



Ville Lithovius

KEHÄSILLAN LEVENTÄMINEN EUROKOODIN SOVELTAMISOHJEIDEN JA BETONISILTOJEN KORJAUSSUUNNITTELUOHJEEN MUKAAN

KEHÄSILLAN LEVENTÄMINEN EUROKOODIN SOVELTAMISOHJEIDEN JA BETONISILTOJEN KORJAUSSUUNNITTELUOHJEEN MUKAAN

Ville Lithovius
Insinööri
Syksy 2013
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Rakennesuunnittelu

Tekijä: Ville Lithovius

Opinnäytetyön nimi: Kehäsillan leventäminen eurokoodin soveltamisohjeiden ja
betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen mukaan

Työn ohjaajat: DI Jukka Leskelä, Projektipäällikkö Pöyry Finland Oy
TkL Pekka Nykyri, Yliopettaja OAMK

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2013

Sivumäärä: 54 + 9 liitettä

Vanhojen siltojen levennyskorjauksia tehdään muun muassa silloin kun liikenneväyliä levennetään tai niiden linjauksia muutetaan tiestöjen sujuvuuden parantamiseksi. Tämä insinöörityö on tehty Pöyry Finland Oy:n siltojen ja taitorakenteiden osastolla Oulun toimipisteessä.

Insinöörityön tavoitteena oli tehdä levennyssuunnitelma teräsbetoniselle laatta-kehäsillalle ja verrata mitoituksessa saatuja raudotteiden määriä suunnitteluohjeiden antamiin minimiraudoittemääriin. Työssä verrataan myös levennyksen kustannuksia, kun ne toteutetaan kahdella eri levennysmenetelmällä.

Levennyksen mitoitus suoritettiin Sofistik-ohjelmalla, laatien kolme erilaista mitoitusmallia. Ensimmäisellä mitoitusmallilla otettiin huomioon siipimuurien vaikutus levennykseen. Toinen mitoitusmalli tehtiin ilman siipimuureja ja kolmanteen mitoitusmalliin mallinnettiin pelkästään levennysosa, jolla selvitettiin tartunta-raudoituksen määrää. Sillan korjauspiirustukset laadittiin Autodeskin AutoCAD-ohjelmalla lähtötietojen ja mitoituksien pohjalta. Levennyksen raudoiteluettelo laadittiin RL3.1-ohjelmalla ja kustannusarviot tehtiin Fore-ohjelmistolla ulokkeelliselle sekä koko kehänä toteutettavalle levennykselle.

Suunnitteluohjeiden minimiraudoittemäärät täyttyivät levennyksen vaatimilla raudoittemäärillä lähes koko levennyksen osalla, koska levennystä jouduttiin raudoittamaan hyvin voimakkaasti vetovoiman aiheuttaman halkeilun vuoksi. Ainoastaan levennyksen tartuntoja mitoitettaessa minimiraudoittemäärästä tuli määräävä kannen puolivälissä. Levennyksen kustannusvertailussa selvisi, että koko kehänä toteutettu leventäminen olisi ollut noin 70 prosenttia kalliimpi toteuttaa, joten ulokkeellinen leventäminen on huomattavasti kustannustehokkaampi ratkaisu levennystarpeen ollessa vähäinen.

Asiasanat:

Leventäminen, Kehäsilta, Suunnittelu, Eurokoodi, Sofistik, Korjaussuunnitelma

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Structural Engineering

Author: Ville Lithovius

Title of thesis: Widening of Concrete Rigid Frame Bridge According to Eurocodes Application Instructions and Concrete Bridges Correction Plan Guide

Supervisors: M.Sc. Jukka Leskelä, Project Manager Pöyry Finland Oy

Lic.Sc. Pekka Nykyri, Principal lecturer OAMK

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2013

Pages: 54 + 9 appendices

Widening repairs of old bridges are made, for example, at the time when traffic routes are widened or their alignments have to be changed to improve the traffic flow. This final project was made for the design department of bridges and special constructions in Pöyry Finland Ltd Oulu offices.

The aim of this final project was to make a widening plan to a reinforced concrete rigid frame bridge and to compare the amounts of reinforcement obtained in dimensioning to the minimum reinforcement amounts given in the design guidelines. Another objective of this project was to analyze the costs of the widening by comparing different widening ways.

The dimensioning of the widening was carried out with Sofistik-program, by making three different design models. The effect of wing walls on the widening was taken into account in the first design model and the second model was made without wing walls. The third design model concerns only widening, in which the amount of anchorage reinforcement was examined. The drawings of the bridge repair were made with Autodesk AutoCAD-program on the basis of the initial data and the dimensioning. The list of widening reinforcement was made with RL3.1-program and the estimation of costs was made with Foresoftware.

The minimum reinforcement of the design guidelines was exceeded in the designed reinforcements almost throughout the whole part of the widening. The reason of this is the traction which demanded heavy reinforcement for the widening. Minimum reinforcement became determining only when concerning the anchorage of the widening. In the cost analysis, it was found out that the widening of the whole rigid frame bridge would have been 70 percent more expensive than the widening with wing walls.

Widening, Rigid frame bridge, Designing, Eurocode, Sofistik, Correction plan

ALKUSANAT

Tämä Insinööritö on toteutettu Pöyry Finland Oy:n siltojen ja taitorakenteiden osastolle kevään ja kesän 2013 aikana. Työ liittyy Pöyry Finland Oy:n projektiin Vt4:n parantaminen välillä Kempele - Kello, jossa tavoitteena oli tehdä korjaussuunnitelma kehäsillan leventämisestä Liikenneviraston julkaisemien ohjeiden mukaan.

Haluan esittää kiitokseni Pöyry Finland Oy:n asiantuntijalle DI Jukka Leskelälle sekä Oulun seudun ammattikorkeakoulun yliopettaja TkL Pekka Nykyrille asiantuntevasta ohjauksesta.

Lisäksi haluan kiittää kaikkia insinööritöissäni avustaneita sekä kannustaneita henkilöitä. Erityiskiitokset kuuluvat DI Jarkko Federleylle, DI Mikko Kuosmaselle ja DI Teppo Mäkikunnakselle mitoitushjelmaan liittyvässä ohjauksessa.

Oulussa 16.12.2013

Ville Lithovius

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
SISÄLLYS	6
JOHDANTO	8
1.1 Taustaa	8
1.2 Työn tavoitteet	8
2 LEVENNETTÄVÄN SILLAN YLEISESITTELY	10
3 KEHÄSILLAN LEVENTÄMINEN	12
3.1 Yleistä	12
3.2 Korjaussuunnitelman sisältö	13
3.2.1 Laskelmat	13
3.2.2 Yleispiirustus	14
3.2.3 Mitta- ja raudituspiirustus	15
3.2.4 Rauditusluettelo	16
3.2.5 Kustannusarvio	17
3.2.6 Rakennussuunnitelmaselostus	18
3.2.7 Suunnitelman tarkastus	18
4 EUROKOODIN JA SOVELTAMISOHJEIDEN MUKAINEN MITOITUS	21
4.1 Yleistä	21
4.2 Kuormitukset	21
4.2.1 Pysyvät kuormat	22
4.2.2 Kuormakaavio LM1	22
4.2.3 Kuormakaavio LM2	23
4.2.4 Kuormakaavio LM3	24
4.2.5 Kaistajako	25
4.2.6 Vaakakuormat	25
4.2.7 Sitoutumislämpötila rasitukset	26
4.2.8 Kutistuma	29
4.2.9 Viruma	31

4.2.10 Tuulikuorma	31
4.2.11 Lämpötilakuormat	32
4.3 Kuormaryhmät	34
4.4 Kuormitusyhdistelmät	35
5 KOHDESILLAN LEVENNYS OHJEIDEN MUKAAN	37
5.1 Levennystarpeen kuvaus ja perusratkaisujen vertailu	37
5.2 Laskentamalli	38
5.3 Kuormitukset	39
5.3.1 Pysyvät kuormat	39
5.3.2 Liikennekuormat	40
5.3.3 Muut kuormat	40
5.4 Kuormitusyhdistelmät	41
5.5 Mitoitus	41
5.6 Laskelmat	42
5.7 Korjauspiirustusten laatiminen	43
5.7.1 Yleispiirustus	43
5.7.2 Mitta- ja raudituspiirustus	43
5.8 Rauditusluettelo	44
5.9 Kustannusarvio	44
5.10 Rakennussuunnitelmaselostus	45
5.11 Suunnitelman tarkastus	45
6 TULOSTEN VERTAILU	46
7 YHTEENVETO	49
LÄHTEET	51
LIITTEET	54

JOHDANTO

1.1 Taustaa

Sillat ovat tärkeä osa tieverkoston sujuvuutta. Tien ja sen osana olevan sillan tehtävänä on välittää maaliikennettä paikasta toiseen. Tiestön liikennemäärien kasvusta, raskaankaluston kuormituksesta sekä erikoiskuljetuksien leveydestä johtuen tiestöjä kunnostaa ja leventää. Liikenneväyliä parannettaessa ja levennettäessä myös väylillä olevat vanhat sillat kaipaavat vahvistus- ja/tai levennyskorjauksia.

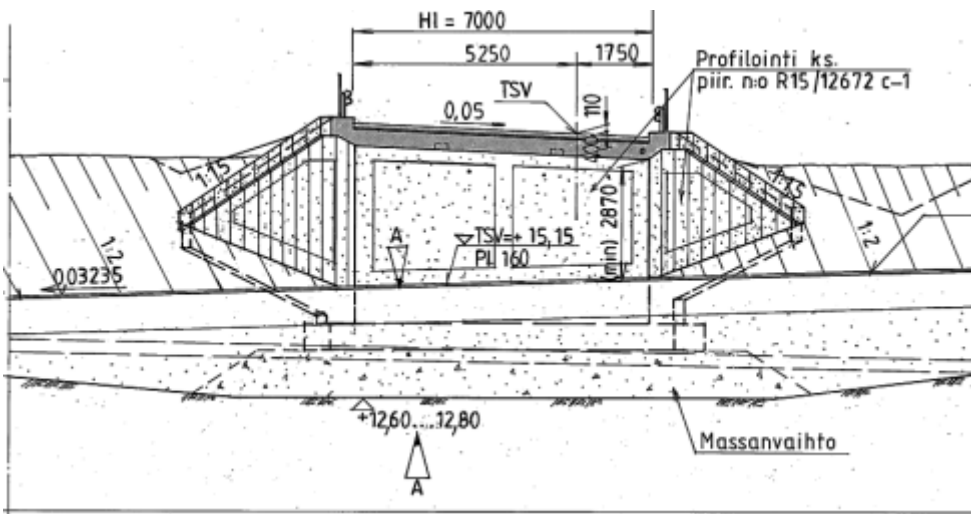
Insinööriyössäni käsiteltävä silta on Hiiosensuon alikulkukäytävä II, joka on Vt 4:n ramppisilta. Siltaa levennetään täyttämään 7,5 metrin hyötyleveys erikoiskuljetuksia varten. Sillan leventäminen toteutetaan ”ulokkeellisena”, koska nykyisen sillan hyötyleveyden ollessa 7 metriä sillan levennystarve on pieni ja kustannussyistä johtuen ei ole järkevää leventää koko kehää.

Insinööriyöni toimeksiantaja, Pöyry Finland Oy, kuuluu maailmanlaajuiseen Pöyry -konserniin. Pöyry Oyj on kansainvälinen konsultointi- ja suunnitteluyhtiö, jolla on toimipisteitä noin 50 maassa ja sen palveluksessa on noin 7000 asiantuntijaa. Suomessa Pöyryn toimistoverkosto kattaa 20 paikkakuntaa (1). Pöyryn siltojen ja taitorakenteiden osastossa työskentelee tällä hetkellä yhteensä noin 14 asiantuntijaa Vantaan ja Oulun toimipisteissä.

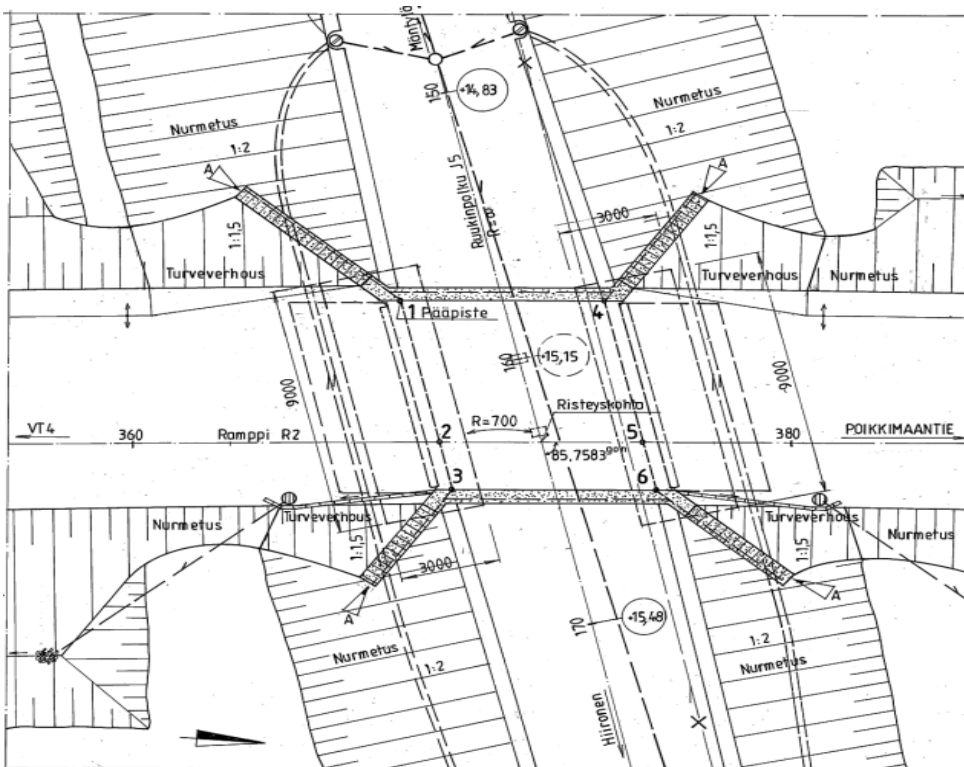
1.2 Työn tavoitteet

Tämän insinööriyön tavoitteena on tehdä levennyssuunnitelma paikallaan valedun kehäsillan leventämisestä Liikenneviraston julkaisemien ohjeiden sekä eurokoodin soveltamisohjeiden ja betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen mukaan. Insinööriyössä perehdytään tyyppikehäsillan ”ulokkeelliseen” leventämiseen, verrataan betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen antamia ankkurointiraudoituksen vähimmäismääriä ja eurokoodin soveltamisohjeiden antamia minimiraudoittemääriä suunnitellun levennyksen raudoitteisiin. Työssä verrataan myös koko kehänä toteutettavan levennyksen kustannuksia suunnitellun levennyksen kus-

tannuksiin. Työn edetessä ilmeni kuitenkin tarve verrata saatuja levennyksen raudoitemääriä vaihtoehtoisella mitoitusmallilla. Levennyksen mitoitukset tehtiin niin, että ensimmäisessä mitoitusmallissa levennys tuli siipimuurien päälle ja toisessa mitoitusmallissa levennys tuli ”ulokkeellisena” eli siipimuurien vaikutusta ei huomioitu. Vaihtoehtoisella mitoituksella oli tarkoituksena selvittää ensimmäisellä mitoituksella saatujen raudoitemäärien paikkansapitävyys.



KUVA 2. Sillan poikkileikkaus



KUVA 3. Sillan tasokuva

3 KEHÄSILLAN LEVENTÄMINEN

3.1 Yleistä

Betonisia kehäsilloja alettiin rakentaa runsaammin 1960-luvun alkupuolella. Kehäsillat rakennettiin lähes yksinomaan paikallavaluna. 1970-luvun alussa tie- ja vesirakennushallitus laati tyyppiirustussarjan laattakehäsillalle 4–10 metrin jännemitoilla, joiden avulla pienempien siltakohteiden suunnittelun ja rakentamisen pystyivät tiepiirit hoitamaan itsenäisesti. Tyyppiirustussarjaa täydennettiin 1980-luvun alussa 12–16 metrin jännemitoille. 1980-luvun lopulla alikäytäviksi tarkoitettujen tyyppikehäsiltojen vapaiksi aukoiksi vakiintui 6 ja 8 metriä. Samalla tyyppikehäsillat uudelleen muotoiltiin ja myös vapaalta aukoltaan vastaavat vinojalkaiset kehäsillat tulivat käyttöön ja niistä laadittiin myös tyyppiirustukset. (2, s. 66, 347.)

Sillansuunnittelun vaiheita ovat esisuunnittelu, yleissuunnittelu, siltasuunnitelman laatiminen ja rakennussuunnittelu. Suunnitteluvaiheiden tarve määräytyy tapauskohtaisesti sillan koon ja hankeen merkittävyyden mukaan. Siltasuunnittelun vaiheet liittyvät tiesuunnittelun vastaaviin vaiheisiin ja ne tehdään tiesuunnittelun mukaisessa järjestyksessä. Yksittäisissä siltakohteissa voidaan tehdä siltasuunnittelun eri vaiheita samanaikaisesti, mutta isommissa hankkeissa käydään läpi kaikki edellä mainitut vaiheet. Korjaussuunnittelu nimitystä käytetään sillan käyttöänsä aikana tapahtuvasta suunnittelusta. (3, s. 9.)

Liikenneväylän tarveselvityksen ja maankäytön suunnitteluvaiheeseen liittyy sillan esisuunnittelu. Siinä selvitetään eri liikenneväylävaihtoehtoihin ja periaateratkaisuihin liittyvien siltojen vaikutusta ympäristöön ja hankeen kustannuksiin. Jos siltapaikka on määrätty ja silta on tyypiltään tavanomainen, esisuunnittelua ei yleensä tehdä. Sillan yleissuunnittelussa laaditaan siltapaikalle sopivat siltavaihtoehtoluonnokset esittelyä varten. Luonnokset tehdään sillansuunnittelun alustavien lähtötietojen tai esisuunnittelun pohjalta. Sillan yleissuunnittelu on osa tien yleissuunnitelman tekoa. Siltasuunnitelman laatiminen liittyy tiehankeen tiesuunnitelman laatimiseen. Tässä vaiheessa laaditaan siltasuunnitelma mikä

antaa ympäristöön soveltuvan, käyttö – ja rakennuskustannuksiltaan edullisen sillan rakennussuunnitelman laatimiselle. Siltasuunnitelmavaiheen tuloksena syntyy pääpiirustus, mistä käy ilmi sillan ulkonäkö, rakenteet, päämitat ja sovitaminen ympäristöön. Hyväksytyt siltasuunnitelman pohjalta laaditaan sillan rakennussuunnitelma, minkä mukaan sillan rakentaminen voidaan suorittaa. Sillan rakennussuunnittelu liittyy tiesuunnittelun vastaavaan vaiheeseen. Sillan rakennussuunnittelun toteutus voi olla joko yhtäjaksoisesti toteutettu rakennussuunnitelma tai sovittuun laajuuteen toteutettu alustava rakennussuunnitelma, joka täydennetään lopulliseksi rakennussuunnitelmaksi ennen rakennustyötä. Alustavaa rakennussuunnitelmaa käytetään urakkatarjousvaiheen pohjana. (3, s. 10–13.)

3.2 Korjaussuunnitelman sisältö

Sillan korjaussuunnitelma laaditaan Liikenneviraston Betonisiltojen korjaussuunnittelu, Siltojen suunnitelmat ja Siltojen rakennelaskelmat -ohjeiden mukaan. Korjattavan siltakohteen suunnitelma sisältää laskelmat, yleis-, mitta- ja raudituspiirustukset, rauditusluettelon, kustannusarvion ja korjaussuunnitelmaselostuksen sekä suunnitelmien tarkastuksen. Näiden lisäksi sillan korjaussuunnitelma voi sisältää mm. jänne-, laakerointi- ja erilliset kaidepiirustukset sekä muita tarvittavia detalji piirustuksia. Jos levennettävälle sillalle ei tehdä levennyksen yhteydessä korjaustoimenpiteitä, korjaussuunnitelmaselostuksesta käytetään silloin nimitystä rakennussuunnitelmaselostus. (4, s. 50; 5, s. 10; 10.)

3.2.1 Laskelmat

Rakennelaskelmilla osoitetaan, että suunnittelu on toteutettu ohjeiden ja määräysten mukaisesti riittävän pätevien henkilöiden toimesta. Näin voidaan olettaa, että rakenne on turvallinen käyttää ja täyttää pitkäaikaiskestävyysvaatimukset. Rakennelaskelmien esitystapa tulee olla selkeä ja laskelmilta aiheeseen perehtyneelle henkilölle sujuvasti luettava niin, että käytetyt mitoitusmenetelmät ja rakennemallit ovat ymmärrettäviä. Laskelmista laaditaan A- ja B-osa ja tarvittaessa myöhemmin C-osa. Kaikki osat laaditaan A4-kokoon ja niistä tehdään erilliset PDF-tiedostot.

Rakennelaskelman osa A tehdään kaikista silloista ja siinä esitetään kohdetta koskevat perustiedot, mitoitusmenetelmät, rakennemallit ja tärkeimpien osien mitoitus tiivistettynä. Näin ollen osaan A tutustumalla saadaan luotettava kuva laskelmien oikeellisuudesta ja kattavuudesta. Rakennelaskelman osa B tehdään 3 ja 4 tarkastusluokkiin kuuluvista silloista. B-osan tekeminen on myöskin suositeltavaa silloin kun rakenteita mitoitetaan kattavin laskelmin, vaikka silta ei kuuluisikaan tarkastusluokkiin 3 ja 4. B-osasta selviää eri rakenteiden mitoituksessa käytettävät kaavat ja menetelmät eli laskenta. Rakennelaskelman osa C tehdään tarvittaessa, jossa esitetään rakennelaskelmien muutokset ja toteutuksen aikaiset tarkastelut. Rakennelaskelmat tehdään Liikenneviraston Siltojen rakennelaskelmat -ohjeen mukaan. (6, s. 7; 10.)

3.2.2 Yleispiirustus

Yleispiirustuksen tarkoituksena on antaa yleiskäsitys ja koottua tietoa sillasta. Yleispiirustuksesta käy ilmi muun muassa sillan ulkonäkö, sijainti ja geometria, päämitat, rakenteelliset pääperiaatteet, perustus, liittyminen ympäristöön ja kuivatus. Mittakaavoina yleispiirustukselle voidaan käyttää 1:50, 1:100, 1:200 ja 1:500, mutta poikkileikkausta ei esitetä alle 1:200 mittakaavassa ja karttaotteen mittakaavana käytetään 1:2000...1:20000. (3, s. 16; 10.)

Sillan yleispiirustuksessa esitetään mm. sillan tasokuva, sivukuva, tarpeellinen määrä poikkileikkauksia (yleensä yksi) ja siltapaikan kartta. Sillalle annetaan kuvissa mm. kokonaispituus, jännemitat, hyötyleveys sekä perustuksien paikat, korkeudet ja mitat. Tarkempia rakennemittoja annetaan sillan mittapiirustuksessa. Yleispiirustus laaditaan Liikenneviraston siltojen suunnitelmat -ohjeen mukaisesti, jonka liitteessä 6 on listattu yleispiirustuksessa esitettäviä asioita. (3, s. 16, liite 6; 10.)

Valtion omistamien ja avustusta saavien siltojen kaiteet on suunniteltava Liikenneviraston Siltojen kaiteet -ohjeen mukaan. Yleispiirustuksessa esitetään kaiteen tiedot/tyyppi ja jatkuminen penkereellä. Piirustuksessa näytetään kaideverkkojen käyttöalue, jossa huomioidaan alimenevien väylien luonteesta johtuva tarve verkon pituudelle. (20, s. 6, 9.)

Sillan korjaussuunnitelman yleispiirustuksessa esitetään lisäksi numeroitu luettelo korjaustoimenpiteistä, jotka kohdistuvat sillan eri rakenneosiin ja siltapaikkaan. Luettelo selventävät merkinnät korjaustoimenpiteiden kohdista tulee olla taso-, sivu- ja poikkileikkauksissa. Purkutöiden eri työvaiheet tulee esittää yleispiirustuksessa pääpiirteittäin tai yksityiskohtaisesti, jollei työvaihepiirustus sisälly suunnitelmaan. (4, s. 60.)

3.2.3 Mitta- ja raudoituspiirustus

Mitta- ja raudoituspiirustukset esitetään mittakaavassa 1:20, 1:50, 1:100, 1:200 ja yksityiskohtia esitettäessä 1:1, 1:2, 1:5 tai 1:10. Piirustuksissa esitetään rakenteen sivu- ja tasokuva sekä riittävä määrä pituus-, poikki- ja vaakaleikkauksia. Pienemmissä korjauskohteissa mitta- ja raudoituspiirustus voidaan yhdistää samaan kuvaan ja se nimetään korjauspiirustukseksi.

Sillan mittapiirustuksessa esitetään rakenteen paikka mittalinjoihin nähden sekä rakenteen muoto ja mitat. Piirustuksessa tulee olla esitettynä eristykset, kannen pintarakenteet, betonipintoihin tulevat verhoukset ja pinnoitteet. Mittapiirustuksessa esitetään myös betoniin lisättävät mahdolliset lisäainevaatimukset, betonin laatu ja pinnan laatuluokka. Rakenteeseen suunnitellut työsaumat, kiinnivalettavat varusteet ja niiden varaukset, vedenpoistolaitteet ja valujärjestys tulee mainita piirustuksissa siinä laajuudessa, minkä suunniteltava kohde vaatii.

Sillan raudoituspiirustuksessa esitetään rautojen sijainti rakenteessa. Raudoitus suunnitellaan Liikenneviraston Betoniraidotteiden suunnittelu -ohjeen mukaan. Raidotteille merkitään piirustukseen tunnukset, joilla ne voidaan erotella toisistaan. Piirustuksessa annetaan jokaisen tunnuksen raidotteelle lukumäärä, koko, jakoväli ja pituus. Mikäli raidotteita jatketaan rakenteessa, tulee piirustuksessa mainita myös raidotteen jatkospituus. Raidotteet, jotka muuttavat suuntaa rakenteen sisällä, esitetään yleensä rakenteesta ulosvedettyinä. Ulosvedetyille raidotteille annetaan teräksen taivutusasteet ja -mitat. Rakenteen määrävissä leikkauksissa, tai mikäli saman tunnuksen omaavaa terästä tulee mo-
neen kohtaan, voidaan teräkselle antaa myös sen kokonaiskappalemäärä. Pii-

rustuksessa tulee myös mainita teräksen betonipeitteen paksuus, teräksen laatu ja suunnittelussa käytettyjen työterästen koko ja sijainti. (3, s. 16–19; 10.)

3.2.4 Raudoituluettelo

Siltojen raudoituluettelo tehdään Liikenneviraston Betoniraudoitteiden suunnittelu -ohjeen mukaan. Raudoitteissa käytetyt erilaiset taivutustyyppit on esitetty edellä mainitun ohjeen liitteessä 1B. Raudoituluettelossa esitetään kaikki työmaalla käsiteltävät rakenteen betoniteräkset rakenneosittain. Raudoituluettelosta laaditaan sekä sähköinen että paperinen versio. Sähköistä versiota hyödyntävät monet eri siltahankeen osapuolet, kuten esimerkiksi raudoitteiden valmistaja automatisoidussa tuotannossa ja tarjouspyynnöissä. (7, s. 16; 3, s. 19.)

Raudoituluettelot laaditaan siten, että yksi luettelo vastaa yhtä raudoituspiirustusta ja raudoituluettelossa viitataan, mikä raudoituspiirustus vastaa kyseistä luetteloä. Luettelossa esitetään eri sivuilla eri rakenneosaan kuuluvat teräkset sekä eri teräslaatuja olevat teräkset. Luettelossa mainitaan myös mille rakenteen osalle tai alueelle teräkset ovat tulossa. Raudoiteluettelot ovat yleensä laadittu valmiiksi ennen rakentamista. Raudoitteiden valmistaja voi näin ollen toimittaa raudoitteet eri työvaiheisiin oikeaan aikaan, kun suunnittelija on ilmoittanut raudoituluettelossa, mihin rakenneosaan kyseiset raudat kuuluvat. (7, s. 16.)

Edellisestä ohjeistuksesta poiketaan yleisesti kuitenkin siltä osin, että raudoituluettelot laaditaan alus- ja päällysrakenteiden osalta omiin luetteloihin, koska piirustusten koko on rajoitettu ja näin ollen sillan koosta riippuen päällysy- ja/tai alusrakenteiden raudoituskuvia voi olla useita. Alusrakenteen raudoituskuvien määrän ollessa esimerkiksi 4 kpl, ohjeistuksen mukaan luetteloita tarvittaisiin myös 4 kpl. Näin ollen on selkeämpää, että raudoituluettelot laaditaan tällaisissa tapauksissa Liikenneviraston Betoniraudoitteiden suunnittelu -ohjeesta poiketen laatimalla luettelo koko alusrakenteen osalta samaan luetteloon. Luetteloä voidaan selkeyttää tekemällä esimerkiksi jokaisen tuen raudat luettelossa omille sivuille. (10.)

Raudoiteluettelossa ilmoitetaan raudan taivutustyyppi, tunnus, koko, määrä, pituus sekä taivutetuilla teräksillä eri sivujen pituudet ja taivutuskulmat. Mikäli käytetään ”luseeraavia” eli taivutusmitoiltaan muuttuva teräksiä, annetaan listan ylemmälle riville sarjan lukumäärä ja sarjan ensimmäisen teräksen mitta. Alemmalle riville tulee sarjan sisältämä raudoitteiden määrä ja sarjan viimeisen teräksen mitat, jotka poikkeavat sarjan ensimmäisen teräksen mitoista. (7, s. 16, 17.)

3.2.5 Kustannusarvio

Kustannusarvio tehdään siltasuunnittelun jokaisessa vaiheessa. Kustannusten arviointi tehdään sillan määräluettelon pohjalta Liikenneviraston Kustannusarvion laatiminen -ohjeen mukaan. Sillan määräluettelo laaditaan InfaraRYL 2006 sekä Liikenneviraston Sillan määrät -ohjeen mukaan.

Määräluettelo laaditaan INFRA 2006 -nimikkeistön mukaisessa järjestyksessä, joka sisältää erittelyn siltahankkeen työmääristä ja materiaalimenekistä. INFRA 2006 -nimikkeistön tunnus koostuu nelinumeroisesta otsikosta, jotka täydentyvät desimaaliluvuin osoittamaan otsikon alla olevan oikean materiaalin tai työsuorituksen kohtaa. Materiaalimenekin ja työsuorituksen määrämittaus suoritetaan INFRA 2006 määrämittausohjeen ja Sillan määrät -ohjeen mukaan.

Kustannusarviossa hinnat annetaan verottomina käytettävän yksikköhintaluettelon kustannustasoon ja lopuksi muutetaan suunnitteluajankohdan mukaiseen kustannustasoon käyttäen kustannusindeksin korjauskerrointa. Liikenneviraston Kustannusarvion laatiminen -ohjeen yksikköhintojen perusvuosi on (2000=100). Kustannusarvion lopussa annetaan hankkeelle kokonaishinta. (8, s. 9–11; 9, s. 9–11.)

Nimikkeistöstä ei aina löydy korjausrakentamisen tarpeisiin valmista nimikkeistön kohtaa. Siitä johtuen nimikkeistöön voidaan joutua lisäämään korjaustoimenpide, joka numeroidaan desimaalein parhaiten sopivan otsikon alle. Korjaustoimenpiteen hinnoittelu tehdään tällöin esimerkiksi urakoitsijoilta saamien

hintatietojen sekä sillantarkastuskäsikirjan antamien korjaustoimenpidekustannuksen perusteella.

3.2.6 Rakennussuunnitelmaselostus

Rakennussuunnitelmaselostus on päivätty ja allekirjoitettu raportti, missä esitetään sillalle tehtävät rakennustoimenpiteet InfraRYL 2006 mukaisessa järjestyksessä laatuvaatimuksineen. Rakennussuunnitelmaselostuksen jäsentelyn tulee olla selkeä niin, että rakentamistoimenpiteet ovat helposti luettavissa.

Rakennussuunnitelmaselostuksella ei ole tarkkaa muotovakiota, vaan selostuksen sisältö ja laajuus määräytyvät hankekohtaisesti rakennustoimenpiteiden mukaan. Mikäli sillalle tehdään korjaustoimenpiteitä, rakennussuunnitelmaselostuksesta käytetään nimitystä korjaussuunnitelmaselostus. Korjaussuunnitelmaselostuksessa esitetään rakennussuunnitelmaselostuksen mukaisesti sillalle tehtävät rakennus- ja korjaustoimenpiteet. (10.)

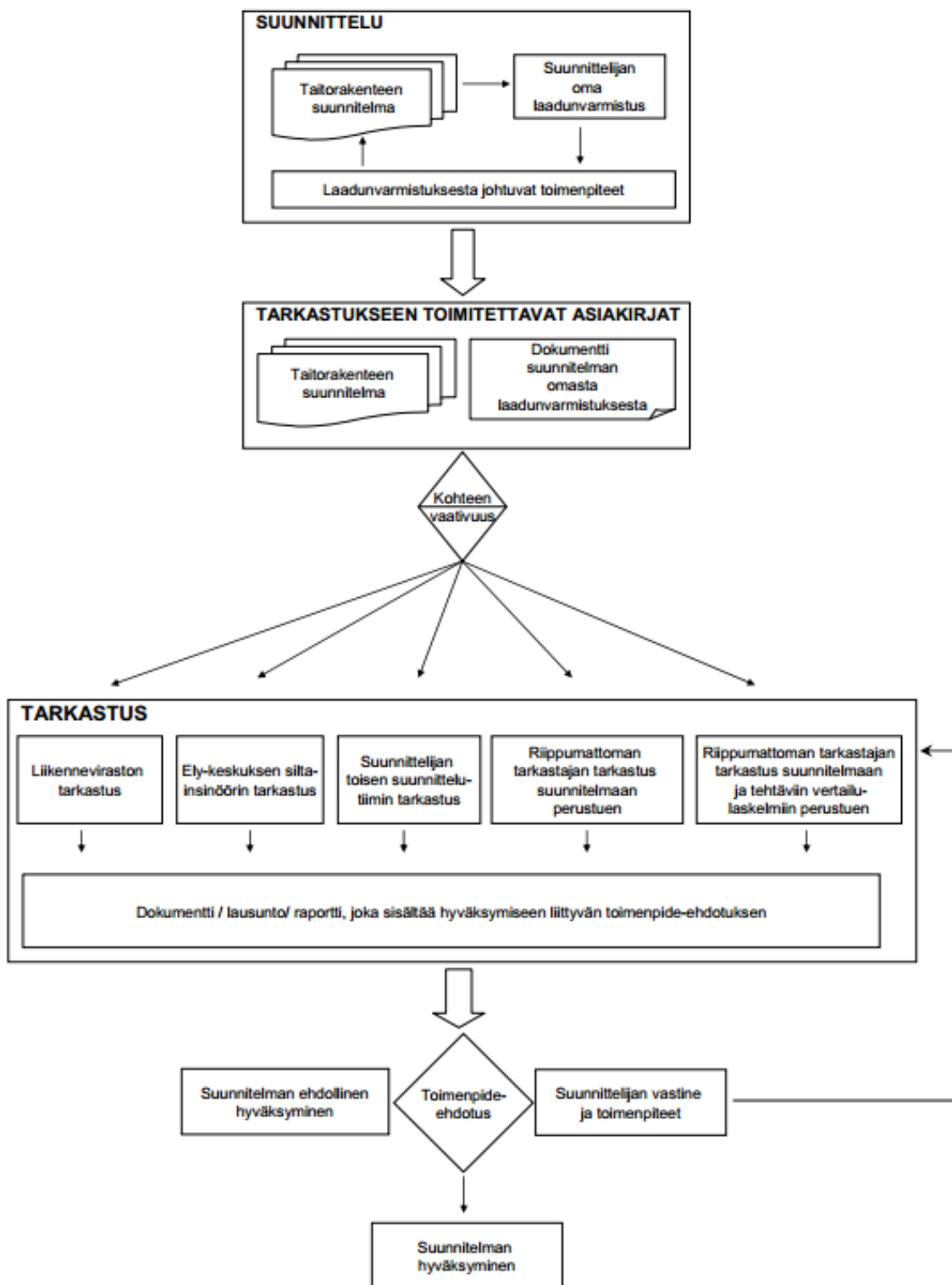
3.2.7 Suunnitelman tarkastus

Suunnitelmien tarkastaminen ja hyväksyminen suoritetaan Liikenneviraston Taitorakenteiden rakennesuunnitelmien tarkastus -ohjeen mukaan. Tarkastamiseen ja hyväksymiseen vaikuttavat mm. suunnittelijayrityksen laatujärjestelmä, urakkamuoto, hanke, rakenteen vaativuus, suunnitelma sisältö ja suunnittelijan pätevyys.

Suunnitelmien tarkastamisen edellytyksenä on, että suunnittelija on itse tehnyt dokumentoidun laadunvarmistuksen ja sen edellyttämän korjaukset/täydennykset suunnitelmilleen ennen tarkistukseen luovutusta. Suunnittelijan tekemä allekirjoitettu laadunvarmistus toimitetaan tarkastajalle suunnitelmien mukana. Suunnitelman tarkastus voidaan toteuttaa joko ELY-keskuksen silta-insinöörillä, Liikennevirastossa, ulkopuolisen tarkastajan tarkastamana, suunnittelijan omana tarkastuksena tai näiden yhdistelmänä, suunnittelukohteesta riippuen.

Suunnitelmat hyväksyy Liikennevirasto tarkastajan antaman raportin perusteella. Ennen hyväksyttämistä tarkastajan on tarvittaessa pyydettävä suunnittelijalta vastineet tarkastusasiakirjaan merkittyihin asioihin ja tekemään tarvittavat toimenpiteet sekä lähettämään tarvittavat suunnitelmat uusintatarkastukseen. Tarkastaja voi ehdottaa myös suunnitelman hyväksymistä ehdollisena eli kun tarkastusraportissa esitetyt tarvittavat korjaukset on huomioitu ja tehty suunnitelma voidaan hyväksyä.

Suunnitelman hyväksytyä Liikennevirasto ilmoittaa siitä erillisellä dokumentilla, joka liitetään suunnitelmaan. Ilmoitus suunnitelman hyväksymisestä lähetetään niin suunnittelijalle kuin tarkastajalle ja he vastaavat asiakirjan toimittamisesta eteenpäin asiaan kuuluville tahoille. Kuvassa 4 on esitetty suunnitelman tarkastus ja hyväksymisprosessi. (11, s. 7, 13.)



KUVA 4. Suunnitelman tarkastamis- ja hyväksyttämisen prosessi (11, s. 14)

4 EUROKOODIN JA SOVELTAMISOHJEIDEN MUKAINEN MITOITUS

4.1 Yleistä

Eurokoodit otettiin käyttöön sillansuunnittelussa 1.6.2010. Liikennevirasto on julkaissut eurokoodeille soveltamisohjeita, joiden avulla annetaan suunnittelijalle ohjeita eurokoodin tulkintaan ja menetelmiä, joilla eurokoodien vaatimustaso täytetään. Liikenneviraston julkaisemat soveltamisohjeet ovat:

- Siltojen kuormat ja suunnittelun perusteet - NCCI 1.
Julkaistu 22.12.2011 (toinen painos).
- Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2.
Julkaistu 21.6.2012 (toinen painos).
- Puurakenteiden suunnittelu - NCCI 5.
Julkaistu 17.6.2013
- Geotekninen suunnittelu - NCCI 7.
Julkaistu 10.6.2011 (toinen painos).

Liikenneviraston on julkaissut 22.12.2011 myös betonisiltojen korjaamista ja levennämistä varten suunnitteluohjeen. Julkaisu antaa ohjeita korjattavan ja levennettävän betonisillan mitoitusta ja suunnittelua varten. Korjaussuunnitteluohje on nimeltään ”Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje - Betonisiltojen levennysten ja suurempien valukorjausten mitoitus- ja suunnitteluohje”. (12, s. 5; 13.)

4.2 Kuormitukset

Esittelen tässä luvussa lyhyesti vain ne kuormitukset, joita käsittelin työssäni. Viittaan työssäni Liikenneviraston julkaisemiin Siltojen kuormat ja suunnittelun perusteet - NCCI 1, Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 sekä Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeeseen, koska ne tarjoavat suunnittelijalle helposti oleellisen tiedon levennettävän sillan kuormituksista.

4.2.1 Pysyvät kuormat

Rakenteen osien paino otetaan huomioon pysyvinä kuormina. Lisäksi rakenteeseen muuttumattomana vaikuttavat kuormitukset katsotaan pysyväksi kuormaksi, joita ovat esimerkiksi kannen täytteet ja pinnoitteet sekä siltavarusteet.

Pysyvät kuormat saadaan laskettua materiaalien tilavuuspainon kautta, joka on esimerkiksi raudoitetulle betonille 25 kN/m^3 . Eri materiaalien tilavuuspainoja on listattuna eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1:ssä sivuilla 8–9. (12, s. 8.)

4.2.2 Kuormakaavio LM1

Kuormakaavio muodostuu kuormakaistoille sijoitettavista telikuormista sekä tasaisesti jakautuneista kuormista. Telikuorma muodostuu kahdesta akselikuormasta joiden etäisyys on 1,2 m. Akselikuorma muodostuu kahdesta pyöräkuormasta, jotka sijaitsevat 2 m:n etäisyydellä toisistaan. Pyöräkuorman pinta-ala on kuvan 5 mukaisesti $0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$ ja sen vaikutuspinta-ala jakautuu pintarakenteessa suhteessa 1:1 ja murskekerroksessa suhteessa 2:1. Telikuormien ja tasaisesti jakautuneiden kuormien ominaisarvot Q_{ik} on esitetty taulukossa 1. (12, s. 10.)

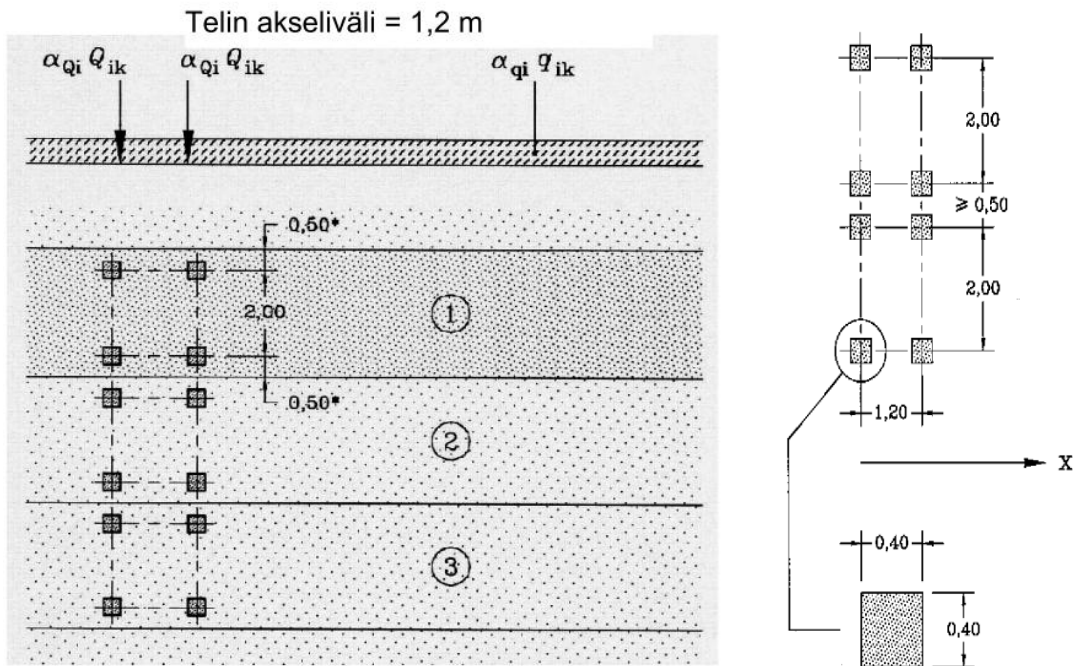
TAULUKKO 1. Kuormakaavion LM1 kuormien ominaisarvot (12, s. 11)

Sijainti	Yleiset tied		Valtionapua saavat yksityistiet	
	Telikuorma $2 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ (kN)	UDL q_{ik}/q_{rk} (kN/m ²)	Telikuorma $2 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ (kN)	UDL q_{ik}/q_{rk} (kN/m ²)
Kaista nro 1	2×300	9	2×240	7,2
Kaista nro 2	2×200	2,5	2×160	2
Kaista nro 3	2×100	2,5	2×80	2
Muut kaistat	-	2,5	-	2
Kaistojen ulkopuolinen alue (q_{rk})	-	2,5*	-	2

* kaistojen ulkopuolisen alueen tasainen kuorma voidaan jättää huomioimatta

$\alpha_{qi} = \alpha_{Qi} = 1$ (yleisillä teillä Suomessa)

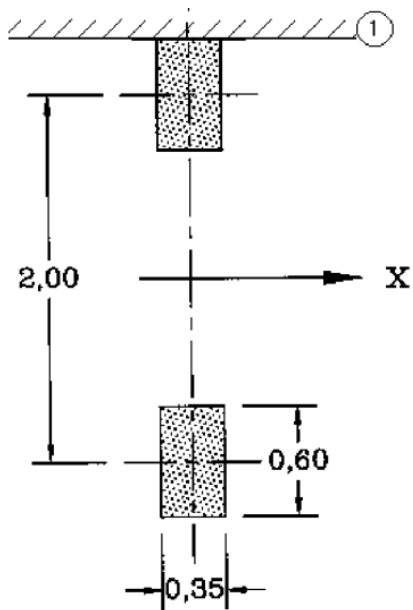
UDL = tasaisesti jakautunut kuorma



KUVA 5. Kuormakaavio LM1 kuormittaminen (14, s. 32, 33)

4.2.3 Kuormakaavio LM2

Kuormakaaviossa kuormakaistalle sijoitetaan akselikuorma, joka koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä olevasta pyöräkuormasta. Pyöräkuorma on kuvan 6 mukaisesti 0,35*0,6 m² ja sen vaikutuspinta-ala jakautuu pintarakenteessa ja murskekerroksessa kuormakaaviossa LM1 mainitulla tavalla. Pyöräkuorma voi sijaita myös aivan reunakiven vieressä ja rakennetta voidaan kuormittaa ainoastaan akselikuorman toisella pyöräkuormalla. Akselikuorman ominaisarvona käytetään yleisillä teillä 400 kN. (12, s. 11.)



Selite

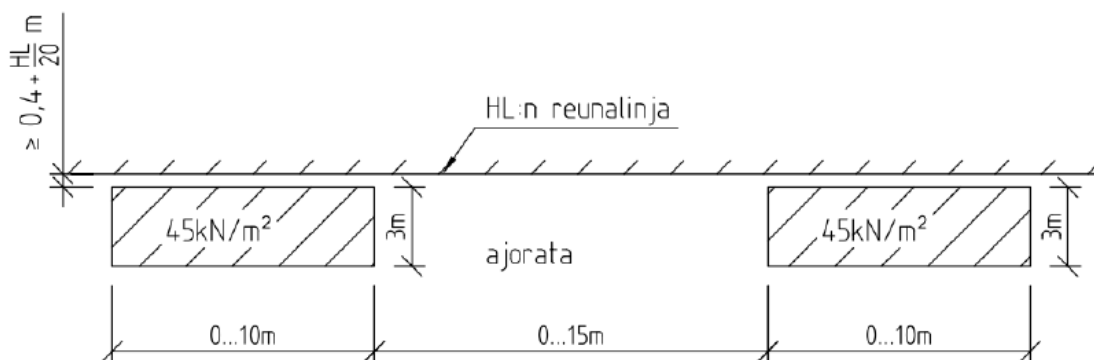
X sillan pituussuuntainen akseli

1 reunakiveys

KUVA 6. Kuormakaavio LM2 (14, s. 34)

4.2.4 Kuormakaavio LM3

Kuormakaaviota käytetään, jos mitoitettava silta sijaitsee suurten kuljetusten reitillä tai hankekohtaisesti on määrätty kuormakaavion käytöstä. Sillä mitoitetaan rakenteet murtorajatilassa sekä alusrakenteiden kantavuus. Kuormakaavio sijaitsee yhdellä kuormakaistalla kuvan 7 mukaisesti. (12, s. 12.)

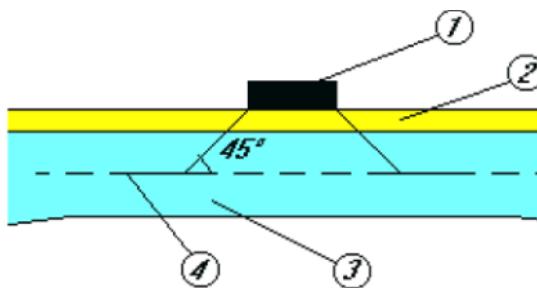


KUVA 7. Kuormakaavio LM3 (12, s. 12)

4.2.5 Kaistajako

Kuormakaaviot LM1, LM2 ja LM3 kuormittavat siltaa sillan pituussuuntaisella kuormakaistalla, jonka leveys on 3 m. Kuormakaistojen sijoitus ja lukumäärä kannen poikkisuunnassa valitaan siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. Kuormakaistoja voidaan sijoittaa ainoastaan sinne, mihin ajoneuvoilla on pääsy, eli käytännössä hyödyllisen leveyden alueelle. Näin ollen kuormakaistojen lukumäärä voi olla enintään se, mitä mahtuu hyödyllisen leveyden alueelle.

Kuormakaavioiden pystykuormat voidaan jakaa murskekerroksessa 2:1 ja pintarakenteissa 1:1 suhteilla. Kuvassa 8 on esitetty pyöräkuorman jakautuminen päällysteen ja ortotrooppisen kannen puoliväliin saakka Standardin SFS-EN-1991-2 Siltojen liikennekuormat kohdan 4.3.6 mukaan. Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnittelun perusteet - NCCI 1 kohdan 4.2.1 mukaan pyöräkuorma jaetaan vain päällysrakenteiden läpi kannen yläpintaan. (12, s. 10.)



Selite

- 1 Pyörän kosketuspaine
- 2 Päällyste
- 3 Betonilaatta
- 4 Betonilaatan keskipinta

KUVA 8. Pyöräkuorman jakautuminen päällysteen läpi betonilaatan keskipintaan (14, s. 35)

4.2.6 Vaakakuormat

Sillan mitoituksessa käytettävät vaakakuormat ovat jarru- ja kiihdytyskuorma sekä keskipakokuorma. Ajoneuvojen kiihdytyksestä ja jarrutuksesta aiheutuva vaakasuora jarrukuorma Q_{lk} vaikuttaa kannen pituussuuntaisesti ajoradan pin-

nan tasolla ja sen oletetaan jakaantuvan tasan koko ajoradan leveydelle. Kuorman Q_{lk} ominaisarvo lasketaan kaavalla 1. (12, s. 12.)

$$Q_{lk} = 360 + 2,7L \text{ [kN]}$$

KAAVA 1

$L = \text{kannen yhtenäisen osan pituus [m]}$

$$Q_{lk} \leq 500 \text{ kN}$$

Ajoneuvon sivuluisusta tai vinosta jarrutuksesta aiheutuva poikittainen jarrukuorma Q_{trk} vaikuttaa samanaikaisesti pituussuuntaisen jarrukuorman Q_{lk} kanssa. Poikittaisen jarrukuorman Q_{trk} ominaisarvo on 25 prosenttia pituussuuntaisesta jarru- ja kiihdytyskuormasta Q_{lk} .

Keskipakokuorma Q_{tk} vaikuttaa pistekuormana ajoradan pinnan tasolla. Pistekuorma sijaitsee ajoradan säteen alueella ja vaikuttaa säteen suunnassa. Keskipakokuorman ominaisarvo lasketaan taulukosta 2. (12, s. 12, 13.)

TAULUKKO 2. Keskipakokuorman ominaisarvo (12, s. 13)

Q_{tk} [kN]	r [m]
$0,2Q_v$	200
$40Q_v/r$	200..1500
0	1500

$r = \text{ajoradan keskiviivan vaakasäde}$

$Q_v = \text{kuormakaavion LM1 telien pystysuuntaisten pistekuormien summa}$

4.2.7 Sitoutumislämpötila rasitukset

Betonin sitoutumisesta aiheutuva lämpötilarasitus aiheuttaa rakenteeseen sisäisiä rasituksia siltaa levennettäessä ilman jälkivalukaistaa. Mitä massiivisempi levennysvalu, sitä suuremmat ovat sisäiset rasitukset. Levennystä suunniteltaessa rasitukset tulee ottaa huomioon käyttörajatilatarkastelussa, koska käyttörajatilassa tarkastellaan rakenteen halkeamaleveydet sekä jännitykset rajoitetaan. Rasitukset otetaan huomioon rakenteen pysyvinä kuormina. Päistään vapaana olevaan levennykseen syntyy laatan koko korkeudelle tasan jakautunut, mutta vaakasuunnissa muuttuva, puristus- ja vetojännitys. Valusauman päätöskohtaan eli yleensä sillan päätyihin tulee suurimmat rasitukset. (4, s. 28.)

Liitoksen voidaan olettaa alkavan toimivan kiinteän aineen tavoin, joka siirtää leikkausvoimia noin 6 tunnin kuluttua valusta. Pitkäaikaisvaikutuksia laskettaessa mitoittava lämpötilan arvo $dT(t)_{mit}$ voidaan laskea kaavalla 2. (4, s. 29.)

$$dT(t)_{mit} = 0,75dT(t)_{max} + T_m - T_0 \quad \text{KAAVA 2}$$

$dT(t)_{max}$ = lämpötilan nousu massan alkulämpötilasta mitattuna

T_m = tuoreen massan lämpötila

T_0 = ulkolämpötila sekä vanhan rakenteen lämpötila

Hydrataatiosta johtuva lämpötilan nousu $dT(t)_{max}$ saadaan, kun tiedetään, että metrin paksuinen betonilaatta, jossa sementtimäärä on 300kg/m^3 , sementti on normaalisementtiä, massan alkulämpötila on $+20\text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkolämpötila $+10\text{ }^\circ\text{C}$ tulee lämpötilan nousuksi $25\text{ }^\circ\text{C}$. Muut sementtimäärät ja laadut, massan lämpötilat ja laattapaksuudet otetaan huomioon taulukoiden 3–5 kertoimilla sekä ulkolämpötilan vaikutus kaavassa 2. Taulukoissa esitetyt kertoimet on määriteltävä koskemaan tapausta, jolloin ei ole käytetty lämpösuojausta.

TAULUKKO 3. Sementtityypistä ja määrästä riippuva maksimilämpötilaeron kerroin (4, s. 30)

Käytettävä sementti ja sen määrä betonissa	Aika valusta [h]					
	6	12	24	48	72	168
	Kerroin					
Vertailutapaus: CEM I tai II - N, 300 kg/m^3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CEM I tai II - N, 350 kg/m^3	1,00	1,06	1,17	1,11	1,09	1,05
CEM I tai II - N, 400 kg/m^3	1,00	1,18	1,31	1,21	1,17	1,10
CEM I tai II - N, 450 kg/m^3	1,00	1,26	1,44	1,32	1,27	1,13
CEM I tai II - R, 300 kg/m^3	1,00	1,24	1,19	1,10	1,07	1,03
CEM I tai II - R, 350 kg/m^3	1,00	1,29	1,35	1,21	1,19	1,10
CEM I tai II - R, 400 kg/m^3	1,00	1,35	1,50	1,34	1,28	1,13
CEM I tai II - R, 450 kg/m^3	1,00	1,59	1,65	1,44	1,38	1,19

TAULUKKO 4. Massan alkulämpötilan vaikutus maksimilämpötilaeroon (4, s. 30)

Massan lämpötila [oC]	Kerroin maksimi- lämpötilalle	Kerroin maksimiläm- mön ajanhetkelle
5	0,72	1,69
10	0,8	1,4
15	0,9	1,1
20	1	1
25	1,13	0,74
30	1,26	0,65

TAULUKKO 5. Rakenteen paksuuden vaikutus maksimilämpötilaeroon (4, s. 27)

Paksuus [m]	Kerroin
1,5	1,20
1,2	1,10
1	1,00
0,5	0,65
0,3	0,40
0,2	0,20
0,1	0,10

Viruman pienentävä vaikutus sitoutumislämpötilan pakkovoimiin voidaan ottaa huomioon kaavalla 3, johon kertoimen a arvo katsotaan taulukosta 6. (4, s. 22, 23.)

$$dT(t)_{eff} = \frac{dT(t)_{mit}}{(1 + a\varphi(t, t_0))}$$

KAAVA 3

$dT(t)_{eff}$ = viruman pienentämä lämpötilaero

$dT(t)_{mit}$ = pitkäaikaisvaikutuksellinen lämpötilaero

a = kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin (taulukko 6)

$\varphi(t, t_0)$ = virumaluku

TAULUKKO 6. Kertoimen α arvoja (4, s. 23)

Kuorma	Betoin ikä kuormituksen alkaessa tai muuttuessa			
	0-28 vrk	28-365 vrk	1-3 v	yli 3 v
Kutistumasta tai muusta muodonmuutoksesta syntyvä vaikutus, joka etenee kaavan {8} kertoimen $\beta_{ds}(t, t_s)$ mukaan	0,52	0,75	0,90	1,1
Pysyvän kuorman virumasta tai muusta muodonmuutoksesta syntyvä vaikutus, joka etenee kaavan {6} kertoimen $\beta_c(t, t_0)$ mukaan	0,52	0,52	0,70	0,90
Hydrataatiolämpötilaerosta ¹ johtuva kuorma tai pakkovoima	0,85	1,0	1,1	1,1
Jännevoiman vaikutuksesta syntyvä kuorma tai pakkovoima, kun poikkileikkauksesta poistetaan betonia	0,52	1,1	1,1	1,1
Oman painon vaikutus kuorman siirtyessä rakenteelle yhtäkkiä, esimerkiksi tuenta puretaan	1,1	1,1	1,1	1,1

4.2.8 Kutistuma

Siltaa levennettäessä valamalla uusi rakenne vanhaan rakenteeseen kiinni, aiheutuu rakenteiden välille pakkovoimia. Pakkovoimat muodostuvat vanhan ja uuden rakenteen välisestä kutistumaerosta. Halkeamaleveyksiä ja jännityksiä laskettaessa pakkovoimat tulee ottaa huomioon. Pakkovoimat lisätään rakenteeseen pysyvinä kuormina. Kutistuma lasketaan sillan käyttöönoton ajankohtana ja lopputilanteessa eli ajanhetkellä ääretön. (4, s. 36.)

Kokonaiskutistuma ϵ_{CS} lasketaan kaavalla 4 (15, s. 13), joka muodostuu betonin kuivumiskutistumasta ϵ_{cd} ja sisäisestä kutistumasta ϵ_{ca} . Kuivumiskutistuma on suuruudeltaan merkittävämpi tavallisissa betoniluokissa ja sen kehittyminen on hidasta. Sisäinen kutistuma muodostuu betonin kovettuessa ollen merkittävämpi korkealujuusbetoneissa. (16, s. 41.)

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

KAAVA 4

$$\varepsilon_{cd} = \text{kuivumiskutistuma}$$

$$\varepsilon_{ca} = \text{sisäinen kutistuma}$$

Kokonaiskutistuma lasketaan Eurokoodin soveltamisohjeen Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 liitteen 1 mukaisesti, missä kuivumiskutistuman arvo määräytyy poikkileikkauksen muunnettu paksuuden, betonin lujuusluokan ja iän, sementtityypin sekä ympäristön suhteellisen kosteuden mukaan. Sisäisen kutistuman arvo taas määräytyy betonin lujuusluokan ja iän mukaan. (15, s. 13.)

Viruman pienentävä vaikutus kutistumaan voidaan laskea soveltaen Liikenneviraston Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen kaavaa 7, missä lyhytaikaisen kimmokertoimen E_{cm} tilalle sijoitetaan kokonaiskutistuman arvo ε_{cs} . Tämä voidaan tehdä näin, koska Hooken lain kautta kimmokertoimella ja suhteellisella pituuden muutoksella on yhteys jännitykseen. Pienennettäessä suhteellista pituuden muutosta tai sitten kimmokerrointa jännityksestä tulee sama. Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen kaavasta 7 sovellettu versio on kaavan 5 mukainen.

$$\varepsilon_{cs,eff} = \frac{\varepsilon_{cs}}{(1 + a\varphi(t, t_0))}$$

KAAVA 5

$$\varepsilon_{cs,eff} = \text{viruman pienentämä kokonaiskutistuman arvo}$$

$$\varepsilon_{cs} = \text{kokonaiskutistuman arvo}$$

$$a = \text{kuorman vaikutusajasta riippuva kerroin (taulukko 6)}$$

$$\varphi(t, t_0) = \text{virumaluku}$$

Tehollisen kutistuman $\varepsilon_{cs,eff}$ syöttäminen rakennemalliin voidaan tehdä muuttamalla kutistuma kokonaislämpötilan laskuksi. Lämpötilan lasku saadaan, kun tehollisen kutistuman arvo jaetaan betonin lämpölaajenemiskertoimella

$$10 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}. \text{ (15, s. 12.)}$$

4.2.9 Viruma

Viruminen on kuormitetussa rakenteessa tapahtuvaa muodonmuutosta. Betonin viruminen on riippuvainen ympäristötekijöistä, ajasta ja betonin koostumuksesta. Betonin virumaan vaikuttaa poikkileikkauksen muunnettu paksuus, betonin lujuusluokka ja ikä, sementtityyppi sekä ympäristön suhteellisen kosteus.

Betonin virumista kuvaa virumaluku $\varphi(t, t_0)$, joka lasketaan Eurokoodin soveltamisohjeen Betonisiltojen suunnittelu - NCCI 2 liitteen 1 mukaan. Virumalukua käytetään mitoituksessa tehollisten arvojen määrittämiseen. (15, s. 13; 16, s. 44–45.)

4.2.10 Tuulikuorma

Sillan suunnittelussa tuulikuorma lasketaan taulukosta 7 saatavien poikittaisten tuulenpainoiden avulla. Taulukossa annetut arvot on laskettu olettaen tuulennopeuden modifoimattomalle perusarvolle $V_{b,0}$ arvo 23 m/s.

TAULUKKO 7. Siltaan kohdistuva tuulenpaine [kN/m^2] (12, s. 38)

Maastoluokka	0		I		II		III		IV	
	$z_e < 20m$	$z_e = 50m$	$z_e < 20m$	$z_e = 50m$	$z_e < 20m$	$z_e = 50m$	$z_e < 20m$	$z_e = 50m$	$z_e < 20m$	$z_e = 50m$
$< 0,5$	3,58	4,18	2,54	3,02	2,23	2,75	1,73	2,28	1,30	1,86
$\geq 4^a$	1,94	2,26	1,37	1,64	1,21	1,49	0,94	1,24	0,71	1,01
$\geq 5^b$	1,49	1,74	1,06	1,26	0,93	1,15	0,72	0,95	0,54	0,77

^a Koskee siltaa, jossa kaiteet ovat avoimet, ts. kaiteen projektiopinta-alasta yli 50 % on avointa.

^b Koskee siltaa, jossa on yhtä aikaan esiintyvä liikennekuorma tai kaiteet ovat suljetut (kysymyksessä on umpikaide tai kaide, jonka projektiopinta-alasta vähemmän kuin 50 % on avointa).

b = siltakannen leveys

d_{tot} = siltakannen korkeus

z_e = siltakannen painopisteen etäisyys maan pinnasta

Tuulen paineen määrittämisessä voidaan yleisesti käyttää maastoluokkaa II, ellei hankekohtaisesti ole muuta määrätty. Taulukon 7 väliarvot voidaan tarvittaessa interpoloida. Poikittaisen tuulikuorman vaikutusalan korkeus $A_{ref,x}$ saadaan taulukosta 8. (12, s. 38–39)

TAULUKKO 8. Siltakannen korkeuden määrittäminen (12, s. 39)

	toisella puolella	molemmilla puolin
Avoim kaide (> 50% avoin):	$d + 0,3$ [m]	$d + 0,6$ [m]
Umpikaide:	$d + d_1$ [m]	$d + 2 \times d_1$ [m]
Liikenteen kanssa:	$d + d^*$ [m]	

d = siltakannen korkeus, d_1 = umpikaiteen korkeus, d^* = liikenteen korkeus

Tieliikenteessä oletetaan, että $d^* = 2,0$ m.

Kannen poikittainen tuulikuorma F_{wk} saadaan laskettua soveltaen eurokoodin sfs-en-1991-1-4 kaavaa 8.2. Tuulikuorma F_{wk} saadaan laskettua kaavalla 6. (17, s. 152.)

$$F_{wk} = q_{wk} A_{ref,x}$$

KAAVA 6

q_{wk} = tuulenpaine (taulukko 7)

$A_{ref,x}$ = tuulikuorman vaikutusalan korkeus (taulukko 8)

4.2.11 Lämpötilakuormat

Lämpötilakuorma muodostuu keskilämpötilan muutoksesta ja poikkileikkauksen ylä- ja alapinnan välisestä erosta. Keskilämpötilan muutos määritetään Eurokoodin soveltamisohjeen Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1 kuvan D.1 Lämpötilan ääriarvot Suomessa -kartan avulla. Betonisillan maksimilämpötilana $T_{e,max}$ pidetään arvoa, joka on 2 °C lämpimämpi kuin varjossa mitattu ilman maksimilämpötila. Minimilämpötilana $T_{e,min}$ pidetään betonisilloille arvoa, joka on 8 °C lämpimämpi kuin ilman minimilämpötila. (12, s. 40–41.)

Sillan suurinta lämpökutistumaa vastaava keskilämpötilan muutos lasketaan kaavasta 7 ja suurinta lämpölaajenemista vastaava keskilämpötilan muutos kaavasta 8. (18, s. 34.)

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} \quad \text{KAAVA 7}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 \quad \text{KAAVA 8}$$

$T_0 =$ sillan alkulämpötila (10 °C kun alkulämpötila ei ennakoitavissa)

$T_{e,min} =$ siltarakenteen matalin keskilämpötila

$T_{e,max} =$ siltarakenteen korkein keskilämpötila

$\Delta T_{N,con} =$ sillan suurinta lämpökutistumaa vastaava keskilämpötila

$\Delta T_{N,exp} =$ sillan suurinta lämpölaajenemista vastaava keskilämpötila

Ylä- ja alapinna välinen lämpötilaeron määrittäminen voidaan tehdä Standardin SFS-EN 1991-1-5 mukaan joko lineaarisesti tai epälineaaraisesti. Yleensä käytetään lineaarista määrittelyä pystysuuntaiselle lämpötilaerolle. Lineaarinen pystysuuntainen lämpötilaero saadaan taulukosta 9, jossa esitetyt arvot ovat 50 mm:n päällystepaksuudelle. Muut päällystepaksuudet otetaan huomioon korjauskerroinella k_{sur} , jotka on esitetty taulukossa 10. (12, s.41–42.)

TAULUKKO 9. Poikkileikkauksen pystysuuntainen lineaarinen lämpötilaero (12, s. 42)

Päällysrakennetyyppi:	Yläpinta lämpimämpi $\Delta T_{M,heat}$ (°C)	Alapinta lämpimämpi $\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne	18	13
Tyyppi 2: Liittopäällysrakenne	15	18
Tyyppi 3: Betonipäällysrakenne		
betonikotelo	10	5
betonipalkki	15	8
betonilaatta	15	8

TAULUKKO 10. Korjauskerroin k_{sur} (12, s. 42)

Tiesillat, kevyen liikenteen sillat ja rautatiesillat: korjauskerroin k_{sur}						
Päällysteen paksuus [mm]:	Tyyppi 1		Tyyppi 2		Tyyppi 3	
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
päällystämätön:	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vesieristetty:	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
750 (tukikerros)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

Keskilämpötilan suurin muutos ja leikkauksen pystysuuntainen lämpötilaero voivat vaikuttaa yhtäaikaaisesti. Näiden yhdistäminen tehdään kaavojen 9 ja 10 mukaan, joiden joukosta määräävintä yhdistelmää käytetään mitoituksessa. Lämpötilakuormia ei tarvitse ottaa huomioon murtorajatilatarkastelussa Liikenneviraston Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 kohdan 5.5 mukaan koska teräsbetonilaatoilla voidaan otaksua olevan riittävä muodonmuutoskapasiteetti. (12, s. 43.)

$$\Delta T_{m,heat}(tai \Delta T_{m,cool}) + 0,35\Delta T_{N,exp}(tai \Delta T_{N,con}) \quad KAAVA 9$$

$$0,75\Delta T_{m,heat}(tai \Delta T_{m,cool}) + \Delta T_{N,exp}(tai \Delta T_{N,con}) \quad KAAVA 10$$

4.3 Kuormaryhmät

Liikennekuormia ei yhdistetä eurokoodin mukaan sellaisenaan muiden kuormien kanssa vaan niistä muodostetaan kuormaryhmiä, joita käsitellään kuormitusyhdistelyssä yksittäisinä kuormina. Kuormaryhmiä on kuusi ja ne eivät voi esiintyä kuormitusyhdistelyssä yhtä aikaa. Kuormaryhmät on esitetty taulukossa 11. (12, s. 13–14.)

TAULUKKO 11. Liikennekuormaryhmien määrittely (12, s. 14)

AJORATA PIENTAREINEEN							Kevyen liikenteen väylä
Pystykuormat				Vaakakuormat		Vain Pystykuorma	
LM1	LM2	LM3	LM4	Jarru- ja kiihdytyskuormat	Keskipakokuorma ja sivukuorma		Yhdistelyarvo
Teli	UDL	Yksittäinen akseli	Erikoiskuorma	Ruuhkuormitus			
[EN 1991-2_4.3.2]	[EN 1991-2_4.3.3]	[EN 1991-2_4.3.4]	[EN 1991-2_4.3.5]	[EN 1991-2_4.4.1]	[EN 1991-2_4.4.2]	[EN 1991-2_5.3.2.1]	
gr1a	Ominaisarvo 1	1				Yhdistelyarvo 3 kN/m ²	
gr1b		Ominaisarvo 1					
gr2	Tavallinen arvo (ψ1) 0,75	0,4			Ominaisarvo 1	Ominaisarvo 1	
gr3						Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr4				Ominaisarvo 1		Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr5			Ominaisarvo 1				

Kuormaryhmillä on eri mitoituksellinen käyttötarkoitus, joten kaikkia kuormaryhmiä ei aina tarvitse muodostaa. Kuormaryhmä gr1a mitoittaa usein kansilaa-tan poikkisuunnassa ja pääkannattimet. Kuormaryhmä gr1b mitoittaa mahdollisesti esimerkiksi ulokkeen. Kuormaryhmä gr2 mitoittaa usein alusrakenteet ja kuormaryhmä gr5 mitoittaa mahdollisesti rakenteita murtorajatilassa. (12, s. 14–15.)

4.4 Kuormitusyhdistelmät

Kuormia, jotka eivät toiminnallisesti tai fyysikaalisesti voi esiintyä yhtäaikaisesti, ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti yhdistelmissä, joista lasketaan voimasuureet. (19, s. 98.)

Kuormitusyhdistelyt muodostetaan murto- ja käyttörajatilassa. Yhdistelyssä käytetään yhdistelykertoimia ψ_i jotka on esitetty taulukossa 12. (12, s. 51.)

TAULUKKO 12. Kuormien yhdistelykertoimet ψ_i (12, s. 52)

		Kuorma		ψ_0	ψ_1	ψ_2
				Yhdistelyarvo (combination)	Tavallinen arvo (frequent)	Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
gr1a	LIIKENNEKUORMAT	gr1a	Telli (LM1)	0,75	0,75	-
		gr1a	UDL (LM1) ²	0,4	0,4	- 0,3
			Keveyen liikenteenkuorma (3kN/m ²)	0,4	0,4	-
		gr1b	Akselikuorma (LM2)	-	0,75	-
		gr2	LM1 +Vaakuormat	-	-	-
gr3		gr3	Keveyen liikenteen väylän kuorma	-	-	-
gr4		gr4	Ruuhkakuorma	-	0,75	-
gr5		gr5	Erikoiskuorma (LM3)	-	-	-
F _{wk}	TUULIKUORMAT	-F _{wk} , Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet		0,6	0,2	-
T _k	LÄMPÖTILATKUORMAT ³	T _k (ks. kappale D)		- 0,6	0,6	0,5
BF	LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)		0,6	0,5	0,4
IL	JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)		0,7	0,5	0,2
S	TUKIPAINUMAT/ -SIIRTYMAT	S (ks. kappale H.2)		pysyvä kuorma		
TLEP	LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA ¹⁾	(ks. EN 1991-2 NA 4.9.1 (1))		0,75	0,75	-

1) Liikennekuorman maanpaine:

-Kun sillakannella ei ole telikuormaa, käytetään gr1a:n telikuorman ψ_0 -arvoa (0,75/0,75/0)

-Kun sillakannella on telikuormaa, käytetään gr1a:n tasaisen kuorman ψ_0 -arvoa (0,4/0,4/0,3)

2) gr1a:n tasaisen kuorman pitkäaikaisarvo (ψ_2) on yleisillä teillä sijaitsevilla silloilla 0,3, ja valtioneapua saavilla yksityisteiden silloilla 0.

3) Lämpötilakuorman yhdistelyarvon (ψ_0) valinta: ks. materiaaliakohtaiset sovellusohjeet

Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnittelun perusteet - NCCI 1 liitteessä 1 on esitetty murto- ja käyttörajatilojen kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelmät, joilla otetaan huomioon kaikki vaatimukset ja erityisehdot. Kuormitusyhdistelmiä muodostettaessa liitteen 1 mukaisien kuormitusyhdistelyjen käyttö on suositeltavaa. (12, s. 51.)

Murto-rajatila

Murto-rajatilassa rakenneseosien kestävyyttä tarkastelevat kuormien mitoitussarvot saadaan taulukon 13 mukaisesti. Taulukon lausekkeella 6.10a käsitellään vain pysyvät kuormitukset. (12, s. 54.)

TAULUKKO 13. Murtorajatilan yhdistelmät (rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus) (12, s. 54)

	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10a	1,35 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P		
<i>tai</i>						
6.10b	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · (raideliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,1}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,50 · (muu määrävä muuttuva kuorma)	$1,35 \cdot \psi_{0,1} \cdot$ (tieliikennekuorma) $1,35 \cdot \psi_{0,1} \cdot$ (kevyen liikenteen kuorma) $1,45/1,20 \cdot \psi_{0,1} \cdot$ (raideliikennekuorma) } + 1,50 · $\psi_{0,1}$ · (muut muuttuvat kuormat)

Käyttörajatila

Kuormien mitoitusarvot käyttörajatilassa saadaan taulukon 14 mukaan. Taulukon on kirjoitettu valmiiksi sisään Suomen kansalliset valinnat. Käyttörajatila-mitoituksessa ominaisyhdistelmällä tarkastellaan rakenteen palautumattomia muodonmuutoksia. Ominaisyhdistelmällä tarkastellaan esimerkiksi betonirakenteen jännitysrajat. Käyttörajatilan tavallista yhdistelmää käytetään palautuville muodonmuutoksille. Tavallisella yhdistelmällä tarkastellaan esimerkiksi lyhytaikaisen tilan halkeamarajaa sekä rakenteen taipumaa. Käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmää käytetään rakenteen pitkäaikaisvaikutuksia tutkittaessa. Pitkäaikaisyhdistelmällä tarkastellaan esimerkiksi pitkäaikaisen tilan halkeamarajaa. (12, s. 56–57.)

TAULUKKO 14. Käyttörajatilan yhdistelmät (12, s. 56)

	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määrävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Ominaisyhdistelmä 6.14	1,00	G	1,00	P	(määrävä muuttuva kuorma)	$\psi_{0,1}$ · (muut muuttuvat kuormat)
Tavallinen yhdistelmä 6.15	1,00	G	1,00	P	$\psi_{1,1}$ · (määrävä muuttuva kuorma)	$\psi_{2,1}$ · (muut muuttuvat kuormat)
Pitkäaikaisyhdistelmä 6.16	1,00	G	1,00	P	$\psi_{2,1}$ · (määrävä muuttuva kuorma)	$\psi_{2,1}$ · (muut muuttuvat kuormat)

5 KOHDESILLAN LEVENNYYS OHJEIDEN MUKAAN

Kohdesillan leventäminen suoritettiin Liikenneviraston julkaisemien ohjeiden sekä eurokoodin soveltamisohjeiden ja betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen mukaan. Levennettävä silta on paikallaan valettu teräsbetoninen laattakehäsilta, joka on perustettu maanvaraisesti. Siltaa levennetään täyttämään 7,5 metrin hyötyleveys. Sillan korjauspiirustukset tehtiin Autodeskin AutoCAD-ohjelmalla ja levennyksen mitoitus suoritettiin Sofistik-ohjelmalla. Raudoituluettelot laadittiin raudoiteluettelo RL3.1-ohjelmalla. Rakenteen tartuntojen laskenta sekä betonin kutistumisesta että sitoutumisesta johtuvat kuormitukset suoritettiin Microsoftin Excel-ohjelmalla. Levennyssuunnitelman sisältyvä kirjallinen dokumentointi tehtiin Microsoftin Word-ohjelmalla ja sillan kustannusarvio tehtiin Fore-ohjelmistolla.

5.1 Levennystarpeen kuvaus ja perusratkaisujen vertailu

Kohdesillan hyödyllinen leveys on 7 metriä ja sillan tulisi täyttää levennettynä 7,5 metrin hyödyllinen leveys erikoiskuljetuksia varten. Levennyksen työmäärä ja kustannukset huomioiden koko kehän leventäminen olisi ollut erittäin laaja ja kallis toimenpide puolen metrin levennystarpeelle. Koko kehää levennettäessä vanhat siipimuurit jouduttaisiin poistamaan reunapalkin poiston yhteydessä, jonka jälkeen kehän ja kannen levennys uusine siipimuureineen voitaisiin toteuttaa. Näin tehtäessä rakenteiden purkumäärät, maarakenteiden kaivanto- ja täyttötöyt sekä siltarakenteen betonointi- ja raudoitetyöt olisivat olleet huomattavasti suuremmat kuin nyt valitulla menetelmällä. Edellä mainituista syistä johtuen, sillan leventäminen päätettiin toteuttaa ”ulokkeellisena”.

Levennys suunniteltiin niin, että ainoastaan sillan kantta levennettiin 0,5 metriä. Kohdesillassa on vinot siipimuurit, joka edesauttoi levennyksen toteuttamista kyseisellä menetelmällä. Pelkää kantta levennettäessä sillan alusrakenteisiin ei tarvitsisi koskea, joka vähentäisi huomattavasti työmäärää ja kustannuksia. Levennyksessä sillan kansi tulee päistään siipimuurin päälle eli levennyksellä on

tuet myös päissä, mistä johtuen levennys ei käytännössä ole täysin ulokkeellinen.

5.2 Laskentamalli

Levennyksen mitoitusta varten mallinnettiin kolme laskentamallia. Laskentamallien mallinnus suoritettiin Sofistik-ohjelman Sofiplus(-X)-lisäosalla. Mallinnukset suoritettiin tekemällä mallinnus rakenteen keskilinjoihin mukaan. Malleissa käytettiin nykyisen rakenteen osalle betonia C30/37 ja levennyksen osalle betonia C35/45. Laskentamallien kuvat on esitetty työn liitteessä 8 sivuilla 8–9.

Ensimmäisessä laskentamallissa rakenne ja levennys siipimuureineen mallinnettiin oikeilla mitoilla. Näin rakenteen poikkileikkauksen pinta-ala on sama mitä todellisen rakenteen, joten rakenteen omapaino ja jäykkyys on huomioitu mahdollisimman hyvin. Reunapalkki ja kansilevennys mallinnettiin erillisinä elementteinä, jotta malli saatiin mahdollisimman lähelle oikeaa rakennetta. Mallissa reunapalkin ja kansilevennyksen pintakeskiöiden välille tuli hyppy, joten niiden välille tehtiin taivutusjäykkä liitos. Mallissa mitoitushjelma huomioi, että kansilevennys tulee päistään siipimuurien päälle. Siipimuurin ja levennyksen välinen liitos tehtiin niin ikään jäykäksi. Ensimmäisellä mallilla pyrittiin saamaan mahdollisimman todelliset raudoitemäärät levennykselle.

Toinen laskentamalli mallinnettiin täysin ulokkeellisena eli ilman siipimuureja. Mallissa kansilaatta mallinnettiin ilman reunapalkkia, joka lisättiin ulokkeen reunaan viivakuormana. Toisella mallilla haluttiin tehdä vertailumitointus, millä nähtäisiin siipimuurien vaikutus raudoitemääriin. Lisäksi saataisiin vertailuraudoitemäärä ensimmäisellä mallilla lasketuille kentän raudoitusmäärille ja näin nähtäisiin toimiiko ensimmäinen laskentamalli oikein.

Kolmannessa laskentamallissa mallinnettiin pelkkä levennysosa oikeilla mitoilla ilman reunapalkkia. Malliin tehtiin jäykkä tuenta levennyksen ja vanhan kansilaatan liitoskohtaa koko sauman pituudelta. Kolmannella mallilla selvitetiin levennyksen vaatima tartuntojen määrä vanhaan kansirakenteeseen.

Sillan mitoituksessa joutuu usein tekemään kompromisseja laskentamallin tarkkuuden suhteen. Tämä johtuu siitä, että suunnittelussa ei ole tarpeeksi aikaa viimeistellä rakennemallia loputtomiin, vaan on tehokkaampaa tehdä mitoitusmalli sillä tarkkuudessa, jolla saadaan nopeasti ulos määräävät tulokset riittävän luotettavina. Mitoituksen luotettavuuden toteamiseksi suunnittelijan täytyy ymmärtää laskettavan rakenteen toiminta ja hänellä täytyy olla käsitys saatavien tulosten suuruusluokasta.

5.3 Kuormitukset

5.3.1 Pysyvät kuormat

Mitoitusmalliin syötettiin rakenteen todellinen paksuus ja materiaali ja näin ollen rakenteen omapaino on suoraan mukana FEM-mallissa. Kaide ja suojaverkko sekä sillan kannen päällysrakenteet lisättiin malliin pysyvinä kuormina. Niiden sijoitus rakenteeseen on esitetty työn liitteen 9 liitteessä 1. Sitoutumislämpötilasta ja kutistumisesta aiheutuvat rasitukset lisättiin myös rakenteeseen pysyvinä kuormina käyttörajatila tarkastelussa.

Betonin tilavuuspainoksi annettiin 25 kN/m^3 . Kaide ja suojaverkon painot laskettiin kaiteiden tyyppiinustuksista H2-11 (21) ja H2-7 (21) saatujen metripainojen perusteella. Harvakaiteen paino on $46,6 \text{ kg/m}$ ja suojaverkon $15,4 \text{ kg/m} + 2 \text{ kg/m}$ putttikiinnityksestä. Näin yhteiskuormaksi tuli $64 \text{ kg/m} \rightarrow \approx 0,64 \text{ kN/m}$.

Pintarakenteiden paino laskettiin eurokoodin soveltamisohjeen Siltojen kuormat ja suunnittelunperusteet - NCCI 1:ssä annetun päällysrakenteiden painon mukaan. Päällysteen painon $2,5 \text{ kN/m}^2$ (110 mm) lisäksi huomioitiin lisäpäällystekerroksen paino 1 kN/m^2 ja näin päällystekerroksen painoksi saatiin $3,5 \text{ kN/m}^2$.

Sitoutumislämpötila rasitukset huomioitiin rakenteessa kaavan 3 mukaisella lämpötilakuormalla. Kutistumisesta aiheutuvat rasitukset lisättiin rakenteeseen kaavan 5 mukaisella kutistumisen arvolla, joka muutettiin lämpökuormaksi betoniin lämpölaajenemiskertoimella. Rasitukset on laskettu Microsoft Excel-ohjelmalla ja tulokset on työn liitteessä 9 sivulla 4. Sitoutumislämpötila ja kutis-

tumisrasitukset huomioitiin käyttörajatilamitoituksessa. Murtorajatilassa rasituksia ei tarvinnut ottaa huomioon eurokoodin soveltamisohjeen Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 taulukon 5.1 ja Liikenneviraston Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen kohdan 8.3 mukaan. Liikennekuorman vaikuttaessa samanaikaisesti, otettiin kutistumisrasituksista huomioon eurokoodin soveltamisohjeen Siltojen kuormat ja suunnittelunperusteet - NCCI 1 kohdan H.6 mukaisesti puolet. Levennyksen ankkuroinnit mitoitettiin murtorajatilassa käyttäen kuormituksina ainoastaan sitoutumislämpötila ja kutistumisrasituksia, joissa viruman vaikutus oli huomioitu. Mitoitus suoritettiin rakennemallilla 3.

5.3.2 Liikennekuormat

Levennyksen mitoituksessa käytettiin liikennekuormia LM1, LM2 ja LM3 sekä jarrutus- ja kiihdytyskuormia ja keskipakokuormaa. Kuormien sijoittuminen rakenteeseen ja käytetyt voimasuureet on esitetty työn liitteessä 9 sivuilla 5–7.

Liikennekuorman LM1 telikuormat ja LM2 akselikuorma laitettiin kulkemaan kuormakaistallaan 1 metrin porrastuksella kannen läpi. Mitoitusohjelma mitoitti rakenteen kuormituksen epäedullisimman sijainnin mukaan. Jarrutus- ja kiihdytyskuormalla sekä keskipakokuormalla ei ollut merkittävää vaikutusta mitoituksessa.

5.3.3 Muut kuormat

Muut mitoituksessa käytetyt kuormat olivat tuulikuorma ja lämpötilakuorma. Tuulikuorman ja lämpötilakuorman laskeminen toteutettiin Microsoft Excel-ohjelmalla. Laskut ja tulokset ovat työn liitteessä 9 sivuilla 7 ja 8.

Tuulikuormassa otettiin huomioon vain kaiteen osalle tuleva tuulikuorma. Tämä toteutettiin näin, koska työssä ei ollut tarpeellista mitoittaa vanhaa rakennetta tuulelle vaan selvittää tuulen vaikutus levennykseen. Tuulikuorma koostui tuulen vaakakuormasta ja siitä muodostuvasta momentista.

Lämpötilakuorma otettiin mitoituksessa huomioon käyttörajatilassa tavallisella yhdistelmällä ja pitkäaikaisyhdistelmällä sekä rakenteen jännityksiä tarkastelta-

essa ominaisyhdistelmällä. Lämpötilakuormia ei tarvinnut ottaa huomioon murtorajatilatarkastelussa eurokoodin soveltamisohjeen Betonirakenteiden suunnittelu - NCCI 2 taulukon 5.1 ja Siltojen kuormat ja suunnittelunperusteet - NCCI 1 liitteen 1A mukaan.

5.4 Kuormitusyhdistelmät

Kuormitusyhdistelmät muodostettiin eurokoodin soveltamisohjeen Siltojen kuormat ja suunnittelun perusteet - NCCI 1 liitteen 1A mukaan. Kohdesillan levennys mitoitettiin murtorajatilatarkastelussa kuormitusyhdistelmille gr1a, gr1b, gr2 ja gr5. Rakenteen jännitystarkasteluissa käytettiin myös edellä mainittuja kuormitusyhdistelyjä, mutta ne tehtiin käyttörajatilan ominaisyhdistelmällä. Rakenne mitoitettiin myös käyttörajatilassa kuormitusyhdistelmillä gr1a ja gr1b tavallisella yhdistelmällä ja pitkäaikaisyhdistelmällä 1c.

Kuormitusyhdistelmät syötettiin Sofistik-ohjelmaan, joka yhdistelee kuormitusyhdistelmän kuormat kuormitusyhdistelykaavojen ja ehtolauseiden avulla. Liikennekuormia sisältävässä yhdistelyssä, ohjelma laskee jokaisesta liikennekuorman asennosta muiden kuormien kanssa yhdistelmän ja mitoittaa rakenteen määräävimmän yhdistelmän mukaan. Näin ollen erilaisia yhdistelmiä tulee monia jo pelkästään yhdellä kuormitusyhdistelmällä. Levennyksen mitoitettavimmaksi kuormitusyhdistelmäksi tuli molemmissa mitoitussmalleissa käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä 1c.

5.5 Mitoitus

Levennyksen mitoitus suoritettiin Sofistik-ohjelmalla. Mitoitusvoimat laskettiin osittain Microsoftin Excel-ohjelmaa apuna käyttäen. Levennyksen mitoituksessa lähes aina mitoittavaksi rajatilaksi tulee käyttörajatila. Tämä johtuu siitä, että levennyksen rajakohtaan muodostuvan vetovoiman johdosta rakenne pyrkii halkeilemaan. Halkeamaleveydelle on asetettu tiukat rajoitukset, jonka johdosta rakennetta joudutaan raudoittaan enemmän kuin muutoin tarvitsisi.

Tämän työn molemmissa rakennemalleissa mitoittavaksi rajatilaksi tuli niin ikään käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä, missä halkeamaleveysraja oli 0,228 millimetriä. Halkeamaleveys rajaa voitiin korottaa Liikenneviraston Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen kohdan 3.2.3 mukaisesti $c/c_{\min,dur}$ kertoimella. Levennys suunnittelu toteutettiin olettaen sillan jäljellä olevaksi käyttöäksi 50 vuotta. Halkeamaleveysrajan korotus on esitetty työn liitteessä 9 sivulla 14.

Levennyksien tartunnat mitoitettiin kolmannella laskentamallilla, jossa rakennetta kuormitti kutistuminen ja sitoutumislämpötilakuorma. Levennyksen tartunnat mitoitettiin myös mitoitusmalleilla 1 ja 2 murtorajatilan kuormilla, joissa ei huomioitu kutistumaa ja sitoutumislämpötilakuormia. Lopuksi levennyksen tartunnat valittiin määrävimmän mitoituksen mukaisen tartuntarautamäärän mukaan ja tarkistettiin, että valittu raudoitemäärä on vähintään Liikenneviraston Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen liitteessä 2 annettujen minimi raudoitemäärien mukainen. Edellä mainitussa ohjeessa annetaan myös saumanpituussuuntainen minimikutistumisraudoitusmäärä, joka täyttyi tässä työssä ilman lisäraudoitusta. Laskentamallilla 3 saatu mitoitusarvo laskettiin painotettuna keskiarvona 2 metrin matkalle levennyksen päähän. Levennyksen ankkurointiraudoitemäärä laskettiin käsin vaarnaraudoituksena Excel-ohjelman avulla. Lasku sekä tulokset ovat työn liitteessä 9 sivuilla 9 ja 10.

5.6 Laskelmat

Laskelmien dokumentointiin käytettiin Microsoftin Word-ohjelmaa ja laskelmista muodostettiin lopuksi PDF-tiedostot. Sillan levennyksestä tehtiin rakennelaskelmat osa A ja B. B-osa laadittiin, koska työni liittyy hankkeeseen, jossa on sovittu, että kaikista silloista laaditaan myös rakennelaskelman B-osa, vaikka silta ei kuuluisikaan tarkastusluokkiin 3 ja 4. Rakennelaskelman A-osassa on esitetty tiiviimmin levennyksen mitoitukseen liittyvät kuormat ja laskelmat. Käytettävät raudoitemäärät ja merkittävimmät voimasuureet on myös esitetty osassa A, joten jo pelkästään A-osaan tutustumalla saa selvyden mitoituksessa käytetyistä malleista, kuormista ja menetelmästä. B-osassa on esitetty tarkemmin mitoituksessa käytettyjen suureiden laskenta, kuormien sijoitukset raken-

nemalliin sekä käytettävään raudoitemäärään johtavat suunnitteluperusteet. Rakennelaskelman A- ja B-osat ovat työn liitteessä 8 ja 9.

5.7 Korjauspiirustusten laatiminen

Korjauspiirustukset r-1 ja r-2 laadittiin Autodesk AutoCAD-ohjelmalla. Piirustuksista tehtiin lopuksi PDF-tiedostot, jotka ovat tämän työn liitteessä 4 ja 5. Seuraavaksi on käsitelty työn piirustusvaiheita.

5.7.1 Yleispiirustus

Sillan yleispiirustuksen (korjauspiirustus r-1) piirtäminen aloitettiin nykyiseen siltaan tehtyjen mittaustulosten pohjalta. Nykyisen sillan mittaustulosten ja tielinjausten mukaan piirrettiin aluksi nykyinen silta tasokuvaan oikeaan koordinaatistoon, jonka jälkeen sitä levennettiin täyttämään vaadittava hyötyleveys. Tämän jälkeen piirrettiin sivu- ja leikkauskuvia mahdollisimman pitkälle, jonka jälkeen piirrettiin taso-, sivu- ja leikkauskuvia vuorotellen suunnittelukohta kerrallaan edeten. Kuvista pyrittiin tekemään mahdollisimman tarkat, jotta niitä voitaisiin hyödyntää lähes suoraan mitta- ja raudoituskuvin.

Tämän jälkeen kuviin piirrettiin siltaa ympäröivä maasto, tiet, kuvatus ja sähköistys tarvittavassa laajuudessa. Lopuksi kuviin tehtiin tarvittavat teksti ja kornerkinnät sekä kuviin merkittiin rakennustoimenpiteen paikka numeroidulla tunnuksella. Rakennustoimenpiteistä tehtiin piirustukseen numerointia vastaava lista, jossa kerrottiin sanallisesti, mitä kyseisessä kohdassa tehdään. Piirustukseen tehtiin myös kuva sillankaiteen liittymisestä tiekaiteeseen Liikenneviraton Siltojen kaiteet -ohjeen mukaan.

5.7.2 Mitta- ja raudoituspiirustus

Mitta- ja raudoituspiirustus (korjauspiirustus r-2) tehtiin yleispiirustuksen (korjauspiirustus r-1) pohjalta. Yleispiirustuksen kuvat piirrettiin niin tarkaksi, että niitä voitiin hyödyntää miltein suoraan mitta- ja raudoituskuvin.

Mittakuviin yleispiirustuksen kuvista poistettiin ylimääräiset merkinnät ja rakenne katkaistiin esittämään siltaa vain tarvittavilta osin. Tämän jälkeen mittakuviin annettiin uuden rakenteen tarkat mitat, varusteiden sijainnit ja pintarakenteet sekä muut tarvittavat merkinnät selventämään levennystä.

Raudoituskuvat laadittiin mittakuvien pohjalta poistamalla kuvista turhat merkinnät, jonka jälkeen aloitettiin mitoitettujen raudoitteiden piirtäminen / suunnittelu ja numerointi rakenteeseen. Työssä siipimuureista laadittiin yhdistetty mitta- ja rautakuva, koska siipimuuria ainoastaan korotettiin lähtemään uuden reunapalkin tasosta ja näin ollen raudoitemäärät ja tarvittavat mitat mahtuivat hyvin samaan kuvaan. Siipimuureihin suunniteltujen varauskolojen mitat annettiin siipien mitta-/raudoituskuvan yhteydessä.

Raudoitekuivissa annettiin myös tartuntojen ankkurointipituudet, jotka suunniteltiin toteutettavaksi Silko-ohjeen mukaisella sementtilaastilla levennyksen ja vanhan rakenteen välille. Siipimuurien korotuksen ankkurointihaat suunniteltiin kiinnitettäväksi kemiallista ankkurointia käyttäen. Tähän päädyttiin kemiallisen ankkuroinnin pienemmän ja lyhemmän porausreikätarpeen vuoksi.

5.8 Raudoitusluettelo

Raudoitusluettelo laadittiin raudoiteluettelo RL3.1-ohjelmalla. Raudoiteluettelon laadinta tehtiin Liikenneviraston Betoniraidoiteiden suunnittelu -ohjeen mukaan. Raudoiteluettelon sähköisestä versiosta laadittiin PDF-tiedosto, joka on tämän työn liitteessä 6.

5.9 Kustannusarvio

Kustannusarvion laadinta suoritettiin Fore-ohjelmistolla. Fore-ohjelmisto sisältää eri rakennusosien ja työtehtävien hinnat. Ohjelmaan jouduttiin syöttämään joi-tain korjaustoimenpiteiden hintoja käsin, koska kyseistä kohtaa ei löytynyt valmiina. Levennyksen hinnan määrittämistä varten laskettiin ensin työ- ja rakennusosien määrät InfraRYL:in määrälaskentaohjeen mukaisesti Autodesk AutoCAD-ohjelmaa apuna käyttäen. AutoCAD-ohjelmalla kuvista saatiin mitattua

esimerkiksi pinta-aloja ja etäisyyksiä, joita käytettiin hyväksi lopullisia materiaali- tai/ja työmääriä laskettaessa. Lasketut määrät syötettiin Fore-ohjelmaan, josta saatiin hinnat niin nimikkeittäin kuin myös kokonaisuutena koko sillan leventämiselle. Kustannusarvio laadittiin myös koko kehänä toteutettavalle levennykselle. Kustannusarviot ovat työn liitteessä 2 ja 3.

5.10 Rakennussuunnitelmaselostus

Rakennussuunnitelmaselostus laadittiin Microsoft Word-ohjelmalla, josta lopuksi laadittiin PDF-tiedosto. Rakennussuunnitelmaselostuksessa mainitaan kaikki kohde sillalle tehtävät rakennustoimenpiteet InfraRYL 2006 mukaisessa järjestyksessä laatuvaatimuksineen. Selostuksessa on mainittu myös työturvallisuusohjeet sekä rakennustöiden määräykset ja ohjeet, joita tulee noudattaa. Kohdesillan rakennussuunnitelmaselostus on tämän työn liitteessä 7.

5.11 Suunnitelman tarkastus

Tämän työn suunnitelman tarkastaminen suoritettiin projektin Vt4:n parantaminen välillä Kempele – Kello laadunvarmistuksen mukaisesti kaikilta muilta osin paitsi mitoituksen/laskelmien sekä raudoituskuvan osalta. Liikennevirastoon menevän levennyssuunnitelman mitoituksen teki Pöyry Finland Oy:n projektipäällikkö, DI Jukka Leskelä. Työni mitoituksen sekä sen mukaisen raudoituskuvan tarkastuksen on suorittanut DI Jukka Leskelä. Muilta osin työ on käynyt läpi siltojen ja taitorakenteiden tarkastusproseduurin.

Työni tarkastusprosessi eteni seuraavaksi kuvatulla tavalla. Suunnittelijan tarkastuksen jälkeen levennys kävi läpi sisäisen tarkastuksen. Tämän jälkeen suunnitelma luovutettiin Liikennevirasto määräämälle tarkastajakonsultille, joka oli Ramboll Finland Oy. Tarkastaja kommentoi levennyssuunnitelmaa, jonka jälkeen tarkastaja esitti Liikennevirastolle suunnitelman hyväksymistä. Liikennevirasto suoritti levennyssuunnitelman hyväksynnän tarkastuksensa jälkeen. Työni mitoituksen/laskelmien ja raudoituskuvan tarkastaminen eteni suunnittelijan tarkastuksen jälkeen DI Jukka Leskelälle tarkastettavaksi ja hyväksyttäväksi.

6 TULOSTEN VERTAILU

Raudoitemäärät

Mitoitusmalleilla lasketut tarvittavat raudoitemäärät ovat esitetty työn liitteessä 9 sivulla 15–16 sekä mitoituksen merkittävimmät voimasuureet työn liitteessä 8 sivulla 12. Tarkemmat kuvaajat voimasuureista on työn liitteen 9 liitteessä 2. Raudoitemäärien mitoittavaksi tilaksi tuli käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä.

Mitoitusmallilla 2 saadut raudoitemäärät kentässä, niin kannen pituus- kuin poikkisuunnassa, olivat hieman suuremmat kuin mitoitusmallilla 1 saadut määrät. Levennyksen päissä kannen pituus- ja poikkisuunnassa raudoitemääristä tuli suuremmat vuorostaan rakennemallilla 1.

Mitoitusmallissa 2 muodostuu vetoa tukien puoliväliin enemmän kuin rakennemallilla 1 ja tästä johtuen raudoitemäärästä tulee kentässä hieman suurempi. Mitoitusmallilla 1 saatu levennyksen päätyjen isompaa raudoitustarvetta voidaan selittää osittain levennyksen jäykällä kiinnityksellä siipimuurien päälle. Tästä johtuen rakenteen siirtymät ovat levennyksen päissä pienemmät kuin rakennemallissa 2 ja näin halkeilun rajoituksien vuoksi raudoitustarpeesta tulee suurempi. Mitoitusohjelma ei myöskään ottanut huomioon halkeaman muodostumisesta aiheutuvaa jännityksen tasaantumista. Levennyksen ja siipimuurin välistä liitosta ei myöskään todellisuudessa saada tehtyä niin jäykäksi kuin mitoitusohjelma olettaa ja näin ollen todellinen raudoitustarve levennyksen päissä ei ole aivan näin suuri kuin mitoitusmallilla 1 on saatu. Lämpökuormien aiheuttama rasitus levennyksen ja siiven väliseen liitokseen ei todellisuudessa ole näin suuri, koska lämpökuorma jakautuu myös liitoksen yli vanhalle rakenteelle. Näin lämpöerot eivät ole todellisuudessa yhtä jyrkät kuin työn mitoitusmallissa tuli. Näihin seikkoihin vedoten todellinen raudoitemäärän tarve tuella on laskentamalleilla saatujen raudoitemäärien väliltä.

Suunnitteluohjeiden antamat minimiraudoitusmäärät olivat määräävät kannen puolivälissä levennyksen tartuntoja mitoittaessa. Kokonaisraudoitemäärä vaati kuitenkin levennyksen jokaiseen kohtaan enemmän rautaa kuin ohjeiden anta-

mat minimiraudoitemäärät olivat. Levennyksen ja vanhanrakenteen välisen sauman pituussuuntaisen raudoituksen minimiraudoitemäärä täyttyi levennyksen vaatimilla raudoiteilla ilman lisäraudoitusta.

Levennyksen kustannukset

Levennyksen kustannuksia verrattaessa oli laskemattakin selvää, että valittu menetelmä on edullisempi toteuttaa kuin koko kehän leventäminen. Työssä tehtiin kuitenkin kustannuslaskelmat molemmille toteutuksille, jotta saisimme selville menetelmien välisen hintaeron suuruuden.

Koko kehänä tehtävän levennyksen kustannusarviossa ilmoitetut raudoitemäärät on saatu soveltaen siltasuunnittelun alustavassa kustannusarvioinnissa käytettävien raudoitemäärien likiarvoja. Alustavassa kustannusarvioinnissa käytetyt raudoitemäärien likiarvot rakennusosittain betonikuutiota kohden ovat seuraavat:

- Antura noin 40 – 80 kg/m³
- Kehä noin 85 – 95 kg/m³
- Laattasillan kansi noin 100 – 130 kg/m³
- Pilarit noin 200 kg/m³

Kustannusarvioissa käytetyt arvot olivat anturalle 80 kg/m³, siipimuureille ja kehän jalkojen levennykselle 95 kg/m³ sekä kannen levennykselle 140 kg/m³. Painot valittiin arvojen ylärajalta, koska levennystarpeen vähyydestä johtuen rakennetta joudutaan raudoittamaan normaalia rakennetta enemmän. Suuremman raudoituksen tarve huomattiin myös ”ulokkeellisella” leventämisellä toteutetun mitoituksen yhteydessä.

Hintaero menetelmien välillä oli 23000 €. Levennyksen teko koko kehän levennyksenä olisi tullut noin 70 prosenttia kalliimmaksi kuin ”ulokkeellisella” levennyksellä. Hinnassa ei ole huomioitu mahdollisien ponttiseiniä käyttä, joka nostaisi kokokehänä toteutettavan levennyksen hintaa ja näin kasvattaisi menetelmien hintaeroa. Suurelta osin hintaeroa selittää uudet siipimuurit joiden osuus hinnasta on noin 12000 €. Lisäksi hintaeroa kasvattaa lisääntyneet maan kai-

vamis- ja täyttömäärät. Koko kehän leventäminen johti laajempiin maan kaivantoihin niin uusien siipimuurien osalle kuin perustuksen osalle. Kehän jalkojen leventämisen vuoksi anturoita pidennettiin ja tämän seurauksena alustäyttöjä jouduttiin tekemään vierustäyttöjen lisäksi. Muilta osin levennyksien hinnat eivät eronneet toisistaan sillan varusteiden ja pintakerrosten pysyessä samoina.

7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli laatia paikallaan valetulle kehäsillalle levennyssuunnitelma mitoituksineen. Työssä verrattiin kahdella eri mitoitusmallilla saatuja raudoitemääriä ja ohjeiden antamia minimi raudoitemääriä, jonka pohjalta käytettävä raudoitus valittiin. Työssä verrattiin myös kahdella eri menetelmällä tehtyjen levennyksien hintoja. Kohdesilta oli Oulun kaupungissa sijaitseva Vt4:n ramppisilta Hiirosempolun alikulkukäytävä II.

Levennyksen raudoitemäärän valinta tehtiin kentän osalle rakennemallin 2 mukaisesti ja levennyksen päätyalueille raudoituksen valinta tehtiin mitoitusmallilla saatujen raudoitemäärien keskiarvolla. Raudoitteiden valinta suoritettiin tällä tavoin, jotta välttyttäisiin liialliselta ylradoitamiselta silti raudoituksen ollessa riittävä. Suunnitteluohjeiden antamat minimiraudoitemäärät olivat määräävät ainoastaan kannen puolivälissä levennyksen tartuntoja mitoitettaessa. Muilta osin kokonaisraudoitemäärät olivat suuremmat kuin ohjeiden antamat minimiraudoitemäärät. Rakennemallin 1 antamat korkeimmat raudoitemäärät siipimuurien päällä jätettiin huomioimatta, koska todellisuudessa halkeaman syntymisestä, lämpökuorman jakautumisesta sekä levennyksen ja siipimuurin välisen liitoksen pienemmästä jäykkyydestä johtuen, rasitukset tasaantuvat. Näin ollen todellinen raudoitetarve tuella ei olla niin suuri kuin rakennemallilla 1 saatiin.

Työssä ei perehdytty tarkemmin mitoitusohjelmassa eteen tulleeseen ”ongelmaan”, jonka johdosta raudoitemääristä tuli ylimitoitettut. Mikäli työ olisi käsitelty pelkästään ulokkeellisen levennyksen mitoitusta Sofistik-ohjelmalla, olisi ollut mielenkiintoista selvittää, pystyisikö ohjelmalla laskemaan levennystä niin, että ohjelma huomioisi halkeaman muodostumisesta aiheutuvan jännityksen tasaantumisen. Näin olisimme nähneet, olisiko ohjelmasta saatu todellisemmat raudoitemäärätarpeet vai vaikuttiko tuloksiin vielä jokin muu ohjelman käyttöön liittyvä seikka. Työni tarkoitus oli tehdä levennyssuunnitelma kehäsillalle kaikkine asiakirjoinen. Raudoitusmääristä saatiin riittävän luotettavat nyt valitulla menetel-

mällä, joten tämän työn osalta ei ollut tarvetta lähteä tutkimaan mitoitushjelmaan liittyvää asiaa tarkemmin.

Levennyksen kustannuksista oli lähtökohtaisesti oletus, että valittu levennysmenetelmä olisi edullisempi toteuttaa kuin koko kehänä toteutettava levennys olisi. Siitä huolimatta työssä tehtiin kustannusvertailu kahdelle eri levennys tavalle, jolla saatiin selville, että levennyksen tekeminen tuli huomattavasti edullisemmaksi valitulla menetelmällä. Koko kehänä toteutettava levennys olisi ollut jopa noin 70 prosenttia kalliimpi toteuttaa, vaikka laskelmissa ei otettu huomioon mahdollisten tukiseinien tarvetta. Näin voidaan todeta, että ”ulokkeellisena” toteutettu levennys on huomattavasti kustannustehokkaampi valinta pienille levennyksille kuin koko kehänä toteutettava leventäminen.

LÄHTEET

1. Pöyry Suomi kotisivut. Saatavissa: <http://www.poyry.fi/poyry-suomessa/poyry-suomessa>. Hakupäivä 12.8.2013.
2. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2004. Siltojemme historia. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
3. Tiehallinto 2000. Siltojen suunnitelmat. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/silsuu00.pdf>. Hakupäivä 12.8.2013.
4. Liikennevirasto 2011. Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-17_betonisiltojen_korjaussuunnitteluohje_web.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
5. Tiehallinto 2004. Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I). Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/blk12004.pdf>. Hakupäivä 12.8.2013.
6. Liikennevirasto 2012. Siltojen rakennelaskelmat. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-12_siltojen_rakennelaskelmat_web.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
7. Tiehallinto 2000. Betoniraudotteiden suunnittelu. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/berasu00.pdf>. Hakupäivä 12.8.2013.
8. Tiehallinto 2008. Sillan määräluettelo. Saatavissa : http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/maaraluettelo_2008.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
9. Tiehallinto 2008. Sillan Kustannusarvio. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/kustannusarvio_2008_b.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
10. Leskelä, Jukka 2013. Projektipäällikkö, Pöyry Finland Oy. Haastattelu 6.8.2013.

11. Liikennevirasto 2011. Taitorakenteiden rakennussuunnitelmien tarkastus. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-07_taitorakenteiden_rakennussuunnitelmien_web.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
12. Liikennevirasto 2011. Eurokoodin soveltamisohje: Siltojen kuormat ja suunnittelunperusteet – NCCI 1. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-20_ncci_1_web.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
13. Liikenneviraston verkkosivut. Taitorakenteiden suunnitteluohjeet. Saatavissa: http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpidon_ohjeet/sillat/suunnitteluohjeet. Hakupäivä 12.8.2013.
14. SFS-EN-1991-2 2004. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
15. Liikennevirasto 2012. Eurokoodin soveltamisohje: Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-13_eurokoodin_soveltamisohje_ncci2_web.pdf. Hakupäivä 12.8.2013.
16. Suomen Betoniyhdistys ry 2008. BY 210: Betonirakenteiden suunnittelu ja mitoitus. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
17. SFS-EN-1991-1-4 2011. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-4: Yleiset kuormat. Tuulikuormat. 2. painos. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
18. SFS-EN-1991-1-5 2004. Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 1-5: Yleiset kuormat. Lämpökuormat. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
19. SFS-EN-1990 2006. Eurokoodi : Rakenteiden suunnittelunperusteet. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

20. Liikennevirasto 2012. Siltojen kaiteet. Saatavissa:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-25_siltojen_kaiteet_web.pdf. Hakupäivä 12.8.2013

21. Liikenneviraston verkkosivut. Siltojen tyyppiirustukset – Teräskaide tieh
H2. Piirustussarjan zip-paketti. Saatavissa:

http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpidon_ohjeet/sillat/tyyppiirustukset/osat_h2. Hakupäivä: 12.8.2013

LIITTEET

Liite 1 Lähtötietomuistio

Liite 2 Kustannusarvio (ulokkeellinen levennys)

Liite 3 Kustannusarvio (koko kehän levennys)

Liite 4 Korjauspiirustus 1

Liite 5 Korjauspiirustus 2

Liite 6 Rauditusluettelo

Liite 7 Rakennussuunnitelmaselostus

Liite 8 Rakennelaskelmat osa A

Liite 9 Rakennelaskelmat osa B



LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹ Ville Lithovius	Tilaja ² Pöyry Finland Oy Jaakonkatu 3 01620 Vantaa
	Tilajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Jukka Leskelä Tutkijantie 2e 90590 Oulu	
	Työn nimi ⁴ Kehäsilian ulokkeellinen levittäminen eurokoodin soveltamisohjeiden ja betonisiltojen korjaussuunnittelu ohjeen mukaan.	
	Työn kuvaus ⁵ Opinnäytetyö liittyy Pöyry Finland Oy:llä meneillään olevaan projektiin: "VT4:n parantaminen välillä Kempele - Kello". Työssäni käsiteltävät sillat ovat VT4:n ramppisilloja, jotka levennetään täyttämään 7500 mm hyötyleveyden erikoiskuljetuksia varten. Siltojen levittäminen toteutetaan ulokkeellisena, koska levennystarve on pieni ja kustannussyistä ei ole järkevää levittää koko kehää.	
	Työn tavoitteet ⁶ Opinnäytetyön tarkoituksena on tehdä korjauspiirustukset, laskelmat ja korjaussuunnitelmaselostukset paikallaan valetun kehäsilian seka-elementtirakenteisen kehäsilian ulokkeellisesta levittämisestä eurokoodin soveltamisohjeiden sekä betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen mukaan. Opinnäytetyössä perhdytään rakenteeltaan erilaisten kehäsilatyyppien ulokkeelliseen levittämiseen , arvioidaan betonisiltojen korjausohjeen tuomaa ylimääräistä varmuutta suhteessa mitoituksellisesti tuleviin raudoitemääriin sekä verrataan ulokkeellisen levennyksen kustannuksia kehänä toteutettavaan levennykseen.	
	Tavoiteaikataulu ⁷ Projekti aloitetaan tammikuussa 2013. Ensimmäisessä vaiheessa laaditaan opinnäytetyön liitteet eli korjauspiirustukset, laskelmat, kustannusarviot ja korjaussuunnitelmaselostukset. Tavoitteena on, että opinnäytetyön ensimmäinen vaihe on valmis huhtikuussa 2013. Opinnäytetyön raporttia työstetään samanaikaisesti liitteitä tehdessä, mutta varsinainen raportin kirjoittaminen aloitetaan kaikkien liitteiden valmistuttua, toukokuusta 2013 lähtien. Työstän raporttia kesätöiden ohessa ja tavoitteena olisi saada raportti valmiiksi elo - syyskuussa 2013.	
	Päiväys ja allekirjoitukset ⁸ 29/1/2013 Oulussa Tekijän allekirjoitus Ville Lithovius	29/1/2013 Oulussa Tilajan allekirjoitus Jukka Leskelä
<ol style="list-style-type: none"> 1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite. 2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi. 3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta. 4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan. 5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat. 6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet. 7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa. 8. Lähtötietomustio päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilajan yhdyshenkilö 		

29.1.2013

 ins työn ohjein
 OAMK.

KUSTANNUSARVIO NIMIKKEITTÄIN



Projekti: Testi_SB > Testi_vkl
 Laskelma: Insinööriyö_s24
 Työnumero:
 Hankkeen tyyppi: Investointi
 Dokumentin luoja: Ville Lithovius
 Vastuhenkilö: Ville Lithovius
 Viimeinen muokkaaja: Ville Lithovius
 Raporttija: Ville Lithovius
 Asiakas: Pöyry Finland Oy
 Projektipäällikkö:
 Aluekerroin: 1,00
 Kustannusindeksi: **136,40 (2005=100)**
 Päivämäärä: **7.10.2013**

Laskelman kustannukset yhteensä: 27 300 €

Koko laskelma

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
1000	Maa- pohja- ja kalliorakenteet				4 663 €
1100	Olevat rakenteet ja rakennusosat				4 581 €
1120	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakenteet				4 581 €
1123	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat sillat				4 581 €
1123	Sillan kaiteen purku *	m	10	32,71 €	341 €
1123	Sillan pintarakenteiden purku *	m2	3	29,58 €	89 €
1123	Kannen piikkaus (ei yläpinta) * levennyksen reuna	m2	3	136,30 €	409 €
1123	Sillan reunapalkin piikkaus *	m	7	408,90 €	2 862 €
1123	Maa- ja päätytukien piikkaus * siipimuurien kloridipitoisen betonin poisto	m2	4	136,40 €	546 €
1123	Piikkaus * varauskolot kannen levennykselle	m3	1	477,40 €	334 €
1600	Maaleikkaukset ja -kaivannot				45 €
1620	Maakaivannot				45 €
1624	Rakennus- ja siltakaivannot				45 €
1624	Siltakaivanto, laajuus 0-200 m3ktr TAI vaikeat olosuhteet siipimuurien vierusta	m3ktr	5	9,05 €	45 €
1800	Penkereet, maapadot ja täytöt				37 €
1830	Kaivantojen täytöt				37 €
1833	Lopputäytöt				37 €
1833	Lopputäyttö kaivuunmassoilla siipimuurien vierusta	m3rtr	5	7,38 €	37 €

Testi_SB > Testi_vkl

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
2000	Päällys- ja pintarakenteet				155 €
2300	Kasvillisuusrakenteet				155 €
2310	Kasvualustat ja katteet				61 €
2311	Kasvualustat				61 €
2311.2	Paikalla tehtävä kasvualusta (m2tr)	m2tr	50	1,22 €	61 €
2320	Nurmi- ja niittyverhoukset				94 €
2321	Nurmikot				94 €
2321.1	Nurmikko A3	m2tr	50	1,88 €	94 €
4000	Rakennustekniset rakennusosat				14 816 €
4200	Sillat				14 816 €
4220	Sillan päällysrakenteet				10 542 €
4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa				10 430 €
4221	Sillan raudoituksen tartuntojen ankkurointi, päällysrakenteen korjauksen yhteydessä kannen sivuun ja siipien päälle	kpl	116	47,00 €	5 452 €
4221.1	Kehäsillan jalan ja siipimuurin muottityöt (ei telinetöitä)	m2	8	83,66 €	697 €
4221.1	Kehäsillan laatan ja palkin muottityöt (ei telinetöitä)	m2	15	59,85 €	936 €
4221.1	+ Lisäkustannus maasillan päällysrakenteen muottitöille, laajuus pieni <100m2 TAI vaikeat olosuhteet	m2	15	14,18 €	222 €
4221.2	Sillan päällysrakenteen raudoitustyöt, betoniteräs A500HW	kg	1 099	1,58 €	1 739 €
4221.2	sis.kansi, reunapalkki ja siipien korotus				
4221.2	+ Lisäkustannus sillan päällysrakenteen raudoitustyölle, laajuus pieni <10000kg TAI vaikeat olosuhteet	kg	1 099	,35 €	386 €
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C25/30 (K30)	m3tr	6	101,52 €	558 €
4221.4	kaikki				
4221.4	+ Lisäkustannus, sillan päällysrakenteen betonointitöille, laajuus pieni <300m3 TAI vaikeat olosuhteet	m3tr	6	22,81 €	125 €
4221.4	+ C35/45 (K45), lisäkustannus, sillan päällysrakenne	m3tr	6	21,30 €	117 €
4221.4	kaikki				
4221.4	+ P50, lisäkustannus, sillan päällysrakenne	m3tr	6	35,72 €	196 €
4221.4	kaikki				
4226	Päällysrakenteen pintojen verhoukset				112 €
4226.5	Betonipintojen impregnointi, sillan päällysrakenne	m2	4	27,95 €	112 €
	reunapalkin yläpinta				
4230	Sillan kannen pintarakenteet				587 €
4231	Eristys				389 €
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	m2tr	7	4,91 €	33 €
4231.2	Sillan kannen epoksihartsitiivistys	m2tr	7	24,11 €	162 €
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	m2tr	7	25,38 €	170 €
4231.7	Sillan reunapalkin sis.pinnan sively kumibitumilla	m2tr	3	8,13 €	24 €

Testi_SB > Testi_vkl

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
4200	Sillat				14 816 €
4230	Sillan kannen pintarakenteet				587 €
4232	Eristyksen suojaus				54 €
4232.1	AB 6/50, sillan kannen eristyksen suojakerroksena 20mm	m2	7	8,03 €	54 €
4233	Sillan päällyste				144 €
4233.11	AB 16/120 (50 mm) (asfaltoitava pinta-ala 200-1500 m2), sillan päällyste * kansi	m2tr	7	9,87 €	66 €
4233.11	AB 11/70 (30 mm) (asfaltoitava pinta-ala 200 -1500 m2), sillan päällyste kansi	m2tr	7	11,69 €	78 €
4240	Sillan varusteet ja laitteet				3 687 €
4245	Suojalaitteet				3 197 €
4245.12	Kaitteen suojaverkon maalaus, h=1,0m *	m	20	18,05 €	361 €
4245.12	Siltakaitteen lisäjohde *	mtr	6	30,02 €	180 €
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	mtr	10	112,25 €	1 170 €
4245.12	Siltakaitteen vino pää	kpl	2	438,00 €	913 €
4245.12	Siltakaitteen korkea suojaverkko (H2)	mtr	10	55,06 €	574 €
4249	Muut sillan varusteet ja -laitteet				490 €
4249.1	Muovinen kaapeliikaivo *	kpl	2	136,30 €	284 €
4249.4	Sähköistys, muoviputkitukset, d>110mm	mtr	32	6,18 €	206 €
1000-4900	Rakennusosat yhteensä				19 634 €
Työmaatehtävät					
5100	Rakentamisen johtotehtävät				982 €
5300	Rakentamisen työmaatehtävät ja erityiset työmaakulut				393 €
5400	Työmaapalvelut				393 €
5500	Työmaan kalusto				196 €
5200	Urakoitsijan yritystehtävät				2 160 €
5761.31	Hintatason muutokset				0 €
Työmaatehtävät yhteensä					4 123 €
1000-5500	Rakennusosat ja työmaatehtävät yhteensä				23 757 €
Tilaaitehtävät					
5600	Suunnittelutehtävät				1 782 €
5700	Rakennuttamis- ja omistajatehtävät				1 788 €
Tilaaitehtävät yhteensä					3 569 €
1000-5580	Rakennusosat, työmaatehtävät ja tilaaitehtävät yhteensä				27 326 €
Muut kustannukset					
Nimi		Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
Muut kustannukset yhteensä					
Koko hanke yhteensä		(Alv. 0%)			27 300 €
		(Alv. 24%)			6 600 €
Koko hanke yhteensä		(Alv. 24%)			33 900 €

KUSTANNUSARVIO NIMIKKEITTÄIN



Projekti: Testi_SB > Testi_vkl
 Laskelma: Insinööriyön_vertailulaskelma
 Työnumero:
 Hankkeen tyyppi: Investointi
 Dokumentin luoja: Ville Lithovius
 Vastuhenkilö: Ville Lithovius
 Viimeinen muokkaaja: Ville Lithovius
 Raporttija: Ville Lithovius
 Asiakas: Pöyry Finland Oy
 Projektipäällikkö:
 Aluekerroin: 1,00
 Kustannusindeksi: **136,30 (2005=100)**
 Päivämäärä: **7.10.2013**

Laskelman kustannukset yhteensä: 45 900 €

Koko laskelma

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
1000	Maa- pohja- ja kalliorakenteet				6 852 €
1100	Olevat rakenteet ja rakennusosat				4 118 €
1120	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat rakenteet				4 118 €
1123	Poistettavat, siirrettävät ja suojattavat sillat				4 118 €
1123	Sillan pintarakenteiden purku *	m2	3	29,56 €	89 €
1123	Sillan reunapalkin piikkaus *	m	7	408,60 €	2 860 €
1123	Sillan kaiheen purku *	m	10	32,69 €	327 €
1123	Kannen piikkaus (ei yläpinta) *	m2	3	136,20 €	409 €
	Levennyksen reuna				
1123	Sillan kokonaisen rakenneosan * siivet	m3	11	39,44 €	434 €
1600	Maaleikkaukset ja -kaivannot				1 357 €
1620	Maakaivannot				1 357 €
1624	Rakennus- ja siltakaivannot				1 357 €
1624	Siltakaivanto, laajuus 0-200 m3ktr TAI vaikeat olosuhteet	m3ktr	150	9,05 €	1 357 €
1800	Penkereet, maapadot ja täytöt				1 377 €
1830	Kaivantojen täytöt				1 377 €
1833	Lopputäytöt				620 €
1833	Lopputäyttö kaivuunmassoilla	m3rtr	84	7,38 €	620 €
1834	Perustusten alustäytöt				57 €
1834	Alustäyttö murskeesta	m3rtr	4	14,13 €	57 €
1835	Rakenteiden ympärystäytöt				701 €
1835	Ympärystäyttö murskeella	m3rtr	44	15,93 €	701 €

Testi_SB > Testi_vk

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
2000	Päällyys- ja pintarakenteet				217 €
2300	Kasvillisuusrakenteet				217 €
2310	<i>Kasvualustat ja katteet</i>				85 €
2311	Kasvualustat				85 €
2311.2	Paikalla tehtävä kasvualusta (m2tr)	m2tr	70	1,21 €	85 €
2320	<i>Nurmi- ja niittyverhoukset</i>				132 €
2321	Nurmikot				132 €
2321.1	Nurmikko A3	m2tr	70	1,88 €	132 €
4000	Rakennustekniset rakennusosat				25 878 €
4200	Sillat				25 878 €
4207	<i>Sillan peruslaatat</i>				832 €
4207.1	Muotit ja telineet				310 €
4207.1	Sillan peruslaatan teline- ja muottityöt	m2tr	5	54,39 €	272 €
4207.1	+ Lisäkustannus sillan peruslaatan teline- ja muottitoille, laajuus pieni <100m2 TAI vaikeat olosuhteet	m2tr	5	7,62 €	38 €
4207.2	Raudoitteet				289 €
4207.2	Sillan peruslaatan raudoitustyöt, betoniteräs A500HW	kg	160	1,51 €	241 €
4207.2	+ Lisäkustannus sillan peruslaatan raudoitustöille, laajuus pieni <5000kg TAI vaikeat olosuhteet	kg	160	,30 €	47 €
	80kg/m3				
4207.4	Betoni				233 €
4207.4	Sillan peruslaatan betonointityöt, betoni C25/30 (K30)	m3tr	2	95,13 €	190 €
4207.4	+ Lisäkustannus sillan peruslaatan betonointitoille, laajuus pieni <50m3 TAI vaikeat olosuhteet	m3tr	2	21,30 €	43 €
4210	<i>Sillan tukirakenteet</i>				11 947 €
4211	Päätytuot				11 947 €
4211.11	Sillan maa-/päätytukien teline- ja muottityöt	m2	75	66,76 €	5 007 €
4211.11	+ Lisäkustannus, sillan maa-/päätytukien teline- ja muottitoille, laajuus pieni <100m2 TAI vaikeat olosuhteet	m2	75	17,73 €	1 330 €
4211.12	Sillan maa-/päätytukien raudoitustyöt, betoniteräs A500HW	kg	1 472	1,78 €	2 619 €
4211.12	+ Lisäkustannus, sillan maa-/päätytukien raudoitustöille, laajuus pieni <5000kg TAI vaikeat olosuhteet	kg	1 472	,46 €	683 €
	95kg/m3				
4211.14	Sillan maa-/päätytukien betonointityöt, valmisbetoni C25/30 (K30)	m3tr	16	114,03 €	1 767 €
4211.14	+ C28/35 (K35), lisäkustannus, sillan maa-/päätytuot	m3tr	16	5,84 €	90 €
4211.14	+ P30, lisäkustannus, sillan maa-/päätytuot	m3tr	16	29,06 €	450 €

Testi_SB > Testi_vkl

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
4200	Sillat				25 878 €
4220	Sillan päällysrakenteet				8 481 €
4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa				8 369 €
4221	Rautojen ankkurointi *	kpl	116	47,00 €	5 452 €
	kannen ja jalan reunat				
4221.1	Kehäsillan laatan ja palkin muuttityöt (ei telinetöitä)	m2	15	59,81 €	897 €
4221.1	+ Lisäkustannus maasillan päällysrakenteen muuttitöille, laajuus pieni <100m2 TAI vaikeat olosuhteet	m2	15	14,17 €	213 €
4221.2	Sillan päällysrakenteen raudoitustyöt, betoniteräs A500HW	kg	560	1,58 €	886 €
4221.2	+ Lisäkustannus sillan päällysrakenteen raudoitustyölle, laajuus pieni <10000kg TAI vaikeat olosuhteet	kg	560	,35 €	197 €
	140kg/m3				
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C25/30 (K30)	m3tr	4	101,44 €	406 €
4221.4	+ Lisäkustannus, sillan päällysrakenteen betonointitöille, laajuus pieni <300m3 TAI vaikeat olosuhteet	m3tr	4	22,79 €	91 €
4221.4	+ C35/45 (K45), lisäkustannus, sillan päällysrakenne	m3tr	4	21,28 €	85 €
4221.4	+ P50, lisäkustannus, sillan päällysrakenne	m3tr	4	35,70 €	143 €
4226	Päällysrakenteen pintojen verhoukset				112 €
4226.5	Betonipintojen impregnointi, sillan päällysrakenne	m2	4	27,93 €	112 €
	reunapalkin yläpinta				
4230	Sillan kannen pintarakenteet				612 €
4231	Eristys				405 €
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	m2tr	7	4,91 €	34 €
4231.2	Sillan kannen epoksihartsitiivistys	m2tr	7	24,09 €	169 €
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	m2tr	7	25,36 €	178 €
4231.7	Sillan reunapalkin sis.pinnan sively kumibitumilla	m2tr	3	8,12 €	24 €
4232	Eristyksen suojaus				56 €
4232.1	AB 6/50, sillan kannen eristyksen suojakerroksena	m2	7	8,02 €	56 €
	20mm				
4233	Sillan päällyste				151 €
4233.11	AB 16/120 (50 mm) (asfaltoitava pinta-ala 200-1500 m2), sillan päällyste *	m2tr	7	9,86 €	69 €
	kansi				
4233.11	AB 11/70 (30 mm) (asfaltoitava pinta-ala 200 -1500 m2), sillan päällyste	m2tr	7	11,68 €	82 €
	kansi				

Testi_SB > Testi_vk1

Rakennusosat

Tunniste	Rakennusosa	Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
4200	Sillat				25 878 €
4240	Sillan varusteet ja laitteet				4 007 €
4245	Suojalaitteet				3 537 €
4245.12	Kaiteen suoja-verkon maalaus, h=1,0m *	m	20	18,03 €	361 €
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	mtr	14	112,17 €	1 570 €
4245.12	Sillakaiteen lisäjohte *	mtr	6	30,00 €	180 €
4245.12	Sillakaiteen vino pää	kpl	2	437,67 €	875 €
4245.12	Sillakaiteen korkea suoja-verkko (H2)	mtr	10	55,02 €	550 €
4249	Muut sillan varusteet ja -laitteet				470 €
4249.1	Muovinen kaapeli-kaivo *	kpl	2	136,20 €	272 €
4249.4	Sähköistys, muoviputkitukset, d>110mm	mtr	32	6,18 €	198 €
1000-4900	Rakennusosat yhteensä				32 947 €
Työmaatehtävät					
5100	Rakentamisen johtotehtävät				1 647 €
5300	Rakentamisen työmaatehtävät ja erityiset työmaakulut				659 €
5400	Työmaapalvelut				659 €
5500	Työmaan kalusto				329 €
5200	Urakoitsijan yritystehtävät				3 624 €
5761.31	Hintatason muutokset				0 €
Työmaatehtävät yhteensä					6 919 €
1000-5500	Rakennusosat ja työmaatehtävät yhteensä				39 865 €
Tilaaajatehtävät					
5600	Suunnittelutehtävät				2 990 €
5700	Rakennuttamis- ja omistajatehtävät				3 000 €
Tilaaajatehtävät yhteensä					5 990 €
1000-5580	Rakennusosat, työmaatehtävät ja tilaaajatehtävät yhteensä				45 855 €
Muut kustannukset					
Nimi		Yks.	Määrä	Yks. hinta	Yhteensä
Muut kustannukset yhteensä					
Koko hanke yhteensä		(Alv. 0%)			45 900 €
		(Alv. 24%)			11 000 €
Koko hanke yhteensä		(Alv. 24%)			56 900 €

BETONITERÄSLUETTELO, lomake 2
 Tulostuspvm: 4.10.2013
 Teräslaatu A500HW

Sivu 2 (3)

Taivutus- tyyppi	Nro	Kpl	D mm	L mm	ΔL mm	Paino yhteensä kg	TAIVUTUSMITAT mm										Huom. muutos		
							a	b	c	d	e	u	v	x	y	r			
C	10b	27	12	1185		28,4	935	250				87	250				30		
C	10c	1	16	890	110	4,7	640	250				87	250				40		
...		3		1110			860												
C	10d	1	16	1005	110	3,3	755	250				87	250				40		
...		2		1115			865												
A	11a	10	20	8530		210,4	8530												
POS.	11A	TERÄKSET LYHENNETÄÄN TYÖMAALLA OIKEAAN MITTAAN!																	
A	11b	4	20	5000		49,3	5000												
C	12a	6	20	1675		24,8	1165	510				34	302				240		
C	12b	12	20	1675		49,6	1165	510				34	302				240		
C	12c	9	16	1525		21,7	1015	510				34	298				192		
E	13a	18	16	1340		38,1	600	460	280			34	349	93	283	40			
E	13b	27	12	1340		32,1	600	460	280			34	345	93	282	30			
E	13c	1	16	1045	110	5,5	600	165	280			34	349	93	283	40			
...		3		1265			385												
E	13d	1	16	1160	110	3,8	600	280	280			34	349	93	283	40			
...		2		1270			390												
Osa/alue	S24 Hiirosensuon akk II/levennys															Liittyy piir.	R15_12851_R2	Luettelo nro	12851_1

**VT4 (E75) OULU-KEMI
MOOTTORITIEEN PARANTAMINEN VÄLILLÄ
KEMPELE-KELLO**

**Siltakohtainen
Rakennussuunnitelmaselostus**

S24 Hiiosenpolun alikulkukäytävä II levennys

Oulu

Pöyry Finland Oy	Pvm		Allekirjoitus
SILTA			
Suunn.	20.3.2013	Ville Lithovius	
Sis.tark.	20.3.2013	Jukka Leskelä	
GEO			
Suunn.			
Tark./Hyv.	20.3.2013	Risto Ollila	
Liikennevirasto			
SILTA			
Tark.			
GEO			
Tark.			
Tark./Hyv.	10.5.2013	Jani Meriläinen	



2/(8)
20.3.2013

S24 Hiirosenpolun alikulkukäytävä II, Oulu

SISÄLLYSLUETTELO:

0 RAKENTAMISKOHDE	3
0.1 Sillan yleiskuvaus	3
0.2 Maaperäkuvaus	3
4200 SILLAT	3
4200.1 Yleistä	3
4200.1.1 Asiakirjat ja niiden sitovuus	3
4200.1.2 Työturvallisuusohjeet	4
4200.1.3 Levennyksen sijainti	4
4201 Maa- ja pohjarakenteet	4
4201.1 Tekniset työsuunnitelmat	4
4201.2 Alustavat työt	4
4201.3 Kaivutyöt	4
4201.4 Täytöt	4
4210 Sillan tukirakenteet	5
4211 Siipimuuri	5
4220 Sillan päällysrakenne	5
4221 Betonirakenteet päällysrakenteessa	5
4221.1 Muotit ja telineet	5
4221.2 Raudoitteet	6
4230 KANNEN PINTARAKENTEET	6
4231 Eristys	6
4232 Eristyksen suojaus	6
4233 Sillan päällyste	7
4233.1 Asfalttipäällyste	7
4240 VARUSTEET JA LAITTEET	7
4244 Siirtymälaatat	7
4245 Suojalaitteet	7
4245.1 Kaiteet ja johteet	7
4249 Muut varusteet ja laitteet	8
4249.7 Kaapeliputket	8
4250 BETONIPINNAN SUOJA-AINEKÄSITTELYT	8
4252 Impregnointiaineet	8

**S24 Hiirosempolun alikulkukäytävä II, Oulu**3/(8)
20.3.2013**0 RAKENTAMISKOHDDE****0.1 Sillan yleiskuvaus**

Siltapaikka sijaitsee Oulun kaupungin Hiiosessa Vt4:n ramppitiellä E7R1 paalulla 343,793. Siltapaikalla nykyinen kevyenliikenteen raitti (Ruukinpolku) alittaa Vt4:n ramppitien. Ruukinpolun paalulukema risteyskohdassa on 105,805. Ramppitien vaakageometria sillan kohdalla on kaari $R=700$ ja pystygeometria pituuskallistus noin 0,004. Tien geometria säilyy nykyisen mukaisena. Alimenevän Ruukinpolun ja ramppitien risteyskulma on 86 gon. Ruukinpolun vaakageometria on siltapaikalla suora ja pystygeometria nykyinen, pituuskallistus n. 0,025. Ruukinpolku laskee siltapaikalla länteen.

Ramppitien ajoradan hyötyleveys on 7 m ja kallistus on yksipuolinen noin 0,05 itään päin. Alimenevän Ruukinpolun leveys on sama mikä on sillan vapaa-aukko. Sillan vapaa-aukon leveys on 6 m ja korkeus noin 2,9 m.

Siltaa levennetään länsi puolelle täyttämään hyötyleveyden 7,5 m. Alkuperäinen silta on tyypiltään teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I), levennysosa mitoitetaan LMI, LM3/ 1.6.2010 kuormille. Sillan vasemmalle reunalle tulee H2-sillankaide korkealla suojaverkolla. Sillan oikean puolen kaiteen vanha suojaverkko maalataan levennyksen yhteydessä. Levennyksen puoleisia siipimuureja korotetaan lähtemään reunapalkin kanssa samasta tasosta.

0.2 Maaperäkuvaus

Levityksen kohdalle ei ole tehty pohjatutkimuksia eikä levitys sisällä pohjarakenteita.

4200 SILLAT**4200.1 Yleistä***4200.1.1 Asiakirjat ja niiden sitovuus*

Rakentamistöiden kaikissa vaiheissa on noudatettava seuraavia ohjeita ja määräyksiä:

- by 40 Betonirakenteiden pinnat, 2003
- InfraRYL Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2012/1
- Siltojen korjausohjeet (SILKO)
- Tukitelineet ja muotit RIL 147–2006
- Siltojen tukitelineet TIEH 2000023-v-08

Sillalle tehtävät toimenpiteet on esitetty InfraRYL 2006 mukaisessa järjestyksessä, jota noudatetaan silava 2009 ja Fore ohjelmistoissa. Teknisten vaatimusten numerointia vastaava InfraRYL kohta on esitetty tekstissä.

**S24 Hiirosempolun alikulkukäytävä II, Oulu**4/(8)
20.3.2013*4200.1.2 Työturvallisuusohjeet*

Rakentamistöiden kaikissa vaiheissa on noudatettava yleisiä työturvallisuutta koskevia ohjeita ja normeja sekä tilaajan mahdollisia työkohtaisia erillisohjeita.

Ajantasaiset ohje- ja normiluettelot ovat saatavilla Liikenneviraston internet-sivulla:

http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/urakoitsijat_suunnittelijat/vaylanpdon_ohjeet/liikenne_tyomaalla/tietyomaat.

Seuraavassa on lueteltuna työturvallisuutta koskevia ohjeita ja määräyksiä:

- Käyttöturvallisuustiedotteita, Työministeriön päätöksiä 779–780/93 ja 429/94
- Työministeriön päätös vaaraa aiheuttavia kemikaaleja koskevien tietojen toimittamisesta 780/1993
- Työturvallisuuslaki 738/2002
- Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009

4200.1.3 Levennyksen sijainti

Sillan levennyksen asema on sidottu nykyisen sillan kanteen ja siipimuureihin. Koordinaattijärjestelmä on ETRS-GK26 ja korkeusjärjestelmä N2000.

4201 Maa- ja pohjarakenteet*4201.1 Tekniset työsuunnitelmat*

Urakoitsijan tulee laatia ja hyväksyttää tekniset työsuunnitelmat Liikenneviraston valtuuttamalla tarkastajalla.

4201.2 Alustavat työt

Ennen sillanrakennustöitä siltapaikalla olevat kaapelit ja johtorakenteet ja niiden suojarakenteet sekä muut mahdolliset rakenteet siirretään tai suojataan sillanrakennustöiden ja siihen liittyvien maarakennustöiden edellyttämässä laajuudessa.

4201.3 Kaivutyöt

Siipimuurien vierestä kaivetaan maata pois sen verran, että siiven korotusvalua varten muottien asentaminen on mahdollista.

4201.4 Täytöt

Siipimuurien vierustäyttö tehdään uudelleen levennyksen valmistuttua.

**S24 Hiirosempolun alikulkukäytävä II, Oulu**5/(8)
20.3.2013**4210 Sillan tukirakenteet***4211 Siipimuri*

Tekniset vaatimukset ovat InfraRYL 42100 mukaiset. Siipimuurien betoni on C35/45-3, P50. Vanhoihin siipimureihin piikataan varauskolot kannen levennykselle (vanhat teräkset tartunnoiksi) sekä huonokuntoista betonia poistetaan noin 20 mm siiven päältä. Siiven korotus ankkuroidaan vanhaan rakenteeseen harjateräsankkurein. Ankkurit kiinnitetään vanhaan siipeen Hilti HIT-HY 200 injekstiomassalla valmistajan ohjeiden sekä piirustuksen R15/12851 r-2 mukaan.

4220 Sillan päällysrakenne**4221 Betonirakenteet päällysrakenteessa**

Sillan teräsbetonirakenteinen päällysrakenne tehdään InfraRYL:n kohdan 42020.3 mukaan.

Päällysrakenteen betoni on levennys tarpeen vähyydestä johtuen sama kannessa, reunapalkissa ja siipien korotuksessa eli C35/45-3, P50. Betoni suhteutetaan mahdollisimman vähän kutistuvaksi (ei rapid-tyyppistä sementtiä), runkoaineena raekoko 16 mm.

Kannen levennys liitetään vanhaan rakenteeseen harjateräsankkurien avulla. Vanha reunapalkki rajataan ja poistetaan taitteesta lähtien vesipiikkaamalla (vanhat teräkset tartunnoiksi). Levennettävän kannen reuna puhdistetaan suihkupuhdistamalla tai kevyesti vesipiikkaamalla. Kansilevennys ja siipimuurien korotukset valetaan yhtenäisellä muotilla. Muotit voidaan purkaa aikaisintaan kun betoni on saavuttanut vähintään 60% sen nimellislujuudesta.

Vanhaan rakenteeseen juotetaan tartunnat mittapiirustuksen R15/12851 r-2 mukaisesti sementtipohjaisella juotoslaastilla silko 2.261 ohjeen mukaan.

Päällysrakenteen valusta on laadittava ennen työn aloittamista betonityösuunnitelma ja betonirakenteiden laadunvalvontasuunnitelma hyväksyttäväksi.

Kaikki valuun tulevat teräsosat kuumasinkitään InfraRYL 42050.4.2 mukaan.

4221.1 Muotit ja telineet

Muottien tekniset vaatimukset InfraRYL:n kohdan 42020.3.2 mukaan.

Muottikankaan tekniset vaatimukset InfraRYL 42020.3.2.2.

Reunapalkkien sivupinnat tippunokkaan asti valetaan SILKO hyväksytyin muottikankaan avulla.

Betonipintojen luokat ovat by 40 Betonirakenteiden pinnat mukaan seuraavat:

**S24 Hiirosempolun alikulkukäytävä II, Oulu**

6/(8)

20.3.2013

- päällysrakenteen näkyviin jäävät pinnat: MUO A
- päällysrakenteen näkymättömiin jäävät pinnat: MUO B
- kannen ja reunapalkkien yläpinnat: PHI AA

Näkyvillä osilla on käytettävä hienosahattua, mitallistettua tai raakaponttilaataa.

Näkyvien pintojen laudoitussuunnat nykyisen rakenteen mukaisesti.

4221.2 Raudoitteet

Raudoitteiden tekniset vaatimukset InfraRYL:n kohdan 42020.3.3 mukaan.

Betoniteräs on laatua A500HW. Suojaavien betonipeitteiden paksuudet on esitetty raudituspiirustuksissa. Näkyviin jäävissä pinnoissa välikkeet tulee kiinnittää alumiininauloilla. Teräkset sidotaan kuumasinkityillä sidelangoilla.

Luetteloiduilla teräsmäärillä tarkoitetaan rakenteen betoniraudoitteiden teoreettista määrää ilman työraudoitteita tai raudoitteiden tukipukkeja.

4230 KANNEN PINTARAKENTEET

Kannen pintarakenteita puretaan levennettävältä reunalta piirustuksissa R15/12851 r-1 ja r-2 esitetyllä tavalla

4231 Eristys

Kannen vesieristys on kaksinkertainen kumibitumikermieristys, käyttöluokka 1, sekä reunapalkin sisäpinnan 2-kertainen kumibitumisively InfraRYL:n kohdan 42310.3.2.1 mukaan. Eristysalustan puhdistus ennen eristettä InfraRYL:n kohdan 42310.2 mukaan.

Sääsuojaa käytetään (jos eristys tapahtuu muulloin kuin 15.5. - 31.8. välisenä aikana) InfraRYL:n kohdan 42310.0 mukaan. Sääsuojaa on kuitenkin hyvä käyttää aina.

Päällysteen ja reunapalkin sisäpinnan väliin asennetaan plastinen saumamassa InfraRYL:n kohdan 42334.3.1 mukaan (SILKO 2.732).

4232 Eristyksen suojaus

Suojakerroksena käytetään asfalttibetonia AB 6/50 20 mm InfraRYL:n kohdan 42320.1.1 mukaan.

**S24 Hiirosempolun alikulkukäytävä II, Oulu**

7/(8)

20.3.2013

4233 Sillan päällyste*4233.1 Asfalttipäällyste*

Päällystystyön saa tehdä vain kokenut päällystystöiden urakoitsija.

Päällystystyö tehdään noudattaen InfraRYL kohdan 42330 laatuvaatimuksia sekä SILKO -ohjetta 2.814.

Ajoradan päällysteen materiaalit ja kerrospaksuudet ovat sillalla seuraavanlaiset:

-suojakerros	AB 6/50	20 mm
-sidekerros	AB 11/70 kg/m ²	30 mm
-kulutuskerros	AB 16/120 kg/m ²	50 mm

Suojakerroksena käytetään asfalttibetonia AB 6/50 20 mm InfraRYL:n kohdan 42320.1.1 mukaan.

Päällystystyö ja sen kelpoisuuden osoittaminen InfraRYL 42331.5 mukaan.

Sillan ja tiepenkereen päällysteiden tiemerkinnot tehdään samanlaisiksi kuin nykyiset ohjeen TIEH 2200014-08 "Tiemerkintöjen laatuvaatimukset" mukaisesti.

4240 VARUSTEET JA LAITTEET**4244 Siirtymälaatat**

Kannen levennystarpeen vähyden vuoksi sillan siirtymälaattoja ei levennetä.

4245 Suojalaitteet*4245.1 Kaiteet ja johteet*

Kaiteiden ja johteiden tekniset vaatimukset InfraRYL:n kohdan 42451 mukaan.

Sillan kaiteena levennyksen puolella käytetään teräksistä kuumasinkittyä Liikenneviraston tyyppipiirustuksen R15/DK H2-1 mukaista H2 sillankaidetta kahdella putkijohteella. Kaiteen yläjohteen korkeus tulee olla vähintään 1200 mm ajoradan pinnasta. Kaide varustetaan korkealla kuumasinkityllä suoja-verkolla tyyppipiirustuksen R15/DK H2-7 mukaan. Suojaverkko maalataan siniseksi RAL 5001 (Green Blue). Sillan ulkopuolelle, H2 siltakaiteen alalaitaan asennetaan lisäjohte tyyppipiirustuksen R15/DK H2-44 mukaan. Siltakaiteen pengerverustus tehdään tyyppipiirustuksen R15/DK H2-22 mukaan. Siltakaiteen päihin asennetaan vinopäätteet tyyppipiirustusten ja yleispiirustuksen R15/12851 r-1 mukaan.

**S24 Hiirosempolun alikulkukäytävä II, Oulu**

8/(8)

20.3.2013

Sillan oikean reunan kaiteen vanha suojaverkko maalataan siniseksi RAL 5001 (Green Blue).

4249 Muut varusteet ja laitteet*4249.7 Kaapeliputket*

Sillan kanteen asennettavien kaapeliputkien asennuksessa noudatetaan InfraRYL:n kohtaa 42497. Sillan molempiin päihin asennetaan sillan kaapelimäärälle riittävät kaapeli kaivot soveltaen tyyppiin R15/DV 4. Putkien ja kaivojen sijainnit on esitetty piirustuksissa R15/12851 r-1 ja r-2.

4250 BETONIPINNAN SUOJA-AINEKÄSITTELYT**4252 Impregnointiaineet**

Impregnointiaineiden tekniset vaatimukset InfraRYL:n kohdan 42500 mukaan.

Reunapalkkien yläpinnat sivellään impregnointiaineella, jolla on Liikenneviraston SILKO -ohjeen tyyppihyväksyntä. Impregnointiaineen on täytettävä käyttöluokka 1:n vaatimukset ja SILKO ohjeen 3.252 mukaisesta tunkeutumisyyvyydestä on saatava ++++ (esim. StoCryl HG 200). Pinnat puhdistetaan huolellisesti aineen toimittajan ohjeiden mukaisesti ennen sivelyä.

30.9.2013

16UTS0055

1

RAKENNELASKELMAT

POHJOIS-POHJANMAAN ELY-KESKUS

Tiehanke Vt4 (E75) Oulu-Kemi, moottoritien parantaminen välillä
Kempele – Kello

Kempele – Kello rakennussuunnittelu

S24 Hiiroksen alikulkukäytävä, Oulu

Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I)

VA = 6,0 m

HI = 7,5 m (vanha 7,0 m)

Vinous = 14 gon

Kuormitus: LM1, LM3/1.6.2010 (levennyksen osalle)

RAKENNELASKELMAT, OSA A

Rakennelaskelmista on laadittu osat A ja B

30.9.2013

INSINÖÖRITYÖ / PÖYRY FINLAND OY

Laatinut: Ville Lithovius

TARKASTAMINEN / HYVÄKSYMINEN

Tarkastusluokka KS 2

Tarkastanut: DI Jukka Leskelä

30.9.2013

16UTS0055

2

Sisältö

A KOHDETTA KOSKEVAT TIEDOT	3
A.1 Siltapaikka	3
A.2 Luokitukset	3
A.3 Kuvaus suunniteltavasta rakenteesta	3
A.4 Mitoitusperusteet	6
A.4.1 Ohjeet ja ohjelmistot	6
A.4.2 Päärakennusaineiden materiaaliominaisuudet	6
A.4.3 Kuormat	7
A.5 Rakenneanalyysit	8
A.5.1 Rakennemallit	8
A.5.2 Kuormien sijoittelu	10
A.5.2.1 Pysyvät kuormat	10
A.5.2.2 Liikennekuorma	10
A.5.2.3 Vaakakuormat	11
A.5.2.4 Muuttuvat kuormat	11
A.5.3 Kuormien yhdistely	11
A.5.4 Merkittävimmät voimasuureet	12
A.5.5 Suuruusluokkatarkastelu	12
A.6 Rakenneosien mitoituksen tiivistelmät	13
A.6.1 Betoninen päällysrakenne	13
A.6.1.1 Yhteenveto levennyksen ankkuroinnista	13
A.6.1.3 Yhteenveto käytetystä raudoituksesta	14

30.9.2013

16UTS0055

3

A KOHDETTA KOSKEVAT TIEDOT

A.1 Siltapaikka

Silta sijaitsee Oulun kaupungissa, Hirosen kaupunginosassa Vt4:n eritasoliittymässä E7 rampin R1 paalulla 343,793. Siltapaikalla kevyen liikenteen väylä (Ruukinpolku) alittaa ramppitien. Nykyistä siltaa levennetään erikoiskuljetusten vaatimukset täyttäväksi. Uusi hyötyleveys on 7,5 m

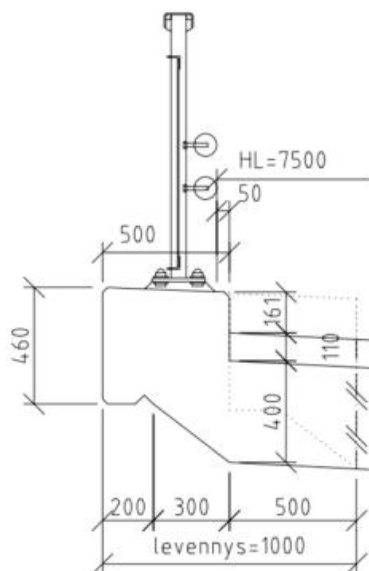
A.2 Luokitukset

Siltaan liittyvät luokitukset ovat seuraavat:

- Seuraamusluokka: CC2
- Toteutusluokka
 - Päällysrakenne: 3
- Toleranssiluokka
 - Päällysrakenne: 2

A.3 Kuvaus suunniteltavasta rakenteesta

Silta on tyypiltään teräsbetoninen laattakehäsilta, jonka vapaa-aukko on 6,0 m. Sillan alkuperäinen hyötyleveys 7,0 m kasvaa levennyksen yhteydessä 7,5 m. Levennysosa mitoitetaan LM1, LM3 / 1.6.2010 kuormille. Nykyinen silta on perustettu maavaraisesti ja levennyksen yhteydessä perustuksiin ei tehdä muutoksia.

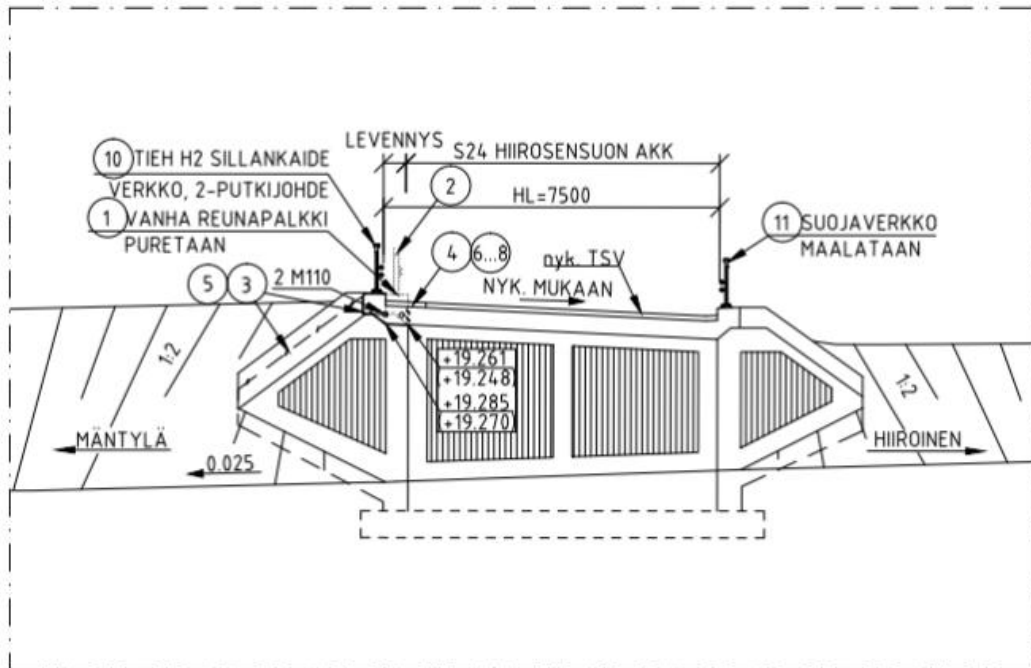


Kuva 1. Päällysrakenteen levennys

30.9.2013

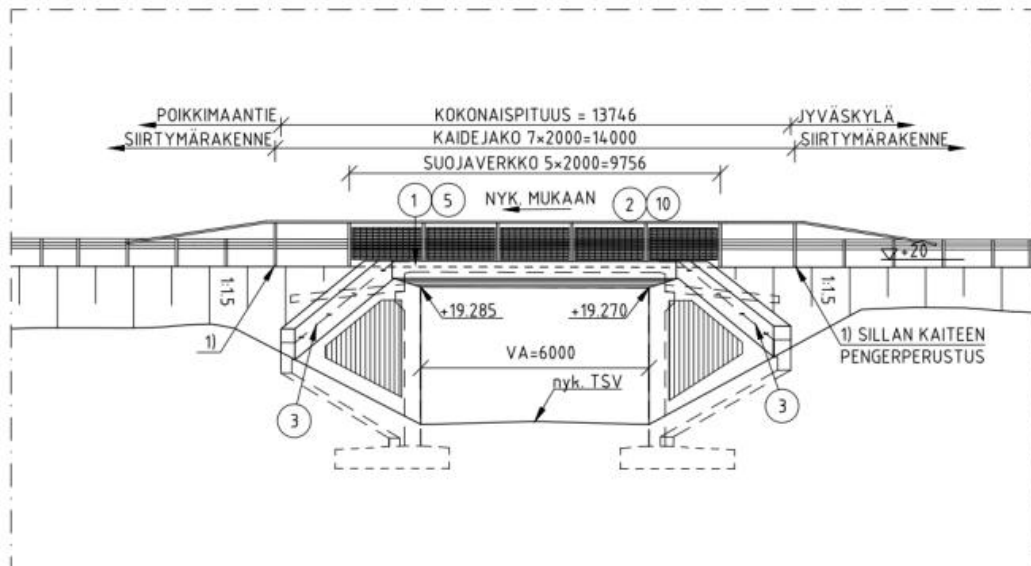
16UTS0055
4

B -B 1:100



Kuva 2. Silla poikkileikkaus

A -A 1:100

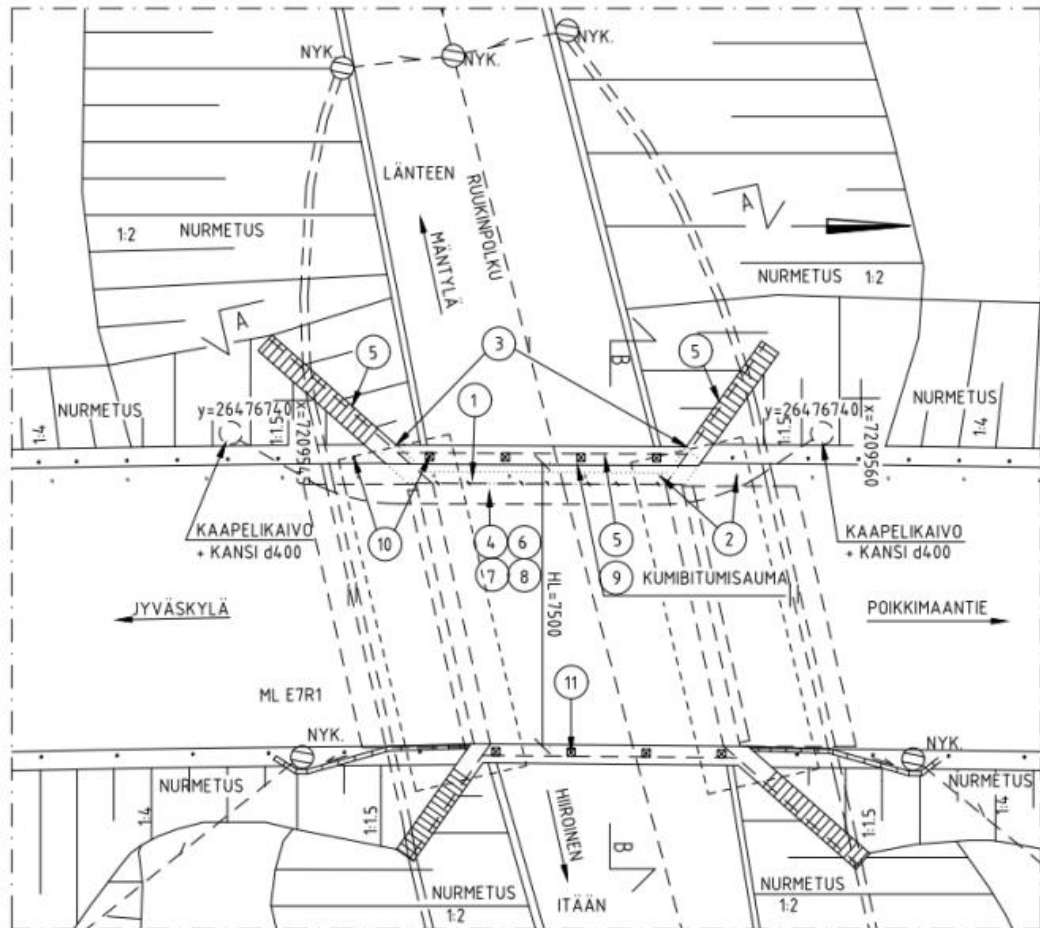


Kuva 3. Sillan sivukuva

30.9.2013

16UTS0055
5

TASOKUVA 1:100



Kuva 4. Sillan tasokuva

30.9.2013

16UTS0055

6

A.4 Mitoitusperusteet

A.4.1 Ohjeet ja ohjelmistot

Sillan mitoituksessa käytetään seuraavia normeja ja ohjeita sekä eurokoodi-standardien kanssa vastaavia kansallisia liitteitä:

Eurokoodi-standardit:

- Eurokoodi 1: Rakenteiden kuormat. Osa 2: Siltojen liikennekuormat, SFS-EN 1991-2
- Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu - betonisillat - mitoittaminen ja yksityiskohtien suunnittelu, SFS-EN 1992-2
- Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, SFS-EN 1992-1-1

Liikenneviraston ohjeet:

- Betoniraidoiteiden suunnittelu TIEL 2170014-2000
- Eurokoodin soveltamisohje, Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2
- Eurokoodin soveltamisohje, Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1
- Sillansuunnittelun täydentävät ohjeet 2008 TIEH 2100003-v-08
- Siltojen rakennelaskelmat 18.6.2012
- Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje – Betonisiltojen levennyksen ja suurempien valukorjausten mitoitus- ja suunnitteluohje 22.12.2011

A.4.2 Päärakennusaineiden materiaaliominaisuudet

Betoni uusi osa:

- kansilevitys: Ro20, R1, C35/45-3, P50, $c_{nom} = 40$ mm
 - reunapalkki: Ro22, R1, C35/45-3, P50, $c_{nom} = 45$ mm
- Huom! Reunapalkki ja levitys tehdään samalla massalla pienen määrän vuoksi.

Betoni vanha osa:

- kansilevitys: K35-1 P20
- reunapalkki: K35-1 P50
- siipimuurit: K35-1 P20
- peruslaatta: K30-2

Betoniteräs: A 500 HW

Materiaalien lujuusarvot on esitetty taulukossa 1.

30.9.2013

16UTS0055
7

	C35/45-3
f_{ck}	35,0
f_{cd}	22,0
f_{ctm}	3,21
f_{ctd}	1,664
E_{cm}	34077
f_{yk}	500
f_{yd}	455
E_s	200000

Taulukko 1. Materiaalien lujuusarvoja

A.4.3 Kuormat

Seuraavat kuormitukset on otettu huomioon laskelmissa

- Omat painot
- Liikennekuormat LM1, LM2 ja LM3
- Jarrutus- ja kiihdytyskuormat
- Keskipakokuorma
- Tuulikuorma
- Lämpötilakuorma
- Valulämpötilasta jäähtyminen
- Kutistuminen
- Viruminen

30.9.2013

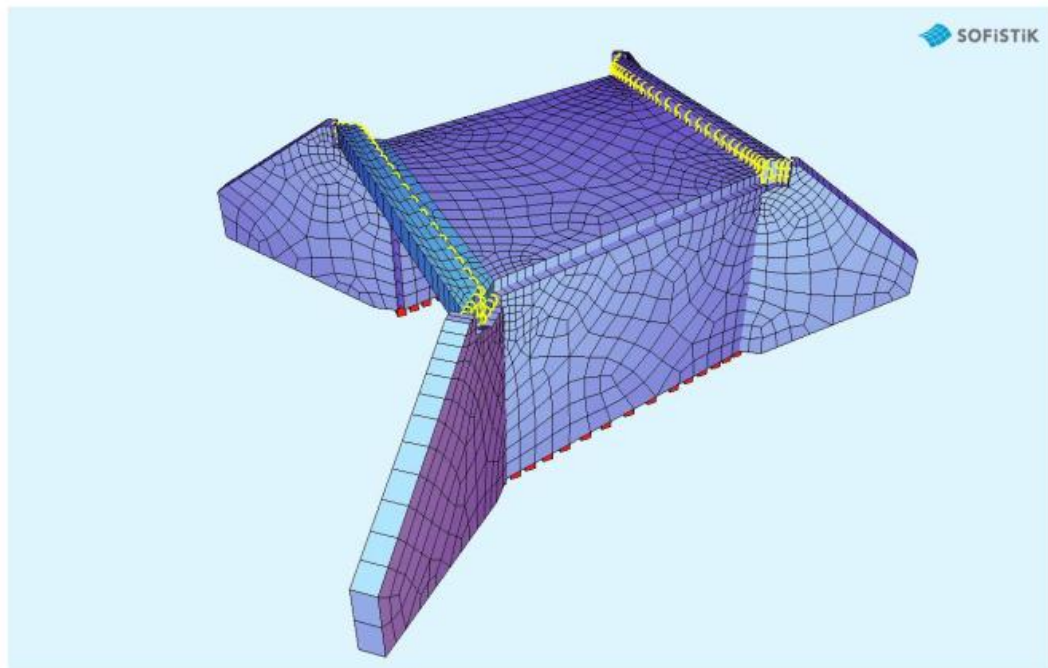
16UTS0055
8

A.5 Rakenneanalyysit

A.5.1 Rakennemallit

Rakenteen analysointi suoritettiin Sofistik – ohjelmalla. Levennyksen mitoitusta varten tehtiin kolme rakennemallia. Ensimmäisessä rakennemallissa kehärakenne ja levennys mallinnettiin oikeilla mitoilla huomioiden, että levennys makaa päistään kiinteästi siipimuurien päällä. Toisessa mallissa rakenne mallinnettiin ilman siipimuureja oikeilla mitoilla, mutta reunapalkki huomioitiin lisäkuormana. Kolmannella rakennemallilla mitoitettiin levennyksen tartunnat, jossa levennys on mallinnettu oikeilla mitoilla ja kuormituksena on mitoituksessa käytetty kutistuman ja valulämpötilasta jäähtymisen kuormia. Malleissa rakenteen materiaalina on käytetty nykyisen rakenteen osalta betonia C30/37 ja levennyksen osalla betonia C35/45. Raudoitusteräksenä on käytetty koko mallissa A500HW.

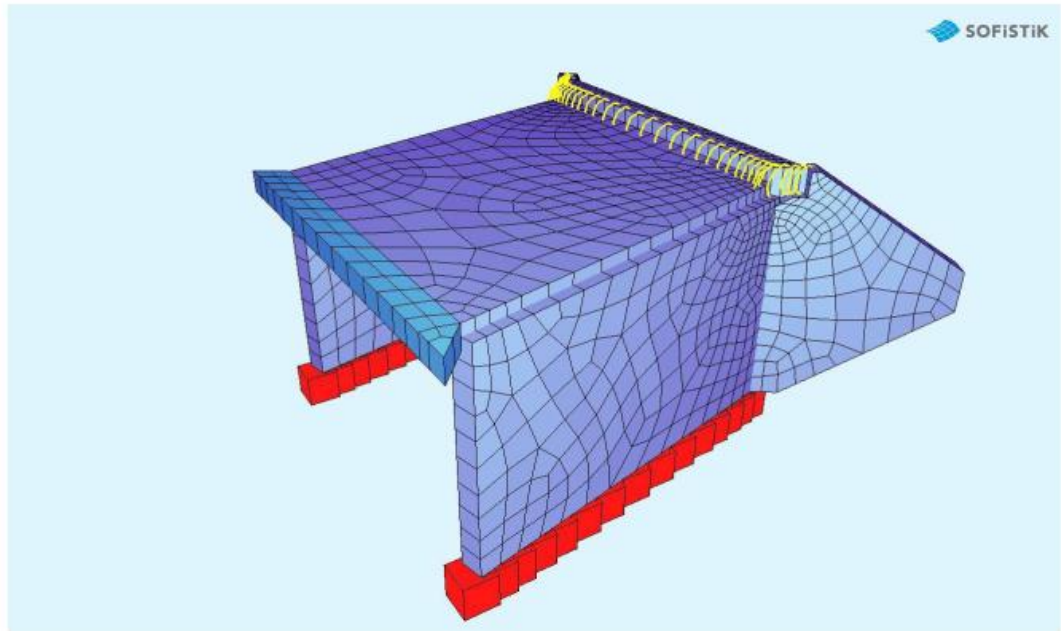
Rakenne on tuettu jäykästi molempien kehäjalkojen alareunoista koko pituudeltaan sekä ankkurointeja mitoittaessa tuenta on jäykästi tartuntojen kohdalta koko pituudeltaan.



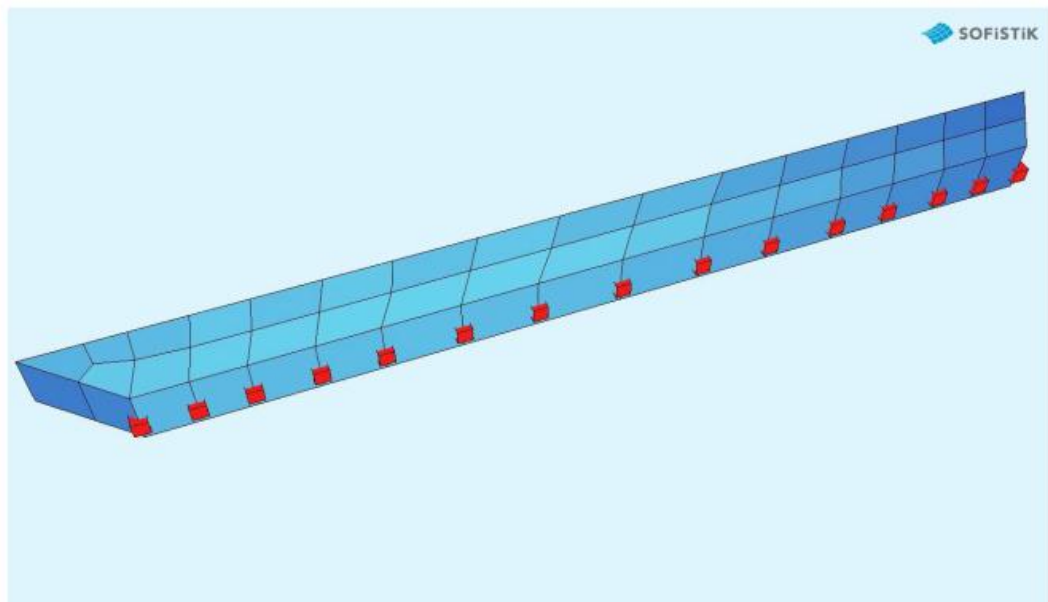
Kuva 5. Rakennemalli 1

30.9.2013

16UTS0055
9



Kuva 6. Rakennemalli 2



Kuva 7. Valulämpötila ja kutistuma rakennemalli

30.9.2013

16UTS0055
10

A.5.2 Kuormien sijoittelu

A.5.2.1 Pysyvät kuormat

Rakenteen omapaino on mallinnettu siten, että se on pääosin mukana FEM mallissa. Kaide sekä päällysrakenteen paino on lisätty malliin pysyvinä kuormina. Rakennemallissa 2 reunapalkki on huomioitu lisäkuormana.

Rakenteen paino:

- Raudoitettu betoni $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$
- Päällysrakenteet $g = 3,5 \text{ kN/m}^2$
- Kaide ja suojaverkko $g = 0,64 \text{ kN/m}$
- Reunapalkki $g = 5,946 \text{ kN/m}$ (rakennemalli 2)

Levennyksen valulämpötilasta jäähtyminen, kutistuminen ja viruminen otetaan huomioon käyttörajatilassa pysyvinä kuormina. Liikennekuormituksen vaikuttaessa huomioidaan kutistuman ja viruman aiheuttamasta kuormituksesta puolet.

A.5.2.2 Liikennekuorma

LM1:

Kuormituskaistat sijoitetaan levennettävältä laidalta lukien niin, että suuremmat kuormitukset tulevat levennyksen reunalle. Telikuormat sijaitsevat sillan vapaa-aukon keskilinjan suhteen vierekkäin. Teli- sekä pintakuormien keskinäistä paikkaa ei vaihdella tarkastelussa. Telikuormien suuruudet ovat $2 \times 300 \text{ kN}$ kuormituskaistalla 1 ja $2 \times 200 \text{ kN}$ kuormituskaistalla 2. Tasan jakaantuneen kuorman arvot ovat 9 kN/m^2 kuormituskaistalla 1 ja $2,5 \text{ kN/m}^2$ kuormituskaistalla 2.

LM2:

Kuormituskaista sijoitetaan levennyksen laidalle niin, että pyöräkuorma sijaitsee reunapalkin vieressä ja rakennetta kuormitetaan akselikuorman molemmilla pyöräkuormilla. Akselikuorman suuruus on $2 \times 200 \text{ kN}$.

LM3:

Kuormakaavio LM3 sijoitetaan tarkastelussa ohjeiden mukaiselle etäisyydelle levennettävästä reunasta. Kuormituskaistan pintakuorma sijaitsee koko kanne pituudella. Pintakuorman suuruus on 45 kN/m^2 .

30.9.2013

16UTS0055
11

A.5.2.3 Vaakuormat

Jarrutus- ja kiihdytyskuormat

Ajoneuvon jarrutuskuorma (51,21 kN/m) sijoitetaan tasaisesti jakaantuneena koko ajoradan leveydelle. Kuorma vaikuttaa pituussuuntaisesti ajoradan pinnan tasolla.

Ajoneuvon vinosta jarrutuksesta tai sivuluisusta aiheutuva kuormitus (12,8 kN/m) vaikuttaa samanaikaisesti pituussuuntaisen jarrukuorman kanssa. Kuorma vaikuttaa poikkisuunnassa tasaisesti jakaantuneena koko kannen pituudella, ajoradan pinnan tasolla.

Keskipakokuorma

Keskipakokuorma (57,14 kN) vaikuttaa ajoradan kaarteen säteen suunnassa pistekuormana, ajoradan pinnan tasolla.

A.5.2.4 Muuttuvat kuormat

Tuulikuorma

Tuulikuorma otetaan huomioon vain kaiteen osalta. Tuulikuorma koostuu tuulen vaakavoimasta (1,452 kN/m) ja momentista (0,8712 kNm/m). Momentti aiheutuu vaakavoiman siirtämisestä kaiteen juureen.

Lämpötilakuorma

Lämpötilakuorma sijoitetaan sekä levennyksen osalle, että vanhalle rakenteelle määrävällä yhdistelmällä NCCI 1 kaavojen (D.1) ja (D.2) mukaisesti.

Onnettomuuskuorma

Silta on levennettävä silta, eikä sitä tarkasteta erikseen onnettomuuskuormille.

A.5.3 Kuormien yhdistely

Kuormien yhdistely tehdään NCCI 1 liitteen 1A taulukoiden 1 ja 2 mukaisesti.

30.9.2013

16UTS0055
12**A.5.4 Merkittävimmät voimasuureet**

RAKENNEMALLI 1							
Tuki 1		Kenttä		Tuki 2			
Mx	Nx	Mx	Nx	Mx	Nx		
[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]		
MRT	-49,9	702,1	447,8	697,8	-57,9	927,4	max
	-314,3	-513,5	69,9	-1445	-356,1	-652,1	min
KRT (tavallinen)	429,1	2298	397	1601	372,5	1763	max
	-264,9	-215,4	61,8	-1215	-285,9	-331,2	min
KRT (pitkäaikais)	384,5	2064	210,7	1321	334	1421	max
	-140,2	-600	73,4	-600	-148,5	-400	min

RAKENNEMALLI 2							
Tuki 1		Kenttä		Tuki 2			
Mx	Nx	Mx	Nx	Mx	Nx		
[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]		
MRT	-4,4	34,2	255	-36,5	-13,4	3,6	max
	-82,3	3,3	38,8	-135,9	-79,7	-40	min
KRT (tavallinen)	10	700	189,2	1705	-7,5	900	max
	-65,1	-416	16,8	479,2	-50,6	-303,2	min
KRT (pitkäaikais)	5	700	81,4	1618	-8,33	800	max
	-31,1	-323,6	21,2	606,1	-18,8	-204,7	min

Kuvaajat merkittävimmistä voimasuureista löytyy rakennelaskelmat osan B liitteessä 2.

A.5.5 Suuruusluokkatarkastelu

Verrataan levennyksen raudoitusta vanhan rakenteen raudoitukseen vastaavissa kohdissa.

	vanha rakenne	uusi rakenne	ero %
Kannen teräsmäärä kentän alapinnassa	$A_s = 2262 \text{ mm}^2$	$A_s = 6283 \text{ mm}^2$	+278 %
Kannen teräsmäärä tuen yläpinnassa	$A_s = 1676 \text{ mm}^2$	$A_s = 4833 \text{ mm}^2$	+288 %

Raudoituserot selittyvät muuttuneilla eurokoodin mukaisilla kuormilla ja mitoitusyhdistelmillä sekä kapeaan levennyksen suurella raudoitustarpeella. Levennykseen muodostuu lämpö- ja kutistumiskuormista vetoa jonka seurauksena rakenne pyrkii halkeamaan. Halkeamaleveysrajan ollessa 0,228 mm pitkäaikaisyhdistelmällä ja kun mitoitusohjelma ei ottanut huomioon halkeaman muodostumisesta aiheutuvaa jännityksen tasaantumista, ohjelman antamat raudoitemäärät ovat suuremmat. Suurempaan raudoitukseen vaikuttaa osaltaan myös se, että mitoitusohjelman oletama kiinnitys siipimuurin päällä on jäykempi mitä todellisuudessa pystytään varauskoloon tekemään. Yleensä teräsmäärän lisästarve on noin 1,5 – 2 -kertainen vanhaan rakenteeseen nähden. Kun otetaan huomioon levennys tarpeen pienuus, halkeaman muodostumisesta aiheutuva jännityksien tasaantuminen ja, että todellisuudessa siiven ja levennyksen välinen liitos ei ole täysin jäykkä, mikä pienentää syntyviä jännityksiä, levennys voidaan toteuttaa valituilla raudotteilla.

30.9.2013

16UTS0055
13**A.6 Rakenneosien mitoituksen tiivistelmät****A.6.1 Betoninen päällysrakenne**

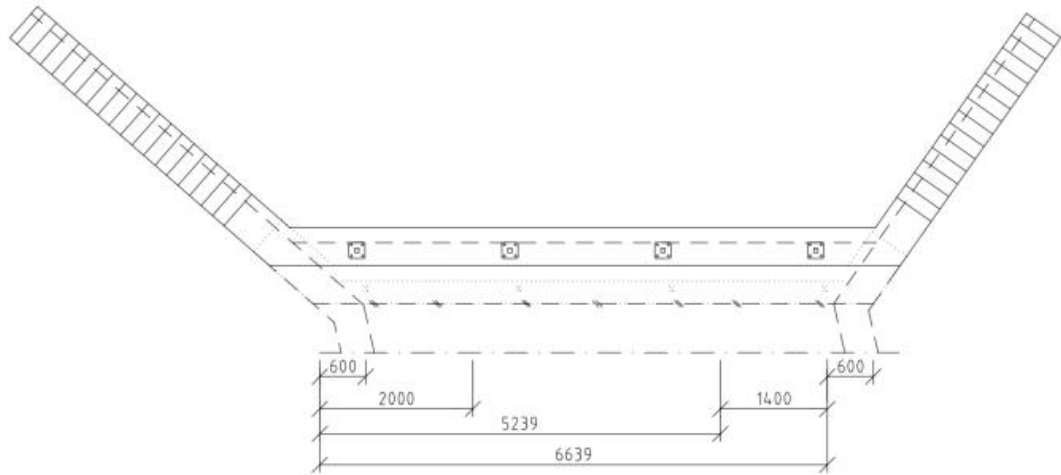
Päällysrakenne mitoitettiin murtotilassa liikennekuormaryhmille gr1a, gr1b, gr2 ja gr5. Käyttörajatilassa rakenne mitoitettiin kuormaryhmille gr1a, gr1b tavalliselle yhdistelmälle ja pitkäaikaisyhdistelmälle 1c. Lisäksi tutkittiin kutistumisesta syntyvät ankkurivoimat vanhaan rakenteeseen sekä ominaisyhdistelmän jännitykset. Terästen ankkurointipituudet määritettiin NCCI 2 liitteen 2 mukaan.

A.6.1.1 Yhteenveto levennyksen ankkuroinnista

x [m]	kutistumis- mitoitus [mm ²]	murtotila [mm ²]	Kokonaisankkurointi vähintään [mm ²]	Ankkurointi yht. (sis. vanhat teräkset)
0-2,0 yläpinta	T20 k250 As = 1257	770	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
0-0,6 alapinta	T20 k250 As = 1257	881	T20 k200 As = 1571	As = 1828 mm²
0,6-2,0 alapinta	T20 k250 As = 1257	750	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
2,0-5,239 yläpinta	T16 k300 As = 670	670	T16 k300 As = 670	As = 859 mm²
2,0-5,239 alapinta	T16 k800 As = 250	670	T16 k300 As = 670	As = 927 mm²
5,239-7,239 yläpinta	T20 k250 As = 1257	1200	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
5,239-6,639 alapinta	T20 k250 As = 1257	950	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
6,639-7,239 alapinta	T20 k250 As = 1257	1360	T20 k200 As = 1571	As = 1828 mm²

Mitat (x [m]) annettu vasemman siipimuurin ja jalan liitoskohdasta.

30.9.2013

16UTS0055
14

Kuva 32. Tartuntojen mitoitusalueet

A.6.1.2 Yhteenveto käytetystä raudoituksesta

Kannen alapinta

Pituussuunta:

- T20 k50, keskellä 5 m matkalla **As = 6283 mm²/m**
- T20 k50, joka kolmatta tanko ei viedä päähän asti **As = 4398 mm²/m**

Poikkisuunta :

- T20 k200 + T16 k100, 0-0,6 m alueelle levennyksen päädyistä As = 3581 mm²/m
(vanhat teräkset huomioiden) **As = 3838 mm²/m**
- T20 k250 + T12 k200, 0,6-2 m alueelle levennyksen päädyistä As = 1822 mm²/m
(vanhat teräkset huomioiden) **As = 2079 mm²/m**
- T16 k300 + T12 k200, muualla As = 1236 mm²/m
(vanhat teräkset huomioiden) **As = 1493 mm²/m**

30.9.2013

16UTS0055
15**Kannen yläpinta**

Pituussuunta:

- T20 k65, koko alueelle **As = 4833 mm²/m**

Poikkisuunta :

- T20 k250 + T16 k100, 0-0,6 m alueelle levennyksen päädyistä **As = 3267 mm²/m**

- T20 k250 + T12 k200, 0,6-2 m alueelle levennyksen päädyistä **As = 1822 mm²/m**

- T16 k300 + T12 k200 muualla **As = 1236 mm²/m**

Alapinnassa rautamäärässä huomioitiin puolet vanhoista raudoista. Yläpinnassa vahoja rautoja ei huomioitu niiden lyhyen pituuden vuoksi.

Reunapalkki ja siiven korotus

Levennyksessä sekä ulokkeen liittymisestä siipeen sovelletaan teräsbetonisen laattakehäsillan (Blk I) tyyppiinrustusta. Reunapalkin raudoituksessa sovelletaan raudituspiirustusta Blki640 ja levennyksen liittymisessä siipimuurin raudituspiirustusta Blki12.

Siipimuureja korotetaan uuden reunapalkin tasolle. Korotus ankkuroidaan siipeen T12 k300 lenkein. Korotukseen tulee siiven suuntaisesti 4 T16 tanko ja ankkurointina kannen ja siiven liittymäkohtaan myös 4 T16 tanko, piirustusta Blki640 soveltaen. Reunapalkkiin tulee T8 k200 haka ja palkin suuntaisesti 9 T16 tanko, piirustusta Blki12 soveltaen. Lisäksi jokaisen kaidepylvään kohdalle tulee 2 kpl lisähakoja ja 2 kpl lisäänkuriteräksiä T16.

30.9.2013

16UTS0055

1

RAKENNELASKELMAT**POHJOIS-POHJANMAAN ELY-KESKUS**

Tiehanke Vt4 (E75) Oulu-Kemi, moottoritien parantaminen välillä
Kempele – Kello

Kempele – Kello rakennussuunnittelu

S24 Hirosen alikulkukäytävä, Oulu

Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I)

VA = 6,0 m

Hl = 7,5 m (vanha 7,0 m)

Vinous = 14 gon

Kuormitus: LM1, LM3/1.6.2010 (levennyksen osalle)

RAKENNELASKELMAT, OSA B

Rakennelaskelmista on laadittu osat A ja B

30.9.2013

INSINÖÖRITYÖ / PÖYRY FINLAND OY

Laatinut: Ville Lithovius

TARKASTAMINEN / HYVÄKSYMINEN

Tarkastusluokka KS 2

Tarkastanut: DI Jukka Leskelä

30.9.2013

16UTS0055

2

Sisältö

B LASKELMAT	3
B.5 Rakenneanalyysit	3
B.5.1 Rakennemallit	3
B.5.2 Kuormien sijoittelu	3
B.5.2.1 Pysyvät kuormat	3
B.5.2.2 Liikennekuorma	5
B.5.2.3 Vaakakuormat	7
B.5.2.4 Muut muuttuvat kuormat	8
B.5.3 Kuormien yhdistely	9
B.6 Päällysrakenteen mitoitus	9
B.6.1 Levennyksen ankkurointi betonin kutistumiselle ja valulämpötilasta jäähtymiselle	9
B.6.2 Levennyksen ankkurointi murtorajatilassa	11
B.6.3 Yhteenvedo levennyksen ankkuroinnista	12
B.6.4 Sauman pituussuuntainen raudoitus	12
B.6.5 Levennyksen mitoitus	13
B.6.5.1 Kuormitusyhdistelmät	13
B.6.5.2 Merkittävimmät voimasuureet	14
B.6.5.3 Suojaetäisyydet	14
B.6.5.4 Minimi raudoitusmäärät	15
B.6.5.5 Vaaditut raudoitusmäärät	15
B.6.5.6 Käytetyt raudoitukset	17

Liitteet

- Liite 1, kuormien sijoittelu
- Liite 2, merkittävimmät voimasuureet

30.9.2013

16UTS0055

3

B LASKELMAT**B.5 Rakenneanalyysit**

Rakenteen analysointi suoritettiin Sofistik – ohjelmalla. Rakenteet mallinnettiin todellisilla mitoillaan käyttäen kuorielementtejä. Rakennemallissa 2 ei huomioitu siipien vaikutusta, vaan rakenne mallinnettiin ulokkeellisena.

B.5.1 Rakennemallit

Rakennemallit on esitelty kohdassa A.

B.5.2 Kuormien sijoittelu**B.5.2.1 Pysyvät kuormat**

Rakenteen omapaino on mallinnettu siten, se on pääosin mukana FEM mallissa. Kaide sekä päällysrakenteen paino on lisätty malliin pysyvinä kuormina. Rakennemallissa 2 reunapalkkia ei mallinnettu vaan se on huomioitu lisäkuormana.

Rakenteen paino

- Betoni $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$
- Päällysrakenteet $g = 3,5 \text{ kN/m}^2$
- Kaide ja suojaverkko $g = 0,64 \text{ kN/m}$
- Reunapalkki $g = 5,946 \text{ kN/m}$ (rakennemalli 2)

Valulämpö, kutistumien ja viruma

Levennyksen valulämpötilasta jäähtyminen, kutistuminen ja viruminen otetaan huomioon käyttörajatilatarkastelussa. Pakkovoimia ei tarvitse huomioida murtorajatilassa Liikenneviraston Betonisiltojen korjaussuunnitteluohjeen kohdan 8.3 mukaan koska teräsbetoni-laatoilla voidaan otaksua olevan riittävä muodonmuutuskapasiteetti. Liikennekuorman vaikuttaessa samanaikaisesti otaksutaan 50 % kutistumasta ja virumasta tapahtuneeksi Liikenneviraston Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 kohdan H.6 mukaan. Viruman lopullisella arvolla mitoitetaan, levennyksen tartunnat vanhaan rakenteeseen. Jännitystarkastelun perusteella voidaan viruman olettaa olevan lineaarista.

30.9.2013

16UTS0055

4

Ekvivalentti lämpökuormat ovat:

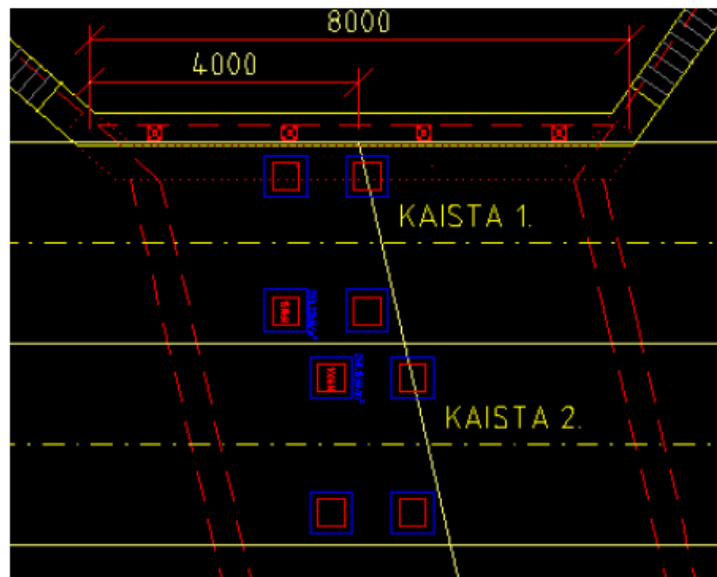
T_lopullinen	-21,8577	Valulämpötilan muutos + (kutistuma - viruma)
T_liikennekuorma	-14,9307	Valulämpötilan muutos + 0,5*(kutistuma - viruma)

Kutistuma	
Epsilon_cd 1 =	0,00010626
Epsilon_cd 2 =	0,00018262
ac=	456606 mm ²
u=	2193 mm
h_o=	416,42134 mm
k_h=	0,721
Beeta_ds t1=	0,05818708
Beeta_ds t2=	0,99996601
ts	7 vrk
t1	28 vrk
t2	1000000 vrk
epsilon_cd 0=	0,00025329
alfa_ds1	4
alfa_ds2	0,12
f_cm	43 MPa
RH	80 %
Epsilon_ca 1 =	0,000040810
Epsilon_ca 2 =	0,000062500
beeta_ast1	0,6529549
beeta_ast2	1
fck	35 MPa
EPSILON_CS 1	0,000051436
EPSILON_CS 2	0,000245116

Viruma	
fii(t1,t0)	0 virumaluku
fii(t2,t0)	1,47935158 virumaluku
fii_0	1,4794026
beeta_c (t1, t0)	0
beeta_c (t2, t0)	0,99996551
fii_RH	1,18220179 , kun fcm>35 MPA
RH	80 %
h_o=	416,42134 mm
f_cm	43 MPa
alfa1	0,86580425
alfa2	0,95966558
beeta_fcm	2,56197598
beeta_t0	0,48844955
t_0	28 vrk betonin kuormittamisen ajankohta
t1	28 vrk
t2	1000000 vrk
beeta_H	1149,75603 , kun fcm>35 MPA
alfa3	0,90219371
fii_sc t1	0,000051436 Viruma pienentää kutistumaa
fii_sc t2	0,000138541 Viruma pienentää kutistumaa
delta_Tcs1	-5,14359406 Kutistuman ekvivalentti lämpökuorma °C
delta_Tcs2	-13,8541377 Kutistuman ekvivalentti lämpökuorma °C

Valulämpötilan jäähtyminen	
T_0	10 °C ulkoilman ja vanhan rakenteen lämpötila
T_m	20 °C tuoreen betonin lämpötila
delta_T_max	13,125 °C sitoutumisesta johtuva lämpötilan nousu (400mm laatta)
delta_T_mit	-19,84375 °C mitoitettava lämpötilan muutos
delta_T_pys	-8,00360 °C Viruma pienentää kutistumaa

30.9.2013

16UTS0055
5**B.5.2.2 Liikennekuorma****LM1:**

Sijainti	Telikuorma	Pintakuorma
Kaista nro 1	2 x 300 kN (0,4x0,4 m ²)	9 kN/m ²
Kaista nro 2	2 x 200 kN (0,4x0,4 m ²)	2,5 kN/m ²

Telikuormilla tarkastetaan tilanne jossa telikuorma 1 on levennyksen puoleisella reunalla ja telikuorma 2 on sen viereisellä kaistalla. Telit sijaitsevat sillan vapaa-aukon keskilinjän suhteen vierekkäin, eikä telien keskinäistä paikkaa vaihdella. Akselit sijoitetaan tarkastelussa määrääviin kohtiin kuormituskaistoilla.

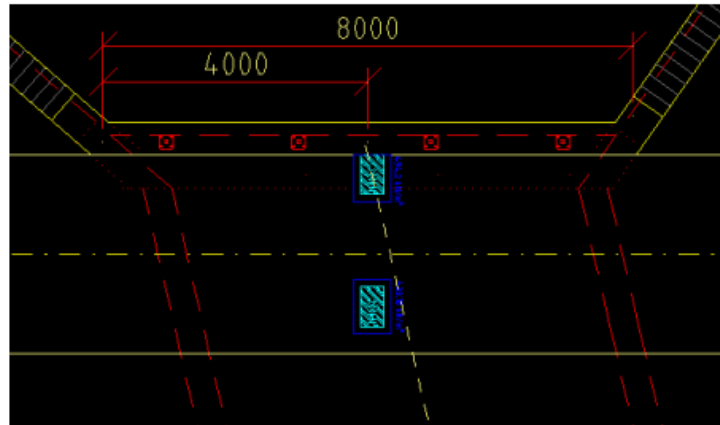
Pyöräkuorman pinta-ala on 0,4x0,4 m² ja se jakautuu pintarakenteessa 1:1, joten yhden pyöräkuorman vaikutuspinta-ala on 0,62x0,62 m². Pintakuormat ovat tällöin 390,22 kN/m² ja 260,15 kN/m².

Tasan jakautunut kaistakuorma UDL maksimi (9,0 kN/m²) arvo sijoitetaan levennyksen puoleiselle kaistalle ja viereiselle kaistalle sijoitetaan 2,5 kN/m² kuorma. Kuormakaistan leveys on 3 metriä.

30.9.2013

16UTS0055
6

LM2:



Sijainti	Akselikuorma
Kaista	2 x 200 kN (0,35x0,6 m ²)

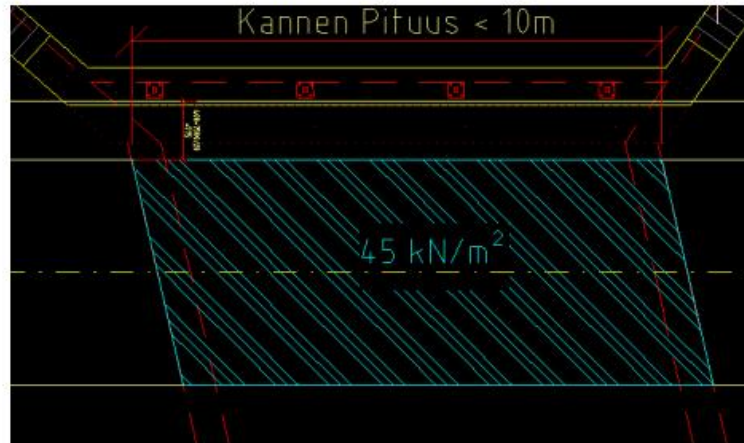
Kuormakaavio LM2 (2x200 kN) sijoitetaan levennettävän laidalle niin, että toinen pyöräkuorma sijaitsee reunapalkin vieressä. Akselikuorma sijoitetaan tarkastelussa määrävään kohtaan kuormakaistalla.

Pyöräkuorman pinta-ala on 0,35x0,6 m² ja se jakautuu pintarakenteessa 1:1, joten yhden pyöräkuorman vaikutuspinta-ala on 0,82x0,57 m². Reunapalkin viereisen pyörän vaikutus ala on 0,71*0,57 m². Pintakuormat ovat tällöin 433,18 kN/m² ja 494,2 kN/m².

30.9.2013

16UTS0055
7

LM3:



Sijainti	Pintakuorma
Kaista	45 kN/m ²

Kuormakaavio LM3 (45 kN/m²) sijoitetaan tarkastelussa koko kannen pituudelle kannen levennyksen puoleiselle laidalle 775 mm hyötyleveyden reunalinjasta. Kuormakaistan leveys on 3 metriä.

B.5.2.3 Vaakakuormat

Jarrutus- ja kiihdytyskuormat

$$- Q_{lk} = 360 + 2,7 * 7,024 = 378,97 \text{ kN}$$

$$\rightarrow 378,97 \text{ kN} / 7,4 \text{ m} = \underline{\underline{51,21 \text{ kN/m}}}$$

Ajoneuvon jarrutuskuorma Q_{lk} sijoitetaan tasaisesti jakaantuneena koko ajoradan leveydelle niin, että kuorma vaikuttaa kannen pituussuuntaisesti, ajoradan pinnan tasolla.

$$-Q_{trk} = 0,25 * 51,21 \text{ kN/m} = \underline{\underline{12,8 \text{ kN/m}}}$$

Ajoneuvon vinosta jarrutuksesta tai sivuluisusta aiheutuva poikittainen kuormitus Q_{trk} vaikuttaa samanaikaisesti pituussuuntaisen jarrukuorman Q_{lk} kanssa. Kuorma vaikuttaa poikkisuunnassa tasaisesti jakaantuneena koko kannen pituudella, ajoradan pinnan tasolla.

30.9.2013

16UTS0055
8

Keskipakokuorma

$-Q_{tk} = 40 * 1000 \text{ kN} / 700 = \underline{57,14 \text{ kN}}$

Keskipakokuorma Q_{tk} vaikuttaa pistekuormana ajoradan pinnan tasolla, ajoradan kaarteeseen säteen suunnassa.

B.5.2.4 Muut muuttuvat kuormat

Tuulikuorma

Maastoluokka	II
z_e	≤ 20 m
b	8,4 m
d_tot	1,20 m
b/d_tot	7
p_tuuli	1,21 kN/m ²
F_vaakavoima	1,452 kN/m
a	0,6 m
M_tuuli	0,8712 kNm/m

Tuulikuorma otetaan huomioon vain kaiteen osalta. Tuulikuorma koostuu tuulen vaakavoimasta ja momentista. Momentti aiheutuu vaakavoiman siirtämisestä kaiteen juureen.

Lämpötilakuorma

Lämpötilakuorma sijoitetaan sekä levennyksen osalle, että vanhalle rakenteelle määrävällä yhdistelmällä NCCI 1 kaavojen (D.1) ja (D.2) mukaisesti. Lämpökuorma huomioidaan käyttörajatilassa tavallisella yhdistelmällä (gr1a) ja pitkäaikaisella yhdistelmällä (1c) sekä ominaisyhdistelmällä rakenteen jännityksiä tarkasteltaessa.

Päällysteen paksuus	110 mm				
k_sur	0,66	lämpötilan korjauskerroin			
T0	10 °C	NCCI mukaan kun alkulämpötila ei ennakoitavissa			
Te,max	34 °C	sillan korkein keskilämpötila			
Te,min	-34 °C	sillan matalin keskilämpötila			
ΔTN,con	44 °C	lämpökutistuminen			
ΔTM,exp	24 °C	lämpölaajeneminen			
ΔTMheat	9,9 °C	yläpinta lämpimämpi			
ΔTMcool	8 °C	alapinta lämpimämpi			

kaava (D.1)	yläpinnan Δ°C	alapinnan Δ°C
ΔTMheat+0,35*ΔTM,exp	18,3	8,4
ΔTMheat+0,35*ΔTM,con	-5,5	-15,4
ΔTMcool+0,35*ΔTM,exp	8,4	16,4
ΔTMcool+0,35*ΔTM,con	-15,4	-7,4

kaava (D.2)	yläpinnan Δ°C	alapinnan Δ°C
0,75*ΔTMheat+ΔTM,exp	24	16,575
0,75*ΔTMheat+ΔTM,con	-36,575	-44
0,75*ΔTMcool+ΔTM,exp	18	24
0,75*ΔTMcool+ΔTM,con	-44	-38

30.9.2013

16UTS0055

9

Onnettomuuskuorma

Silta on levennettävä silta, eikä sitä tarkasteta erikseen onnettomuuskuormille.

B.5.3 Kuormien yhdistely

Kuormien yhdistely tehdään NCCI 1:n liitteen 1A taulukoiden 1 ja 2 mukaisesti. Kuormayhdistely on tehty murtorajatilassa kuormitusryhmille gr1a, gr1b, gr2, gr5 sekä käyttörajatilassa gr1a ja gr1b tavalliselle yhdistelmälle ja pitkäaikaisyhdistelmälle 1c. Rakenteen jännitystarkastelua varten muodostettiin myös ominaisyhdistelmät gr1a, gr1b, gr2 ja gr5. Rakenne ei ylittänyt jännitysrajoja.

B.6 Päälysrakenteen mitoitus

Tarvittavat raudoitusmäärät lasketaan tartuntojen osalta käsin ja muun raudoituksen osalta Sofistik-ohjelmalla.

B.6.1 Levennyksen ankkurointi betonin kutistumiselle ja valulämpötilasta jäähtymiselle

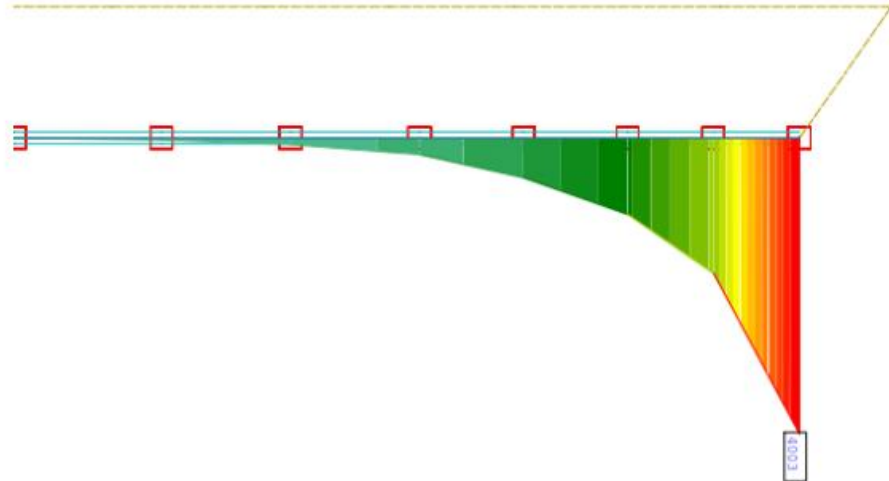
Rakenne mallinnettiin oikeilla mitoillaan. Levennys kiinnitettiin jäykästi tartuntojen kohdalta, jolloin saadaan suurimmat mahdolliset tartunnan arvot. Rakennetta kuormittaa valulämpötilasta jäähtyminen ja betonin kutistuminen jossa virumisen vaikutukset on otettu huomioon.

Koska levennys on hyvin pieni asetetaan sille myös reunapalkin levennyksen tartuntojen vaatimukset:

- 1300 mm²/m 2 metriä sillan päistä 1+1 T16 k300
- 900 mm²/m muualla 1+1 T16 k450
- 650 mm²/m kannen yläreunassa koko sillan alueella T16 k300
- Kaidepylväiden kohdalle 2kpl lisähakoja ja 2kpl lisäankkuriteräksiä.

30.9.2013

16UTS0055
10



Kuvassa levennyksen ankkurointivoima valulämpötilasta jäähtymiselle, kutistumiselle ja virumiselle. Kuvassa esitetty rakenne on katkaistuna keskeltä ja maksimi arvo on 4003 kN/m.

Tukireaktiot, $F_x.max = 4003 \text{ kN/m}$
Painotettukeskiarvo $x = 0-2 \text{ m } F_x.kesk = 1014 \text{ kN/m}$

Työsauman vaarnaraudoitus			
Ved	1,014	MN/m	
fctd	1,66	MPa	
fyd	455	MPa	
b	0,4	m	
c	0,4	karheusarvo	
myy	0,7	karheusarvo	
alfa	90	astetta	
sigma_n	0	rajapinnan pur.jännitys	
Asv	2351	mm ² /m	
T12	21	kpl/m	
T16	12	kpl/m	
T20	7	kpl/m	
T25	5	kpl/m	
T32	3	kpl/m	

Valitaan ankkurointiteräksiksi 1+1 T20 k250 = 2513 mm²

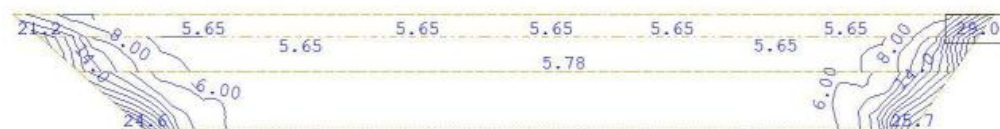
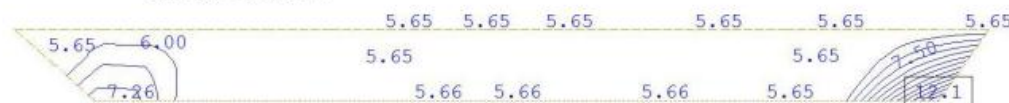
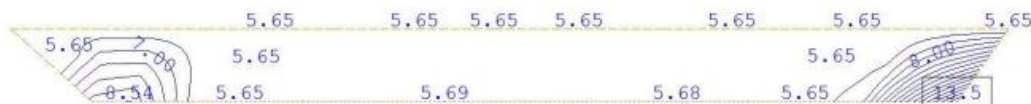
Mualla levennyksen minimi tartunnat ovat riittävät.

Vanhasta rakenteesta saatavat teräkset voidaan soveltuvin osin jättää levennykseen.

30.9.2013

16UTS0055
11**B.6.2 Levennyksen ankkurointi murtorajatilassa**

Rakenne mallinnettiin oikeilla mitoillaan. Kuormituksina käytettiin murtorajatilan kuormia, joiden kanssa ei huomioitu kutistumaa ja valulämpötilasta jäähtymistä.

- Rakennemalli 1:Yläpinnan ankkurointi murtorajatilassa (cm²/m)Alapinnan ankkurointi murtorajatilassa (cm²/m)**- Rakennemalli 2:**Yläpinnan ankkurointi murtorajatilassa (cm²/m)Alapinnan ankkurointi murtorajatilassa (cm²/m)

Minimiraudoitusmäärä T16 k300 $A_s=670\text{mm}^2$ on riittävä levennyksen keskellä sekä ylä-, että alapinnassa. Rakennemallissa 1 raudoitusmäärä 0-0,6m levennyksen päästä on T20 k110 $A_s=2856\text{mm}^2$ alapinnassa ja T20 k150 $A_s=2094\text{mm}^2$ yläpinnassa. Rakennemallissa 2 raudoitusmäärä 0-0,6m levennyksen päästä on T20 k200 $A_s=1571\text{mm}^2$ alapinnassa. Muilta osin kutistumismitoituksen ja minimiraudoituksen raudoitusmäärät ovat riittävät. Sillan vanhat poikkisuuntaiset teräkset tuodaan levennykseen ja niistä voidaan hyödyntää ankkuroinnissa puolet, eli T12 k300 $A_s=377\text{mm}^2 \rightarrow 189\text{mm}^2$ yläpinnassa ja T12 k220 $A_s=514\text{mm}^2 \rightarrow 257\text{mm}^2$ alapinnassa.

Valitaan levennyksen ankkuroinneiksi rakennemallin 2 ja kutistumismitoituksen mukaiset tartunnat. Rakennemallin 1 antamat voimakkaat raudoitusmäärät levennyksen päihin johtuu mitoitusohjelman olettamasta momenttijäykästä tuennan suoraan levennyksen päähän, kun taas todellisuudessa levennys tulee siiven päälle koko siiven leveydeltä ja kiinnitys tulee levennyksen alapinnan ja siiven väliin. Levennystä ei myöskään saada kiinnitettyä niin tiukasti siipien päälle mitä mitoitusohjelma olettaa ja näin ollen todellisuudessa rasiuspiikit tasoittuvat siipien päältä. Raudoitusmäärät

30.9.2013

16UTS0055

12

rakennemallilla 2, kutistumamitoituksella ja vanhoilla teräksillä ovat riittävät levennyksen ankkurointiin.

B.6.3 Yhteenveto levennyksen ankkuroinnista

x [m]	kutistumis- mitoitus [mm ²]	murtotila [mm ²]	Kokonaisankkurointi vähintään [mm ²]	Ankkurointi yht. (sis. vanhat teräkset)
0-2,0 yläpinta	T20 k250 As = 1257	770	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
0-0,6 alapinta	T20 k250 As = 1257	881	T20 k200 As = 1571	As = 1828 mm²
0,6-2,0 alapinta	T20 k250 As = 1257	750	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
2,0-5,239 yläpinta	T16 k300 As = 670	670	T16 k300 As = 670	As = 859 mm²
2,0-5,239 alapinta	T16 k800 As = 250	670	T16 k300 As = 670	As = 927 mm²
5,239-7,239 yläpinta	T20 k250 As = 1257	1200	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
5,239-6,639 alapinta	T20 k250 As = 1257	950	T20 k250 As = 1257	As = 1446 mm²
6,639-7,239 alapinta	T20 k250 As = 1257	1360	T20 k200 As = 1571	As = 1828 mm²

Mitat (x [m]) annettu vasemman siipimuurin ja jalan liitoskohdasta.

B.6.4 Sauman pituussuuntainen raudoitus

$$\text{As.sauma} \geq 400 \times 200 \times 0,02 = 1600 \text{ mm}^2$$

$$6 \text{ T20 As} = 1885 \text{ mm}^2 > 1600 \text{ mm}^2$$

Vaatus täyttyy levennyksen suuntaisella raudoituksella, ilman lisäraudoitusta.

30.9.2013

16UTS0055
13**B.6.5 Levennyksen mitoitus****B.6.5.1 Kuormitusyhdistelmät**

Tarkastellut kuormitusyhdistelyt on esitetty seuraavassa:

MRT:

$$E_{d1} = 1,35 \times G$$

$$E_{d2} = 1,15/0,9 \times G + 1,35 \times LM1 + (1,5 \times 0,6) \times \text{tuulikuorma}$$

$$E_{d3} = 1,15/0,9 \times G + 1,35 \times LM2$$

$$E_{d4} = 1,15/0,9 \times G + (1,35 \times 0,75) \times LM1(\text{teli}) + (1,35 \times 0,4) \times LM1(\text{UDL}) + 1,35 \times \text{vaakakuorma}$$

$$E_{d5} = 1,15/0,9 \times G + 1,35 \times LM3$$

KRT ominaisyhdistelmä:

$$E_{d6} = 1,0 \times G + 1,0 \times LM1 + 0,6 \times \text{tuulikuorma} + 0,6 \times \text{lämpötilakuorma}$$

$$E_{d7} = 1,0 \times G + 1,0 \times LM2$$

$$E_{d8} = 1,0 \times G + 0,75 \times LM1(\text{teli}) + 0,4 \times LM1(\text{UDL}) + 1,0 \times \text{vaakakuorma} + 0,6 \times \text{lämpötilakuorma}$$

$$E_{d9} = 1,0 \times G + 1,0 \times LM3$$

KRT tavallinen yhdistelmä:

$$E_{d10} = 1,0 \times G + 0,75 \times LM1(\text{teli}) + 0,4 \times LM1(\text{UDL}) + 0,5 \times \text{lämpötilakuorma}$$

$$E_{d11} = 1,0 \times G + 0,75 \times LM2$$

KRT pitkäaikaisyhdistelmä:

$$E_{d12} = 1,0 \times G + 0,3 \times LM1(\text{UDL}) + 0,5 \times \text{lämpötilakuorma}$$

30.9.2013

16UTS0055
14

B.6.5.2 Merkittävimmät voimasuureet

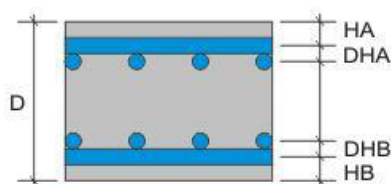
Merkittävimpien voimasuureiden kuvaajat on esitetty liitteessä 2.

B.6.5.3 Suojaetäisyydet

Laskennassa käytetyt terästen suojaetäisyyksien arvot on esitelty taulukossa 1. Etäisyydet H ja DH ovat annettu terästen keskipisteisiin, kuten kuvassa 1 on esitetty. Halkeamaleveyden korottamista varten laskettiin NCCI 2 kohdan 4.4.1.1 mukaisella kaavalla c:n arvo:

$$c = \min (c_{true} , 1.4 * c_{min,dur}) \rightarrow c_{true} = \mathbf{40 \text{ mm}} , 1.4 * c_{min,dur} = 49 \text{ mm}$$

Halkeamaleveyden arvoa saadaan korotta kertoimella 1.14, joka lasketaan kaavalla $c/c_{min,dur} \leq 1,4$. Näin ollen halkeama leveydet 50v käyttöiälle on tavallisella yhdistelmällä 0,342 mm ja pitkäaikaisyhdistelmällä 0,228 mm.



Kuva 1. Raudoite-etäisyydet H ja DH

- Taulukossa on käytetty seuraavia arvoja:

- 40 mm Suojaetäisyys rakenteen pinnasta
- 12 mm Työteräs alapinnassa

	Alapinta	Yläpinta
H	$40 + 12 + 12/2 = 58 \text{ mm}$	$40 + 12/2 = 46 \text{ mm}$
DH	$12/2 + 20/2 = 16 \text{ mm}$	$12/2 + 20/2 = 16 \text{ mm}$

Taulukko 1. Terästen suojaetäisyydet

30.9.2013

16UTS0055
15

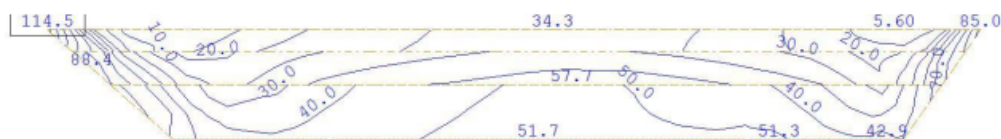
B.6.5.4 Minimi raudoitusmäärät

Laskentaohjelmaan määrättiin seuraavat minimiraudoitusmäärät käytettävien rautojen ja niiden suurimpien jakovälien mukaan.

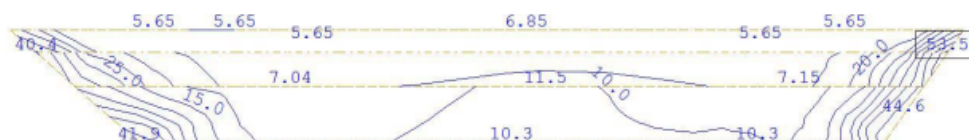
Kannen alapinta Pituussuunta T20 k200 Poikkisuunta T12 k200	Raudoitusta vastaava teräsmäärä $A_S = 15,71 \text{ cm}^2 / \text{m}$ $A_S = 5,65 \text{ cm}^2 / \text{m}$
Kannen yläpinta Pituussuunta T20 k200 Poikkisuunta T12 k200	$A_S = 15,71 \text{ cm}^2 / \text{m}$ $A_S = 5,65 \text{ cm}^2 / \text{m}$

B.6.5.5 Vaaditut raudoitusmäärät

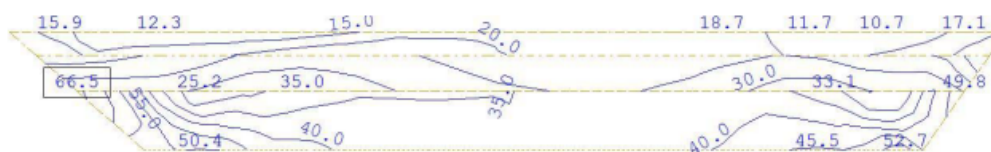
- Rakennemalli 1:



Kuva 33. Kannen alapinnan pituussuuntaiset teräkset (cm²/m)

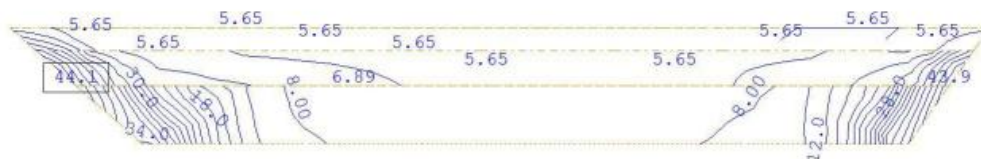
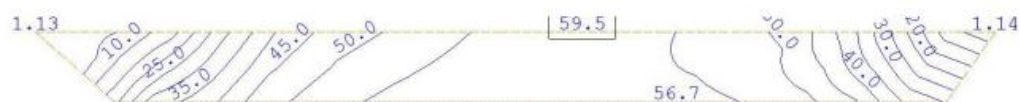


Kuva 34. Kannen alapinnan poikkisuuntaiset teräkset (cm²/m)



Kuva 35. Kannen yläpinnan pituussuuntaiset teräkset (cm²/m)

30.9.2013

16UTS0055
16Kuva 36. Kannen yläpinnan poikkisuuntaiset teräkset (cm²/m)**- Rakennemalli 2:**Kuva 37. Kannen alapinta pituussuuntaiset teräkset (cm²/m)Kuva 38. Kannen alapinna poikkisuuntaiset teräkset (cm²/m)Kuva 39. Kannen yläpinnan pituussuuntaiset teräkset (cm²/m)Kuva 40. Kannen yläpinnan poikkisuuntaiset teräkset (cm²/m)

Levennyksen rautamäärät mitoittavaksi tilaksi tuli käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä. Rakennemallin 1 antamat raudoitemääräpiikit siipien päällä voidaan jättä huomioimatta, koska mitoitusohjelma ei huomioi halkeamien muodostumisesta aiheutuvaa jännityksen tasaantumista. Raudoitepiikit johtuvat osaltaan myös levennyksen muodosta ja tuennasta sekä siitä, että mitoitusohjelma olettaa niin jäykän kiinnityksen siiven päälle jota ei käytännössä saada toteutettua. Todellisuudessa jännitys piikit tasaantuvat levennyksen päissä ja näin ollen se ei vaadi raudoteita tässä määrin. Rakenteen raudoitus valittiin kentään rakennemalli 2 mukaan ja tukialueen raudoitus valittiin rakennemalleilla saatujen rautamäärien puolivälistä. Näin tehtäessä raudoitemäärät tulivat tukialueella pienemmät, mutta kuitenkin ollen varmallalla puolella. Suuruusluokkatarkastelun mukaan raudoitemäärästä tuli noin 3-kertaiset vanhan rakenteen raudoitukseen nähden. Kun huomioidaan levennyksen kapeus, halkeamien muodostumisesta aiheutuva jännityksien tasaantuminen sekä levennyksen ja siiven väliseen liitokseen syntyvien jännityksien pienentyminen, levennys voidaan toteuttaa valituilla rautamäärillä.

30.9.2013

16UTS0055
17**B.6.5.6 Käytetyt raudoitukset****Kannen alapinta**

Pituussuunta:

- T20 k50, keskellä 5 m matkalla **As = 6283 mm²/m**
- T20 k50, joka kolmatta tanko ei viedä päähän asti **As = 4398 mm²/m**

Poikkisuunta :

- T20 k200 + T16 k100, 0-0,6 m alueelle levennyksen päädyistä As = 3581 mm²/m
(vanhat teräkset huomioiden) **As = 3838 mm²/m**
- T20 k250 + T12 k200, 0,6-2 m alueelle levennyksen päädyistä As = 1822 mm²/m
(vanhat teräkset huomioiden) **As = 2079 mm²/m**
- T16 k300 + T12 k200, muualla As = 1236 mm²/m
(vanhat teräkset huomioiden) **As = 1493 mm²/m**

Kannen yläpinta

Pituussuunta:

- T20 k65, koko alueelle **As = 4833 mm²/m**

Poikkisuunta :

- T20 k250 + T16 k100, 0-0,6 m alueelle levennyksen päädyistä **As = 3267 mm²/m**
- T20 k250 + T12 k200, 0,6-2 m alueelle levennyksen päädyistä **As = 1822 mm²/m**
- T16 k300 + T12 k200 muualla **As = 1236 mm²/m**

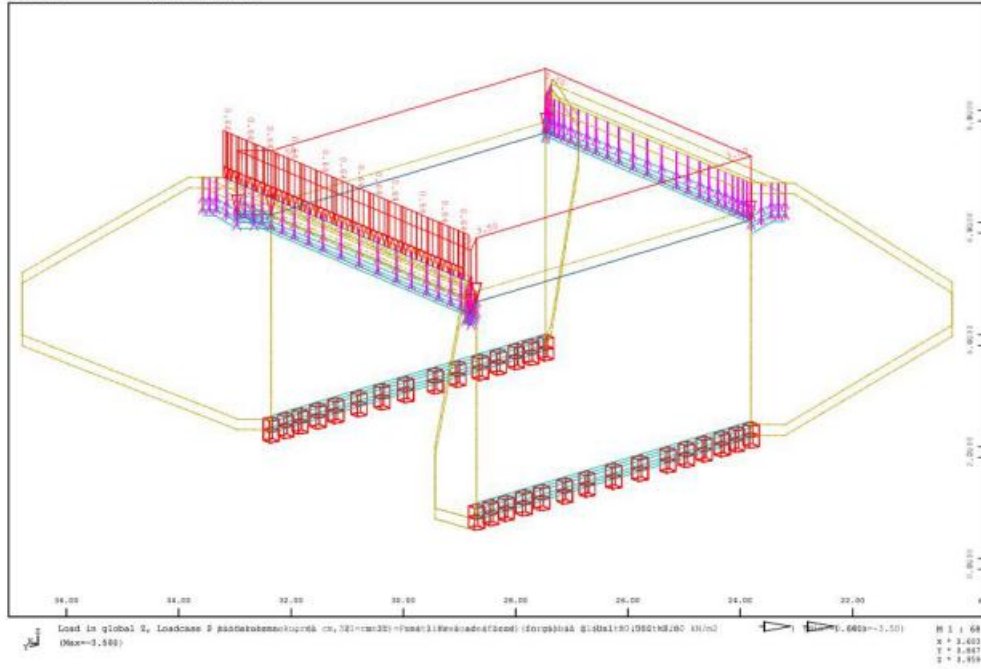
Alapinnassa rautamäärässä huomioitiin puolet vanhoista raudoista. Yläpinnassa vahoja rautoja ei huomioitu niiden lyhyen pituuden vuoksi.

30.9.2013

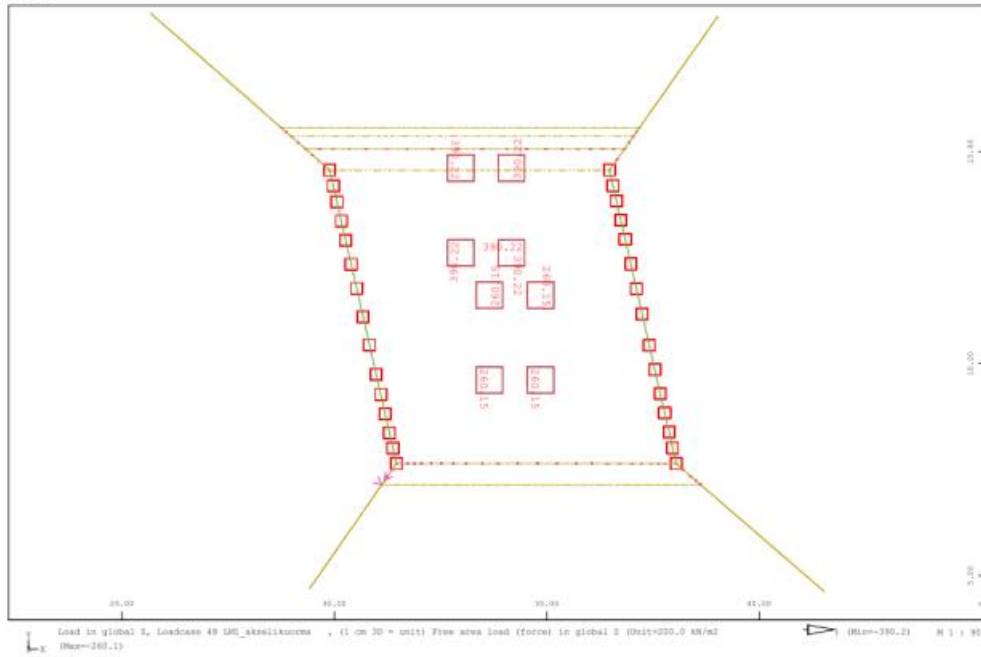
16UTS0055
18
Liite 1 / 5

Rakennemalli 1:

Pysyvät kuormat
Päällyste 3,5 kN/m²
Kaide 0,64 kN/m



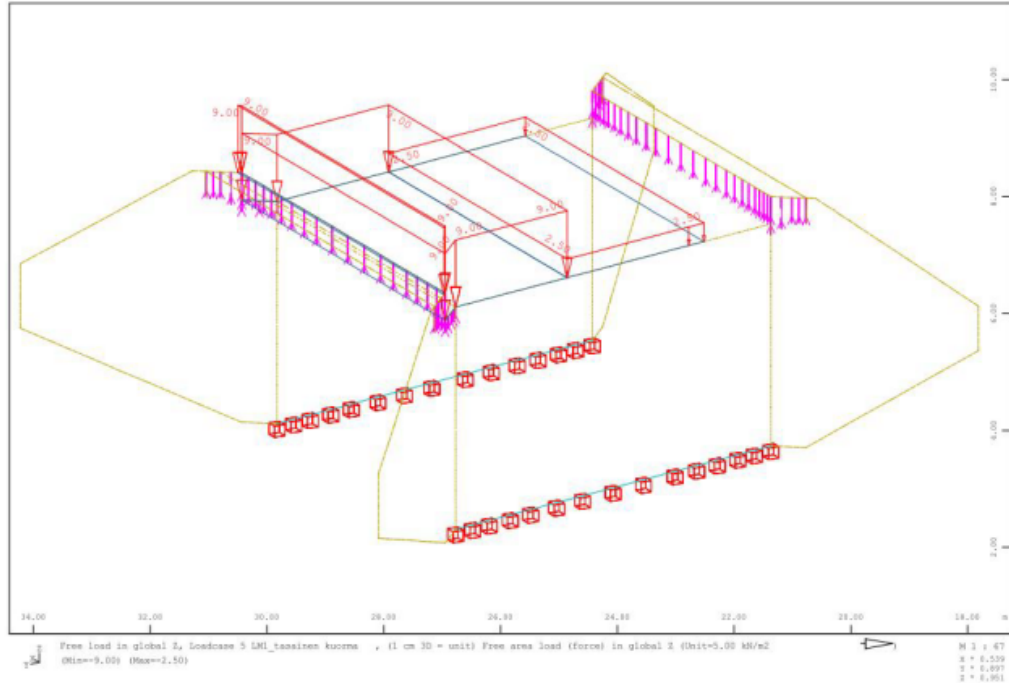
LM1



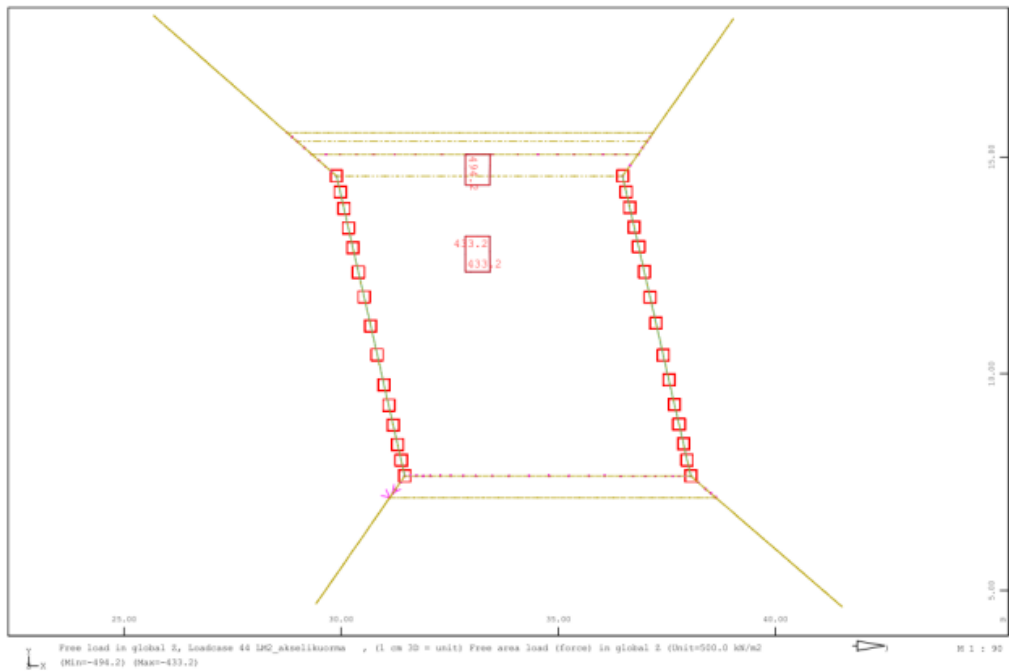
30.9.2013

16UTS0055
19
Liite 1 2/5

LM1 UDL



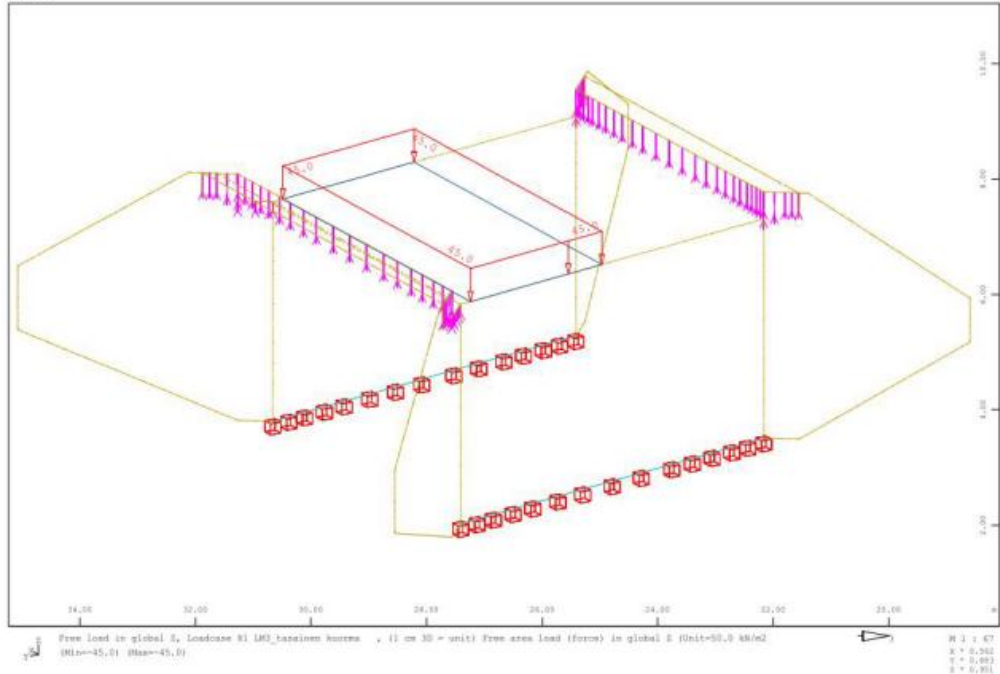
LM2



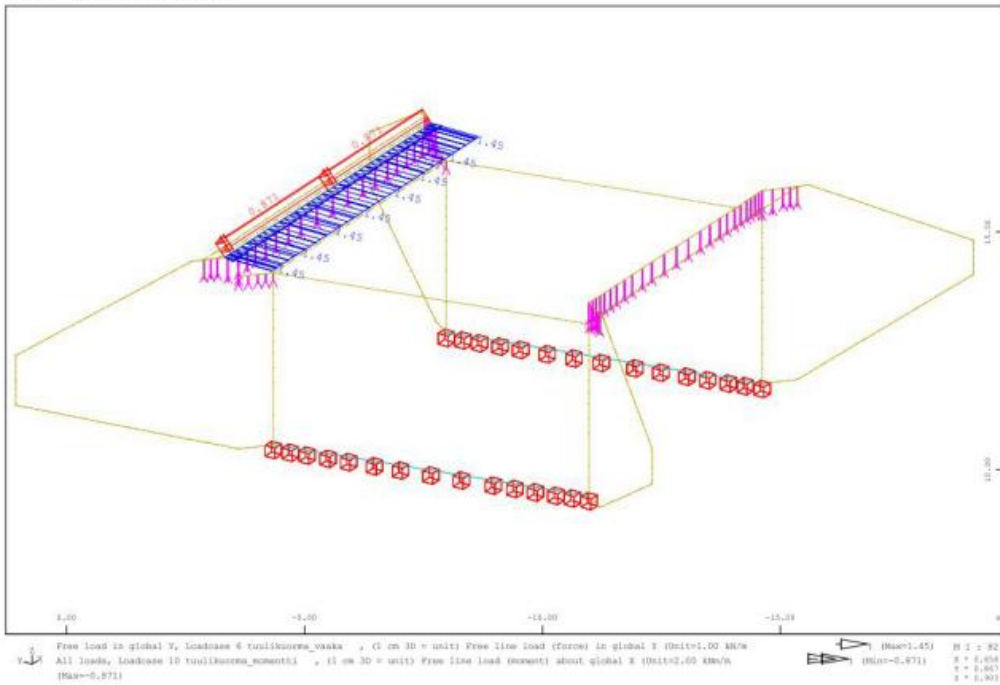
30.9.2013

16UTS0055
20
Liite 1 3/5

LM3



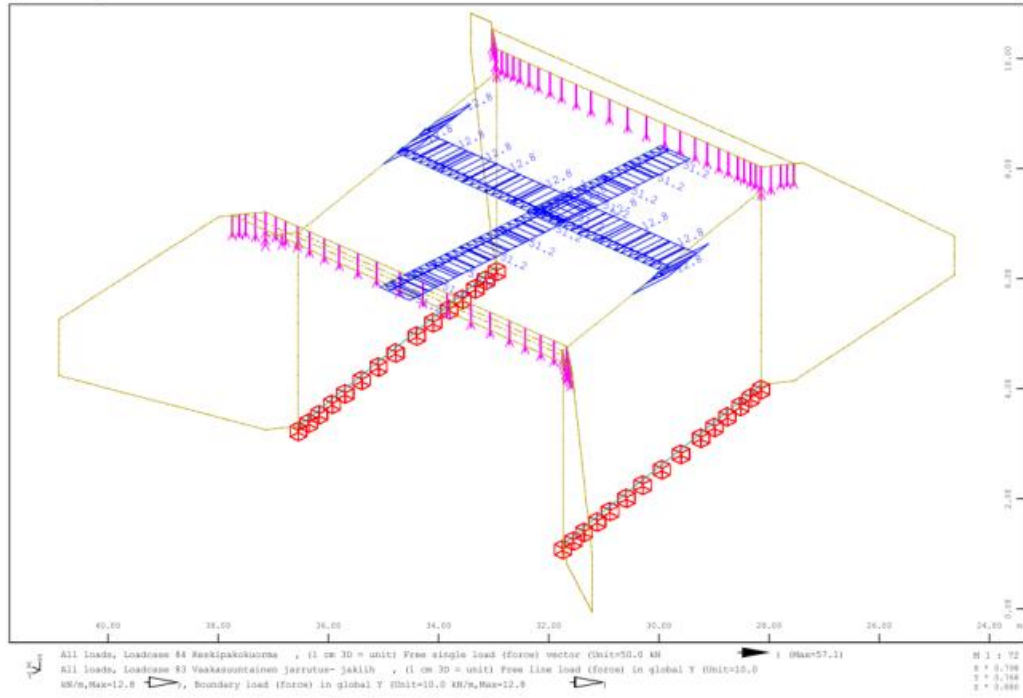
Tuulikuorma
 $F_{wk} = 1.452 \text{ kN/m}$
 $M_{wk} = 0,8712 \text{ kNm/m}$



30.9.2013

16UTS0055
21
Liite 1 4/5

Vaakuormat:
 $Q_{lk} = 51,21 \text{ kN/m}$
 $Q_{trk} = 12,8 \text{ kN/m}$
 $Q_{tk} = 57,14 \text{ kN}$

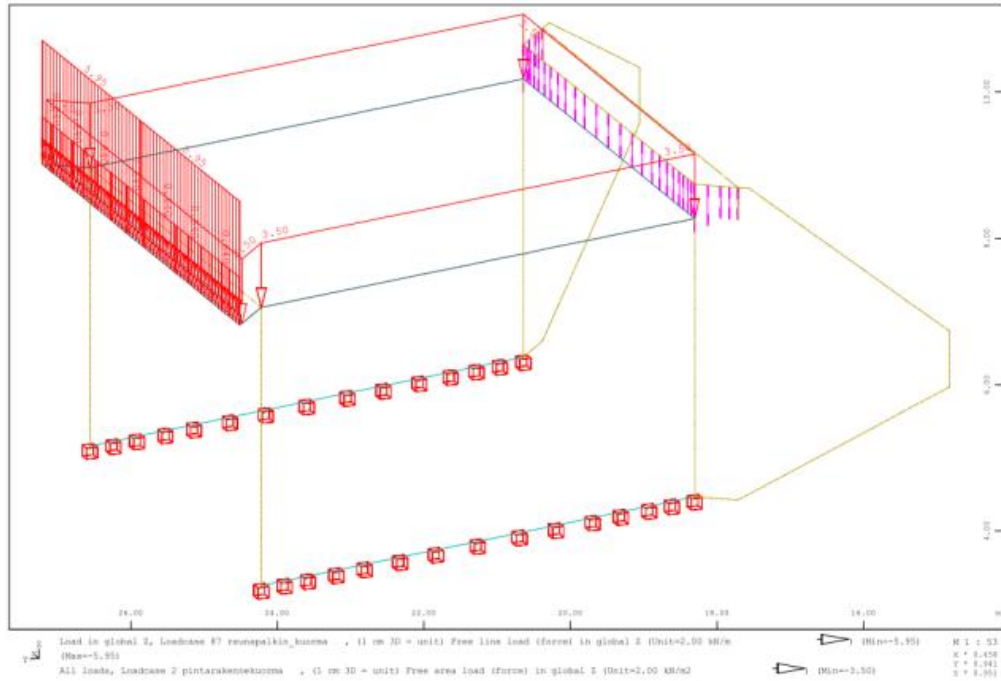


30.9.2013

16UTS0055
22
Liite 1 5/5

Rakennemalli 2:

Pysyvät kuormat
Päällyste 3,5 kN/m²
Kaide 0,64 kN/m
Reunapalkki 5,946 kN/m



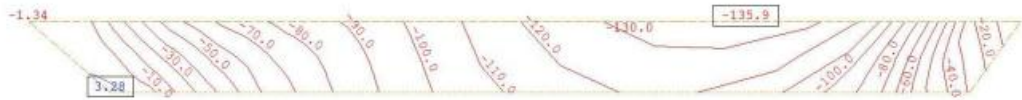
LM1 teli- ja vaakakuorma, LM2, LM3, tuulikuormat ja vaakakuormat on sijoitettu rakennemalliin 2 samoin kuin rakennemallissa 1.

30.9.2013

16UTS0055
24
Liite 2 2/4



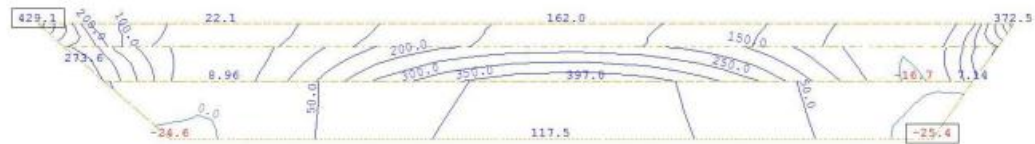
Kuva 14. Max normaalivoima x-suunta (34.2 kN/m)



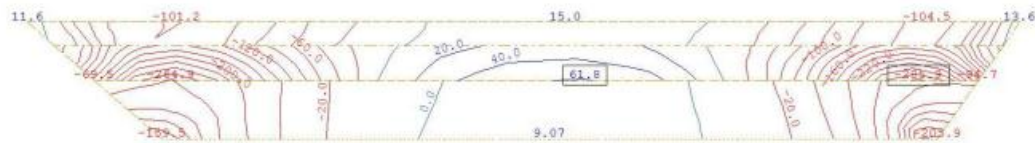
Kuva 15. Min normaalivoima x-suunta (-135.9 kN/m)

-KRT (rakennemalli 1)

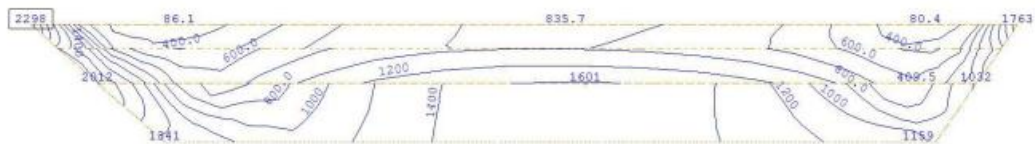
- Tavallinen yhdistelmä:



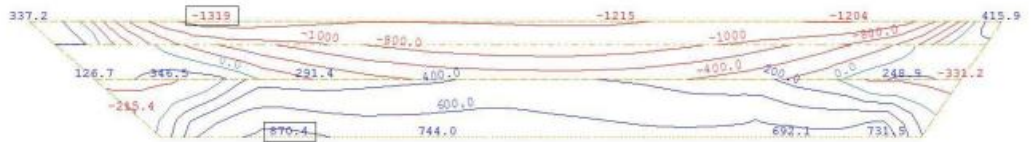
Kuva 16. Max momentti x-suunta (429.1 kNm/m)



Kuva 17. Min momentti x-suunta (-285.9 kNm/m)



Kuva 18. Max normaalivoima x-suunta (2298 kN/m)

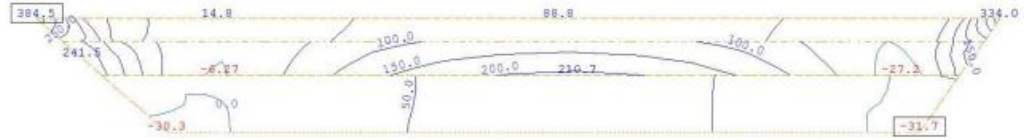


Kuva 19. Min normaalivoima x-suunta (-1319 kN/m)

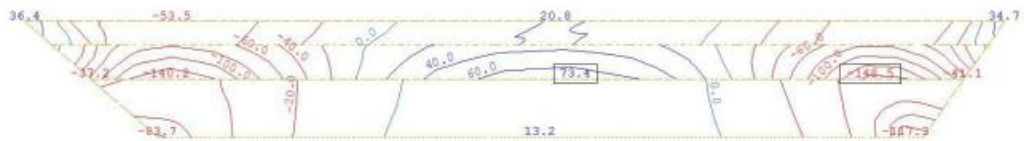
30.9.2013

16UTS0055
25
Liite 2 3/4

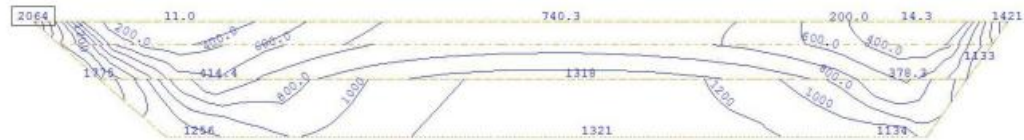
- Pitkäaikaisyhdistelmä:



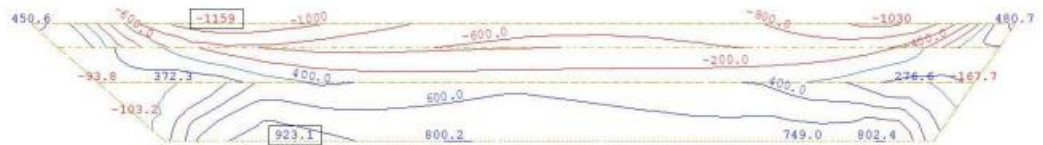
Kuva 20. Max momentti x-suunta (384.5 kNm/m)



Kuva 21. Min momentti x-suunta (-148.5 kNm/m)



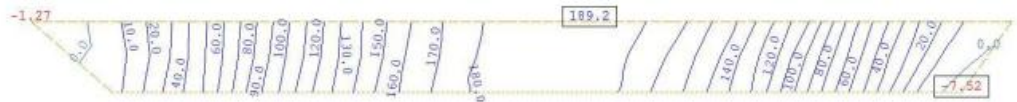
Kuva 22. Max normaalivoima x-suunta (2064 kN/m)



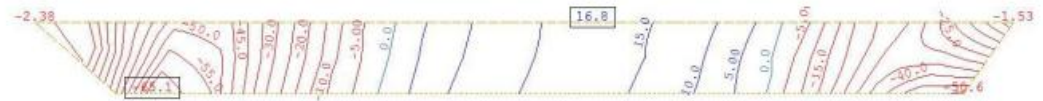
Kuva 23. Min normaalivoima x-suunta (-1159 kN/m)

-KRT (rakennemalli 2)

- Tavallinen yhdistelmä:



Kuva 24. Max momentti x-suunta (189.2 kNm/m)



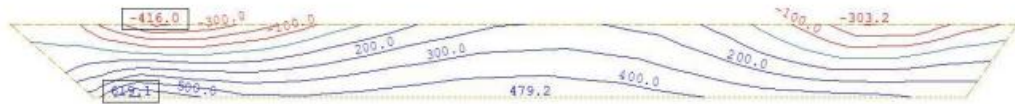
Kuva 25. Min momentti x-suunta (-65.1 kNm/m)

30.9.2013

16UTS0055
26
Liite 2 4/4

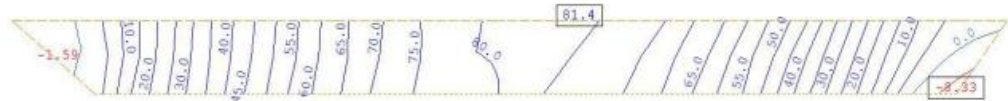


Kuva 26. Max normaalivoima x-suunta (1705 kN/m)

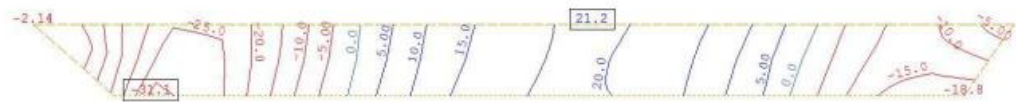


Kuva 27. Min normaalivoima x-suunta (-416 kN/m)

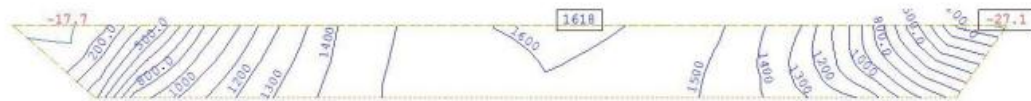
- Pitkäaikaisyhdistelmä:



Kuva 28. Max momentti x-suunta (81.4 kNm/m)



Kuva 29. Min momentti x-suunta (-31.1 kNm/m)



Kuva 30. Max normaalivoima x-suunta (1618 kN/m)



Kuva 31. Min normaalivoima x-suunta (-323.6 kN/m)