUUS | HYVÄKSYMISPERUSTEET | KORJAUSTOIMENPITEET |
|--|---|--------------------------------------|--|--|
| 1. Teräsmateriaali -teräslaatu -pinnan laatuluokka | Ainestodistukset Silmämääräinen tarkastelu | Kaikki uudet teräsovat | Vaadittu teräslaatu ja pinnan laatuluokka esitetty korjaussuunnitelmissa | Teräslaadun vaihtaminen Pinnan vikojen korjaaminen |
| 2. Olosuhteet hitsauksissa - teräksen lämpötila - sauman kosteus - tuulisuus - hitsisauman jäähtyminen | Lämpötilan ja kosteuden mittaus sekä tuulisuuden seuranta suoja-kaasuja hitsauksessa käytettäessä | Jatkuva seuranta | Menetelmäkokeeseen perustuva WPS Hitsirailossa ei sallita kosteutta | Teräksen lämmitys Kosteuden poistaminen saumakohtaa lämmittämällä Sääsuoja Hitsisauman lämpösuojaus |
| 3 Hitsaustyö -railomuoto ja puhtaus -hitsausjärjestys -hitsausparametrit -lisäaineet -suoja-kaasu -hitsausasento -poltinkulma -aloitus- ja lopetuspa- lojen käyttö -juurituen käyttö -erityisvaatimukset esim. hitsin hionta | Työtapojen ja -menetelmien seuraaminen silmämääräisesti. Lisäaineiden ja suoja-kaasujen kelpoisuuden tarkastaminen tuoteselosteiden perusteella. | Jatkuva seuranta | Menetelmäkokeeseen perustuva WPS | Työtapojen ja menetelmien muuttaminen WPS:n ja teknisten työsuunnitelmien vaatimusten mukaisiksi |
| 4. Hitsisaumojen NDT -tarkastukset (soveltuvilta osin myös rakenteen tarkastaminen säröjen varalta sekä poistettavien nostoelinten kiinnityskohtien tarkastus) | Silmämääräinen tarkastus Ultraäänitarkastus Magneettijauhetaarkastus Röntgentarkastukset Tunkeumanestetarkastus | Korjaussuunnitelmien mukaisesti | SFS-EN ISO 17637 (VT) SFS-EN ISO 11666 (UT) SFS-EN ISO 23278 (MT) SFS-EN ISO 10675-1 (RT) SFS-EN ISO 23277 (PT) (säröjä ei sallita) | Hitsisauman avaus ja uudelleen hitsaus |
| 5. Ruuviliitoksien tarkastus -oikeat ruuvitarvikkeet -kitkaliitoksien kosketuspintojen pinta-ala ja oikea käsittely (karheus) -ruuvien esijännitys -lukitus | Ruuvitarvikkeiden ainestodistukset ja varmennetut käyttöselosteet. Kosketuspinta-alojen tarkistus silmämääräisesti. Kosketuspintojen oikean käsittelyn ja karheuden tarkistus silmämääräisesti. Vääntömomenttimenetelmässä ruuvien esijännitys tarkistetaan kalibroidulla momenttiavaimella. Lukituksen tarkistus silmämääräisesti. | Kaikki rakenteelliset ruuviliitokset | Korjaussuunnitelmassa esitetyt vaatimukset -ruuvitarvikkeille -kosketuspintojen pinta- alalle, käsittelylle ja karheudelle -kivistysmomentille -lukitukselle | Ruuvitarvikkeiden vaihto Liitoksen uudelleen- sovitus Kosketuspintojen uudelleen käsittely Uusi kiristyskierron Lukitseminen |
| 6. Terästyön laatuaste - terävät särmät - hitsausroiskeet | SFS 8145 tai SFS-EN ISO 8501-3 Silmämääräinen tarkastus | Kaikki pinnat | Korjaussuunnitelman mukaisesti | Puutteiden korjaus |
| 7. Valmiin rakenteen mitat ja muoto | Mittaus Silmämääräinen tarkastelu | Korjaussuunnitelman mukaisesti | Korjaussuunnitelman mukaisesti | Rakenteen korjaus tai arvonalennus |

9.3.1 Materiaalien tarkastus

Kantaviin rakenneosiin tulevista rakenneteräksistä vaaditaan teräksen toimittajalta standardin SFS-EN 10204 mukainen aineodistus. Aineodistustyyppi määritetään tilauksessa; yleensä se on todistus 3.1.

Ennen työn aloittamista on varmistettava, että korjaamisessa käytetään vain sellaisia aineita ja tarvikkeita, jotka korjauskohteeseen on valittu ja joiden vaatimustenmukaisuus on etukäteen luotettavasti todettu.

Aines- ja tarviketodistukset on tarkastettava ennen valmistuksen aloittamista ja todettava, että

- materiaalit ovat aineodistusten mukaisia
- materiaalien laatu, lujuusominaisuudet, iskusitkeydet ja mitat ovat suunnitelmissa asetettujen vaatimusten mukaiset.

Samalla on tarkastettava valmistuspaikalle saapuneen materiaalin päämitat, muoto sekä materiaali- ja sulatusnumeromerkinnät. Tarkastuksen yhteydessä todetaan lisäksi levymateriaalin pinnan laatu ja aaltomaisuus sekä tarvittaessa kerroksellisuus. Tarkastustuloksia verrataan materiaalien aines- tai tarkastustodistuksiin. Tarkastuksesta tehdään pöytäkirja.

Pysyviin rakenteisiin tulee käyttää metallisia materiaaleja ja tarvikkeita, joiden laatu ja vaatimustenmukaisuus on etukäteen todettu. Tuotteiden valmistuksen on oltava hyväksytyt laadunvalvonnan alaista ja laadunvalvontakokeiden tulosten tulee olla saatavissa.

9.3.2 Konepajatyön tarkastus

Valmistajan on jatkuvin mittauksin ja tarkastuksin todettava, että rakenneosat valmistuttuaan täyttävät niille asetetut laatuvaatimukset. On varmistettava, että osien valmistuksessa käytetään hyväksytyt valmistussuunnitelman mukaisia materiaaleja ja tarvikkeita, työjärjestystä ja työmenetelmiä.

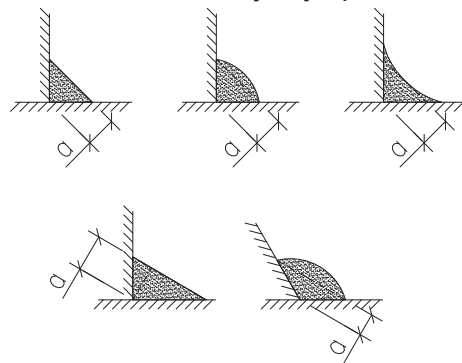
Konepajatyöstä tarkastetaan

- hitsirailot
- hitsit silmämääräisesti
- hitsiliitokset NDT-tarkastuksin
- viimeistely silmämääräisesti
- rakenneosien mitat ja muoto
- vaarnapulttien hitsautuminen.

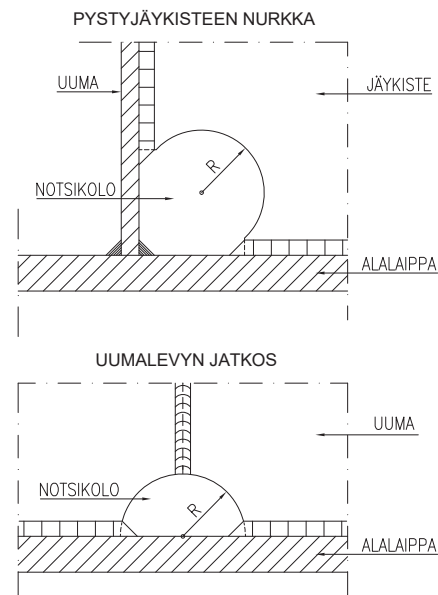
Rakenneosien mittatarkastuksia tehdään valmistuksen kaikissa vaiheissa ennakoiden mm. hitsausliitosten aiheuttamat muodonmuutokset ja valmistuslämpötila.

Viimeistelyn laatu todetaan silmämääräisesti ennen pintakäsittelyä heti suihkupuhdistuksen jälkeen, jos osat pintakäsitellään jo konepajalla. Samalla tarkastetaan myös hitsiliitokset. Viimeistelyn tarkastuksessa todetaan muun muassa, että kaikki terävät särmät on pyörästetty, hitsausroiskeet on poistettu sekä epätasaiset polttoleikkausjäljet, kolot ja naarmut on tasoitettu hiomalla suunnitelman mukaiseen terästyön laatuasteeseen standardin SFS-EN ISO 8501-3 mukaan. Polttoleikatun pinnan arvostelu tehdään standardin SFS-EN ISO 9013 mukaan.

Hitsiliitokset tarkastetaan silmämääräisesti ottaen huomioon standardin SFS-EN ISO 5817 vaatimukset. Samalla pienahitsien a-mitat (kuva 88) tarkastetaan a-mittaimella. Erityistä huomiota kiinnitetään notsikolojen ympäristöön (kuva 89).



Kuva 88. Pienahitsin a-mitta.



Kuva 89. Esimerkkejä notsikoloista.

Valmiit rakenneosat mitataan työpiirustuksiin vertaillen siten, että varmistutaan niiden riittävästä mittatarkkuudesta. Rakenneosan päämitat ja liitoskohdat sillan rakenteisiin on myös tarkastettava.

Konepajatyön tarkastuksen aikana saatuja tarkastustuloksia verrataan rakenneosille asetettuihin vaatimuksiin. Jos työn laatu ei ole vaatimusten mukainen, tehdään tarvittavat korjaavat toimenpiteet

9.3.3 Asennustyön tarkastus

Asennustyön aikana tehtävissä tarkastuksilla varmistutaan siitä, että

- työt tehdään hyväksytyin asennussuunnitelman mukaista työjärjestystä noudattaen
- työssä käytetään suunnitelman mukaisia työ- ja apuvälineitä ja lisäaineita
- osien ja aineiden säilytys ja käsittely on suunnitelman ja tuoteselosteiden mukaista.

Pääasialliset tarkastustavat myös asennuksen yhteydessä ovat silmämääräinen tarkastus ja erilaiset mittaukset, joilla todetaan, että työt on tehty asennussuunnitelman mukaan.

Asennussuunnitelmassa pitää esittää tarkastettavat asiat ja kohteet sekä niiden toleranssit. Asennustyöstä tarkastetaan vähintään

- asennetun rakenteen päämitat
- asennusliitokset silmämääräisesti ja NDT-tarkastusmenetelmin
- poikkileikkausten mitat asennusliitosten kohdilta.

9.4 Vaatimustenmukaisuuskokeet

Vaatimustenmukaisuuskokeilla tarkoitetaan metallisista materiaaleista ja tarvikkeista tehtyjä

- testejä, analyysyjä ja tarkastuksia
- valmiiden rakenneosien ja asennettujen rakenteiden mitta- ja silmämääräisiä tarkastuksia
- liitoksille tehtyjä tarkastuksia ja testejä
- työnaikaisia olosuhdemittauksia
- pintakäsittelyn tarkastuksia (pinnoitteiden paksuus- ja tartuntamittauksia, olosuhdemittauksia ja silmämääräisiä tarkastuksia).

Vaatimustenmukaisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat metallien materiaaliominaisuudet, rakenneosien ja asennetun rakenteen sijainti, muoto ja mittatarkkuus sekä liitosten ja pintakäsittelyn ominaisuudet.

Asennetusta rakenneosasta tarkastetaan ja todetaan erityisesti asennusliitokset, asema, muoto ja pintakäsittelyn laatu. Asennustyön ja asennetun rakenteen laadunvalvonnassa ja tarkastuksissa noudatetaan kohdissa 9.3.1 ja 9.3.2 mainittuja standardeja ja ohjeita.

Jos rakenneosa on kiinnitetty siltaan hitsaamalla, hitsit tarkastetaan viimeistelyn, hitsien laadun ja pienahitsien a-mittojen osalta samalla tavalla kuin konepajallakin. Lisäksi liitoksille tehdään suunnitelman mukaiset NDT-tarkastukset.

Rakenneosan mitat, muoto, asema ja sijainti tarkastetaan. Tarkastuksessa kiinnitetään erityishuomio liitosalueisiin. Silmämääräisesti ja tarvittaessa mittauksin todetaan mahdolliset liitoskohtien porrastukset ja taitteet sekä muotovirheet. Sallittua suuremmat laatupoikkeamat pyritään aina ensisijaisesti korjaamaan.

Ruuvi- ja kitkaliitosten tarkastuksessa todetaan liitososien keskinäinen sopivuus, liitospintojen kunto, ruuvien kireys ja viimeistelyn osalta särmien pyöritykset sekä liitososien saumojen tiivistäminen.

9.3.4 Pintakäsittelyn tarkastus

Pintakäsittelyn tarkastuksissa noudatetaan *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* ohjeita.

9.4.1 Materiaalien koostumus, lujuus ja muut mekaaniset ominaisuudet

Metallisten materiaalien koostumus, lujuus ja muut mekaaniset ominaisuudet todetaan materiaalien valmistajan tekemien testien ja analyysien tulosten perusteella. Valmistus- ja/tai toimituseriin kuuluvat materiaalitodistukset kootaan ja tarvittaessa kohdistetaan siltaan asennettuihin rakenteisiin suunnitelmassa esitetyllä tavalla. Materiaalien tarkastuksesta laaditaan pöytäkirja.

9.4.2 Rakenneosien ja rakenteiden mittatarkkuus

Valmiille rakenneosille ja asennetuille rakenteille tehdään valmistussuunnitelman mukaiset mittatarkastukset, joista laaditaan pöytäkirjat. Mittauk-

sisä todetaan rakenteiden pää- ja poikkileikkausmitat sekä muoto, sijainti ja asema vanhaan rakenteeseen nähden.

9.4.3 Silmämääräiset tarkastukset

Valmiille rakenneosille, asennetuille rakenteille ja niiden varusteluosille tehdään sataprosenttinen silmämääräinen tarkastus, jossa todetaan mm. rakenteiden ja osien viimeistelyn taso, ulkonäkö, sopiminen vanhoihin rakenteisiin ja liitosten laatu. Tarkastuksista tehdään pöytäkirjat.

9.4.4 Liitosten ainetta rikkomattomat tarkastukset

Metallirakenteiden liitokset tarkastetaan korjaussuunnitelman esittämässä laajuudessa valmistus- ja asennussuunnitelmassa tarkemmin kuvatulla

tavalla. Hitsiliitosten tarkastusmenetelmiä ovat lähinnä ultraääni- ja magneettijauhetarkastukset sekä ruuvi- ja kitkaliitosten tarkastuksia kiristysvääntömomentin mittaukset. Hitsien tarkastukset tehdään sovellosohjeen NCCI T /4/ kohdan 3.11.4 ja standardin 1090-2 kohdan 12.4 mukaisesti. Ruuvi- ja kitkaliitosten tarkastukset tehdään sovellosohjeen NCCI T /4/ kohdan 3.11.5 ja standardin 1090-2 kohtien 12.5.1 ja 12.5.2 mukaisesti. Tarkastuksista tehdään pöytäkirjat.

9.4.5 Pintakäsittelyn tarkastukset

Rakenteiden pintakäsittely tarkastetaan vaiheittain korjaussuunnitelmassa ja pintakäsittelyn laatusuunnitelmassa tarkemmin kuvatulla tavalla. Tarkastuksetjaniidokumentointitehdään *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* mukaisesti.

9.5 Sillan laaturaportti ja korjaustyön laatuaineiston taltiointi

Urakoitsijan velvollisuus on osoittaa tilaajalle tekemänsä metallirakenteen korjaustyön vaatimustenmukaisuus. Urakoitsija laatii korjaustyön valmistuttua tekemistään tarkastuksista ja laatumittauksista korjaustyön laaturaportin, joka on yhteenvedo korjaustyön laadusta. Laaturaportti on kaksiosainen sillan laaturaportti, joka laaditaan julkaisun Sillan laaturaportti, Laatumisohje /52/ mukaan. Metallirakennetöiden laaturaportti on yleensä osa koko sillan korjaustyön laaturaporttia. Laaturaportti luovutetaan tilaajan valvojalle tarkastettavaksi viimeistään kaksi viikkoa ennen urakan vastaanottotarkastusta. Urakoitsijan laatiman laaturaportin tuloksia verrataan asetettuihin laatuvaatimukseen kelpoisuuden toteutukseen.

Laaduntarkastus- ja mittaustulosten tulee olla jäljitettävissä korjattuun rakenteeseen yksikäsitteisesti. Myös hitsien laadunvarmistus ja tarkastustulokset (mm. NDT-tarkastukset) tulee olla jäljitettävissä yksiselitteisesti korjattuun rakenteeseen.

Laaturaportin osassa 1 esitetään yleistiedot korjattavasta sillasta ja korjaustyöstä, yhteenvedo korjaustyön kokonaislaadusta, poikkeamaraaporttiluettelo, poikkeamaraaportit ja poikkeamien korjaussuunnitelmat, työmaapäiväkirjat, luettelo käytetyistä materiaaleista ja tarvikkeista, tärkeimmät materiaalitodistukset, laboratoriotutkimus- ja mittaustulokset, olosuhteraaportit, työvaihekohtaiset laatu-yhteenvedot, työn aikana otetut digitaaliset valokuvat sekä tarvittaessa

toteutumapiirustukset ja sillan päämittojen ja sijainnin mittauspöytäkirjat. Pienissä ja yksinkertaisissa töissä työvaiheen laatu-yhteenvedo toimii myös silmämääräisen tarkastuksen pöytäkirjana.

Metallirakennetöiden työvaihekohtaisessa laatu-yhteenvedossa ja siinä liitteinä olevissa dokumenteissa esitettäviä asioita ovat

- pääurakoitsija sekä metallirakenteiden valmistaja ja asentaja ja pintakäsittelijä
- hitsaajien ja hitsauskoordinaattorien pätevyystodistukset
- NDT-tarkastajien pätevyystodistukset ja organisaation akkreditointitodistus
- luettelo kaikista käytetyistä materiaaleista ja tarvikkeista
- materiaalien aines-todistukset ja tuoteselosteet
- hitsauksen lisäaineiden ja suojakaasujen materiaalitodistukset ja tuoteselosteet
- ruuvitarvikkeiden aines-todistukset ja varmennettujen käyttöselosteiden numerot
- valmistuksessa ja asennuksessa tehtyjen hitsi-, ruuvi- ja kitkaliitosten tarkastuspöytäkirjat (mm. NDT-tarkastuksien pöytäkirjat)
- asennetun rakenteen päämittojen ja silmämääräisen tarkastuksen tarkastuspöytäkirjat (mm. rakenteen tarkemmittaustarkastuspöytäkirjat)
- pintakäsittelyn tarkastuspöytäkirjat *SILKO-ohjeen 1.351 Pintakäsittely /2/* kohdan 9.4 mukaisesti (olosuhtemittausten, esikäsitteilyasteen ja terästyön laatuasteen, kalvonpaksuuden, huokoisuuden, tartunnan ja silmämääräisen

- tarkastuksen pöytäkirjat) ja tiedot pintamaalien värisävyistä
- konepajavalmistuksen mittapöytäkirjat ja silmä-määräisen tarkastuksen pöytäkirjat
 - todennus rakenteen vastaavan suunnitelmia.

Laaturaportin osassa 2 esitetään korjaustyön laadunvarmistussuunnitelma, työvaiheiden laatusuunnitelmat ja tekniset työsuunnitelmat tai niiden yhdistelmät (valmistussuunnitelmat, asennussuunnitelmat, purkusuunnitelmat, hit-saussuunnitelmat, pintakäsittelysuunnitelmat jne.) sekä materiaalien ja konepajavalmistuksen edellä mainitsemattomat mittaus- ja tarkastusraportit.

Laatuaineiston tarkastuksen ja mahdollisten täydennysten ja korjausten jälkeen ne taltioidaan ELY-keskuksen silta-arkistoon.

Laaturaporttia voidaan hyödyntää suunniteltaessa muita vastaavia korjausprojekteja. Laaturaporttia tarvitaan aina silloin, kun sillan korjaus tai huolto-korjaus on taas ajankohtainen.

10 RINNAKKAISET OHJEET

Ohjetta käytettäessä on selvitettävä, onko viitteeseen mahdollisesti tullut muutoksia.

10.1 Muut ohjeet (viiteluettelo)

- /1/ Teräsrakenteet. Metallit sillankorjaus-materiaalina. Helsinki: Liikennevirasto 2010. 53 s. TIEH 2230095 – SILKO 1.301.
- /2/ Teräsrakenteet. Pintakäsittely. Helsinki: Liikennevirasto 2015. 89 s. LIVI 2230095 – SILKO 1.351.
- /3/ Teräsrakenteet. Teräspalkin ylälaipan kunnostus. Helsinki: Tiehallinto 2009. 10 s. TIEL 2230096 – SILKO 2.332.
- Teräsrakenteet. Kaidepylvään juuren kunnostus. Helsinki: Tiehallinto 2003. 11 s. TIEH 2230096 – SILKO 2.331.
- Teräsrakenteet. Teräslaakerin huoltokäsittely. Helsinki: Tiehallinto 2004. 8 s. TIEL 2230096 – SILKO 2.353.
- /4/ Standardin SFS-EN 1090-2 soveltamisohje, Teräsrakenteiden toteutus – NCCI T. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 28/2014. 119 s.+ 2 liitettä. ISBN 978-952-255-494-9.
- /5/ Teräsrakenteet. Teräsputkisillan korjaaminen. Helsinki: Tiehallinto 2006. 12 s. TIEL 2230096 – SILKO 2.341.
- /6/ Teräsputkisillat - Suunnitteluohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 10/2014. 69 s + 3 liitettä. ISBN 978-952-255-428-4.
- /7/ Siltojemme historia. Helsinki. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 525 s. ISBN 951-758-446-6.
- /8/ Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 24/2014. 111 s.+ 1 liite. ISBN 978-952-255-483-3.
- /9/ Taitorakenteiden tarkastusohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 17/2013. 125 s.+ 8 liitettä. ISBN 978-952-255-275-4.
- /10/ Sillantarkastuskäsikirja. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 26/2013. 90 s. + 10 liitettä. ISBN 978-952-255-318-8.
- /11/ Teräsrakenteet. Ruostumisasteen Ri 3 vertailuas-teikot. Helsinki: Tie- ja vesirakennushallitus 1986. 5 s. TVH 735175 – SILKO 1.353.
- Teräsrakenteet. Ruostumisasteen Ri 4 vertailuas-teikot. Helsinki: Tie- ja vesirakennushallitus 1986. 3 s. TVH 735175 – SILKO 1.354.
- Teräsrakenteet. Ruostumisasteen Ri 5 vertailuas-teikot. Helsinki: Tie- ja vesirakennushallitus 1986. 3 s. TVH 735175 – SILKO 1.355.
- /12/ Sillanrakennuksen oppikirja, Otava 1959, 206 s. (Julkaisua ei ole yleisesti saatavilla.)
- /13/ Siltojen vuositarkastusohje. Helsinki: Tiehallinto 2009. 42 s + 3 liitettä. TIEH 2200020-v-09. ISBN 978-952-221-240-5.
- /14/ Rautatiesiltojen vuositarkastusohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 32/2014. 46 s + 2 liitettä. ISBN 978-952-317-025-4.
- /15/ Sillan vuositarkastuslomake (doc-tiedosto).
- /16/ Rautatiesillan vuositarkastuslomake (doc-tiedosto) Liikennevirasto 2014.
- /17/ Sillan laajennettu yleistarkastus, osa 1: Terässillat Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 31/2010. ISBN 978-952-255-052-1.
- /18/ Sillan laajennettu yleistarkastus ja huolto-ohje, osa 2: Köysisillat. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 22/2011. ISBN 978-952-255-741-4,
- /19/ Siltojen yleistarkastusten laatuvaatimukset. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 9/2014. ISBN 978-952-255-427-7.
- /20/ Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 1/2010. ISBN 978-952-255-005-7.
- /21/ Taitorakenteiden erikoistarkastuksen laatuvaatimukset. (Kyseinen ohjeen laatiminen on kesken tämän ohjeen julkaisun aikana)
- /22/ Siltojen monitorointikäsikirja. Helsinki: Liikenneviraston oppaita 2/2016. ISBN 978-952-317-322-4.
- /23/ Siltojen monitorointiohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 18/2016. ISBN 978-952-317-193-0.
- /24/ Siltapölkkyjen vaihtaminen tukikerroksettomilla ratasilloilla 1228/731/98, 25.8.1998 RHK/Kun"
- /25/ Teräsrakenteet. Kaiteen paikkamaalaus. Helsinki: Tiehallinto 2004. 7 s. TIEH 2230096 – SILKO 2.351.
- /26/ Teräsrakenteet. Pintakäsittelyn korjaustoimenpiteen määrittäminen. Helsinki: Tiehallinto 1991. 8 s. TIEL 2230095 – SILKO 1.356.

- /27/ Teräsrakenteet. Teräsputken korjaustoimenpiteen määräitys. Helsinki: Tielaitos 1992. 4 s. TIEL 2230095 – SILKO 1.357.
- /28/ Siltojen kantavuuslaskentaohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 36/2015. ISBN 978-952-317-196-1.
- /29/ Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastusohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 30/2014. ISBN 978-952-255-500-7.
- /30/ Eurokoodin soveltamisohje, Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu – NCCI 4. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 27/2016. ISBN 978-952-317-306-4.
- /31/ Varasiltakaluston hoito- ja varastointiohje. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 24/2015. 26 s. ISBN 978-952-317-145-9.
- /32/ Liikenne tietyömaalla – Pätevyysvaatimukset ja työturvallisuuden perusteet. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 1/2011. 23 s. ISBN 978-952-255-612-7.
- /33/ Liikenne tietyömaalla – kunnossapitotyöt. Liikennejärjestelyt ja työturvallisuus tien kunnossapitotyössä. Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 3/2011. 23 s + 11 liitettä. ISBN 978-952-255-740-7.
- /34/ Liikenne tietyömaalla, Tienrakennustyömaat. Helsinki: Tiehallinto 2009. 31 s. ISBN 978-952-221-155-2. TIEH 2200053-09.
- /35/ Sillansuunnittelun lähtötiedot, suunnitteluvaiheen ohjaus. Helsinki: Tiehallinto 2005. ISBN 951-803-529-6. TIEH 2100031-v-05
- /36/ Yleisohjeet. Ympäristönsuojelu. Helsinki: Liikennevirasto 2011. 19 s. LIVI 2230095 – SILKO 1.112.
- /37/ Siltojen rakennelaskelmat Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 12/2012. 29 s. ISBN 978-952-255-146-7.
- /38/ Siltojen suunnitelmat, Tiehallinto, Siltayksikkö Helsinki 2000. 30 s. ISBN 951-726-615-4.
- /39/ Siltojen tietomalliohje Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 6/2014. 57 s. ISBN 978-952-255-414-7.
- /40/ InfraRYL 2006 Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3: Sillat ja rakennustekniset osat. 278 s. ISBN 978-951-682-882-7.
- /41/ Sillan kustannusarvio. Helsinki: Tiehallinto 2008. ISBN 978-951-803-393-4, TIEH 2100012-v-08.
- /42/ Sillan määräluettelo. Helsinki: Tiehallinto 2008. ISBN 978-951-803-892-7, TIEH 2100052-v-07.
- /43/ Yleisohjeet. Työturvallisuus. Helsinki: Liikennevirasto 2012. 39 s + 6 liitettä (SILKO 1.111). LIVI 2230095 – 1.111.
- /44/ Radanpidon turvallisuusohjeet (TURO). Liikenneviraston ohjeita 6/2015. 73 s. Helsinki: Liikennevirasto 2015. ISBN 978-952-317-061-2.
- /45/ Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (VNa 205/2009).
- /46/ Valtioneuvoston asetukset työvälineiden turvallisuudesta käytöstä ja tarkastamisesta nk. käyttöasetus (VNa 403/2008 ja muutos VNa 1101/2010).
- /47/ Yleisohjeet. Polymeerit sillankorjaus-materiaalina. Helsinki: Tiehallinto 1990. 33 s + 2 liitettä (SILKO 1.202). TIEL 730095.
- /48/ Siltojen tukitelineet - 2007. Helsinki: Tiehallinto 2008. ISBN 978-952-221-025-8, TIEH 2000023-v-08.
- /49/ Tukikerroksettömien rautatiesiltakansien kehittäminen. Liikennevirasto tutkimuksia ja selvityksiä 44/2011. ISBN 978-952-255-721-6.
- /50/ Tulityöt suojeluohje, Finanssialan keskusliitto, 2011.
- /51/ Turvallisuuspoikkeamalomake, Liikennevirasto, 2011.
- /52/ Sillan laaturaportti, Laatumisohje. Helsinki: Tiehallinto 2006. ISBN 951-803-656-X, TIEH 2200044-v-06.
- /53/ Työtelineet ja suojarakenteet RIL 142-2010. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. ISBN 978-951-758-519-4.
- Tukitelineet RIL 147-1993. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry. ISBN 951-758-307-9.
- /54/ Siltapaikkojen luokitusohje Helsinki: Liikenneviraston ohjeita 9/2013. 47 s. ISBN 978-952-255-255-6.

10.2 Standardit

(standardien voimassaolo tarkistettu 2.5.2017)

SFS-EN ISO 148-1 Metallien Charpyn iskukoe. Osa 1: Menetelmä.

SFS-EN ISO 286-2 Geometrinen tuotemäärittely (GPS). Pituusmittojen toleranssien ISO-merkintäjärjestelmä. Osa 2: Reikien ja akselien perustoleranssiluokkien ja rajaeromittojen taulukot

SFS-EN 1090-2 Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset.

SFS-EN 1993-1-1 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.

SFS-EN 1993-1-9 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-9: Teräsrakenteiden väsyminen.

SFS-EN 1993-1-10 Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-10: Materiaalin sitkeys ja paksuussuuntaiset ominaisuudet.

EN 1993-1-10 Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-10: Material toughness and throughthickness properties.

SFS-EN 1993-1-11 Eurokoodi 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-11: Vedettyjä rakenneosia sisältävien rakenteiden suunnittelu.

SFS-EN ISO 2553 Hitsaus ja niiden lähiprosessit. Merkinnät piirustuksiin.

SFS-EN ISO 3452-1 Rikkomaton aineenkoetus. Tunkeumanestetarkastus. Osa 1: Yleisperiaatteet.

SFS-EN ISO 3834-1...5 Metallien sulahitsauksen laatuvaatimukset. Osat 1...5.

SFS-EN ISO 4628-3 Maalit ja lakat. Pinnoitteiden huononemisen arviointi. Yleisten virhetyyppien esiintymisen voimakkuuden, määrän ja koon merkintä. Osa 3: Ruostumisasteen arviointi.

SFS-EN ISO 4885 Rauta- ja terästuotteiden lämpökäsittelysanasto.

SFS-EN 5817 Hitsaus. Teräksen, nikkelin, titaanin ja niiden seosten sulahitsaus (paitsi sädehitsaus). Hitsiluokat.

SFS-EN ISO 6892-1 Metallien vetokoe. Osa 1: Vetokoe huoneenlämpötilassa.

SFS-EN ISO 8044:en Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions.

SFS 8145 Korroosionestomaalaus. Suihkupuhdistettujen tai suihkupuhdistettujen ja konepajapohjamaalilla käsiteltyjen teräspintojen mekaanisten esikäsittelyjen laatuasteet.

SFS-EN ISO 8501-3 Teräspintojen esikäsittely ennen pinnoitusta maalilla tai vastaavilla tuotteilla. Pinnan puhtauden arviointi silmämääräisesti. Osa 3: Hitsien, leikkaussärmien ja muiden pintavirheellisten alueiden esikäsittelyasteet.

SFS-EN ISO 9013 Terminen leikkaus. Termisesti leikattujen pintojen luokittelu. Geometrinen tuotemäärittely ja laatuvaatimukset.

SFS-EN ISO 9606-1 Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset.

SFS-EN 9712 Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevyys ja sertifiointi. Yleisperiaatteet.

SFS-EN 10025-1 Kuumavalssatut rakenneteräkset. Osa 1: Yleiset tekniset toimitusehdot.

SFS-EN 10160 Vähintään 6 mm paksujen teräslevytuotteiden ultraäänitarkastus (Heijastusmenetelmät).

EN 10160 Ultrasonic testing of steel flat product of thickness equal or greater than 6 mm (reflexion method).

SFS-EN ISO 11611 Suojavaatetus hitsaukseen ja vastaaviin töihin.

SFS-EN 10163-2 Kuumavalssattujen teräslevyjen, leveiden lattatankojen ja profiilien pinnanlaatuvaatimukset toimitustilassa. Osa 2: Levyt ja leveät lattatangot.

SFS-EN 10164 Terästuotteet parannetuin paksuussuuntaisin murtokuroumaominaisuuksin. Tekniset toimitusehdot.

SFS-EN 10204 Metallituotteiden aineodistukset.

SFS-EN ISO 10675-1 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografisen kuvauksen hyväksymisrajat. Osa 1: Teräs, nikkeli, titaani ja niiden seokset.

SFS-EN ISO 10684 Kiinnittimet. Kuumasinkkipinnoitteet

SFS-EN ISO 11666 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus. Hyväksymisrajat.

SFS-EN ISO 12944-3 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 3: Rakenteen suunnitteluun liittyviä näkökohtia.

SFS-EN 12944-8 Maalit ja lakat. Teräsrakenteiden korroosionesto suojamaaliyhdistelmillä. Osa 8: Erittelyjen laatiminen uudisrakenteille ja huoltomaalaukseen.

SFS-EN 14127 Rikkomaton aineenkoetus. Pak-suusmittaus ultraäänellä.

SFS-EN 14399-2:en High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 2: Suitability for preloading.

SFS-EN 14399-3:en High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 3: System HR. Hexagon bolt and nut assemblies

SFS-EN 14399-4:en High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 4: System HV. Hexagon bolt and nut assemblies

SFS-EN 14399-5:en High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 5: Plain washers

SFS-EN 14399-6:en High-strength structural bolting assemblies for preloading. Part 6: Plain chamfered washers

SFS-EN 14399-7 Esijännitettävät korkealujuuksiset kantavien rakenteiden ruuviliitokset. Osa 7: HR-järjestelmä. Uppokantaruuvien ja mutterin liitokset

SFS-EN 14399-8 Esijännitettävät korkealujuuksiset kantavien rakenteiden ruuviliitokset. Osa 8: HV-järjestelmä. Kuusiokantaiset soviteruuvi- ja mutteriliitokset

SFS-EN 14399-10 Esijännitettävät korkealujuuksiset kantavien rakenteiden ruuviliitokset. Osa 10:

HRC-järjestelmä. Kalibroidusti esijännitetyt ruuvi- ja mutteriliitokset

SFS-EN ISO 14732 Hitsausenkilöstö. Hitsausoperaattoreiden ja hitsausasettajien pätevyyskokeet. Metallisten materiaalien mekanisoitu ja automatisoitu hitsaus.

SFS-EN 15048-1:en Non-preloaded structural bolting assemblies. Part 1: General requirements.

SFS-EN ISO 15614-1 Hitsausohjeet ja niiden hyväksyntä metalleille. Hyväksyntä menetelmäkokeella. Osa 1: Terästen kaari- ja kaasuhitsaus sekä nikkelin ja nikkeliseosten kaarihitsaus.

SFS-EN ISO 17635 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille.

SFS-EN ISO 17636-1 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten radiografisen kuvaus. Osa 1: Röntgen- ja gammakuvaus filmitekniikalla.

SFS-EN ISO 17636-2 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografisen kuvaus. Osa 2: Röntgen- ja gammakuvaus digitaalitekniikalla.

SFS-EN ISO 17637 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Sulahitsausliitosten silmämääräinen tarkastus.

SFS-EN ISO 17638 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien magneettijauhetaarkastus.

SFS-EN ISO 17640 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Tekniikat, tarkastustasot ja arviointi.

SFS-EN ISO 17643 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien pyörrevirtatarkastus kompleksitasoanalyysillä.

SFS-EN ISO 23277 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien tunkeumanestetarkastus. Hyväksymisrajat.

SFS-EN ISO 23278 Hitsien magneettijauhetaarkastus. Hyväksymisrajat.

SFS-EN ISO 23279 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsiliitosten ultraäänitarkastus. Hitsausvirheiden tyyppin määrittäminen.

KUMOTUT STANDARDIT

SFS-EN 287-1 Hitsaajan pätevyyskoe. Sulahitsaus. Osa 1: Teräkset.
korvaava SFS-EN ISO 9606-1

SFS-EN 473 Rikkomaton aineenkoetus. NDT-henkilöiden pätevänti ja sertifiointi. Yleisperiaatteet.
korvaava SFS-EN ISO 9712

EN 571-1 Non-destructive testing – Penetrant testing – Part 1: General principles.
uusi standardi SFS-EN ISO 3452-1

EN 970 Non-destructive examination of fusion welds – Visual examination.
uusi standardi SFS-EN ISO 17637

EN 1290 Non-destructive examination of welds – Magnetic particle examination of welds.
uusi standardi SFS-EN 17638

SFS-EN 1418 Hitsausohenkilöstö. Hitsausoperaattoreiden pätevyyskokeet. Metallisten materiaalien mekanisoitu ja automaattinen sulahitsaus sekä vastushitsaus.
uusi standardi SFS-EN ISO 14732

EN 1435 Non-destructive testing of welds – Radiographic testing of welded joints.
uusi standardi SFS-EN ISO 17636-1 ja -2

SFS-EN 1711 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsien pyörrevirtatarkastus kompleksitasoanalyysillä.
uusi standardi SFS-EN ISO 17643

EN 1713 Non-destructive testing of welds – Ultrasonic examination – Characterization of indications in welds.
uusi standardi SFS-EN ISO 23279

EN 1714 Non destructive testing of welds – Ultrasonic testing of welded joints.
uusi standardi SFS-EN ISO 17640

SFS-EN 10052 Rauta- ja terästuotteiden lämpökäsittelysanasto.
uusi standardi SFS-EN ISO 4885

SFS-EN 12062 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Yleisohjeet metallisille materiaaleille. 1998.
uusi standardi SFS-EN ISO 17635

EN 12062:1997 Non-destructive testing of welds – General rules for metallic materials.

TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

Määritelmiä

Termit, määritelmät ja selitteet on esitetty ns. termietueina. Suositeltavat termit on esitetty **lihavoituina**. Mieluummin kuin -merkinnällä on merkitty toissijaiset, mutta ei kuitenkaan täysin hylättävät termit. Määritelmässä on alleviivattu termit, jotka viittaavat sanastossa muualla määriteltyihin käsitteisiin.

Termit on esitetty aakkosjärjestyksessä.

ajorata-alhaalla (siltatyypipi)

Siltatyypipi, jossa raide tai ajoväylä on pääkannattimien alaparteen tai alalaipan tasossa. Termiä käytetään lähinnä ratasiltojen yhteydessä.

ajorata-ylhäällä (siltatyypipi)

Siltatyypipi, jossa raide tai ajoväylä on pääkannattimien yläparteen tai ylälaipan tasossa. Termiä käytetään lähinnä ratasiltojen yhteydessä.

alalaippa

I-muotoisen palkin alaosaan sijaitseva palkin vaaka-akselin suuntainen uumalevyn reunaan kiinnittyvä levy. Palkin pääosa.

alapaarre

ristikon alaosaan sijaitseva pituussuuntainen pääsauva, johon kiinnittyvät vertikaali- ja diagonaalisauvat. Ristikon pääosa.

alikulkuilta (aks)

rautatiesilta, jossa tie tai katu kulkee rautatien ali.

diagonaali

ristikon ylä- ja alapaarteiden välinen sauva, joka on vinossa kulmassa ylä- ja alapaarteisiin nähden.

ennakkoilmoitus

junaliikenteen ennakkotiedot -järjestelmässä (JETI) annettava ilmoitus, jolla ilmoitetaan ennalta suunnitelluista ratatöistä sekä liikennöintiin vaikuttavista muutostiedoista.

ennakkosuunnitelma

ennalta suunnitellusta ratatyöstä laadittava suunnitelma, jossa huomioidaan ratatyölle tarvittavat työajat, liikennöinnin keskeytykset ja muut poikkeukselliset järjestelyt. Ennakkosuunnitelman perusteella liikennesuunnittelija laatii ennakkoilmoituksen.

hiiliekvivalentti C_{ekv}

teräksen karkenevuudelle on laadittu ns. hiiliekvivalentti. C_{ekv} hiiliekvivalentti arvo lasketaan teräksen seosainepitoisuuksien mukaan tarkoitukseen kehitetyllä kaavalla.

C_{ekv} -arvon perusteella arvioidaan teräksen hitsattavuutta.

hiilikaaritaltaus

metallien leikkausmenetelmä, jossa materiaalia sulatetaan valokaarella ja syntynyt sula puhalletaan pois paineilmalla.

Taltauhiilen ja työkappaleen välillä palaa valokaari, joka paikallisesti sulattaa perusaineen. Sula metalli puhalletaan pois paineilmasuihkulla, joka puhaltaa pitkin taltauhiiltä taltauhiilenpitimessä olevan kosketuskappaleen kautta.

HSFG-ruuvi (HSFG high strength friction grip)

HSFG on englannin kielisen termin lyhennys korkealujuuksisille esijännitettäville kitkaliitosruuveille.

erikoistarkastus

sillan tai yksittäisten rakenneosien perusteellinen tarkastus erikoislaitteilla ja erikoistutkimuksilla.

Sillan erikoistarkastuksen tavoitteena on yleensä selvittää sillan kuntotilanne ja vauriot korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi. Tarkastus voi olla myös rajattu, vain tiettyihin rakenneosiin tai vaurioihin kohdistuva.

JETI

junaliikenteen ennakkotiedot-järjestelmä, jolla laaditaan, jaetaan ja ylläpidetään ennakkoilmoituksia ja radan liikennöitävyyteen vaikuttavia tietoja. Järjestelmässä laaditaan ja hyväksytään rataverkolla tehtävät ratatyöt ja ennakkosuunnitelmat

jäljellä oleva käyttöikä

aika, jona rakenteen ominaisuudet säilyvät vaadittavalla tasolla edellyttäen, että rakennetta ylläpidetään asianmukaisesti. Voidaan myös arvioida rakenteen suunnittelukäyttöiän ja todellisen iän välisenä erotuksena.

jäykistyspalkki

jäykistyspalkki on siltarakenteen pituussuuntainen kantava päärakenneosa, jonka varaan sillan kansi rakennetaan.

Jäykistyspalkki ei ole välttämättä palkki lainkaan, vaan se voi olla esimerkiksi sopivasti konstruoitu teräsristikko.

Termiä käytetään yleisimmin kaari- ja riippusiltojen yhteydessä.

jännityskorroosio

korroosio, joka tehostuu, kun metallissa on ulkoisia tai sisäisiä jännityksiä. Etenee raerajoilla tai rakeiden läpi staattisen vetojännityksen ja syövyttävän aineen yhteisvaikutuksesta.

karkeneminen

teräksen kovuus- ja lujuusominaisuuksien muuttamista tiettyjen lämpökäsittelyjen avulla tai hitsauksen aikana.

kitkaliitos ei: kitkapultti

liitos, jossa sen kantokyky saadaan aikaan liitettävien levyjen välisellä kitkavoimalla. Liitoksen levyjä yhteen puristava voima saadaan aikaan ruuveilla tai niiteillä.

korroosio /SFS-EN ISO 8044:en/

metallin fysikaalis-kemiallinen reaktio ympäristönsä kanssa, joka aiheuttaa muutoksia metallin ominaisuuksiin.

Korroosio johtaa usein metallin, sen ympäristön tai teknisen järjestelmän vaurioihin.

Korroosioreaktio on luonteeltaan tavallisesti sähkökemiallinen.

korroosioaurio /SFS-EN ISO 8044:en/

korroosioaurio, joka on aiheutunut metallin syöpmisestä korroosioreaktiossa ja voi johtaa teknisen järjestelmän toimintakyvyn täydelliseen lakkaamiseen.

Tekniseen järjestelmään voi kuulua esimerkiksi sillan laakerointi tai avattavan sillan koneisto.

korroosiojärjestelmä /SFS-EN ISO 8044:en/

järjestelmä, joka koostuu yhdestä tai useammasta metallista ja kaikista ympäristön osista, jotka vaikuttavat korroosioon

korroosionesto /SFS-EN ISO 8044:en/

korroosiojärjestelmän muuttaminen niin, että korroosioauriot vähenevät

Korroosionestolla pyritään suojaamaan rakenne korroosiolta joko metallin seostuksen, ympäristöön vaikuttamisen, rakenneratkaisujen tai pinnoittamisen avulla; vrt. korroosiosuojaus.

korroosionkestävyys

metallin tai sitä suojaavan pinnoitteen kyky estää korroosiota tietyssä korroosiojärjestelmässä

korroosionopeus /SFS-EN ISO 8044:en/

korroosion etenemisnopeus aikayksikössä

Käytettävä mitta korroosionopeudelle riippuu teknisestä järjestelmästä ja korroosiovaikutuksen tyypistä. Täten korroosionopeus voidaan ilmoittaa syöpymäsyvyyden kasvuna aikayksikössä tai

korroosiotuotteiksi muuttuneen metallin massana pinta-alayksikköä kohti aikayksikössä jne.

Korroosiovaikutus voi vaihdella eri aikoina eikä sen tarvitse olla sama syöpyvän pinnan kaikissa osissa. Täten korroosionopeutta ilmoitettaessa tulee mainita myös korroosiovaikutuksen tyyppi, riippuvuus ajasta ja sijainti.

korroosiosuojaus; ei: korroosionsuojaus

korroosionestoon kuuluva toiminta, jossa korroosiosuoja aikaansaadaan rakenteen pintaa käsittelemällä

Korroosiosuoja saadaan aikaan esimerkiksi pinnoittamalla suojattava kohde tai muuttamalla sen elektrodipotentiaalia.

korroosiotuote /SFS-EN ISO 8044:en/

korroosion seurauksena muodostunut reaktiotuote

Korroosiotuotteita ovat esimerkiksi ruoste ja valkoruoste.

korroosiovaikutus /SFS-EN ISO 8044:en/

korroosiojärjestelmän jonkin osan muutos, joka on aiheutunut korroosiosta ja joka heikentää merkittävästi järjestelmän toimintaa

kuumasinkitys

teräsosan pinnoittaminen kastamalla se sulaan sinkkiin

kuusioruuvi ei: pultti tai kuusiopultti

ruuvi, jossa on kuusikulmion muotoinen kanta

kuusioruuvikokoonpano

kuusioruuvista, kuusiomutterista, aluslevyistä ja mahdollisista lukitusosista koostuva liitinkokoonaisuus

laadunhallinta

laatupolitiikan ja -tavoitteiden sekä laatuun liittyvien vastuiden määrittäminen ja niiden toteuttaminen laadun suunnittelun, laadunohjauksen, laadunvarmistuksen ja laadun parantamisen avulla

laadunohjaus

niiden tekniikoiden ja toimintojen joukko, joita käytetään laatuvaatimusten täyttämiseksi

pääkannatin

ristikko- tai palkkirakenne, joka kantaa kuorman maa- ja/tai välituolta toiselle.

pääpalkit

teräspalkkisillan kantavat pääosat. Koostuu yleensä yhteen liitetyistä ylä- ja alalaipoista sekä uumalevyistä.

rakenteen kestoikä; kestoikä

rakenteen valmistuksen tai asennuksen jälkeinen ajanjakso, jonka aikana rakenne säilyttää korjattavuutensa siten, että se vielä käyttöiän päätyttyä on taloudellisesti ja teknisesti mahdollista peruskorjaamalla palauttaa käyttökelpoiseksi

rakenteen käyttöikä; käyttöikä

rakenteen valmistuksen tai asennuksen jälkeinen ajanjakso, jonka aikana rakenne asianmukaisesti huollettuna säilyttää käyttökelpoisuutensa.

ratasilta (rs)

rautatiesilta, joka ylittää vesistön tai maastoesiteen.

rautatiesilta

yleisnimi sillalle, jota kuormittaa rautatieliikenne.

ratatyöilmoitus (Rt-ilmoitus)

liikenteenohjaukselle annettava kirjallinen ilmoitus ratatyöstä.

ruoste /SFS-EN ISO 8044:EN/

näkyvä korroosiotuote, joka koostuu pääasiassa hydratoituneista rautaoksidoista.

soviteruuvi

erikoisruuvi, jonka varren kierteetön osa on hie-man kiilamainen. Soviteruuvien ja reiän välinen välitys on pienempi kuin normaalia kuusioruuvia käytettäessä. Soviteruuveille reiän nimellishalkaisijan tulee olla yhtä suuri kuin soviteruuvien varren nimellishalkaisija. Korjauskohteissa vanhat niitit korvataan yleensä vastaavilla soviteruuveilla.

stabiliteetti, stabiilius

riittäväillä jäykistyksillä aikaansaatu rakenteen vakavuus ja rakenteen kyky palautua kuormitusta edeltäneeseen tasapainotilaan. Stabiliteetin menettämisen tapoja ovat esimerkiksi nurjahdus, lommahdus ja kiepahdus.

särö

pienehkö halkeama, murtuma.

transitiolämpötila

lämpötila, jossa teräksen murtumistapa muuttuu sitkeästä hauraaksi.

tukikerros

rautatiesiltojen osalla tukikerroksella tarkoitetaan raidesepelistä sillan kannelle tehtävää kerrosta, johon ratapölkkyt tukeutuvat.

uumalevy

I-muotoisen palkin ylä- ja alalaippaan kiinnittyvä palkin pysty akselin suuntainen levy. Palkin pääosa.

vertikaalisauva

ristikon paarteiden välinen sauva, joka on 90 asteen kulmassa paarteeseen nähden.

väsyminen

Vaihtuvista jännityksistä aiheutuva, rakenneosassa tapahtuva säröjen ydintyminen ja kasvu.

väsymiskestävyys, ei: väsytykskestävyys

rakenteen kestävyys pitkäaikaisen vaihtuvan kuormituksen alaisuudessa.

väsymisluokka, ei: väsytyksluokka

yksittäiselle rakenneyksityiskohdalle annettu luokitus sen osoittamiseksi, mikä väsymislujuuden käyrä soveltuu väsymisen arviointiin. Väsymisluokan numero vastaa väsymislujuuden referenssiarvoa $\Delta\sigma_C$.

väsytykskuormitus, ei: väsymiskuormitus

Joukko tyypillisiin kuormitustapahtumiin perustuvia parametreja, jotka kuvaavat kuormien sijainnit, niiden suuruudet, esiintymistiheydet, esiintymisjärjestyksen ja suhteellisen vaiheen.

ylälaippa

I-muotoisen palkin yläosassa sijaitseva palkin vaaka-akselin suuntainen uumalevyn reunaan kiinnittyvä levy. Palkin pääosa.

yläpaarre

ristikon yläosassa sijaitseva pituussuuntainen pääsauva, johon kiinnittyvät vertikaali- ja diagonaalisauvat. Ristikon pääosa.