

Sillan erikoistarkastus ja kantavuustarkastelu

Jätkäsaaren kannaksen silta

Ari Husso

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2013
Rakennustekniikka
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Talonrakennustekniikka

HUSSO, ARI:

Sillan erikoistarkastus ja kantavuustarkastelu
Jätkäsaaren kannaksen silta

Opinnäytetyö 114 sivua, joista liitteitä 26 sivua
Huhtikuu 2013

Siltojen tarkastustoimintaa aloitettiin TVH:n (Tie- ja vesirakennushallitus) toimesta vuonna 1966 ja järjestelmällinen siltojen tarkastustoiminta aloitettiin vuonna 1970. Siltojen tarkastustoimintaa kehitettiin voimakkaasti 1980-luvun lopussa. Nykyisen sillan tarkastusohjeen julkaisi Tiehallinto (nykyinen Liikennevirasto) vuonna 2004.

Opinnäytetyössä käsitellään sillan erikoistarkastusta, joka on tarkastusmuodoista raskain ja sen perusteella saadaan tarkin kuva sillan kunnosta. Erikoistarkastus tehdään yleensä ennen korjaussuunnitteluun ryhtymistä, jotta saadaan selvitettyä sillan vaurioiden syyt. Opinnäytetyötä varten suoritettiin erikoistarkastus vuonna 1914 rakennetulle Jätkäsaaren kannaksen sillalle, joka on teräspalkkibetoninen laattasilta. Sillan huonon kunnan vuoksi tehtiin sillalle myös kantavuustarkastelu, jossa selvitettiin sillan nykyistä kantavuutta.

Erikoistarkastuksessa tutkittiin sillan vaurioita ja selvitettiin niihin johtaneita syitä ottamalla sillan kannen betonista lieriö- ja kloridinäytteitä. Lisäksi vedeneristeestä otettiin näyte haitta-aineiden vaikutuksen selvittämiseksi. Kannen yläpinnan betonin kuntoa tutkittiin avaamalla kannen pintarakenteet viidestä kohdasta. Sillan pääkannattajina toimivien teräspalkkien alalaippojen ruostumista tutkittiin piikkaamalla alalaidat näkyviin viidestä kohdasta. Vedenpinnan alapuolisille rakenteille tehtiin sukellus- ja kaiku- luotaustarkastus, joista saatiin kattavaa tietoa vedenalaisista rakenteista ja niiden kunnosta.

Erikoistarkastuksen perusteella Jätkäsaaren kannaksen sillan kannen betoni on varsin hyvässä kunnossa ottaen huomioon, että silta on lähes 100 vuotta vanha. Kannen yläpinnassa havaittiin merkkejä alkavasta betonin pakkasrapautumisesta. Kannen alapinnassa oli silmämääräisesti havaittavissa merkkejä pakkasrapautumisesta. Tarkemmissa tutkimuksissa ei kuitenkaan havaittu laajoja tai pitkälle edenneitä rapautumisvaurioita. Kannen alapinnan betonista havaittiin paikallisesti kohonneita kloridipitoisuuksia. Vedenalaisissa betonirakenteissa havaittiin pitkälle edennyttä rapautumista. Kantavuustarkastelun perusteella sillan kantokyky ei ole pienentynyt verrattuna vuonna 2003 tehtyyn tarkasteluun. Tehtyjen tutkimusten perusteella sillan loppuun käyttämistä tulee harkita. Lähitulevaisuudessa tehtävät korjaustoimenpiteet riippuvat sillan tavoiteltavasta käytöstä.

Asiasanat: silta, erikoistarkastus, kuntotutkimus, kantavuustarkastelu

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Department of Construction Technology
Building Construction

HUSSO, ARI
Bridge's special inspection and carrying capacity analysis
Jätkäsaari bridge

Bachelor's thesis 114 pages, appendices 26 pages
April 2013

Bridge-inspection activities were initiated by the in the year 1966. Systematic inspection of bridges was launched in 1970. Bridge-inspection activity was strongly developed in the late 1980s, and the current bridge inspection manual was published by Finnish Road Administration in 2004.

This thesis deals with a special bridge inspection, which is a form of the inspection on the basis of the heaviest, and provides the most accurate picture from the condition of the bridge. A special inspection is usually done before the repair planning, in order to find out the causes for the damages in the bridge. For this project, a special inspection was carried out for the Jätkäsaari bridge, which is a steel bar reinforced concrete slab bridge. The bridge was built in 1914. Because the bridge was in poor condition it had to be done carrying capacity analysis, which examined the current bearing capacity of the existing bridge.

The damages in the bridge were examined in a special inspection, as well as finding out reasons behind these damages by taking samples from the bridge deck concrete. A sample was also taken from the waterproofing, to find out if there were any toxic materials. The condition of the upper surface concrete was examined by opening surface structures from five points. The main supports were badly corroded. Supports condition was examined by chiselling edge of flange shown. Structures below water levels were examined by diving and echo sounding, which gave comprehensive information about the underwater structures and their condition.

The special inspection of Jätkäsaari bridge shows that bridge deck concrete is in quite good condition, considering that the bridge is nearly 100 years old. Some early signs of frost weathering were observed in concrete at the top surface of the cover. Signs of frost weathering were visually detected also from the bottom surface of the cover, but further investigation did not reveal a broad or advanced frost weathering. Locally elevated chloride concentration was observed from the lower surface of the cover concrete. Underwater concrete structures were observed in advanced weathering. Load bearing capacity examined in this review shows that the bridge's load bearing capacity has not reduced as compared to the 2003 review. Studies carried out on the basis of the end use of the bridge should be considered. In the near future tasks of the corrective measures will depend on the bridge's target-oriented working life.

Key words: bridge, special inspection, condition analysis, carrying capacity analysis

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Suomen sillat	7
1.2	Työn tavoitteet	8
1.3	Opinnäytetyön aiheen rajausta	9
2	Siltojen tarkastustoiminta	10
2.1	Siltojen tarkastustoiminnan kehitys	10
2.2	Siltojen tarkastusjärjestelmä	10
2.2.1	Vastaanottotarkastus	11
2.2.2	Yleistarkastus	12
2.2.3	Jatkuva tarkkailu ja vuositarkastukset	13
2.2.4	Tehostettu tarkkailu	13
2.2.5	Laajennettu yleistarkastus	14
2.2.6	Erikoistarkastus	14
3	TUTKITTAVA SILTA	16
3.1	Jätkäsaaren kannaksen sillan historia	16
3.2	Sillan rakenne	17
3.3	Kannen pintarakenteet	20
3.4	Sillan kaide	21
4	SILLAN VAURIOIDEN TUTKIMINEN	22
4.1	Erikoistarkastuksen suunnittelu ja laatuvaatimukset	22
4.2	Kenttätutkimukset ja näytteet	22
4.3	Laboratoriotutkimukset	25
4.3.1	Vetolujuus	27
4.3.2	Puristuslujuus	28
4.3.3	Kloridipitoisuus	28
4.3.4	Mikrorakennetutkimus	29
4.3.5	Karbonatisoituminen	29
4.3.6	Myrkylliset ja haitalliset aineet	30
5	TUTKIMUSTULOKSET	32
5.1	Kansilaatan yläpinta	32
5.1.1	Kloridipitoisuus	33
5.1.2	Betonin pakkasrapautuminen	34
5.1.3	Arvio kansilaatan yläpinnan kunnosta	37
5.2	Kansilaatan ala- ja sivupinta	38
5.2.1	Silmämääräiset havainnot	38
5.2.2	Karbonatisoituminen ja kloridipitoisuus	40

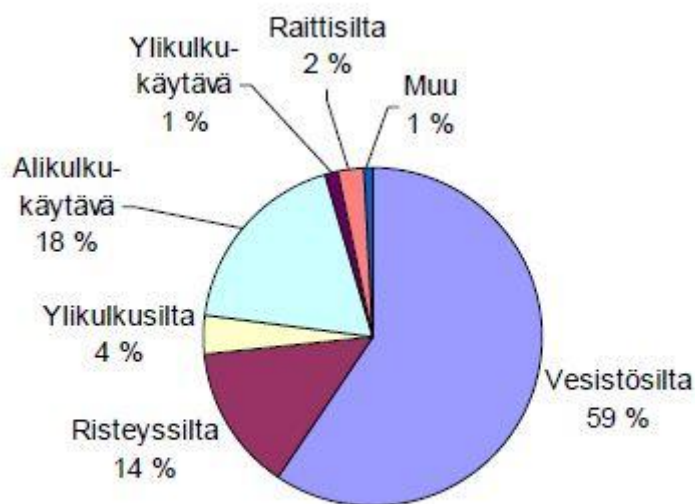
5.2.3	Betonin pakkasrapautuminen	41
5.2.4	Betonin puristuslujuus	45
5.2.5	Arvio kannen ala- ja sivupinnan betonin kunnosta	47
5.3	Teräspalkit	48
5.3.1	Teräspalkkien korroosio	48
5.3.2	Arvio teräspalkkien kunnosta	50
5.4	Reunan kivirakenteet	51
5.4.1	Yleiset havainnot	51
5.4.2	Arvio reunan kivirakenteen kunnosta	51
5.5	Maatuet	52
5.5.1	Havainnot	52
5.5.2	Betonin rapautuminen	54
5.5.3	Arvio maatukien kunnosta	54
5.6	Välituki	55
5.6.1	Havainnot	56
5.6.2	Betonin rapautuminen	57
5.6.3	Arvio välituen kunnosta	58
5.7	Kannen pintarakenteet	58
5.7.1	Vedeneriste ja suojabetoni	59
5.7.2	Täyterkerros ja päällyste	60
5.7.3	Arvio kannen pintarakenteiden kunnosta	62
5.8	Sillankaide	62
5.8.1	Kaiteen vauriot	62
5.8.2	Sillankaiteen törmäyskestävyys	63
5.9	Liikuntalaitteet	65
6	KANTAVUUSTARKASTELU	67
6.1	Lähtökohdat	67
6.2	Mitoitusperusteet, normit ja ohjeet	68
6.3	Kantavuuteen vaikuttavat asiat	68
6.4	Sillan kanteen kohdistuvat kuormat	69
6.4.1	Pysyvät kuormat	69
6.4.2	Muuttuvat kuormat	70
6.4.3	Sysäyskerroin	72
6.5	Rakennemalli	72
6.5.1	Kuorman jakaantuminen diff28 palkkien kohdalla	72
6.5.2	Kuorman jakaantuminen diff36 palkkien kohdalla	73
6.6	Poikkileikkaussuureet	74
6.7	Akselikuormien laskeminen	75
6.7.1	Yhden palkin momenttikapasiteetti	76

6.7.2	Oman painon aiheuttama momentti.....	76
6.7.3	Maksimi akselikuorma.....	77
6.7.4	Esimerkki kaavan 11 käytöstä.....	79
6.8	Kantavuustarkastelun tulokset.....	79
6.9	Korroosion etenemisen vaikutus sillan kantavuuteen.....	80
7	YHTEENVETO SILLAN VAURIOISTA.....	82
7.1	Merkittävät vauriot ja ongelmat.....	82
7.2	Muut vauriot ja ongelmat.....	82
8	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	84
8.1	Erikoistarkastus.....	84
8.2	Kantavuustarkastelu.....	86
8.3	Korjaustoimenpiteet.....	86
8.4	Tutkimusten luotettavuus.....	87
	LÄHTEET.....	88
	LIITTEET.....	89
	Liite 1. Alkuperäiset suunnitelmat.....	89
	Liite 2. Näytteenottoaikat.....	93
	Liite 3. Pintarakenteiden avauspöytäkirjat.....	94
	Liite 4. Ohuthietutkimukset.....	99
	Liite 5. Poikkileikkaussuureiden laskenta.....	110

1 JOHDANTO

1.1 Suomen sillat

Liikenneviraston hallinnassa oli vuonna 2010 14 625 tiesiltaa, joiden yhteisarvo on noin 6 miljardia euroa (alv 0 %). Näistä varsinaisia siltoja oli 11 512 ja putkisiltoja 3 113. Varsinaisista silloista 59 % on vesistösiltoja (kuvio 1).



KUVIO 1. Varsinaisten siltojen lukumäärä käyttötarkoituksittain 1.1.2010 (Liikennevirasto, 2010)

Sillanrakentaminen alkoi elpyä hiljalleen sotavuosien jälkeen 1940-luvulla. Siltojen rakentaminen on kasvanut voimakkaasti 1960-luvulta lähtien. Vuosina 1960-1979 on rakennettu 5 537 siltaa, mikä on noin 38 % kaikista Suomen silloista (taulukko 1). Sillat tulevat peruskorjausikänsä 30–40 vuoden ikäisinä, joten siltojen korjaustarve kasvaa voimakkaasti lähitulevaisuudessa. (Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto, 2010.)

Siltoja jaetaan ylläpitotarpeen mukaan seuraaviin luokkiin:

- erittäin hyvä – ei ylläpitotarpeita
- hyvä – vähäistä kunnostusta
- tyydyttävä – peruskorjaus tulossa
- huono – peruskorjaus nyt
- erittäin huono – peruskorjaus myöhässä.

Tyydyttävä luokitus tarkoittaa, että sillalle on tulossa peruskorjaus lähivuosina. Suomen silloista tyydyttävässä tai huonommassa kunnossa on 5 173, joka on noin 35 % kaikista Suomen tieliikennesilloista. Vanhoja siltoja peruskorjataan vuosittain 150-200 kappaletta. Samaan aikaan välittömässä peruskorjauksen tarpeessa on 845 siltaa ja peruskorjaus on tulossa 4 328 siltaan (taulukko 1). Nykyisellä rahoituksella ei pystytä korjaamaan kaikkia siltoja riittävän nopeassa aikataulussa. (Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto, 2010.)

TAULUKKO 1. Suomen siltiojen kuntoluokka iän mukaan 1.1.2010 (Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto, 2010)

Sillan kunto- luokka	Valmistumisvuosi								Yhteensä kpl
	Ei tietoa	< 1950	1950-1959	1960-1969	1970-1979	1980-1989	1990-1999	2000-	
Erittäin hyvä	0	6	6	16	16	30	290	1 055	1 419
Hyvä	0	357	577	1 139	1 625	1 649	2 068	618	8 033
Tyydyttävä	0	381	569	1 085	1 223	729	321	20	4 328
Huono	1	108	113	159	108	32	13	0	534
Erittäin huono	0	5	16	66	97	16	8	0	208
Ei tietoa	1	1	0	0	3	18	63	17	103
Yhteensä, kpl	2	858	1 281	2 465	3 072	2 474	2 763	1 710	14 625

1.2 Työn tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata lyhyesti, mitä sillan tarkastustoiminnan eri vaiheet sisältävät. Varsinaisessa työssä keskitytään teräspalkkibetonisen laattasillan erikoistarkastuksen kuvaamiseen. Tavoitteena on luoda lukijalle kattava käsitys erikoistarkastuksen vaiheista sekä vauriotyypeistä.

A-Insinöörit Suunnittelu Oy teki syyskuussa 2012 erikoistarkastuksen Jätkäsaaren kannaksen sillalle. Tämä työ käsittelee kyseisen sillan erikoistarkastusta. Silta sijaitsee Helsingin vanhan Jätkäsaaren sataman alueella. Alueella rakennetaan tulevaisuudessa paljon, joten sillan kautta tulee kulkemaan paljon raskasta liikennettä. Jätkäsaaren sillan

nykyisen kunnan takia sille tehtiin kantavuustarkastelu, jossa selvitettiin sillan nykyistä kantokykyä. Kantavuustarkastelu on ajankohtainen, sillä valmisteilla on asetus, joka nostaisi rekkojen sallitun kokonaispainon 60 tonnista 76 tonniin.

1.3 Opinnäytetyön aiheen rajaus

Jätkäsaaren kannaksen silta on rakennettu kahdessa vaiheessa. Vanha silta on rakennettu vuonna 1914 ja siltaa on levennetty vuonna 1955. Tämän opinnäytetyön tutkimukset rajataan koskemaan sillan vanhaa osaa, mikä on huomattavasti levennystä huonommassa kunnossa. Työssä ei siis käsitellä levennetyn sillan osuutta, eikä myöskään siltapaikan rakenteita.

2 Siltojen tarkastustoiminta

2.1 Siltojen tarkastustoiminnan kehitys

TVH (Tie- ja vesirakennushallitus) käynnisti siltojen tarkastustoiminnan vuonna 1966. Järjestelmällisen siltojen tarkastustoiminnan aloitti silloinen TVH:n siltaosasto vuonna 1970. Ensimmäinen tarkastuskierros vei aikaa yli 15 vuotta. Aluksi tarkastuksien apuna käytettiin TVH:n laatimaa sillantarkastusselostusta. (Tiehallinto, 2004, 13.)

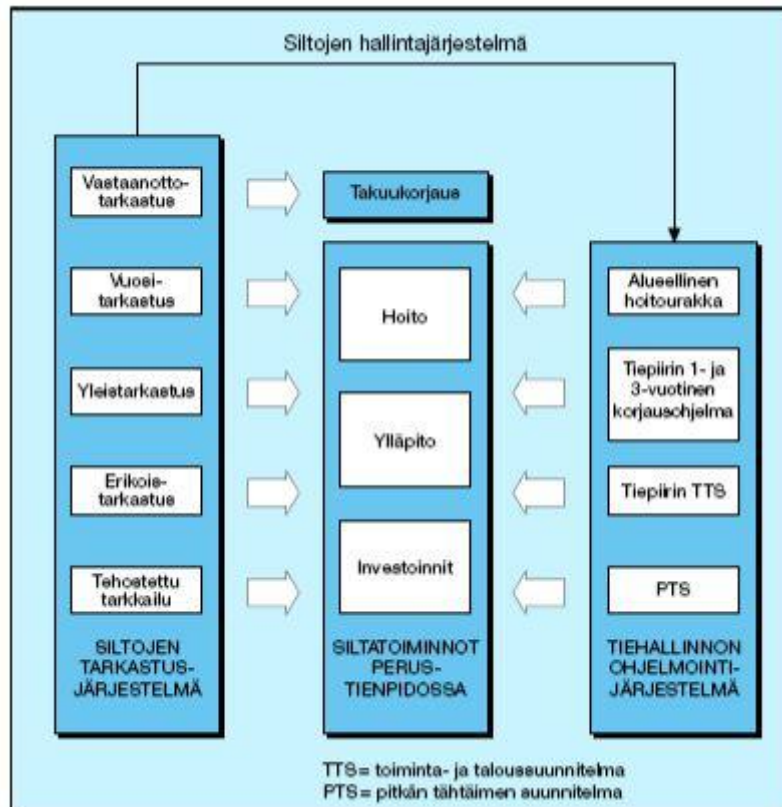
Siltojen tarkastustoiminnassa oli tiepiireittäin suuria eroja, joten käytäntöjä pyrittiin yhdenmukaistamaan koulutuksella vuonna 1976. TVH laati siltojen kunnossapito-ohjeen vuonna 1982 ja Tiehallituksen siltayksikkö uusi ohjeen vuonna 1992. Kolmannen kerran ohje uusittiin Tiehallinnon siltatekniikan toimesta vuonna 2004. (Tiehallinto, 2004, 13.)

Siltojen tarkastustoiminta kehittyi voimakkaasti 1980 ja -90 lukujen vaihteessa siltojen hallintajärjestelmän kehittyessä. Tarkastustietojen luokittelu- ja kirjaamisohjeet sisältävä sillantarkastuskäsikirja julkaistiin vuonna 1990. Käsikirja on uusittu useita kertoja julkaisun jälkeen toiminnan nopean kehittymisen vuoksi. (Tiehallinto, sillantarkastusohje 2004, 15.)

2.2 Siltojen tarkastusjärjestelmä

Siltojen tarkastusjärjestelmä muodostuu seuraavista tarkastuksista (kuvio 2):

- vastaanottotarkastus
- yleistarkastukset
- jatkuva tarkkailu ja vuositarkastukset
- tehostettu tarkkailu
- erikoistarkastus. (Tiehallinto, 2004, 15.)



KUVIO 2. Tiehallinnon siltatoiminnot perustienpidossa (Tiehallinto, 2004, 15)

2.2.1 Vastaanottotarkastus

Vastaanottotarkastus on tilaisuus, jossa rakennuttaja vastaanottaa urakoitsijan tekemän rakennus- tai korjaustyön. Tilaisuudessa arvioidaan ja vertaillaan työn tulosta tehtyihin suunnitelmiin ja tarkastetaan urakoitsijan laatima laaturaportti. Tarkastuksessa kootaan lähtöaineisto tarkastustoimintaa varten. Samalla kirjataan ylös mahdolliset olemassa olevat vauriot ja työvirheet. Tilaisuus toimii samalla palautteenantohetkenä, jossa suunnittelija ja rakennuttaja saavat arvokasta tietoa tulevaisuuden varalle. Vastaanottotarkastuksen jälkeen pidetään vielä jälkitarkastus, jos tarkastaja katsoo aiheelliseksi tarkastaa vastaanottotarkastuksessa havaitut keskeneräiset työt, viat tai puutteellisuudet. Jälkitarkastuksen pitäjä sovitaan erikseen vastaanottotarkastuksen yhteydessä. Jälkitarkastuksessa tulee sopia myös osapuolten esille ottamat keskeneräiset asiat. (Tiehallinto, 2004, 34.)

2.2.2 Yleistarkastus

Sillan ja sen rakenteiden kuntoa seurataan viiden vuoden välein tehtävien yleistarkastusten avulla. Näin pystytään välttämään hallitsematon rapautuminen ja siten suorittamaan oikea-aikaiset hoito- ja kunnostustoimenpiteet sillalle, ennen kuin vauriot ovat liian suuret. (Tiehallinto, 2004, 36.)

Yleistarkastuksessa sillalle määritetään visuaalisesti vauriopisteluokitus, joka siirretään siltarekisteriin. Vauriopistesumma kuvaa sillan vaurioitumisen astetta ja määrää. Sillan päärakenneosat jaetaan yhdeksään luokkaan (taulukko 2). Jokainen päärakenneosa luokitellaan asteikolla 0–4, minkä jälkeen koko sillalle annetaan yleisarvosana saman asteikon mukaisesti.

Asteikossa:

0 = uudenveroinen

1 = hyvä

2 = välttävä

3 = huono

4 = erittäin huono. (Tiehallinto, 2006, 10, 14.)

TAULUKKO 2. Tiesiltojen vauriopisteiden laskentakaavan kertoimet (Tiehallinto, 2006, 11.)

Päärakenneosa		Kerroin
100	Alusrakenne	0,7
200	Reunapalkkirakenteet	0,2
300	Muu päällysrakenne	1
400	Päällysteet	0,3
500	Muu pintarakenne	0,5
600	Kaiteet	0,4
700	Liikuntasaumalaitteet	0,2
800	Muut varusteet ja laitteet	0,2
900	Siltapaikan rakenteet	0,3

Jokaisella päärakenneosalla on painotuskerroin, jolla kunnan mukaan annettu pisteytys kerrotaan. Lisäksi sillan koko ja tyyppi huomioidaan omilla kertoimillaan. Pisteiden perusteella päärakenneosien korjaustarve jaetaan viiteen luokkaan taulukon 3 mukaisesti. (Tiehallinto, 2006, 11.)

TAULUKKO 3. Vaurioiden pisteytys. (Tiehallinto, 2009, 11.)

Kunto		Vauriot		Kiireellisyys	
Kunto-arvio	Pisteet	Vaurio-luokka	Pisteet	Kiireellisyys-luokka	Pisteet
0	1			10	5
1	2	1	1	11	4,5
2	4	2	2	12	3
3	7	3	4	13	1,5
4	11	4	7	14	0,5

2.2.3 Jatkuva tarkkailu ja vuositarkastukset

”Sillan jatkuvan tarkkailun tarkoituksena on havaita liikenneturvallisuutta vaarantavat tai liikenteen sujuvuutta haittaavat tekijät” (Tiehallinto, 2004, 35). Vuositarkastukset ovat sillan yleistarkastuksia täydentäviä tarkastuksia, jotka sisältyvät tiepiirien alueellisiin hoitourakoihin. Vuositarkastuksissa kirjataan ylös sillan hoito- ja kunnostustoimenpiteet ja raportoidaan mahdollisista vaurioista ja hoidon puutteesta. (Tiehallinto, 2004, 35.)

2.2.4 Tehostettu tarkkailu

Tehostettua tarkkailua käytetään yleensä siinä tapauksessa kun silta tai sen osa halutaan kuluttaa loppuun. Esimerkiksi sillalta voidaan poistaa painorajoitus vahventamatta rakenteita. Silloin sillan tai sen osan laskennallinen kantavuus voidaan ylittää ajoneuvoasetuksen sallimaan kuormitukseen saakka. Tuloksena sillan käyttöikä lyhenee, mutta sallittujen kuormituksen lisäyksen kautta saavutetaan paras mahdollinen kansantaloudellinen hyöty. (Tiehallinto, 2004, 44.)

Silta voidaan asettaa tehostettuun tarkkailuun myös tapauksissa, jossa sillan vauriot vaikuttavat kantavuuteen tai sillan kunnan huonontuessa kriittiseksi. Sillan tehostetusta tarkkailusta päätetään usein yleis- tai erikoistarkastuksessa havaittujen vaurioiden perusteella. (Tiehallinto, 2004, 44.)

2.2.5 Laajennettu yleistarkastus

Laajennetussa yleistarkastuksessa sillalle tehdään normaali yleistarkastus. Lisäksi sillasta otetaan näytteitä ja tehdään muita tarkastusta tukevia toimenpiteitä. Tehtävät lisätutkimukset valitaan tarpeen mukaan siten, että saadaan riittävän kattavasti tietoa sillan kunnosta. Laajennettuja yleistarkastuksia tehdään teräs- ja köysisilloille sekä suurille vesistösiltoille. Laajennettu yleistarkastus tehdään normaalissa yleistarkastuskierrossa joka toinen kerta. Suurten vesistösiltojen laajennetun yleistarkastuksen tarkastusväli riippuu sillan iästä ja kunnosta. Keskimääräinen tarkastusväli suurille vesistösiltoille on kahdeksan vuotta. (Liikennevirasto, 2013, 65–67.)

2.2.6 Erikoistarkastus

Erikoistarkastus tehdään yleensä silloille, joiden peruskorjaus on suunnitteilla. Erikoistarkastus on tarkastusmuodoista raskain ja sen perusteella saadaan tarkin kuva sillan kunnosta. Erityisen tärkeää on, että vaurioiden syyt saadaan selvitettyä, jotta saadaan tarvittavat lähtötiedot korjaussuunnittelua vasten. Erikoistarkastuksen yhteydessä tehdään tarvittaessa kantavuustarkastelu, jossa laskennallisesti tutkitaan vastaako sillan kantavuus sille asetetut kantavuusvaatimukset. Erikoistarkastuksen tutkimukset pyritään tekemään rakenteita rikkomattomilla menetelmillä, mutta varsinkin betonirakenteisista silloista joudutaan poraamaan näytteitä vaurioiden selvittämiseksi.

Erikoistarkastuksessa suoritetaan siltakohtaisesti seuraavia tutkimuksia:

- betonipeitteen mittaus
- betonin karbonatisoitumissyvyyden määrittäminen
- betonin kloridipitoisuuden määrittäminen
- potentiaalimittaus
- teräsrakenteiden pinnoitepaksuuden mittaus
- rakenteiden muodonmuutosten ja liikkeiden seuraaminen mittauksin
- kimmovasaramittaus
- betonin vetolujuuden mittaus
- betonin mikrorakennetutkimus
- betonin kosteuden mittaus
- pintarakenteiden avaus

- rakenteiden silmämääräiset tarkastukset
- rakenteiden mittojen tarkastus
- kantavuustarkastelu (tarvittaessa)
- betonin puristuslujuuden mittaus (tarvittaessa). (Tiehallinto, 2004, 42.)

Tässä työssä keskitytään kuvaamaan teräspalkkibetonisen laattasillan erikoistarkastusta, jossa käydään tarkasti läpi sillan tarkastuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät.

3 TUTKITTAVA SILTA

3.1 Jätkäsaaren kannaksen sillan historia

Vuonna 1913 aloitettiin rakennustyöt Jätkäsaaren muuttamiseksi satamaksi. Vuonna 1914 valmistui Jätkäsaaren kannaksen silta (kuva 1), joka yhdisti saaren mantereeseen. Sillan keskellä on kulkenut rautatie sillan rakentamisesta lähtien. Liikennöinti rautatiellä alkoi virallisesti vuonna 1916. Alkuperäinen silta oli 49,4 m leveä, kunnes sitä levennettiin vuonna 1955 13 metrillä. Sataman muuttaessa Vuosaareen purettiin ratakiskot pois sillalta vuonna 2009 ja liikennejärjestelyitä muutettiin siten, että levennyksen kohdalle saatiin tehtyä kevyenliikenteenväylä. Kevyenliikenteenväylän rakentamisen yhteydessä levennyksen viereen on rakennettu maisemauloke, joka ulottuu Ruoholahden kanavan päälle. Vuonna 2012 otettiin käyttöön raitiovaunulinja sillalla olevien ajoratojen keskellä. (Helsingin kaupunki.) Kuvassa 2 on satelliittikuva Jätkäsaaren kannaksen sillasta, josta on nähtävissä sillan nykyiset liikennejärjestelyt.



KUVA 1. Jätkäsaaren kannaksen silta, itäpuoli (Kuva: Markku Äijälä 2012)



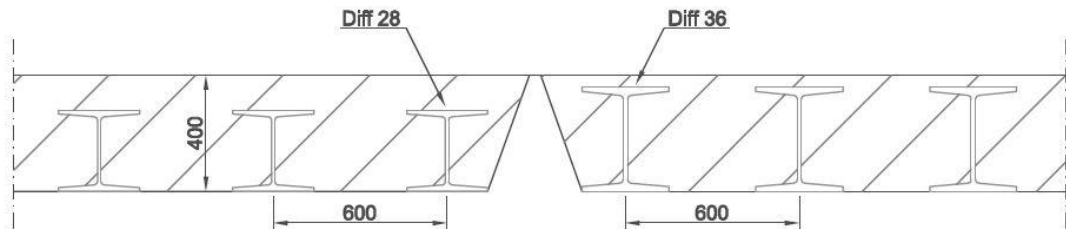
KUVA 2. Satelliittikuva Jätkäsaaren kannaksen sillasta (Google Maps)

3.2 Sillan rakenne

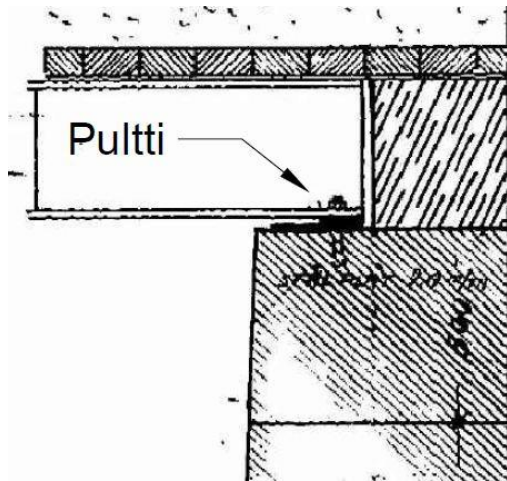
Alkuperäinen silta on kaksi aukkoinen teräspalkkibetonin laattasilta. Sillan laatta on rakennettu kahdessa osassa siten, että laatat toimivat yksiaukkoisina rakenteina. Sillan pääkannattajina toimivat teräksiset diff28 ja diff36 I-palkit (Differdinger-Grey, luku lyhenteen perässä tarkoittaa palkin korkeutta cm:nä), jotka ovat rakenteessa 600 mm välein. Diff28 on leveälaippainen, 280 mm korkea ja leveä I-palkki. Diff36 on samoin leveälaippainen, 360 mm korkea ja 300 mm leveä I-palkki. Laatta on tehty siten, että I-palkkien alalaipat ovat näkyvissä (kuva 3). Palkit ovat päistään kiinni pulteilla maa- ja välituella (kuva 4). Palkkien väliin on valettu betoni. Laatan kokonaispaksuus on noin 400 mm.

Sillan itäreunalla on kevyenliikenteenväylä, jonka alapuolella kulkee kolme putkilinjaa. Putkilinjojen kohdalla I-palkit ovat hieman harvemmassa noin 900–1000 mm:n välein ja betonirakenne on huomattavasti ohuempi kuin muualla. Alkuperäisistä suunnitelmista ei ole esitetty teräspalkkien lujuusluokkaa, mutta valmistusvuoden perusteella voidaan

olettaa teräksen materiaalin olevan St 37 (numero 37 osoittaa teräksen vähimmäisvetolujuuden kp/mm^2), joka vastaa nykyistä 235 terästä (Kivisalo, Sillanrakennusoppi, 1968, 19). Kuvassa kolme on esitetty kannen poikkileikkaus kohdassa, jossa I-palkkien koko vaihtuu.

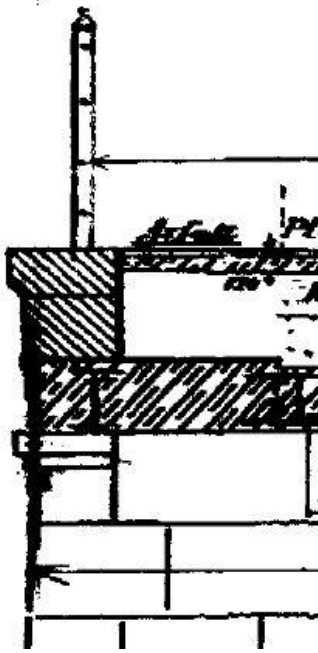


KUVA 3. Sillan kannen poikkileikkaus



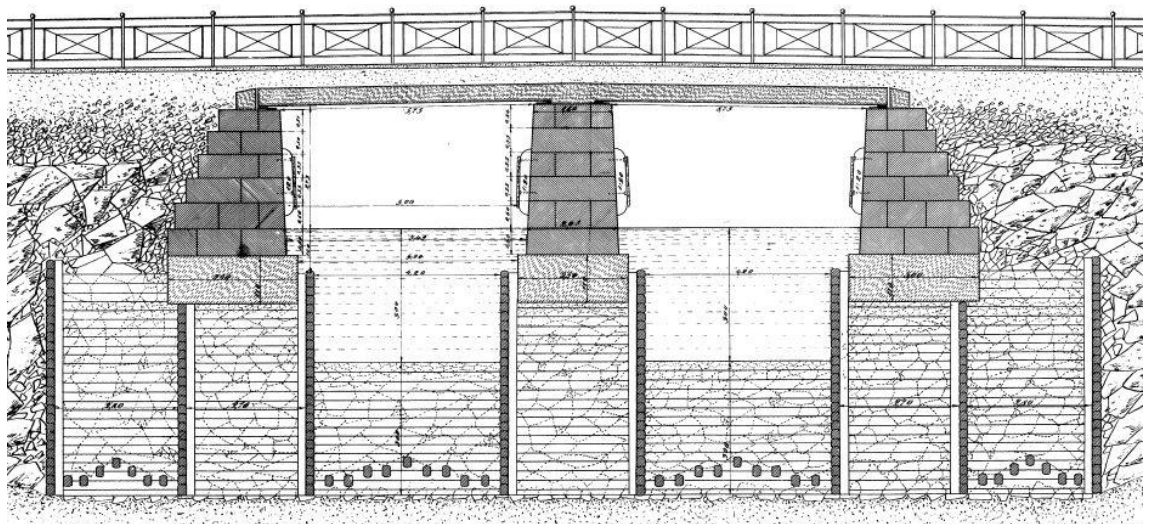
KUVA 4. Palkin kiinnitys maa- ja välituella (alkuperäinen suunnitelma)

Sillan itäreunalla on kannen päällä 400 mm korkea kivirakenne, joka toimii reunarakenteena. Kivikerroksen päällä on tasausvalu, jonka päällä noin 300 mm korkea reunakivikerros. Päällimmäinen kivikerros on hieman alemmaa leveämpi, joten ulkopuolelle muodostuu lyhyt uloke (kuva 5).



KUVA 5. Reunan kivirakenteet

Sillan maatuet ovat kivirakenteita, jotka on perustettu kivitäytteisten hirsiarkkujen vaaraan. Tukien kivet on ladottu hirsiarkkujen päällä olevan betonirakenteen päälle (kuva 6). Hirsiarkkujen päällä olevasta betonirakenteesta ei ollut suunnitelmia saatavilla, joten sen betonin lujuusvaatimuksista, raudoituksesta ja vaadituista betonipeitepaksuuksista ei saatu tietoa.



KUVA 6. Maa- ja välitukien alusrakenteet

Vanhojen piirustusten perusteella maatukien mitat ovat:

- Maatuet ovat alhaalta ylöspäin kapenevia. Alapään leveys on 2,7 m ja yläpään 1,4 m.
- Maatukien korkeus hirsiarkun päältä laakeritasolle on 4,4 m.
- Laakeritason syvyys on 500 mm.
- Hirsiarkkujen korkeus on 4,3 m ja leveys 6,1 m.

Sillan välituki on perustettu samalla tavoin kuin maatuet.

Vanhojen suunnitelmien perusteella välituen mitat ovat:

- Välituet ovat alhaalta ylöspäin kapenevia. Alapään leveys on 2,1 m ja yläpään 1,8 m.
- Välituen korkeus hirsiarkun päältä laakeritasolle on 4,4 m.
- Laakeritason syvyys on 450 mm.
- Hirsiarkun korkeus on 3,3 m ja leveys 6,1 m.

Sillan alkuperäiset suunnitelmat on esitetty liitteessä 1.

3.3 Kannen pintarakenteet

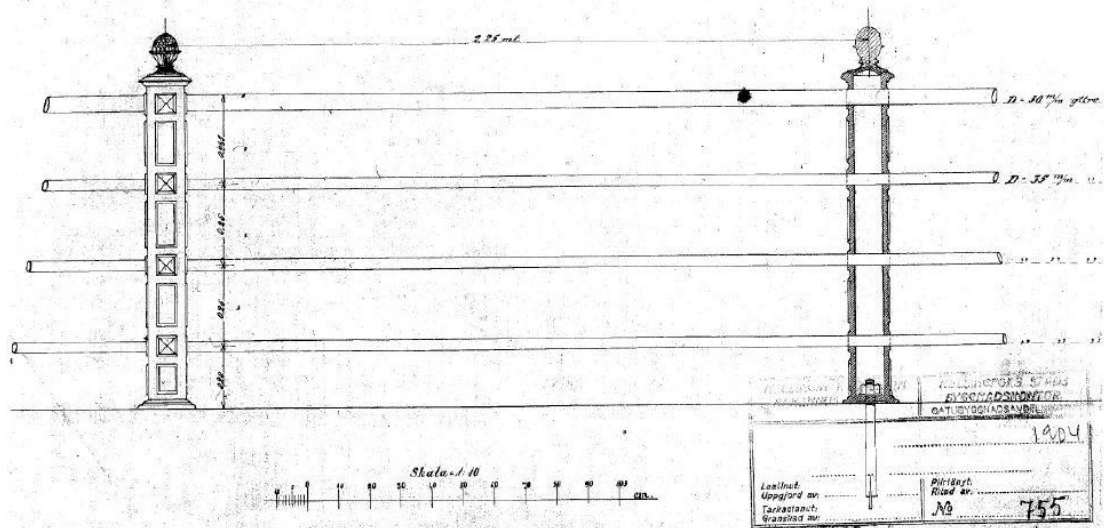
Alkuperäisten suunnitelmien mukaan vanhan kansirakenteen päällä on alun perin ollut ohut kerros asfalttia, jonka päällä yksi kerros tiiliä. Täytekerroksena on ollut hiekka- tai sorakerros ja kulutuskerroksena kiveys. Tarkempia tietoja vanhojen kerroksen paksuuksista ei ollut saatavilla.

Kannen nykyisiä pintarakenteita selvitettiin avaamalla kannen pintarakenteet. Avausten perusteella nykyisin sillan kansirakenteen päällä on vedeneristeenä 12–15 mm paksu mastiksikerros, jonka päällä on noin 30 mm paksu suojabetonikerros. Täytekerroksena on sora- ja hiekkakerros, jonka paksuus on 225–385 mm. Täytekerroksen materiaali vaihteli huomattavasti pintarakenteiden avausten yhteydessä. Itäreunalla kerroksena oli hiekkaa ja länsireunalla suurirakeista soraa ja hiekkaa. Kulutuskerroksena sillalla on 160–195 mm paksu asfalttiberonikerros.

Sillan molemmilla reunoilla on korotetut kevyenliikenteenväylät. Kevyenliikenteenväylien kohdalla kulutuskerroksena on asfalttibetoni ja kiveys. Ajoratojen keskellä oleva raitiovainukaista on korotettu noin 200 mm ajoratoja korkeammalle ja sen pintakerroksena on asfalttibetoni. Kevyenliikenteenväylien kohdalta ei tehty pintarakenteiden avausta, koska niiden kohdalla kulkee tiheä johto ja putkisto linja, jonka sijaintia ei pystytty riittävän tarkasti määrittämään. Sillalla kulkevalla raitiovaunuliikenteellä tuli olla esteetön kulku, joten myöskään raitiovaunukaistojen kohdalta ei tehty pintarakenteiden avauksia. Koska kevyenliikenteenväylien ja raitiovaunukaistojen kohdalta ei tehty pintarakenteiden avauksia, niin niiden kohdalla olevista pintarakenteista ei ole varmaa tietoa. Sillan kannen poikkileikkaus on esitetty liitteessä 2.

3.4 Sillan kaide

Jätkäsaaren kannaksen sillan vanahalla osalla on kaiteena valurautainen perinnekaide, joka päättyy kummallakin puolella siltaa maatukien ulkoreunan kohdalla. Kaide jatkuu Helsingin kaupungin puolella matalampana teräsputkikaiteena. Jätkäsaaren puolella kaide oli tarkastushetkellä poistettu työmaan edestä. Sillan kaide on kiinnitetty kiinni reunan kivirakenteiden päälle pylvään sisäisellä kierretangolla (kuva 7).



KUVA 7. Perinnekaiteen tyyppipiirustus vuodelta 1904 (Järvinen, 2009, 1)

4 SILLAN VAURIOIDEN TUTKIMINEN

4.1 Erikoistarkastuksen suunnittelu ja laatuvaatimukset

Erikoistarkastuksen suunnittelussa noudatettiin Liikenneviraston Siltojen erikoistarkastusten laatuvaatimukset, 2010 -ohjetta. Lisäksi tarkastuksessa sovellettiin Helsingin kaupungin omaa siltojen erikoistarkastusten suunnitteluohjetta. Erikoistarkastussuunnitelma kohteessa tehtiin siten, että tehtävillä tarkastuksilla saataisiin hyvä käsitys sillan kunnosta kohtuullisin kustannuksin.

4.2 Kenttätutkimukset ja näytteet

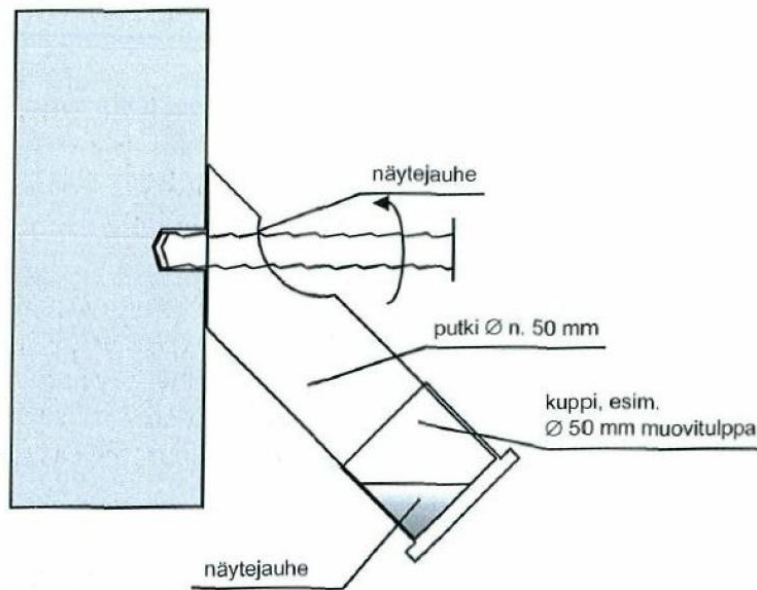
Jätkäsaaren kannaksen sillan erikoistarkastuksessa tarkasteltiin vedenpinnan yläpuolisten rakenteiden kuntoa ja vaurioitumista sekä arvioitiin syitä vaurioiden syntymiselle. Vedenpinnan alapuoliset rakenteet tutkittiin sukellus- ja kaikuluotaustarkastuksessa, jonka suoritti VRT Finland Oy.

Kannen yläpinnan kuntoa tutkittiin avaamalla kannen pintarakenteet viidestä kohdasta, minkä jälkeen kannen betonista otettiin 50 mm:n kokoisia lieriönäytteitä, sekä näyte vedeneristeestä laboratoriotutkimuksia varten (kuva 8). Jokaisesta pintarakenteen avauskohdasta otettiin kolme lieriönäytettä (vetokoe, mikrorakennetutkimus ja kloridipitoisuus). Kannen ala- ja sivupinnasta otettiin 80 mm:n kokoisia lieriönäytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Lieriönäytteet otettiin betonista timanttitoralla noin 100–150 mm:n syvyyteen.



KUVA 8. Kannen pintarakenteiden avaus

Kannen alapintaan porattiin reikiä 16 mm:n poranterällä. Porauksesta syntyvä jauhe otettiin talteen kuvan 9 mukaisella menetelmällä. Jauhenäytteestä selvitettiin laboratoriossa betonin kloridipitoisuudet kannen alapinnassa. ”Merenrannalla (n. 200–300 m rantaviivasta) saattaa olla aiheellista selvittää, ovatko kloridit peräisin valmistuksesta (pitoisuus likimain sama riippumatta syvyydestä) vai ulkoisesta rasituksesta (pitoisuus alenee syvemmälle mentäessä).” (Suomen betoniyhdistys, 2002, 104.) Kloridipitoisuusprofiilin selvittämiseksi otettiin vertailunäyte, jossa porattiin samasta kohdasta näyte 20, 40 ja 60 mm:n syvyydeltä. Näin saatiin selvitettyä, ovatko kloridit peräisin valmistuksesta vai ulkoisesta rasituksesta.



KUVA 9. Kloridinäytteen ottaminen (Suomen betoniyhdistys, 2002, 98)

Kannen alapinnan puristuslujuutta tutkittiin kenttäolosuhteissa kimmovasaralla. Kannen alapinnassa näkyvissä olevien I-palkkien alalaidat piikattiin näkyviin viidestä kohdasta, jotta voitiin arvioida laippojen ruostumista kantavuustarkastelua varten. Raudoitteiden betonipeitevahvuuksia ei tarvinnut tutkimuksissa mitata, sillä I-palkkien lisäksi vanhan sillan kannessa ei ole muita raudoitteita. Kannen reunan kivirakenteet tutkittiin silmämääräisesti.

Sukellus- ja kaikuluotaustarkastuksessa tutkittiin vedenpinnan alapuolisten rakenteiden kuntoa ja vaurioitumista. Kaikuluotaus suoritettiin Kongsberg Mesotech MS 1000 -kaikuluotausjärjestelmällä. Tutkittavia rakenteita olivat maa- ja välitukien kivirakenteet, kivirakenteiden alla olevat betonirakenteet sekä kivitäytteiset hirsiarkut. Kaikuluotaustarkastuksen avulla saatiin lisäksi kattavaa tietoa vedenalaisista rakenteista ja niiden tarkoista mitoista. Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty kaikki Jätkäsaaren kannaksen sillalle tehdyt tutkimukset, sekä näytemäärät rakenneosittain.

TAULUKKO 4. Tutkimukset ja näytemäärät rakenneosittain

	Ohuthie	Vetokoe	Puristuskoee	Kloridit syvyydeltä (mm)		
				0–20	20–40	40–60
Kansilaatan yläpinta	5 kpl	5 kpl		5 kpl	5 kpl *)	5 kpl *)
Kansilaatan alapinta	1 kpl	3 kpl	5 kpl	4 kpl	1 kpl	1 kpl
Kansilaatan sivupinta	1 kpl	1 kpl	1 kpl			

*) Näytettä ei tutkita, jos kriittinen kloridipitoisuus (0,03 paino-%) ei ylitä betonin pinnassa.

TAULUKKO 5. Tutkimukset ja näytemäärät rakenneosittain

	Karbonatitsoituminen	Haittäaineet	Kimmo-vasara	Peite-paks.	Silmä-määr.	Sukellus-tarkastus	Kaiku-luotaus
Kansilaatan yläpinta					X		
Kansilaatan alapinta	5 kpl				X		
Kansilaatan sivupinta	1 kpl				X		
Reunapalkit					X		
Maatuet					X	X	X
Välituet					X	X	X
Pintarakenteet							
Vedeneriste		1+1 kpl					
Varusteet ja laitteet					X		
Siltapaikan rakenteet					X		

4.3 Laboratoriotutkimukset

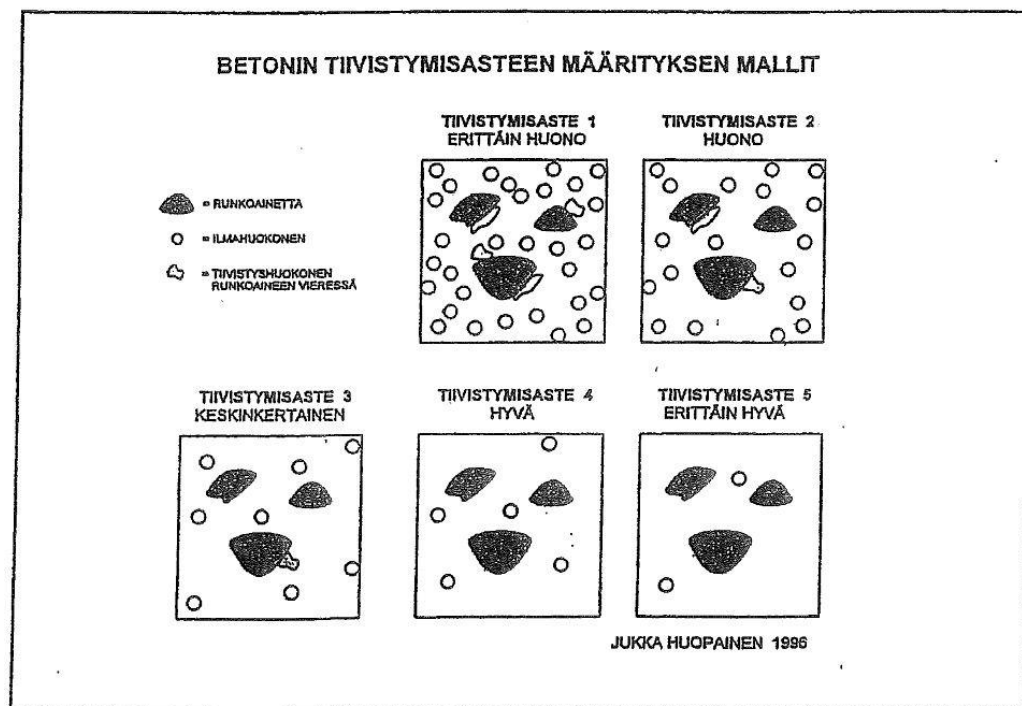
Betonin ominaisuuksia määritettiin kohteesta porattujen näytteiden, laboratoriotestien sekä silmämääräisten tutkimuksen avulla. Maksimiraekoko mitattiin näytteiden pinnassa olevista runkoainesrakeista. Betonin laatu määritettiin silmämääräisesti taulukon 6 ja kuvan 10 avulla asteikolla 1–5 (huono - heikko - keskinkertainen - hyvä - erittäin hyvä). Tässä tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota lähinnä betonin tiivistymiseen ja halkeiluun käyttäen apuna suurennuslaseja. Laboratoriotutkimuksissa tutkittiin kannesta otetuista betoninäytteistä kannen nykyistä kuntoa. Laboratoriossa määritettiin betonin veto- ja

puristuslujuudet, kloridipitoisuus sekä tutkittiin betonin mikrorakennetta ohutvietutkimuksen avulla. Lisäksi vedeneristeestä otetusta näytteestä tutkittiin haitta-aineiden vaikutus. Laboratoriotutkimukset suoritettiin puristuslujuusmittausta luukuun ottamatta WSP Finland Oy:ssä, puristuslujuusmittaus suoritettiin Pohjois-Suomen Betoni- ja maa-laboratorio Oy:ssä (PMB Oy).

TAULUKKO 6. Betonin tiivistymisasteen määrittäminen näytteen pinnasta tarkasteltuna (Huopainen, Betonijulkisivujen karbonatisoituminen - kenttätutkimus, 1997)

BETONIN TIIVISTYMISSASTEEN MÄÄRITYKSESSÄ KÄYTETYT KRITERIT		
TIIVISTYMISSASTE	HAVAINNOT	MÄÄRÄ
1	ilmahuokosia huokosia runkoaineen ja raudoitteen vieressä	> 15 % alasta > 5 % alasta
2	ilmahuokosia huokosia runkoaineen ja raudoitteen vieressä	8 - 15 % alasta 1 - 5 % alasta
3	ilmahuokosia huokosia runkoaineen ja raudoitteen vieressä	5 - 8 % alasta 0 - 1 % alasta
4	ilmahuokosia ei huokosia runkoaineen ja raudoitteen vieressä	2 - 5 % alasta -
5	ilmahuokosia ei huokosia runkoaineen ja raudoitteen vieressä	< 2 % alasta -

havainnot tehdään silmämääräisesti ilman apuvälineitä



KUVA 10. Betonin tiivistymisasteen määrittäminen näytteen porsuspinnasta tarkasteltuna (Huopainen, Betonijulkisivujen karbonatisoituminen - kenttätutkimus, 1997)

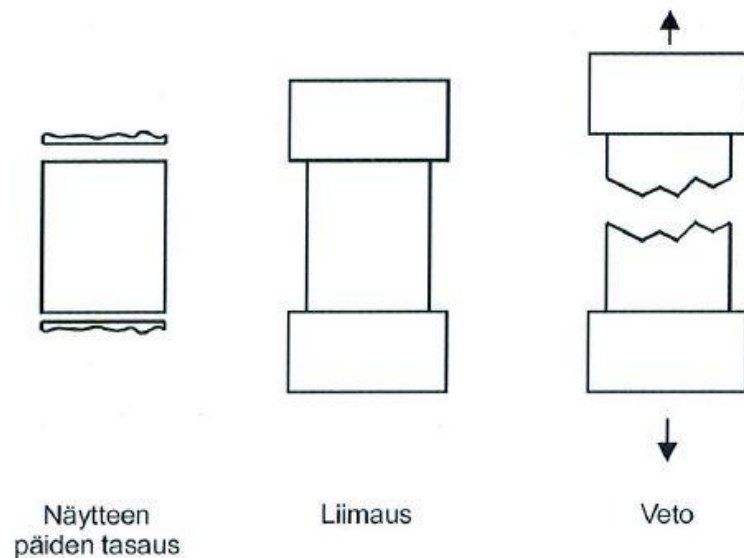
4.3.1 Vetolujuus

Betonin vetolujuus määritettiin soveltaen standardia SFS 5445. Betonin vetolujuuden sekä murtotavan perustella voidaan arvioida rapautumistilannetta sekä betonin laatua ja korjattavuutta yleisesti. Korjausalustalle asetettu yleinen laatuvaatimus on $> 1,5$ MPa, jolloin näytteessä ei todennäköisesti ole merkittävää rapautumista (taulukko 7). Alhainen vetolujuuskokeen arvo ei välttämättä tarkoita, että betoni on rapautunut, vaan se saattaa aiheutua monesta muusta syistä. Syitä voivat olla mm. käytetyn runkoaineen laatu, betonin alhainen lujuusarvo ja betonissa olevista kuormituksista tai pakkovoimista aiheutuvat halkeamat. (Suomen betoniyhdistys, 2002, 104.)

TAULUKKO 7. Vetokokeen tulokset (Suomen betoniyhdistys, 2002, 104)

vetolujuus	todennäköinen rapautumistilanne
luokkaa 0 MPa	näytteessä on pitkälle edennyttä rapautumaa
luokkaa 0,5 - 1,0 MPa	näytteessä on jonkinasteista rapautumaa
luokkaa 1,5 MPa tai yli	näytteessä ei todennäköisesti ole merkittävää rapautumaa

Betonista porattu lieriönäyte valmistellaan vetokoetta varten hiomalla näytteen päät suoriksi, jotta varmistutaan, että veto tapahtuu keskeisenä. Vetokappaleen halkaisijan tulee olla riittävän suuri betonin runkoaineen koko huomioon ottaen. Näytelieriöiden halkaisijaksi on vakiintunut 50 ja 75 mm. (Suomen betoniyhdistys, 2002, 103–104.) Vetokokeen vaiheet on esitetty kuvassa 11.



KUVA 11. Vetolujuuskoe (Suomen betoniyhdistys, 2002, 104)

4.3.2 Puristuslujuus

Betonin puristuslujuus määritettiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti. Puristuslujuuden arvot muutettiin 150 mm:n särmäisen kuution puristuslujuudeksi käyttäen lujuusarvon muutoskertoimena $k=1,1$ (Ympäristöministeriö, 2005, 52). Muutoksen avulla saaduista arvoista pystyttiin määrittämään betonille vertailulujuus. Laboratorio tutkimuksen lisäksi betonin puristuslujuutta tutkittiin kenttäolosuhteissa SilverSchmidt -kimmovasaralla. Kimmovasaramittauksella pystyttiin arvioimaan betonin puristuslujuutta ja lujuusvaihtelua rikkomatta betonia. Menetelmä perustuu betonin pinnan kimmoisuuden ja puristuslujuuden väliseen riippuvuuteen. Menetelmällä saatavat puristuslujuuden arvot ovat suuntaa-antavia, joten niistä ei suoraan pystytä arvioimaan betonin kuntoa. Kimmovasaralla saatavat lujuusarvot pitävät paikkansa vain uudessa betonissa, joka ei ole vielä karbonatisoitunut, sillä se muuttaa betonin pinnan kimmoisuutta voimakkaasti. (Suomen betoniyhdistys, 2002, 119.)

4.3.3 Kloridipitoisuus

Betonin kloridipitoisuus määritettiin painoprosenttina betonin painosta happoliuoksella standardin SFS-EN 14629 mukaisesti. Betonissa olevat kloridit voivat jo hyvin pieninä pitoisuuksina aiheuttaa raudotteiden korroosiota alkalisessakin betonissa. Raudotteiden

korroosion kannalta kriittisenä kloridipitoisuutena pidetään noin 0,03–0,07 paino-% happoliukoista kloridipitoisuutta betonin painosta. (Suomen betoniyhdistys, 2002, 96.)

4.3.4 Mikrorakennetutkimus

Mikrorakenne- eli ohuthietutkimus on akkreditoitu menetelmä ja analyysissä käytettiin apuna standardia ASTM C856-11. Hienäytteen avulla saadaan yksityiskohtaista tietoa betonin laadusta ja kunnosta. Mikrorakennetutkimuksella selvitettyä betonin pakkasenkestävyys, syntyneet halkeamat ja säröt ja sekä niiden suuntautuneisuus, joiden perusteella pystytään arvioimaan rapautuneisuus syineen. Lisäksi tutkimuksella saadaan selvitettyä huokosten täytteisyys sekä mahdolliset haitalliset reaktiot (ettringiitti ja alkali-runkoaineet). (Suomen betoniyhdistys, 2002, 102.) Ettringiitti on betonin kovettuessa muodostuva yhdiste, joka kertyy tavallisesti betonin huokosiin. Ettringiitti kerää itseensä vettä ja paisuu. Paisuessaan ettringiitti aiheuttaa vaurioita betoniin.

Ohuthietutkimuksessa betoninäytteestä hiottiin näytteen pintaa kohtisuorassa linjassa 48 mm korkea ja 25 mm leveä liuska, jonka paksuus oli 0,025–0,030 mm. Näytteisiin merkittiin suunta ja kohta, mistä kohdasta näytettä haluttiin tutkia.

4.3.5 Karbonatisoituminen

Betonin karbonatisoituminen tutkittiin kaikista otetuista poralieriönäytteistä fenoliftaleiiniliuoksen avulla. Fenoliftaleiini toimii pH-indikaattorina, joka värjää karbonatisoitumattoman (pH 13–14) punaiseksi erottaen sen karbonatisoituneesta betonista, joka ei värjäydy (pH noin 8). Karbonatisoitumissyvyys voi vaihdella yhden näytteen matkalla huomattavan paljon, joten näytteestä pyrittiin arvioimaan keskimääräinen karbonatisoitumissyvyys. (Suomen betoniyhdistys, 2002, 91.) Karbonatisoitunut betoni ei suojaa kemiallisesti terästä korroosiolta, jolloin karbonatisoituneessa betonissa olevat raudoitteet ovat alttiita teräskorroosiolle. Lisäksi karbonatisoitumissyvyys määritettiin mikrorakennetutkimuksessa, josta saatiin yksityiskohtaisempaa tietoa karbonatisoitumisen etenemisestä näytteessä.

Kuvassa 12 on esimerkki fenoliftaleiiniliuoksella käsitellystä betonista. Näytteen betoni ei ole värjäytynyt kunnolla, mutta silti on huomattavissa selvät rajat näytteen päissä, missä betoni on karbonatisoitunut.



KUVA 12. Betonin karbonatisoituminen

4.3.6 Myrkylliset ja haitalliset aineet

Vedeneristeestä otetusta materiaalinäytteestä selvitettiin laboratoriossa PAH -pitoisuus (raja-arvon ylittävä määrittäminen) sekä asbesti-pitoisuus. PAH -analyysi tehtiin GC-MSD -menetelmällä. Menetelmä on sovellettu standardista SFS-ISO 18287. Asbesti-analyysi tehtiin valomikroskoopilla (VM) ja läpivalaisuelektromikroskoopilla (EM).

Kivihiilipiki on kivihiilitervan tislusjäännös, joka sisältää satoja orgaanisia ja epäorgaanisia yhdisteitä. Näistä yhdisteistä ongelmallisimpia ovat syöpää aiheuttavat polyykliset aromaattiset hiilivedyt eli PAH -yhdisteet. Kivihiilipikeä esiintyy silloilla vanhoissa vedeneristeissä. Vedeneristeitä purettaessa työilmaan vapautuu hiukkasmaisia ja höyrymäisiä yhdisteitä, jotka imeytyvät ihon läpi ja kulkeutuvat hengitysteitse elimistöön. PAH -yhdisteet asettavat erityisvaatimuksia purkutoimenpiteiden henkilökohtaiselle suojautumismenetelmälle ja ympäristön suojaamiselle. (Ratu 82-0381, Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku, 11.)

Suomessa asbestia on käytetty rakentamisessa vuosien 1910–1990 välisenä aikana. Asbestin maahantuonti ja valmistus kiellettiin Suomessa 1993 vuoden alustusta lähtien sekä myyminen ja käyttöönotto vuoden 1994 alusta lähtien. Asbestia käsiteltäessä vapautuu ilmaan hienojakoista pölyä, joka sisältää asbestikuituja ja hiukkasia. Asbestipölylle altistuminen voi aiheuttaa keuhkosityöpää, pahanlaatuisia kasvaimia ja muita hengenvaarallisia sairauksia. Asbestia käsiteltäessä on huolehdittava riittävästä henkilökohtaisesta suojautumisesta sekä huolehdittava että ympäröivään ilmaan ei pääse leviämään asbestipölyä. (RT 08-10521, Asbesti, asbestikartoitus ja siitä aiheutuvat toimenpiteet, 1–2.)

5 TUTKIMUSTULOKSET

5.1 Kansilaatan yläpinta

Kannen yläpinnan kuntoa tutkittiin avaamalla sillan pintarakenteet viidestä eri kohdasta. Yläpinnan tutkimukset kohdistettiin vanhan sillan kohdalle, koska liikennöity alue, johon suurimmat rasitukset tulevat, sijaitsee tällä kohdalla siltaa. Avauskohtien sijainti sillan kannella on esitetty liitteessä 2.

Kansilaatan yläpinnassa on vedeneristeenä mastiksieriste. Avauskohdissa todettiin vedeneristeen kovettuneen. Vedeneristeen päällä on noin 30 mm paksu suojabetonikerros. Avauskohdissa 01 ja 02 suojabetoni oli rapautunutta, muuta ehjää. Avauskohdissa 03 ja 05 suojabetonista ei saatu ehyttä näytettä. Avauskohdassa 04 suojabetoni oli niin pahasti rapautunutta, että sitä ei erottanut kulutuskerroksen sorasta tai avauksen kohdalla ei ollut suojabetonia. Erikoistarkastuksessa tehdyt avauskohtaiset pintarakenteiden avauspöytäkirjat ovat opinnäytetyön liitteessä 3.

Näytteiden betonin laatu määritettiin silmämääräisesti ennen laboratorioon lähettämistä. Kaikkien näytteiden betoni oli huomattavan huokoista ja runkoaineen seassa oli huomattavan suurirakeisia kiviä. Kaikkien näytteiden laatua arvioitiin taulukon 6 mukaisella viisiportaisella asteikolla huonoksi (1) tai heikoksi (2). Kuvassa 13 on lieriönäyte avauskohdasta JS 02, minkä päässä on vedeneristekerros kiinni. Näytteen huokoinen rakenne on hyvin selvästi nähtävissä. Näytteessä oli huomattavan suurirakeisia kiviä, joiden reunoilla on kiviä myötäileviä halkeamia. Näytteen päässä olevan kiven halkaisija on noin 55 mm.



KUVA 13. Lieriönäyte kannen yläpinnan betonista

5.1.1 Kloridipitoisuus

Terästen korroosioon vaikuttaa betonin kloridipitoisuus jo hyvin pieninä arvoina. Kloridinäytteet otettiin kannesta poratuista lieriönäytteistä. Laboratoriossa tehtyjen kokeiden perustella kansilaatan yläpinnassa ei esiinny merkittäviä kloridipitoisuuksia. Syvemmältä otettuja näytteitä ei analysoitu jos kriittinen kloridipitoisuus (0,03 paino-%) ei ylity betonin pinnassa. Kansilaatan yläpinnasta otettujen näytteiden kloridipitoisuudet on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Näytteiden kloridipitoisuudet (paino-% betonin painosta)

Näyte:	Näytteenotto­syvyys	
	0–20 mm	20–40
JS CL 01-1	< 0,01	
JS CL 02-1	< 0,01	
JS CL 03-1	< 0,01	
JS CL 04-1	< 0,01	
JS CL 05-1	< 0,01	

5.1.2 Betonin pakkasrapautuminen

Kansilaatan yläpinnan pakkasrapautumista tutkittiin vetokokeilla ja ohuthietutkimuksilla. Kummasakin kokeessa käytettiin 50 mm:n kokoisia lieriönäytteitä.

Vetokokeet

Vetokokeessa tutkitaan ylittääkö näytteen vetolujuus vedeneristysalustalle asetetun yleisen laatuvaatimuksen ($> 1,5$ MPa). Jos vetolujuus ei täyty ensimmäisellä yrittämällä, näyte liimataan ja koe suoritetaan uudelleen. Poikkeama murtumiskohdassa, esimerkiksi suuri kivi, vaikuttaa vetolujuusarvoon.

Sillan kannelta otetuista näytteistä neljä täyttää vedeneristysalustalle asetetun yleisen laatuvaatimuksen. Näyte JS 03-2 jäi uusintavetokokeen jälkeen tulokseen 1,4 MPa, joka on hieman alle vaaditun tuloksen. Näyte murtui noin 50 mm yläreunasta kiviainesta myötäillen. Näytteille JS-01-1, JS 02-3 ja JS 04-2 jouduttiin myös suorittamaan uusintavetokokeet, nämä näytteet täyttivät uusinnan jälkeen vedeneristysalustalle asetetun yleisen laatuvaatimuksen.

Murtuminen suurta pyöristynyttä kiviainesraetta pitkin heikentää vetolujuustulosta. Lisäksi betonin todella huokoinen rakenne heikentää saatuja arvoja. Voidaan siis arvioida, että näytteiden vetolujuuksien perusteella rakenteessa ei esiinny pitkälle edenneitä rapautumavaurioita. Kansilaatan yläpinnasta otettujen betoninäytteiden vetolujuusarvot on esitetty taulukossa 9. Taulukossa on kerrottu myös, mistä kohdasta näytettä ja miten vetomurto on tapahtunut, sekä mahdolliset poikkeamat näytteen murtokohdassa.

TAULIKKO 9. Vetokokeen tulokset

Näyte	Tulos (MPa)	Murtokohta/-tapa	Poikkeamat
JS 01-1	1,3	19–34 mm yläpinnasta, leikkaa	
JS 01-1 uusinta	2	5–15 mm yläpinnasta, leikkaa	
JS 02-3	0,2	31–62 mm yläpinnasta, myötäilee	Murtokohdan pinta-alasta n. 40 % kivi
JS 02-3 uusinta	1,6	20–31 mm yläpinnasta, leikkaa	
JS 03-2	0,8	19–27 mm yläpinnasta, leikkaa	
JS 03-2 uusinta	1,4	37–61 mm yläpinnasta, myötäilee	
JS 04-2	1,3	28–36 mm yläpinnasta, myötäilee	
JS 04-2 uusinta	1,5	2–14 mm yläpinnasta, leikkaa	
JS 05-2	1,5	33–40 mm yläpinnasta, myötäilee	

Ohuthietutkimus

Ohuthietutkimuksen avulla saadaan yksityiskohtaista tietoa betonin laadusta ja kunnosta sekä mahdollisista vaurioista. Alla on esitetty tutkimustulokset tiivistettynä näytekohtaisesti. Täydelliset ohuthieanalyysit on esitetty liitteessä 4.

Näytteestä JS 01-3 voidaan tutkimustulosten perusteella todeta seuraavaa:

- Rapautumisen aiheuttamia vaurioita ei havaittu.
- Huokosiin on kiteytynyt kalsiumhydroksidia. Yksittäiset alle 0,13 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet kokonaan.
- Kuivumisen aiheuttama säröily on hyvin vähäistä.
- Betoni on laadultaan tyydyttävää.
- Betoni ei ole pakkasenkestävää kosteusrasituksessa.

Näytteestä JS 02-2 voidaan tutkimustulosten perusteella todeta seuraavaa:

- Rapautumisen aiheuttamia vaurioita ei havaittu.
- Huokosten seinämille on kiteytynyt kalsiumhydroksidia.
- Kutistumisen aiheuttama säröily on vähäistä.
- Betoni on laadultaan tyydyttävää.
- Betoni ei ole pakkasenkestävää kosteusrasituksessa.

Näytteestä JS 03-1 voidaan tutkimustulosten perusteella todeta seuraavaa:

- Näytteessä havaittiin vähäisiä, mahdollisesti pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.
- Huokosten seinämille on kiteytynyt kalsiumhydroksidia.
- Kutistumisen aiheuttamaa mikrosäröilyä ja -halkeamia on jonkin verran näytteessä.
- Betoni on laadultaan tyydyttävää, tiivistyminen on ollut hieman puutteellinen.
- Betoni ei ole pakkasenkestävää kosteusrasituksessa.

Näytteestä JS 04-4 voidaan tutkimustulosten perusteella todeta seuraavaa:

- Näytteessä havaittiin vähäisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.
- Näytteen rakoihin ja säröihin on kiteytynyt karbonaattia, kalsiumhydroksidia sekä yksittäisesti ettringiittiä. Näytteessä havaittiin kanavarakenteita, joihin on kiteytynyt kalsiumhydroksidia. Pienimmät huokokset ovat umpeutuneet kalsiumhydroksidilla.
- Betonin rakoilu on osittain varhaista ja plastista.
- Betoni on laadultaan tyydyttävää ja paikoin välttävää. Betonissa havaittiin vedenerottumisen aiheuttamaa epätasaisuutta ja kanavarakenteita.
- Betoni ei ole pakkasenkestävää kosteusrasituksessa.

Näytteestä JS 05-1 voidaan tutkimustulosten perusteella todeta seuraavaa:

- Rapautumisen aiheuttamia vaurioita ei havaittu.
- Alle 0,5 mm:n kokoiset huokokset ovat paikoin umpeutuneet ettringiitillä ja kalsiumhydroksidilla. Yläpinnan läheisyydessä ettringiitti on yleisempää. Ettringiitti saattaa edistää rapautumista.
- Näytteessä havaittiin plastista rakoilua ja säröilyä.

- Betoni on laadultaan välttävää, vedenerottumisen aiheuttamaa epätasaisuutta on havaittavissa mikrorakenteessa.
- Betoni ei ole pakkasenkestävää kosteusrasituksessa.

5.1.3 Arvio kansilaatan yläpinnan kunnosta

Kansilaatan yläpinnassa ei havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia. Kadun suolaus saattaa olla varsin vähäistä.

Vedeneristys oli avauskohdissa pääosin ehjää ja sitkeää. Kansilaatan alapinnassa näkyi laajalti vesivuotojälkiä, erityisesti kansilaatan saumojen läheisyydessä sekä levennyksen ja vanhan puolen saumakohdassa. Tulosten perusteella vedeneristys on vuotanut monesta kohdasta. Kansilaatan yläpinnassa havaittiin kahdessa näytteessä merkkejä alkavasta betonin pakkasrapautumisesta sekä ettringiittikiteytymiä (ohuthietutkimus). Nämä näytteet otettiin vanhan puolen läntiseltä kaistalta. Kaikkien näytteiden huokosiin oli kiteytynyt kalsiumhydroksidia, osa huokosista oli umpeutunut kokonaan. Näytteiden mikrorakenteessa oli havaittavissa epätasaisuutta ja kanavarakenteita, jotka saattavat olla aiheutuneet vedenerottumisesta (ohuthietutkimus).

Betonin vetolujuus ei tutkimusten mukaan ole merkittävästi heikentynyt. Yhden näytteen vetolujuusarvo jäi uusintavetokokeen jälkeen tulokseen 1,4 MPa, joka ei täytä vedeneristysalueelle asetettua yleistä laatuvaatimusta. Tulosta kuitenkin heikentää betonin pyöristynyt runkoaines ja betonin huokoinen rakenne, joten vetotuloksesta ei voida suoraan arvioida näytteessä olevaa vauriota.

Betonia ei voida tutkimusten perusteella pitää pakkasenkestävänä kosteusrasituksessa, mutta merkittäviä rapautumavaurioita ei havaittu. Kansilaatan yläpinta on päällysteen ja paksuhkon maatäytön alla, joten vuosittaisten jäätymissulamissykliä lukumäärä jää varsin pieneksi. Tämä yhdessä meren lämmittävän vaikutuksen ja kloridien vähäisen pitoisuuden kanssa saattaa olla selitys rapautumisen hitaalle kehittymiselle.

5.2 Kansilaatan ala- ja sivupinta

Kansilaatan ala- ja sivupinnasta otettiin lieriö- ja kloridinäytteitä liitteen 2 mukaisista kohdista. Kannen sivupinnasta otettiin näytteitä ainoastaan vanhan sillan itäreunalta. Kaikki lieriönäytteet olivat halkaisijaltaan 80 mm.

5.2.1 Silmämääräiset havainnot

Kohteella havaittiin seuraavaa:

- Kansilaatan alapinnassa havaittiin vesivuotoja.
- Kansilaatan alapinnassa oli suurehko aukko, joka ulottuu koko kanne lävitse (kuva 14). Aukko on luultavasti valaisinvaraus.
- Vuotokohdat sijaitsevat pääasiassa kansilaatan saumakohtien läheisyydessä (kuva 15) sekä vanhan sillan ja levennyksen saumakohdassa. Lisäksi kansi on vuotanut monin paikoin I-palkkien kohdalta, mikä näkyy värjäntyminä ja kalkki-
vuotoina (kuva 16). Tämä viittaa vedeneristeen puutteelliseen toimintaan.
- Kansilaatan alapinnassa havaittiin silmämääräisesti pitkälle edennyttä rapautumaa ja valuvikaa.
- Kansilaatan alapinnassa on yksittäisiä halkeamia, jotka ovat todennäköisesti kuivumiskutistumisen aiheuttamia.
- Kansilaatan alapinnassa on näkyvissä pääkannattajina toimivien I-palkkien alalaipat, jotka ovat pahasti ruostuneet (kuva 15).
- Kansilaatan saumakohdissa on havaittavissa rapautumista.
- Kannen reunassa on törmäysjälki, josta raudoitteet ovat näkyvissä.
- Sivupinnassa on merkkejä rapautumisesta ja valuviasta molemmilla reunoilla, sekä paikoin aukkojen kohdalla. Kummassakin reunassa on näkyvissä raudoitteet, jotka ovat varsin lähellä betonin pintaa.
- Keskituen kohdalla on laatussa molemmilla puolilla tukea halkeamat n. 30 cm ennen aukon reunaa (kuva 17).
- Laatan päällä olevien kivien saumaus on irti tai irronnut kokonaan.
- Laatan sivupinnassa on vedenvuotojälkiä.



KUVA 14. Kannen alapinnan aukko



KUVA 15. Kannen alapinnan sauman vesivuoto ja I-palkkien korroosio



KUVA 16. Kannen alapinnan kalkkivuoto



KUVA 17. Kannen sivupinnan halkeamat

5.2.2 Karbonatisoituminen ja kloridipitoisuus

Karbonisoituminen

Kannen alapinnan karbonisoitumisista tutkittiin fenoliftaleiinilla ja ohuthietutkimuksella. Karbonisoitumisesta määritettiin keskimääräinen ja maksimisyvyys. Karbonisoituminen määritettiin fenoliftaleiini-liuoksella kaikkien näytteiden pinnalta sekä ohuthieanalyysin yhteydessä näytteiden halkaistulta pinnalta. Kannen alapinnan karbonisoitumissyvyudet on esitetty taulukossa 10 ja sivupinnan taulukoissa 11.

TAULUKKO 10. Alapinnan karbonisoitumissyvyudet

Keskimäärin	1-4 mm
Maksimissaan	14 mm

TAULUKKO 11. Sivupinnan karbonatisoitumissyvydet

Keskimäärin	2-4 mm
Maksimissaan	7 mm

Kloridipitoisuus

Kannen alapinnasta otettiin kloridinäytteet neljästä kohdasta. Kolme näytteistä otettiin 0–20 mm syvyydeltä. Neljäs näyte otettiin kolmesta eri tasosta: 0–20 mm, 20–40 mm ja 40–60 mm, jotta saatiin selvitettyä kannen alapinnan kloridipitoisuusprofiili. Yksittäiset näytteet otettiin vesivuotoalueilta, joissa kloridirasitukset ovat suurimmat. Kolmesta tasosta otettu näyte otettiin kohdasta, jossa vesivuoto on ollut vähäistä. Näin saatiin selvitettyä onko mahdolliset kloridipitoisuudet peräisin valmistuksen ajalta vai ovatko ne ulkoisen rasituksen aiheuttamia. Kannen sivupinnan kloridipitoisuutta ei tutkittu. Tulosten perusteella kansilaatan alapinnan betonissa esiintyy paikoin teräskorroosion kannalta kriittisiä pitoisuuksia klorideja, jotka ovat ulkoisen rasituksen aiheuttamia. Kannen alapinnan kloridipitoisuudet on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Näytteiden kloridipitoisuudet (paino- % betonin painosta)

Näyte:	Näytteenottosyvyys		
	0-20 mm	20-40 mm	40-60 mm
JS CL 11	0,06		
JS CL 12	0,03		
JS CL 13	< 0,01		
JS CL 14-1-3	0,01	<0,01	<0,01

5.2.3 Betonin pakkasrapautuminen

Silmämääräisten havaintojen perusteella kansilaatan ala- ja sivupinnassa oli havaittavissa betonin pakkasrapautumiseen viittaavia vaurioita. Alapinnasta irtosi betonia lehteillen (kuva 18) ja teräspalkkien vierestä oli murtunut betonia irti (kuva 19). Teräspalkkien viereen syntyneet vauriot saattavat olla myös valuvian aiheuttamia vaurioita. Sivupinnasta oli murtunut betonia irti, joiden kohdalta teräkset olivat näkyvissä (kuva 20). Sivupinnan betonin murtuminen on voinut aiheutua myös valuvian tai törmäyksen takia. Laboratoriossa ala- ja sivupinnan pakkasrapautumista tutkittiin veto- ja puristuskokeilla sekä ohuthietutkimuksen avulla.



KUVA 18. Kannen alapinnan betonin rapautuminen



KUVA 19. Kannen alapinnan rapautuminen ja valuvika



KUVA 20. Kannen sivupinnan rapautuminen/valuvika

Vetokokeet

Sillan kannen alapinnasta otettiin kaksi verolujuusnäytettä (JS 12 ja JS 17) ja kannen sivupinnasta yksi (JS 22). Vetolujuusnäytteet otettiin liitteen 2 mukaisista kohdista.

Sillan kannen ala- ja sivupinnasta otetuista näytteistä yksi täyttää korjausalustalle asetetun yleisen laatuvaatimuksen ($> 1,5$ MPa). Näytteet JS 12 ja JS 22 jäivät uusinnan jälkeen arvoon 1,2 MPa, joka on hieman alle korjausalustalle asetetun yleisen laatuvaatimuksen. Alapinnan näyte otettiin pohjoisen aukon itäiseltä puolelta, läheltä ensimmäisen laatan saumaa. Laattojen saumojen kohdalla oli havaittavissa vesivuotoa. Laatan sivupinnan näyte otettiin pohjoisen aukon puolelta läheltä välitukea. Tarkastushetkellä laatan sivupinta ei ollut märkä, mutta värjäntymien perusteella laatan sivupinta on ollut toistuvasti alttiina vesivuodoille. Vetokokeiden tulokset on esitetty taulukossa 13. Taulukossa on kerrottu mistä kohdasta näytettä ja miten vetomurto on tapahtunut, sekä mahdollinen poikkeama näytteen murtokohdassa.

Alhainen vetolujuusarvo viittaa alkavaan rapautumisvaurioon näytteessä. Tulokseen vaikuttaa kuitenkin näytteen huokoinen rakenne sekä suurirakeinen ja pyöristynyt runkoaines, joten vetokokeen perusteella ei voi suoraan päätellä, onko näytteessä vauriota.

TAULUKKO 13. Vetokokeen tulokset

Näyte	Tulos (MPa)	Murtokohta/-tapa	Poikkeamat
Laatan alapinta			
JS 12	1,0	44–90 mm alapinnasta, myötäilee	Murtokohdan pinta-alasta n. 50 % kivi
JS 12 uusinta	1,2	94–112 mm alapinnasta, leikkaa	
JS 17	1,6	57–77 mm alapinnasta, leikkaa	
Laatan sivupinta:			
JS 22	1,1	11–31 mm ulkopinnasta, leikkaa	Murtokohdan pinta-alasta n. 60 % kivi
JS 22 uusinta	1,2	35–50 mm ulkopinnasta, leikkaa	

Ohuthietutkimus

Ohuthietutkimuksen avulla saadaan yksityiskohtaista tietoa betonin laadusta ja kunnosta sekä mahdollisista vaurioista. Kansilaatan sivupinnan betonille tehtiin yksi ohuthietutkimus. Alapinnalle ei suoritettu ohuthietutkimusta. Täydelliset ohuthieanalyysit on esitetty liitteessä 4.

Näytteestä JS 21 voidaan tutkimustuloksen perusteella todeta seuraavaa:

- Rapautumisen aiheuttamia vaurioita ei havaittu.
- Huokostiloissa on runsaasti haitallista ja kosteusrasitusta indikoivaa ettringiittiä, sekä mahdollisesti kipsiä, mikä voi edistää rapautumista. Lisäksi huokosissa havaittiin paikallisesti kalsiumhydroksidi kiteytymiä.
- Kutistumisen aiheuttama mikrosäröily on vähäistä.
- Betoni on laadultaan tyydyttävää.
- Betoni ei ole pakkasenkestävää kosteusrasituksessa.

5.2.4 Betonin puristuslujuus

Betonin puristuslujuuden määrittämistä varten otettiin kannen alapinnasta viisi ja sivupinnasta yksi betoninäyte. Näytteet olivat halkaisijaltaan 80 mm ja pituudet vaihtelivat välillä 91,6–110,6 mm. Betonin puristuslujuutta tutkittiin lisäksi rakennetta rikkomat- tomalla tekniikalla kimmovasaran avulla. Kimmovasaralla betonin puristuslujuudeksi mitattiin 22,5–30,5 MN/m². Tulosten arvioinnissa käytettiin karbonatisoitumissyvyyte- nä 4 mm. Lisäksi tulokseen vaikuttaa kimmovasaran iskuvoiman muutoskäyrän varmal- la puolella olevat arvot. Arvioitu karbonatisoitumissyvyys ja iskuvoiman muutoskäyrä selittävät osittain kimmovasaratutkimuksesta ja puristuskokeesta saatavat erisuuriset puristuslujuuden arvot.

Puristuslujuutta määritettäessä koekappaleina käytetään yleensä halkaisijaltaan 100 mm:n kokoista lieriötä, jonka halkaisijan ja korkeuden suhde on $1 \pm 0,05$. Tarvittaessa voidaan käyttää muunkin kokoisia lieriötä. (Ympäristöministeriö, 2005, 52.)

Puristuslujuuskokeessa käytettyjen lieriönäytteiden halkaisijan suhde korkeuteen oli 0,72–0,88, mikä heikentää hieman saatuja tuloksia. Lisäksi puristuslujuusarvoihin vai- kuttaa vesi-sementti-suhde, sementin laatu, betonin huokoisuus ja runkoaineen rakei- suus. Vanhojen suunnitelmien perusteella ei ole tiedossa betonin vesi-sementti-suhdetta ja lujuus vaatimuksia.

Laboratoriossa tehtyjen puristuslujuuden määritysten perusteella sillan ala- ja sivupinto- jen betonin puristuslujuusarvot ovat huomattavan korkeita. Betonin suuri puristuslujuus saattaa osittain selittyä betonin suurirakeisella kiviaineksella. Betonin puristuslujuusar- vot on esitetty taulukossa 14. Puristuslujuuden arvot on muutettu 150 mm:n särmäisen kuution puristuslujuuden arvoiksi Suomen rakennusmääräyskokoelman B4 kohdan 6.3.3.3 mukaisesti, käyttäen muuntokerrointa $k=1,1$.

TAULUKKO 14. Betonin puristuslujuuskokeen tulokset

Näyte	Puristuslujuus (MN/m ²)	Tiheys (kg/m ³)	Murtokuorma (kN)
Kansi alapinta:			
JS 11	66,5	2360	305,5
JS 13	63,0	2260	289,5
JS 15	58,0	2320	266,6
JS 16	53,5	2220	246,8
JS 18	64,5	2290	295,5
Kansi sivupinta:			
JS 23	57,5	2390	263,3

Kannen betonille laskettiin koekappaleiden lukumäärän mukaisesti vertailulujuus K_k kaavasta 1:

$$K_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{cm} - f_n \\ f_{cmin} + 4 \end{array} \right. \quad (1)$$

jossa f_{cm} on puristuslujuuksien keskiarvo (60,5 MN/m²)

jossa f_{cmin} on pienin puristuslujuusarvo (53,5 MN/m²)

jossa f_n riippuu koekappaleiden lukumäärästä n , valitaan taulukosta 15 (6 MN/m²)

TAULUKKO 15. Muuttujan f_n määrittäminen (Ympäristöministeriö, 2005, 51)

n	f_n [MN/m ²]
10...14	4
7...9	5
3...6	6

$$K_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 60,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} - 6 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 54,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \\ 53,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} + 4 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} = 57,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \end{array} \right. \quad (1)$$

$$K_k = 54,4 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2} \quad (1)$$

Koetulosten perusteella saadaan kannen betonille vertailulujuus $K_k = 54,5 \text{ MN/m}^2$.

5.2.5 Arvio kannen ala- ja sivupinnan betonin kunnosta

Kannen rakenne on teräspalkkibetoninen laatta. Kantavana rakenteena toimivat valssatut teräspalkit ja niiden väliin ja yläpuolelle on valettu betonia.

Kansilaatan alapinnan betonissa havaittiin itäisellä reunalla merkittävää kloridipitoisuutta. Kloridit sitovat kosteutta ja edistävät siten pakkasrapautumista. Kloridit voivat aiheuttaa myös teräskorroosiota. Klorideja ei kuitenkaan havaittu laajoilla alueilla eli niiden aiheuttamat vauriot jäävät paikallisiksi. Karbonatisoituminen on edennyt hitaasti, joten voidaan olettaa betonin emäksisyyden suojaavan teräspalkkien ylälaippoja ja uumia korroosiolta.

Kansilaatan alapinnassa oli havaittavissa merkkejä merkittävästä rapautumisesta. Tehdyissä tutkimuksissa ei kuitenkaan havaittu laajoja tai pitkälle edenneitä rapautumavaurioita. Kyseessä saattaa olla myös työnaikaiset valuviat, jonka seurauksena alapinnan betoni on paikoin lohjennut irti. Alapinnassa näkyi kauttaaltaan vesivuotoja. Kansilaatan ala- ja sivupinnasta otetuista vetolujuuskokeista kahden tulos on alle 1,5 MPa. Vetokokeen tuloksesta ei kuitenkaan voida suoraan päätellä onko näytteessä vauriota, koska näytteen rakenne oli todella huokoinen sekä runkoaines oli suuri rakeista ja paikoin pyöristynyttä.

Kannen sivupinnan reunoilla on havaittavissa merkkejä rapautumisesta ja valuviasta, minkä takia reunoilta on paljastunut raudoitteet näkyviin. Lisäksi kannen sivupinnassa on törmäysjälkiä, joiden kohdalta teräkset ovat näkyvissä.

Kansilaatan sivupinnasta otetusta ohuthienäytteestä ei havaittu merkkejä betonin pakkasrapautumisesta. Ohuthietutkimuksessa havaittiin kuitenkin runsaasti haitallista ja kosteutta indikoivaa ettringiittiä ja kipsiä, jotka voivat edistää rapautumista. Kansilaatan alapinnasta ei otettu ohuthienäytettä. Kannen betonia ei voida tutkimusten mukaan pitää pakkasenkestävänä kosteusrasituksessa.

Laboratoriossa tehdyn puristuslujuuden määrittämisen perusteella voidaan todeta, että sillan betonin puristuslujuus on huomattavasti korkeampi kuin sillan erikoistarkastuksessa tehtyjen kimmovasaramittausten mukaan määritetty puristuslujuus. Betonin puris-

tuslujuus ei kuitenkaan kuvaa betonin säilyvyysominaisuuksia. Betonin suuri puristuslujuus saattaa selittyä osittain betonin suurirakeisella kiviaineksella.

5.3 Teräspalkit

Teräspalkkien kuntoa tutkittiin pääasiassa silmämääräisillä tutkimuksilla. Tarkemmin palkkien korroosion määrää tutkittiin piikkaamalla alalaipan reuna esiin viidestä kohdasta. Piikkauskohdista mitattiin laipan nykyinen paksuus. Jokaisessa piikkauskohdassa laipat olivat ruosteessa. Ruostuessaan teräs turpoo hieman, mikä hankaloitti laipan paksuuden mittaamista.

5.3.1 Teräspalkkien korroosio

Teräspalkkien alalaipat ovat kauttaaltaan pahasti ruosteessa. Erityisesti sillan vanhan osan päädyissä ja kansilaatan saumakohdissa olevat palkit ovat pahoin ruostuneet. Pahimmissa kohdissa teräs irtosi alalaipan pinnasta lehteillen irti (kuva 21). Vanhan osan läntisellä puolella palkit ovat hieman paremmassa kunnossa, kuitenkin lähes kauttaaltaan ruosteessa (kuva 22). Osassa palkeista on kiinni vanhaa pinnoitetta (maalialue), mutta se on hilseillyt pahoin ja on lähes kokonaan irti. Maalikalvon paksuutta ei pystytty mittaamaan. Teräspalkkien ylälaipat paljastuivat kahdesta kohdasta pintarakenteiden avauksien yhteydessä. Näissä kohdissa teräspalkit olivat hyvässä kunnossa, eikä ruostetta ollut havaittavissa (kuva 23).



KUVA 21. Teräspalkin korroosiovaurio, teräksen lehteily



KUVA 22. Teräspalkki sillan läntisellä puoliskolla



KUVA 23. Teräspalkin ylälaippa avauksen kohdalta

5.3.2 Arvio teräspalkkien kunnosta

Teräspalkkien alalaipat ovat kauttaaltaan pahasti ruosteessa, jonka vuoksi teräspinta-ala on huomattavasti pienentynyt. Alalaipan paksuus on pahiten vaurioituneilla alueilla noin 3–4 mm alkuperäistä pienempi. Teräspinta-alan pienentyminen vaikuttaa sillan kantavuuteen.

Teräspalkkien ylälaipat olivat kolmen avausten yhteydessä esille tulleen kohdan perusteella hyvässä kunnossa. Ylälaipan teräs oli kirkas, eikä ruostetta ollut havaittavissa. Karbonatisoituminen on ollut hidasta, eikä kansilaatan yläpinnan betonissa havaittu klorideja, joten teräspalkit voidaan olettaa olevan alalaipan alapintaa lukuun ottamatta emäksisen betonin suojaamia.

5.4 Reunan kivirakenteet

5.4.1 Yleiset havainnot

Kansilaatan päällä on yksi kerros samantyylistä kivirakennetta, kuin maatuissa. Kerroksen korkeus on noin 400 mm. Kivikerroksen päällä on tasausvalu, jonka päällä on noin 300 mm paksu reunakivikerros. Päällimmäinen kivikerros on hieman alempia leveämpi, joten ulkopuolelle muodostuu lyhyt uloke. Sillankaide on kiinni päällimmäisessä kivikerroksessa.

Reunan rakenteet tutkittiin silmämääräisesti. Kivirakenteiden saumat olivat paikoin irti tai irronneet kokonaan. Kivissä ja tasausvalussa oli huomattavan paljon vuotojälkiä ja värjäntymiä, jotka ovat nähtävissä kuvassa 24. Lisäksi taustavalussa oli havaittavissa merkkejä rapautumisesta.



KUVA 24. Reunan kivirakenteet

5.4.2 Arvio reunan kivirakenteen kunnosta

Reunan kivirakenne vuotaa irronneiden saumausten kohdalta ja korjaamattomana tämä saattaa aiheuttaa lisävaurioita reunarakenteille. Vuotava vesi valuu kansilaatan päälle ja reunalle, ja saattaa aiheuttaa näin vaurioita myös kansilaatalle.

5.5 Maatuet

Jätkäsaaren kannaksen sillan maatuet ovat kuvan 25 mukaisia kivirakenteita, jotka on perustettu kivitäytteisten hirsiarkkujen varaan. Maatuille suoritettiin kaikuluotaus- ja sukellustarkastus, sekä silmämääräinen tarkastus erikoistarkastuksen yhteydessä. Jätkäsaaren puoleinen maatuki nimettiin eteläiseksi maatueksi ja Helsingin kaupungin puoleinen pohjoiseksi maatueksi.



KUVA 25. Pohjoinen maatuki

5.5.1 Havainnot

Kohteella havaittiin seuraavaa:

- Molemmilla puolilla kivirakenteen saumaukset ovat useissa kohdissa rapautuneet, etenkin lähellä vesirajaa (kuva 26).
- Kivirakenteen alla olevassa betonissa on havaittavissa merkittävää ja vakavaa rapautumista. Pohjoisella tuella tilanne on pahempi.
- Kivirakenteen alla on paikoin tyhjää tilaa, joka on luultavasti aiheutunut betonin rapautumisesta.

- Pohjoisen maatuen hirsarkusta on irronnut yksittäisiä hirsitä rakenteen yläreunasta.
- Pohjoisen maatuen keskivaiheilla on hirsarkussa levenemä, jonka kohdalta arkun täyttö on valunut osittain uoman pohjalle.
- Kummallakin puolella on havaittavissa hirsirakenteessa salvosten aukenemista (kuva 27).
- Itäisellä sivulla on havaittavissa kummallakin puolella merkittävää ja vakavaa betonin rapautumista.
- Laakeritason päällä oleva teräslevy on ruosteessa.
- Laakeritasolle on päässyt vuotamaan vettä.
- Eteläisellä maatuella on kivrakenteen alla olevan betonirakenteen alla n. 30 cm korkea ja 50 cm syvä tyhjätila.



KUVA 26. Pohjoinen maatuki, sauman rapautuminen (Kuva: Tuomas Valli 2012)



KUVA 27. Pohjoinen maatuki, hirsisalvokset auki (Kuva: Tuomas Valli 2012)

5.5.2 Betonin rapautuminen

Kummassakin maatuessa on havaittavissa merkittävää ja vakavaa rapautumista. Rapautumaa esiintyy tasaisesti kummallakin maatuella. Rapautuneen alueen korkeus on pohjoisella maatuella 10–20 cm ja se ulottuu monin paikoin kivien alle 10–50 cm:n syvyydelle rakenteeseen. Eteläisellä maatuella rapautuneen betonin korkeus kivien alla on 10–20 cm ja se ulottuu 20–40 cm:n syvyydelle rakenteeseen. Kivien alle on syntynyt tyhjää tilaa betonin rapautumisen vuoksi.

5.5.3 Arvio maatukien kunnosta

Maatukien kivirakenteen saumat ovat monin paikoin rapautuneet sekä vedenpinnan ylä- että alapuolelta. Pahin tilanne on juuri vesirajan tuntumassa. Kivirakenteen alla olevassa betonikerroksessa havaittiin merkittävää ja paikoin vakavaa betonin rapautumista, joka on aiheuttanut tyhjiä aukkoja kivien alle. Eteläisellä maatuella havaittiin lisäksi suuri tyhjä aukko betonirakenteen alla, joka on mahdollisesti valuvirhe. Hirsiaukkujen salvoksissa havaittiin aukenemista ja yksittäisiä hirsistä oli irronnut rakenteen yläosasta. Pohjoisella maatuella hirsiaukussa oli levenemä, jonka kohdalta täyttö oli va-

lunut uoman pohjalle. Korjaamattomana nämä vauriot laajenevat entisestään ja aiheuttavat vaaraa sillan kantokyvyille.

5.6 Välituki

Jätkäsaaren kannaksen sillan välituki on maatumien tavoin kivirakenne (kuva 28), joka on perustettu kivitäytteisten hirsiarkkujen varaan. Välituelle suoritettiin kaikuluotaus- ja sukellustarkastus, sekä silmämääräinen tarkastus erikoistarkastuksen yhteydessä. Jätkäsaaren puoleinen sivu nimettiin välituen eteläiseksi sivuksi ja Helsingin kaupungin puoleinen pohjoiseksi sivuksi.



KUVA 28. Välituki, pohjoinen puoli

5.6.1 Havainnot

Kohteella havaittiin seuraavaa:

- Molemmilla puolilla kivirakenteen saumat ovat useissa kohdissa rapautuneet, etenkin lähellä vesirajaa.
- Kivirakenteen alla olevassa betonissa havaittiin merkittävää ja vakavaa rapautumista. Pohjoisella sivulla tilanne on pahempi.
- Kivirakenteen alla on paikoin tyhjää tilaa, joka on luultavasti aiheutunut betonin rapautumisesta.
- Rapautuneen betonin määrä kasvaa itäistä reunaa kohti mentäessä.
- Hirsiarikon useista kohdista on ylimmäiset hirret irti.
- Hirsisalvoksissa on havaittavissa aukeamista.
- Eteläisen sivun itäpäädyssä on havaittavissa kivien painumista ja osittaista irtoamista (kuva 29).
- Laakeritason päällä oleva teräslevy on ruosteessa.
- Laakeritasolle on päässyt vuotamaan vettä.
- Itäreunalla on havaittavissa kummallakin puolella välitukea merkittävää ja vakavaa betonin rapautumista.
- Betonin vaurioituminen on aiheuttanut välituen itäisessä päädyssä kivien liukumista ja painumista.



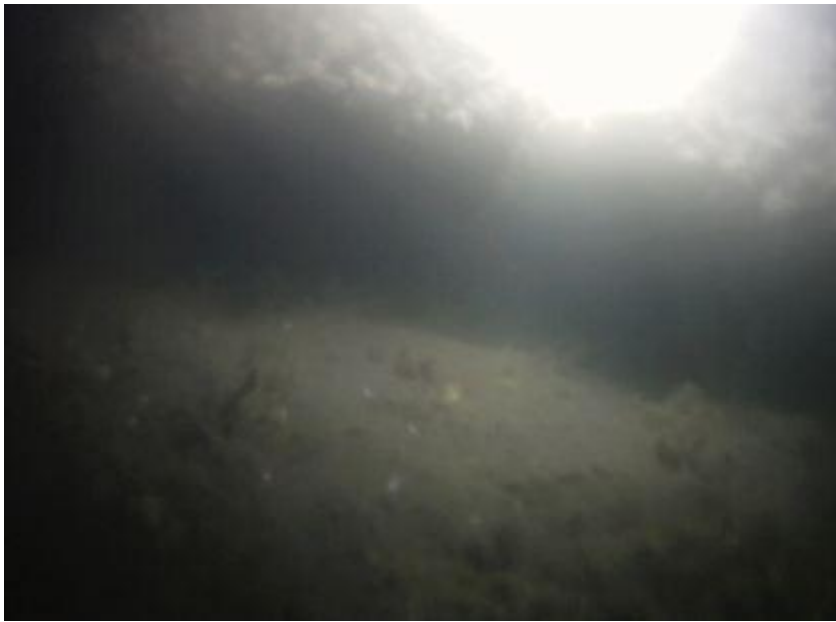
KUVA 29. Välituki, eteläinen puoli, irronnut kivi (Kuva: Tuomas Valli 2012)

5.6.2 Betonin rapautuminen

Kummallakin puolella välitukea on havaittavissa merkittävää ja vakavaa rapautumista. Kuvassa 30 on nähtävissä välituen pohjoispuolen rapautumistilanne. Rapautuminen pahenee itäistä päätyä kohti mentäessä. Rapautuneen alueen korkeus on pohjoisella sivulla 10–20 cm ja se ulottuu monin paikoin kivien alle 10–30 cm:n syvyydelle rakenteeseen, pahimmillaan jopa 80 cm:n syvyyteen. Eteläisellä sivulla rapautuneen betonin korkeus kivien alla on 10–20 cm ja se ulottuu 20–40 cm:n syvyydelle rakenteeseen, pahimmillaan jopa 60–80 cm:n syvyyteen. Kivien alle on syntynyt tyhjää tilaa betonin rapautumisen vuoksi (kuva 31).



KUVA 30. Välituki, pohjoinen puoli, betonin vakava rapautuminen (Kuva: Tuomas Valli 2012)



KUVA 31. Välituki, eteläinen puoli, kiven alla tyhjää tilaa (Kuva: Tuomas Valli 2012)

5.6.3 Arvio välituen kunnosta

Välituen kivirakenteen saumat ovat monin paikoin rapautuneet sekä vedenpinnan ylä- että alapuolelta. Pahin tilanne on juuri vesirajan tuntumassa. Kivirakenteen alla olevassa betonikerroksessa havaittiin merkittävää ja paikoin vakavaa betonin rapautumista, joka on aiheuttanut tyhjiä aukkoja kivien alle. Itäisessä päädyssä, jossa tilanne on pahempi, on havaittavissa kivien painumista ja osittaista irtoamista. Itäisen päädyn suuremmat vauriot verrattuna läntiseen päätyyn saattavat johtua itäisen päädyn voimakkaammasta veden virtauksesta. Hirsiarkkujen salvoksissa havaittiin aukenemista ja yksittäisiä hirsii oli irronnut rakenteen yläosasta. Rapautumisen jatkuessa edelleen on vaarana, että kiviä saattaa irrota rakenteesta. Korjaamattomana nämä vauriot laajenevat entisestään ja aiheuttavat vaaraa sillan kantokyvyille.

5.7 Kannen pintarakenteet

Pintarakenteita tutkittiin erikoistarkastuksessa avaamalla kannen pintarakenteet viidestä kohdasta. Rakenteiden kunto arvioitiin silmämääräisesti, sekä eristeestä otettiin näytteet laboratoriotutkimuksia varten. Kohteella ei tehty kosteusmittauksia. Pintarakenteiden avauskohdat on esitetty liitteessä 2.

5.7.1 Vedeneriste ja suojabetoni

Kannen vedeneristeenä on mastiksikerros, jonka paksuus avauskohdissa vaihteli välillä 12–15 mm. Vedeneriste vaikutti avauskohdissa ehjältä ja kovalta. Eriste oli pääosin kiinni kansilaatassa. Vaikka vedeneriste olikin ehjää ja hyvin kiinni alustassaan, oli alapinnassa havaittavissa laajoilla alueilla vesivuotoja. Kuvassa 32 on betoninäyte, jonka päässä on kiinni vedeneriste.



KUVA 32. Vedeneristekerros

Laboratoriossa vedeneristeelle tehtiin asbesti- ja PAH-pitoisuuden määrittäminen. Näyte ei sisältänyt asbestia. Vedeneristeestä otetulle PAH-näytteelle tehtiin raja-arvon ylittävä määrittäminen. Ympäristö- ja terveystieteiden määräämät raja-arvot ovat yhdistelmäkohtaisesti 20–40 mg/kg ja kokonaispitoisuudelle 200 mg/kg, jolloin purkumateriaalit on käsiteltävä ongelmajätteenä. Tulosten perusteella sillan vedeneristeessä on runsaasti raja-arvot ylittävä määrä PAH-pitoisuuksia. Kokonaispitoisuuden summa on 3900 mg/kg, joka ylittää kokonaispitoisuuden raja-arvon 20-kertaisesti.

Kannen pintarakenteiden avausten perusteella vedeneristeen päällä on noin 30 mm paksu suojabetonikerros. Avauskohdissa 01 ja 02 suojabetoni oli rapautunutta, muuta ehjää. Avauskohdissa 03 ja 05 suojabetonista ei saatu ehyttä näytettä. Avauskohdassa 04 suojabetoni oli niin pahasti rapautunutta, että sitä ei erottanut kulutuskerroksen sorasta, tai avauksen kohdalla ei ollut suojabetonia. Kuva 33 on otettu avauskohdasta 02. Kuvassa on selvästi erotettavissa suojabetoni- ja vedeneristekerros. Alkuperäisistä suunnitelmista ei saatu selvitettyä suojabetonikerroksen raudoitusta, eikä avauksen yhteydessä osuttu raudoitteiden kohdalle. Oletettavasti suojabetonikerrosta ei ole raudoitettu.



KUVA 33. Suojabetoni ja vedeneriste avauskohdassa

5.7.2 Täytekerros ja päällyste

Pintarakenteiden avausten perusteella täytekerroksena on hiekkaa ja soraa. Itäisillä kaistoilla kerroksen paksuus oli 275–330 mm ja läntisillä kaistoilla 225–385 mm. Täytekerroksen materiaalissa oli suuria eroja. Itäpuolen kaistoilta tehtyjen avauksien 01 ja 02 kohdalla kerros oli kokonaan hiekkaa (kuva 34) ja läntisiltä kaistoilta tehtyjen avauksien 03, 04 ja 05 kohdalla kerros oli karkearakeista soraa ja hiekkaa (kuva 35).



KUVA 34. Täytekerros itäpuolella



KUVA 35. Täyterkerros länsipuolella

Päällysteenä sillalla on asfalttibetonikerros, jonka paksuus itäisillä kaistoilla oli 180–185 mm ja läntisillä 155–195 mm. Kuvassa 36 on läntiseltä kaistalta irtiporattu asfalttibetonikerros. Tarkastuksessa ei havaittu päällysteessä halkeamia. Ajoratojen kohdalla oli havaittavissa hyvin pientä kulumaa.



KUVA 36. Asfalttibetonikerros

5.7.3 Arvio kannen pintarakenteiden kunnosta

Tutkimuksien perusteella vedeneristeenä toimiva mastiksieriste on ehjää ja se on hyvin kiinni alustassaan. Kannen alapinnassa oli kuitenkin havaittavissa vesivuotoja laajoilla alueilla, mikä viittaa vedeneristeen puutteelliseen toimintaan. Laboratoriotutkimuksissa vedeneristeestä havaittiin runsaasti PAH-yhdisteitä. Suojabetoni oli kahdessa avauskohdassa ehjää ja huokoista. Lopuissa kohdissa suojabetoni oli niin rapautunutta, että se mureni avauksien yhteydessä. Asfalttibetonipäällyste oli kohtuullisen hyväkuntoista. Sillan vedeneristys tulee uusia seuraavan peruskorjauksen yhteydessä, jolloin samalla uusitaan myös muut kerrokset. Vedeneristeen purkujäte on käsiteltävä ongelmajätteenä SILKO -ohjeiden mukaisesti.

5.8 Sillankaide

5.8.1 Kaiteen vauriot

Jätkäsaaren kannaksen sillankaiteena on valurautainen perinnekaide, jota tutkittiin erikoistarkastuksessa silmämääräisesti. Kaidetolpissa oli havaittavissa hyvin vähäistä ruostumista, jolla ei ole vaikutusta kaiteen kestävyYTEEN. Jätkäsaaren puolelta sillankaiteen johteet oli katkaistu työmaan edestä. Katkaistut johteet vaarantavat kevyenliikenteen turvallisuutta onnettomuustilanteessa (kuva 37). Lisäksi yhden johteen kiinnitys oli irti (kuva 38). Kaiteiden johdevälit ovat liian harvat aiheuttaen putoamisvaaran pienille lapsille.



KUVA 37. Katkaistut sillankaiteen johteet



KUVA 38. Johteen kiinnitys irti

5.8.2 Sillankaiteen törmäyskestävyys

Sillankaiteiden törmäyskestävyydelle annetaan määräyksiä standardeissa SFS-EN 1317-1 ja SFS-EN 1317-2. Taulukossa 16 on standardien mukaiset törmäyskestävyysluokat. Sillankaiteille soveltuvat luokat ovat H1–H2. Suomessa uudisrakenteisien siltojen kai-teilta edellytetään vähintään luokan H2 vaatimuksien toteutumista. Korkeampia luokkia

käytetään yleensä erityiskohteissa, joissa putoava ajoneuvo voi aiheuttaa suuronnettomuusriskin. (Järvinen, 2009, 3)

TAULUKKO 16. Törmäyskestävyyssluokat (SFS-EN 1317-2)

Törmäyskestävyyssluokka	Hyväksyntä-koe	Törmäysnopeus [km/h]	Ajoneuvon kokonaismassa [kg]	Törmäyskulma [°]	Ajoneuvotyyppi	
Tavallinen	N1	TB 31	80	1 500	20	henkilöauto
	N2	TB 11	100	900	20	henkilöauto
		TB 32	110	1 500	20	henkilöauto
Vaativa	H1	TB 11	100	900	20	henkilöauto
		TB 42	70	10 000	15	kuorma-auto
	H2	TB 11	100	900	20	henkilöauto
		TB 51	70	13 000	20	linja-auto
	H3	TB 11	100	900	20	henkilöauto
		TB 61	80	16 000	20	kuorma-auto
Erittäin vaativa	H4a	TB 11	100	900	20	henkilöauto
		TB 71	65	30 000	20	kuorma-auto
	H4b	TB 11	100	900	20	henkilöauto
		TB 81	65	38 000	20	ajoneuvoyhdistelmä

Perinnekaide ei ole törmäyskestävä ja niistä puuttuvat ajojohteet. Kaiteen törmäyskestävyydestä on annettu lausunto vuonna 2009 (TkT Vesa Järvinen, A-Insinöörit Oy). Kun perinnekaiteen edessä ei ole pylvään edessä yhtenäistä suojaavaa johdetta, törmää ajoneuvo vasten jäykkää pylvästä. Pylväät ovat kiinni reunan kivirakenteessa pylvään sisäisellä kierretangolla. Kierretankokiinnitys on hyvin heikko kiinnitystapa. Tilannetta heikentää entisestään kiinnittäminen kivirakenteeseen, sillä kiviä ei ole ankkuroitu kiinni alempiin rakenteisiin (kuva 39). Törmäystilanteessa kaiteen alapään kiinnitys pettää, joka on hyvin merkittävä riskitekijä. (Järvinen, 2009, 4.)



KUVA 39. Sillankaiteen kiinnitys reunakiveen

Kaiteen törmäyskestävyys muodostuu suurimmaksi osaksi vetoa kestävästä johteista, jotka toimivat köysirakenteen tavoin törmäystilanteessa. Vetoa kestävät johteet tasoittavat törmäyksessä syntyviä kuormia koko kaiteen matkalle ankkuroituen kaiteen päissä sillan rakenteisiin. Perinnekaiteen johteiden jatkokset eivät ole vetoa kestäviä, joten kaiteen törmäyskestävyys on käytännössä sama kuin yhden pylvään kestävyys. Törmäyksen osuessa jatkoksen kohdalle on erittäin todennäköistä, että johde aukeaa aiheuttaen merkittävän vaaratilanteen. (Järvinen, 2009, 4.) Kuvassa 40 on esitetty kaiteen johteen jatkos, joka on auki. Sillankaide on uusittava nykyisiä ohjeita vastaavaksi lähivuosina.



KUVA 40. Sillankaiteen jatkos

5.9 Liikuntalaitteet

Alkuperäisen suunnitelman mukaan sillan maa- ja välituilla laakereina on teräslevyt. Maatukien laakerit on merkitty liikkuviksi ja välituen kiinteiksi. Sillan laakerit olivat erittäin pahoin ruostuneet (kuva 41), eivätkä ne mahdollista sillan lämpöliikkeitä suunnitellulla tavalla. Sillalla ei ollut liikuntasaumalaitteita, eikä sillan päissä maatukien kohdalla ollut saumauksia.

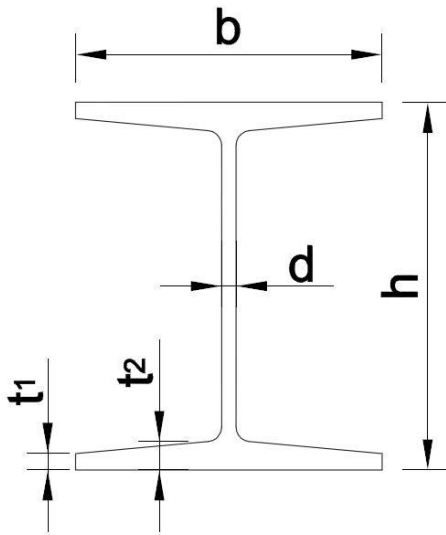


KUVA 41. Maatuen pahoin vaurioitunut liikuntalaite (teräslevyt)

6 KANTAVUUSTARKASTELU

6.1 Lähtökohdat

Jätkäsaaren kannaksen silta on rakennettu vuonna 1914 ja sitä on levennetty vuonna 1955. Kantavuustarkastelussa tarkastellaan alkuperäistä osaa sillasta, jossa ajoradat sijaitsevat. Alkuperäinen silta on teräspalkkibetoninen laattasilta, jonka pääkannattajina on diff28 ja diff36 I-palkit. Palkkien mitat on esitetty kuvassa 42 ja taulukossa 17. Sillan itäisellä kaistalla on pääkannattajina diff28 ja läntisellä kaistalla diff36 I-palkit. Palkit ovat rakenteessa 600 mm:n välein. Sillan kokonaispituus on 14,0 m ja jännemitat 6,19 m, 0,01 m, 6,19 m. Sillan kansi on rakennettu kahtena yksiaukkoisena rakenteena.



KUVA 42. I-palkkien mitat

TAULUKKO 17. I-palkkien mitat

Profilin numero	Korkeus	Leveys	Laipan vahvuus		Uuman vahvuus
	h (mm)	b (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	d (mm)
Diff28	280	280	12,35	24,4	11,5
Diff36	360	300	16,15	29,0	14,2

6.2 Mitoitusperusteet, normit ja ohjeet

Kantavuustarkastelun aloittamista varten pidettiin Tampereen teknillisellä yliopistolla tammikuussa 2013 kokous, jossa käsiteltiin teräspalkkibetonisen laattasillan kantavuustarkastelun vaiheet. Kokoukseen osallistuivat opiskelija Ari Husso (opinnäytetyön tekijä), diplomi-insinööri Joonas Tulonen, tekniikan tohtori Anssi Laaksonen ja diplomi-insinööri Markku Äijälä. Kokouksessa käsiteltiin DI Joonas Tulosen diplomityötä: Suokannan rautatiesilta: Vanhan teräspalkkibetonisen laattasillan koekuormitus. Diplomityötä on käytetty eräänä kantavuustarkastelun lähteenä. Lisäksi kantavuustarkastelussa on käytetty TkT Anssi Laaksonen ja DI Joonas Tulosen henkilökohtaista ohjeistusta kantavuuslaskennasta, sekä DI Markus Ryynäsen ohjeistusta laskentaohjelmien käytöstä.

Kantavuustarkastelussa käytetyt normit ja ohjeet ovat:

- TIEL 2170005: Siltojen kantavuuden laskentaohje 1992
- TIEL 2172072-99: Siltojen kuormat
- TIEL 2100037-06: Betonirakennepohjeet 2006
- TIEL 2170002: Siltojen rakennelaskelmat 1992
- Liikennevirasto: Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (EC).

6.3 Kantavuuteen vaikuttavat asiat

Jätkäsaaren kannaksen sillan kantavuustarkastelussa huomioitiin kantavuuteen vaikuttavina tekijöinä:

- Palkkien jako sillan kannen poikkileikkauksessa, mitkä ovat ajoratojen kohdalla noin 600 mm:n välein.
- Pääkannattajien korkeudet. Kannen pääkannattajina on kahden kokoisia leveälaippaisia I-palkkeja, joiden profiilit ovat diff28 ja diff36. Palkkien mitat on esitetty taulukossa 17.
- Pääkannattajien teräksen materiaalia ei selvinnyt käytössä olleiden alkuperäisten suunnitelmien perusteella, joten teräksen laaduksi arvioitiin rakennusvuoden perustella St 37. Laskennassa käytettiin kuitenkin myötörajana madallettua arvoa 210 N/mm^2 , koska ei ole täyttä varmuutta, mitä terästä pääkannattajat ovat.

- Sillan pääkannattajien alalaidat ovat näkyvissä ja ne olivat kauttaaltaan ruostuneet. Erikoistarkastuksessa tehdyissä tutkimuksissa arvioitiin, että pahiten ruostuneilla alueilla teräksestä on hävinnyt 3–4 mm. Ruostuessaan teräs ”turpoaa”, jolloin on hankala arvioida, paljonko alalaidpojen teräksestä on todellisuudessa hävinnyt. Laskennassa huomioitiin, että jokaisen palkin alalaidasta on hävinnyt 4 mm terästä.
- Kannen betonin puristuslujuus vaikuttaa kantavuustarkastelussa laskettavaan taiputusvastukseen. Betonin puristuslujuutena käytettiin laskennassa arvoa $f_{ck}=30 \text{ N/mm}^2$.

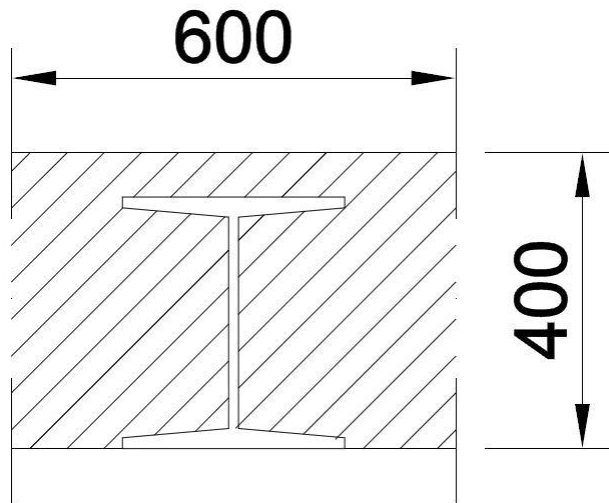
6.4 Sillan kanteen kohdistuvat kuormat

6.4.1 Pysyvät kuormat

Jätkäsaaren kannaksen sillan pysyvät kuormat muodostuvat kannen omasta painosta, sekä kannen pintarakenteiden painosta. Pysyvien kuormien määrittämisessä laskettiin kuormitus, joka tulee yhden palkin kodalle (kuva 43). Kuormitusalueen leveys on sama kuin palkkien jako kannen poikkileikkauksessa eli 600 mm. Kuormitukset laskettiin erikseen diff28 ja diff36 palkille. Pintarakenteiden kerrospaksuudet huomioitiin laskennassa keskiarvoina. Pysyvien kuormien varmuuskertoimena käytettiin liikenneviraston siltojen kantavuuden laskentaohjeen mukaista kerrointa $\mu_g = 1,2$.

Pysyviin kuormiin huomioidaan:

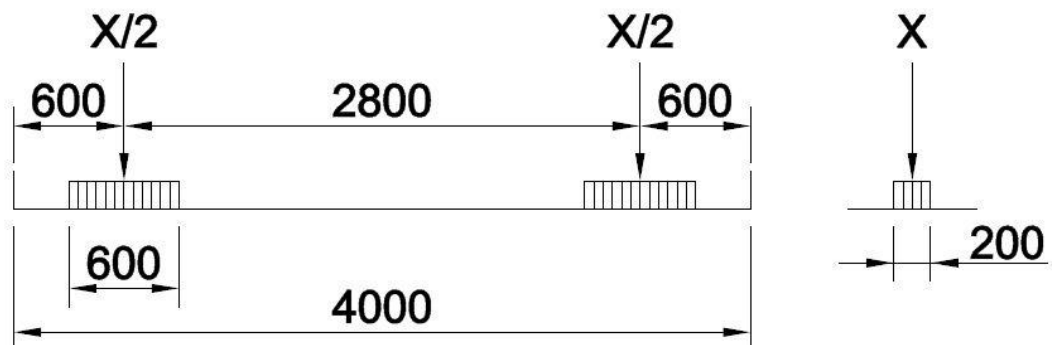
- kannen betoni
- pääkannattajina toimivat diff28 ja diff36 I-palkit
- vedeneriste (mastiksi)
- suojabetoni
- täytekerros (hiekkasora)
- päällyste (asfalttibetoni).



KUVA 43. Kannen poikkileikkaus pysyviä kuormia laskettaessa

6.4.2 Muuttuvat kuormat

Kantavuustarkastelun tarkoituksena oli selvittää Liikenneviraston siltojen kantavuudet laskentaohjeen (TIEL 2170005) erikoiskuljetuskaavion mukaisille yhdistelmille maksimi-arvot (taulukko 18). Lisäksi laskettiin maksimi arvo nauhakuormalle. Erikoiskuljetuskaavio on sillan poikkisuunnassa 4,0 m:n levyinen (kuva 44). Muuttuvien kuormien varmuuskertoimina käytettiin valvotuille kuljetuksille $\mu_{p1}=1,2$ ja yleiskuljetuksille $\mu_{p2}=1,3$. (Tielaitos, 1992, 10, 12)



KUVA 44. Erikoiskuljetuskaavion leveys sillan poikkisuunnassa

TAULUKKO 18. Erikoiskuljetuskaaviot (Tielaitos, 1992, 10)

N ₁	
N ₂	
N ₃	
N ₅	
N ₆	
K ₂	
K ₃	
K ₄	
K ₆	
T ₄	
T ₅	
T ₇	
T ₈	
Y ₁₀	
Y ₁₃	

6.4.3 Sysäyskerroin

Dynaamisen liikennekuormituksen aiheuttamat sysäykset ja värinä huomioidaan korottamalla kuormituksen ominaisarvoa sysäyskertoimella Φ . Valvotuilla kuljetuksilla oletetaan sysäyskertoimen arvoksi aina $\Phi_1=1,1$. Yleiskuljetuksille lasketaan sysäyskerroin kaavasta 2. (Tielaitos, 1992, 9–10.)

$$\Phi_2 = 1,40 - 0,006 \cdot L \geq 1,10 \quad (2)$$

jossa $L=5,5$ m (tarkasteltavan rakenneosan pituus)

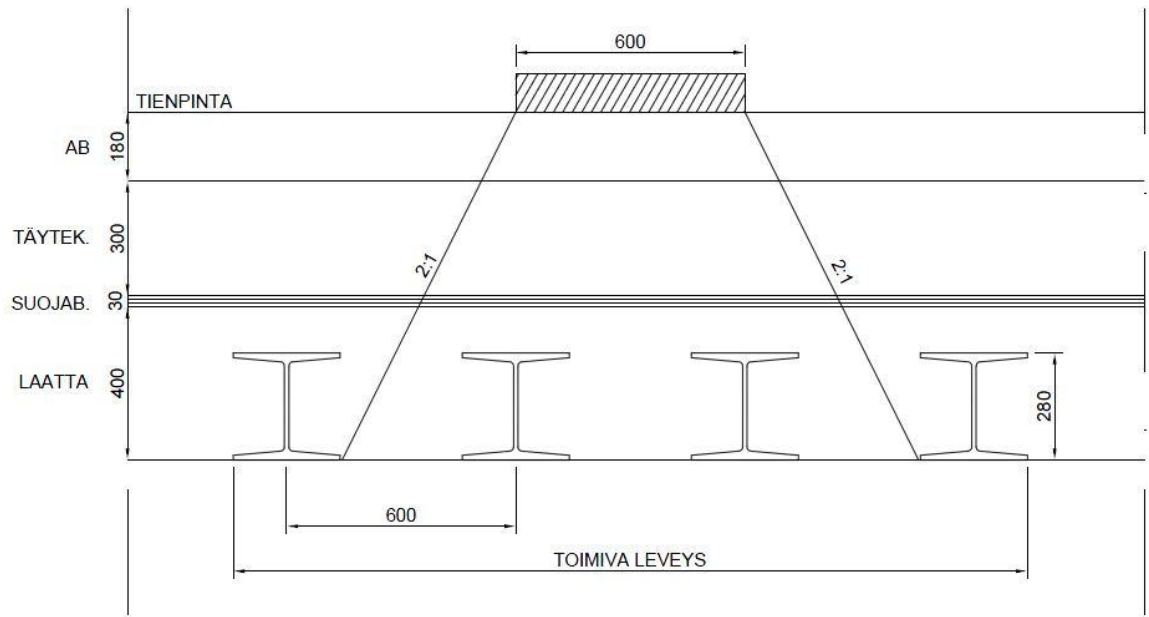
$$\Phi_2 = 1,40 - 0,006 \cdot 5,5 = 1,367 > 1,10 \quad (2)$$

6.5 Rakennemalli

Kuvissa 45 ja 46 on esitetty akselikuorman jakaantuminen kannen pintarakenteissa kuormittavan leveyden ollessa yhden renkaan leveys 600 mm. Kuormat jakaantuvat kannen pintarakenteissa 2:1. Laatan toimiva leveys ei ole sama kuin leveys, jolle kuormitus jakaantuu. Joonas Tulosen diplomityön koekuormitusten perusteella toimivan leveyden alueelle pystytään huomioimaan kuorman jakaantumisleveyden ulkopuolelta viereiset palkit (kuva 45).

6.5.1 Kuorman jakaantuminen diff28 palkkien kohdalla

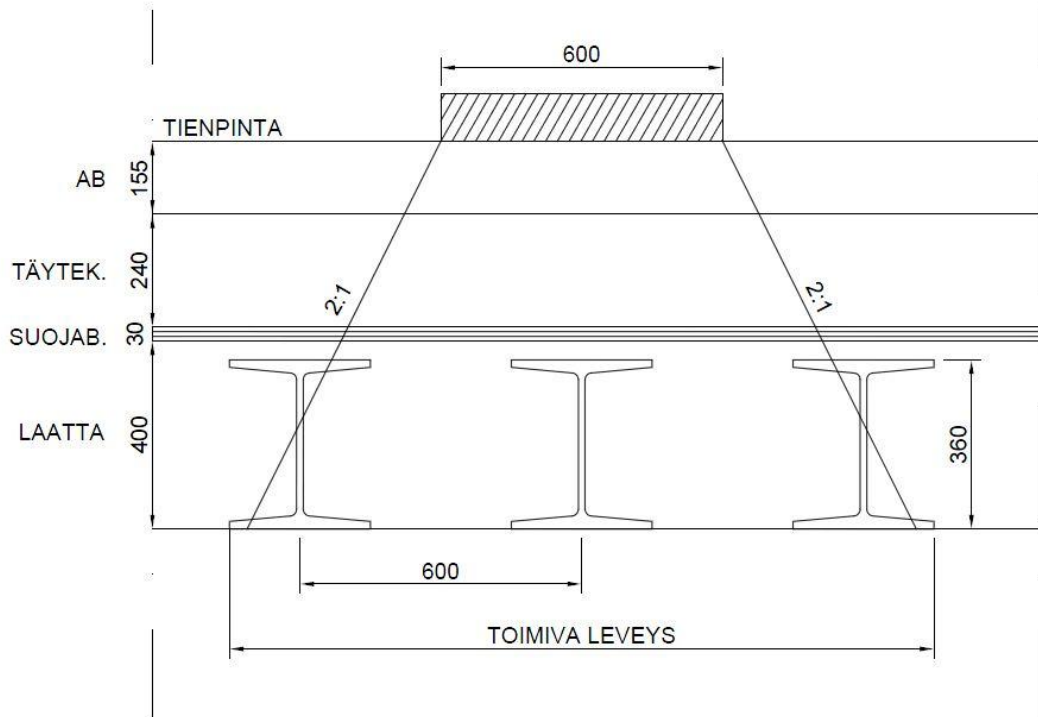
Pintarakenteiden rakennepaksuudet on huomioitu avauksien 01 ja 02 yhteydessä mitattujen rakennepaksuuksien keskiarvona. Diff28 palkkien kohdalla yhdeltä renkaalta tuleva kuormitus jakaantuu neljän palkin kannateltavaksi (kuva 45).



KUVA 45. Kuormien jakaantuminen kannen pintarakenteissa diff28 palkkien kohdalla

6.5.2 Kuorman jakaantuminen diff36 palkkien kohdalla

Pintarakenteiden rakennepaksuudet on huomioitu avauksien 03, 04 ja 05 yhteydessä mitattujen rakennepaksuuksien keskiarvona. Diff36 palkkien kohdalla yhdeltä renkaalta tuleva kuormitus jakaantuu kolmen palkin kannateltavaksi (kuva 46).



KUVA 46. Kuormien jakaantuminen kannen pintarakenteissa diff36 palkkien kohdalla

6.6 Poikkileikkaussuureet

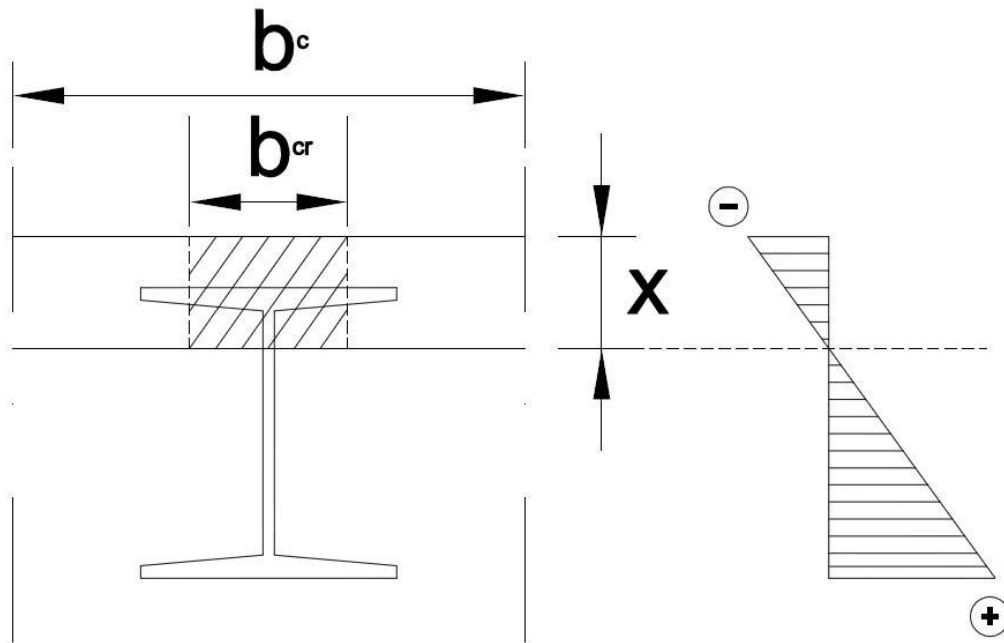
Alalaipoista hävinneen teräsmäärän vaikutus taivutusvastukseen huomioitiin laskemalla Steinerin säännöllä yksittäisen I-palkin poikkileikkauksen neutraaliakselin sijainti. Neliömomentin laskennassa huomioitiin betonin toimivan ainoastaan neutraaliakselin yläpuolella olevassa puristetussa osassa. Betonin ei huomioida toimivan neutraaliakselin alapuolella, koska teräspalkkibetonisessa laattasillassa betonin veto-ominaisuuksia ei pystytä määrittämään betonin halkeilun ja hyvin todennäköisten valuvikojen (onkaloiden) takia.

Rakenteen tehollisen betonipoikkileikkauksen korkeus x (kuvassa 47) selvitettiin muuttamalla laskennassa betoni teräkseksi kimmokertoimien suhteen avulla. Kimmokertoimien suhteen avulla betonin puristetun osan leveys b_c muutettiin leveydeksi b_{cr} . (Tulonen, 2012, 34–35.)

Rakenteen kimmokertoimina käytettiin:

- betonille $30\,000\text{ N/mm}^2$
- teräkselle $210\,000\text{ N/mm}^2$.

Kuvan 47 rakenteelle laskettiin Steinerin säännöllä neutraaliakselin sijainti (puristus- pinnan korkeus), josta muodostuu toisen asteen yhtälö. Neutraaliakselin sijainnin avulla saatiin laskettua koko rakenteen neliömomentti ja taivutusvastus. Poikkileikkaussuureiden laskentamallit on esitetty liitteessä 5.



KUVA 47. Neliömomentin laskennassa huomioita betoni b_{cr} ja puristus- pinnan korkeus

6.7 Akselikuormien laskeminen

Kantavuustarkastelussa määritettiin erikoiskuljetuskaavion mukaisille yhdistelmille maksimiakselikuormat. Tarkastelussa laskettiin murtorajatilassa taivutus- ja leikkaus- voiman vaikutus siten, että kaikki kuorma kohdistetaan yhdelle palkille. Tämän jälkeen saatu tulos kerrottiin palkkien lukumäärällä, jotka ovat laatan toimivan leveyden alueel- la. Liittopalkki- ja terässilloille ei vaadita taipumatarkastelua erikoiskuljetuksen kuormi- tuksia laskettaessa (Tielaitos, 1992, 13).

Ensimmäisenä jokaiselle kuormitustapaukselle laskettiin maksimi taivutuskestävyys. Taivutuskestävyyden maksimiarvoja verrattiin maksimileikkauskestävyyteen. Tämän perusteella selvisi, että määrääväksi tekijäksi sillan kantokyvyn kannalta tulee taivutus- kestävyys.

6.7.1 Yhden palkin momenttikapasiteetti

Yhden palkin momenttikapasiteetti M_{kap} laskettiin kohdassa 6.6 määritetyn taivutusvastuksen W avulla kaavasta 3. Eurokoodeissa teräksen varmuuskertoimena käytetään arvoa $\mu_s=1,0$. Tässä tarkastelussa käytettiin vanhojen normien mukaista varmuuskerrointa $\mu_s=1,1$.

$$\sigma = \frac{M_{kap}}{W} \quad (3)$$

jossa $\sigma = 210 \text{ N/mm}^2$ (teräksen myötöraja)

jossa M_{kap} = yhden palkin momenttikapasiteetti

jossa W = rakenteen poikkileikkauksen taivutusvastus yhden palkin kohdalla

6.7.2 Oman painon aiheuttama momentti

Oman painon aiheuttama momentti laskettiin kaavasta 4 määrittämällä yhdelle palkille tuleva kuormitus, joka muodostuu sillan kannen omista rakenteista. Oman painon varmuuskertoimena käytettiin kohdassa 6.4.1 määritettyä arvoa $\mu_g = 1,2$.

Sillan kannen rakenteille käytettiin seuraavia tilavuuspainoja:

- betoni: 25 kN/m^3
- vedeneriste (mastiksi): 22 kN/m^3
- suojabetoni: 25 kN/m^3
- hiekka: 16 kN/m^3
- sora: 17 kN/m^3
- asfalttibetoni: 25 kN/m^3 .

$$M_{op} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (4)$$

jossa M_{op} = poikkileikkauksen omanpainon aiheuttama maksimi momentti

jossa q = omanpainon aiheuttama kuormitus

jossa l = tarkasteltavan poikkileikkauksen pituus

6.7.3 Maksimi akselikuorma

Maksimi akselikuorma laskettiin kaavasta 7. Kaavassa momenttikapasiteetista vähennetään omanpainon aiheuttama momentti. Saatu tulos jaetaan erikoiskuljetuskaavioiden mukaisista kuormitustapauksista saaduilla maksimitaivutusmomenteilla M_{max} . Akselikuormien varmuuskertoimena käytetään kohdissa kohdassa 6.4.2 määritettyjen muuttuvien kuormien varmuuskertoimia ja kohdassa 6.4.3 määritettyjen sysäyskertoimien tuloa. Valvottujen kuljetusten varmuuskerroin lasketaan kaavassa 5 ja yleiskuljetusten kaavassa 6.

$$\mu_{erikoisk.} = \mu_{p1} \cdot \Phi_1 \quad (5)$$

jossa μ_{p1} = muuttuvien kuormien varmuuskerroin

jossa Φ_1 = sysäyskerroin

$$\mu_{erikoisk.} = 1,2 \cdot 1,1 = 1,32 \quad (5)$$

$$\mu_{valvottu} = \mu_{p2} \cdot \Phi_2 \quad (6)$$

jossa μ_{p2} = muuttuvien kuormien varmuuskerroin

jossa Φ_2 = sysäyskerroin

$$\mu_{valvottu} = 1,3 \cdot 1,367 = 1,78 \quad (6)$$

$$F_{max} = \frac{M_{kap} - M_{op}}{M_{max}} \quad (7)$$

Akselikuormista muodostuva maksimimomentti saadaan laskettua laskentaohjelmilla kaavoista 8, 9 ja 10. Kaavassa 8 lasketaan maksimimomentti palkin kohdalla huomioon, että laskettava akseli voi olla ainoastaan palkin matkalla (0–L).

$$M_{aks}(x, F, L) := \begin{cases} F \cdot \left[\frac{(L-x)}{L} \cdot 0.5L - \max(0, 0.5L - x) \right] & \text{if } x \geq 0 \wedge x \leq L \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Kaavassa 9 lasketaan yhteen momentit, jotka muodostuvat sillalla olevista akselikuormista.

$$Myht(x_{aks}, F_{aks}, L_a, x_{siirto}) := \begin{cases} \text{summa} \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 1..rows(x_{aks}) \\ \quad \text{summa} \leftarrow \text{summa} + M_{aks}(x_{aks}_i + x_{siirto}, F_{aks}_i, L_a) \\ \text{return summa} \end{cases} \quad (9)$$

Kaavassa 10 määritetään sillalle maksimimomentti kaavoista 8 ja 9 saaduista tuloksista. Kaavassa 10 on määritetty, että valittu kuormitustapaus (akselikuormat) juoksutetaan koko sillan matkan aloittaen toisesta päästä liikkeelle. Kaava ”tallentaa” jokaisen tuloksen, joka ylittää edellisen maksimiarvon.

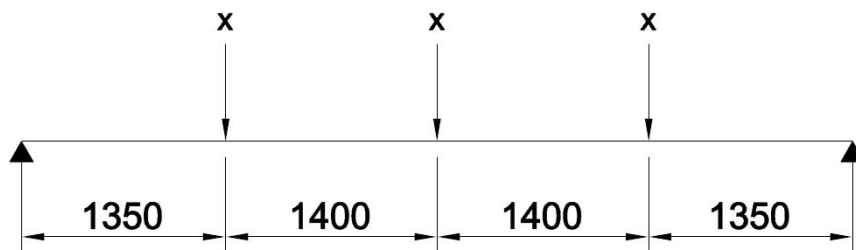
$$juoksutus(x_{aks}, F_{aks}, L_a, step) := \begin{cases} j_{max} \leftarrow \text{floor} \left(\frac{L_a + 2}{step} \right) + 1 \\ \text{for } j \in 1..j_{max} \\ \quad \begin{cases} x_{siirto} \leftarrow step \cdot (j - 1) \\ M \leftarrow Myht(x_{aks}, F_{aks}, L_a, x_{siirto}) \\ \text{tulos} \leftarrow M \text{ if } M \geq \text{tulos} \end{cases} \\ \text{return tulos} \end{cases} \quad (10)$$

Erikoiskuljetuskaavion mukaiset kuormitustapaukset saadaan määritettyä kaavalla 11, josta saadaan juoksutuksen maksimimomentti. Kaavan matriiseihin määritetään kuormien määrät ja sijainnit toisiinsa nähden. Kaavan ensimmäiseen matriisiin määritetään kuomien sijainnit toisiinsa nähden. Toiseen matriisiin määritetään akselien määrä. Kolmas termi (5,5) on laskettavan palkin pituus ja viimeinen termi (*step*) on juoksutusväli. Juoksutusväli oli tarkastelussa 10 mm (jokainen piste 10 mm:n välein lasketaan).

$$M_{max} = \text{juoksutus} \left[\begin{array}{c} 0 \\ 1.4 \\ 2.8 \\ 0 \\ 0 \end{array} , \begin{array}{c} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{array} , 5.5, \text{step} \right] \quad (11)$$

6.7.4 Esimerkki kaavan 11 käytöstä

Tapaukselle T7 (kuvassa 48) ensimmäiseen matriisiin laitetaan mitat voimien paikkojen mukaan. Lähdetään liikkeelle oikeanpuoleisesta x voimasta, paikka merkki on ”0”. keskimäinen voima on edellisestä 1,4 m:n päässä ja vasemman puoleinen 2,8 m:n päässä. Toiseen matriisiin laitetaan joko 1 tai 0. Jos mitan kohdalla on voima 1 jos ei niin 0. Kuormitustapauksen merkkäminen kaavaan on esitetty kohdan 6.7.3 kaavassa 11.



KUVA 48. Kuormitustapaus T7

6.8 Kantavuustarkastelun tulokset

Kantavuustarkastelusta saadut yhden palkin maksiakselikuormat kerrottiin yhden renkaan alle jäävien palkkien lukumäärällä. Diff28 palkkien kohdalla pystyttiin huomioimaan neljä palkkia ja diff36 palkkien kohdalla kolme. Kantavuuden arvoissa huomioitiin 50 % palkeista koska:

- tarkastelussa ei huomioitu poikittaisen suunnan momenttia, sillä kannessa ei ole poikittaista raudoitusta
- poikittainen momentti heikentää palkin ja betonin välistä tartuntaa
- maksimikuormilla on vaarana, että sillan kanteen syntyy pysyviä taipumia
- pyörän paikallista vaikutusta ei huomioitu (lävistyminen).

Taulukoissa 19 on esitetty erikoiskuljetusten akselikuormien maksimiarvot. Taulukossa olevat sarakkeet länsi ja itä tarkoittavat sillan läntistä ja itäistä kaistaa. Kaistoille on laskettu omat kantavuudet sillan kannen erilaisten poikkileikkausten vuoksi.

TAULUKKO 19. Kantavuustarkastelun tulokset

Erikoiskuljetusten akselikuormat:				
	Yleiskuljetus (t)		Valvottu kuljetus (t)	
	länsi	itä	länsi	itä
N1	34,8	23,2	46,9	31,3
N2	22,8	15,2	30,7	20,5
N3	16,9	11,3	22,8	15,2
N5	19,7	13,2	26,6	17,8
N6	18,9	12,6	25,5	17,0
K2	22,8	15,2	30,7	20,5
K3	16,9	11,3	22,8	15,2
K4	16,5	11,0	22,2	14,8
K6	17,6	11,7	23,7	15,8
T4	16,5	11,0	22,2	14,8
T5	16,1	10,7	21,7	14,5
T7	17,6	11,7	23,7	15,8
T8	18,2	12,2	24,6	16,4
Y10	18,2	12,2	24,6	16,4
Y13	18,2	12,2	24,6	16,4
Erikoiskuljetusten nauhakuormat:				
	Yleiskuljetus (t/m)		Valvottu kuljetus (t/m)	
	länsi	itä	länsi	itä
Nauha	12,6	8,4	17,1	11,4

6.9 Korroosion etenemisen vaikutus sillan kantavuuteen

Teräspalkkien ruostumisen edetessä sillan kantavuus heikkenee. Taulukkoon 20 on listattu korroosion vaikutus yksittäisen diff36 I-palkin taivutusvastukseen 2 mm:n välein. Taivutusvastuksen pienentyminen on suoraan verrannollinen kantavuuden pienentymiseen. Nykyisen 4 mm ruostumisen vaikutuksesta teräksen taivutusvastuksesta on hävinnyt 12,4 %. Jokaista 2 mm kohden taivutusvastuksesta häviää noin 7 %. Ruostuneen teräksen määrän ollessa 10 mm, on taivutusvastuksesta hävinnyt noin kolmannes.

TAULUKKO 20. Korroosion etenemisen vaikutus taivutusvastukseen

Ruostuneen teräksen määrä: t_{cor} (mm)	Taivutusvastus: W (mm^3)	Kapasiteetti ehjästä poikkileikkauksesta (%)
0	$2,033 \cdot 10^6$	100
4	$1,781 \cdot 10^6$	87,6
6	$1,649 \cdot 10^6$	81,1
8	$1,513 \cdot 10^6$	74,4
10	$1,371 \cdot 10^6$	67,4

7 YHTEENVETO SILLAN VAURIOISTA

7.1 Merkittävät vauriot ja ongelmat

Jätkäsaaren kannaksen sillalle tehdyn erikoistarkastuksen perusteella merkittävimmät vauriot ja ongelmat ovat:

- 1) Kantavana rakenteena toimivat teräksiset I-palkit ovat näkyvissä ja niiden alalaipat ovat pahoin ruosteessa.
- 2) Vedeneristys vuotaa laajoilla alueilla.
- 3) Kansilaatan alapinnassa on monin paikoin rapautumisen ja valuvian aiheuttamia vaurioita, joiden kohdalta betoni irtoaa levyinä.
- 4) Hirsiarkkujen päällä oleva betonirakenne on merkittävästi ja paikoin vakavasti rapautunut aiheuttaen kivirakenteen alle koloja tyhjää tilaa.
- 5) Välituen itäisessä päädyssä on havaittavissa rapautumisen aiheuttamaa kivien painumista ja liukumista.
- 6) Sillan kaiteet eivät ole törmäysturvalliset.
- 7) Pohjoisen maatuen keskivaiheilla on levenemä, jonka kohdalta hirsiarkun täyttö on valunut osittain uoman pohjalle.
- 8) Eteläisellä maatuella on kivirakenteen alla olevan betonirakenteen alla noin 30 cm korkea ja 50 cm syvä tyhjätila.
- 9) Vedeneristeessä on 20 kertaa sallittu määrä PAH-yhdisteitä.

7.2 Muut vauriot ja ongelmat

Jätkäsaaren kannaksen sillalle tehdyn erikoistarkastuksen perusteella muita vaurioita ja ongelmia ovat:

- 10) Kansilaatan reunat ovat rapautuneet
- 11) Kansilaatan sivupinnassa on törmäysjälkiä, joiden kohdalta teräkset ovat näkyvissä.
- 12) Hirsiarkkujen salvokset ovat paikoin auenneet.
- 13) Kivirakenteiden saumat ovat vedenpinnan läheisyydessä paikoin irti tai irronneet kokonaan.

- 14) Kannen sivupinnassa on runsaasti haitallisia ja kosteellisuutta indikoivaa ettringiittiä ja mahdollisesti kipsiä, mitkä voivat edistää rapautumista.

8 TUTKIMUKSEN TULOKSET

8.1 Erikoistarkastus

Jätkäsaaren kannaksen sillan erikoistarkastuksen perusteella sillan kannen yläpinnan betoni on kohtuullisen hyvässä kunnossa, vaikka sillan vedeneriste on vuotanut laajoilla alueilla. Laboratoriossa tehtyjen tutkimusten perusteella betonissa ei esiinny merkittäviä rapautumisvaurioita. Sillan paksu pintarakennekerros yhdistettynä meren lämmittävään vaikutukseen suojaa kannen yläpinnan betonia, joten vuotuisten jäätymissulamissyklein vaikutus jää vähäiseksi. Kansilaatan yläpinnassa ei havaittu kohonneita kloridipitoisuuksia.

Tehtyjen tutkimusten perusteella sillan alapinnan betoni on huonommassa kunnossa kuin yläpinnan betoni. Silmämääräisesti tehtyjen tutkimusten perusteella alapinnan betonissa havaittiin merkkejä merkittävästä rapautumisesta. Tarkemmissa tutkimuksissa ei kuitenkaan havaittu laajoja tai pitkälle edenneitä rapautumisvaurioita. Kyse saattaa olla työnaikaisesta valuviasta. Tarkastuksessa tehtyjen havaintojen perusteella sillan alapinnan betonin valu on epäonnistunut, jonka seurauksena alapinnasta lohkeaa betonia irti levyinä. Myös kannen sivupinnan reunoilla havaittiin betonin rapautumisen ja valuvian aiheuttamia vauriota, joiden kohdalta betonia oli lohjennut irti. Kannen sivupinnasta otetusta ohuthienäytteestä ei kuitenkaan havaittu merkkejä betonin rapautumisesta. Ohuthienäyte otettiin keskeltä sillan sivupintaa, missä ei ollut silmämääräisesti havaittavissa merkkejä rapautumisesta.

Kannen betonin iästä ja huokoisuudesta huolimatta, kannen alapinnan betonista laboratoriossa tehtyjen puristuslujuuden määritysten perusteella, puristuslujuus on huomattavan korkea. Betonin suuri puristuslujuus saattaa osittain selittyä betonin suurirakeisella kiviaineksella. Betonin puristuslujuus ei kuitenkaan kuvaa betonin säilyvyysominaisuuksia.

Kannen alapinnan betonista havaittiin itäisellä reunalla merkittävää kloridipitoisuutta. Kloridit sitovat vettä ja edistävät siten pakkasrapautumista sekä teräksen ruostumista. Klorideja ei kuitenkaan havaittu laajoilla alueilla, joten niiden aiheuttamat vauriot jäävät paikallisiksi. Kannen sivupinnassa havaittiin runsaasti haitallista ja kosteutta indikoivaa

ettringiittiä ja kipsiä, mitkä voivat edistää betonin rapautumista. Kannen betonia ei voida tutkimustuloksien perusteella pitää pakkasenkestävänä kosteusrasituksessa.

Sillan pääkannattajina toimivien teräksisten I-palkkien alalaipat ovat näkyvissä ja kauttaaltaan ruosteessa. Pahiten ruostuneilla alueilla alalaipan paksuus on noin 3–4 mm alkuperäistä pienempi. Teräspinta-alan pientyminen vaikuttaa sillan kantavuuteen. Teräspalkkien ylälaipat paljastuivat kolmessa pintarakenteiden avauskohdassa. Avauskohdissa teräs oli kirkas, eikä ruostetta ollut havaittavissa. Kannen yläpinnan betonissa ei havaittu klorideja ja karbonatisoituminen on ollut hidasta. Teräspalkkien voidaan olettaa alalaippoja lukuun ottamatta olevan emäksisen betonin suojaamia.

Sillan reunan kivirakenteiden saumaukset ovat rapautuneet. Saumaukset ovat paikoin irti tai irronneet kokonaan. Irronneiden saumauksien kohdalta vesi valuu sillan sivupinnalle ja kannen päälle ja saattaa siten aiheuttaa vaurioita sillan kansilaatalle.

Sillan maa- ja välitukien kivirakenteiden saumaukset ovat monin paikoin rapautuneet sekä veden pinnan ylä- että alapuolella. Pahin tilanne on juuri vesirajan läheisyydessä. Kivirakenteen ja hirsiarkkujen välissä olevassa betonikerroksessa havaittiin merkittävää ja paikoin vakavaa betonin rapautumista. Betonin rapautuminen on aiheuttanut kivirakenteen alle tyhjää tilaa. Hirsiarkkujen salvoksissa havaittiin aukenemista ja yksittäisiä hirsiiä oli irronnut rakenteen yläosasta. Välituen itäisessä päädyssä betonin rapautuminen on aiheuttanut kivien painumista ja osittaista irtoamista. Rapautumisen jatkuessa edelleen on vaarana, että kiviä saattaa irrota rakenteesta. Kivirakenteen alapuolelle oleva betonirakenne on ollut veden alla lähes 100 vuotta, eikä sitä ole tiettävästi korjattu tänä aikana. Korjaamattomina nämä vauriot laajenevat entisestään ja aiheuttavat vaaraa sillan kantokyvylle.

Maa- ja välitukien päällä olevat, laakereina toimivat teräslevyt ovat pahoin ruosteessa. Maatukien laakerit on merkitty liikkuviksi, mutta ruostumisen takia ne eivät mahdollista lämpöliikkeitä suunnitellulla tavalla. Laakerit ovat alkuperäiset ja ovat siten olleet jo kauan liikkumattomia. Sillan jännemitat ovat varsin lyhyet, joten lämpöliikkeet jäävät siten vähäisiksi. Laakerien liikkumattomuus ei todennäköisesti aiheuta merkittäviä lisävaurioita sillan rakenteille.

Sillankaiteena oleva perinnekaide ei ole törmäyskestävä. Kaiteet on kiinnitetty sillan reunan kivirakenteen päällä kaiteen sisäisellä kierretangolla. Kierretanko kiinnitys on hyvin heikko kiinnitystapa. Tilannetta heikentää entisestään, että kaide on kiinnitetty kivirakenteeseen, jota ei ole ankuroitu kiinni alapuolisiin rakenteisiin. Sillankaiteen johteiden jatkokset eivät ole vetoa kestäviä, joten kaiteen törmäyskestävyys on käytännössä sama kuin yhden pylvään kestävyys. Onnettomuustilanteessa on todennäköistä, että kaiteen johteen liitos aukeaa tai kaidetolppa irtoaa alapään kiinnityksestä aiheuttaen merkittävän vaaratilanteen. Kaiteen johdevälit ovat myös liian harvat aiheuttaen vaaratilanteita pienille lapsille. Lisäksi kaiteen johteet muodostavat tikapuita muistuttavan rakenteen, mikä saattaa houkuttaa kiipeilemään.

8.2 Kantavuustarkastelu

Jätkäsaaren kannaksen sillan kantavuustarkastelussa arvioitiin laskennallisesti sillan nykyistä kantokykyä. Sillan suunnittelukuormaa ei ollut tiedossa kantavuustarkastelun lähtökohdaksi. Erikoistarkastuksessa ei havaittu kantavuuden ylittämiseen viittaavia vaurioita. Erikoistarkastuksessa arvioitiin, että pääkannattajina toimivien teräksisten I-palkkien alalajoista on hävinnyt 3–4 mm terästä ruostumisen takia. Muita kantavuuteen vaikuttavia vaurioita ei havaittu.

Kantavuustarkastelusta saatiin Liikenneviraston erikoiskuljetuskaavion mukaisille akselikuormille varsin hyvät arvot. Kantavuustarkastelun perusteella sillan kantokyky ei ole heikentynyt verrattuna vuonna 2003 tehtyyn tarkasteluun. Kantavuustarkastelusta saatiin odotetusti paremmat arvot läntiselle kaistalle, jossa pääkannattajina ovat itäistä kaistaa korkeammat palkit. Vaikka itäisellekin kaistalle saatiin hyvät kantavuusarvot, niin on suositeltavaa, että erikoiskuljetukset ajetaan sillan läntistä kaistaa pitkin.

8.3 Korjaustoimenpiteet

Erikoistarkastuksen perusteella sillan loppuun käyttämistä tulee harkita. Silta on vanha ja sen perusteellinen korjaaminen tulee uutta siltaa kalliimmaksi. Lähitulevaisuudessa tehtävät korjaustoimenpiteet riippuvat tavoiteltavasta käyttöiästä. Sillan täydellisen peruskorjauksen tekeminen ei ole välttämätöntä.

Sillalle on tehtävä ainakin seuraavat korjaustoimenpiteet:

- Turvallisuuden parantamiseksi sillankaiteet on uusittava törmäystä kestäväksi.
- Kantavuuden nykytason säilyttämiseksi teräspalkkien alalaipat on hiekkapuhallettava ja palkit on suojattava esimerkiksi ruiskubetonoimalla sillan alapinta.
- Lisäksi kantavuuden nykytason säilyttämiseksi maa- ja välitukien alla olevat rapautuneet betoniosat on kunnostettava valamalla.
- Betonin säilyvyyden parantamiseksi kannen pintarakenteet on uusittava.
- Hirsiarkkujen korjaamista tulee harkita.

Alustava kustannusarvio edellä esitetyille korjaustoimenpiteille ilman pintarakenteiden uusintaa ja hirsiarkkujen korjaamista on noin 200 000 € (alv 0 %).

8.4 Tutkimusten luotettavuus

Tässä erikoistarkastuksessa tarkasteltiin sillan rakenteiden kuntoa ja vaurioitumista sekä arvioitiin vaurioitumisen syitä. Tutkimusmenetelmät suunniteltiin siten, että useammalla käytössä olevalla menetelmällä pyritään varmistamaan tulosten perusteella syntyneet johtopäätökset. Rakenteiden toimintaa sekä siinä esiintyviä puutteita on tarkasteltu sekä kenttätutkimusten yhteydessä että asiakirjojen perusteella.

Kantavuustarkastelussa arvioitiin ruostuneen teräksen määrää. Arvio vaikuttaa sillan kantavuuslaskentaan. Ruostuneen teräksen määrää ei pystytä tarkasti määrittämään, vaan sitä joudutaan arvioimaan tehtyjen havaintojen perusteella. Lisäksi vanhojen suunnitelmien perusteella ei saatu selville I-palkkien teräksen laatua, vaan sitä jouduttiin arvioimaan aikakauden mukaan. Työteknisistä syistä pintarakenteiden avaus tehtiin ainoastaan ajoratojen kohdilta, joten sillan reuna-alueilla kannen yläpinnan betonin kunnosta ei saatu tietoa.

Tutkimukset on kohdennettu siten, että tutkittavasta rakenteesta saadaan riittävän tarkka käsitys johtopäätösten taustaksi. Sillan vanhan osan rakenteen kunnosta ja kantavuudesta saatiin varsin hyvä käsitys.

LÄHTEET

Helsingin kaupunki. Jätkäsaari & Telakkaranta. 2013. Luettu 9.3.2013.
<http://www.uuttahelsinki.fi/jatkasaari-telakkaranta>)

Huopainen, J. 1997. Betonijulkisivujen karbonatisoituminen - kenttätutkimus. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Järvinen, V. 2009. Perinnekaidelausunto. Tampere: A-Insinöörit Suunnittelu Oy.

Kivisalo, B. 1968. Sillanrakennusoppi. Terässiltojen yleiskurssi. Moniste n:o 158. Otoniemi, Teknillisen korkeakoulun ylioppilaskunta.

Liikennevirasto. 2010. Tiesillat 1.1.2010. Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. (PDF). Tulostettu 7.3.2013.
www.liikennevirasto.fi/julkaisut

Liikennevirasto. 2013. Taitorakenteiden tarkastusohje. (PDF). Ennakkojulkaisu. Tulostettu 17.4.2013.

Ratu 82-0381. 2011. Kivihiilipikeä sisältävien rakenteiden purku. Osastointimenetelmä. Tulostettu 23.3.2013.

RT 08-10581. 1993. Asbesti, asbestikartoitus ja siitä aiheutuvat toimenpiteet: Rakennustietosäätiö. Tulostettu 23.3.2013.

SFS-EN 1317-2. 2011. Kaiteet ja törmäysvaimentimet. Osa 2: kaiteet. Luettu 3.4.2013.

Suomen betoniyhdistys. 2002. Betonijulkisivun kuntotutkimus. By 42. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy.

Tiehallinto. 2004. Sillantarkastusohje (TIEL 2000008-04). Helsinki: Tiehallinto

Tiehallinto. 2006. 7. painos. Sillantarkastuskäsikirja (TIEH 2000020-06). Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Helsinki: Tiehallinto

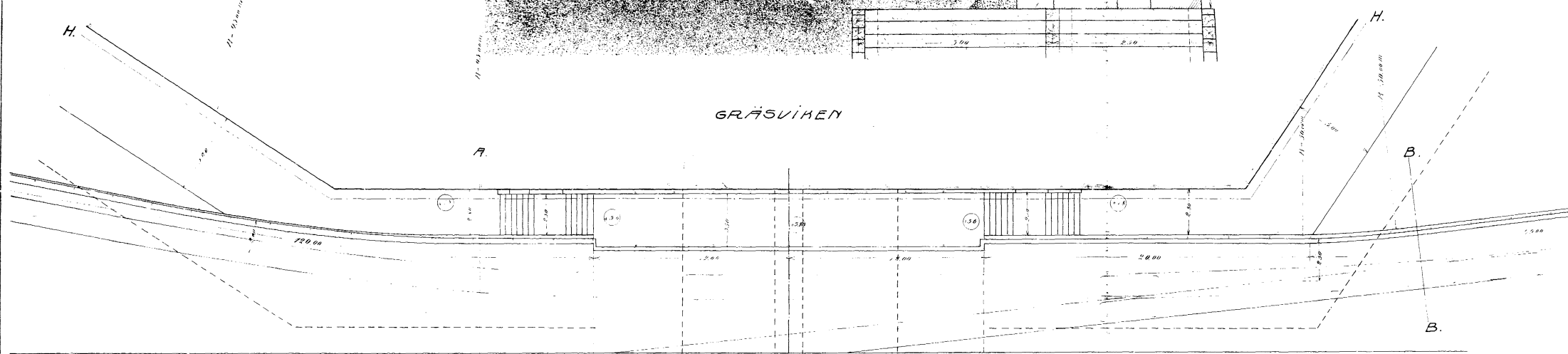
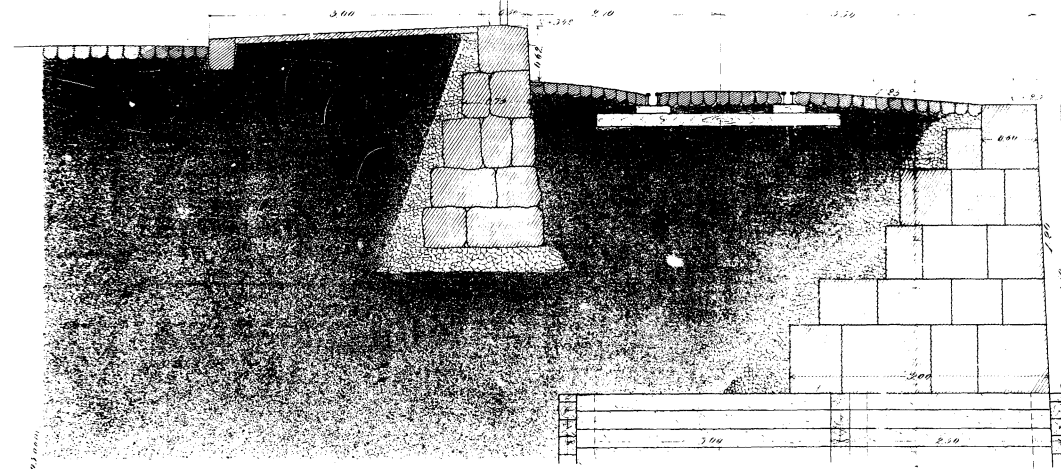
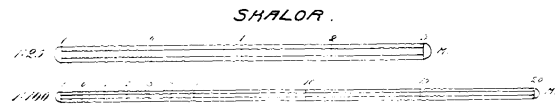
Tielaitos. 1992. Siltojen kantavuuden laskentaohje (TIEL 2170005). Helsinki: Tielaitos.

Tulonen, J. 2012. Suokannan rautatiesilta: Vanhan teräspalkkibetonisen laattasilan koekuormitus. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

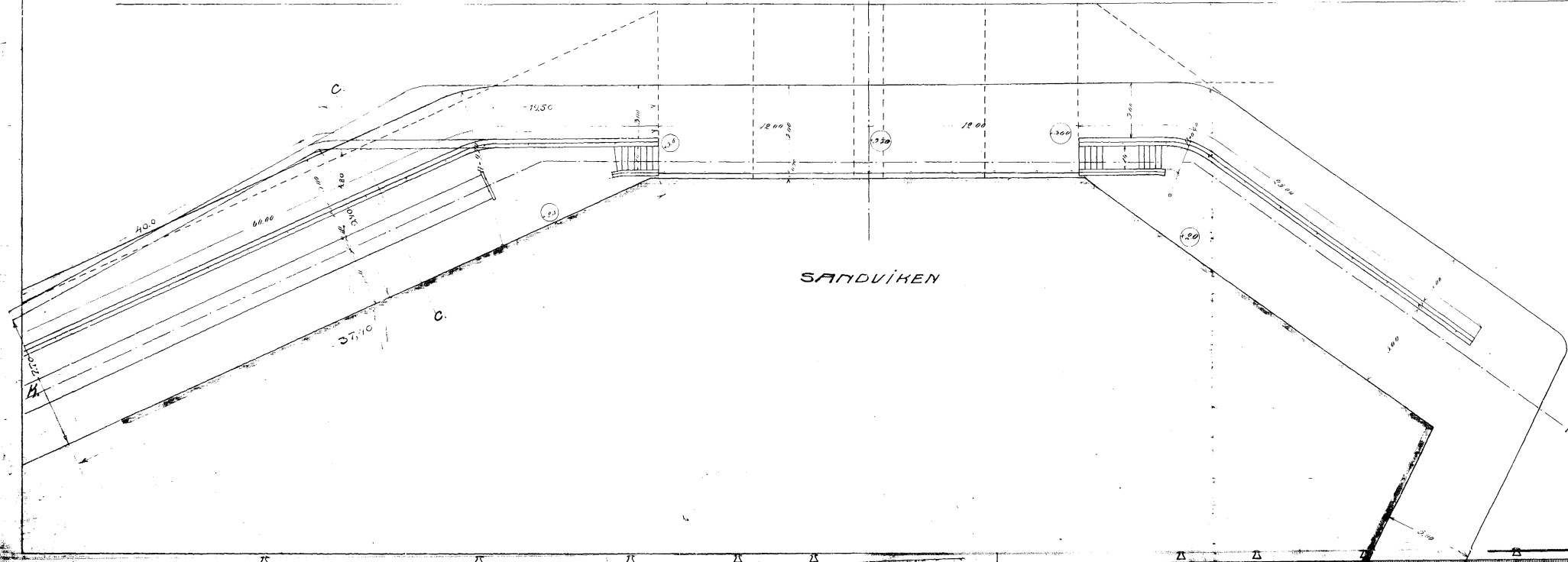
Ympäristöministeriö. 2005. Suomen rakentamismääräyskokoelma B4. Betonirakenteet. Helsinki: Ympäristöministeriö.

HAMNBYGGNADEN VID SAND OCH BUSHOLMEN

TVÄRGENOMSKÄRNING C-C.
SKALA 1:25.

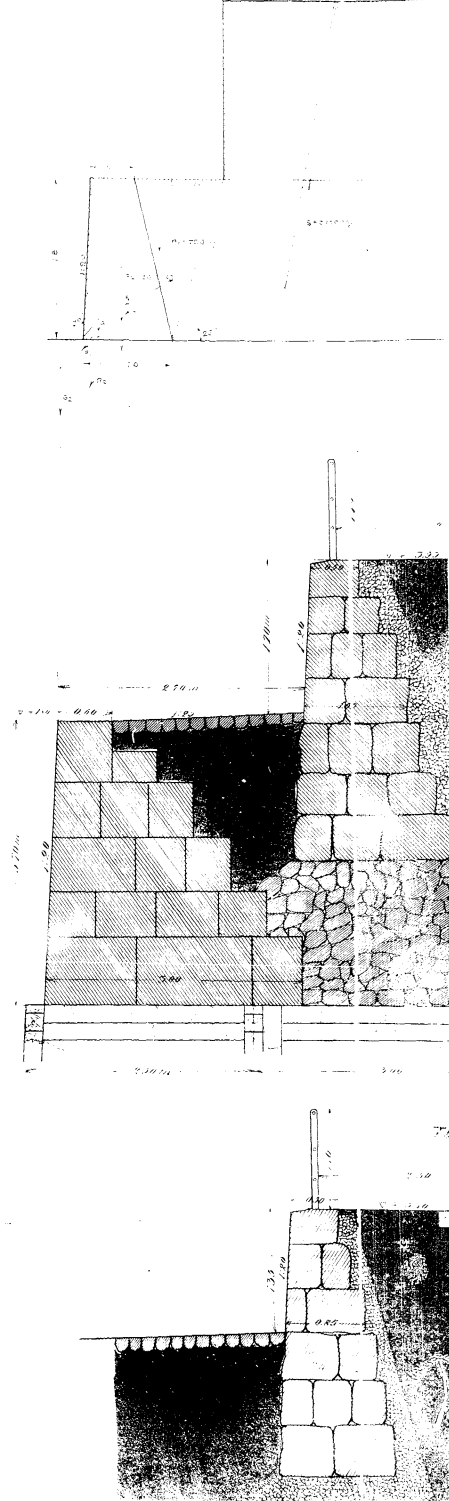


SITUATIONS PLAN ÖFVER BRON
SKALA 1:100.



SANDVIKEN

(jatkuu)

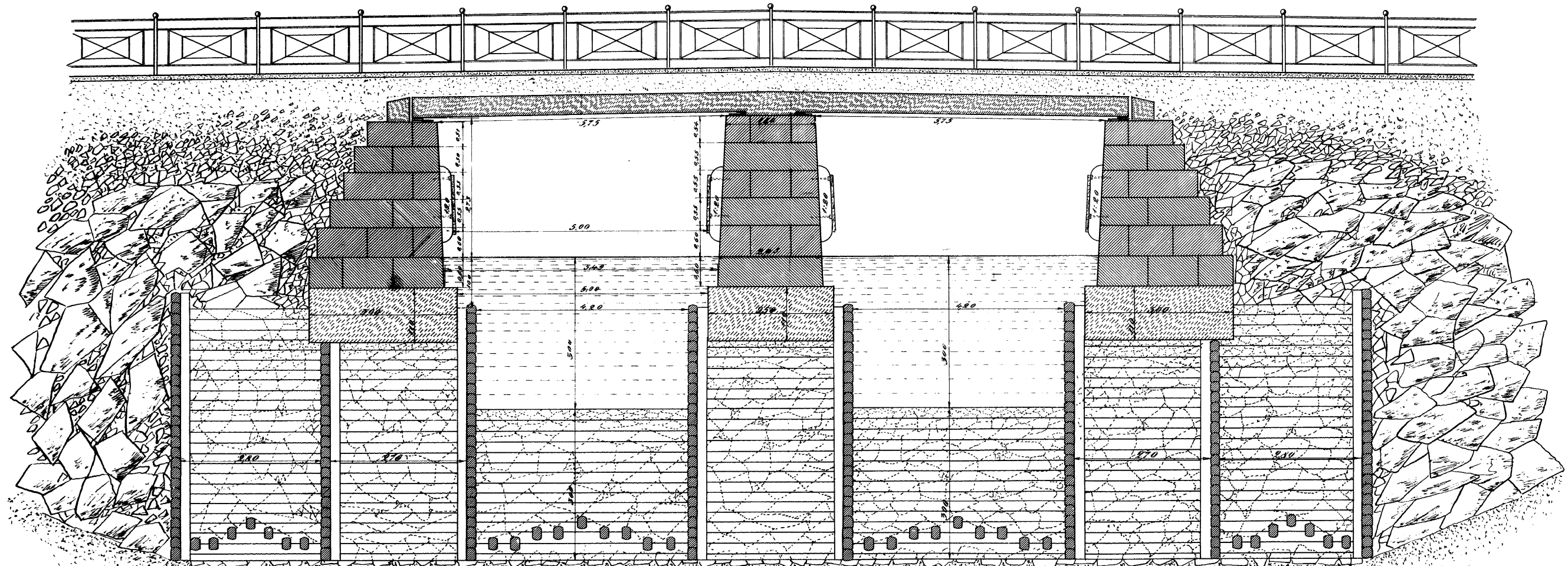


HELSINGIN KAUPUNGIN RAKENUSVALASTO
26966/3

Hammbyggnaden vid Sand och Busholmen

Tvärenomskärning till brokistor, vid övertarten.

Skala 1:40.

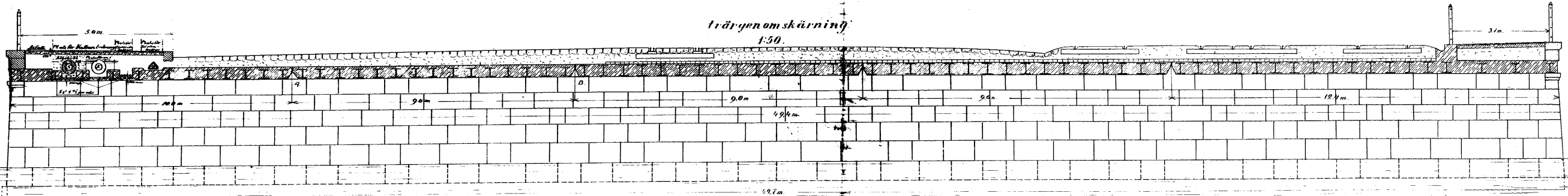


JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA			
LEIKKAUS			
Mitta piirustus			
Subst.	Lisäy. piir.	No	
		26966/2	
HELSINGIN KAUPUNGIN RAKENNUSVIRASTO, KATUOSASTO			

A
4211
111
218
5

Övertärlsbro till Busholmen.

Trärgenomskärning
1:50

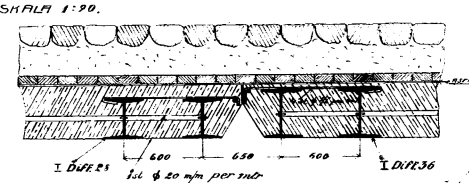
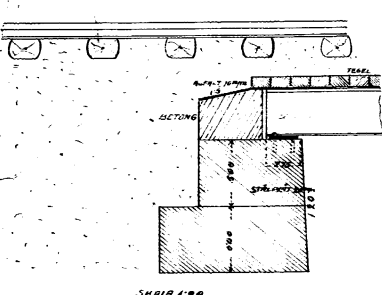


DETALJ TILL RÖRLIGT LÄGER

DETALJ TILL DILATATIONSFOGEN B.

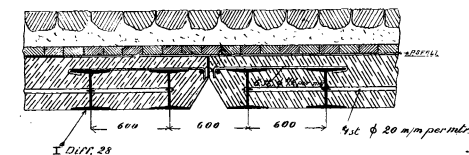
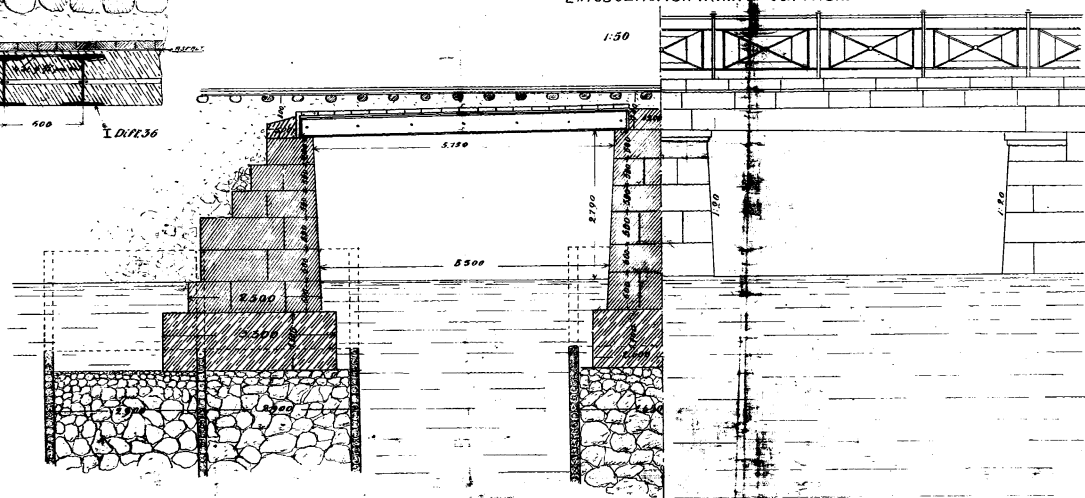
DETALJ TILL DILATATIONSFOGEN A.

DETALJ TILL FAST LÄGER

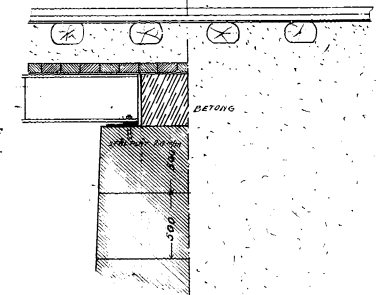


LÄNGDGENOMSKÄRNING OCH FASAD

1:50



1:20



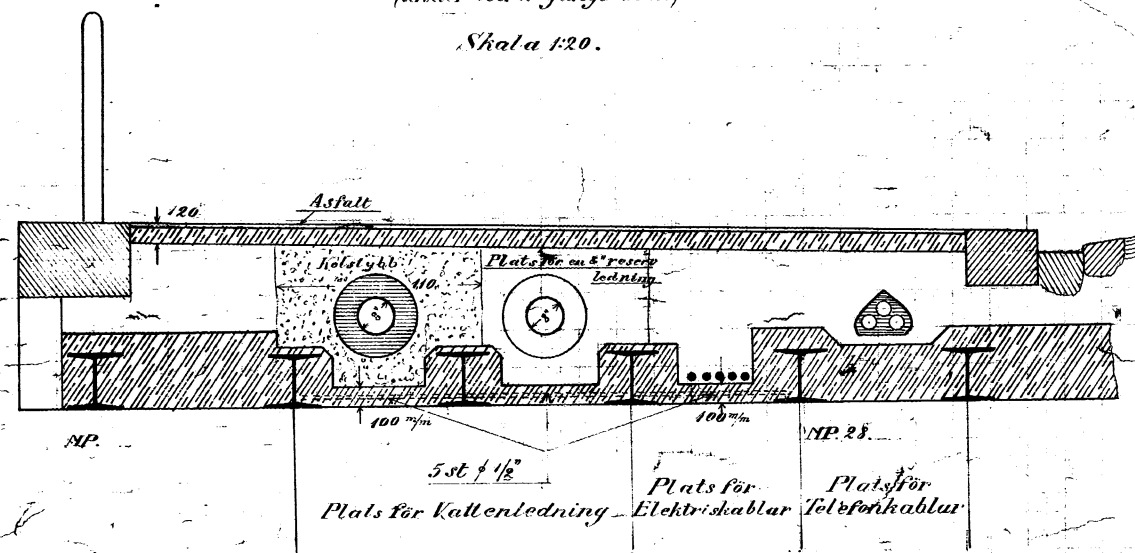
JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA			
Yleispiirustus			
N:o	26966/6		
Liitteen nro.			
Korvaus			
Korvaus			
HELSINGIN KAUPUNGIN RAKENNUSVIRASTO-KATUOSASTO			

*Planif. för Stadsbyggnadskontoret
aug. 1915.*

Välledning Elektriska-och Telefonkablar

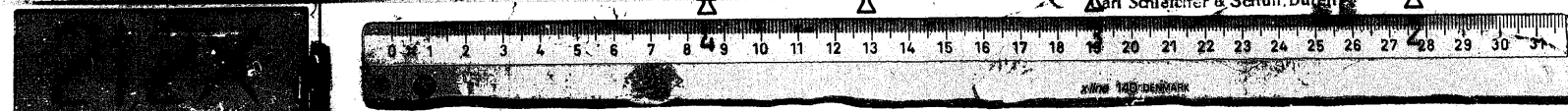
Bron under Busholmen.
(under östra gånbanan)

Skala 1:20.



JÄTKÄSÄÄREN KANNAKSEN SILTA			
Vesijohto, sähkö- ja puhelinkaapelit			
Suhde	Liittyy piiriin	No	Hyv.
	Karvan	26966/7	Tark.
	Korvattu		Plirt.
			Läst.
HELSINGIN KAUPUNGIN RAKENNUSVIRASTO KATUOSASTO			

A
425
1919
III
225

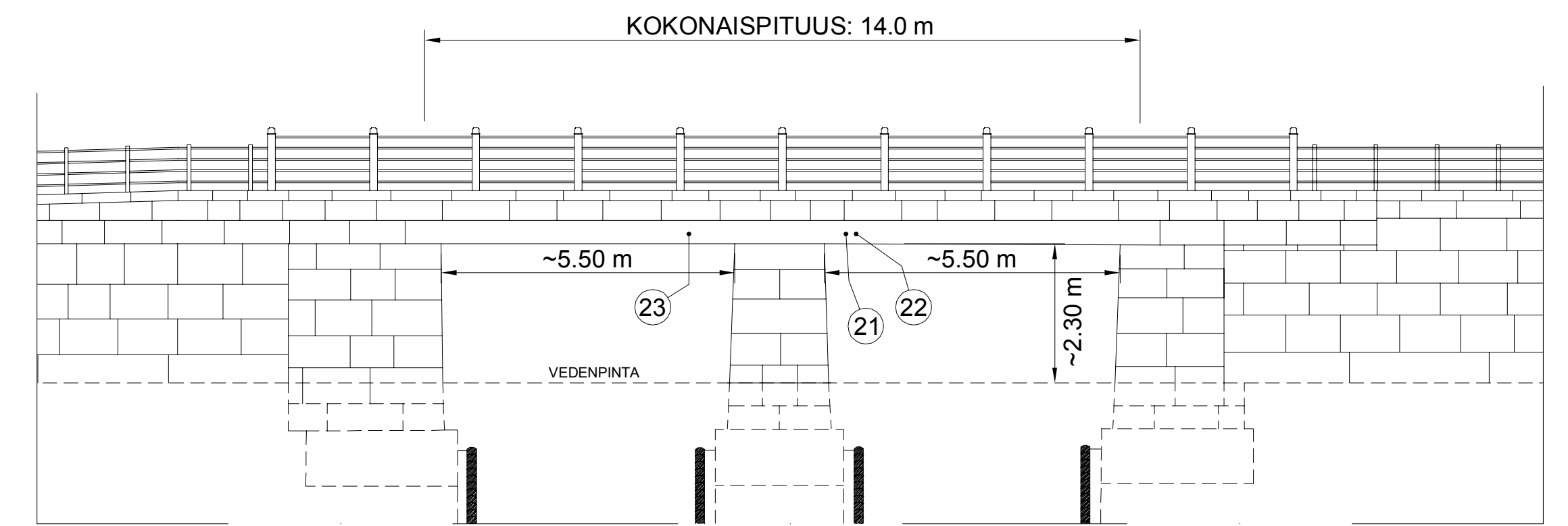
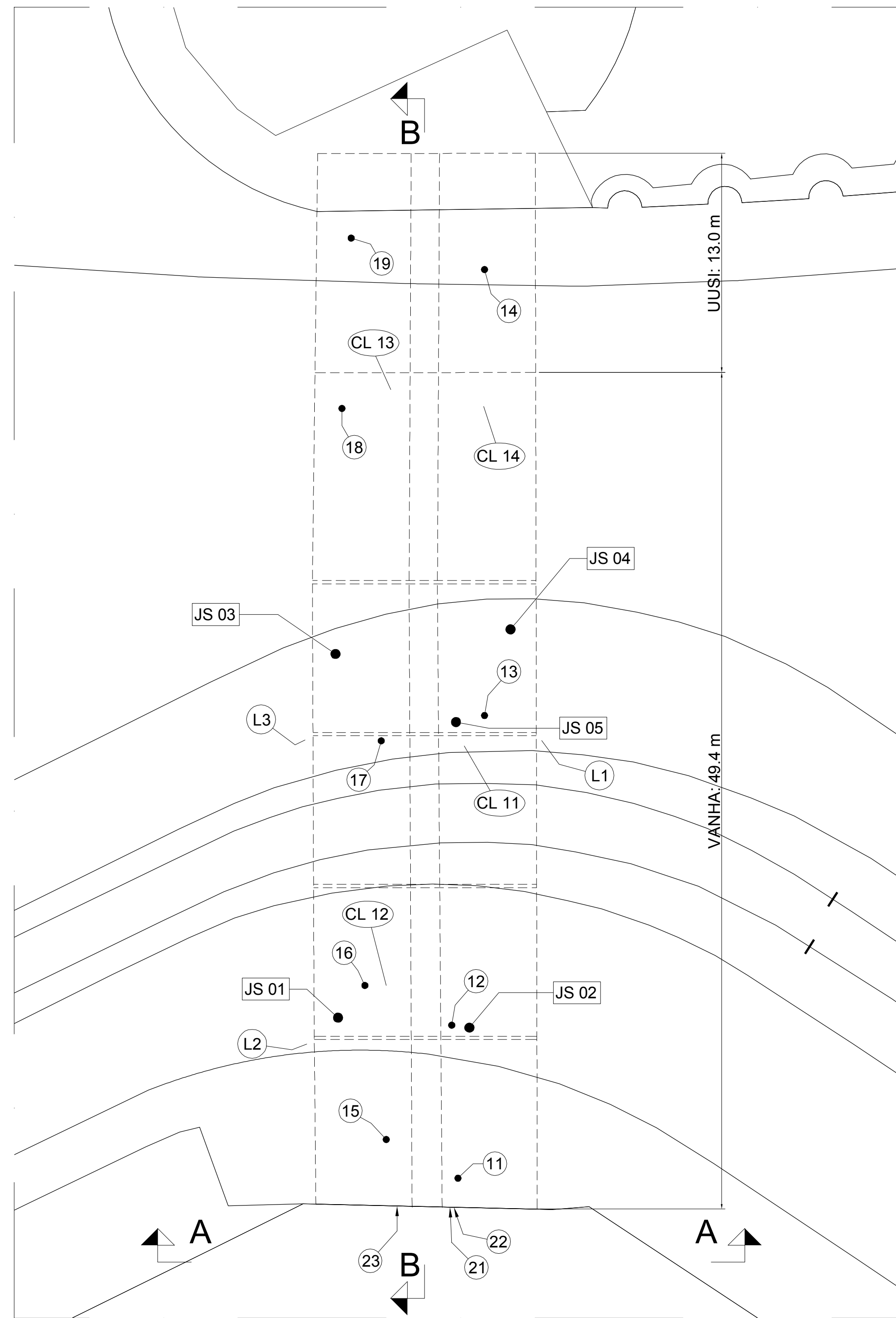


Σ
2

Σ
3

Σ
4

Σ
1



NÄYTTEET: näytetunnus JS

PINTARAUDOITTEET:
 VANHALLA PUOLELLA:
 KANNESSA I-PALKIT N. K600

KIMMOVASARA:
 NÄYTTEIDEN 12, 13,
 16, 17 JA 19 YMPÄRILTÄ

LAIPPOJEN PAKSUUDET:

L1	10 mm
L2	13 mm
L3	18 mm

Kansi yläpinta:
 01-1, 01-2, 01-3
 02-1, 02-2, 02-3
 03-1, 02-2, 03-3
 04-1, 04-2, 04-3
 05-1, 05-2, 05-3

Kansi alapinta:
 11, 12, 13, 14, 15, 16
 17, 18, 19
 CL11, CL12, CL13
 CL14-1, CL14-2, CL14-3

CL01-1, CL01-2, CL01-3
CL02-1, CL02-2, CL02-3
CL03-3, CL03-2, CL03-3
CL04-1, CL04-2, CL04-3
CL05-1, CL05-2, CL05-3

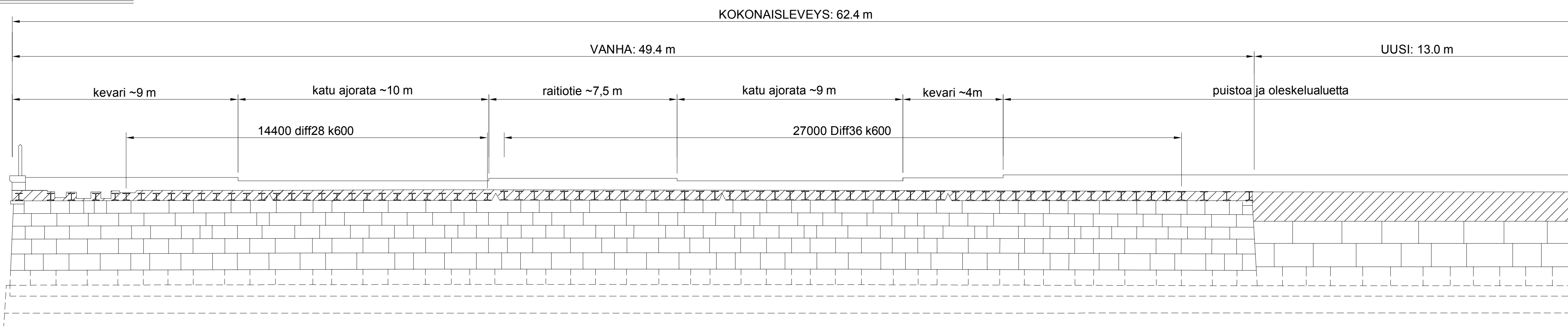
Kansi sivupinta:
 21, 22, 23

NÄYTTEET: näytetunnus JS

Rak.osa	Poranäytteitä	Klorideja	
Kansi yläpinta	5+5+5	poranäytteistä	5*3
Kansi alapinta	9	6	3*1 + 1*3
Kansi sivupinta	3	-	
Yhteensä	27	6 (+15 pora- näytteistä)	

Haitalliset aineet:

PAH	1
asbesti	1



- 01 = LIERIÖNÄYTE Ø 80
- CL01 = KLORIDINÄYTE
- A1 = PINTARAKENTEIDEN AVAUS

JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA
NÄYTTEENOTTOAIKAT
 11.-12.9.2012



SILLAN NIMI: JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA
 PROJ NRO 427583

PINTARAKENTEEN AVAUSKOHTA nro

JS01

PINTARAKENNE

	tyyppi	paksuus [mm]	Tehdyt havainnot
Pintakerros	AB	180	
2. kerros	Hiekka	330	
3. kerros			
Suojakerros	Suojabetoni	25	
Eriste	Mastiksi	14	

Paksuus yht 549

BETONIN KUNNON ARVIOINTI

	Tehdyt havainnot
Silmämääräinen arvio	
Vasarointi	
Näyteporaus	01-1, 01-2: Poraus loppui laipan yläreunaan, 01-3: Poraus loppui laipan yläreunaan, reunassa iso kivi

RAUDOITUS

	tyyppi	halkaisija	Tehdyt havainnot
Raudoitus 1			
Raudoitus 2			



SILLAN NIMI: JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA
 PROJ NRO 427583

PINTARAKENTEEN AVAUSKOHTA nro

JS02

PINTARAKENNE

	tyyppi	paksuus [mm]	Tehdyt havainnot
Pintakerros	AB	185	
2. kerros	Hiekka	275	
3. kerros			
Suojakerros	Suojabetoni	30	
Eriste	Mastiksi	15	

Paksuus yht 505

BETONIN KUNNON ARVIOINTI

	Tehdyt havainnot
Silmämääräinen arvio	02-2: Kivien reunojen mukaisia halkeamia
Vasarointi	
Näyteporaus	02-1, 02-2: Poraus loppui laipan yläreunaan, 02-3: Katkesi luultavasti laipan reunan vierestä samasta tasosta edellisten kanssa

RAUDOITUS

	tyyppi	halkaisija	Tehdyt havainnot
Rauditus 1			
Rauditus 2			



SILLAN NIMI: JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA
 PROJ NRO 427583

PINTARAKENTEEN AVAUSKOHTA nro

JS03

PINTARAKENNE

	tyyppi	paksuus [mm]	Tehdyt havainnot
Pintakerros	AB	75	
2. kerros	AB	85	
3. kerros	Hiekka/sora	225	
Suojakerros	Suojabetoni	30	
Eriste	Mastiksi	12	

Paksuus yht 427

BETONIN KUNNON ARVIOINTI

	Tehdyt havainnot
Silmämääräinen arvio	
Vasarointi	
Näyteporaus	03-1: Katkesi kiven kohdalta, 03-3: Suojabetoni 32mm ja bitumi 20mm.

RAUDOITUS

	tyyppi	halkaisija	Tehdyt havainnot
Rauditus 1			
Rauditus 2			



SILLAN NIMI: JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA
 PROJ NRO 427583

PINTARAKENTEEN AVAUSKOHTA nro

JS04

PINTARAKENNE

	tyyppi	paksuus [mm]	Tehdyt havainnot
Pintakerros	AB	80	
2. kerros	AB	75	
3. kerros	Hiekka/sora	255	
Suojakerros			
Eriste	Mastiksi	14	

Paksuus yht 424

BETONIN KUNNON ARVIOINTI

	Tehdyt havainnot
Silmämääräinen arvio	Eristekerroksen paksuus vaihteli välillä 10-20mm
Vasarointi	
Näyteporaus	04-1: Poraus loppui laipan yläreunaan (betonia 35 mm), kolme viimeistä porattiin vierestä.

RAUDOITUS

	tyyppi	halkaisija	Tehdyt havainnot
Rauditus 1			
Rauditus 2			



SILLAN NIMI: JÄTKÄSAAREN KANNAKSEN SILTA
 PROJ NRO 427583

PINTARAKENTEEN AVAUSKOHTA nro

JS05

PINTARAKENNE

	tyyppi	paksuus [mm]	Tehdyt havainnot
Pintakerros	AB	55	
2. kerros	AB	140	
3. kerros	Hiekka/sora	385	
Suojakerros	Suojabetoni		Mittaaminen hankalaa, n.20 mm
Eriste			

Paksuus yht 580

BETONIN KUNNON ARVIOINTI

	Tehdyt havainnot
Silmämääräinen arvio	
Vasarointi	
Näyteporaus	

RAUDOITUS

	tyyppi	halkaisija	Tehdyt havainnot
Rauditus 1			
Rauditus 2			

WSP Finland Oy
Laboratoriopalvelut
Heikkiläntie 7
00210 HELSINKI
Puh. 0207 864 12
Fax 0207 864 800

17.10.2012



A-Insinöörit Suunnittelu Oy
Markku Äijälä
Satakunnankatu 23
33210 TAMPERE



analyysi:		
OHUTHIEANALYYSI		
kohde:	tilaus- tai toimituspäivämäärä:	näyttemateriaali:
427583 Jätkäsaaren kannaksen silta	02.10.2012 (tilaus)	betoni
näytetunnukset:	näytteiden muoto ja halkaisija:	ohuthienäytelasin koko:
JS: 01-3, 02-2, 03-1, 04-4, 05-1, 14, 21	poralieriöt, Ø 80 mm ja 50 mm	48 mm x 25 mm

Tutkimukset

Näytteistä valmistettiin ohuthieet (paksuus 0,025-0,030 mm) pintaa vastaan kohtisuorassa suunnassa. Näytteet on valmistettu ylä-, ala-, ulko- tai sisäpinnasta lähtien asiakkaan pyynnön mukaisesti.

Näytteiden yleispiirteiden tarkastelu suoritettiin ensin Olympus SZ3060 stereomikroskoopilla, minkä jälkeen ohuthieet tutkittiin Nikon E50i POL polarisaatiomikroskoopilla. Tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä.

Ohuthieanalyysi on akkreditoitu menetelmä ja analyysissä käytettiin apuna standardia ASTM C856-11.

Tulos

Näyte JS01-3, Kansi yläpinta

Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu

Näytteen pituus on 119 mm.

Karbonatisoitumista ei havaittu (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (yläpinta)

Betoni on makrorakenteeltaan hieman epätasalaatuista sekä paikoin harvahkoa. Kiviaine on pääosin kulmikasta (pääkivilajit: granitoidit). Suurin havaittu raekoko on 36 mm. Kiviaine on ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä ja mikrotekstuuri on hieman epätasaisista. Kalsiumhydroksidi on kiteytynyt paikoin suuriksi kiteiksi. Ohuthieessä ei havaittu sideaineen karbonatisoitumista.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat hieman epätasaisia ja huokosten yhteydessä paikoin auki (kiviaineen reunoilla kalsiumhydroksidia).

Yläpinnasta 1 mm:n syvyyteen on vähäistä, epäjatkovaa mikrosäröilyä ja muutoin mikrosäröjä havaittiin yksittäisesti (säröjen leveys alle 0,01 mm).

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on kohtalaisesti ja 0,8-5,3 mm:n kokoisia huokosia suhteellisen paljon, paikoin kasoina. Pitkiä huokostiloja on yksittäisesti ja niihin on kiteytynyt kalsiumhydroksidia. Yksittäiset alle 0,13 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet kalsiumhydroksidilla.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 1. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkaskestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 1. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkaskestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
JS 01-3	tyydyttävä	yläpinta 0	ei/ yksittäiset umpeutuneet, kalsiumhydroksidi	0

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betoni on laadultaan tyydyttävä. Tiivistyminen on hieman puutteellista ja näytteessä havaittiin arviolta vedenerottumisen aiheuttamaa epätasaisuutta mikrorakenteessa. Kutistumisen aiheuttama säröily on ollut vähäistä. Kiviaine on laadultaan tyypillistä, eikä siinä havaittu rapautumista.

Sideaineen hydrataatio/ kovettuminen on normaali tai hydrataatioaste on hieman korkea. Karbonatisoitumista ei havaittu.

Huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkaskestävää kosteusrasituksessa (suojuhuokosia kohtalaisesti). Näytteessä ei havaittu tyypillisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.

Huokostiloihin on kiteytynyt kohtalaisesti kalsiumhydroksidia ja betonissa on ilmeisesti ollut ylimääräistä kosteutta (rakennekosteus/ mahdollisesti myöhempi kosteusrasitus).

Tulos **Näyte JS02-2, Kansi yläpinta**

Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu

Näytteen pituus on 110 mm. Näytelieriö on katkennut 45-71 mm yläpinnasta suuria kiviainekappaleita myötäillen (lohkeamiskohta leikkaa yksittäisesti kiviainetta). Lieriön yläpinnassa on bitumieristettä 0-4 mm.

Palanäytteessä karbonatisoitumista ei havaittu (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (yläpinta)

Betoni on rakenteeltaan suhteellisen tasalaatuista ja makrorakenteeltaan hieman huokoista. Kiviaine on kulmikasta sekä pyöristynyttä (pääkivilajit: granitoidit, gneissit). Suurin havaittu raekoko on 36 mm. Kiviaine on yleisesti ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä. Mikrotekstuurissa on hieman epätasaisuutta ja näytteessä havaittiin kohtalaisesti suuria kalsiumhydroksidikiteytyksiä. Hydrataatio on arviolta normaali (hydrataatioaste mahdollisesti hieman korkea). Ohuthieessä sideaineen karbonatisoituminen ulottuu 1 mm:n syvyyteen yläpinnasta.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat paikoin epätasaiset ja auki. Kiviaineen reunoille on kiteytynyt kalsiumhydroksidia.

Epäjatkovaa mikrosäröilyä on yksittäisesti (säröjen leveys alle 0,02 mm). Säröt ovat pintaa vastaan kohtisuoria tai suuntautumattomia ja ne ovat usein kiviaineen reunoilla (leikkaa yksittäisesti kiviainetta).

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on kohtalaisesti, kuten myös 0,8-5,8 mm:n kokoisia huokosia. Huokosten seinämille on kiteytynyt yleisesti kalsiumhydroksidia.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 2. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkaskestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 2. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkaskestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
JS 02-2	tyydyttävä	yläpinta 1	ei/ yleisesti kalsiumhydroksidia	0

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betoni on laadultaan tyydyttävä. Tiivistyminen on hieman puutteellista ja näytteessä havaittiin arviolta vedenerottumisen aiheuttamaa epätasaisuutta mikrorakenteessa. Kutistumisen aiheuttama säröily on ollut vähäistä. Kiviaine on laadultaan tyypillistä, eikä siinä havaittu merkittävää rapautumista/ lohkeilua.

Sideaineen hydrataatio/ kovettuminen on normaali. Hydrataatioaste on arviolta hieman korkea ja vesi-sementtisuhte on ollut arviolta suuri. Sideaineen karbonatisoituminen ei ole edennyt syvälle betoniin.

Huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkaskestävää kosteusrasituksessa (suojuhuokosia kohtalaisesti). Näytteessä ei havaittu tyypillisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.

Huokostiloihin on kiteytynyt yleisesti kalsiumhydroksidia ja betonissa on ilmeisesti ollut ylimääräistä rakennekosteutta tai/ja mahdollisesti myöhempää kosteusrasitusta.

Tulos

Näyte JS03-1, Kansin yläpinta***Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu***

Näytteen pituus on 88 mm. Yläpinnassa on bitumijäämiä

Sideaineen karbonatisoituminen ulottuu yläpinnasta alle 1 mm (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (yläpinta)

Betoni on makrorakenteeltaan suhteellisen tasalaatuista ja suhteellisen tiivistä. Kiviaine on kulmikasta sekä pyöristynyttä (pääkivilajit: gneissit, granitoidit). Suurin havaittu raekoko on 34 mm. Kiviaine on ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä ja mikrotekstuuri/ -rakenne on hieman epätasainen. Ohuthieessä karbonatisoitumista havaittiin 1 mm:n syvyyteen yläpinnasta.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat yleensä kiinni.

Yläpinnasta 3 mm:n syvyyteen on kohtalaisesti, epäsäännöllisiä rakoja/kanavarakenteita. Yläpinnasta 19 mm:n syvyyteen on yksittäinen mikrohalkeama sekä hieman pintaa vastaan kohtisuora sekä suuntautumaton mikrosäröilyä (halkeaman/ säröjen leveys alle 0,01 mm). Muutoin näytteessä havaittiin vähän epäjatkuvaa mikrosäröilyä. Säröt ovat osittain pinnan suuntaisia.

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on kohtalaisesti ja 0,8-8,0 mm:n kokoisia huokosia suhteellisen vähän. Huokosten reunoilla on kiteytynyt kohtalaisesti kalsiumhydroksidia.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 3. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkaskestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 3. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkaskestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
JS 03-1	tyydyttävä	yläpinta 1	ei/ kohtalaisesti kalsiumhydroksidia	1

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betoni on tiivistyneisyydeltään hieman puutteellinen. Lisäksi mikrorakenteessa on epätasaisuutta ja arviolta lievän vedenerottumisen aiheuttamia virtauskanavia. Arviolta kutistumisen aiheuttamaa mikrosäröilyä/ -halkeilua havaittiin jonkin verran. Kiviaine on ehjää.

Sideaineen hydrataatio/ kovettuminen on arviolta normaali. Karbonatisoituminen ei ulotu syvälle betoniin.

Suojahuokosia on kohtalaisesti, mutta huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkaskestävää kosteusrasituksessa. Näytteen betonissa havaittiin vähäisiä, mahdollisesti pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita (suuntautunut säröily, rapautuneisuus 1).

Huokostiloissa ja säröissä on jonkin verran kosteusrasitusta indikoivaa kalsiumhydroksidia (kiteytymät voivat olla rakennekosteuden aiheuttamia).

TulosNäyte JS04-4, Kansi yläpinta*Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu*

Näytelieriön pituus on 115 mm. Lieriön yläpinnassa on bitumijäämiä.

Palanäytteessä sideaineen karbonatisoitumista ei havaittu (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (kansilaatan yläpinta)

Betoni on makrorakenteeltaan suhteellisen tasalaatuista ja suhteellisen tiivistä. Kiviaine on pyöristynyttä ja kulmikasta (pääkivilajit: granitoidit, gneissit). Suurin havaittu raekoko on 26 mm. Kiviaine on ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä. Mikrotekstuuri on yläpinnasta 7 mm:n syvyyteen epätasaista (mikrotiivyyden vaihtelua, kiviaineainetartunnoissa epätasaisuutta) muuten suhteellisen tasainen. Hydrataatioaste on arviolta normaali. Ohuthieessä karbonatisoitumista havaittiin 1 mm:n syvyyteen yläpinnasta.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat pääosin kiinni. Lähinnä yläosassa tartunnat ovat paikoin avoimet tai epätasaiset.

Yläpinnasta 7 mm:n syvyyteen on suhteellisen yleisesti epäsäännöllisiä/ epäjatkuvia, lyhyitä rakoja kiviaineen reunoilla sekä pinnan suuntaisia tai suuntautumattomia säröjä/ mikrosäröjä (säröjen leveys alle 0,06 mm). Rakoihin/ säröihin on kiteytynyt karbonaattia, kalsiumhydroksidia sekä yksittäisesti ettringiittiä. Muutoin näytteessä havaittiin hieman kanavarakenteita, joihin on kiteytynyt kalsiumhydroksidia sekä vähän epäjatkuvia mikrosäröjä (säröjen leveys alle 0,01 mm).

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on kohtalaisesti ja 0,8-9,9 mm:n kokoisia huokosia suhteellisen vähän. Huokosissa on yleisesti kalsiumhydroksidia ja yksittäiset alle 0,12 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 4. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkaskestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 4. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkaskestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
JS 04-4	0-7 mm välttävä, 7-48 mm tyydyttävä	yläpinta 1	ei/ yksittäiset umpeutuneet kalsiumhydroksidi	2

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Näytteen betoni on laadultaan tyydyttävä tai välttävä. Näytteessä havaittiin arviolta vedenerottumisen aiheuttamaa epätasaisuutta ja kanavarakenteita mikrorakenteessa. Rakoilu/ säröily on arviolta osittain varhaista/ plastista.

Sideaineen hydrataatio/ kovettuminen on arviolta normaali. Sideaineen karbonatisoituminen ei ulotu syvälle betoniin.

Huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkaskestävää kosteusrasituksessa (suojahuokosia kohtalaisesti). Näytteessä on mahdollisesti vähäisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita (yläpinnassa suuntautunutta säröilyä).

Huokostiloihin on kiteytynyt kohtalaisesti kalsiumhydroksidia ja betonissa on ilmeisesti ollut ylimääräistä kosteutta (rakennekosteus/ mahdollisesti myöhempi kosteusrasitus).

Tulos**Näyte JS05-1, Kansi yläpinta*****Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu***

Näytteen pituus on 68 mm. Yläpinnassa on bitumijäämiä.

Palanäytteessä sideaineen karbonatisoitumista ei havaittu (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (yläpinta)

Betoni on makrorakenteeltaan suhteellisen tasalaatuista ja suhteellisen tiivistä. Kiviaine on kulmikasta ja pyörästynyt (pääkivilajit: granitoidit). Suurin havaittu raekoko on 28 mm. Kiviaine on ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä. Kalsiumhydroksidi on kiteytynyt usein suuriksi kiteiksi sekä kiviaineen reunoille. Mikrotekstuuri on epätasainen.

Sementin hydrataatioaste on normaali tai hieman korkea. Ohuthieessä sideaineen karbonatisoitumista havaittiin 1 mm:n syvyyteen yläpinnasta.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat pääosin kiinni, paikoin epätasaiset (kiviaineen reunoilla kalsiumhydroksidia).

Yläpinnasta 10 mm syvyyteen on kohtalaisesti pitkiä, rakomaisia huokostiloja/ kanavarakenteita. Kanavat ovat usein umpeutuneet ettringiitillä ja kalsiumhydroksidilla. Raot ovat usein kiviaineen reunoilla ja pintaa vastaan kohtisuoria. Varsinaista mikrosäröilyä näytteessä havaittiin vähän (suuntautumaton, epäjatkuva). Mikrosäröjen leveys on alle 0,01 mm.

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on kohtalaisesti ja 0,8-3,1 mm:n kokoisia huokosia suhteellisen vähän. Paikoin alle 0,5 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet ettringiitillä sekä kalsiumhydroksidilla, yläpinnan läheisyydessä yleisemmin ettringiitillä.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 5. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkasekestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 5. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkasekestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
JS 05-1	tyydyttävä	yläpinta 1	ei/ paikoin umpeutuneet, ettringiitti, kalsiumhydroksidi	0

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betoni on laadultaan välttävä. Mikrorakenne/ -tiiveys on epätasainen arviolta vedenerottumisen seurauksena. Näytteessä havaittu rakoilu ja säröily on pääosin arviolta plastista. Kiviaine on ehjää.

Sideaineen hydrataatio/ kovettuminen on arviolta normaali. Karbonatisoituminen ei ulotu syvälle betoniin.

Suojahuokosia on kohtalaisesti, mutta huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkasekestävää kosteusrasituksessa. Näytteessä ei havaittu tyypillisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.

Huokostiloissa/ raoissa/ kanavissa on paikoin runsaasti kosteusrasitusta indikoivaa ja haitallista ettringiittiä, mikä voi edistää rapautumista. Lisäksi näytteessä havaittiin yleisesti sekundääristä kalsiumhydroksidia. Kiteytymät voivat olla osittain rakennekosteuden aiheuttamia.

Tulos Näyte JS14, Kansi alapinta

Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu

Näytteen pituus on 82 mm. Lieriö on irronnut porauksessa teräksen kohdalta (teräs 68 mm alapinnasta, teräs puuttuu näytteestä).

Karbonatisoituminen on edennyt alapinnasta pääosin alle 1 mm:iin ja yksittäisiä karbonatisoituneita läikkiä on 14 mm:n syvyyteen. (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (alapinta)

Betoni on rakenteeltaan tasalaatuista ja tiivistä. Kiviaine koostuu kulmikkaista sekä pyörityneistä kivilajikappaleista ja suurin havaittu raekoko on 26 mm (pääkivilajit granitoidit, gneissit). Kiviaine on ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä. Mikrotekstuuri on tasainen ja hydrataatio normaali. Ohuthieessä sideaineen karbonatisoitumista havaittiin 4 mm:n syvyyteen alapinnasta.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat kiinni (kiviaineen reunoilla vähän kalsiumhydroksidia).

Halkeilua tai jatkuvaa säröilyä ei havaittu. Epäjatkuvaa mikrosäröilyä on vähän (säröjen leveys alle 0,01 mm).

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on suhteellisen vähän ja 0,8-4,6 mm:n kokoisia huokosia vähän. Huokosten seinämillä ei havaittu kiteytymiä.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 6. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkaskestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 6. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkaskestävyys/ huokostäytteet	Rapautuneisuus*
JS14	hyvä	alapinta 4	ei/ ei	0

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betoni on laadultaan ja tiivistyneisyydeltään hyvä. Arviolta kutistumisen aiheuttama mikrosäröily on vähäistä. Kiviaine on ehjää.

Sideaineen mikrotekstuuri on tasainen ja hydrataatioaste on normaali. Karbonatisoituminen ei ulotu syvälle betoniin.

Huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkasenkestävää kosteusrasituksessa. Näytteessä ei havaittu tyypillisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.

Betonissa ei havaittu sekundäärisiä kiteytymiä.

Tulos

Näyte JS21, Kansi sivupinta

Yleistiedot/ yleispiirteiden tarkastelu

Näytteen pituus on 146 mm.

Karbonatisoituminen on edennyt ulkopinnasta alle 1 mm (määritetty fenolftaleiini-liuoksella näytteen halkaistulta pinnalta).

Ohuthietutkimus (ulkopinta)

Betoni on makrorakenteeltaan yleisesti tasalaatuista ja tiivistä. Kiviaine koostuu kulmikkaista sekä pyörityneistä kivilajikappaleista ja suurin havaittu raekoko on 44 mm (pääkivilajit granitoidit, gneissit). Kiviaine on ehjää.

Sideaine on portlandsementtiä ja hydrataatioaste on arviolta normaali. Sideaineen mikrorakenne on hieman epätasainen ja siinä on arviolta mikrotiiveyden vaihtelua. Kalsiumhydroksidi on kiteytynyt paikoin suuriksi kiteiksi ja paikoin kiteet puuttuvat lähes kokonaan. Ohuthieessä sideaineen karbonatisoitumista havaittiin 3 mm:n syvyyteen ulkopinnasta.

Sideaineen ja kiviainekappaleiden väliset kontaktit ovat yleisesti kiinni, mutta paikoin kontaktit ovat epätasaiset ja kiviaineen reunoille on kiteytynyt kalsiumhydroksidia.

Halkeilua tai jatkuvaa säröilyä ei havaittu. Epäjatkuvaa, suuntautumaton mikrosäröilyä on vähän (säröjen leveys alle 0,01 mm).

Pyöreitä, 0,02-0,8 mm:n kokoisia ilmahuokosia on kohtalaisesti ja 0,8-5,4 mm:n kokoisia huokosia suhteellisen vähän. Usein alle 0,39 mm:n kokoiset huokokset ovat umpeutuneet kalsiumhydroksidilla, ettringiitillä ja mahdollisesti kipsillä.

Tuloksen arviointi

Taulukossa 7. (tulosten tarkastelu) on kuvattu näytteen kuntoa asteikolla hyvä, tyydyttävä, välttävä ja heikko. Pakkaskestävyyttä on arvioitu huokosrakenteen perusteella. Arvion perustana on käytetty ohuthietutkimuksista saatuja tuloksia.

Taulukko 7. Tulosten tarkastelu

Näyte	Kunto	Karbonatisoituminen [mm]	Pakkaskestävyys/ huokostäytteen	Rapautuneisuus*
JS21	tyydyttävä	ulkopinta 3	ei/ usein umpeutuneet, ettringiitti, kalsiumhydroksidi	0

* Rapautuneisuutta kuvattu asteikolla 0-4: 0 = ei rapautumaa, 1 = vähäistä, 2 = orastavaa, 3 = kohtalaista, 4 = voimakasta.

Betoni on laadultaan tyydyttävä. Mikrorakenteessa/ -tiivyydessä on hieman epätasaisuutta (paikoin arviolta rakennekosteuden aiheuttamaa mikrohuokoisuutta). Arviolta kutistumisen aiheuttama mikrosäröily on vähäistä.

Kiviaine on ehjää. Sideaineen hydrataatioaste on normaali tai hieman korkea ja vesisementtisuhte on ilmeisesti ollut suuri. Karbonatisoituminen ei keskimäärin ulotu syvälle betoniin.

Suojahuokosia on kohtalaisesti, mutta huokosrakenteen perusteella betoni ei ole arviolta pakkaskestävää kosteusrasituksessa. Näytteessä ei havaittu tyypillisiä pakkasrapautumisen aiheuttamia vaurioita.

Betonin huokostiloissa on runsaasti haitallista/ kosteusrasitusta indikoivaa ettringiittiä sekä mahdollisesti kipsiä, mikä voi edistää rapautumista. Lisäksi näytteessä havaittiin yleisesti sekundääristä kalsiumhydroksidia. Kiteytymät ovat arviolta ainakin osittain rakennekosteuden aiheuttamia.

WSP FINLAND OY



Vesa Kontio
tutkija, FM



Jussi Myllykangas
tutkija, FM

Korroosion vaikutus diff36 I-palkin taivutusvastukseen:

Lähtöarvoja

Laskennassa käytetään yksinkertaistettua I-palkin poikkileikkausta, jossa laipat ovat suorat. Laippojen paksuutena käytetään opinnäytetyön taulukossa 17 esitettyjen paksuuksien keskiarvoa. Yksinkertaistuksen perusteella saatava tulos on noin 0,4 % varmallalla puolella.

$$t_{ay} := 22.575\text{mm} \quad t_{cor} := 4\text{mm} \quad = \text{Ruostuneen teräksen määrä}$$

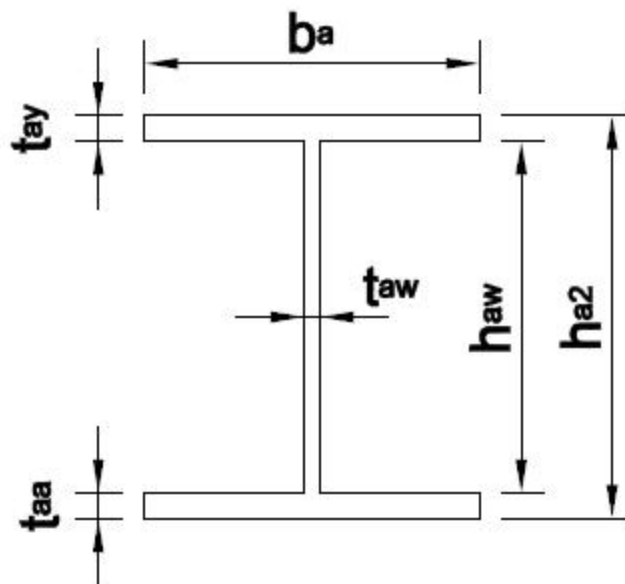
$$t_{aa} := t_{ay} - t_{cor} \quad b_a := 300\text{mm}$$

$$t_{aa} = 18.575 \cdot \text{mm}$$

$$t_{aw} := 14.2\text{mm}$$

$$h_{aw} := 314.85\text{mm}$$

$$h_{a2} := 360\text{mm}$$



$$A_{ay} := t_{ay} \cdot b_a$$

$$A_{aa} := t_{aa} \cdot b_a$$

$$A_{aw} := h_{aw} \cdot t_{aw}$$

$$A_{ay} = 6.772 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{aa} = 5.572 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{aw} = 4.471 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Osakappaleiden painopisteiden etäisyydet koko kappaleen painopisteestä

$$e_{ay} := \frac{t_{ay}}{2}$$

$$e_{aa} := h_{a2} - t_{cor} - \frac{t_{aa}}{2}$$

$$e_{aw} := t_{ay} + \frac{h_{aw}}{2}$$

$$e_{ay} = 0.011 \text{ m}$$

$$e_{aa} = 0.347 \text{ m}$$

$$e_{aw} = 0.18 \text{ m}$$

Etäisyydet ovat mittoja I-palkin yläpinnasta

(jatkuu)

Teräspalkin poikkileikkauksen pinta-ala huomioituna korroosia

$$A_a := A_{ay} + A_{aa} + A_{aw}$$

$$A_a = 0.017 \text{ m}^2$$

Teräspalkin poikkileikkauksen neutraaliakseli

$$e_{NA} := \frac{A_{ay} \cdot e_{ay} + A_{aw} \cdot e_{aw} + A_{aa} \cdot e_{aa}}{A_a}$$

$$e_{NA} = 0.167 \text{ m}$$

Teräspalkin neliömomentti

$$I_a := \left(\frac{1}{12}\right) \cdot b_a \cdot t_{ay}^3 + \left(\frac{1}{12}\right) \cdot t_{aw} \cdot h_{aw}^3 + \left(\frac{1}{12}\right) \cdot b_a \cdot t_{aa}^3 + e_{ay}^2 \cdot A_{ay} + e_{aw}^2 \cdot A_{aw} + e_{aa}^2 \cdot A_{aa} - e_{NA}^2 \cdot A_a$$

$$I_a = 3.823 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Teräksen ja betonin kimmokertoimien suhde

$$E_a := 210 \text{ GPa} \quad f_c := 30 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} := 22 \cdot \left(\frac{f_c}{10 \text{ MPa}}\right)^{0.3} \text{ GPa}$$

$$E_{cm} = 30.589 \cdot \text{GPa}$$

$$a := \frac{E_a}{E_{cm}}$$

$$a = 6.865$$

Koko poikkileikkaus

Lähtötietoja

$b_c := 600\text{mm}$ = Laskettavan poikkileikkauksen leveys, yhden palkin kohdalla

$c_1 := 35\text{mm}$

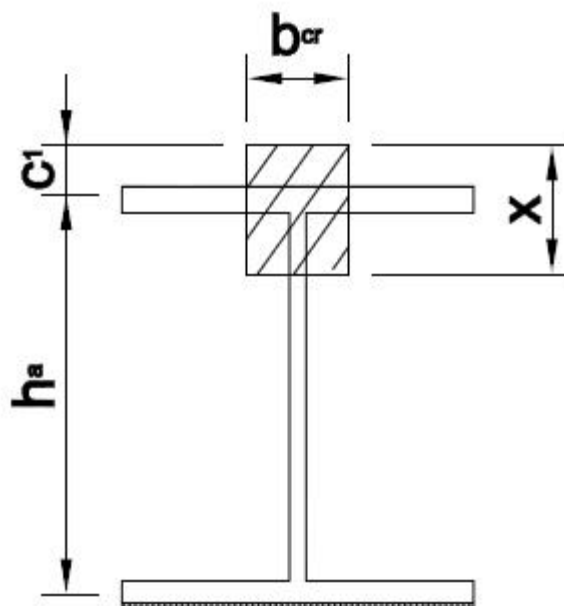
Betonin muuttaminen teräkseksi kimmokertoimien suhteen avulla

$$b_{cr} := \frac{b_c}{a}$$

$$b_{cr} = 87.396 \cdot \text{mm}$$

$$h_a := h_{a2} - \left(\frac{t_{ay}}{2}\right) - \left(\frac{t_{aa}}{2}\right)$$

$$h_a = 339.425 \cdot \text{mm}$$



Puristuspinnan korkeuden laskeminen

Steinerin säännöllä lasketaan neutraaliakselin sijainti, josta ratkaistaan puristuspinnan korkeus x

$$x := \frac{\frac{b_{cr} \cdot x^2}{2} + A_{aa} \cdot \left(\frac{h_a}{2} + c_1\right)}{b_{cr} \cdot x + A_{aa}}$$

$$x := \left(\frac{1}{b_{cr}}\right) \cdot \left[\sqrt{A_{aa}^2 + 2 \cdot b_{cr} \cdot A_{aa} \cdot \left[\left(\frac{h_a}{2}\right) + c_1\right]} - A_{aa} \right]$$

$$x = 109.937 \cdot \text{mm}$$

Koko rakenteen neliömomentti

$$I := I_a + A_{aa} \cdot \left[\left(\frac{h_a}{2} \right) + c_1 - x \right]^2 + \frac{b_{cr} \cdot x^3}{3}$$

$$I = 4.711 \times 10^8 \cdot \text{mm}^4$$

Koko rakenteen alapinnan taivutusvastus

$$e_a := h_a + c_1 - x$$

$$e_a = 264.488 \cdot \text{mm}$$

$$W_a := \frac{I}{e_a}$$

$$W_a = 1.781 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$$

LEIKKAUSVOIMA

Lähtötietoja

$$t_{w2} := 14.2\text{mm}$$

$$h_{w2} := 314.85\text{mm}$$

$$A_{w2} := t_{w2} \cdot h_{w2}$$

$$A_{w2} = 4.471 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$f_y := 240 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_{\text{max}} := \frac{f_y}{1.1 \cdot \sqrt{3}}$$

$$\tau_{\text{max}} = 125.967 \cdot \text{MPa}$$

Maksimi leikkausvoima kapasiteetti yhdelle palkille

$$V_{\text{max.360}} := \tau_{\text{max}} \cdot A_{w2}$$

$$V_{\text{max.360}} = 563.184 \cdot \text{kN}$$

Tartuntajännitys betonin ja teräksen välillä yhdelle palkille

Tartuntajännitys huomioidaan toimivan palkkien päissä $2 \cdot d$ matkalla

$d := 400\text{mm}$ kannen koko poikkileikkauksen korkeus

$b_{ay2} := 300\text{mm}$ τ raja-arvona 0,5..1,0 MPa

$p_2 := b_{ay2} + h_{w2}$ $\tau_{\text{min}2} := 0.5\text{MPa}$

$p_2 = 614.85 \cdot \text{mm}$ $\tau_{\text{max}2} := 1\text{MPa}$

$$V_{\text{tartunta.min}} := \tau_{\text{min}2} \cdot p_2 \cdot 2 \cdot d$$

$$V_{\text{tartunta.min}} = 245.94 \cdot \text{kN}$$

$$V_{\text{tartunta.max}} := \tau_{\text{max}2} \cdot p_2 \cdot 2 \cdot d$$

$$V_{\text{tartunta.max}} = 491.88 \cdot \text{kN}$$