



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

TOTEUTUNEIDEN SILTOJEN MITTA- JA MÄÄRÄTIETOJEN HYÖDYNTÄMINEN TULEVISSA SUUNNITTELUPROJEKTEISSA

TEKIJÄ: Juho Pehkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä(t) Juho Pehkonen	
Työn nimi Toteutuneiden siltojen mitta- ja määrätietojen hyödyntäminen tulevissa suunnitteluprojekteissa	
Päiväys	11.4.2019
Sivumäärä	35
Ohjaaja(t) lehtori Matti Mikkonen ja yliopettaja Arto Puurula	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sweco Rakennetekniikka Oy, Siltaosasto	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli parantaa Swecon suunnitteleminen, rakennettujen laattasiltojen, sekä jännitettyjen palkkisirtojen mitta- ja määrätietojen hyödyntämistä tulevissa siltojen suunnitteluprojekteissa. Lisäksi tavoitteena oli kehittää suunnittelun automatisointia parhaiten palveleva formaatti/dokumentaatio. Tarkoituksena oli, että jatkossa geometriatiedot saataisiin suoraan hyödynnettävään muotoon parametrissa suunnittelua varten.</p> <p>Opinnäytetyössä tuotettiin uusi siltatietokanta Excel-täydentämisohjelmalla, hyödyntäen vanhassa siltatietokanta-aineistossa esitettyjä mitta-, määrä-, sekä kustannustietoja. Uuteen tietokantaan kirjattavien tietojen mukaisesti on mahdollista muodostaa teräsbetonisen laattasiltojen, sekä jännitetyn palkkisirtojen päällysrakenteen geometria. Uusi siltatietokanta sisältää mitoittamisen kannalta tärkeitä betoniteräs- ja jänneterästietoja, sekä tietoa betonimenekistä ja kustannuksista niin päällysrakenteen, kuin koko sillan osalta. Opinnäytetyössä tarkasteltiin lähdeaineistoon perehtymällä laattasiltojen ja jännitettyjen palkkisirtojen ominaisuuksia yleisesti, sekä esiteltiin keinoja kyseisten siltatyyppeiden päällysrakenteiden mitta- ja ainemenekkitietojen arvioimiseen.</p> <p>Opinnäytetyö toi lisäarvoa, jo tämänhetkiseen Swecon siltaosaston todella tärkeään ja arvokkaaseen olemassa olevaan rakennettujen siltojen tilastoaineistoon. Tilastoaineiston mukaisia ainemenekkejä voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi suunnittelun ohjauksessa ja uusi suunnittelija voi hakea suuntaa antavia mittoja ja ainemenekkejä suunnittelun ja tarjouslaskennan perustaksi. Tilaaja hyötyy työstä, koska sen avulla voidaan suunnitella nopeammin kustannustehokkaita siltoja, sekä arvioida tarjousvaiheessa nopeammin rakennettavan sillan ainemenekkejä, kuten betoni-, betoniteräs- ja jänneteräsmääriä.</p>	
Avainsanat siltatietokanta, parametrinen suunnittelu, laattasilta, palkkisilta	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Construction Engineering			
Author(s) Juho Pehkonen			
Title of Thesis Utilizing Dimension and Quantity Data from Built Bridges in Future Design Projects			
Date	April 11, 2019	Pages	35
Supervisor(s) Mr Matti Mikkonen, Senior Lecturer and Mr Arto Puurula, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Sweco, Structural Engineering, Bridge Department			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to improve the utilization of dimension and quantity data of built slab bridges and post-tensioned beam bridges in the future design projects designed by Sweco. Another purpose was to develop a format or a documentation system which best would serve their automation planning. The purpose was that in the future the geometry information for the parameter planning is directly obtained to the form to be utilized.</p> <p>In the thesis a new bridge database Excel with its supplementing instructions was produced utilizing the old bridge database material which was presented with dimension-, quantity-, and cost information. It is possible to form a new database according to the information to be recorded, the geometry of the superstructure of the slab bridges and post-tensioned beam bridges. The new bridge database contains vital information for dimensioning, such as reinforcing steel, prestressed steel, information about concrete consumption and costs for a superstructure as well as the whole bridge. In the theory part the slab bridges and post-tensioned beam bridges were generally processed. Also, the means for the estimation of information, the dimension and material consumption of the superstructures of these bridge types were demonstrated.</p> <p>As a result, the work brought added value to Sweco's already present bridge department's important statistical material of built bridges. For example, the material consumptions which are in accordance with the statistics material can be used as an advantage in the control of the planning. A new bridge designer can search for indicative measures and material consumptions as the foundation of planning and offer calculation. The client benefits from the work because it makes it faster to design cost-efficient bridges. In addition, to estimate the material consumptions of the bridge, such as the quantities of concrete, reinforcing steel and prestressed steel, becomes easier already at the offer stage.</p>			
<p>Keywords bridgedatabase, parametric design, slab bridge, beam bridge</p>			

ALKUSANAT

Haluan kiittää Sweco Rakennetekniikan Siltaosastoa saamastani mahdollisuudesta tehdä opinnäyte-työ tästä kiinnostavasta ja opettavaisesta aiheesta. Erityiskiitokset ohjauksesta ja kommentteista Antti Jussilalle, Risto Hätiselle, Juha Litmaselle, Markus Ryynäselle, Eetu Partalalle ja Rasmus Sainmaalle.

Kuopiossa 11.04.2019

Juho Pehkonen

SALASSAPITOSOPIMUS

Käsittämäni tieto on Swecon siltasuunnittelun perusta ja näin ollen erittäin salaista. Minulla on vai-
tiolovelvollisuus tilastoaineistossa esitetyistä tiedoista ja esitetty tieto ei saa missään nimessä levitä
konsernin omaa siltaosastoa pidemmälle. Näiden syiden seurauksena opinnäytetyötä ja toteutettua
aineistoa ei saa julkaista julkisesti. Erityisesti siltatietokantaan liittyviä tiedon kuvauksia, kuvia ja do-
kumentaatiota ei saa esittää tai poimia muihin materiaaleihin.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Rajaukset	7
1.2	Lyhenteet ja määritelmät.....	8
2	TIESILLAT	9
2.1	Laattasillat.....	10
2.2	Jännitetyt palkkisillat.....	12
2.3	Suuret vesistö sillat	13
3	SILTASUUNNITTELU	15
3.1	Parametrinen suunnittelu	16
3.2	Betonisiltojen päällysrakenteiden tilastollisia mittoja ja määriä	16
3.2.1	Laattasillat.....	18
3.2.2	Jännitetty palkkisilta	20
4	SILTADATABASE (LUOTTAMUKSELLINEN)	23
5	SILTOJEN LISÄÄMINEN UUTEEN AINEISTOON (LUOTTAMUKSELLINEN)	24
6	YHTEENVETO (LUOTTAMUKSELLINEN)	25
	LÄHTEET	26

1 JOHDANTO

Sweco on rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntija, joka tarjoaa laadukkaita suunnittelu- ja konsultointipalveluita kaiken kokoisiin hankkeisiin. Liikevaihto on noin 1,8 miljardia euroa, työntekijöitä on yhteensä 15 000 ja projekteja toteutetaan vuosittain 70 maassa ympäri maailmaa. (Sweco 2019.)

Tämä opinnäytetyö tehdään Sweco Rakennetekniikan Siltaosaston toimeksiannosta. Opinnäytetyön tarkoituksena on parantaa Swecon suunnitteleminen, rakennettujen laattasiltojen, sekä jännitettyjen palkkisirtojen mitta- ja määrätietojen hyödyntämistä tulevilla siltojen suunnitteluprojekteissa. Lisäksi tavoitteena on kehittää suunnittelun automatisointia parhaiten palveleva formaatti/dokumentaatio, jotta jatkossa siltojen geometriatiedot saataisiin suoraan hyödynnettävään muotoon parametrissa suunnittelua varten.

Työssä kehitettävä siltatietokanta-aineisto on alkujaan Swecon suunnittelijan kokoama sisäinen tietokanta. Sillat on koottu Excel-tilastoaineistoksi, missä on esitetty tietoja sillan päällysrakenteen geometriasta, perustamistavasta, ainemenekeistä, kuten betoni-, betoniteräs- ja jänneteräsmääräistä, sekä sillan kustannuksista päällysrakenteen ja koko sillan osalta. Uusien suunnittelutekniikoiden, kuten parametrin suunnittelun myötä päätettiin tilastoainestoa muokata paremmin jatkohyödynnettävään muotoon, sekä lisätä siihen mitoituksen kannalta tarkempaa tietoa. Oikeiden geometriatietojen saaminen parametrissa suunnittelua palvelevaan muotoon tarkoittaa sitä, että tulevaisuudessa esimerkiksi palkkisillan pituutta ja leveyttä muuttamalla muokkautuu automaattisesti sillalle tärkeät oikeat geometriatiedot, kuten palkkien määrä, palkkien leveys, palkkiväli, sekä palkkien ja laatan rakennekorkeus.

Työhön sisältyy uuden jatkohyödynnettävän siltatietokannan kehittäminen parametrissa suunnittelua ajatellen, sekä kattavan täydentämisohjelman tekeminen uuteen aineistoon jatkossa lisättäviä siltoja varten. Työhön sisältyy myös vanhojen, sekä uusien siltojen lisääminen uuteen Exceliin. Työ tehdään, jotta todella tärkeä kokeneiden suunnittelijoiden tietotaito saadaan jatkohyödynnettyä uusien suunnittelijoiden käyttöön, eikä näin ollen katoa kokeneiden suunnittelijoiden siirtyessä ansaituille eläkepäiville.

1.1 Rajaukset

Tämä opinnäytetyö rajataan teräsbetoniin laattasiltoihin, sekä jännitettyihin palkkisirtoihin, koska valtaosa Swecon Suomeen suunnittelemissa silloista on kyseisiä siltatyyppejä. Tuotettuun aineistoon lisätään myös muutama toteutunut jännitetty laattasilta, jotta tulevaisuudessa suunnittelija voi helposti vertailla normaalin teräsbetonisen laattasilan ja jännitetyn laattasilan mitta- ja määrätietoja. Työssä käsitellään tarkemmin kyseisten siltatyyppeiden päällysrakenteita ja niiden mitta- ja määrätie-

toja. Alusrakenteista selviää ainoastaan sijainti, perustamistapa ja vinous. Työ rajataan uuden jatko-höydyntettävän siltatietokannan luontiin ja siltojen lisäämiseen, käytettävissä olevan ajan perusteella.

1.2 Lyhenteet ja määritelmät

L_o = Jännemittojen summa. Ulokesillä lisätään ulokkeiden pituudet.

L_e = Painotettu jännemitta.

h = Siltakannen rakennekorkeus.

b = Sillan hyödyllinen leveys.

Q_c = Betonimenekki (m^3)

Q_f = Muottimenekki (m^2)

Q_p = Jänneteräsmenekki (kg)

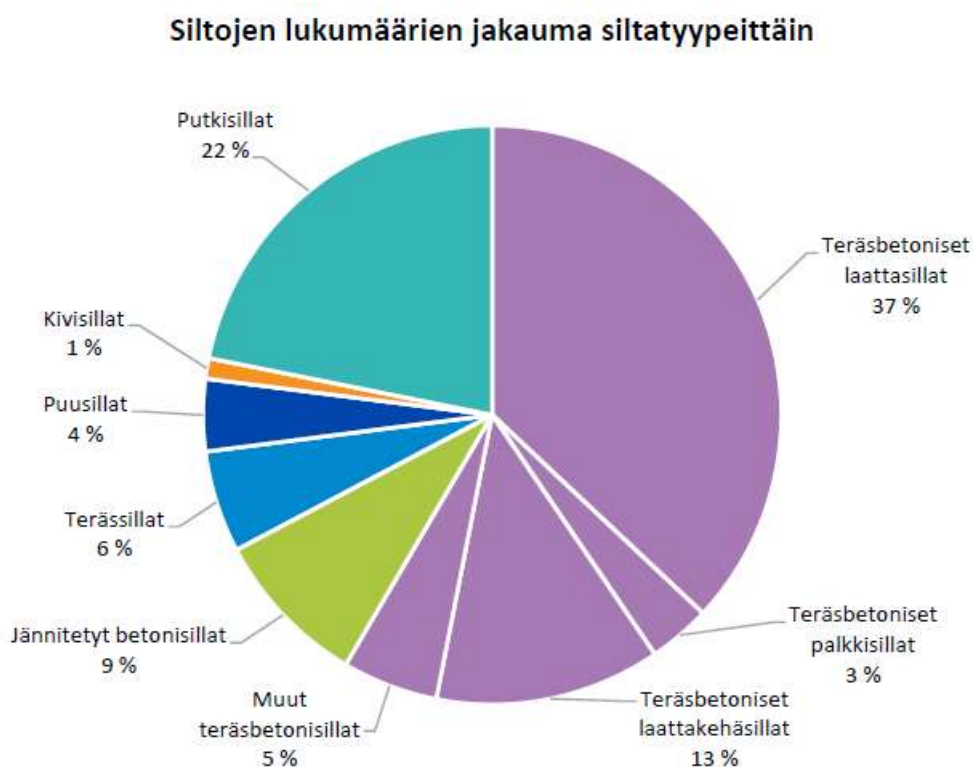
Q_r = Betoniteräsmenekki (kg)

Q_s = Rakenneteräsmenekki (kg)

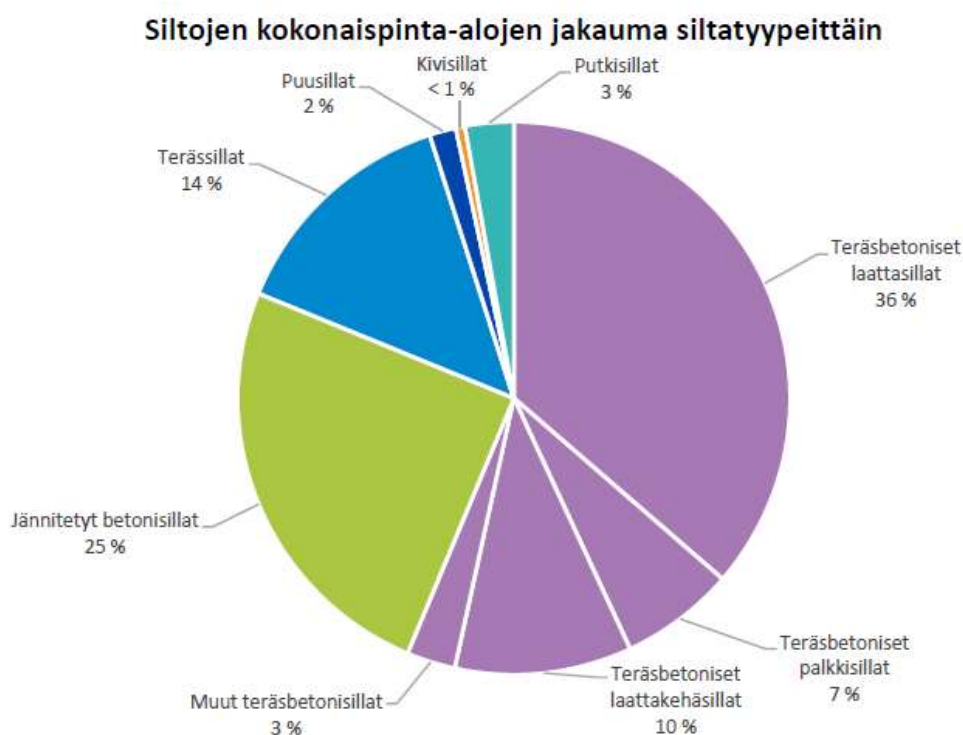
2 TIESILLAT

1960-luvulta alkaen siltojen rakentaminen on ollut Suomessa voimakasta. Tuolloin siltoja rakennettiin pinta-alan perusteella lähes kolminkertainen määrä edelliseen vuosikymmeneen verrattuna. Rakentaminen jatkui varsin vilkkaana 1960-luvulta aina 1990-luvun loppupuolelle saakka. Liikenneviraston omistuksessa oli 1.1.2018 15013 tiesiltaa. (Liikenneviraston sillat 1.1.2018, 3.) 1990-luvulta lähtien siltojen korjaustarve on kasvanut voimakkaasti ikärakenteen takia. Käytännön kokemusten perusteella silta tulee peruskorjaisikään 30 - 40 vuoden iässä. Siltojen ylläpidon ja korjauksen rahoituksen lisääntymisen myötä huonokuntoisten siltojen lukumäärän kasvu pysähtyi vuoden 2006 aikana. (Liikenneviraston sillat 1.1.2018, 3.)

Tiesiltoihin kuuluu kaikki Liikenneviraston omistamat ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen sillat, sisältäen entiset Ratahallintokeskuksen ja Merenkulkulaitoksen hallinnassa olleet ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen sillat (Liikenneviraston sillat 1.1.2018, 11). Suomen tiesilloista 67 prosenttia on betonisilloja (kuvio 1). Kun tarkastellaan jakaumaa sillan kokonaispinta-alojen mukaan, niin betonisilloja on 81 prosenttia kaikista tiesilloista (kuvio 2). Kokonaisuudessaan Liikenneviraston omistamia betonisia tiesiltoja oli 1.1.2018 10101 kappaletta. (Liikenneviraston sillat 1.1.2018, 25.)



Kuvio 1. Suomen tiesiltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (Liikenneviraston sillat 1.1.2018, 27)



Kuvio 2. Suomen tiesiltojen kokonaispinta-alojen jakauma siltatyypeittäin (Liikenneviraston sillat 1.1.2018, 27)

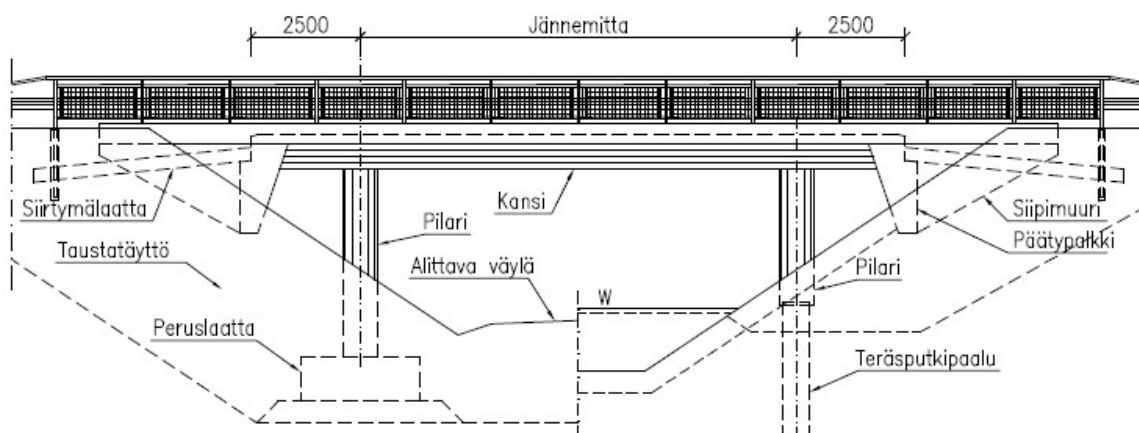
2.1 Laattasilat

Laattoja ovat rakenteet, joiden leveys on vähintään 3 kertaa sen korkeus (Sillat: RIL 179-2018, 49). Teräsbetonisia laattasiltoja on Suomen tiesilloista 37 prosenttia (kuvio 1). Teräsbetoninen laattasilta on rakenteeltaan yksinkertainen ja edullinen sen hoikkuuden ja selkeän rakentamistavan johdosta. Tyypillisiä käyttöalueita ovat risteysalueet, joissa sen edut korostuvat, kun käytettävissä oleva tila alittavan ja ylittävän väylän kesken on suhteellisen pieni. Tyypillisin laattasilloista on teräsbetoninen ulokelaattasilta (kuva 1) ja niitä rakennetaan vuosittain joitain kymmeniä. Taloudellisia laattasiltoja ovat 8 - 20 metrin jännemitta-alueella ja hyötyleveyden ollessa 6 - 19,5 metriä. Hyötyleveyden kasvaessa suuremmaksi, kuin 10,5 - 12,5 metriä, käytetään tuilla pääasiassa kolmea pilaria kahden sijasta. Kun hyötyleveys kasvaa noin 19 metriin, käytetään yleensä neljää pilaria tuella. (Sillat: RIL 179-2018, 199 - 200.)

Laattasilan poikkileikkauksen leventäminen on helppoa ylittävän tien leveyden muuttuessa sillan matkalla. Siltaa levennettäessä kannen keskiosa levenee ja reunaviisteet pidetään saman levyisinä. Pilarien määrä lisääntyy leveyden mukaisesti. (Sillat: RIL 179-2018, 49.)

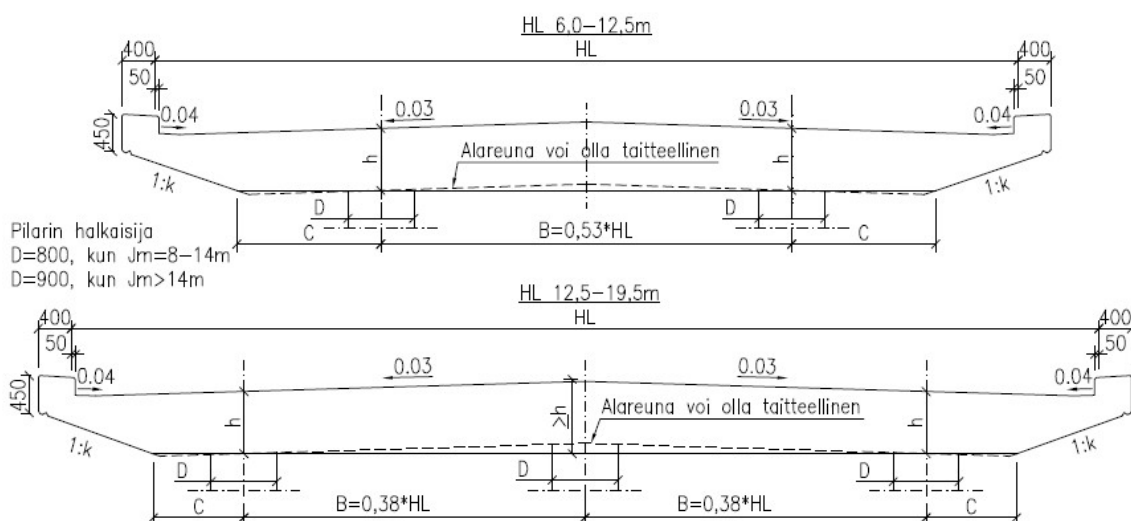
Laattasilat tehdään Suomessa yleisimmin jännittämättöminä rakenteina. Jännitettyinä rakenteina laattasilloilla voi kuitenkin olla jopa yli 20 metrin jännemittoja. Laattarakenteella on kyky jakaa kuormia kahteen suuntaan kantavana rakenteena. Lisäksi kuormat ja niiden aiheuttamat rasitukset kykenevät jakautumaan suhteellisen leveälle alueelle. Laattasilloissa ei käytetä laakereita, silloin kun

pilarien pituus on yli 5 metriä, tai sillan kokonaispituus on pienempi, kuin 70 metriä. Myöskään liikuntasaumalaitteita laattasilloissa ei käytetä. (Sillat: RIL 179-2018, 201 - 202.)



Kuva 1. Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul). Suunnitteluohje, 7)

Liikennevirasto on laatinut teräsbetonisesta ulokelaattasilasta suunnitteluohjeen, mitä käyttämällä voidaan suunnitella ohjeen soveltuvuusalueelle kuuluva kyseinen silta ilman erillisiä laskelmia. Ohjeen avulla voidaan laatia kansirakenteen osalta rakennussuunnitelma käyttäen ohjeen rakenneratkaisuja ja päämittoja, sekä sillan vinouden ollessa enintään 22 goonia. Ohjeesta saadaan taulukoituna kannen mitta-, materiaali- ja raudoitustiedot. Alusrakenteiden osalta voidaan suunnitella ilman rakennemallin luomista, joko kallion- tai maanvarainen jäykästi kanteen kiinnittyvä tuki ja ohjeen taulukoista saadaan tuen pilarin mitta- ja raudoitustiedot. Ohjeen käyttäminen kuitenkin edellyttää siltapaikalle tehtäväksi Liikenneviraston ohjeen mukaiset pohjatutkimukset ja niiden mukaan laadittu sillan geoteknisen suunnitelman. Pystysuorien teräsputkijalkojen varaan perustetun ulokelaattasilan kansirakenteen rakennussuunnitelma on myös laadittavissa ohjeen avulla. Tässä tapauksessa on kuitenkin laadittava alusrakenteiden rakennussuunnitelmat, eli rakennemalli ja laskelmat siltakohtaisesti. (Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul). Suunnitteluohje, 8.)



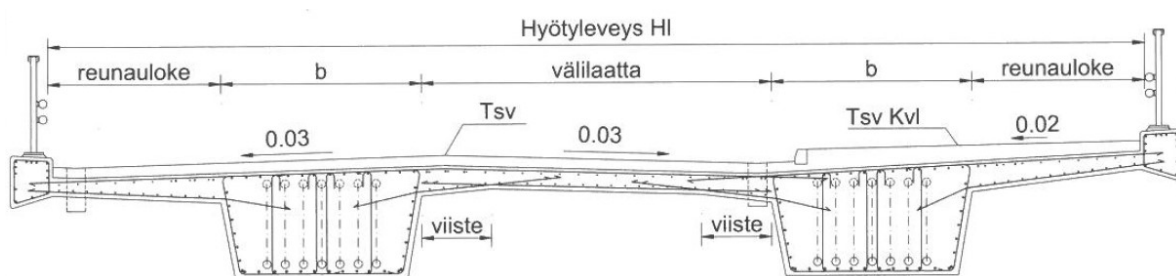
Kuva 2. Teräsbetonisen ulokelaattasilan kannen poikkileikkaus kahdella ja kolmella pilarilla (Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul). Suunnitteluohje, 20)

2.2 Jännitetyt palkkisillat

Palkkeja ovat rakenteet, joiden palkkiosan leveys on korkeintaan 4 kertaa palkin tehollinen korkeus (Sillat: RIL 179-2018, 51). Tiesiltana betonisen palkkisillan käyttöalue alkaa noin 20 metrin jännemitoista, joten voidaan sanoa, että se alkaa siitä mihin laattasillan käyttöalue päättyy. Palkkisillassa kantavana rakenteena toimivat pituussuunnan palkit, mitkä jännitetään lähes poikkeuksetta. Jännittäminen tehdään rakenteen paremman kantokyvyn saavuttamiseksi ja poikkileikkauksen oman painon vähentämiseksi. Tiesilloissa palkkisillat, joiden hyötyleveys on 10 - 14 metriä, suunnitellaan tavallisesti kahdella pääpalkilla ja tätä kapeammat yhdellä. (Sillat: RIL 179-2018, 50 - 51.)

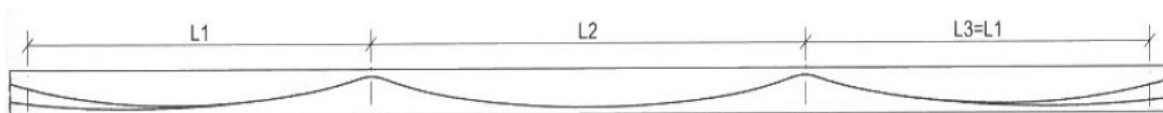
Kuvassa 3 on tyypillinen jälkijännitetty laattapalkkirakenne, mitä käytetään tyypillisesti risteyssiltana. Sillan välilaatan pituus vaihtelee tyypillisesti 3,5 - 6 metrin välillä ja reunaulokkeen 1 - 2,7 metrin välillä. Palkit ovat tavallisesti leveitä, korkeuteen nähden. Välilaatan ja reunaulokkeen rakennekorkeuden määrittää yleensä se, että ne voidaan toteuttaa leikkausraudoittamattomina. (Sillat: RIL 179-2018, 205.)

Suomessa on sekä esi-, että jälkijännitettyjä palkkisilloja. Esijännitetyissä palkkisilloissa jännittämissä työ tehdään ennen betonin kovettumista. Tällaiset rakenteet ovat yleensä elementtejä ja niitä esiintyy Suomen tiesilloissa hyvin vähän. Suurin osa Suomen jännitetyistä palkkisilloista on jälkijännitettyjä rakenteita, missä jännittämissä työ tehdään betonin kovettumisen jälkeen. Betonisen palkkisillan pääkannattimien jännittämisen tarkoituksena on poistaa vetolujuuden aiheuttamat rajoitukset. Tämä siksi, että betonin vetolujuus on vain noin kymmenesosa sen hyvästä puristuslujuudesta. Kohdistamalla betonirakenteeseen lisää puristusjännitystä korkealujuusterästen välityksellä, saadaan jännitetyistä rakenteista teräsbetonirakenteita tehokkaampia ja palkki saadaan kantamaan pidempiä jännevälejä. (Sillat: RIL 179-2018, 204 - 205.)



Kuva 3. Jälkijännitetyn palkkisillan poikkileikkaus (Sillat: RIL 179-2018, 209)

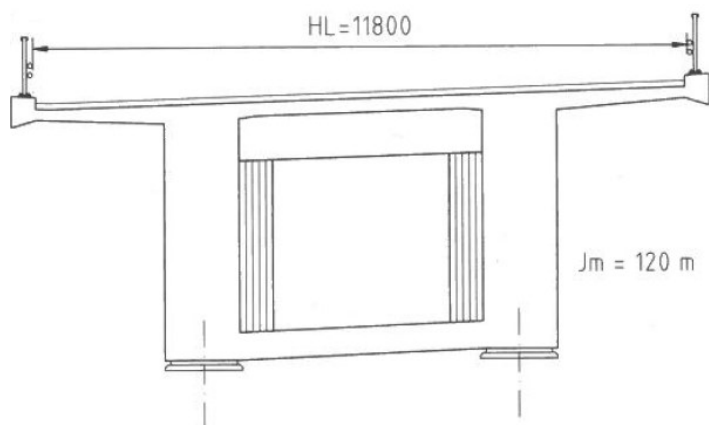
Jänneet sijoitetaan rakenteen vedettyihin pintoihin suojaputkissa, mitkä tuetaan sillan raudoitukseen ennen valua. Tällaisia vedettyjä pintoja ovat sillan tuella yläpinta ja kentässä alapinta. Jänneitä ankkuroidaan niin aktiivi-, kuin passiiviankkurein. Aktiiviankkurit ovat ankkureita, joista jännittämissä työ tehdään. Tavallisesti aktiiviankkurit asennetaan palkin päihin, mutta pitkissä silloissa niitä sijaitsee myös palkin matkalla. Palkkien päihin syntyy jännittämisen seurauksena ankkurivoimia, mikä näkyy sillan päiden raudoituksissa. (Sillat: RIL 179-2018, 207.)



Kuva 4. Jännekulkuja kolmeaukkoisessa palkissa, missä palkin päissä aktiiviankkurit (Sillat: RIL 179-2018, 207)

2.3 Suuret vesistö sillat

Yhtenä siltatyypinä suurissa vesistö silloissa on jännitetyt betonipalkkisillat, joilla voidaan viisteellisinä ja moniaukkoisina päästä jopa 100 metrin jännemittoihin. Pitkissä jännemitoissa pääpalkkien korkeuden ja leveyden muuttuminen kentässä ja tuella on yleistä. Yleensä pääpalkit yhdistetään pitkissä jännemitoissa tukialueilla yhtenäisellä laattalla tai poikkipalkilla. Laattaa hyödyntäen puristuslaattana (kuva 5) on mahdollisuus jopa 120 metrin jännemittaan. Puristuslaatta lisää poikkileikkauksen puristus pintaa, mikä vähentää puristusraudoituksen tarvetta ja tekee rakenteesta tarkoituksen mukaisemman. Poikkipalkkeja käytetään tukialueilla, mikäli palkeissa on vaakaviisteet, tai silta on vino. Vaakaviiste on palkin viiste, minkä matkalla palkin leveyden muutos tapahtuu. Pääpalkki kantaa suunnitella korkeussuunnassa viisteelliseksi, kun pääaukon jännemitta ylittää 50 metriä. (Sillat: RIL 179-2018, 50 - 51 ja 206 - 207.)



Kuva 5. Jälkijännitetyn puristuslaattallisen palkkisillan poikkileikkaus tuella (Sillat: RIL 179-2018, 206)

Vaakaviisteellisissä silloissa palkin leveyden muutos tapahtuu pääsääntöisesti sisäänpäin, jolloin väli laatta kapenee. Korkeussuunnassa palkin korkeus voi muuttua viisteellisesti sillan matkalla, mutta yleensä vaihtelu noudattaa paraabelia (kuva 6), kuten $y=kx^2$ tai $y=kx^{2,5}$. Pitkillä jänneväleillä olevien pääpalkkien korkeus on aina leveyttä suurempi.

3 SILTASUUNNITTELU

Silta on aina osa väylää ja väylän linjaukset vaikuttavat myös siltaan ja siltapaikkaan (Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje, 17). Lähtökohtana siltasuunnittelussa on sellainen siltaratkaisu, joka täyttää tekniset-, taloudelliset- ja ympäristöön sopeutumisen vaatimukset. Siltojen suunnittelun toisena lähtökohtana ovat, kattavat ja suunnitteluvaiheen tarkkuuden mukaiset riittävät lähtötiedot. (Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje, 9.)

Siltasuunnittelun vaiheet ovat esisuunnittelu, yleissuunnittelu, siltasuunnitelman laatiminen ja rakennussuunnittelu. Siltapaikkaluokka (kuva 8) vaikuttaa suunnittelutyön laajuuteen ja suunnitelmien käsittelyyn eri suunnitteluvaiheissa. (Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje, 17.) Esimerkiksi siltapaikkaluokkien III ja IV osalta voidaan esisuunnittelu useasti tehdä yleissuunnittelun tai siltasuunnitelman laatimisen alkuvaiheena (Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje, 12).

Siltapaikat luokitellaan I-IV- luokkaan sijainnin, maisema-arvon, kulttuuriarvon ja erityisten esteettisten tavoitteiden mukaan

- **luokka I, erittäin vaativa**
- **luokka II, vaativa**
- **luokka III, merkittävä**
- **luokka IV, vaatimaton**

Kuva 8. Siltapaikkojen luokitusohje (Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje, 17)

Suomessa siltasuunnittelussa edellytetään virheettömyyttä ja korkeaa laatua, mitä valvotaan kolmannen osapuolten tarkastuksin ja laatujärjestelmin. Suunnittelua ohjaa myös monet Liikenneviraston ohjeet.

Liikenneviraston Siltojen tietomalliohje edellyttää, että rakennussuunnitelmavaiheessa sillasta tehdään täydellinen tuotemalli. Silta mallinnetaan mittatarkkana varusteineen, laitteineen, raudoituksiineen, maaperätietoineen ja immateriaalitietoineen. Rakennussuunnittelussa hyväksytyyn siltasuunnitelman pohjalta laaditaan rakennussuunnitelma, minkä mukaan rakennustyö toteutetaan. (Siltojen tietomalliohje, 23.)



Kuva 9. Lähtötiedot ja suunnitelmätiedot infran elinkaareissa (Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje, 50)

Kuvassa 9 on havainnollistettu suunnitelmapallin päivittymistä infrasuunnittelun edetessä, sekä lähtötietojen, tai toteumatietojen muuttuessa. Toteutusmalliakin täytyy toisinaan päivittää ennen rakentamista, esimerkiksi karanneiden louhintarajojen takia.

3.1 Parametrinen suunnittelu

Parametrisella suunnittelulla tarkoitetaan yleensä oikeanlaisen muodon etsimistä käyttäen parametrisia ja algoritmiavusteisia menetelmiä hyväksi (Lalla 2017, 4). Kantavien rakenteiden parametrisella suunnittelulla tarkoitetaan menetelmää, missä rakenteen erilaisiin ominaisuuksiin vaikuttaville parametreille määrätään arvot ennalta määriteltujen sääntöjen avulla tai käsin siten, että lopputuloksena saadaan ominaisuuksiltaan suunniteltu rakenne. Parametrien arvoja muuttamalla voidaan muuttaa suunniteltavan rakenteen ominaisuuksia. Parametrisella suunnittelulla voidaan lyhentää rakennesuunnitteluun kuluva aikaa luonnossuunnittelusta toteutussuunnitteluun. Sen avulla voidaan tarkastella suurempi määrä rakennevaihtoehtoja perinteiseen suunnittelumenetelmään verrattuna. (Lalla 2017, i.)

Geometrialtaan haastavien rakenteiden tai rakenneosien tietomallintamisessa on parametrisesta suunnittelusta hyötyä. Haastava geometria voidaan mallintaa siihen paremmin soveltuvassa ympäristössä, kuten Rhinoceros/Grasshopper ympäristössä ja siirtää lopullisten rakennesuunnitelmien tekemiseen paremmin soveltuvaan ympäristöön, kuten Tekla Structures -ohjelmistoon. (Lalla 2017, 64.)

3.2 Betonisiltojen päällysrakenteiden tilastollisia mittoja ja määriä

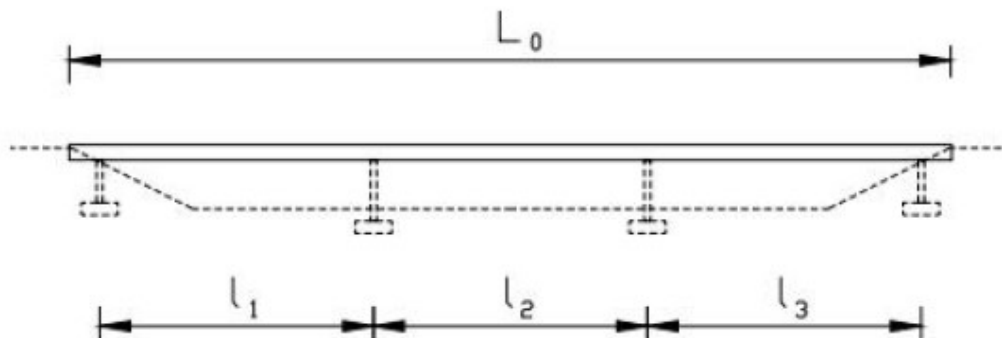
Siltasuunnittelijalla on hyödyllistä olla käsitys erityyppisten siltojen keskimääräisistä ainemenekistä, sekä rakennekorkeuksista (Siltapäivät 2003: RIL K191-2003/Rautakorpi, 119). Tiehallinto on tehnyt selvityksen vuonna 2001, minkä lähtökohtana on Heikki Rautakorven väitöskirja aiheesta "Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit". Sen tarkoituksena on ollut siltasuunnittelun apuvälineiden kehittäminen seuraaviin tarkoituksiin:

- siltojen rakennuskustannuksien ennustaminen esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa
- suunnittelun ohjaus ja tarkastustoiminta
- ainemenekkien oikeellisuuden tarkastaminen urakkatarjousvaiheessa.

Selvityksessä on luotu kaavoja esimerkiksi laattasiltojen, sekä jännitettyjen palkkisiltojen ainemenekille 1990 - 2000-luvulla kerätyn tilastoaineiston avulla, käyttäen regressioanalyysiä. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 12.) Saman asian tiimoilta on RIL 179-2018 Sillat -kirja tuonut julki vuosina 2003 - 2016 rakennettujen betonisiltojen päällysrakenteiden tilastollisia rakennekorkeuksia ja raudoitusmääriä kaavioina siltasuunnittelijoiden avuksi. Tämän aineiston tiedot on kerätty pääosin Liikenneviraston ylläpitämästä taitorakennerekisteristä. (Sillat: RIL 179-2018, 147.)

Seuraavaksi on esitetty koottuna kyseisten aineistojen ohjeet laattasiltojen ja jännitettyjen palkkisiltojen osalta suunnittelijoiden avuksi. Ainemenekkien todenmukaisuutta voidaan arvioida tilastoaineiston mukaisten siltojen osalta. Kaavat eivät sovellu käytettäväksi siltarakenteiden optimointiin tai

erityyppisten siltojen keskinäiseen vertailuun. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 14.) Tiehallinnon selvityksessä on kaavat myös betonimenekin ja muottimenekin laskemiseen, joita RIL 179-2018 Sillat -kirja ei ole esittänyt.



Kuva 10. Sillan pituusmitat (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 15)

Kuvassa 10 on esitetty sillan kokonaispituus L_0 ulokesillassa. Mikäli sillan päissä on maatuet, lasetaan pituus laakerilinjalta.

Painotettu jännemitta L_e lasketaan jatkuviissa silloissa seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 13)

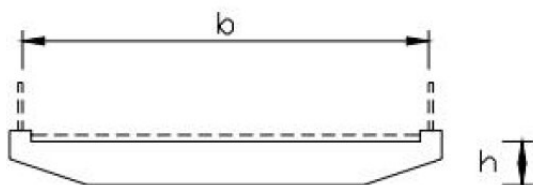
$$L_e (m) = \frac{\sum l_n^2}{\sum l_n} \quad (\text{kaava 1})$$

Sillakannen rakennekorkeus h lasketaan viisteellisessä n -aukkoisessa sillassa kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 13)

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

3.2.1 Laattasillat

Teräsbetonisen laattasillan poikkileikkauksimitoille käytetään kuvan 11 merkintöjä.



Kuva 11. Teräsbetonisen laattasillan poikkileikkauksen päämitat (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 15)

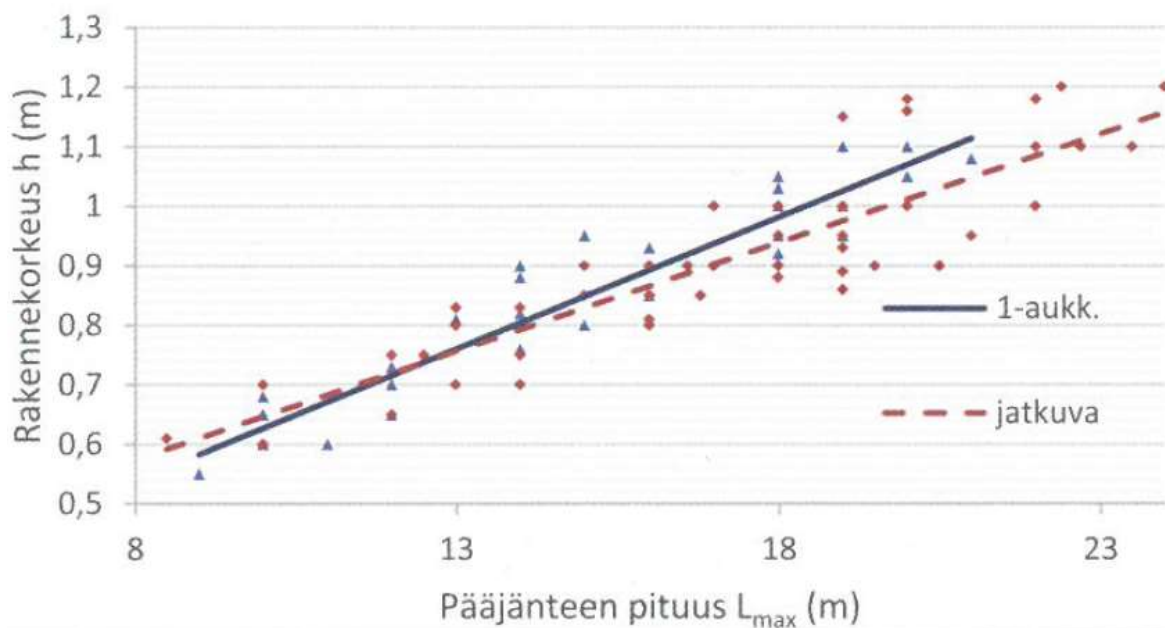
Rakennekorkeus

Laattasillan rakennekorkeus saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavilla kaavoilla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 16)

$$h = 0,22 + 0,042 * L_e \quad \text{1-aukkoisille ulokelaattasilloille} \quad \text{(kaava 3)}$$

$$h = 0,27 + 0,044 * L_e \quad \text{jatkuville laatoille} \quad \text{(kaava 4)}$$

Kuvassa 12 on esitetty kaaviona rakennekorkeuden määrittäminen sekä 1-aukkoisille ulokelaattasilloille ja jatkuville laatoille. Rakennekorkeus määritetään kaaviosta pääjälteen pituuden mukaan.



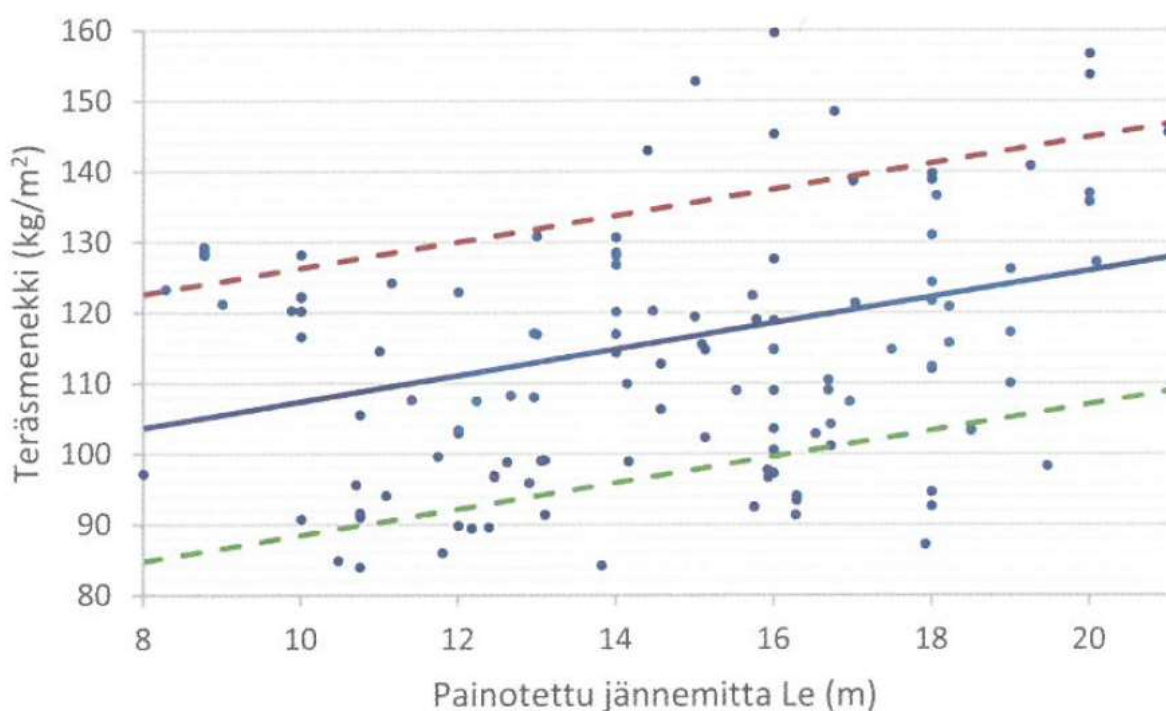
Kuva 12. Laattasilltojen keskimääräinen rakennekorkeus (m) (Sillat: RIL 179-2018, 147)

Betoniteräsmenekki

Laattasillan betoniteräsmenekki saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 17)

$$\frac{Q_r}{bL_o} = 114h - 136\frac{h^2}{b} + 574\frac{1}{L_o} \quad (\text{kaava 5})$$

Kuvassa 11 on esitetty kaaviona laattasiltojen betoniteräsmenekki painotetun jännemitan L_e mukaan. Punainen viiva kuvaa tässä kuvassa keskihajonnan ylärajaa ja vihreä viiva keskihajonnan alarajaa. Teräsbetonisen ulokelaattasillan suunnitteluohjeen mukaisesti, betoniteräsmäärä on 130 - 150 kg/m^3 . Ohjeen mukaisesti 20 goonin vinous lisää teräsmäärää 5 - 10 prosenttia. (Sillat: RIL 179-2018, 148.)



Kuva 13. Laattasiltojen keskimääräiset rauditusmäärät (kg/m^2) (Sillat: RIL 179-2018, 147)

Betonimenekki

Laattasillan betonimenekki (m^3/m^2) saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 16)

$$\frac{Q_c}{bL_o} = 1,00h - 0,77\frac{h^2}{b} + 2,4\frac{1}{L_o} \quad (\text{kaava 6})$$

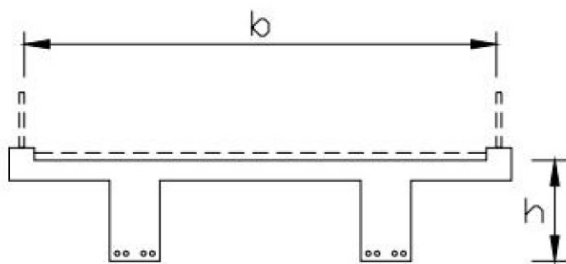
Muottimenekki

Laattasillan muottimenekki saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 16)

$$\frac{Q_f}{bL_o} = 0,96 + 4,4\frac{1}{b} + 6,6\frac{1}{L_o} \quad (\text{kaava 7})$$

3.2.2 Jännitetty palkkisilta

Teräsbetonisen jännitetyn palkkisillan poikkileikkauksimitoille käytetään kuvan 14 merkintöjä.



Kuva 14. Jännitetyn palkkisillan poikkileikkauksen päämitat (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 18)

(LUOTTAMUKSELLINEN)

(kaava 8)

(LUOTTAMUKSELLINEN)

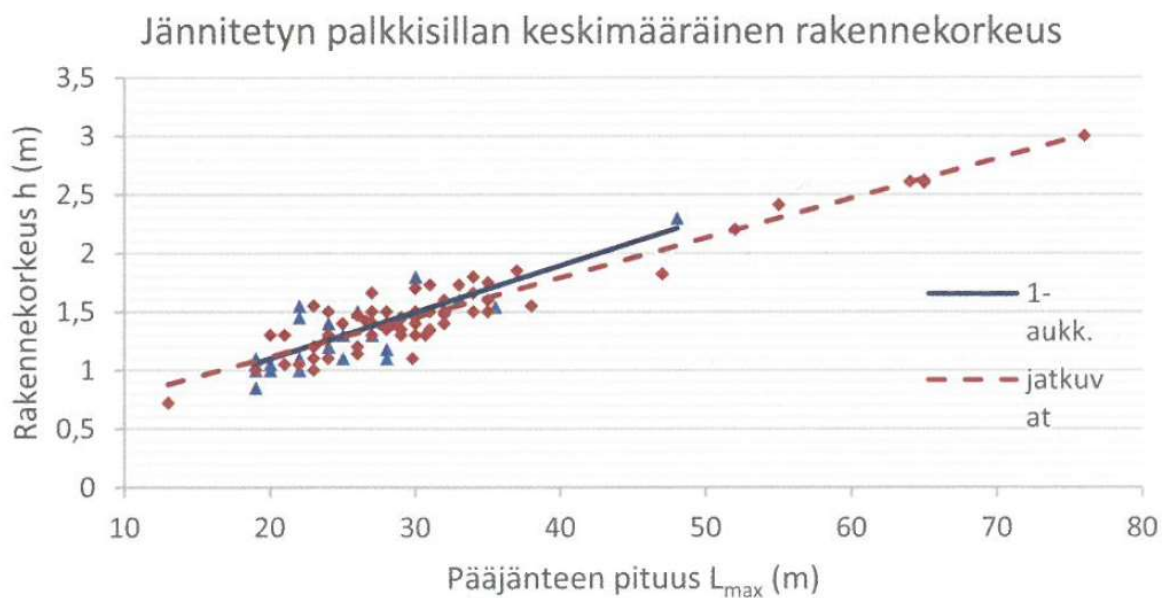
(kaava 9)

(LUOTTAMUKSELLINEN)

(kaava 10)

Rakennekorkeus

Kuvassa 15 on esitetty kaaviona jännitetyn palkkisillan rakennekorkeuden määrittäminen sekä 1-aukkoiselle-, että jatkuvalle jännitetylle palkkisillalle. Rakennekorkeus määritetään kaaviosta pääjälteen pituuden mukaan.



Kuva 15. Jännitetyn palkkisillan keskimääräinen rakennekorkeus (m) (Sillat: RIL 179-2018, 147)

Betoniteräsmenekki

Jännitetyn palkkisillan betoniteräsmenekki saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 20)

$$\frac{Q_r}{bL_0} = 3,37b + \frac{391}{b} \quad (\text{kaava 11})$$

RIL 179-2018 Sillat -kirjan mukaisesti päällysrakenteen betoniteräsmäärä jännitetyissä laattapalkkisilloissa vaihtelee 90 - 125 kg/m³ välillä. Sillan vinous, sekä jännemitan piteneminen kasvattavat teräsmäärää hiukan. (Sillat: RIL 179-2018, 148.)

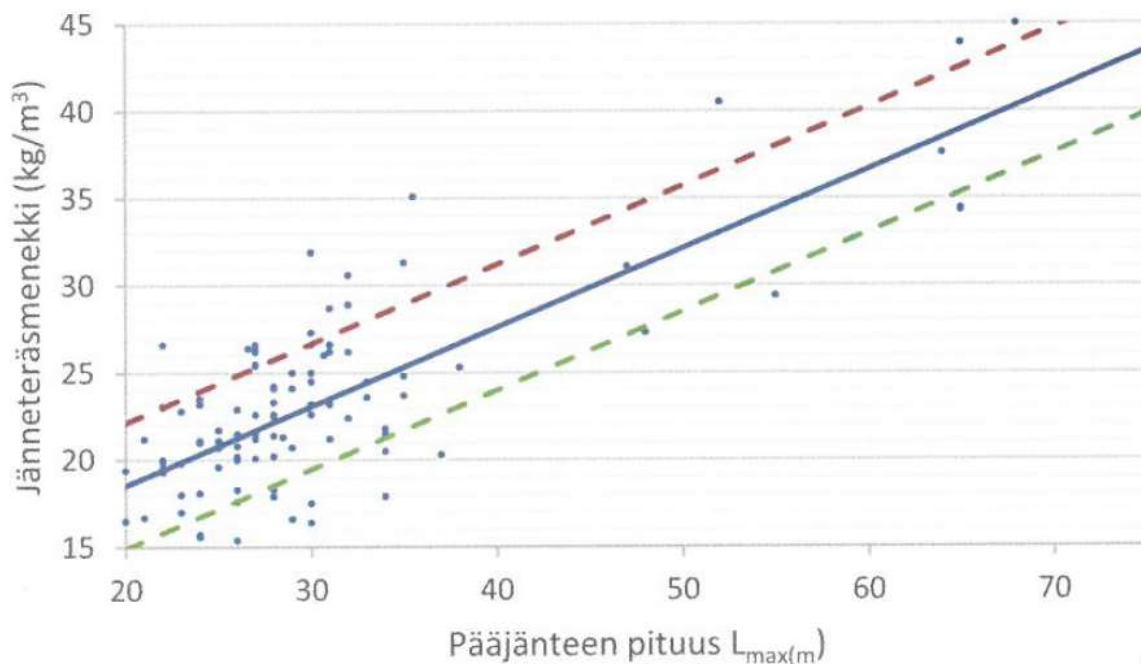
Jänneteräsmenekki

Jännitetyn palkkisillan jänneteräsmenekki (kg/m³) saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavilla kaavoilla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 19)

$$\frac{Q_p}{bL_0} = 0,483 \frac{L_e}{h} + 0,023 \frac{L_e^2}{h} \quad \text{1-palkkiset sillat} \quad (\text{kaava 12})$$

$$\frac{Q_p}{bL_0} = 0,402 \frac{L_e}{h} + 0,0194 \frac{L_e^2}{h} \quad \text{kaksi- tai useampipalkkiset sillat} \quad (\text{kaava 13})$$

Kuvassa 16 on esitetty kaaviona viisteettömien laattapalkkisiltojen jänneteräsmenekki pääjälanteen pituuden L_{\max} mukaan. Punainen viiva kuvaa tässä kuvassa keskihajonnan ylärajaa ja vihreä viiva keskihajonnan alarajaa.



Kuva 16. Jännitetyn laattapalkkisillan keskimääräiset jänneteräsmäärät (kg/m³) (Sillat: RIL 179-2018, 147)

Betonimenekki

Jännitetyn palkkisillan betonimenekki (m^3/m^2) saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 18)

$$\frac{Q_c}{bL_o} = 0,677 + 0,927 \frac{h}{b} \quad (\text{kaava 14})$$

Muottimenekki

Jännitetyn palkkisillan muottimenekki saadaan tiehallinnon selvityksen mukaan seuraavalla kaavalla. (Tiesiltojen ainemenekki- ja kustannusmallit, 16)

$$\frac{Q_f}{bL_o} = 1,143 + 2,86 \frac{h}{b} + 10,1 \frac{1}{L_o} \quad (\text{kaava 15})$$

4 SILTADATABASE (LUOTTAMUKSELLINEN)

5 SILTOJEN LISÄÄMINEN UUTEEN AINEISTOON (LUOTTAMUKSELLINEN)

6 YHTEENVETO (LUOTTAMUKSELLINEN)

LÄHTEET

- LALLA, Alex 2017. Kantavien rakenteiden parametrinen suunnittelu ja mallintaminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma. Diplomityö. [Viitattu 01.03.2019.] Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/25504/Lalla.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- LIIKENNEVIRASTON SILLAT 1.1.2018. Liikenneviraston sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Osa 1 Tiesillat. Osa 2 Rataverkon sillat. Liikenneviraston tilastoja 7/2018. Helsinki. [Viitattu 25.02.2019.] Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti_2018-07_liikenneviraston_sillat_web.pdf
- SILLAT. Suunnittelu toteutus ja ylläpito. RIL 179-2018. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- SILTOJEN TIETOMALLIOHJE. Liikenneviraston ohjeita 6/2014. Helsinki. [Viitattu 26.02.2019.] Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-06_siltujen_tietomalliohje_web.pdf
- SILTAPÄIVÄT 2003. RIL K191-2003. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.
- SWECO 2019. Tietoa swecosta. [Viitattu 05.03.2019.] Saatavissa: <https://www.sweco.fi/tietoa-swecosta/>
- SWECO RAKENNETEKNIikka, SILTAOSASTO 2019. Sweco Kuopio, arkisto. [Viitattu 26.02.2019.]
- TAITORAKENTEIDEN SUUNNITTELUN LÄHTÖTIETO-OHJE. Liikenneviraston ohjeita 21/2014. Helsinki. [Viitattu 26.02.2019.] Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-21_taitorakenteiden_suunnittelun_web.pdf
- TERÄSBETONINEN ULOKELAATTASILTA (BUL). Suunnitteluohje. Liikenneviraston ohjeita 32/2017. Helsinki. [Viitattu 25.02.2019.] Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2017-32_terasbetoninen_ulokelaattasilta_web.pdf
- TIESILTOJEN AINEMENEKKI- JA KUSTANNUSMALLIT. Tiehallinto 2001. Helsinki [Viitattu 01.03.2019.] Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/tiesiltojen_kustannus_ainemekki2001.pdf