

Perttu Tahvola

**SELVITYS TERÄSBETONISILTOJEN PÄÄLLYSRAKENTEEN
BETONI- JA TERÄSMÄÄRISTÄ**

**SELVITYS TERÄSBETONISILTOJEN PÄÄLLYSRAKENTEEN
BETONI- JA TERÄSMÄÄRISTÄ**

Perttu Tahvola
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, Rakennesuunnittelu

Tekijä: Perttu Tahvola

Opinnäytetyön nimi: Selvitys teräsbetonisiltojen päällysrakenteen teräs- ja betonimääristä

Työn ohjaajat: Antti Ukonmaanaho, Pekka Pulkkinen (WSP Finland Oy)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 55+9

Siltojen ainemenekit vaihtelevat paljon, kun käytetään eri siltatyyppejä ja rakennemittoja. Ainemenekien tarkastamiseen on luotu useita matemaattisia malleja, mutta ne pohjautuvat jo suhteellisen vanhaan tilastoaineistoon. Tarkastajalle olisi hyödyllistä, jos hän pystyisi vertaamaan siltojen ainemenekkejä nykyiseen yleiseen tasoon ja huomaamaan siten mahdolliset poikkeamat heti.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli luoda teräsbetonisiltojen ainemenekien arvioimiseen erilaisia apuvälineitä, jotka pohjautuvat uusimpaan saatavilla olevaan tilastoaineistoon toteutuneiden siltojen ainemenekkeistä. Tilastoaineistona käytettiin siltojen ominaistietokortteja, jotka kerättiin pääosin Liikenneviraston ylläpitämästä taitorakennerekisteristä. Aineisto sijoittui ajallisesti viimeiselle 13 vuodelle. Opinnäytetyö tehtiin Liikennevirastolle ja Suomen Rakennusinsinöörien Liitolle toimeksiantona WSP Finland Oy:n kanssa. Selvitys oli osa Suomen rakennusinsinöörien Liiton uutta siltakäsikirja -hanketta.

Työssä perehdyttiin aluksi siltasuunnittelun periaatteisiin ja tilastollisiin tutkimusmenetelmiin. Selvitys toteutettiin otantatutkimuksena. Tilastoaineistona toimitteet ominaistietokortit jakautuivat vuosien 2003-2016 välille. Korttien tiedot syötettiin Excel-taulukkoon, jossa niitä analysoitiin regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysissä pyrittiin tilastollisesti selittämään siltojen päällysrakenteen betoni- ja teräsmääriä erilaisten rakenteellisten mittojen suhteen.

Aineiston pohjalta saatiin luotua erilaisia kaavioita havainnoimaan laatta- ja palkkisiltojen teräs- ja betonimääriä eri muuttujien avulla. Valittujen muuttujien välillä voitiin korkean selityskertoimen johdosta todeta olevan selvä yhteys. Selvityksen tuloksia voidaan käyttää suunnitelmien tarkastamisen apuvälineinä. Kaaviot ovat kuitenkin tarkkoja vain lähdeaineiston mitta-alueella, joten niitä tulee käyttää varauksella ja vain suuntaa antavina.

Asiasanat: Siltasuunnittelu, sillanrakennus, määrälaskenta, teräsbetonisilta, ainemenekki, laattasilta, palkkisilta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme of Civil Engineering, Structural Designing

Author: Perttu Tahvola

Title of thesis: Research of Steel and Concrete Quantities of Reinforced Concrete Bridges

Supervisors: Antti Ukonmaanaho, Pekka Pulkkinen (WSP Finland Oy)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017 Pages: 55+9

Reinforced concrete bridges are the most common bridges in Finland. Most of the material costs of building reinforced concrete bridges are formed of steel and concrete quantities. The eventual material quantities depend on many dissimilar variables and these quantities need to be estimated in several stages of designing. Many mathematical models are made to simplify verifying the validity of the quantities but they are based on comparatively old data.

The objective of this thesis was to create different tools based on already existing bridges to estimate the material quantities of reinforced concrete bridges. Info cards of existing bridges were used as a statistic data. The data consisted of bridges built between years 2003 and 2016. The research was commissioned by the Finnish Transport Agency and it was executed with WSP Finland Ltd. The results of the research can be used in the new Handbook on Bridges by the Association of Finnish Civil Engineers.

The research was carried out by sampling. A computer program were used to analyze the data collected from a register maintained by the Finnish Transport Agency. The analyzation was done by using regression analysis, which estimates the relationships among variables. The goal was to achieve connections between material quantities and structural dimensions of the bridges.

As a result of this research, different charts and mathematical formulas were made to demonstrate the steel and concrete quantities of concrete slab bridges and pre-stressed concrete girder bridges. The results can be used to inspect the material quantities of these types of bridges. The charts give accurate estimates only in the same range of dimensions than the bridges, which they are based on. The results can be considered reliable due to the correlation coefficients, which were high enough in almost every chart.

Keywords: Design of highway bridges, bridge construction, quantity surveying, reinforced concrete bridges

ALKULAUSE

Haluan kiittää Liikennevirastoa mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja WSP Finland Oy:tä, joka mahdollisti työn toteuttamisen. Erityiskiitokset WSP Finland Oy:n Pekka Pulkkiselle asiantuntevasta ohjauksesta ja arvokkaista kommentteista. Kiitän myös Antti Ukonmaanahoa työni kommentoinnista ja ohjaamisesta.

Oulussa 9.5.2017

Perttu Tahvola

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYSLUETTELO	6
1 JOHDANTO	8
2 BETONISET TIESILLAT SUOMESSA	9
2.1 Tiesiltojen lukumäärä	9
2.2 Yleisimmät teräsbetoniset siltatyypit	11
2.2.1 Kehäsillat	11
2.2.2 Laattasillat	12
2.2.3 Palkkisillat	13
3 SILTASUUNNITTELU	15
3.1 Siltasuunnittelun vaiheet	15
3.1.1 Esisuunnittelu	16
3.1.2 Yleissuunnittelu	16
3.1.3 Siltasuunnitelman laatiminen	17
3.1.4 Rakennussuunnittelu	17
3.2 Siltojen määrälaskenta	18
4 KÄYTETYT MENETELMÄT	21
4.1 Otantatutkimuksen periaatteet	21
4.1.1 Otannan vaiheet	21
4.1.2 Otantamenetelmän valinta	22
4.1.3 Otokoko	23
4.2 Lineaarinen regressioanalyysi	23
4.2.1 Suoran yhtälö	24
4.2.2 Pearsonin korrelaatiokerroin	25
4.2.3 Selityskerroin	25
5 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT	27
5.1 Tutkimuksen tavoite	27

5.2 Aikaisemman tiedon kuvaus	28
6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	30
6.1 Tutkimusmenetelmän valinta	30
6.2 Tutkimusaineiston kerääminen	30
6.3 Aineiston analysointi	34
7 ANALYYSIMALLIT SILTATYYPEITTÄIN	36
7.1 Teräsbetoniset laattasillat	37
7.2 Teräsbetoniset jännitetyt palkkisillat	42
8 POHDINTA	49
8.1 Tutkimuksen luotettavuus	49
8.2 Yhteenveto tuloksista	50
LÄHTEET	53
LIITTEET	55

1 JOHDANTO

Teräsbetoniset sillat ovat Suomessa yleisimpiä siltoja. Niiden rakentamisessa suurimmat materiaalikustannukset syntyvät luonnollisesti betoni- ja teräsmääristä. Suomessa siltasuunnittelu on jaettu useaan eri vaiheeseen, joissa ainemenukkit tarkentuvat suunnittelun edetessä. Lopulliset ainemenekkit ovat kuitenkin monen tekijän summa ja näitä määriä joudutaan usein arvioimaan eri suunnitteluvaiheissa.

Siltojen ainemenekkien tarkastamiseen on luotu useita matemaattisia malleja, mutta ne pohjautuvat jo verrattain vanhaan tilastoaineistoon. Siltasuunnittelu ei ole kokenut Suomessa suuria muutoksia viime aikoina, mutta esimerkiksi eurokoodien mukaantulo suunnitteluun on voinut vaikuttaa siltojen ainemenekkeihin uusien kuormituskaavioiden myötä.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kerätä uusin saatavilla oleva tilastoaineisto ja selvittää, kuinka siltojen ainemenekkit ovat muuttuneet viimeisen vuosikymmenen aikana. Työn tuloksena on tarkoitus luoda analyysimallien avulla erilaisia tilastoihin pohjautuvia kaavioita, joiden avulla voitaisiin vertailla siltojen betoni- ja teräsmenektejä yleiseen tasoon vastaavista silloista. Tarkoituksena on luoda ensisijaisesti tilaajalle uusimpaan tilastoaineistoon pohjautuvia apuvälineitä ainemenekkien oikeellisuuden tarkistamiseen.

Sillat voidaan jakaa rakenneosiltaan alusrakenteisiin ja päällysrakenteisiin. Tässä työssä käsitellään vain siltojen päällysrakenteiden betoni- ja teräsmenektejä. Selvitys koskee suurimmilta osin Liikenneviraston hallinnoimia betonisia tiesiltoja, mutta mukaan on otettu myös joitakin kuntien siltoja. Työssä ei käsitellä kevyenliikenteen siltoja. Selvitys tehdään yleisimmistä siltatyypeistä.

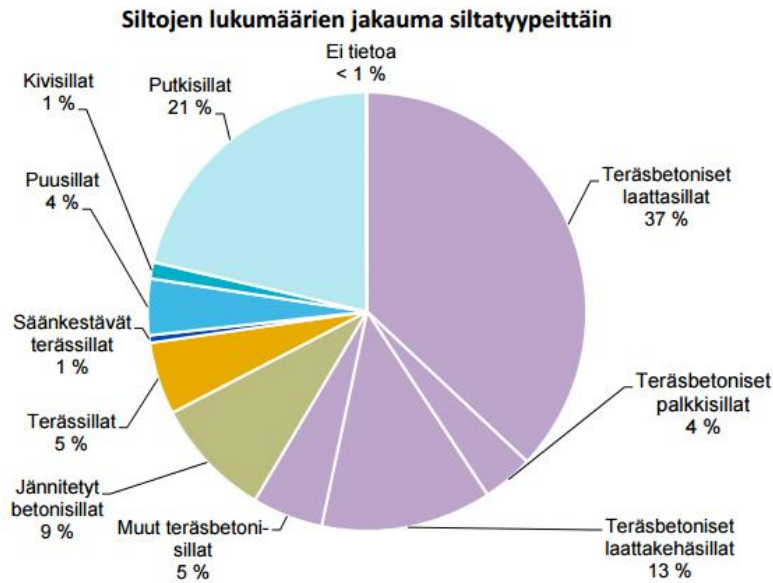
2 BETONISET TIESILLAT SUOMESSA

Betoniset sillat muodostavat selvästi suurimman osan Suomen silloista. Betonin hyviä puolia on sen suuri jäykkyys ja omapainon suhde liikkuvaan kuormaan. Taipumat pysyvät pieninä ja betoni ei altistu helposti värähtelylle. Massiivisuutensa puolesta betoni kestää myös hyvin törmäyksiä. Betonin vahvuuksia esteettisesti on sen monipuolisuus. (1, s.119 -120)

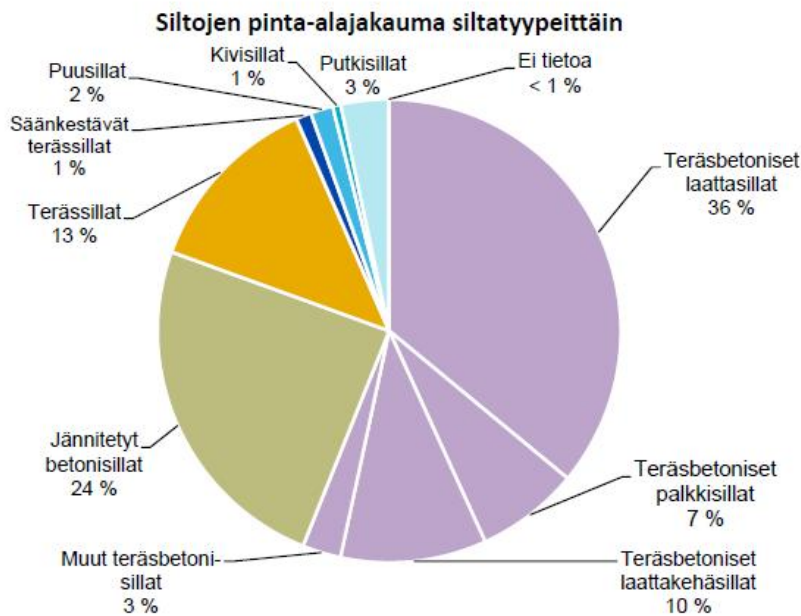
2.1 Tiesiltojen lukumäärä

Suomen sillasto voidaan karkeasti jakaa rautatiesiltoihin ja tiesiltoihin. Liikenneviraston hallinnassa olevia tiesiltoja oli siltatilastojen mukaan vuoden 2016 alussa 15140 ja rautatiesiltoja 2147. (2, s.3)

Tiesiltoihin luetaan kaikki Suomen tieverkostoon kuuluvat ajoneuvo- ja kevyenliikenteen sillat. Liikenneviraston siltatilastoista ilmenee, että betoniset sillat muodostavat lukumäärältään melkein 70 prosenttia Suomen tiesilloista (KAAVIO 1). Jos vertailussa otetaan huomioon myös siltojen koko kannen pinta-alan mukaan, muodostavat betonisillat jopa 80 prosenttia kaikista Suomen tiesilloista (KAAVIO 2). Liikenneviraston hallinnoimia betonisia tiesiltoja oli vuoden 2016 alussa 10213. (2, s.51-52)



KAAVIO 1. Suomen tiesiltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (2, s. 29)



KAAVIO 2. Suomen tiesiltojen pinta-alajakauma siltatyypeittäin (2, s.29)

Suurin osa tiesilloista on suunniteltu Tielaitoksen edeltäjän, TVH:n, laatimilla kuormituskaavioilla. Nykyiset eurokoodin mukaiset suunnittelukuormat tulivat

voimaan 2010 vuoden kesäkuusta lähtien. Siltatilastoista nähdään, että Suomessa on vähän yli 300 eurokoodin mukaisilla kuormitusstandardeilla suunniteltua siltaa, joista betonisia on noin 200 kappaletta. (2, s.51 -52)

2.2 Yleisimmät teräsbetoniset siltatyypit

Teräsbetonisiltojen siltatyypin määräytyminen on usean tekijän summa. Teknis-taloudellisesti suurin määräävä tekijä on jännemitta. Tietyn jännemitan ylittyessä ei ole enää taloudellisesti järkevää lisätä välitukien määrää, vaan halvemmaksi tulee muuttaa sillan teknisiä rakenteita niin, että ne kantavat pidemmälle. Usein nämä ratkaisut eivät kuitenkaan ole huomattavasti lyhemmillä jännemitoilla enää järkeviä.

Myös siltapaikalla on suuri merkitys siltatyypin valintaan. Esimerkiksi vesistösil-lat vaativat yleensä pidempiä jännemittoja kuin esimerkiksi kevyenliikenteen alikäytävät. Risteyssilloissa alittavien väylien sijainti vaikuttaa olennaisesti käytettäviin jännemittoihin ja siten siltatyypin valintaan.

2.2.1 Kehäsillat

Kehäsilta on Suomessa hyvin yleinen siltatyyppi etenkin kevyenliikenteen alikuluna. Kehäsilloissa maatuet toimivat päällysrakenteen kanssa yhdessä muodostaen yhden rakennekokonaisuuden. Kehäsilloissa käytetään yleensä kannen päällä soratäyttöä. Kehäsilloissa ei ole erillistä liikuntasaumaa, joten tien asfalttikerros menee sillan yli saumattomasti. (1, s.121)

Kehäsillat suunnitellaan Suomessa yleensä Liikenneviraston tyyppiirustusten mukaan. Kehätyyppejä on kaksi: vinojalkainen laattakehäsilta (KUVA 1) ja suorajalkainen laattakehäsilta (KUVA 2).



KUVA 1. Teräsbetoninen vinojalkainen laattakehäsilta Blk II (3, s.1)

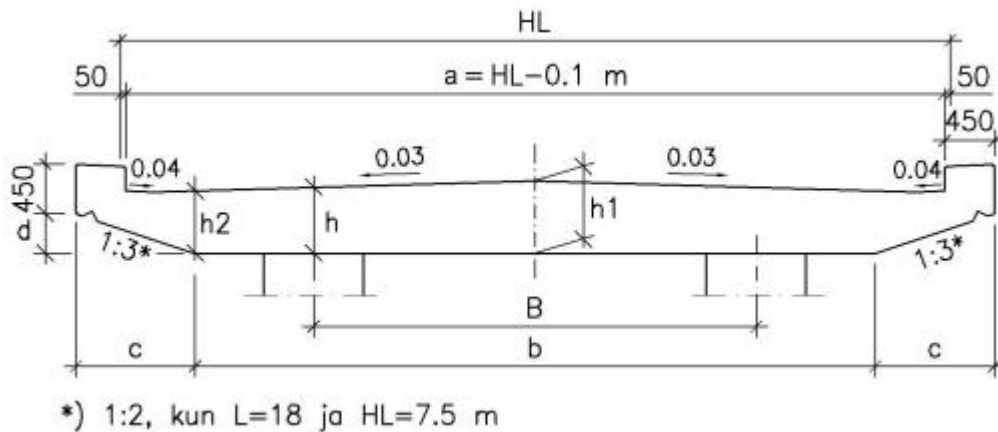


KUVA 2. Suorajalkainen laattakehäsilta Blk I (4, s.2)

2.2.2 Laattasillat

Laattasillat ovat rakenteeltaan yksinkertaisimpia siltoja. Niissä sillan päällysrakenne muodostuu kantavasta betonilaatasta. Laattasillat voidaan tehdä joko jännitettyinä tai jännittämättöminä. Näistä jälkimmäinen on Suomessa yleisempi. Jatkuvissa laattasilloissa ei yleensä käytetä kannella soratäyttöä sen painon takia, vaan asfaltti tulee suoraan kannen vedeneristeen päälle.

Laattasiltojen muottityöt ovat palkkisilloja helpompia toteuttaa. Laattasiltojen tyypillisiä käyttökohteita ovat mm. risteysalueet. Risteyssiltoina laattasiltojen jännemitat määräytyvät alittavien väylien mukaan. Sillan päädyt voidaan rakentaa maatukina tai ulokkeellisina. Laattasilat ovat taloudellisia noin 10-20 metrin jännemittaisina. Kuvassa 3 on laattasilan tyypillinen poikkileikkaus. (1, s.125)



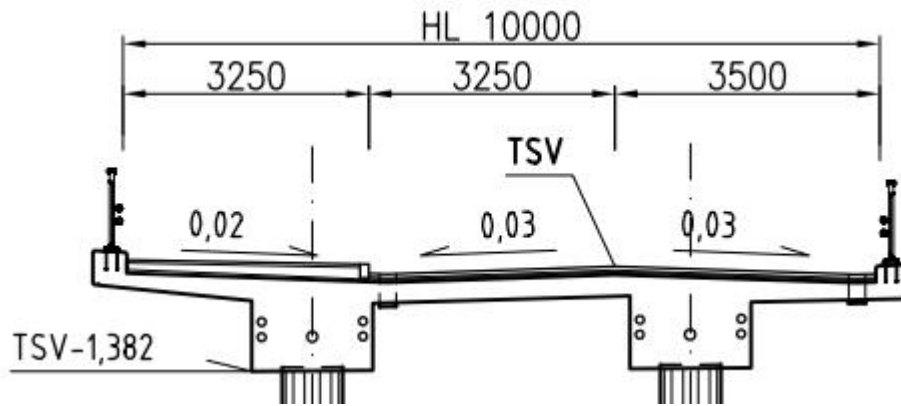
KUVA 3. Teräsbetonisen laattasilan poikkileikkaus (5, s.10)

2.2.3 Palkkisillat

Palkkisillat tulevat laattasiltoja taloudellisemmiksi käytettäessä pidempiä jännemittoja. Palkkisillat eroavat laattasilloista nimensä mukaisesti siten, että laatalle kerätyt kuormat jaetaan laatan alla oleville, sillan pituussuunnassa kantaville palkeille. Jännemittojen kasvaessa tarpeeksi suuriksi, ei ole enää taloudellista kasvattaa laattasilan rakennepaksuutta. Jännitettyjen laattapalkkisiltojen jännemitta-alue vaihtelee tyypillisesti 24-45 metrin välillä. (1, s.132)

Teräsbetoniset palkkisillat tehdään yleensä jännitettyinä rakenteina. Palkkisilta jännitetään yleensä sillan päistä. Palkkien sisään asennetaan ennen valua kaapeliputkia jänneteräksiä varten. Valun jälkeen jänneteräksiset jännitetään, jolloin saadaan aikaan kokoon puristava voima. Tarkoituksena on poistaa vetolujuuden aiheuttamat rajoitukset ja käyttää hyväksi betonin hyvää puristuslujuutta. Näin palkki saadaan kantamaan pidemmälle. Jännittäminen aiheuttaa kuitenkin

sillan päihin ankkurivoimia, jotka tulee ottaa huomioon sillan päätyjen raudoitusten suunnittelussa. Kuvassa 4 on tyypillinen poikkileikkaus jännitetystä jatkuvasta palkkisillasta.



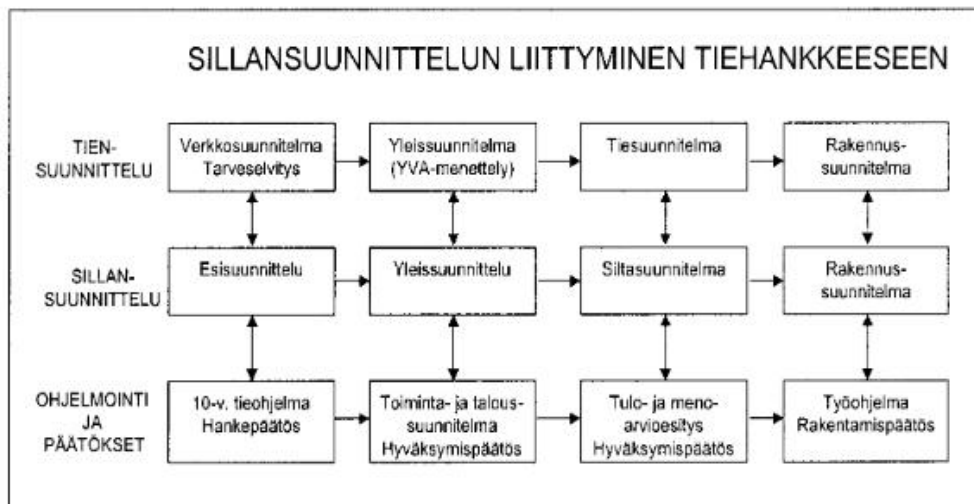
KUVA 4. Jännitetyn palkkisillan poikkileikkaus (6.)

3 SILTASUUNNITTELU

Siltasuunnittelussa lähtökohtana on teknistaloudellinen ratkaisu, joka tyydyttää kaikkia osapuolia. Myös estetiikalla on merkitystä sillan sovittamisessa siltapaikkaan. Siltasuunnittelu on Suomessa erittäin ohjattua toimintaa, ja suunnittelu-prosessia valvotaan tarkasti. Liikenneviraston julkaisemat lukuisat ohjeet ohjaavat suunnittelua.

3.1 Siltasuunnittelun vaiheet

Siltojen rakentaminen sisältyy lähes aina tieverkoston rakentamiseen, joten myös siltojen suunnittelu on sidottu vahvasti tieverkoston suunnitteluun. Näin ollen sillansuunnittelu tehdään yleensä tiesuunnittelun vaiheiden mukaisesti. Oheisessa kuvassa havainnoidaan sitä, kuinka siltasuunnittelu liittyy tiesuunnitteluun. (7, s.9)



KUVA 3. Sillansuunnittelun liittyminen tiehankkeen vaiheisiin (7, s.9)

Sillansuunnittelu voidaan jakaa neljään päävaiheeseen, jotka ovat esisuunnittelu, yleissuunnittelu, siltasuunnitelman laatiminen ja rakennussuunnittelu. Vai-

heita käytetään kuitenkin tapaus- ja hankekohtaisesti niiden vaatimassa laajuudessa. Pienemmissä hankkeissa vaihteita ei yleensä ole niin montaa, tai ne eivät ainakaan erotu niin selkeästi toisistaan. (7, s.9)

3.1.1 Esisuunnittelu

Sillan esisuunnittelu liittyy mm. maankäyttöön, liikennejärjestelmien suunnitteluun ja väylien tarveselvitykseen. Esisuunnittelussa käydään läpi erilaisia väylävaihtoehtoja ja tutkitaan eri vaihtoehtojen vaikutuksia ympäristöön ja hankkeen kokonaiskustannuksiin. Näistä valitaan sopivimmat vaihtoehdot, jotka tutkitaan tarkemmin yleissuunnitteluvaiheessa. Esisuunnittelua ei yleensä tarvita, jos siltapaikka on jo tarkasti tiedossa ja siltatyyppi hyvin tavanomainen. (7, s.10)

Esisuunnittelussa tuotetaan yleensä seuraavat asiakirjat:

- esisuunnitelmaraportti
- luonnospiirustukset potentiaalisimmista vaihtoehdoista
- kustannusarviot
- havainnekuvat tarvittaessa
- yhteenvetotaulukko silloista eri vaihtoehdoissa. (7, s.10)

3.1.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnittelussa tutkitaan esisuunnittelussa määritellyjä siltavaihtoehtoja ja tehdään niistä luonnokset. Luonnoksissa vertaillaan mm. siltatyyppiä, pituutta, jännemittoja ja alustavia kustannuksia. Perustamisratkaisut tehdään alustavien pohjatutkimusten perusteella. Yleissuunnittelun tuloksena laaditaan mm. alustavat pääpiirustukset ja kustannusarviot siltasuunnitelmaa varten. (7, s.10 -11)

Yleissuunnittelun pohjalta laadittavat asiakirjat:

- luonnokset
- alustavat pääpiirustukset
- suunnitelmaselostus
- alustavat kustannusarviot

- havainnekuvat tarvittaessa
- suositus jatkotoimenpiteistä. (7, s.11)

3.1.3 Siltasuunnitelman laatiminen

Tutkituista siltavaihtoehdoista valitaan tyypillisesti sopivin. Lupakäsittelyä varten sillasta laaditaan pääpiirustus. Tässä vaiheessa siltapaikan pohjasuhteista tulisi olla niin tarkkaa tietoa, että jokaiselle tuelle pystytään laatimaan teknisesti ja taloudellisesti sopivat perustamisratkaisut. (7, s.11 -12)

Sillan rakentamiskustannusten tulisi olla tässä vaiheessa niin tarkasti tiedossa, etteivät ne muutu enää merkittävästi. Urakkamuodoissa, joissa urakoitsija vastaa myös rakennussuunnitelmista, siltasuunnitelmaa käytetään yleensä tarjouspyyntöaineistona. (8, s.14)

Siltasuunnitelman sisältö:

- pääpiirustus
- pääpiirustus vesilain mukaista lupaa/tiesuunnitelmaa varten
- määräluettelo
- kustannusarvio,
- suunnitelmaselostus
- siltakohtaiset tuotevaatimukset
- toteutustapaehdotus tarvittaessa
- havainnekuvat tarvittaessa (7, s.12)

3.1.4 Rakennussuunnittelu

Rakennussuunnitteluvaiheessa hyväksytyn siltasuunnitelman pohjalta laaditaan täsmälliset suunnitelmat, joiden perusteella työ voidaan toteuttaa. Nämä käsittävät mm. sillan yleispiirustuksen, rakennepiirustukset, määräluettelot, kustannusarvion, sekä työtapoihin ja menetelmiin liittyvät tarkat selostukset ja ehdotukset. (7, s.12 -13)

Sillan rakennussuunnitelma sisältää seuraavat asiakirjat:

- yleispiirustus
- rakennepiirustukset
- siltakohtaiset laatuvaatimukset
- määräluettelot
- kustannusarvio
- rakennelaskelmat
- työtapaehdotukset
- erityisrakenteiden suunnitelmat (maadoitus, koneistot, sähkö). (7, s.13 - 14)

3.2 Siltojen määrälaskenta

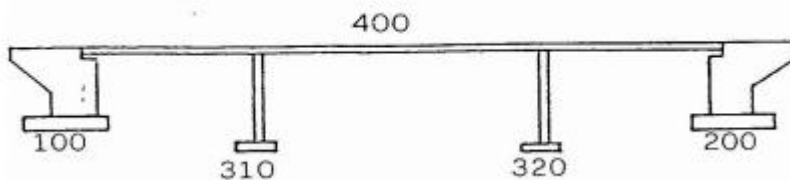
Sillansuunnittelija laatii siltasuunnitelmien pohjalta määräluettelon sillan rakentamiseen tarvittavista määristä ja massoista. Määräluettelo tarvitaan hankkeen työsuunnitelmaan sekä kustannusarvioon. Määräluettelon laajuus ja tarkkuus lisääntyvät suunnitteluvaiheiden edetessä. Siltojen määrälaskenta tehdään Liikenneviraston Sillan määräluettelo-ohjeen mukaisesti rinnakkain INFRA 2006 Rakennusosa- ja hankenimikkeistön kanssa. (9, s.9)

Määräluettelo sisältää erittelyn sillanrakentamisen raaka-aine- ja työmääristä rakennusosittain. Luettelo laaditaan INFRA 2006: mukaisessa numerojärjestyksessä. Määrille esitetään myös sijaintikoodi. Sijaintikoodit esitetään määräluettelon alussa ja tarvittaessa selvennetään piirroksin. Kuvissa 4 ja 5 on esimerkkejä sijaintikoodien käytöstä. Sijaintikoodeja voi myös tarkentaa käyttämällä alumerointia. Esimerkiksi sijaintikoodi 322 tarkoittaisi toisen välituen toista pilaria. (10, s.11-12)

Sijaintikoodit

Koko silta	000
Maatuki 1	100
Välituki 1	310
Välituki 2	320
Maatuki 2	200
Päällysrakenne	400
Varusteet ja laitteet	600
Muut sillapaikan rakennusosat	900

KUVA 4. Sijaintikoodien esittäminen määräluettelon kansilehdessä. (9, s.51)



KUVA 5. Esimerkki sijaintikoodeista, jatkuva laatta- tai palkkisilta. (10, s.13)

Sijaintikoodeja ja rakennusosien erottelua käytetään hyväksi muun muassa siltojen kustannusarvioissa. INFRA 2006 nimikkeistössä rakennusosat on eritelty nelinumeroisilla pääotsikoilla. Lisäksi tarkemmat lisäerittelyt tehdään tarvittaessa kaksoispisteellä, esimerkiksi:

4221 Betonirakenteet päällysrakenteessa

4221:1 Muotit

4221:2 Raudoitteet

4221:3 Jänneraudoitteet

4221:4 Betoni

Määräluettelo sisältää suunnitelmista laskettavissa olevat teoreettiset materiaalmäärät. Sillanrakennuksen yksikköhinnat on sidottu näihin määriin sisältäen myös työn osuudet. Sillan määräluettelossa ei siis erikseen eritellä materiaalin

hankintaa ja asennusta, vaan ainoastaan sen teoreettinen ainemenekki valmiissa rakenteessa. (10, s.10-11)

4 KÄYTETYT MENETELMÄT

4.1 Otantatutkimuksen periaatteet

Kokonaistutkimuksessa tutkittavaan aineistoon sisältyy kaikki perusjoukon jäsenet. Perusjoukon ollessa suuri päädytään usein otantatutkimukseen. Tämä on yleensä halvempi ja nopeampi tapa saada luotettavaa tietoa koko perusjoukosta. Tiedon luotettavuuden takia otoksen tuleekin olla edustava osa perusjoukkoa.

4.1.1 Otannan vaiheet

Ennen otantaa on määritettävä tutkimuksen perusjoukko mahdollisimman tarkasti. Tämän jälkeen selvitetään, onko tutkittavasta kohdejoukosta olemassa jokin kattava rekisteriä, jota voitaisiin käyttää hyväksi tutkimuksessa. Otantatutkimuksessa täytyy tiedostaa koko ajan se, että otoksesta saadut tulokset ovat vain tietyllä todennäköisyydellä voimassa koko perusjoukossa. (11, s. 34)

Vaikka perusjoukko voidaan määritellä tarkastikin, joskus koko tutkittavaan aineistoon ei kuitenkaan ole mahdollista päästä käsiksi. Tällöin puhutaan kohdeperusjoukosta ja kehikkoperusjoukosta. Kohdeperusjoukkoon kuuluvat kaikki kiinnostuksen kohteena olevat yksiköt. Kehikkoperusjoukkoon kuuluvat vain ne yksiköt, jotka oli mahdollista tavoittaa tutkimuksen aikana. (11, s.34)

Satunnaistaminen on olennainen osa otantatutkimusta. Otokseen valitut yksiköt tulee valita sattumanvaraisesti. Muulloin otantavirheen määrittäminen luotettavasti on mahdotonta. (11, s.35)

Otannan vaiheet:

- Määritetään perusjoukko.
- Selvitetään löytyykö perusjoukkoa kuvaava rekisteri.
- Määritellään otosyksikkö.
- Valitaan otantamenetelmä.

- Ratkaistaan otoksen koko.
- Suunnitellaan toteutus.
- Suoritetaan otanta. (11, s.35)

4.1.2 Otantamenetelmän valinta

Käytettävä otantamenetelmä tulee valita tarkasti juuri kyseiseen tutkimustilanteeseen soveltuvaksi. Väärin valittu otantamenetelmä voi aiheuttaa tutkimukseen systemaattisia virheitä, joiden suuruuden arviointi on käytännössä mahdotonta. Yleisimmin käytetyt otantamenetelmät ovat seuraavat: yksinkertainen satunnaisotanta, systemaattinen satunnaisotanta ja ositettu otanta. (11, s.35 -36)

Yksinkertaisessa satunnaisotannassa jokaisella perusjoukon yksilöllä on yhtä suuri todennäköisyys tulla valituksi otokseen. Se on halpa ja nopea otantamenetelmä ja sopii käytettäväksi, kun perusjoukosta ei ole etukäteen tietoa tutkittavista ominaisuuksista, eikä niissä ole paljon vaihtelua. Yksinkertaisessa satunnaisotannassa otoksen yksiköt valitaan arpoen. (11, s.36)

Systemaattisessa satunnaisotannassa selvitetään suhteellinen otoskoko, eli jaetaan valittu otoskoko perusjoukon koolla ja poimitaan tämän perusteella perusjoukosta tasaisin välein yksiköitä otokseen. Tämä otantamenetelmä edellyttää, että perusjoukon yksiköt ovat tutkittavan muuttujan suhteen satunnaisessa järjestyksessä. (11, s.36)

Ositetussa otannassa perusjoukko jaetaan sopiviin ositteisiin, joista valitaan yksiköitä tapaukseen soveltuvalla tavalla. Jos jaetut ositteet ovat erisuuruisia, suositellaan suhteellista kiintiöintiä, jossa jokaisesta ositteesta valitaan tutkittavat yksiköt suhteessa ositteen kokoon. Mikäli ositteet ovat suhteellisen saman suuruisia, voidaan käyttää tasaista kiintiöintiä, eli valitaan jokaisesta saman verran tutkittavia yksiköitä. Joskus voidaan myös käyttää optimaalista kiintiöintiä, jolloin eri ositteisiin voidaan käyttää eri otantasuhdetta. Tällöin pitäisi käyttää myös tuloksia käsiteltäessä sopivaa painotusmenetelmään ositteiden välillä. Ositettu

otanta on tehokas menetelmä silloin, kun heterogeeninen perusjoukko voidaan jakaa pienempiin homogeenisiin osiin. (11, s.38-39)

4.1.3 Otokoko

Edustava otos edellyttää sitä, että se on valittu arpoen eikä harkiten. Jokaisen otokseen valitun yksikön on kuuluttava tutkittavaan perusjoukkoon. Näin ollen jokaisella perusjoukon yksiköllä tulisi olla yhtä suuri todennäköisyys päästä otokseen. Otoksoon valinta on usein tasapainottelua käytettävän ajan, tulosten tarkkuuden ja kustannusten välillä. Lähtökohtana on, että otoksesta saadaan samat tulokset kuin perusjoukosta. (11, s.41)

Otoksoon tulisi olla sitä suurempi, mitä enemmän hajontaa ilmenee tutkittavien määreiden suhteen. Myös tulosten tarkkuus vaikuttaa otoskokoon. Mikäli halutaan vain karkea arvio, riittää pienempi aineisto. (11, s.42)

Otoksen kokoon vaikuttaa myös valittu luottamustaso. Luottamustaso ilmaisee todennäköisyyden, että samat ominaisuudet löytyvät koko tutkittavasta perusjoukosta. Mitä suurempi luottamustaso valitaan, sitä suurempi täytyy myös otoksoon olla. Yleensä riittää 95 %:n luottamusväli siihen, että tutkimusta voidaan pitää luotettavana. (11, s.42)

Usein ajatellaan perusjoukon suuruuden vaikuttavan olennaisesti otoskokoon. Tämä kuitenkin yleensä määrää vain sen, tehdäänkö kokonaistutkimus vai otantatutkimus. Mitä suurempi perusjoukko on, sitä pienempi suhteellinen otoskoko yleensä riittää luotettavaan otantaan. Otoksoon laskemiseen on olemassa myös erilaisia kaavoja, mutta usein otoskoko valitaan käytännön kokemuksen perusteella. (11, s.44)

4.2 Lineaarinen regressioanalyysi

Regressioanalyysi on tilastollinen analysointimenetelmä, jossa tutkitaan selittävän muuttujan vaikutusta selitettävään muuttujaan. Regressioanalyysissä voidaan tutkia joko yhden tai useamman selittävän muuttujan vaikutusta yhtä ai-

kaa. Tarkoituksena on löytää muuttujien väliltä yhteyksiä ja kuvata niitä esimerkiksi regressiosuoran avulla. Muuttujien välistä lineaarista riippuvuutta tutkivaa regressioanalyysiä kutsutaan lineaariseksi regressioanalyysiksi. Lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta kuvaa korrelaatiokerroin. (12.)

Regressiomallia voidaan käyttää joko selittämiseen tai ennustamiseen. Ennustamisessa tulee ottaa huomioon, että mallin käyttöalue on suunnilleen sama kuin se, josta mallin laskemisessa oli havaintoja. Ennustuksen hyvydestä saa jonkinlaisen käsityksen selityskertoimesta. (13, s.10)

Mallia laskettaessa tulee kiinnittää huomiota laskemisessa käytetyn aineiston jakautumiseen. Selvästi muista poikkeavat arvot saattavat vaikuttaa oleellisesti mallin tulokseen, joten syy suureen poikkeamaan tulisi selvittää tarkasti. Mikäli poikkeamaan liittyy virhe, pyritään se korjaamaan. Tällöin arvo voidaan säilyttää mukana mallin laskennassa. Mikäli poikkeama on hyvin selittämätön, tulisi se jättää pois mallin laskennasta. Jos poikkeamalle löytyy jokin järkevä selitys, sen voidaan ajatella vaikuttavan malliin luonnollisena ilmiönä. (13, s.11)

4.2.1 Suoran yhtälö

Kahden muuttujan riippuvuudesta voidaan muodostaa suora muuttujien välille, mikäli riippuvuutta voidaan pitää lineaarisena. Tätä suoraa kutsutaan regressiosuoraksi. Regressiosuoraa on kuvattu kaavassa 1. (12.)

$$y = bx + c$$

KAAVA 1

y = suoran yhtälö

b = kulmakerroin

c = vakiotermi

Kulmakerroin kertoo missä suhteessa y:n arvo muuttuu, kun x:n arvo kasvaa. Vakiotermi ilmaisee y:n arvon, kun x:n arvo on nolla. Regressiosuoran yhtälöä voidaan käyttää myös ennustamiseen, kun halutaan tietää erilaisia y:n arvoja

tietyissä x:n pisteissä. Mallin soveltuvuutta ennustamiseen voi arvioida hajontakaaviosta. Mitä enemmän arvot vaihtelevat selittämättömästi regressiosuoran molemmin puolin, sen huonommin se soveltuu ennustamiseen. Mallin riippuvuutta kuvaa myös selityskerroin. (12.)

4.2.2 Pearsonin korrelaatiokerroin

Yleensä korrelaatiokertoimesta puhuttaessa tarkoitetaan Pearsonin korrelaatiokerrointa. Korrelaatiokerroin mittaa muuttujien välistä lineaarista riippuvuutta. Korrelaatiokerroin on aina välillä $[-1,1]$. Mitä lähempänä korrelaatiokerroin on nollaa, sen vähemmän muuttujat korreloivat keskenään. Vastaavasti arvoilla 1 ja -1, muuttujien välillä on täydellinen positiivinen tai negatiivinen lineaarinen riippuvuus. (14.)

Pearsonin korrelaatiokertoimen tulkitsemiselle ei ole tarkkoja sääntöjä. Jos tutkittava joukko on suuri, saattaa pienempikin korrelaatiokerroin olla merkittävä. Karkeasti tulkintarajoina voidaan pitää seuraavia arvoja. (15.)

- $|r| < 0,3$ muuttujien välillä ei ole juurikaan lineaarista yhteyttä
- $0,3 < |r| < 0,7$ muuttujien välillä on jonkin verran lineaarista yhteyttä
- $|r| > 0,7$ muuttujien välillä on selvä lineaarinen yhteys

4.2.3 Selityskerroin

Selityskerroin ilmaisee, kuinka suuren osan y:n arvojen vaihtelusta voidaan selittää x:n arvojen vaihtelulla. Linearisessa regressiomallissa selityskerroin voidaan laskea korrelaatiokertoimen neliönä. (12.)

$$R^2 = r^2 * 100 \%$$

KAAVA 2

$$R^2 = \text{selityskerroin}$$

$$r = \text{Pearsonin korrelaatiokerroin}$$

Mallin y-arvojen kokonaispoikkeamat y-arvojen keskiarvosta koostuvat kahdesta osasta: Poikkeamasta jonka malli selittää, sekä poikkeamasta, jota malli ei selitä. Selityskerroin on mallin selittämien poikkeamien osuus kokonaispoikkeamista. (12.)

$$r^2 = \frac{SST - SSE}{SST} = \frac{SSR}{SST} \quad \text{KAAVA 3}$$

r^2 = Pearsonin korrelaatiokertoimen neliö

SST = kokonaisneliösumma (total sum of squares)

SSE = mallin selittämien poikkeamien neliöiden summa (explained sum of squares)

SSR = selittämättömien poikkeamien neliöiden summa (residual sum of squares)

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad \text{KAAVA 4}$$

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad \text{KAAVA 5}$$

$$SSE = \sum \hat{e}_t^2 \quad \text{KAAVA 6}$$

y_i = y arvo hetkellä i

\bar{y} = y keskiarvo

\hat{y} = regressiosuoran antama y arvo

\hat{e}_t = jäännöstermi hetkellä t

5 TUTKIMUKSEN LÄHTÖKOHDAT

Sillanrakennuksessa on nykyään hyvin yleisiä ST-urakat, joissa urakoitsija vastaa sekä suunnittelusta, että toteutuksesta. Tässä urakkamuodossa urakoitsija on sopimussuhteessa suunnittelijan kanssa ja urakoitsija kilpailee urakasta kiinteällä kokonaisurakkahinnalla sisältäen sekä kohteen suunnittelun, että toteutuksen. Läheinen suhde suunnittelun ja toteutuksen välillä voi mahdollisesti johdattaa edulliseen kokonaisratkaisuun.

Tilaaaja käyttää tarjousvaiheessa tarjouspyynnön pohjana tiesuunnitelman silta-suunnitelmaa, joka sisältää mahdollisesti vain sillan pääpiirustuksen. Tähän pohjautuen urakoitsija laatii yhdessä valitsemansa suunnittelijan kanssa omat siltasuunnitelmat, joiden määriin perustuen urakoitsija laatii tarjouksen. Hyväksytyt urakkatarjoukset ja urakkasopimuksen allekirjoittamisen jälkeen alkaa lopullisten rakennussuunnitelmien laatiminen. Tilaaaja tarkastuttaa rakennussuunnitelmat ulkopuolisella tarkastajakonsultilla, joka tarkastaa suunnitelmat perustuen kokemuseräiseen tietoon vastaavien siltojen kustannuksista ja ainemenekkeistä.

Tämän tutkimuksen lähtökohtana on luoda ensisijaisesti tilaajalle apuvälineitä määrälaskennan oikeellisuuden tarkistamiseen teräsbetonisiltojen päällysrakenteiden ainemenekkien osalta. Selvityksen avulla voidaan verrata siltojen ainemenekkejä yleiseen tasoon, sekä huomata mahdolliset poikkeamat. Suurille poikkeamille pitäisi löytyä merkittävä selitys. Ainemenekkejä voidaan verrata myös jo tarjousvaiheessa, jolloin urakoitsija vähentää omaa riskiään.

5.1 Tutkimuksen tavoite

Siltojen kustannukset määräytyvät usein jo aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Erilaisia siltavaihtoehtoja vertailtaessa on usein päädyttävä erilaisiin arvioihin, jotka perustuvat suunnittelijan kokemukseen sekä aikaisempiin saman tyyppiisiin siltoihin. Ainemenekkien arviointiin on luotu erilaisia matemaattisia malleja, joiden avulla kokemattomammakin suunnittelijat pystyvät arvioimaan erilaisia

ratkaisuja. Nämä mallit pohjautuvat kuitenkin jo yli 15 vuotta vanhaan tilastoaineistoon.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on luoda uusimpaan saatavilla olevaan tilastoaineistoon perustuvia matemaattisia malleja siltojen päällysrakenteen teräs- ja betonimenekeistä. Malleilla tulisi pystyä tarkistamaan erityyppisten betonisiltojen ainemenekkejä erilaisten rakenteellisten muuttujien suhteen. Mallien avulla voidaan nopeasti todeta, onko sillan ainemenekit suuruusluokaltaan realistisia verrattuna vastaaviin toteutuneisiin kohteisiin. Tällä vähennetään virheriskiä ja turhaa hajontaa ainemenekeissä.

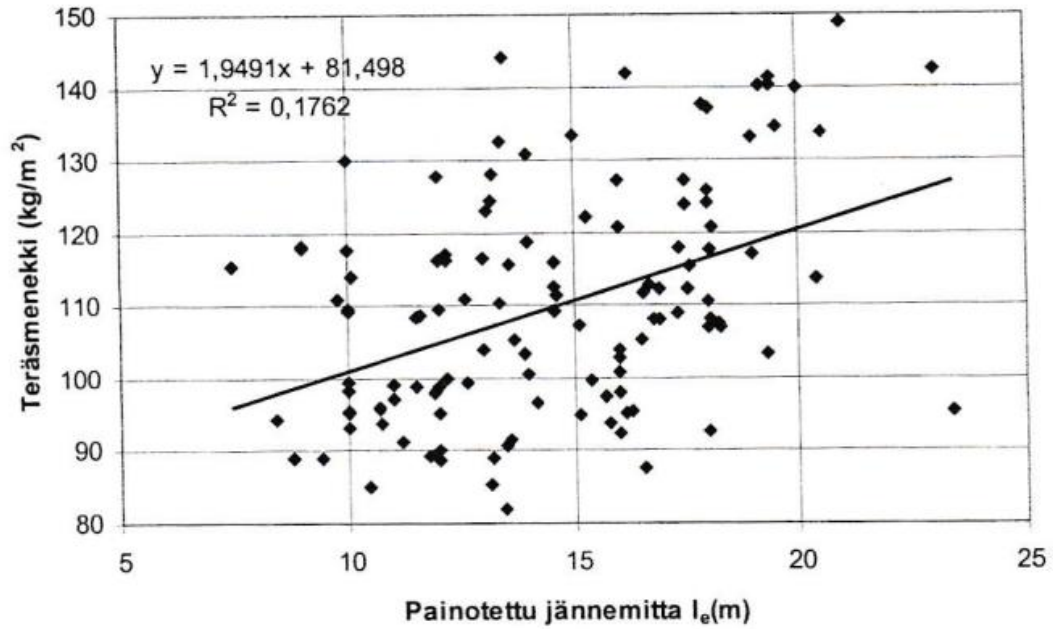
5.2 Aikaisemman tiedon kuvaus

Siltojen ainemenekkejä on viimeksi tutkittu vuonna 2003. Tekniikan tohtori Heikki Rautakorpi kirjoitti aiheesta väitöskirjan 1980-luvulla, *Material Quantity and Cost Estimation Models for the Design of Highway Bridges*. Väitöskirjaansa perustuen hän on tutkinut siltojen ainemenekkejä useaan otteeseen. Rautakorven viimeisin tutkimus pohjautui tilastoaineistoon, joka koostui yhteensä noin 500:sta betonisillasta vuosien 1992-2002 väliltä. Rautakorvella oli käytössään siltojen ominaistietokortit, joiden tietoihin tutkimus pohjautui.

Rautakorpi käytti tutkimuksessaan siltojen ainemenekkien kuvaamiseen lineaarista regressiomallia, jota on tarkoitus käyttää myös tässä tutkimuksessa aineiston analysointiin. Lineaarisen regressiomallin täytyy perustua riittävän suureen havaintoaineistoon ollakseen luotettava. Tutkimuksesta olisi myös suotavaa jättää pois selvästi muista poikkeavat virheelliset arvot, sillä ne eivät palvele mallin käyttötarkoitusta.

Rautakorpi totesi tutkimuksessaan siltojen ainemenekeissä olleen huomattavan suuria vaihteluita. Näitä on havainnollistettu kuvassa 6, joka on Rautakorven aikaisemmasta tutkimuksesta. Suuria vaihteluita teräsmenekeissä ei hänen mukaansa pysty selittämään pelkästään luonnollisilla vaihteluilla, kuten erilaisella leveydellä ja vinoudella, tai vaihteluilla rakennepaksuudessa. Rautakorven tavoitteena olikin luoda malleja ainemenekkien tarkastamiseen, jotta saataisiin

turhaa hajontaa pienemmäksi. Tämän tutkimuksen avulla voidaan osittain arvioida, onko huomattavan suuret vaihteluvälit pienentyneet.



KUVA 6. Laattasiltojen teräsmäärä tiehallinnon tilastoaineiston mukaan (16, s. 117)

6 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

6.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valittiin otantatutkimus, sillä tutkittava perusjoukko oli hyvin suuri. Kokonaistutkimus olisi ollut käytännössä mahdotonta, sillä kaikkiin perusjoukon yksiköiden tietoihin ei ollut mahdollista päästä käsiksi.

Tutkittavaksi perusjoukoksi määräytyi lopulta vuosien 2003-2016 välillä valmistuneet Liikenneviraston sekä kuntien hallinnoimat teräsbetoniset tiesillat. Perusjoukon koko oli 1271 yksikköä. Otantamenetelmä oli käytännössä ositettu otanta, sillä perusjoukon yksiköt voitiin jakaa siltatyypin mukaan pienempiin ositeisiin. Otantayksiköitä valittaessa käytettiin optimaalista kiintiöintiä, sillä tarkoituksena oli saada mukaan mahdollisimman monta tilastoyksikköä jokaiseen siltatyyppiin. Suhteellinen kiintiöinti ei olisi ollut tarkoituksenmukainen, koska sillä olisi vain taattu yhtä suuri luotettavuus tuloksissa eri siltatyyppien välillä. Tasainen kiintiöinti ei puolestaan olisi ollut mahdollista käytettävissä olleen tutkimusaineiston rajallisuuden vuoksi.

6.2 Tutkimusaineiston kerääminen

Tutkittava tilastoaineisto kerättiin talven 2016-2017 aikana. Tilastoaineistona käytettiin siltojen ominaistietokortteja, joihin on koottu siltojen teoreettisia ainemenekkejä rakennusosittain (LIITE 1). Tutkimukseen valittiin yhteensä 316 betonista tiesiltaa. Aineisto kerättiin pääosin Liikenneviraston ylläpitämästä, siltarekisterin helmikuussa 2017 korvanneesta taitorakennerekisteristä. Tutkimukseen otettiin mukaan aineistoa myös yhteistyökumppaneilta, sekä WSP Finland Oy:n omista arkistoista. Tilastoaineiston yhteenveto on laadittu taulukkoon 1.

Taulukko 1. Yhteenveto selvityksessä käytetystä tilastoaineistosta

Pääryhmä	Alaryhmä	Lkm	Yht. lkm
Kaikki sillat			316
Jännitetyt betonisillat			124
	1-aukkoiset palkkisillat	33	
	2-aukkoiset palkkisillat	37	
	useampiaukkoiset palkkisillat	54	
Betoniset laattasillat			136
	1-aukkoiset laattasillat	53	
	jatkuvat laattasillat	83	
Betoniset kehäsillat			67
	suorajalkaiset	33	
	vinojalkaiset	34	

Tilastoaineisto sijoittuu ajallisesti vuosien 2003 ja 2016 välille siltojen rakennusvuoden perusteella. Otantasuhde vaihteli vuosien välillä viidestä prosentista aina 44 prosenttiin. Siltojen rakennusmäärät ovat olleet keskimäärin saman suuruisia, eli noin 100 siltaa/vuosi, lukuun ottamatta muutamaa selvää poikkeusvuotta. Koko tilastoaineiston keskimääräinen otantasuhde oli noin 25 prosenttia, mitä voidaan pitää varsin suurena otantatutkimukseen. Otanta jakaantui suhteellisen tasaisesti eri siltatyypin välillä. Palkkisiltojen otantasuhde oli 32 prosenttia, kun taas laattasiltojen 27 prosenttia. Otantasuhteita on havainnollistettu taulukoissa 2 ja 3. Valmistuneiden siltojen lukumäärä on selvitetty Taitorakennerekisteristä ja se sisältää vain selvitykseen valitut siltatyypit. Lukumäärä ei sisällä kevyenliikenteensilloja, eikä ratasiltoja.

Taulukko 2. Tilastoaineiston otantasuhteet eriteltynä vuosittain (Taitorakennerekisteri. 2017)

Sillan rakennusvuosi	Valmistuneet sillat lkm	Otanta lkm	Otantasuhde %
2003	105	42	40,0 %
2004	70	29	41,43 %
2005	130	35	26,92 %
2006	73	12	16,44 %
2007	47	13	27,66 %
2008	164	73	44,51 %
2009	61	17	27,87 %
2010	107	18	16,82 %
2011	101	10	9,90 %
2012	71	5	7,04 %
2013	90	21	23,33 %
2014	87	22	25,29 %
2015	92	15	16,30 %
2016	73	4	5,48 %
Yhteensä	1271	316	24,86 %

Taulukko 3. Tilastoaineiston otantasuhteet eriteltynä siltatyypeittäin (Taitorakennerekisteri. 2017)

Siltatyyppi	Valmistuneet sillat lkm	Otanta lkm	Otantasuhde %
Laattasillat	503	136	27 %
Palkkisillat	391	124	32 %
Kehäsillat	369	64	17 %

Aineiston kerääminen osoittautui työlääksi prosessiksi, sillä ominaistietokortteja ei voinut hakea siltarekisteristä siltatyypin tai rakennusvuoden perusteella. Ominastietokortit täytyi käydä yksitellen läpi ja valita sitä mukaa tutkimukseen soveltuvat sillat. Ominastietokortteja ei myöskään ollut syötetty palveluun jokaisesta sillasta. Tutkittavan aineiston koko määräytyikin sen perusteella, kuinka ominaistietokortteja löytyi tutkittavalta aikaväliltä. Otantasuhteet kertovat samalla, kuinka suuresta osasta siltoja ominaistietokortit on lisätty rekisteriin.

Taitorakennerekisteristä ominaistietokortit piti kaivaa vaikeammin esille, mutta niiden valitseminen oli taas helpompaa. Ominastietokortit löytyivät kunkin sillan kohdalla ”dokumentit” -välilehden alta, mikäli kyseisestä sillasta oli ominaistietokortti syötetty palveluun. Näin ollen siltoja piti käydä yksitellen läpi ja kerätä aina kohdalle osuneet ominaistietokortit. Taitorakennerekisterissä siltoja pystyi kuitenkin lajittelemaan monen eri ominaisuuden perusteella. Tämä helpotti hieman keräysprosessia. Sillat lajiteltiin kronologisessa järjestyksessä uusimmista alkaen, sekä hakuehtoihin lisättiin päärakennusmateriaaliksi jännitetyt betonisillat, sekä teräsbetonisillat. Näin pystyttiin tarkkailemaan tutkimukseen kertyvien siltojen lukumäärää, sekä lopettamaan ajallisesti järkevässä pisteessä, kun niitä oli tarpeeksi.

Jotta tilastoaineistoa pystyttiin analysoimaan mahdollisimman monipuolisesti, ominaistietokorteista kerättiin muun muassa seuraavia tietoja:

- sillan nimi myöhempää identifiointia varten
- rakennusvuosi
- siltatyyppi
- tieosa
- suunnittelukuorma
- hyödyllinen leveys
- jännemitat
- laatan/palkin rakennekorkeus
- kannen betonimäärä m^3 /kansi- m^2
- kannen betonimäärä m^3
- betoniteräsmäärä kg/kannen betoni- m^3
- jänneteräsmäärä kg/kannen betoni- m^3
- vierekkäisten tukien lukumäärä.

Tilastoaineisto kerättiin Excel –taulukkoon, jossa sitä oli myös tarkoitus analysoida myöhemmässä vaiheessa. Tilastoaineisto jaettiin myöhempää analysointia varten valmiiksi siltatyypeittäin jo tiedonkeräysvaiheessa, mikä helpotti aineiston käsittelyä huomattavasti.

6.3 Aineiston analysointi

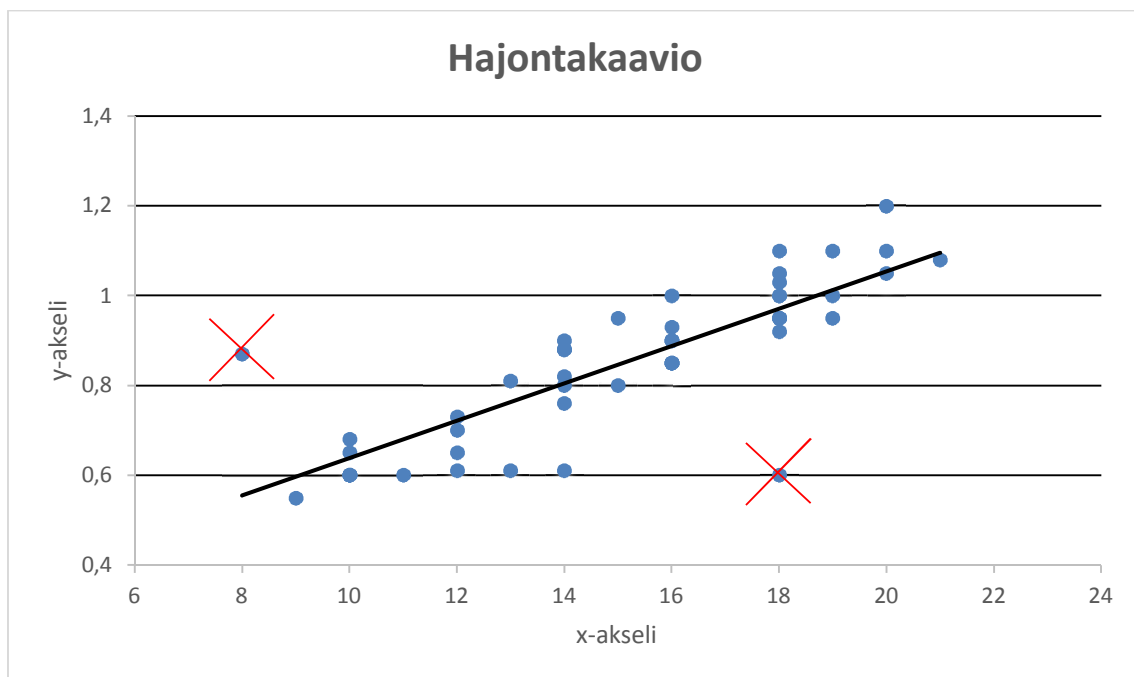
Ennen analysointia tutkimusaineisto jaettiin rakenteellisesti muutamaaan alakategoriaan. Tällä pyrittiin vähentämään turhaa hajontaa, sekä täsmentämään tuloksia tiettyihin osajoukkoihin. Laatta- ja palkkisillat eriteltiin aukkojen mukaan 1-aukkoisiin, sekä 2- ja useampiauukkoisiin siltoihin.

Siltojen päällysrakenteen betoni- ja teräsmääriä tutkittiin lineaarisen regressioanalyysin avulla. Tässä analyysimallissa pyritään luomaan yhteyksiä eri muuttujien välille. Siltojen teräsmääriin vaikuttavat olennaisesti sillan rakenteelliset mitat. Esimerkiksi kahden saman levyisen ja korkuisen laattasillan teräsmäärien tulisi kasvaa jännemitan kasvaessa. Selittävinä muuttujina käytettiin juuri siltojen rakenteellisiä mittoja ja selitettävinä muuttujina teräs- ja betonimääriä.

Rakennemittoja pyrittiin selittämään osaltaan myös toisillaan. Betonimäärät ilmoitetaan yleensä kuutioina, joten esimerkiksi laattasilloissa merkittäväksi rakennemitaksi muodostuu yleensä rakennekorkeus. Betonimäärien analysointia varten johdettiin myös uusia suureita tutkimusaineiston tietojen pohjalta. Näitä olivat erilaiset rakennemittojen suhteet tai yksikönmuunnokset, joilla kokeiltiin parantaa muuttujien välistä korrelaatiota.

Aineistoa analysoitiin Excel-ohjelmalla. Analysoitaessa pyrittiin keskittymään selityskertoimen arvoon sekä tulosten hajontaan. Mikäli kokonaishajonta oli pieni, tällöin myös pienempi selityskerroin riittää antamaan suuntaa määristä. Selityskertoimen viitearvoina pidettiin yleisesti määritettyjä rajoja. Muuttujien välillä voitiin todeta olevan selvä yhteys, mikäli selityskerroin ylitti arvon 0,49. Tällöin korrelaatiokertoimen arvo ylitti rajan 0,7.

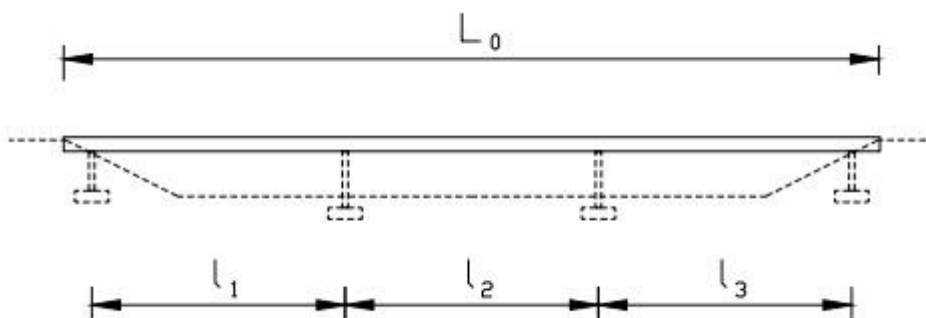
Aineistosta eroteltiin analysoinnin aikana selvät yksittäiset poikkeamat, joiden pääteltiin olevan virheellisiä. Tämä onnistui helposti hajontakaavion avulla. Poikkeamat sisältyvät tutkimusaineistoon, mutta niitä ei huomioitu lopullisissa analyysimalleissa. Ne olisivat aiheuttaneet vain turhaa hajontaa, eivätkä palvelleet tulosten käyttötarkoitusta. Poikkeamien poisjättäminen malleista paransi korrelaatiokerrointa. Kuvassa 7 on havainnollistettu poikkeamien eliminoimista.



KUVA 7. Poikkeavien arvojen eliminointi hajontakaavion avulla

7 ANALYYSIMALLIT SILTATYYPEITTÄIN

Analysoinnin tuloksena muodostettiin kaavioita, joiden avulla voidaan arvioida ainemenekkiä todennäköisyyttä tilastoaineiston mukaisten siltojen osalta. Tulokset noudattavat hajonnan suhteen normaalijakaumaa. Keskiarvo on virheen suuruus, kun yksittäiselle x-arvolle ennustetaan y-arvoa. Keskiarvoon mukaisen vaihteluvälin sisään mahtuu 2/3 kaikista silloista. Sillan kokonaispituus L_0 määritetään jatkuville silloille kuvassa 8 esitetyllä tavalla.



KUVA 8. Sillan pituusmitat

Jatkuvissa silloissa painotettu jännemitta L_e (m) lasketaan kaavalla 7.

$$L_e (m) = \frac{\sum l_n^2}{\sum l_n} \quad \text{KAAVA 7}$$

Viisteellisissä palkkisilloissa rakennekorkeus h (m) lasketaan kaavalla 8.

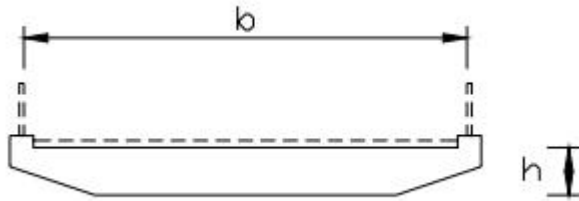
$$h (m) = \frac{\sum h_{tukki} + \sum h_{aukko}}{2n-1} \quad \text{KAAVA 8}$$

Keskikorkeus H_k (m) lasketaan kaavalla 9.

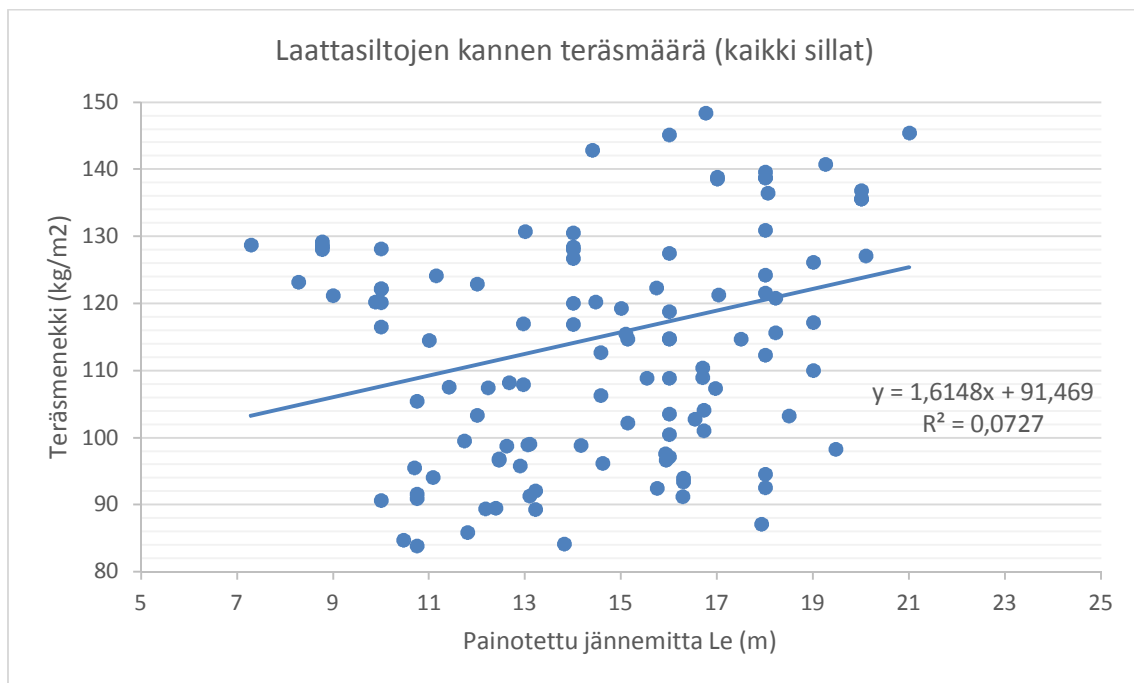
$$H_k (m) = \frac{\text{kannen tilavuus (m}^3\text{)}}{\text{kannen pinta-ala (m}^2\text{)}} \quad \text{KAAVA 9}$$

7.1 Teräsbetoniset laattasillat

Teräsbetonisille paikallavaletuille laattasilloille käytettiin kuvassa 9 esiintyviä poikkileikkauksen arvoja.

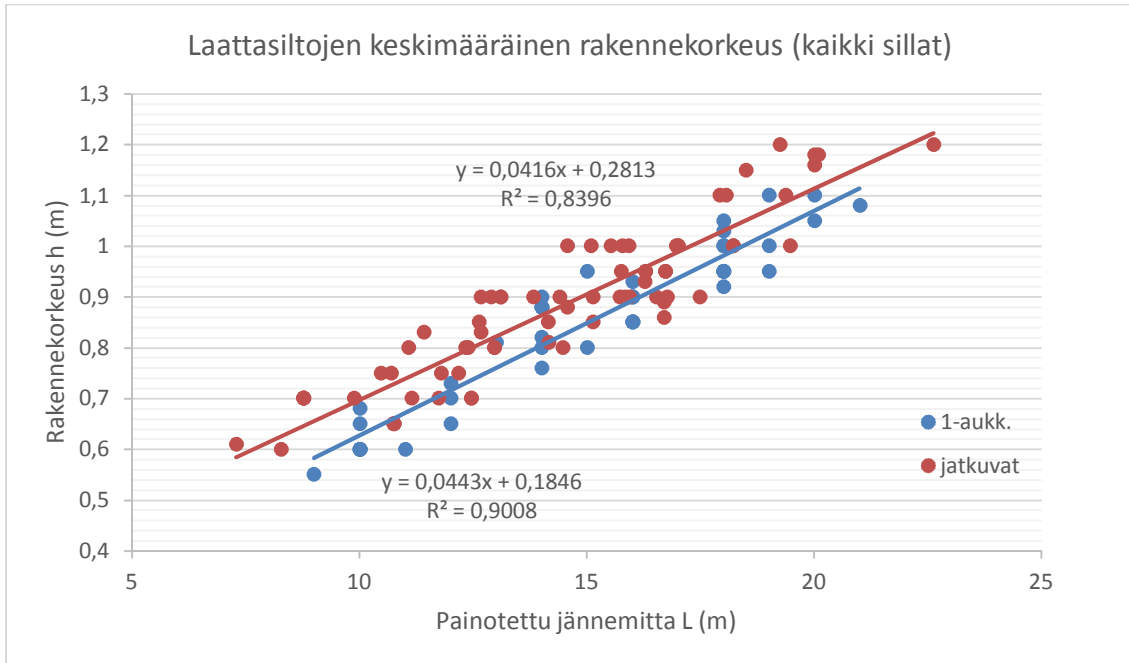


Kuva 9. Laattasillan poikkileikkauksen mitat



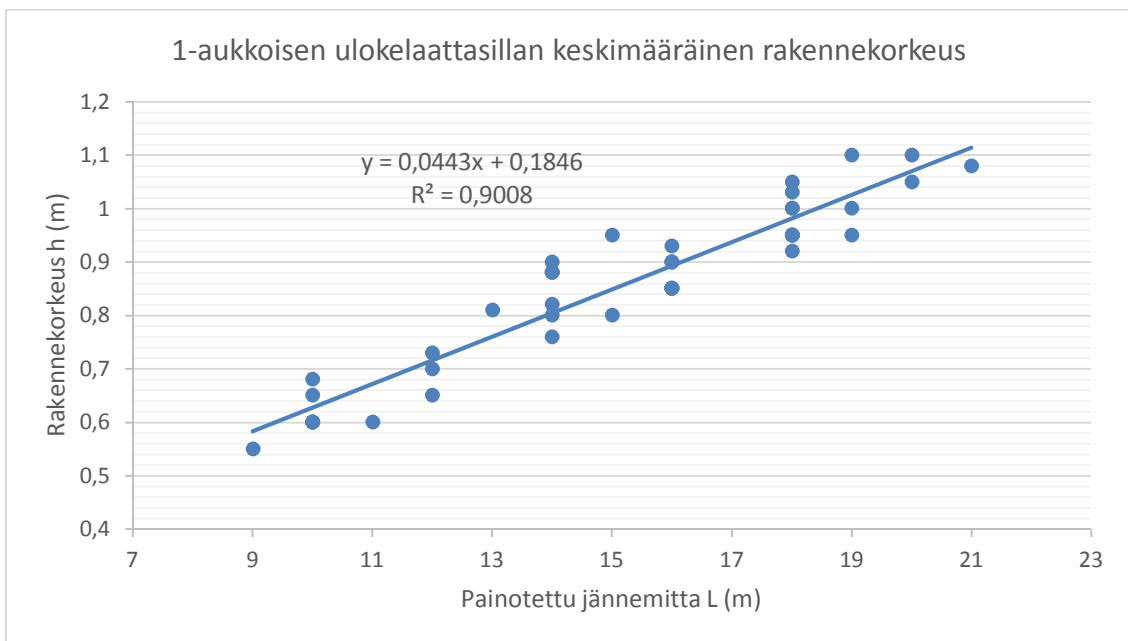
KUVA 10. Laattasiltojen teräsmenekit Liikenneviraston aineiston mukaan

Siltojen lukumäärä = 119 kpl, keskiarvo = $\pm 18,7$ kg/m²



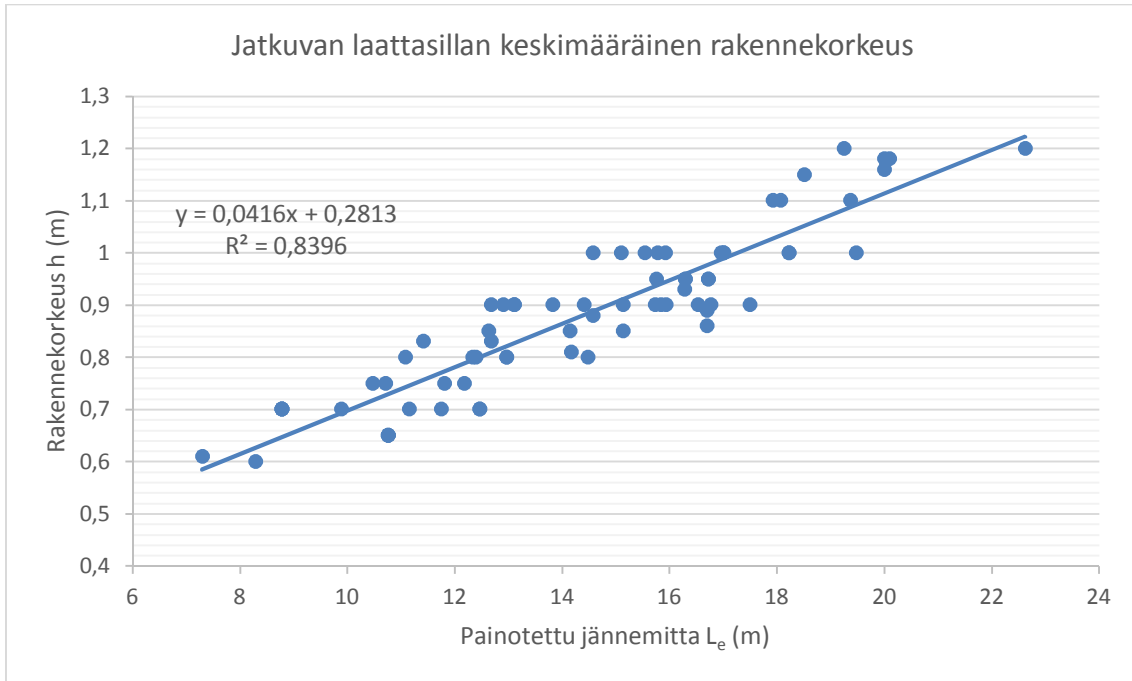
KUVA 11. Laattasiltojen painotetun jännemitan ja rakennekorkeuden hajontaku-
vio

Siltojen lukumäärä = 128, keskivirhe = $\pm 0,07$ m



KUVA 12. 1-aukkoisen ulokelaattasilan painotetun jännemitan ja laatan pak-
suuden hajontaku-
vio

Siltojen lukumäärä = 44, keskivirhe $\pm 0,06$ m



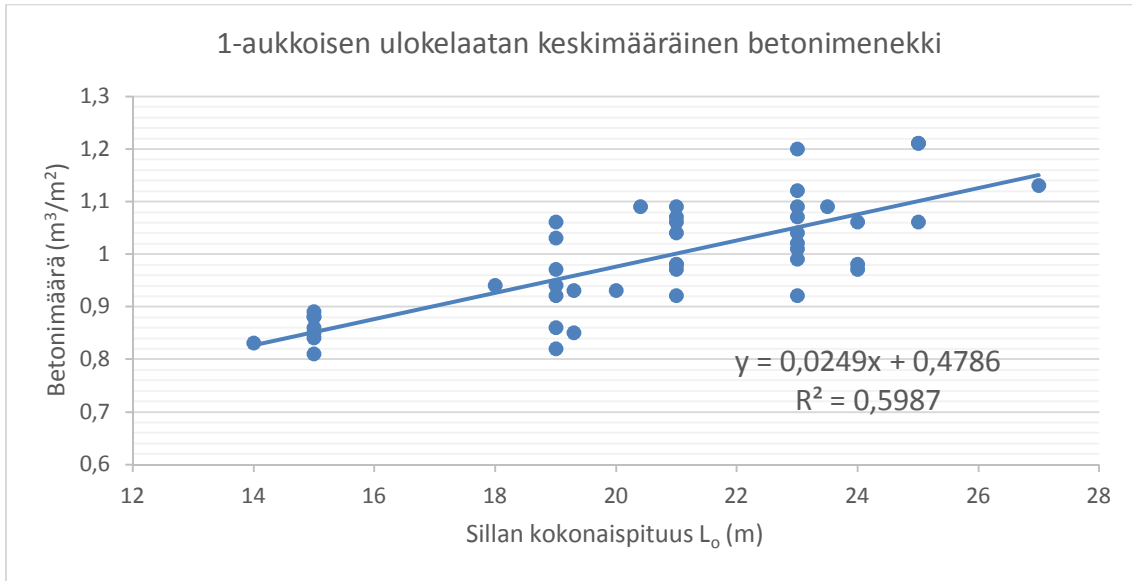
KUVA 13. Jatkuvien laattasiltojen painotetun jännemitan ja laatan paksuuden hajontakuvio

Siltojen lukumäärä = 73, keskivirhe $\pm 0,05$ m

Tilastoaineiston mukaisten laattasiltojen rakennekorkeuden valinnassa voidaan käyttää seuraavia kaavoja:

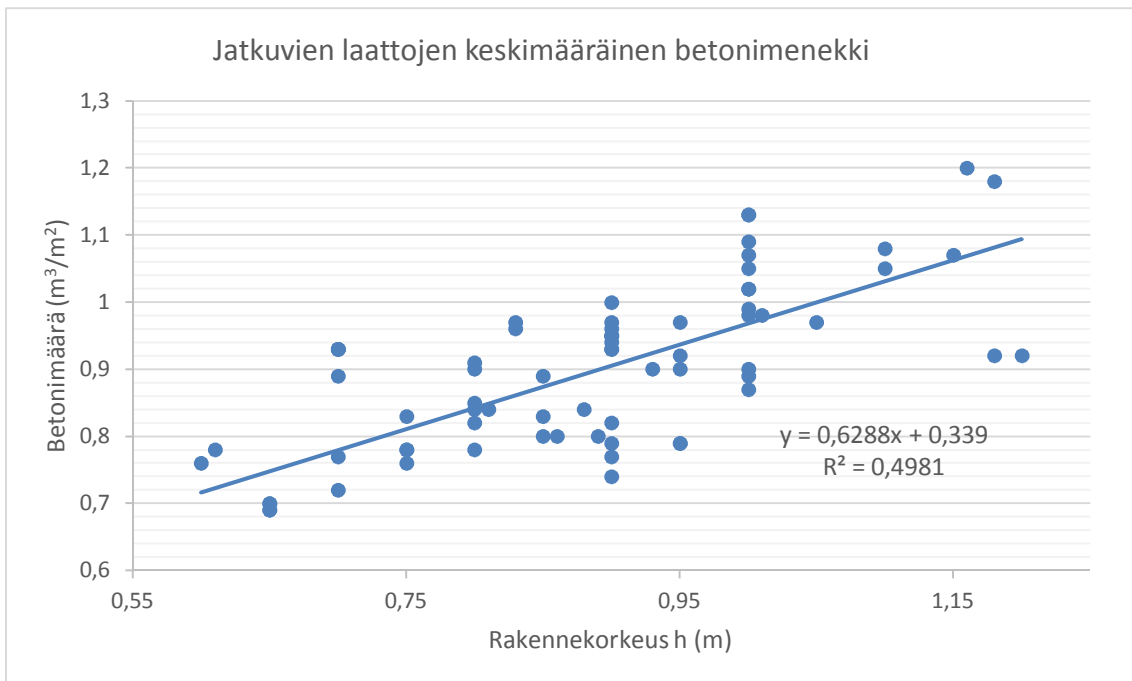
$$h = 0,18 + 0,044 \times L_e \quad \text{1-aukkoisille ulokelaatoille} \quad \text{KAAVA 9}$$

$$h = 0,28 + 0,042 \times L_e \quad \text{jatkuville laatoille} \quad \text{KAAVA 10}$$



KUVA 14. 1-aukkoisten ulokelaattasiltojen kokonaispituuden ja betonimäärän hajontakuvio

Siltojen lukumäärä = 45, keskvirhe $\pm 0,07 \text{ m}^3/\text{m}^2$



KUVA 15. Jatkuvien laattasiltojen rakennekorkeuden ja keskimääräisen betonimenekin hajontakuvio

Siltojen lukumäärä = 74, keskvirhe $\pm 0,09 \text{ m}^3/\text{m}^2$

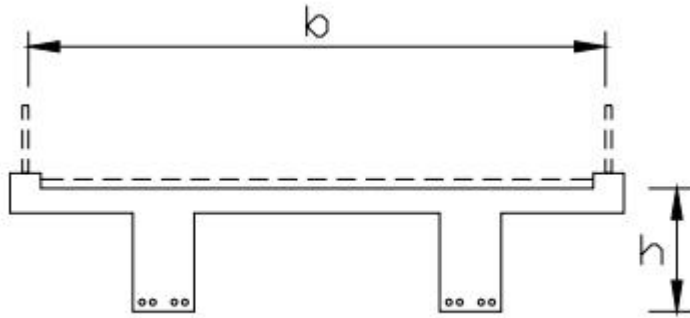
Tilastoaineiston mukaisten laattasiltojen kannen betonimennekkeitä voidaan arvioida seuraavilla kaavoilla:

$$Q_c \left(\frac{m^3}{m^2} \right) = 0,48 + 0,025 \times L_o \quad \text{1-aukkoisille ulokelaatoille} \quad \text{KAAVA 11}$$

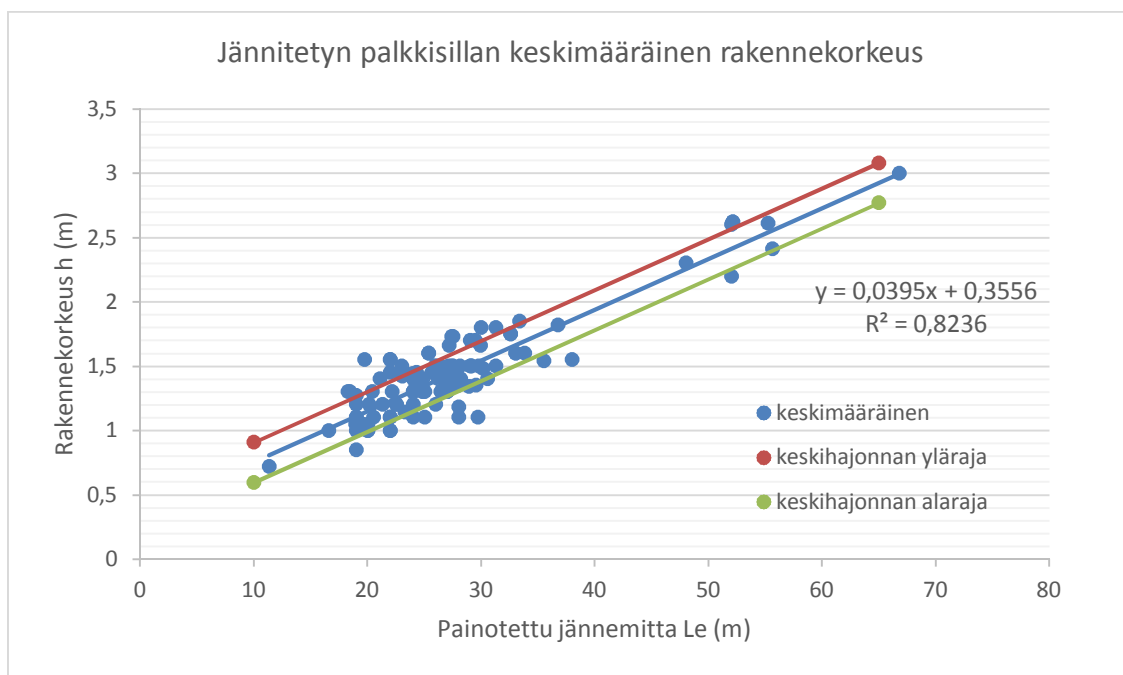
$$Q_c \left(\frac{m^3}{m^2} \right) = 0,34 + 0,63 \times h \quad \text{jatkuville laatoille} \quad \text{KAAVA 12}$$

7.2 Teräsbetoniset jännitetyt palkkisillat

Palkkisilloille käytetään kuvassa 16 esiintyviä poikkileikkausmittoja. Rinnakkais-ten tukien määrä vaihtelee yhdestä kolmeen.

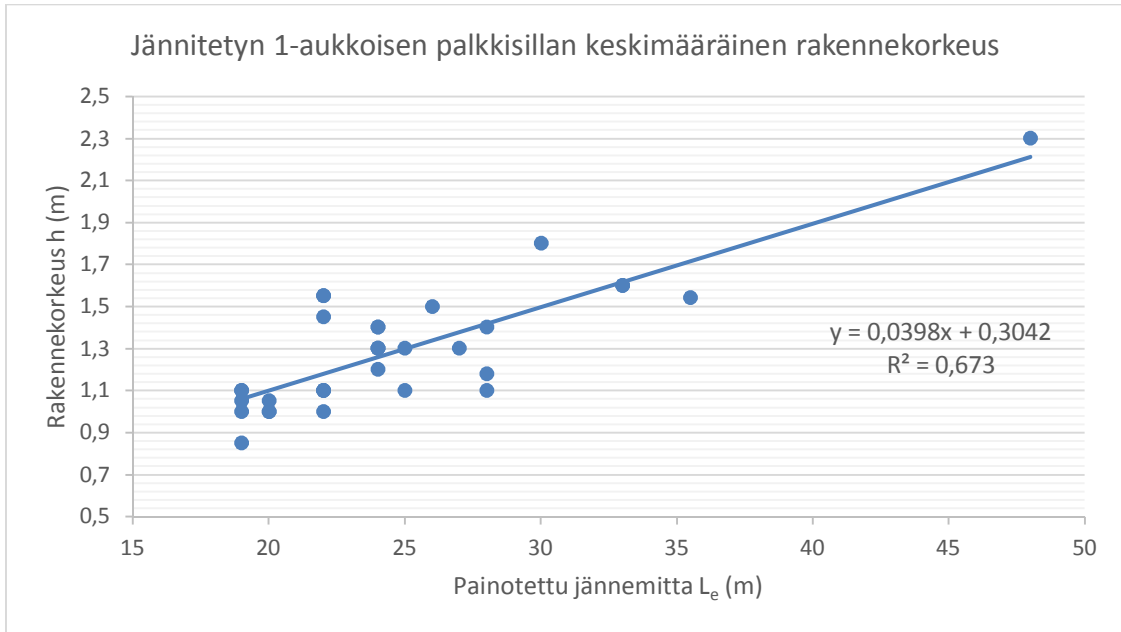


KUVA 16. Jännitetyn palkkisillan poikkileikkausmitat.



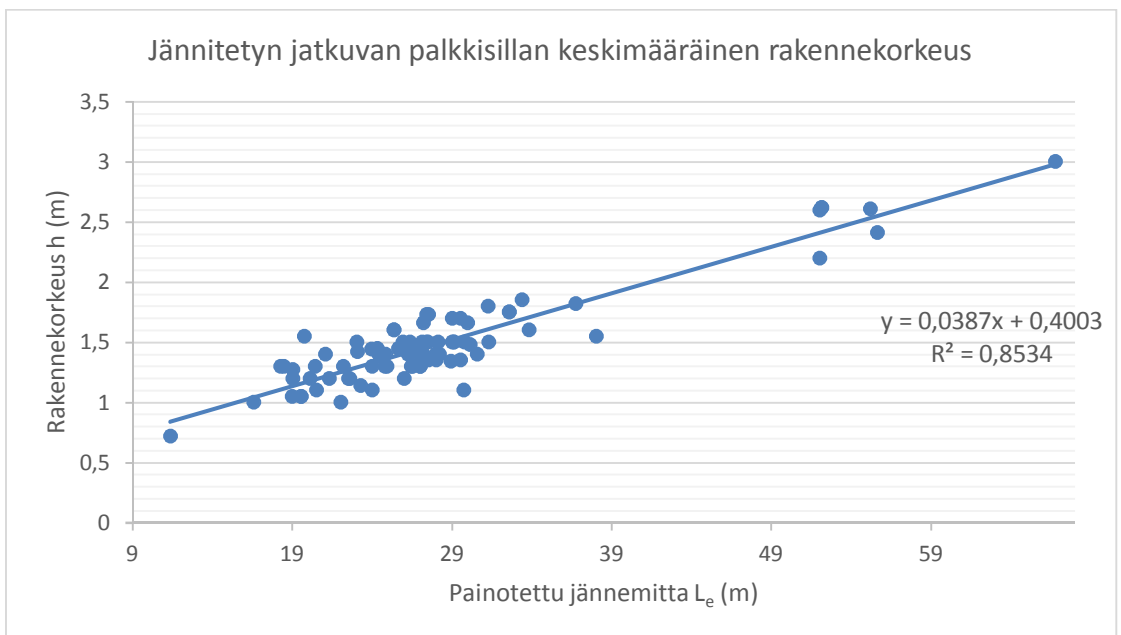
KUVA 17. Jännitetyn palkkisillan painotetun jännemitan ja rakennekorkeuden hajontakaavio

Siltojen lukumäärä= 124, keskivirhe= $\pm 0,16$ m



KUVA 18. Jännitettyjen 1-aukkoisten palkkisiltojen painotetun jännemitan ja rakennekorkeuden hajontakuvio.

Siltojen lukumäärä= 33, keskivirhe= $\pm 0,17$ m



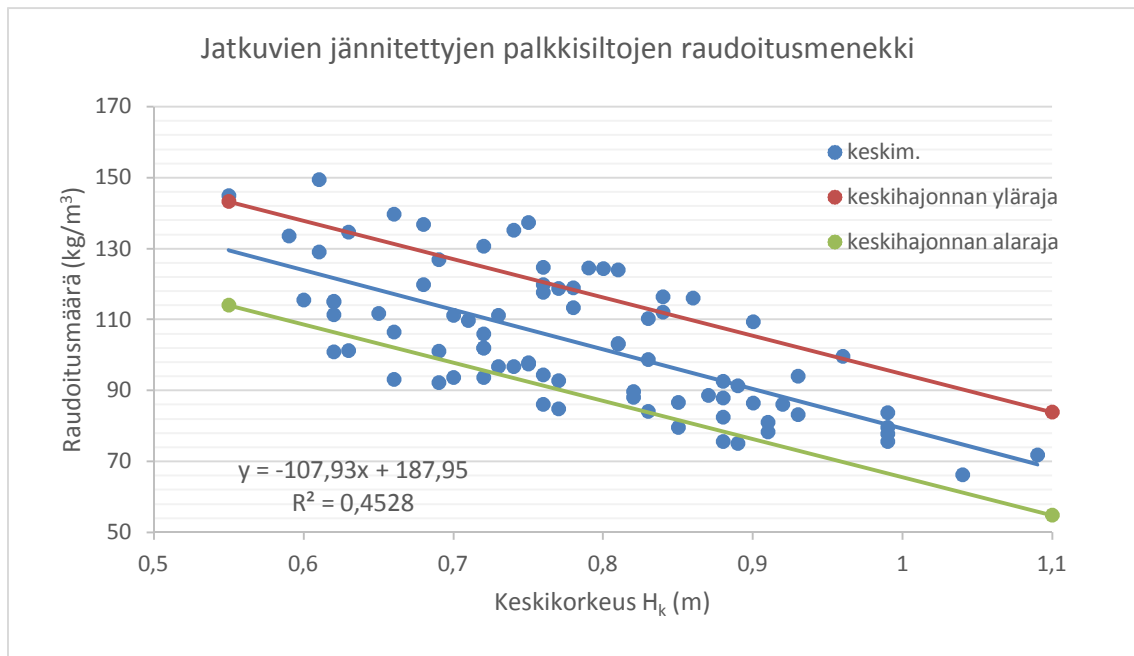
KUVA 19. Jännitetyn jatkuvan palkkisillan painotetun jännemitan ja rakennekorkeuden hajontakuvio

Siltojen lukumäärä: 91kpl, keskivirhe= $\pm 0,15$ m

Tilastoaineiston mukaisten jännitettyjen palkkisiltojen rakennekorkeuden valinnassa voidaan käyttää seuraavia kaavoja:

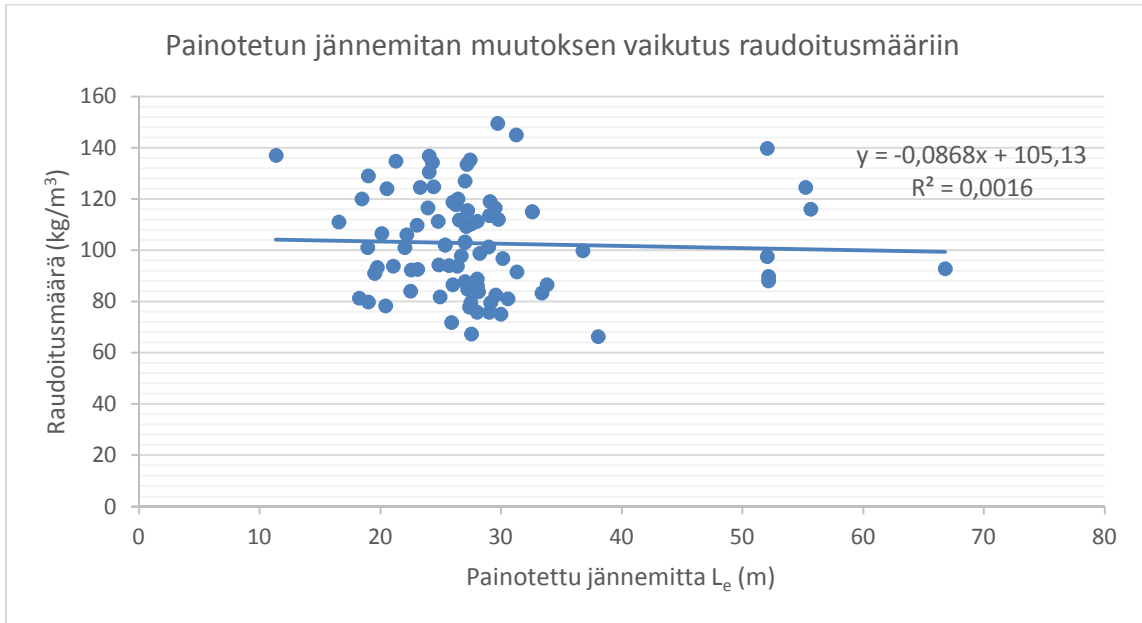
$$h = 0,3 + 0,04 \times L_e \quad \text{1-aukkoisille ulokepalkeille} \quad \text{KAAVA 13}$$

$$h = 0,4 + 0,039 \times L_e \quad \text{jatkuville palkeille} \quad \text{KAAVA 14}$$



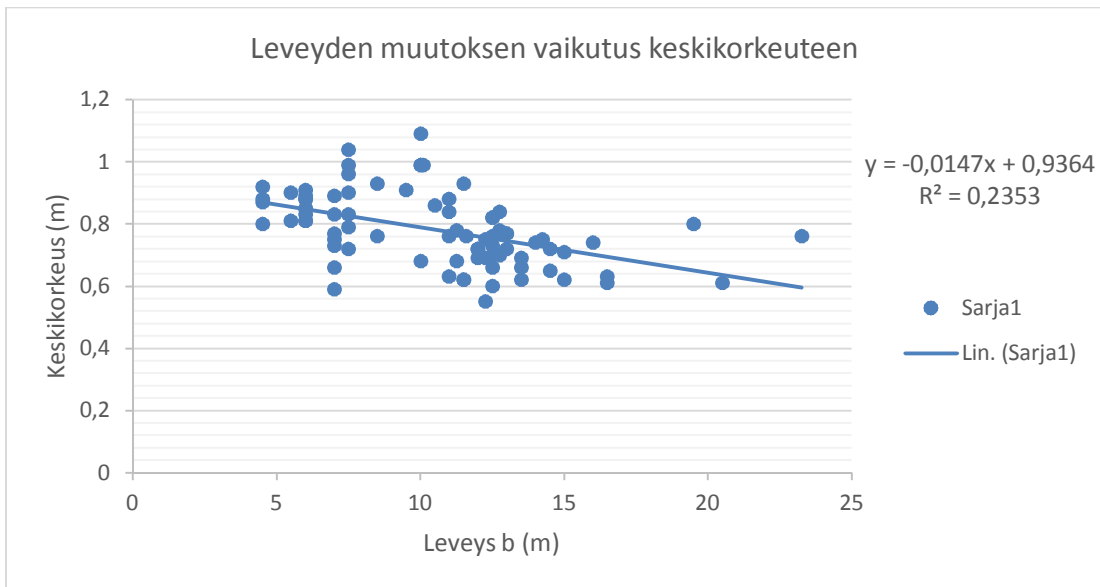
KUVA 20. Jatkuvien jännitettyjen palkkisiltojen keskikorkeuden ja rauditusmäärän hajontakaavio

Siltojen lukumäärä = 80, keskivirhe = ± 14,26 kg/m³



KUVA 21. Jatkuvien jännitettyjen palkkisiltojen painotetun jännemitan ja rauditusmäärän hajontakaavio

Siltojen lukumäärä = 80, keskiarvo \pm 9,2 kg/m³



KUVA 22. Jatkuvien jännitettyjen palkkisiltojen leveyden ja keskikorkeuden hajontakaavio

Siltojen lukumäärä = 80, keskiarvo = \pm 0,10 m

Jatkuvien jännitettyjen palkkisiltojen rauditusmenekkiä voidaan arvioida kaavalla 15.

$$Q_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 187 - 108,5 \times H_k + 0,18 \times b \quad \text{KAAVA 15}$$

$$R^2 = 0,45 \quad \text{Siltojen lukumäärä} = 82, \text{ keskivirhe} = \pm 14,64 \frac{kg}{m^3}$$

Jatkuvien jännitettyjen palkkisiltojen keskikorkeutta voidaan arvioida kaavalla 16.

$$H_k = 0,9 + 0,1 \times \frac{h}{b} - 0,013 \times b \quad \text{KAAVA 16}$$

$$R^2 = 0,24 \quad \text{Siltojen lukumäärä} = 81, \text{ keskivirhe} = \pm 0,10 m$$

Lasketaan kaavojen 14, 15 ja 16 avulla rauditusmenekki Q_{rs} (kg/m^3) jatkuvalle jännitetylle palkkisillalle, jonka rakennemitat ovat seuraavat:

Painotettu jännemitta = 30 m

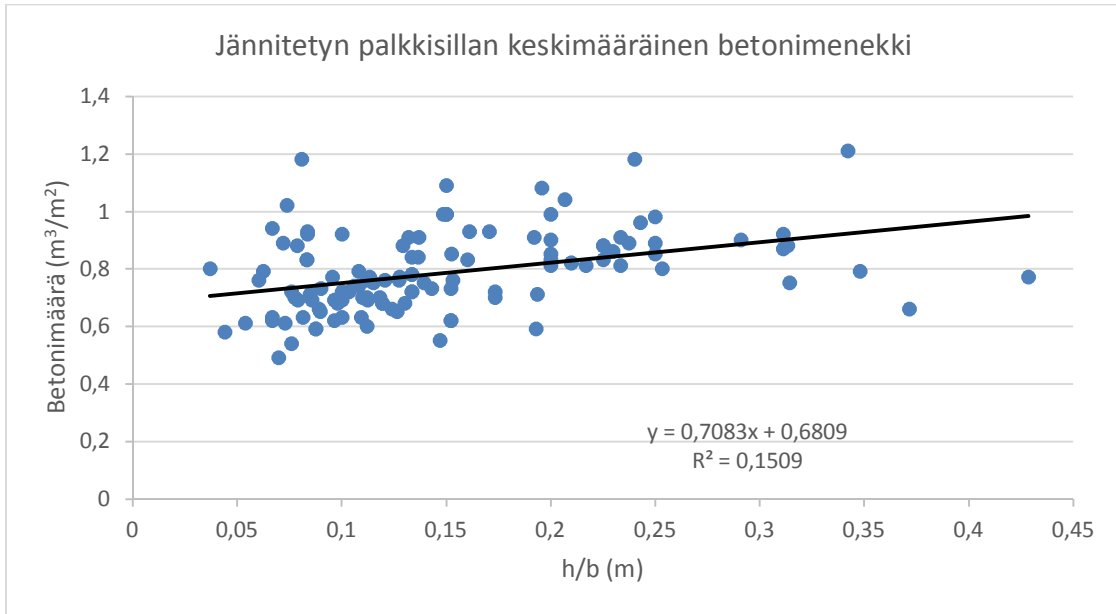
Rakennekorkeus $h = 1,56$ m

Leveys $b = 12,5$ m

Keskikorkeus $H_k = 0,75 \frac{m^3}{m^2}$

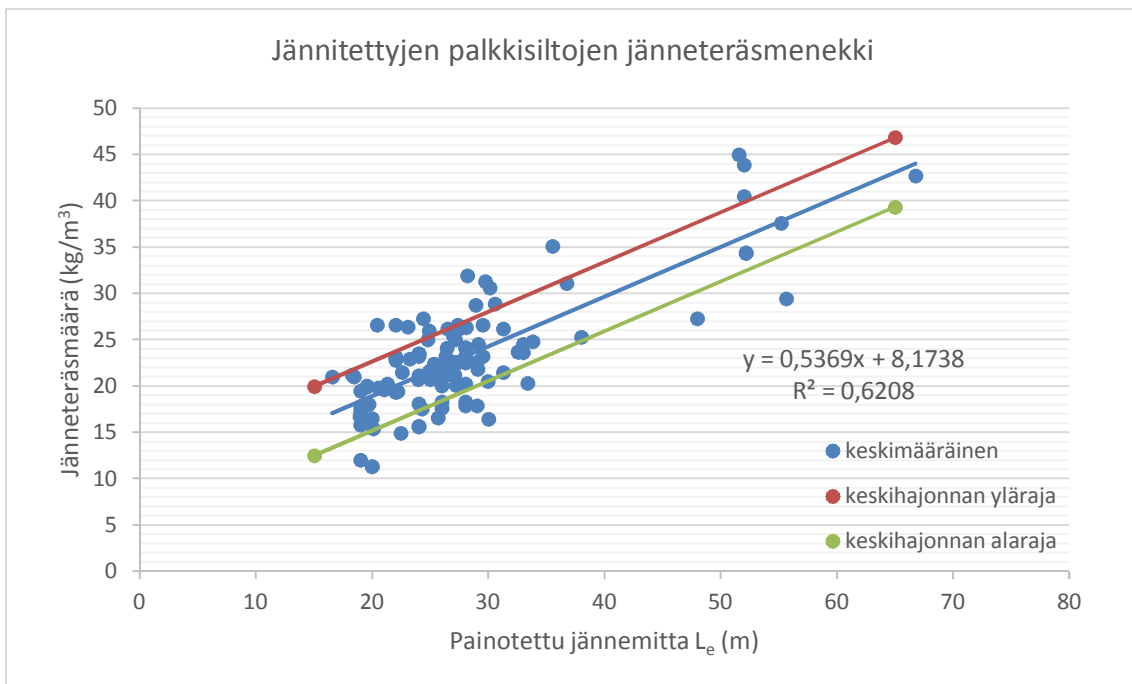
$$Q_{rs} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 187 - 108,5 \times 0,75 + 0,18 \times 12,5$$

$$Q_{rs} = 107,8 \frac{kg}{m^3} \quad \pm 14,64 \frac{kg}{m^3}$$



KUVA 23. Jännitetyn palkkisillan h/b –suhteen ja betonimenekin hajontakaavio

Siltojen lukumäärä = 124, keskivirhe = ± 0,13 m³/m²



KUVA 24. Jännitettyjen palkkisiltojen painotetun jännemitan ja jänneteräsmäärän hajontakuvi

Siltojen lukumäärä = 86kpl, keskivirhe = ± 3,74 kg/m³

Tilastoaineiston mukaisten jännitettyjen palkkisiltojen jänneteräsmenekkiä Q_{ps} voidaan arvioida kaavalla 17.

$$Q_{ps} \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 8,17 + 0,537 \times L_e$$

KAAVA 17

8 POHDINTA

8.1 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida monella tavalla. Aineistoa tutkittaessa täytyi ottaa myös huomioon se, että joukossa oli hyvin todennäköisesti myös sellaisia siltoja, jotka eivät olleet teknistaloudellisesti onnistuneesti suunniteltuja ja toteutettuja. Aineistossa ilmeni suurta hajontaa teräsmäärissä, vaikka rakenteelliset mitat olivat suhteellisen lähellä toisiaan. Yksittäisten poikkeamien kohdalla pyrittiin selvittämään suuren eron syy. Otantaa ei saisi luotettavuuden takia valikoida, mutta regressiomalleista jätettiin pois selvät yksittäiset poikkeamat, mikäli niitä ei pystytty selittämään millään loogisella perusteella. Poikkeamat lisäsivät hajontaa eivätkä palvelleet tulosten käyttötarkoitusta.

Kun otantamenetelmänä käytettiin ositettua otantaa, tuloksia ei käytännössä voida yleistää kuin ositteen sisälle. Tilastoaineiston koko suhteessa tutkittavaan perusjoukkoon oli kuitenkin varsin suuri. Taitorakennerekisterin mukaan otantaprosentti oli noin 25, kun mukaan laskettiin vain selvitykseen rajatut sillat. Näin ollen tutkimuksen voidaan olettaa antavan varsin luotettavan kuvan kaikista vuosien 2003 ja 2016 välillä valmistuneiden siltojen ainemenekeistä. Selvityksen pohjautuessa tilastolliseen aineistoon, on kuitenkin selvää, että se ei anna niin luotettavaa tulosta sovellettaessa luotuja malleja aineiston ulkopuolella. Lineaarisen mallin tarkkuus on sitä suurempi, mitä vähemmän muuttujien arvot poikkeavat mallin laskemiseen käytettyjen arvojen keskiarvosta.

Luotettavuuden kannalta voidaan nostaa esiin myös ominaistietokorttien antamien tietojen oikeellisuus. Kortit ovat yksittäisten ihmisten täyttämiä, joten inhimilliset näppäilyvirheet, sekä poikkeavat määrälaskentatavat saattavat aiheuttaa tarpeetonta virhettä tuloksiin. Käytettyihin mitta-arvoihin ja -yksiköihin liittyneet selvät poikkeamat esimerkiksi betonimäärissä pyrittiin korjaamaan tietoja kerätessä. Joitain virheitä ei välttämättä pystynyt näkemään suoraan ominaistietokortista tarkistamalla ilman tarkempaa selvitystä.

8.2 Yhteenveto tuloksista

Selvityksen avulla luotiin kaavioita ja kaavoja betonisiltojen ainemenekkien arviointiin. Analysoinnissa käytettiin pääosin yhden selittävän muuttujan regressioanalyysiä. Jännitettyjen palkkisiltojen teräsmenekkien arvioimiseen käytettiin myös useampaa selittävää muuttujaa. Mallien selityskertoimien tulkinnassa käytettiin korrelaatiokertoimen mukaisia yleisesti määriteltäviä raja-arvoja. Selityskertoimen ylittäessä arvon 0,49, voitiin muuttujien välillä todeta olevan selvä yhteys.

Tuloksista voidaan todeta, että laattasiltojen teräsmäärien hajonnat ovat edelleen tarpeettoman suuria. Laattasiltojen osalta tehtiin raudoitusmäärää, rakennekorkeuden valintaa sekä betonimääriä kuvaavat kaaviot. Laattasiltojen raudoitusmääräkaaviosta (KUVA 10, s.37) käy ilmi, että hajonnat ovat edelleen hyvin suuria, eikä niitä voi selittää pelkästään esimerkiksi vinouden ja leveyden vaihtelulla. Rautakorven viimeisimpään tutkimukseen verrattuna (KUVA 6, s. 29) laattasiltojen teräsmäärien hajonta on lisääntynyt ja teräsmäärät kasvaneet keskimäärin 5 prosenttia. Laattasiltojen osalta tutkittiin myös leveyden vaikutusta raudoitusmääriin, mutta se ei ainakaan tilastoaineistossa selittänyt raudoitusmäärien hajontaa samalla jännemitta-alueella. Raudoitusmäärien hajontaa lisää mahdollisesti myös suunnittelijoiden omat varmuuskertoimet, sekä erilaiset suunnitteluohjeiden tulkinnat.

Siltojen leveys määräytyy hyvin pitkälle yleensä tiesuunnitelmien mukaan. Laattasiltojen poikkileikkausten ollessa vakioituja, betonimäärän suhteen merkittäväksi tekijäksi jää yleensä rakennekorkeus. Rakennekorkeutta kuvaavat regressiomallit (KAAVA 9 ja 10, s.39) antoivat hyvän selityskertoimen, joten niitä voidaan pitää käyttökelpoisina. Jatkuvien laattojen rakennekorkeus oli keskimäärin 9 prosenttia suurempi kuin 1-aukkoisten. Laattasiltojen betonimäärien arviointiin luotiin kaavat sekä jatkuville, että 1-aukkoisille silloille (KAAVA 11 ja 12 s.41).

Betonimääriä voi arvioida kaavoista aikaisessa suunnitteluvaiheessa, kun tarkat määrät eivät ole vielä tiedossa.

Jännitettyjen palkkisiltojen rakennekorkeuden kuvaajat antoivat myös hyvät selityskertoimet (KUVA 18 ja 19, s.43). Hajonnan ollessa vähäistä, voidaan rakennekorkeuden laskemiseen luotuja kaavoja (KAAVA 13 ja 14, s.44) pitää erittäin luotettavana. Betonimäärien yksikkönä käytettiin kuutioita kansineliötä kohden, joten vaihteluväli oli hyvin pieni. Vaikka selityskerroin jäi pieneksi, antaa kaavio kuitenkin suuntaa betonimääristä (KUVA 17, s.41).

Jännitettyjen palkkisiltojen rauditusmäärään vaikuttaa erittäin moni tekijä, joten tilastollinen todistaminen osoittautui haasteelliseksi. Palkkisilloissa kansilaatassa on yleensä selvästi enemmän rauditusterästä tilavuusyksikköä kohden, kuin jännitetyissä palkeissa. Näin ollen laatan leveyden kasvaessa tulisi myös rauditusmäärän oleellisesti kasvaa tilavuusyksikköä kohden palkkien määrän pysyessä samana. Leveys ei kuitenkaan aineiston silloissa suoraan vaikuttanut rauditusmääriin, sillä yleensä leveyden kasvaessa myös kansilaatan rakennekorkeutta nostetaan. Tämä vähentää teräsmäärän kasvun vaikutusta tilavuusyksikköä kohden, sillä myös tilavuus kasvaa. Tilastoaineistosta ei ollut saatavilla poikkileikkausten tarkempia mittasuhteita syvempää tarkastelua varten, joten siltojen leveyden muutosta verrattiin keskikorkeuden vaihteluun. Leveyden muutos vaikutti selvästi eniten sillan keskikorkeuteen. Leveyden muutoksen ja keskikorkeuden hajontakaaviosta (KUVA 22, s.45) on nähtävissä, että leveyden kasvaessa sillan keskikorkeus laskee. Keskikorkeuden laskiessa rauditusmenekki puolestaan kasvaa kiloina tilavuusyksikköä kohden (KUVA 20, s.44).

Jännitettyjen palkkisiltojen rauditusmenekin arviointiin luotiin lopulta usean muuttujan regressioyhtälöt, jotka ottavat huomioon sekä leveyden että korkeuden vaihteluiden vaikutuksen keskikorkeuteen ja sitä kautta rauditusmenekkiin (KAAVA 15 ja 16, s.46). Muuttujina käytettiin keskikorkeutta, leveyttä, sekä rakennekorkeutta. Yhtälö oli looginen, sillä leveyden kasvaessa myös rauditusterästen määrä kasvoi. Jännitetyissä palkkisilloissa painotetun jännemitan vaih-

telu ei selittänyt vaihteluita raudoitusmenekissä (KUVA 21, s.45), vaan se vaikutti lähinnä jänneteräsmenektiin. Jännemitan kasvaessa taivutusvoimat pyritään yleensä ottamaan vastaan jänneteräksiä lisäämällä tai vahventamalla. Selityskertoimen ollessa korkea ja hajonnan vähäistä, yhtälö (KAAVA 17, s.48) antaa hyvin suuntaa jänneteräsmenেকেistä.

Kehäsillat päätettiin jättää lopulta selvityksen ulkopuolelle, sillä valtaosa kerätyn aineiston kehäsilloista oli mitoiltaan tyyppipiirustusten mukainen. Muiden laatta-kehäsillojen osuus oli niin pieni, että se ei riittänyt tilastolliseen tarkasteluun. Kehäsillat suunnitellaan nykyäänkin suurimmaksi osaksi Liikenneviraston tyyppipiirustussarjojen mukaisesti, joten ainemenekit ovat pääosin tiedossa.

Työn tavoitteet voidaan todeta täytyneiksi. Ainoastaan laattasilloista ei saatu muodostettua luotettavaa mallia kannen teräsmäärien arviointiin. Hajonta oli liian suurta, eikä teräsmäärissä ollut tarpeeksi johdonmukaisuutta. Mallien luominen olisi vaatinut aineiston kokemukseräistä seulontaa. Laattasillojen teräsmäärien suureen hajontaa olisi syytä perehtyä tarkemmin. Olisi ollut mielenkiintoista päästä myös näkemään käytännössä, kuinka eurokoodien käyttöönotto on vaikuttanut siltasuunnittelun ainemenekkeihin. Eurokoodien käyttöönoton vertailu jäi kuitenkin olemattomaksi tietojen puutteellisuuden takia. Eurokoodiohjeiden mukaisesti suunniteltuja siltoja oli aineistossa vain noin 50, kun aineiston koko oli yli 300 siltaa. Tämä ei riittänyt tilastolliseen tarkasteluun. Aineiston otantasuhteista (TAULUKKO 2, s.32) on nähtävissä, että ominaistietokorttien syöttö palveluun on vähenemiin päin. Ominastietokorttien täyttöö ja lisäämistä rekisteriin olisi hyvä vaatia jokaisen hankkeen yhteydessä. Ominastietokortit mahdollistavat tiedonkeräämisen ja sitä kautta ainemenekien kehityksen seuraamisen. Jotta tämänkaltaiset selvitykset olisivat jatkossa helpompi tai ylipäättään mahdollista toteuttaa, olisi tässä hyvä parantaa siltarekisterin korvaamisessa taitorakennerekisterissä. Olisi mielenkiintoista nähdä, mihin suuntaan siltasuunnittelun tarkkuus on menossa eurokoodien käyttöönoton myötä.

LÄHTEET

1. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1989. RIL 179 Sillat. Hanko: Hangon Kirjapaino Oy.
2. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto 2016. Liikenneviraston tilastoja 5/2016. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lti_2016-05_liikenneviraston_sillat_web.pdf. Hakupäivä 21.12.2016.
3. Tiehallinto 2004. Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I). Suunnitteluohje. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/blk12004.pdf>. Hakupäivä 21.12.2016.
4. Liikennevirasto 2011. Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II). Suunnitteluohje. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2011-09_terasbetoninen_laattakehasilta_web.pdf. Hakupäivä 21.12.2016.
5. Tiehallinto 2004. Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul). Suunnitteluohje. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/bul2004.pdf>. Hakupäivä 27.12.2016.
6. WSP Finland Oy, sähköinen arkisto.
7. Tiehallinto 2000. Siltojen suunnitelmat. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/silsuu00.pdf>. Hakupäivä 21.12.2016.
8. Liikennevirasto 2014. Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje. Saatavissa: http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-21_taitorakenteiden_suunnittelun_web.pdf. Hakupäivä 21.12.2016.
9. Tiehallinto 1999. Sillan määräluettelo. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/silmaa99.pdf>. Hakupäivä 27.12.2016.

10. Tiehallinto 2008. Sillan määräluettelo. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/sillat/julkaisut/maaraluettelo_2008.pdf. Hakupäivä 27.12.2016.
11. Heikkilä, Tarja 1998. Tilastollinen tutkimus. 5.-6. painos. Helsinki: Edita.
12. Taanila, Aki 2016. Lineaarinen malli. Saatavissa: <https://tilastoapu.wordpress.com/tag/lineaarinen-regressio/>. Hakupäivä 10.02.2016.
13. Taanila, Aki 2010. Lineaariset regressiomallit. Saatavissa: <http://myy.haaga-helia.fi/~taaak/m/regressio.pdf>. Hakupäivä 14.03.2017.
14. Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto 2004. Korrelaatio ja riippuvuusluvut. Saatavissa: <http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/korrelaatio/korrelaatio.html>. Hakupäivä 14.03.2017.
15. Virtuaali AMK –verkosto. Korrelaatio. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/mater/tutkimusmenetelmat/kvantitat/kuvailu/korre.htm>. Hakupäivä 14.03.2017.
16. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., 2003. RIL K191-2003, Siltpäivät 2003. Helsinki: Pikapaino Paatelainen.

LIITTEET

Liite 1 Sillan ominaistietokortti

Liite 2 Tilastoaineisto

Tiehallinto			SILLAN OMINAISTIETOKORTTI			
Sillan nimi	Suun nro	Tieosa	Kunta	Piiri		
Pihlavan riista-alikulku S2A	R15/19481	Vt8 paalu 3400	Raisio	T		
Siltalaji	risteyssilta		Toimenpide rakentaminen			
Siltatyyppe	Teräsbetoninen jatkuva laattasilta (BjI)		Kuormitus LM1, LM3 / 1.6.2010			
Sivukuva						
Poikkileikkaukset						
Jännemitat	8+10+8 m		Kokonaispituus L	34 m		
Vapaa-aukot	9 m		Kokonaispinta-ala HlxL	382,5 m		
Hyödyllinen lev. Hl max/min	11,25 m	Vinous	0 gon	Vapaa korkeus	4,6 m	
Päällysrakenteen rakennekorkeus aukossa	0,7 m		tuella			
Perustamistapa	Maatuet 1	Välituet 1	Kannen pit.	27 m, pinta-ala A	303,8 m ²	
KUSTANNUKSET						
Koko silta		Yhteiskust.	Päällysrakenne	Indeksi		
Arvio	529 000 €	1 383 €/m ²	105 725 €	193 690 €	163,9 (2000 = 100)	
Toteuma	€	€/m ²	€	€	(= 100)	
AINEMENEKIT			Välituet			
Maa- tai päätytuet			Välituet			
Alusrakenne	Perustus	Pystyrakenne	Perustus	Pystyrakenne		
Betonielem.	m ³ K	m ³ K	m ³ K	m ³ K		
Betonia	90 m ³ K37-3	10 m ³ K37-3	60 m ³ K37-3	18 m ³ K37-3		
Betoniterästä	11180 kg	3470 kg	6350 kg	1960 kg		
Lk A500HW	124,2 kg/m ³	347,0 kg/m ³	105,8 kg/m ³	108,9 kg/m ³		
Muottipintoja	64 m ²	46 m ²	50 m ²	80 m ²		
Paaluja	kpl	m koko	kpl	m koko		
Päällysrakenne	Määrä	Luokka	Yksikkömen.			
Betonielem.	m ³ K		m ³ /A			
Betonia	284 m ³ K45-3	0,93	m ³ /A			
Betoniterästä	39450 kg A500HW	138,9	kg/m ³			
Jänneterästä	kg		kg/m ³			
Rakenneterästä	kg		kg/A			
Maalauspinna-ala	m ²		m ² /t			
Muottipintoja	540 m ²	1,90	m ² /m ³			
Liimapuuta	m ³ L		m ³ /A	18.8.2014		
Sahatavaraa	m ³ T		m ³ A	Henri Koskenkorva		

Silta	Vuosi	Tyyppi	Kannen geometria			Ainemenekit	
			b m	le (m) m	h (m) m	Qc m3	Qr kg/m3

1-aukkoiset ulokelaattasiljat

Långmossbergenin akk	2015	Bul	7,5	11	0,6	95	136,3
Veljeskolmion akk	2014	Bul	7,5	15	0,8	167	140,1
Virkaympyrän akk	2014	Bul	23,5..36,5	12	0,7	350	114,3
Kivikkomäen rs	2011	Bul	16,5	18	1,1	382,5	111,2
Haukkavuoren rs	2011	Bul	16,5	20	1,2	437	129,1
Eläinpuiston akk	2010	Bul	8,5	14	0,9	171	154,5
Korkea-ahon rs	2010	Bul	10..12	18	0,95	274	123,9
Nällin akk A ja B	2010	Bul	12+12	14	0,8	393	139,6
Tiaisen rs B	2010	Bul	14	16	0,85	290	117,1
Tiaisen rs A	2010	Bul	14	16	0,85	274	117
Taipaleenkylän akk	2010	Bul	21,5	16	0,85	415	118,4
Pyhäjärvenselän akk	2009	Bul	8,5	16	0,85	190	120,3
Korkea-Ahon rs	2009	Bul	10	18	0,95	240	125,9
Lotteisen rs	2009	Bul	11	18	1	270	129,7
Ylikkälän rs	2009	Bul	20,2	19	1	512	119
Haavistontien rs	2009	Bul	20,75	18	0,95	522	114
Korvensuoran akk itäi.	2008	Bul	6,75	10	0,6	82	143,8
Sammalkujan akk länt.	2008	Bul	6,75	10	0,6	87	139,7
Talvikankaan akk länt.	2008	Bul	6,75	10	0,6	87	137,2
Lehmiojan	2008	Bul	8	16	0,9	175	139,6
Partalan rs A	2008	Bul	10	20	1,1	303	112,1
Partalan rs B	2008	Bul	10	20	1,05	303	112,1
Pulkkatien akk	2008	Bul	15	10	0,6	198	145,6
Toivion pohj. rs	2008	Bul	15	18	0,95	372	119,2
Raitotien akk	2008	Bul	15	10	0,68	198	138,9
Mastokorven akk B	2008	Bul	18-20	16	0,9	461	109
Mastokorven akk A	2008	Bul	18-20	16	0,9	452	93,9
Jäkälätien akk	2008	Bul	23	8	0,87	291	100,1
Ruskonselän rs	2008	Bul	13,5	18	0,6	292	123
Sukalan	2007	Bul	6,5	13	0,81	110	139,1
Halla-ahon rs	2007	Bul	18,5	15	0,95	340	128,3
Honkakylän	2006	Bul	8,5	21	1,08	260	128,7
Haaskajänkkän akk	2005	Bul	7,5	14	0,61	127	146,5
Tunturihännän akk	2005	Bul	7,5	13	0,61	116	151,8
Poroportin akk	2005	Bul	10,5	12	0,73	164	126
Mannilan rs	2005	Bul	10,5+10,5	18	0,92	523	102,8
Koskenkylän rs	2005	Bul	14,5	19	1,1	371	100,9
Niittypuiston akk	2004	Bul	7	14	0,88	126	138,1
Puukullan akk	2004	Bul	9,5	14	0,88	156	137,5
Vasamapolun akk	2004	Bul	10,5	10	0,65	134	106,7
Garbomin rs	2004	Bul	14	19	0,95	324	120,8
Etolan akk	2004	Bul	7	14	0,76	112	136,2
Närpiön yks	2004	Bul	11	18	1,05	259	94,43

Silta	Vuosi	Tyyppi	Kannen geometria			Ainemenekit	
			b m	le (m) m	h (m) m	Qc m3	Qr kg/m3
Kotirannan akk	2004	Bul	7	14	0,88	123	137,7
Koivupellon	2003	Bul	21,2	12	0,65	270	118,1
Alapartaan	2003	Bul	4,5	12	0,61	86	119,3
Isoaukion rs	2003	Bul	21,2	18	1,03	483	141,04
Survon akk	2003	Bul	7	9	0,55	76,6	146
Myllypuron	2003	Bul	11	14	0,82	203	134,6
Korpiahontien rs	2003	Bul	11	16	0,93	230,5	106,7
Maskujoen		Bul	11,25	18	1	311	142,9
Hirvijoen		Bul	11,25	16	1	290	129,7

Jatkuvat laattasillat

Länsimäentien rs C	2015	Bjul	7,5	12,23	0,9	292	113,1
Länsimäentien rs B	2015	Bjul	9,75	13,1	0,9	410	102,1
Västersundomin rs B	2015	Bjul	10	15,83	0,9	480	179,2
Länsimäentien rs D	2015	Bjul	11	12,9	0,9	460	95,8
Pihlavan akk A	2015	Bjl	11,25	16,72	0,7	284	138,9
Pihlavan akk B	2015	Bjl	11,25	12,46	0,7	284	137,7
Rajakallion rs A	2015	Bjl	11,25	12,46	0,7	284	138,2
Rajakallion rs B	2015	Bjl	11,25	8,77	0,7	284	138,2
Länsimäentien rs A	2015	Bjul	13,25	8,77	0,9	550	96,1
Rosendahlin rs	2014	Bjl	13,25	8,77	1,2	2924	111,1
Silvastin rs	2014	Bjl	31,25	8,77	0,9	2245	154,6
Stormossenin rs	2014	Bjul	9	22,62	1,16	488	130,5
Otsontien rs pohj.	2014	Bjul	9,75	13,1	1	431	122,6
Otsontien rs etel.	2014	Bjul	9,75	16,72	1	430	122,9
Korhosenrs	2014	Bjul	10,5	18,5	0,65	255	150,6
Välitien rs	2014	Bjul	11,5	16,76	1,18	612	130,2
Simolan	2013	Bjl	11,25	20	0,95	517,5	112,3
Sutelan rs A	2013	Bjl	11,25	17	0,7	316	172,6
Sutelan rs B	2013	Bjl	11,25	17	0,7	315	173
Kahrin	2013	Bjl	13,5	14,47	0,95	606	113,2
Kivistön itäinen rs	2013	Bjul	10	10,75	0,9	544	150,4
Keimolan portin itäi. Rs	2013	Bjul	10,5	14,4	1	403	118
Pitkäkorven rs	2012	Bjul	18	18,22	1,15	812	96,5
Kivistön läntinen rs	2012	Bjul	10	20	0,8	470	146,6
Keimolanportin länt. Rs	2012	Bjul	11	18,22	1	450	110,8
Keimolanportin A ja B rs	2012	Bjul	15	19,47	1	1262	110,4
Ahvenlahden itäin.	2010	Bjl	4,5	8,28	0,6	87	162,1
Parikkalan pohj. yks	2010	Bjl	11	15,13	1	508	123,4
Kapsajoen	2009	Bjl	7,5	12,67	0,9	327	123,3
Pikkalan rsA	2009	Bjl	10	11,41	0,7	240	172,4
Brobölen	2009	Bjl	12,75	11,08	0,7	348	135,1
Selkäharjun rs	2009	Bjul	20,2	11,15	1	1105	101,8
Korven	2008	Bjl	10	13,05	1,01	391	101
Talpelantien rs B	2008	Bjul	11,5	15,92	0,95	696	119
Talpelantien rs A	2008	Bjul	11,5	16,96	0,95	696	118,2
Mellanojan rs	2008	Bjul	12,5	16,29	0,75	814	114,6

Silta	Vuosi	Tyyppi	Kannen geometria			Ainemenekit	
			b m	le (m) m	h (m) m	Qc m3	Qr kg/m3
Areenan rs 2	2008	Bjl	14	16,29	1	515	93
Mustikkamäen pohj. rs	2008	Bjl	15	12,17	0,7	430	129,3
Areenan rs 1	2008	Bjl	18,5	9,88	1	692	87,6
Sarankulman pohj. rs	2008	Bjl	19,5	11,8	0,8	653	98,4
Airakselan yks	2007	Bjl	10,75	14,16	1	555	93
Vangasjärven rs	2007	Bjul	14	14,62	0,75	459	103,5
Kuvansintien rs	2005	Bjl	9,75	13,21	0,8	603	104,5
Pärnämäen rs 2	2005	Bjul	14,25	15,93	0,81	530	117,7
Kanavan	2005	Bjl	14,5	11,74	1,05	601	99,2
Jäppiläntien rs	2005	Bjul	13,25	13,21	0,9	632	102,8
Särkinärän	2004	Bjul	7,5	15,53	0,83	300	112,7
Särkiputaan	2004	Bjul	7,5	12,39	0,83	275	110,9
Pajarin rs/yks	2004	Bjl	8,5	20,09	1,18	784,6	138,2
Utin yks	2004	Bjl	8,5	19,25	1,2	452	153
Rataspellon rs A	2004	Bjl	18,5	10,75	0,65	438	132,7
Hemäkernin yks	2004	Bjul	26,5	13,82	0,9	924	106,5
Ikaalisten rs	2004	Bjl	16	17,92	1,1	853	80,7
Kaikuharjun rs B	2004	Bjl	15,75	10,75	0,65	377	129,9
Emännän rs A	2004	Bjl	22	12,96	0,8	882	138,4
Emännän rs B	2004	Bjl	21,5	12,96	0,8	797	139,3
Suutarin rs B	2004	Bjl	17,75	15,73	0,9	1120	149,2
Vaatturin rs	2004	Bjl	8,7	15,78	1	412	156,5
Mommilan yks	2004	Bjl	7,5	14,14	0,85	360	98,1
Tarkanlahden	2003	Bjl	11	16,69	0,89	451	136,2
Pusalan	2003	Bjl	21,2	7,29	0,61	369	165
Mustilan rs	2003	Bjl	14	15,13	0,85	529	127,8
Haavistonjoen	2003	Bjl	11	16,69	0,86	451	138
Tupoksen etel. Rs	2003	Bjl	21,2	15,75	0,95	877	95,3
Kokkokankaan rs 2	2003	Bjl	12,25	10,7	0,75	355	122,52
Lindkosken rs	2003	Bjl	14	12,62	0,85	460	119
Isännän rs	2003	Bjl	11,4..18,7	19,37	1,1	1241	152,3
Sepän rs	2003	Bjl	9,5	17,49	0,9	509	149
Lapinjärven rs	2003	Bjl	12,5	18,06	1,1	690	130
Leipurin rs	2003	Bjl	10,5	16,53	0,9	513	138,9
Hillosensalmen	2003	Bjl	8,5	14,57	1	331	125,2
Oripohjan yks	2003	Bjul	14,5	16	0,8	460	114,3
Länkipohjan rs	2003	Bjl	11	16,28	0,93	497	101,4
linatintien rs B	2003	Bjul	12,25	10,47	0,75	323	111,56
Sammun rs	2003	Bjl	19,5	15,09	1	870	113,2
Taasianjoen	2003	Bjl	14	14,57	0,88	508	126,5
Kaikuharjun rs A	2003	Bjl	22	10,75	0,65	521	121,6
Nummen rs	-	Bjul	21,25	17,03	0,85	1627	136,3
S3	-	Bjul	23,5	12,33	0,8	1175	137,6
S12	-	Bjul	25	12,67	0,9	1010	138,6

Silta	Vuosi	Tyyppi	Kannen geometria			Ainemeneikit		
			b m	le m	h m	Qc m3	Qrs kg/m3	Qps kg/m3

1-aukkoiset jännitetyt palkkisillat

Kotoniityn A	2014	jBup	12	20	1	240	146,5	11,3
Kotoniityn B	2014	jBup	12	20	1	240	146,4	11,3
Sivumaantien rs	2014	jBup	10,5	33	1,6	358	103,4	23,6
Karperöntien rs	2014	jBup	11,5	33	1,6	328	118,4	24,5
Tolosjoen	2010	jBp	7,5	30	1,8	287	84,5	16,4
Laihian rs B	2010	jBup	16,75	24	1,4	415	126,7	15,7
Laihian rs A	2010	jBup	16,75	24	1,4	418	126,8	15,6
Valittulantien	2009	jBup	13	25	1,3	305	90,4	20,7
Tainionvirran	2009	jBp	19	28	1,4	475	81,5	24,2
Nälännön	2008	jBup	7,5	27	1,3	158	148,2	33,5
Saarilammen akk A	2008	jBup	12,25	19	1,1	216	140,5	17,8
Kolmenkulman länt.	2008	jBup	13	24	1,3	240	117,9	23,5
Kolmenkulman itäi.	2008	jBup	13	24	1,3	240	117,7	23,5
Turkkiradan etel.	2008	jBup	13	24	1,3	240	117,9	23,5
Kaitajärven B	2008	jBup	13	19	1,1	222	140,2	17,3
Lahnajärven rs B	2008	jBp	13	22	1,55	209	112	23,1
Lahnajärven rs A	2008	jBp	13	22	1,55	210	113,5	23
Röysyn rs B	2008	jBup	14,5	22	1,1	210	127	19,3
Röysyn rs A	2008	jBup	15,8	22	1,1	209	136,7	19,4
Raiviomäen rs	2007	jBup	11	20	1,05	211,5	110,9	16,5
Juankosken kanavan	2007	jBup	11,75	48	2,3	709	113,8	27,3
Vanton rs	2007	jBup	22,75	22	1	370	102,1	26,6
Haarajoen yks	2006	jBup	7,5	22	1,45	290	116	?
Palomäen yks	2006	jBup	15	28	1,18	385	106,5	?
Salmenojan	2005	jBup	11	22	1,1	185	158,5	19,5
Putaanportin rs	2005	jBup	11	19	0,85	185	98,4	19,5
Kuorejoen rs	2005	jBup	16	19	1	300,1	106,4	16,8
Alvajärven	2005	jBup	13,3	19	1,05	436	138	15,8
Mulan	2005	jBup	9,8	25	1,1	406	126,8	21,7
Pyhäkosken	2004	jBup	9,5	24	1,2	186	144,1	21,1
Muhoksen yks	2003	jBup	15,3	28	1,1	420	142,33	18,3
Heinäkulman rs	2003	jBp	4,5	35,5	1,54	204	90,1	35,1
Koiviston yks	2003	jBup	6	26	1,5	200	111,4	20

Silta	Vuosi	Tyyppi	Kannen geometria			Ainemenekit		
			b m	le m	h m	Qc m3	Qrs kg/m3	Qps kg/m3

Jatkuvat jännitetyt palkkisillat

Västersundomin C	2016	jBjp	7,5	22,16	1,3	355	105,9	19,4
Lelun rs	2016	jBjup	12,75	29,5	1,7	686	116,4	23,2
Kattilaisten rs	2016	jBjp	12,75	29	1,7	588	113,3	22,6
Voimalan rs C	2015	jBjup	7,5	27,11	1,5	575	109,2	21,2
Sähköaseman rs	2015	jBjp	7,5	36,75	1,82	770	99,6	31,1
Västersundomin rs A	2015	jBjp	10	25,9	1,5	3675	71,7	21,4
Hannukaisen rs	2015	jBjp	10	28,1	1,5	2974	83,7	26,3
Virkatien rs	2015	jBjp	11,6	26,23	1,4	1054	117,6	22,5
Storängin rs	2014	jBjup	6	27,5	1,35	298	110,1	22,6
Karjansuon rs	2014	jBjup	6	27	1,4	288	103	25,4
Rintalan rs	2014	jBjp	10	27,48	1,5	1632	79,5	26,2
Ristinevan yks	2014	jBjup	11	21,28	1,2	454	134,6	20,2
Siltakylän rs	2014	jBjup	12,5	28	1,4	533,5	111,1	24,1
Bölentien rs	2014	jBjp	11	24,38	1,4	595	124,6	27,3
Suolinnanmäen rs	2013	jBjp	6	27	1,3	271	103,1	25,5
Suurpyölin rs	2013	jBjp	8,5	26,43	1,3	1037	119,8	24,1
Itäkirkonkylän A	2013	jBjp	12	25,34	1,6	633	101,9	22,4
Itäkirkonkylän B	2013	jBjp	12	25,34	1,6	633	101,9	22,4
Hevossuon rs	2013	jBjp	12,5	20,88	1,9	753	96,7	29,9
Pyhtään rs	2013	jBjup	13,5	27	1,3	556	126,8	22,6
Yläsuutarin rs	2013	jBjp	13,5	24,78	1,3	820	111,2	25
Heinlahden rs	2013	jBjp	14,5	26,5	1,3	515	111,7	26,2
Pohjoonlahden rs	2011	jBjp	11	18,25	1,3	425	81,1	21,2
Piittisjoen	2010	jBjp	5,5	20,51	1,1	275	123,9	19,8
Tirilän rs	2010	jBjup	13	24	1,3	495	130,5	18,1
Ajoksen rs	2010	jBjp	16,5	19	1,2	721	129	17
Portin rs	2010	jBjup	19,5	11,35	0,72	599	136,8	x
Halikonjoen	2009	jBjp	10,5	55,62	2,41	1930	115,9	29,4
Muukon rs	2009	jBjup	13	26	1,47	569	118,7	17,6
Ropaksniitun rs	2008	jBjup	4,5	28	1,4	253	86	20,2
Ojamäen rs	2008	jBjp	4,5	27	1,41	220	87,7	21,2
Maimianniemen rs	2008	jBjp	4,5	28	1,4	228	88,6	17,9
Ahveniston rs	2008	jBjp	5,5	33,8	1,6	344	86,4	24,8
Sotamäen rs	2008	jBjp	6	30,57	1,4	342	80,9	28,9
Riihelän rs	2008	jBjp	6	29,11	1,5	305	79,4	24,5
Lempolan rs A	2008	jBjup	7	27,15	1,35	245	133,4	25
Vangenrauman	2008	jBjp	7	16,55	1	255	111	21
Muurlan rs	2008	jBjp	7,5	22,48	1,2	552	84	14,9
Myllypuron rs	2008	jBjp	11,5	33,37	1,85	745	83,1	20,3
Sepänniemen B	2008	jBjp	11,5	32,57	1,75	1162	114,9	23,7
Sepänniemen A	2008	jBjp	11,5	32,57	1,75	1162	115	23,7
Härmälän yks	2008	jBjp	12,25	31,26	1,8	1265	144,8	21,5
Pernjärven A	2008	jBjp	12,5	52,14	2,62	2508	89,6	34,4
Pernjärven B	2008	jBjp	12,5	52,14	2,62	2515	88	34,3
Saukkolantien rs	2008	jBjup	12,5	27,2	1,4	444	115,4	22,6
Nahvon rs	2008	jBjup	14	30,13	1,48	676	96,7	30,6

Silta	Vuosi	Tyyppi	Kannen geometria			Ainemenekit		
			b m	le m	h m	Qc m3	Qrs kg/m3	Qps kg/m3
Joenspella rs	2008	jBjp	14,5	26,34	1,5	827	93,6	23,2
Raitotien rs	2008	jBjp	15	23	1,5	520	109,6	?
Hossanmäen rs	2008	jBjup	16,5	28,93	1,34	645	101,1	28,7
Tuulissuon rs	2008	jBjup	15	22	1	453	100,8	22,8
Riihikorven rs	2007	jBjup	6	28	1,35	319	75,6	23,3
Ketunmäen rs	2007	jBjup	6	29,53	1,35	335	82,4	26,6
Ulkoluodon	2007	jBjp	7	52,02	2,2	1267	97,3	40,5
Kummuntien rs	2007	jBjup	10	18,44	1,3	362	119,8	21
Haarapajun rs	2007	jBjp	12,5	19,72	1,55	798	93,1	18
Uuron rs	2007	jBjp	12,75	21,05	1,4	556	93,6	19,6
Ridanmäen rs	2006	jBjup	6	26	1,2	286	86,5	20,8
Pinoperän	2006	jBjp	7	52,02	2,6	1174	139,6	43,9
Kekkosentien rs	2006	jBjp	7,5	38	1,55	590	66,2	25,3
Kruusilan rs	2006	jBjp	7,5	29	1,5	593,3	75,6	17,9
Mönnin	2006	jBjp	7,5	55,2	2,61	1898	124,5	37,6
Tavolan rs	2006	jBjup	12,5	28	1,4	576	86	22,5
Kaunismäen yks	2006	jBjp	16	27,4	1,73	970	135,1	?
Kaunismäen rs	2006	jBjp	16	27,5	1,73	1351	67,1	?
Kiukkolan	2005	jBjp	6	31,27	1,5	352	91,3	26,2
Pitkäniemen itäin. Rs	2005	jBjp	7	29,94	1,66	560	75	20,5
Kaislaharjun rs	2005	jBjp	8,5	25,64	1,45	415	93,9	16,6
Lammin silta	2005	jBjp	11	24,29	1,45	710	134,1	17,5
Häyriän rs	2005	jBjp	11,25	24	1,1	384	136,7	23,2
Kuvansin rs	2005	jBjp	11,25	29,08	1,5	513	118,9	21,8
Seestanjoen I	2005	jBjup	12	19,52	1,05	435	91	20
Seestanjoen II	2005	jBjup	12	19,52	1,05	436	91	19,9
Ratapellon yks 2	2005	jBjp	12	22,56	1,2	560	92,2	21,5
Pitkäniemen rs A ja B	2005	jBjp	13	27,18	1,66	1639	84,7	20,1
Marjamäen rs	2004	jBjp	19,5	24,9	1,3	910	81,6	26
Tammiston rs B	2004	jBjp	20,5	29,7	1,1	754	149,3	38,2
Kiertotien rs	2004	jBjp	12,25	26,65	1,41	512	97,7	21,3
Wattkastin	2004	jBjp	7	66,76	3	1069	92,6	42,7
Pyykönpuron rs	2004	jBjup	13,5	20,11	1,2	528	106,3	15,4
Gubbackan rs	2004	jBjup	23,25	24,83	1,4	901	94,2	21,5
Vehmaan	2003	jBjp	16,75	19	1,27	666	79,8	12
Jutilan yks	2003	jBjp	7,5	23,93	1,44	480	116,4	20,7
Kunnanlääkäri rs	2003	jBjp	7	28,19	1,4	1130	98,7	31,9
Kankikallion yks	2003	jBjp	11	29,75	1,5	532	111,9	31,3
Apteekkarin rs	2003	jBjp	10,1	27,37	1,5	1348	77,6	26,6
Rengin rs	2003	jBjp	9,5	20,4	1,3	855	78,3	26,6
Jokiojan	2003	jBjp	11	23,06	1,42	674	92,5	26,4
Pateniemen	-	jBjup	4,5	23,26	1,14	345	124,3	22,9
Myllymäen	-	jBjp	12,25	18,95	1,05	650	101	16,7
Maskun pohj.	-	jBjp	14,85	25	1,2	506	191,1	21,1
Maskun etel.	-	jBjp	18	26	1,2	630	224,8	18,3

Laattakehäsillat

Silta	Vuosi	Tyyppi	Geometria				Ainemenekit	
			b m	l m	h m	h _a m	Q _c m ³	Q _{r,s} kg/m ³
Yläsuutarin akk	2013	Blk II	13,5	6	0,42		122	98,8
Latosuon akk A ja B	2013	Blk II	24	6	0,42	3,2	240	104
Mustakorven rs A ja B	2014	Blk II	25,5	6	0,42	4,6	279,5	98,6
Puuran rs	2011	Blk II	12,25	6	0,4	4,2	139	110,5
Hyppyriäisen rs	2011	Blk II	12,25	6	0,4	4,6	158	111,6
Kaukaanlammen rs	2011	Blk II	12,25	6	0,4	4,6	143	120,6
Kairahtan rs	2011	Blk II	16,5	6	0,4	4,8	179	133,9
Kattilakorven rs	2011	Blk II	16,5	6	0,4	4,6	184	110,8
Väliläntien rs	2011	Blk II	16,5	6	0,4	4,6	182	115,8
Juvakan akk	2008	Blk II	7	5	0,41	3,3	83	83,3
Vesihernetien akk	2008	Blk II	7,5	6	0,4	2,8	110	98,8
Fräkin akk	2009	Blk II	9,5	6	0,4	2,8	86	101
Saikon akk	2008	Bvlk	9,5	6	0,41	3,8	116	78,4
Ruskialamminsuon akk	2009	Bvlk	11	5	0,41	3,8	132	89
Viheriämetsän rs A	2008	Blk II	11,5	6	0,4	4,6	140	141,3
Viheriämetsän rs B	2008	Blk II	11,5	6	0,4	4,6	140	141,2
Hongiston akk B	2008	Blk II	12,25	6	0,45	4,6	148	110,6
Riihessillan akk B	2008	Blk II	13	6	0,4	4,2	121	112,6
Riihessillan akk A	2008	Blk II	13	6	0,4	4,2	121	112,6
Hannulan akk	2010	Blk II	15,5	4	0,4	2,8	96,5	92,3
Helkalan akk	2008	Blk II	20	5	0,41	3,2	165	83,9
Kynsilähdon akk	2008	Blk II	10	6	0,4	2,8	182	84,7
Huuhkajan akk	2010	Bvlk	13,5	5	0,41	3,8	253	88
Koukkujärven akk	2008	Blk II	13	5	0,4	3,2	215	115,4
Liljendahlin akk	2004	Blk II	22	5	0,4	3,2	168	82
Granbackan rs	2003	Blk II	15,5	6	0,4	3,2	151	94,07
Kukonojan akk	2003	Blk II	20	6	0,4	4	166	100,3
Järvikunnaksen akk	2003	Blk II	18,9	5	0,4	3,2	179	90,04
Heinsuon akk	2013	Blk II	15,3-16,8	4	0,37	4	112	111,7
Itänummen akk	2016	Blk I	16,7-22,7	6	0,42	2,8	118	135,8
Kaakkoiskaaren akk	2008	Blk II	10,7-11,4	5	0,41	3,2	110	80,6
Poikkitie akk	2009	Bvlk	11..15	5	0,41	3,2	140	123
Rahtikujan akk	2008	Blk II	13,5+10	6	0,4	2,8	202	96,9
Lempoonsuon akk	-	Bvlk	11,5	5	0,4	4	141	100,8
Niskanmäen akk	2004	Bvlk	14	5	0,4	2,5	103	75,39
Alasrannan akk	2013	Blk I	14,2	6	0,41	-	124	135,8
Tietäjän akk	2014	Blk I	11	8..6	0,45	3,2	283	85,8
Kallion akk	2011	Blk I	12..13,5	6	0,42	3,3	88	133,5
Saarnihuhdan rs	2008	Blk I	13	6	0,4	4,8	125	107,2
Saarnihuhdan rs	2008	Blk I	13	6	0,4	4,8	133	115,8
Lammijärven rs	2008	Blk I	26	8	0,45	-	338	104
Ketunmaan akk	2008	Blk I	17,5	6	0,4	-	131	110,8
Honkavuoren rs	2008	Blk I	13	8	0,45	4,8	168	101,8
Honkavuoren rs	2008	Blk I	13	8	0,45	4,8	168	101,8
Tiensivun akk	2006	Blk I	16,5	6	0,4	4,7	133,6	98,2
Siltalan akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	-	146	99,3
Kalattoman akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	4,6	134	129,1
Pajamiehen akk	2005	Blk I	12,4	4	0,4	3,2	82	112,1
Selkojärven akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	4	147	123,2

Silta	Vuosi	Tyyppi	Geometria				Ainemenekit	
			b m	l m	h m	h _a m	Q _c m ³	Q _{rs} kg/m ³
S12	-	Blk I	12	6	0,4	-	141	121,2
Mäkelän aks II	2005	Blk I	12	6	0,4	4,6	128	113
Isosuon akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	4	152	89,6
Rautasuon akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	4,15	141	98,8
Helluntakojan akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	4,1	142	94,7
Koivurinteen akk II	2005	Blk I	12	8	0,45	4,7	186	122,2
Eskonojan akk II	2005	Blk I	12	6	0,4	4,2	126	116,1
Kaakilän rs	2003	Blk I	21,2	8	0,5	4,2	239	86,4
Väärälänperän akk II	2003	Blk I	12,25	6	0,4	3,6	118	98,74
Rantakylän rs	2003	Blk I	21,2	8	0,5	2,8	250	87
Suosaaren rs	2003	Blk I	16,25	8	0,45	-	204	103,8
Susikorven rs II	2003	Blk I	12,25	8	0,45	4,6	162	96,38
Uutelan akk	2008	Blk	11	8.6	0,45	3,2	253	90,6
Kivistön aseman lä.akk	2013	Blk	11,5	14	0,7	3,6	284	105,5
Kivistön aseman Itäi.akk	2012	Blk	14	7	0,7	3,6	182	117,6
Toisen savun akk	2014	Blk	10,5-17,5	10	0,7	3,2	515	119,1
Karjalahden akk	2010	Blk	12	6	0,42	2,8	130	107,9
Vilmilän rs 2	2009	Blk	12,5	10	0,6	3,5	235	114
Seppälän akk 2	2005	Blk	12	14	0,75	-	255	107,6