

Alpo Makkonen

**TERÄSBETONISTEN LAATTASILTOJEN
TILASTOLLINEN TARKASTELU
TAITORAKENNEREKISTERIN AVULLA**

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Juuso Auvinen
Toukokuu 2024

TIIVISTELMÄ

Alpo Makkonen: Teräsbetonisten laattasiltojen tilastollinen tarkastelu Taitorakennerekisterin avulla
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Kandidaatintyö
Toukokuu 2024

Tässä työssä tutkitaan teräsbetonisia laattasiltoja Taitorakennerekisterin avulla. Laattasiljat ovat Suomen yleisimpiä betonisiltoja ja niitä käytetään paljon risteys-silloina ja alikulkukäytävinä. Näin ollen betoniset laattasiljat muodostavat suuren osan Suomen tiesilloista. Tutkimuksen tavoitteena on tutkia, miten siltojen ominaisuudet ovat kehittyneet 1950-luvulta 2010-luvulle. Työssä tutkitaan sekä geometrisia että rakenteellisia ominaisuuksia. Näiden lisäksi kerätään yleistä dataa laattasilloista, ja tutkitaan, miten sillat jakautuvat esimerkiksi käyttötarkoituksen mukaan.

Työn ensimmäinen vaihe on kirjallisuuskatsauksena toteutettu teoriaosuus Suomen silloista. Aluksi kerrottiin lyhyesti yleistietoa, minkä jälkeen tarkennuttiin teräsbetonisiin laattasiltoihin, joiden rakennetta, käyttötarkoituksia ja tyyppisiä avattiin tarkemmin. Teoriaosuuden jälkeen siirryttiin analyysiosuuteen, jossa Taitorakennerekisteristä kerättiin dataa kahdella eri haulla. Ensimmäisessä haussa dataa kerättiin muun muassa käyttötarkoituksista ja staattisista toimintatavoista. Toisessa haussa hakuehtoja tiukennettiin ja siltoja valittiin satunnaisesti 10 kappaletta joka vuosikymmeneltä. Näiden siltojen rakennepiirustuksista kerättiin tarkempaa dataa, josta muodostettiin ominaisuus-vuosiluku-kuvaajia. Näiden kuvaajien avulla analysoitiin laattasiltojen ominaisuuksien kehitystä.

Analyysiosuudessa huomataan, että ensimmäisestä hausta kerätty data ei vastaa teoriaosuuden lähteissä kerrottua tietoa. Esimerkiksi lähteissä kerrotaan laattasilan olevan erityisen yleinen risteys-silta, kun taas kerätyn datan perusteella vesistösilta on selkeästi yleisin käyttökohde. Tämä selittyy sillä, että Taitorakennerekisterissä olevista silloista suurin osa on Väyläviraston omistamia, ja kaupungit käyttävät rekisteriä vain vapaaehtoisesti. Tämän takia maantiesillat painottuvat datassa yli kaupunkialueiden siltojen. Tarkemmassa analyysissä monissa ominaisuuksissa huomataan hyvin loogista kehitystä vuosien varrella. Siltojen mitat ovat esimerkiksi pisimmän jänne-
mitan ja hyötyleveyden osalta kasvaneet hitaasti ja tasaisesti. Mielenkiintoisimmat ominaisuudet tämän analyysin osalta ovat kuitenkin välituen rakenne ja kannen raudoitus. Välitukien rakenteessa tapahtui erittäin selkeä ja terävä muutos 1960- ja 1970-lukujen vaihteessa. Välituen pilarien muoto vaihtui neliskulmaisesta pyöreäksi ja samalla pilarien poikkipinta-ala kasvoi. Tämä johti pilarien määrän vähenemiseen ja samalla esteettisempiin välitukiratkaisuihin. Samassa aikaikkunassa taivutusraudoituksen määrä tuella kasvoi myös huomattavasti. Yllättävintä on kuitenkin se, että tuella olevan raudoituksen määrä pysyi hyvin samankaltaisena 1970-luvulta aina 2000-luvulle saakka, ja seuraava selkeämpi muutos on nähtävissä vasta 2010-luvulla.

Avainsanat: teräsbetoninen laattasilta, Taitorakennerekisteri, taivutusraudoitus, välituki, staattinen toimintatapa

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite	1
1.2 Tutkimuksen toteutus.....	1
2. TEORIA	3
2.1 Sillat	3
2.1.1 Sillanrakennuksen historia	3
2.1.2 Siltojen rakenne yleisesti.....	4
2.2 Teräsbetoniset laattasillat	5
2.2.1 Rakenne	5
2.2.2 Suunnittelu.....	8
2.2.3 Käyttötarkoitukset	9
2.2.4 Staattiset toimintatavat ja tyyppinimikkeet.....	10
3. ANALYYSI	12
3.1 Yleistä dataa laattasilloista.....	12
3.2 Tarkka analyysi.....	16
3.2.1 Välituet.....	16
3.2.2 Raudoitus	18
3.2.3 Geometria	20
4. JOHTOPÄÄTÖKSET	23
LÄHTEET	25

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoite

Taitorakennerekisteri on vuonna 2017 käyttöön otettu Väyläviraston ylläpitämä tietokanta, jonne on rekisteröity kaikki Suomen valtion omistamat sillat. Rekisteristä löytyy siltojen hallinnolliset ja rakenteelliset tiedot, sekä myös paljon kunto- ja vauriotietoa. Valtion siltojen lisäksi rekisteristä löytyy monien kuntien omistamia siltoja. (Väylävirasto 2023). Rekisteristä löytyy siis suuri määrä tarkasti lajiteltua dataa Suomen silloista eri vuosikymmeniltä. Tässä tutkimuksessa analysoidaan tätä dataa ja selvitetään, miten suomalaisten siltojen ominaisuudet ovat kehittyneet vuosien aikana. Työssä rajaudutaan tutkimaan teräsbetonisia laattasiltoja.

Taitorakennerekisteri on suhteellisen uusi tietokanta ja sen pääasiallinen tehtävä on toimia työkaluna alan asiantuntijoille, minkä takia rekisterin tarjoamaa dataa ole vielä analysoitu opinnäytetyön muodossa. Väylävirasto julkaisee omia tilastokatsauksiaan säännöllisesti, joissa valtion omistamia siltoja eritellään esimerkiksi käyttötarkoituksen, sijainnin tai rakennusmateriaalin perusteella. Uusin tilastokatsaus on Väyläviraston sillat 31.12.2022, joka julkaistiin alkuvuodesta 2024. Näissä katsauksissa keskitytään kuitenkin nykyhetkeen, eikä siltojen kehittymiseen. Kun tätä samaa Väyläviraston dataa analysoidaan enemmän, saadaan lisää yleistietoa alan kehityksestä, josta on varmasti hyötyä alan ammattilaisille. Teräsbetonisten laattasiltojen historiasta löytyy tietoa esimerkiksi RIL 179-2018 Sillat -kirjasta, mutta ominaisuuksien kehityksestä ei löydy selkeää dataa kuvaajien muodossa. Tutkimuksen tavoitteena on siis tuottaa selkeää tietoa siitä, miten eri ominaisuudet betonisissa laattasilloissa ovat kehittyneet vuosien varrella.

1.2 Tutkimuksen toteutus

Työn tärkein tutkimusmenetelmä on tilastollinen analyysi, joka koostuu kahdesta osasta. Ensimmäisessä vaiheessa käsitellään laattasiltoja yleisemmin, ja etsitään Taitorakennerekisteristä kuvaavia tunnuslukuja koskien suomalaisia laattasiltoja. Näitä voivat olla esimerkiksi eri siltatyyppeiden ja käyttötarkoitusten osuudet kaikista laattasilloista. Analyysin toisessa vaiheessa valikoidaan 10 laattasiltaa jokaiselta vuosikymmeneltä 1950-luvulta

2010-luvulle, jolloin analysoitavia siltoja on yhteensä 70 kappaletta. Tähän hakuun laite-
taan tiukemmat hakuehdot, jotta analysoitavien siltojen joukkoa saataisiin pienemmäksi.
Kun esimerkiksi käyttötarkoitukset ovat samoja joka vuosikymmenen silloissa, ovat ne
paremmin vertailukelpoisia. Analysoinnin helpottamiseksi ja datan luotettavuuden paran-
tamiseksi työssä ei oteta huomioon siltoja, joiden tiedot tai piirustukset ovat puutteellisia.
Valituista silloista otetaan ylös geometriaan, raudoitukseen ja rakenteelliseen toimintaan
liittyvää dataa, jota analysoidaan muun muassa ominaisuus-vuosiluku-kuvaajien avulla.

Analyysin lisäksi työssä on teoriaosuus, joka toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Teo-
rian tarkoituksena on kertoa kevyesti Suomen silloista, esimerkiksi niiden rakenteesta ja
sillanrakennuksen historiasta. Teoriaosuus kuitenkin painottuu teräsbetoniin laattasil-
toihin, joiden rakennetta, tyyppejä ja käyttötarkoituksia käydään tarkemmin läpi. Myös
analyysiosuudessa käytettävää termistöä selitetään, jotta aiheeseen perehtymätönkin
lukija ymmärtää saatuja tuloksia. Viimeisenä tehdään johtopäätökset tutkimuksen tulok-
sista.

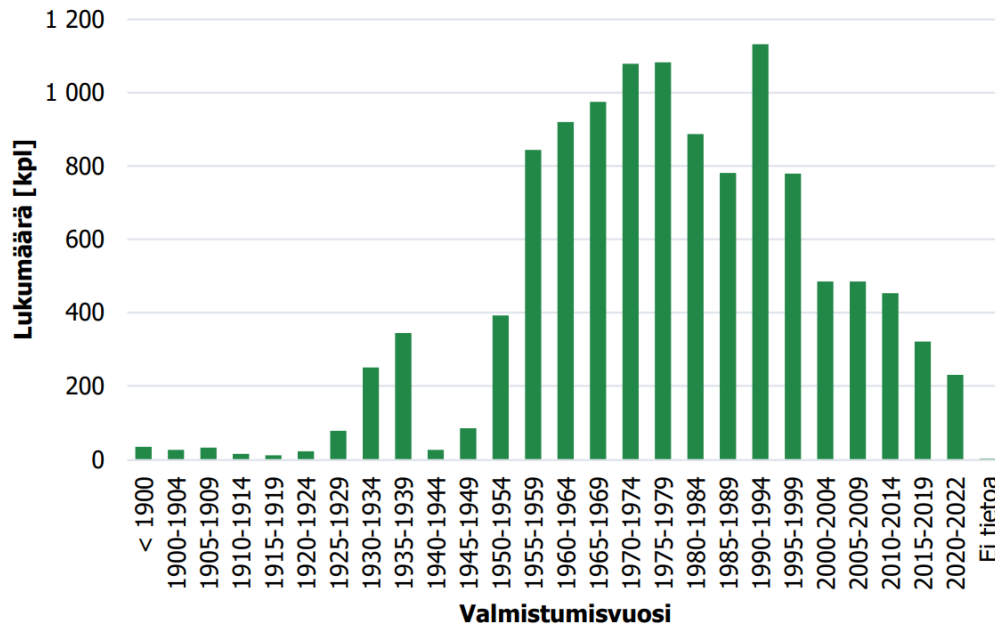
2. TEORIA

2.1 Sillat

2.1.1 Sillanrakennuksen historia

Suomalaisten siltojen historia alkaa puusilloista, joita on tehty aivan Suomen asuttamisen alusta alkaen (Aitta et al. 2004, s. 89). Puu oli pitkään luontainen valinta siltojen materiaaliksi sen hyvästä saatavuuden ja halvan hinnan vuoksi. Puusilta olikin vielä 1900-luvun alussa suosituin vaihtoehto pitkiin vesistöilytyksiin. (RIL 179-2018, s. 17) Puun rinnalle seuraavana materiaalina tuli kivi, jonka tunnettu historia siltamateriaalina alkaa 1700-luvun lopulla (Aitta et al. 2004, s. 129). Kivisiltojen rakentaminen vilkastui kuitenkin vasta 1800-luvun puolivälissä, jolloin muuraustekniikan kehittyminen mahdollisti pidemmät jännemitat. Kivisiltoja rakennettiin aina 1900-luvun alkuun saakka (RIL 179-2018, s. 16). Puu- ja kivisiltojen jälkeen seuraavaksi alettiin rakentamaan terässiltoja. Niiden rakentaminen alkoi kunnolla 1800-luvun puolivälissä rautatieprojektien ansiosta, mutta maanteillä terässillat eivät tuohon aikaan kuitenkaan yleistyneet pienten kuormien takia. Viimeisimpänä siltojen yleisimmistä rakennusmateriaaleista tuli betoni, jota alettiin käyttämään 1800-luvun lopulla. Ensimmäiset betonisillat olivat raudoittamattomia holvisiltoja, ja teräsbetonia alettiin käyttämään 1900-luvun alussa laattapalkki- ja kehäsiltojen muodossa. (RIL 179-2018, s. 17–18)

Suomen sillanrakentamisen vilkkain ajanjakso kesti 1960-luvulta 1990-luvun lopulle, jonka jälkeen tahti on hieman hiipunut, kuten voidaan nähdä kuvasta 1. Sillanrakentaminen ei ole kuitenkaan pysähtymässä, vaan projekteja on ollut paljon myös vuosituhaten vaihteen jälkeenkin. Erityisesti on korostunut rautatie- ja kuivasiltojen rakentaminen. (Väylävirasto 2024, s. 3) Sillanrakentamisen vaihteleva voimakkuus eri vuosikymmenillä on selitettävissä kysynnällä. Esimerkiksi sotien jälkeen jälleenrakentaminen oli voimakasta, mikä selittää erityisen vilkasta sillanrakentamista 1900-luvun puolivälissä. Vastavasti uusien rautatiesiltojen suuri lukumäärä 2000-luvun alussa johtuu osittain Seinäjoki–Oulu-radon rakentamisesta, jonka takia tehtiin useita uusia siltoja (Väylävirasto 2024, s. 3).



Kuva 1. Valmistuneiden siltojen määrä eri vuosina (Väylävirasto 2024, s. 51)

2.1.2 Siltojen rakenne yleisesti

Siltojen rakenteet voidaan rakennusmateriaalista ja siltatyypistä riippumatta jakaa kahteen eri ryhmään, päällys- ja alusrakenteisiin. Päällysrakenteen tehtävänä on siirtää siltaan kohdistuvat kuormat alusrakenteelle (Laaksonen 2023b). Päällysrakenteisiin kuuluvat siis sillan pintarakenteet ja pääkannatin. Pintarakenne vaihtelee paljon sillan käyttötarkoituksen mukaan, esimerkiksi tieliikenteen sillassa siihen kuuluvat vedeneriste ja päällyste, kun taas rataliikenteen silloissa siihen kuuluvat rata ja sen tukikerros (RIL 179-2018, s. 44). Pääkannatin on siltatyypin mukaan esimerkiksi palkki, laatta, kehä, kaari tai holvi (Laaksonen 2023b).

Alusrakenteen tehtävänä on siirtää päällysrakenteelta tulevat kuormat maapohjaan. Alusrakenteeseen kuuluvat osat laakerointitasolta perustusten alapintaan, joita ovat esimerkiksi tuet, paalut, tukiseinät ja muurit. Tuet voidaan kuitenkin luokitella päällysrakenteeseen kuuluvaksi, jos ne ovat kiinteästi kiinni pääkannattimessa, jolloin rakenne on monoliittinen ja laakerointia ei ole. (Laaksonen 2023b)

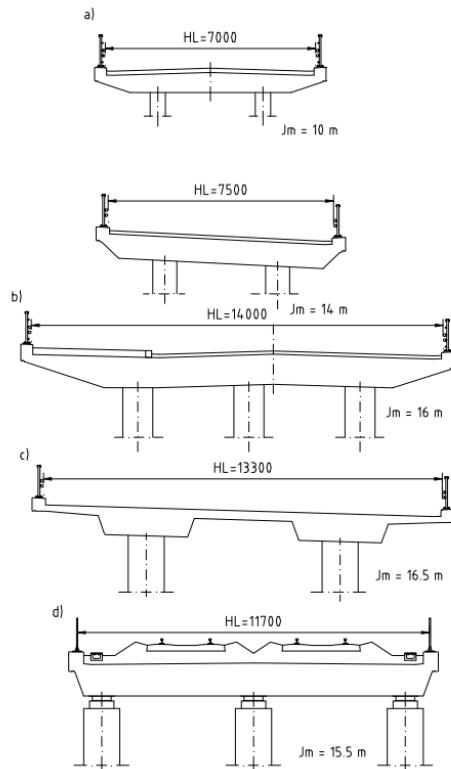
2.2 Teräsbetoniset laattasiljat

Tämän työn analyysi rajoittuu teräsbetonisiin laattasiltoihin, joten myös niiden teoriaan syvennytään tarkemmin. Suurin osa Suomen silloista on teräsbetonisia, ja niistä laattasilta on kaikkien yleisin (RIL 179-2018, s. 24). Laattasiltojen jännemitat ovat yleensä noin 5–30 m, eli kyseessä on melko lyhyihin kohteisiin soveltuva siltatyyppi (Laaksonen 2023c). Tämän takia laattasiltoja näkeekin paljon kaupungeissa ratkaisuna, kun rata, tieliikenne tai kevyt liikenne risteävät. Laattasiljat ovat suhteellisen hoikkia ja helposti rakennettavia rakenteita. Tämä tekee siitä edullisen vaihtoehdon. (Laaksonen 2023c)

2.2.1 Rakenne

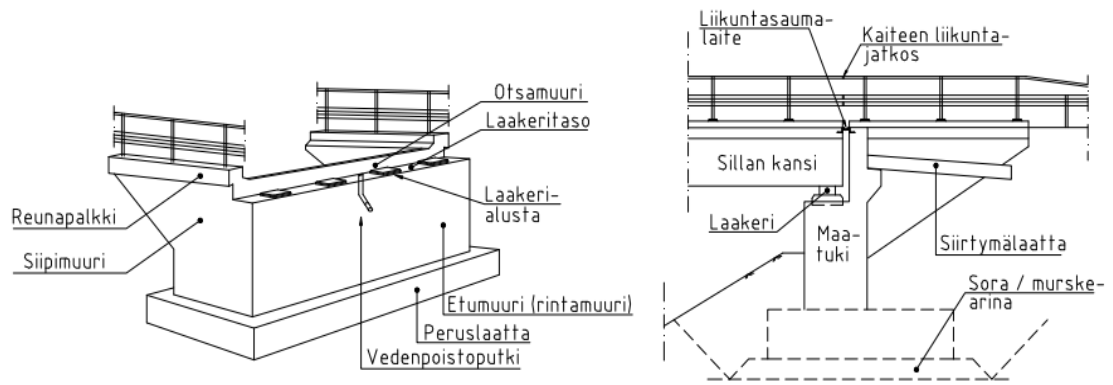
Teräsbetonisissa laattasilloissa pääkannattimena toimii kahteen suuntaan kantava laatta (RIL 179-2018, s. 49). Laatta on ohut rakenne, joka määritellään Eurokoodin (SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC 2015, s. 57) mukaan siten, että sen sivumitan täytyy olla vähintään viisi kertaa sen rakennekorkeus. Toisaalta RIL 179-2018 -kirjassa sivulla 49 sanotaan seuraavasti: ”Laattoja ovat rakenteet, joiden leveys on vähintään 3 kertaa sen korkeus”. Lähteestä huolimatta voidaan kuitenkin todeta, että laatta on rakenneratkaisuna hyvin ohut, korkeussuunnassa vähän tilaa vievä rakenne. Myös Laaksonen (2023c) mukaan laattasiltojen edut korostuvat tilanteissa, joissa korkeusero risteävien väylien kesken on pieni.

Laatan poikkileikkaus vaihtelee paljon sillan jännemitan, leveyden ja käyttötarkoituksen mukaan. Kun silta on kapea, rakennekorkeus on yleensä vakio (kuva 2, a). Tällöin hyötyleveys on yleensä alle 12,5 m ja laatta tukeutuu kahden rinnakkaisen pilarin varaan. Reunoilla käytetään viistettä, jonka kulma on loivimmillaan 1:3. Leveämissä silloissa, joissa laatta tukeutuu kolmelle rinnakkaiselle pilarille, rakennekorkeus usein vaihtelee sillan leveyden matkalla, mikä on nähtävissä kuvan 2 kohdassa b. Kolmas tieliikenteessä käytetty poikkileikkaustyyppi on reunakevennetty laatta. Siinä laatan rakennekorkeutta on pienennetty laatan reunoilla ja mahdollisesti myös rinnakkaisten pilarien väleissä. Tämä auttaa laatan massan hallinnassa varsinkin pitkillä, noin 20 m jännemitoilla. Kuvan 2 kohdasta c voidaankin nähdä, kuinka paljon sirompi poikkileikkaus reunakevennyksillä saadaan aikaan. Haittapuolena on laatan vaikeampi rakennettavuus, koska ohuempien osien vaurioitumisherkkyys on suurempi kutistumaeron ja valulämmön mahdollisen laskun vuoksi. Rautatiesiltojen laattojen poikkileikkaukset eroavat yleensä tieliikenteen silloista. Rakennekorkeutta kasvatetaan suurempien rasituksien takia, ja reunamuotoilu on myös korkeampi suistumistilanteen varalta. (RIL 179-2018, s. 200–201; Laaksonen 2023c; Kuva 2, d)

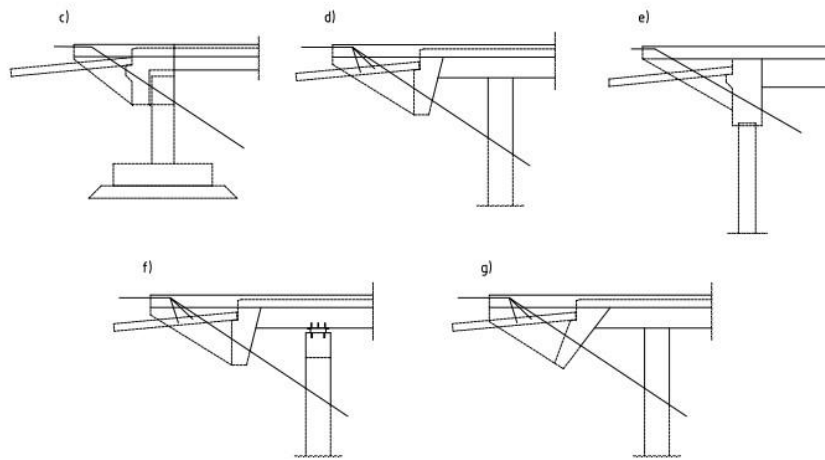


Kuva 2. Laattasiltojen eri poikkileikkauksia (muokattu lähteestä Laaksonen 2023c).

Laattasilloissa päätytuenta toteutetaan joko maatuilla (kuva 3) tai liikuntasaumattomilla päätyrakenteilla (kuva 4). Maatuet ovat yhtenäisiä muurirakenteita, ja ne tukevat laatan lisäksi myös päätypengertä. Yhtenäisellä muurirakenteella tarkoitetaan sitä, että muuri jatkuu väylän pinnasta aina maatuen peruslaattaan asti. Peruslaatan lisäksi maatuki koostuu etumuurista, otsamuurista, siipimureista ja reunapalkeista. Etumuurin päällä on laakerialusta, jonka päälle laatta tukeutuu. Laakeroinnin takia päällysrakenne ei ole kiinteästi kiinni maatuessa, minkä takia otsamuurin ja päällysrakenteen välissä käytetään liikuntasaumalaitetta. Siipimuurit tukevat päätypengertä sivusuunnassa, mikä parantaa sen kantavuutta. Näiden ominaisuuksien takia maatukea käytetään muun muassa silloin, kun siltaa ei voida toteuttaa liikuntasaumattomana, silta on hyvin vino tai päätypenkereen luiska pitää saada pienempään tilaan. Liikuntasaumattomien siltojen päätytuot eroavat maatuista siten, että ne ovat pilareista ja paaluista koostuvia tai päätypenkereen varaan rakennettuja rakenteita. Laakeroinnin puuttumisen takia tuki ottaa vastaan myös päällysrakenteen poikittaisia voimia, joita voidaan välittää penkereeseen esimerkiksi siipimuurien avulla. (RIL 179-2018, s. 184–185; Laaksonen 2023b)



Kuva 3. Maantuen osat ja toiminta (muokattu lähteestä Laaksonen 2023b)



Kuva 4. Erilaisia päättytokia (muokattu lähteestä Laaksonen 2023b)

Välituet ovat laattasilloissa lähes aina toteutettu pilareilla, joita on yleensä 2–4 kappaletta yhtä välitukea kohden. Kahden pilarin ratkaisu on yleinen kapeammissa silloissa, ja kolmeen pilariin siirrytään sillan hyötyleveyden kasvaessa luokkaan 10,5–12,5 m. Neljättä pilaria käytetään yleensä vain kaikkein leveimmissä silloissa, hyötyleveyden ollessa tällöin noin 19 metriä. (Laaksonen 2023c) Yli neljän rinnakkaisen pilarin välitukiratkaisuja tulisi välttää esteettisistä syistä. Ratkaisu voi kuitenkin muuttua perustelluksi esimerkiksi törmäysmitoituksen seurauksena. Myös pilarien mittasuhteet vaikuttavat sillan ulkonäköön ratkaisevasti, ja tämän takia rakenteellisen toimivuuden lisäksi välitukien suunnittelussa painottuvat vahvasti arkkitehtoniset seikat. (RIL 179-2018, s. 186).

Yhtenä laattasillan erikoistapauksena voidaan pitää laattakehäsiltaa ja edellisten kappaleten teoria ei suurilta osin päde niihin. Laattakehäsiltaan rakenne eroaa tavallisesta laattasillasta selvästi, koska niiden päällys- ja alusrakenteiden jaottelu on tulkinnanvaraisempaa (Laaksonen, 2023b). Kehäsillassa kansi ja tuet muodostavat jäykän kokonaisuuden, eli itse laatta ja seinämäiset päättytuet ovat yhtä monoliittista rakennetta. Seinät ovat jäykästi kiinni peruslaattassa, joten silta on liikuntasaumaton. Myös pintarakenteet

eroavat hieman normaalista. Tavallisessa laattasillassa pintarakenne, esimerkiksi asfaltointi, tehdään suoraan laatan päälle, mutta kehäsillassa laatan ja pintarakenteen välillä on myös murskekerros. Tämä mahdollistaa tien pintarakenteen yhtenäisyyden sillan kohdalla. (RIL 179-2018, s. 48)

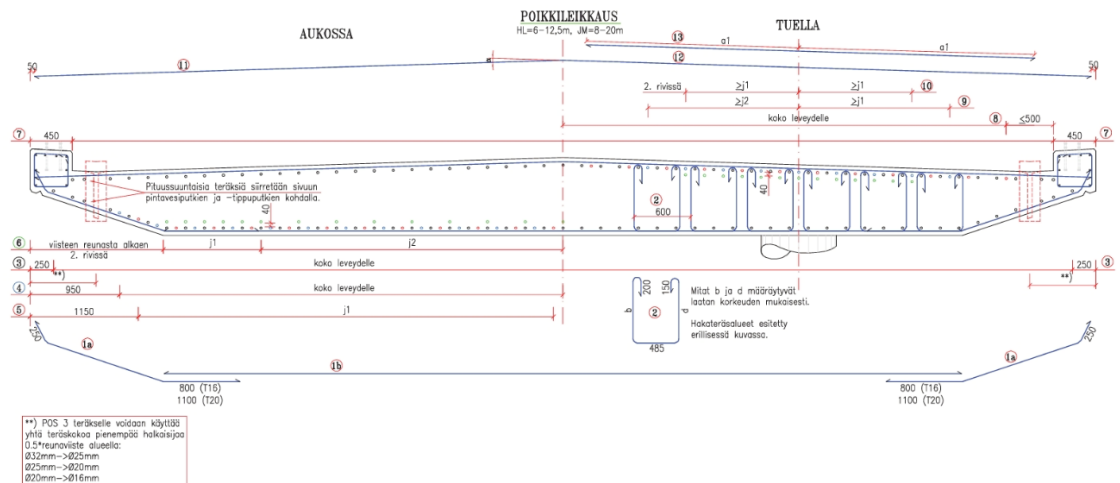
2.2.2 Suunnittelu

Laattasiltojen suunnittelussa ja mitoituksessa on tiettyjä ominaispiirteitä, jotka toistuvat projektista toiseen. Laattasilta on erityisen yleinen risteyssilta, jonka takia niitä näkyy paljon kaupungeissa. Urbaani ympäristö tuo suunnitteluun omat haasteensa, ja varsinkin tilaa ei välttämättä ole yhtään ylimääräistä. Tämän takia pitää tarkastella, mahtuuko silta sille varattuun tilaan. Näkyvimpiä tilahaasteita ovat päätypenkereiden luiskien sekä mahdollisten välitukien sijoittaminen ja mitoittaminen siten, että alittava väylä saadaan rakennettua suunnitellusti. Jos tila ei riitä, vaihtoehtoja ovat väylien muuttaminen sillan ehdoilla tai sillan mittojen ja rakenneratkaisujen muuttaminen. Pilarien ja penkereiden lisäksi muun muassa rakennekorkeus ja siivet saattavat tuottaa tilahaasteita. (RIL 179-2018, s. 200)

Sillan rakenteiden mitoittamisessa laaditaan alustava rakennemalli. Sen avulla tarkastellaan, onko sillan taipumat hyväksyttävissä valituilla jännemitoilla pysyvien kuormien kanssa. Mallin avulla tutkitaan myös, voidaanko rakenne toteuttaa leikkausraudoittamattomana. (RIL 179-2018, s. 200) Rakennekorkeus pyritään usein valitsemaan siten, että rakenteen tarvittava leikkauskestävyys saavutetaan minimihakaraidoituksella. Lävistysmitoituksessa pyritään aina lävistysraudoittamattomaan rakenteeseen, mutta tämä tilanne on harvinainen. Lävistysraudoituksen määrä pyritään kuitenkin pitämään mahdollisimman pienenä ja lävistyskestävyyttä kasvatetaan sillan tuennan muuttamisella. Eri-tyistapauksissa tukipinta-alaa voidaan kasvattaa pilarin päihin tulevilla sienivahvikkeilla tai palkkirakenteilla. (RIL 179-2018, s. 201)

Teräsbetonirakenteissa taivutusraudoituksen suunnittelu on yksi oleellisimmista tehtävistä. Se on myös muun mitoituksen kulun kannalta määräävä tekijä. Laattasilloissa käytetään yleensä ortogonaalista raudoitusta, jolloin pääraudoitus on sillan pituuden suuntainen ja poikittaisraudoitus on siihen nähden kohtisuorassa. Laattasiltojen tapauksessa laatan kaikki pinnat ovat molempiin suuntiin raudoitettuja. Tasapaksussa laatasta tämä tarkoittaa siis sitä, että laatan ylä- ja alapinnassa kulkee pitkittäis- ja poikittaisraudoitus koko pituuden matkalla. Raudoitus ei kuitenkaan ole samanlainen koko sillassa, vaan esimerkiksi tukien kohdalla laatan yläpinnassa on paljon terästä, koska tuilla laatan ylä-

pintaan muodostuu vetoa. Kenttien kohdalla laatan yläpinnassa on puristusta, jolloin raudoitusta ei tarvita ja terästä ei siellä juurikaan ole. Silloissa taivutusraudoituksen suurin teräsjako on yleensä noin 200 mm ja pienin teräskoko on halkaisijaltaan 16 mm. (RIL 179-2018, s. 202)



Kuva 5. Laattasillan kannen raudoituspääty (RIL 179-2018, s. 202)

Kuvassa 5 nähdään teräsbetonisen laattasillan kansilaatan poikkileikkaus. Taivutusraudoitus on nähtävissä laatan ala- ja yläpinnassa, joissa pisteet ovat sillan pituussuuntaisia teräksiä ja poikkiviivat ovat sillan poikkisuuntaisia teräksiä. Poikkileikkaus on jaettu kahteen osaan, vasemmalla on poikkileikkaus sillan kentässä ja oikeilla on poikkileikkaus tuella. Tuella on nähtävissä leikkaus-/lävistysraudoituksena käytettyjä hakoja, jotka ovat tässä tapauksessa 2-leikkeisiä avoimia hakoja (U-haka). Leikkeisyys tarkoittaa sitä, että kuinka monta pystyterästä haalla on yhdessä poikkileikkauksessa.

2.2.3 Käyttötarkoitukset

Teräsbetoninen laattasilta on kustannustehokas ratkaisu varsinkin erityisen lyhyillä jänneväleillä (Zhao & Tonias 2012, s. 16). Laattasiltaa käytetäänkin hyvin paljon risteyssiltana, joka on kahden tien risteykseen rakennettu silta. Laattasiltoja käytetään kuitenkin myös paljon muissa tie- ja rataliikenteen kohteissa, jossa jännemitta jää kohtuulliseksi, maksimissaan noin 30 metriseksi. Myös kevyen liikenteen sillat ja pienten vesistöjen ylitykset ovat yleisiä käyttökohteita. (RIL 179-2018, s. 200; Taitorakennerekisteri 2024) Seuraavaksi on avattu yleisimpiä laattasiltojen käyttötarkoituksia (Laaksonen 2023a):

- **Risteyssilta** on kahden tien risteykseen rakennettu silta.

- **Vesistösilta** on vesistön ylittävä tie- tai kevyen liikenteen silta. Laattasiltojen tapauksessa vesistöt ovat yleensä pienempiä, esimerkiksi oja tai koskia.
- **Ratasilta** on rautatiesilta, joka ylittää vesistön tai maastoesteeseen.
- **Alikulkukäytävä** on tiesilta, joka ylittää kevyen liikenteen väylän.
- **Ylikulkukäytävä** on kevyen liikenteen silta, joka ylittää tien.
- **Ylikulkusilta** on tiesilta, joka ylittää radan.
- **Alikulkusilta** on rautatiesilta, joka ylittää tien.

2.2.4 Staattiset toimintatavat ja tyyppinimikkeet

Sillan staattisella toimintatavalla, tarkoitetaan sitä, miten silta ottaa siihen kohdistuvat kuormat vastaan. Laattasilloissa staattinen toiminta perustuu laatan taivutukseen (Laaksonen, 2023b). Kaikki laattasilat eivät kuitenkaan toimi samalla tavalla, vaan staattinen toimintatapa riippuu esimerkiksi jatkuvuudesta ja ulokkeellisuudesta. Jatkuva laattasilta on kaksi- tai useampiauukkoinen ja siinä päällysrakenne jatkuu katkeamattomana tukien yli. Toinen tyyppi jatkuvan sillan lisäksi on yksiauukkoinen, jossa ei ole välitukia. Toinen sillan staattisen toimintatavan määrittelevä ominaisuus on ulokkeellisuus. Ulokelaattasilta tarkoittaa siltaa, jossa päällysrakenne jatkuu vielä päätytuen yli, kun taas ei-ulokkeellisen sillan päällysrakenne loppuu tukeen.

Sillan rakennusmateriaalista ja staattisesta toimintatavasta muodostuu sillalle rakennetyyppi. Käytetään esimerkkinä teräsbetonista ulokelaattasiltaa, joka on Suomen tyyppillisin laattasilta (Laaksonen 2023c). Teräsbetoninen ulokelaattasilta on siis rakennetyypin nimi ja sen lyhenne on *BuI*. Lyhenteen ensimmäinen kirjain *B* kertoo sillan rakennusmateriaalin, joka on tässä tapauksessa teräsbetoni. Toinen kirjain *u* kertoo ulokkeellisuuden. Ulokkeettomassa sillassa tämä kirjain jätetään kokonaan pois. Viimeinen kirjain *I* kertoo päällysrakenteen tyyppin (laatta). Mahdollinen sillan jatkuvuus merkittäisiin kirjaimella *j* rakennusmateriaalin jälkeen. Mahdollisia sillan päällysrakenteen erityispiirteitä merkitään *I* merkin molemmille puolille. Seuraavaksi on lueteltu esimerkkejä selventämään nimeämiskäytäntöä (Taitorakennerekisteri 2024):

- **BI**: teräsbetoninen laattasilta
- **BjI**: teräsbetoninen jatkuva laattasilta

- **Bjul:** teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta
- **Bjule:** teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta, elementtirakenteinen
- **Bjlk:** teräsbetoninen jatkuva laattakehäsilta
- **Buol:** teräsbetoninen ulokeontelolaattasilta
- **Bvlk:** teräsbetoninen vinojalkainen laattakehäsilta.

3. ANALYYSI

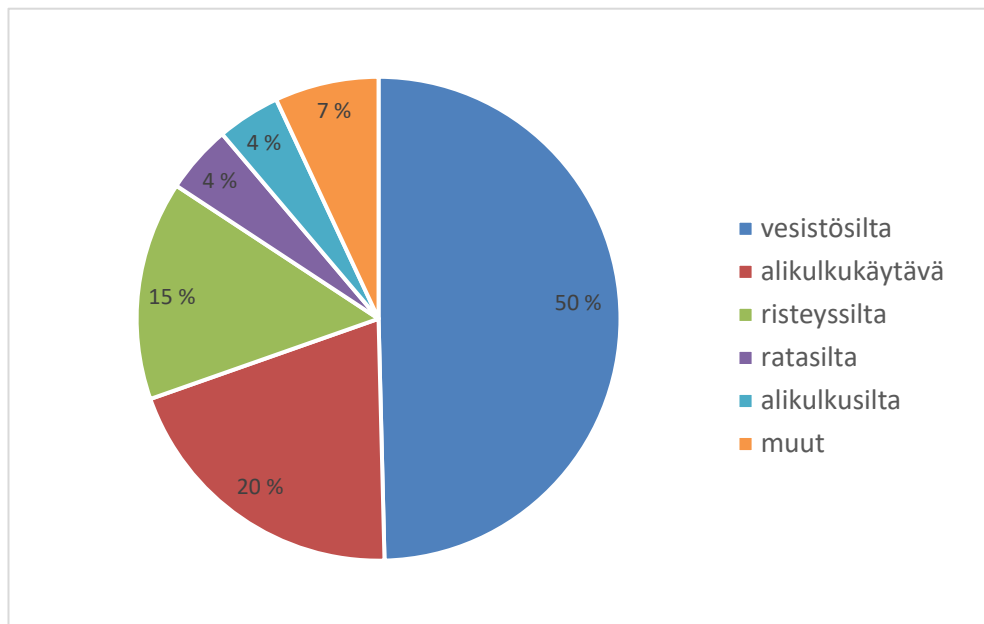
Analyysiosuudessa käydään läpi Taitorakennerekisteristä löytyviä laattasiltoja ensin yleisellä tasolla, jossa keskitytään jakamaan siltoja karkeasti eri ryhmiin, esimerkiksi käyttötarkoituksen ja staattisen toimintatavan perusteella. Tämän jälkeen tehdään tarkempi analyysi rajatummalle joukolle siltoja, joiden väliltä etsitään mahdollisia eroja geometrista ja rakenteellisista ominaisuuksista. Alkualettamuksena on, että siltojen rakentamisvuosien ja ominaisuuksien, esimerkiksi raudoituksen tai hoikkuuden väliltä löytyy tiettyjä yhteyksiä. Havaittuja ilmiöitä verrataan myös teoriaosuuden lähteistä löytyvään tietoon. Suomi on suhteellisen pienikokoinen maa, joten rakennusalan piiritkin ovat varsin suppeat moniin muihin maihin verrattuna. Täten voisi uskoa, että sillanrakennuksessa näkyy eri vuosikymmenillä tietyt toistuvat trendit, varsinkin kun nyt tarkastellaan vain yhtä tiettyä siltatyyppiä. Analyysiosuutta tehdessä ja lukiessa pitää kuitenkin muistaa, ettei Taitorakennerekisterissä ole kaikkia Suomen laattasiltoja, vaan esimerkiksi kunnat käyttävät rekisteriä vapaaehtoisesti. Tämän takia varsinkin karkeammassa analyysissä saadut tulokset luultavasti painottuvat vahvasti Väyläviraston omistamiin siltoihin.

3.1 Yleistä dataa laattasilloista

Yleistiedon keräämiseen käytetään Taitorakennerekisterin tarkkaa hakua. Rakenneluokaksi rajataan vain sillat ja rakenteen tilaksi asetetaan raja *käytössä*, koska tässä analyysissä ei otetaan huomioon purettuja, suunnitteilla tai rakenteilla olevia siltoja. Staattiseksi rakenteeksi asetetaan laatta ja päärakennusmateriaaliksi teräsbetoni, milloin saadaan haettua juuri teräsbetoniset laattasilillat. Lopuksi valitaan rakennetyypiksi kaikki erilaiset tb-laattasilillat ja jätetään laattakehäsilillat valitsematta. Näillä hakuehdoilla saadaan 7 356 hakutulosta. Näistä tuloksista 6 278 siltaa on Väyläviraston omistuksessa ja loput 1 078 siltaa ovat kaupunki-, yritys- ja yksityisomisteisia, tai niiden omistajaa ei ole tiedossa. Täten suurin osa, yli 85 % tämän haun silloista on Väyläviraston omistuksessa, mitä osattiin jo ennalta odottaa.

Alla kuvassa 6 nähdään analysoitavien siltojen käyttötarkoitusten prosentuaaliset osuudet. Ensimmäisenä huomio kiinnittyy vesistösiltoihin, joita on laattasilloista huomattavan suuri osuus. Erityisesti risteysiltojen pieni määrä verrattuna vesistösiltoihin herättää mielenkiintoa, koska teoriaosuudessa viitattiin RIL-179 2018 -kirjaan, jonka mukaan risteysilta on erityisen tyypillinen käyttökohde laattasilloille. Saatua dataa kuitenkin muistuttaa hyvin paljon tuloksia, mitä on saatu Väyläviraston omassa tilastoanalyysissä, jossa

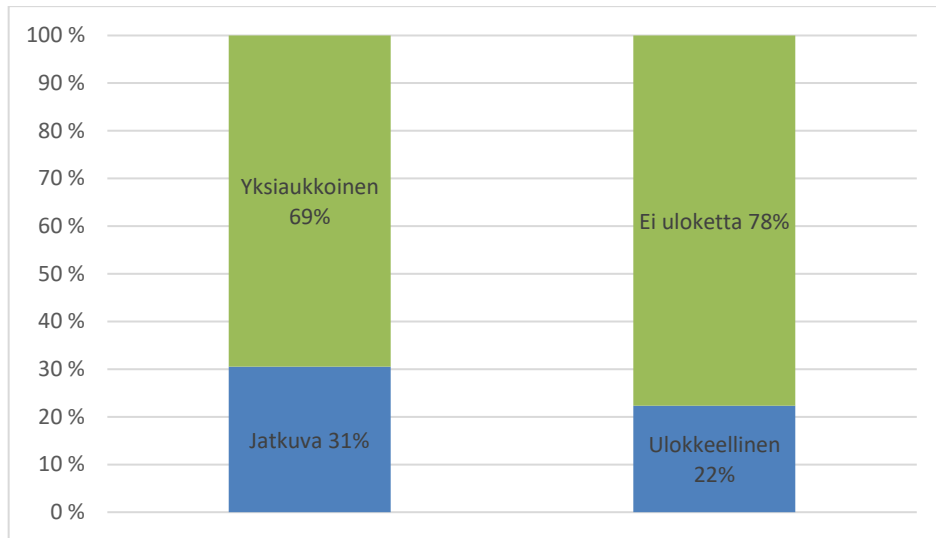
on otettu huomioon kaikki varsinaiset tiesillat. Siinä 57 % silloista oli vesistösiltoja, 19 % alikulkukäytäviä ja 15 % risteyssilloja (Väylävirasto 2024, s. 22). Tätä kuvaajaa tarkastellessa pitää kuitenkin ottaa huomioon se, että kaupunkien omistamat sillat ovat tässä datassa vähemmistössä ja suurin osa risteyssilloista sijaitsee juuri kaupunkialueilla. Tämän takia tästä kuvaajasta ei voi tehdä kovin luotettavia johtopäätöksiä käyttötarkoitusten keskinäisistä suhteista. Datasta voidaan kuitenkin selkeästi todeta, että niin Laaksosen aineistossa (2023a), kuin RIL-179 2018 -kirjassa luetellut yleisimmät käyttötarkoitukset; vesistösilta, alikulkukäytävä, risteyssilta, ratasilta ja alikulkusilta; pitävät paikkansa.



Kuva 6. Laattasiltojen käyttötarkoitukset

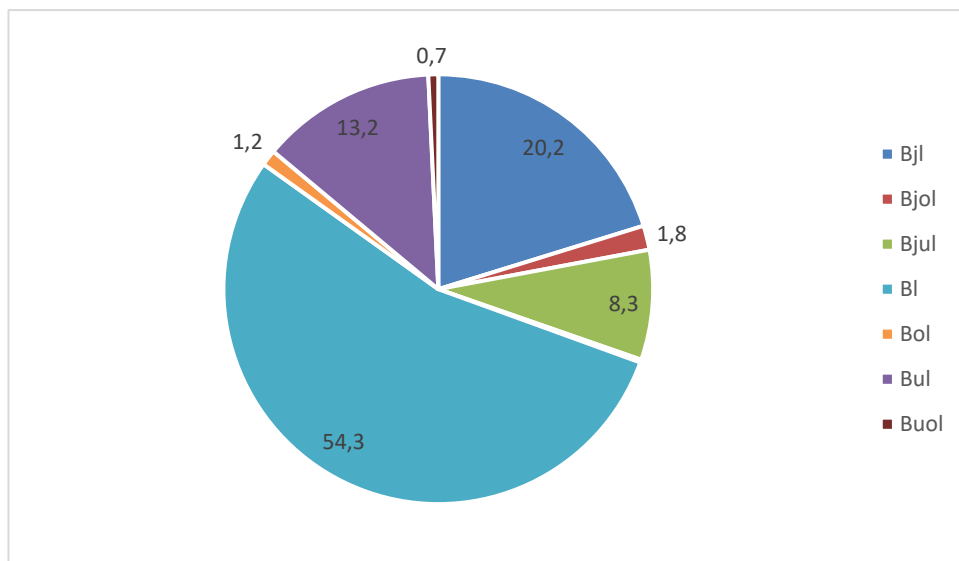
Kuvassa 7 nähdään laattasiltojen staattisten toimintatapojen määreitä eroteltuina. Voidaan huomata, että yksiaukkoiset sillat ovat selkeästi yleisempiä, kuin jatkuvat sillat. Tämä vahvistaa aikaisemmin esitettyä väitettä siitä, että teräsbetoninen laattasilta on erityisen hyvä ratkaisu lyhyille jännemitoille (Zhao & Tonia 2012, s. 16).

Ulokkeellisuudesta kertova data on yllättäen päinvastaista lähteistä saatuun tietoon verrattuna. Kuvasta 7 voidaan nähdä, että kerätystä datasta ulokkeellisia siltoja on vain 22 %. Esimerkiksi RIL-179 2018 -kirjan ja Laaksosen (2023c) mukaan laattasilloista yleisin on teräsbetoninen ulokelaattasilta. Tämän perusteella olisi voinut olettaa, että juuri ulokkeellisia siltoja olisi ollut reilusti enemmän. Mahdollinen syy tähänkin ristiriitaan on aikaisemmin mainittu kaupunkisilltojen puute. Jos dataotokseen saataisiin kaikki Suomessa sijaitsevat laattasilat, kuvan 7 kuvaajat näyttäisivät luultavasti huomattavasti erilaisilta.



Kuva 7. Laattasiltojen staattisten toimintatapojen määreet eroteltuina

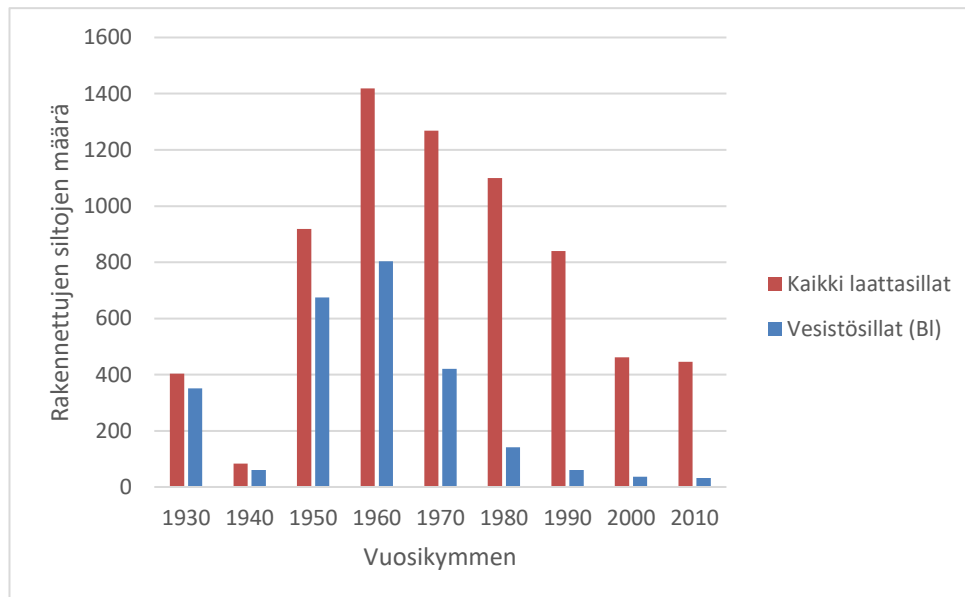
Kuvassa 8 data on jaoteltu siltatyypin mukaan. Yli puolet tarkasteltavista silloista on tavallisia teräsbetonisia laattasiltoja (BI), eli ne ovat yksiaukkoisia ja ulokkeettomia. Muita suuria osuuksia ovat 20,2 % teräsbetonisia jatkuvia laattasiltoja (Bjl) ja 13,2 % teräsbetonisia ulokelaattasiltoja (Bul). Edellisessä kappaleessa huomattu ulokkeellisten siltojen pieni määrä näkyy myös tässä kuvaajassa.



Kuva 8. Laattasiltojen eri tyyppien prosentuaaliset osuudet

Kuvien 6 ja 7 perusteella voidaan nähdä, että suuri osa Taitorakennerekisterin laattasilloista on yksiaukkoisia ulokkeettomia vesistösiltoja. Tämä ei ollut oletettavissa, joten näiden siltojen rakennusvuosista kerättiin lisää dataa. Tämän avulla nähdään, minä aikakautena näitä siltoja on rakennettu. Alkuperäistä hakua rajattiin uudelleen siten, että saatiin valittua vain tämän tyyppiset sillat. Hakutuloksia saatiin 2681 kappaletta, eli näitä siltoja oli alkuperäisen haun silloista yli kolmasosa, tarkemmin noin 36 %. Alla olevassa

kuvassa 9 on esitetty alkuperäisen haun laattasiltojen valmistusmäärät eri vuosikymmenillä punaisella ja uuden haun valmistusmäärät sinisellä. Huomataan, että varsinkin 30-luvulta 60-luvulle näitä yksiaukkoisia ei-ulokkeellisia vesistösiltoja on rakennettu todella runsaasti. Etenkin 30-, 40- ja 50-lukujen tilanne on mielenkiintoinen, koska valtaosa kaikista valmistuneista laattasilloista on sen tyyppisiä. Voidaankin sanoa, että noina vuosina yksiaukkoisen ei-ulokkeellinen laattasilta oli suosittu ratkaisu pienten vesistöjen, esimerkiksi purojen ylittämiseen, mikä selittää näiden siltöjen suurta määrää alkuperäisessä haussa. Kuten aikaisemmin mainittiin, kaupunkisiltöjen suurempi määrä analyysissä vaikuttaisi luultavasti melko selvästi siltatyyppien välisiin osuuksiin. Kuvaajasta nähdään, että Väyläviraston rakentamien laattasiltojen määrät ovat pienentyneet reilusti vuosien varrella. Tämän takia voidaan olettaa, että varsinkin viime vuosikymmeninä kaupunkien sillat muodostavat merkittävän osuuden rakennettujen laattasiltojen kokonaismäärästä.



Kuva 9. Yksiaukkoisten ei-ulokkeellisten vesistösiltojen valmistusmäärät eri vuosikymmeninä verrattuna kaikkiin laattasiltoihin

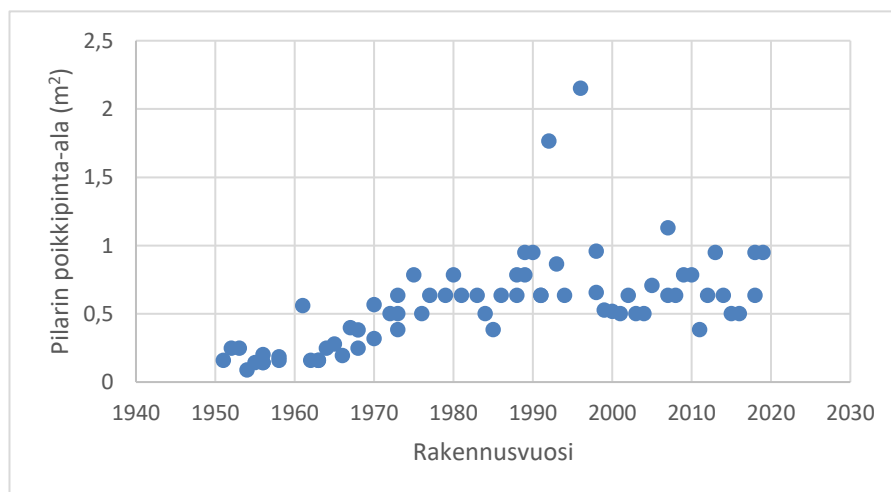
Tämän karkean analyysin perusteella voidaan tehdä johtopäätös, että jos halutaan koko Suomen teräsbetonista laattasillosta kuvaavaa dataa, pitäisi siltoja kerätä tasaisemmin Väylävirastolta ja kaupungeilta. Suomessa Väyläviraston vastuulle kuuluu maantie- ja rataverkosto, minkä takia datassa painottuvat tietyt asiat. Voidaan olettaa, että esimerkiksi vesistösiltojen osuus pieneneisi ja risteysiltojen sekä alikulkukäytävien osuudet kasvaisivat, jos kaupunkien edustus datassa olisi suurempi.

3.2 Tarkka analyysi

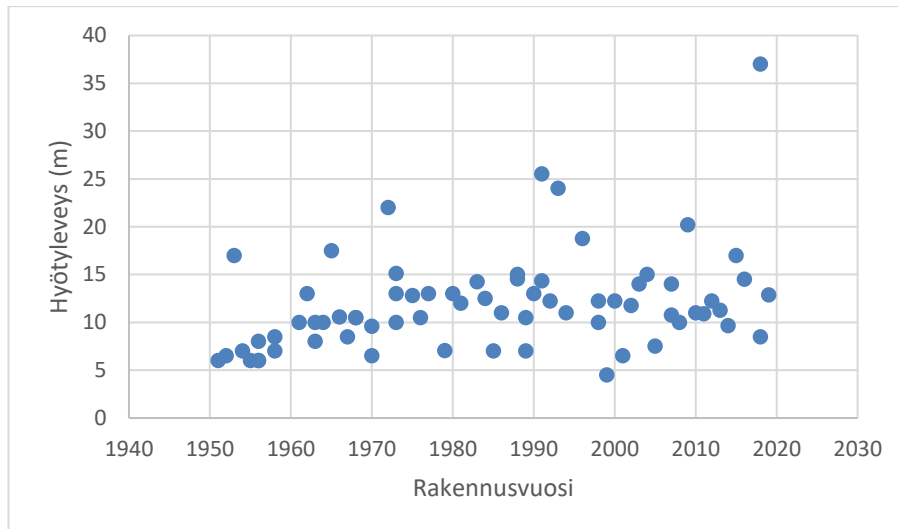
Tarkkaa analyysiä varten Taitorakennerekisterin hakuetoja tiukennettiin, jotta käsiteltävät sillat olisivat mahdollisimman samankaltaisia. Tällöin voidaan etsiä mahdollisia eroja siltojen välillä eri vuosikymmenillä. Yleisanalyysistä eroten tässä vaiheessa rajattiin kaikista vanhimmat ja uusimmat sillat pois analyysin keskittyessä vuosivälille 1950–2019. Hakuetojen pohjana toimii samat rajaukset kuin yleisanalyysissa, mutta niiden lisäksi on asetettu lisää ehtoja. Rakenneosatyyppiä on asetettu pilari/pilaristo, jonka avulla saadaan rajattua pois sillat, joiden välituki on seinämäinen. Rakennetyypeiksi on asetettu teräsbetoninen jatkuva laattasilta (Bjl) ja teräsbetoninen jatkuva ulokelaattasilta (Bjul). Näin hakutuloksiin saadaan vain paikallavalurakenteisia välituellisia siltoja. Viimeiseksi ehdoksi on laitettu sillalla kulkevaksi väyläksi tie tai katu, jolloin saadaan rata- ja kevyenliikenteen sillat rajattua pois.

3.2.1 Välituet

Siltoja tarkastellessa yksi huomiota kiinnittävä asia on välituen pilarit, joita esiintyy sekä ympyrä, että suorakulmiopoikkileikkauksilla. Näitä ei ole kuitenkaan käytetty sekaisin eri vuosikymmenillä, vaan 60- ja 70-lukujen vaihteessa näkyy selkeä muutos. 50- ja 60-luvuilta analysoiduista 20 sillasta vain yhdessä on pyöreät pilarit. Vastaavasti 70-luvulta eteenpäin analysoidusta 50 sillasta vain kolmessa on suorakulmion malliset pilarit. Tämän takia myös pilarien poikkipinta-alassa tapahtuu samaan aikaan selkeä hyppy, joka nähdään kuvassa 10. Kun aikaisemmin tuen yleinen sivumitta oli noin 0,5 m ja pinta-ala noin 0,25 m², 70-luvulta alkaen tuen halkaisija on yleensä yhden metrin luokkaa, jolloin tuen poikkipinta-ala on selvästi suurempi.

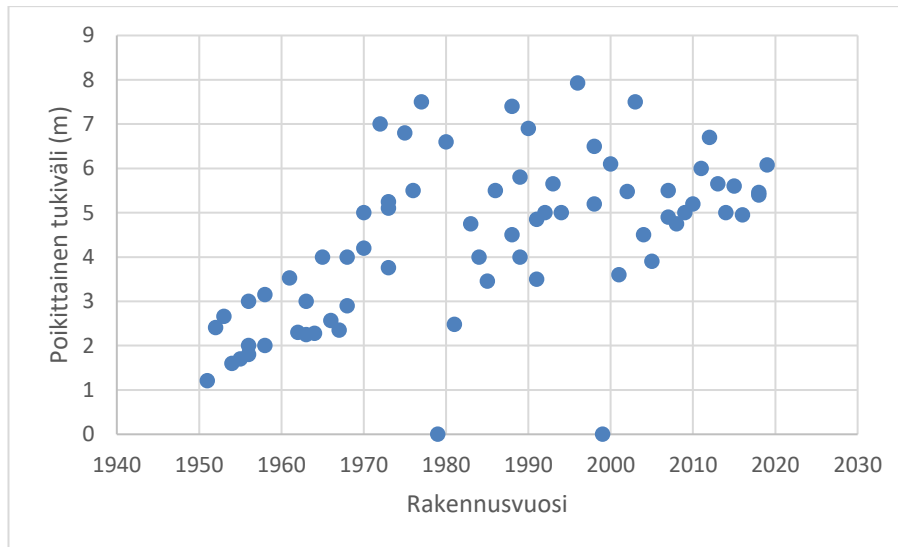


Kuva 10. Välituen yhden pilarin poikkipinta-ala eri vuosina

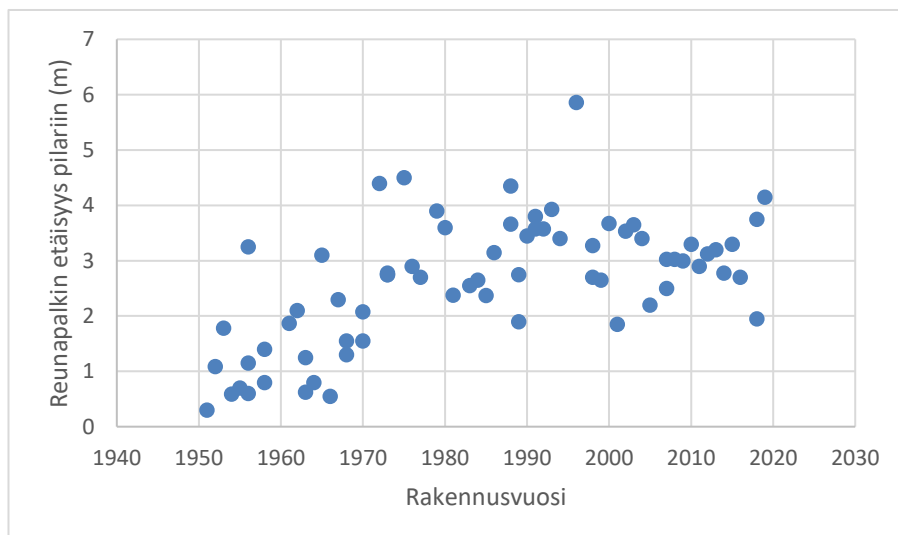


Kuva 11. Hyötyleveys eri vuosina

Kun verrataan kuvan 10 dataa poikkipinta-aloista ja kuvan 11 dataa hyötyleveyden kasvusta, voidaan huomata, ettei niiden välillä ole selkeää yhteyttä. Hyötyleveydet kasvavat vuosien varrella, mutta paljon tasaisemmin, eikä pilarien äkillistä kehittymistä voida selittää leveyden kasvulla. Kuvista 12 ja 13 kuitenkin voidaan nähdä, että poikittainen tukiväli ja reunapilarin etäisyys sillan reunapalkista kehittyvät vuosien varrella hyvin samankaltaisesti kuin pilarien poikkipinta-ala. Poikittainen tukiväli on saman välituen kahden vierekkäisen pilarin välinen etäisyys. Reunapilarin etäisyys reunapalkin ulkoreunaan ilmoittaa taas välituen reunimmaisen pilarin etäisyyden sillan leveyssuunnan uloimpaan kohtaan. Näissä molemmissa kuvaajissa on nähtävissä 70-luvulla hyvin samankaltainen hyppäys kuin pilarin poikkipinta-alan kehityksessä. Tämä kertoo siitä, että rinnakkaisten pilarien määrä on vähentynyt vuosien aikana, koska aukot välituilla ovat kasvaneet paljon enemmän kuin siltojen leveydet. Kuvassa 12 on nähtävissä kaksi kappaletta jopa yhden pilarin välitukiratkaisuja, jolloin poikittainen tukiväli on nolla. Pilarien poikkipinta-alaa on siis suurennettu luultavasti sen takia, jotta välituilla olisi riittävä kantokyky pilarien määrän vähentämisestä huolimatta. Kappaleessa 2.2.1 puhuttiin välitukien vaikutuksesta siltojen estetiikkaan ja miten ylimääräisiä pilareita yritetään välttää suunnittelussa. Tämän datan perusteella vaikuttaa siis siltä, että 70-luvulla siltojen ulkonäköön alettiin kiinnittämään selkeästi enemmän huomiota kuin aiemmin.



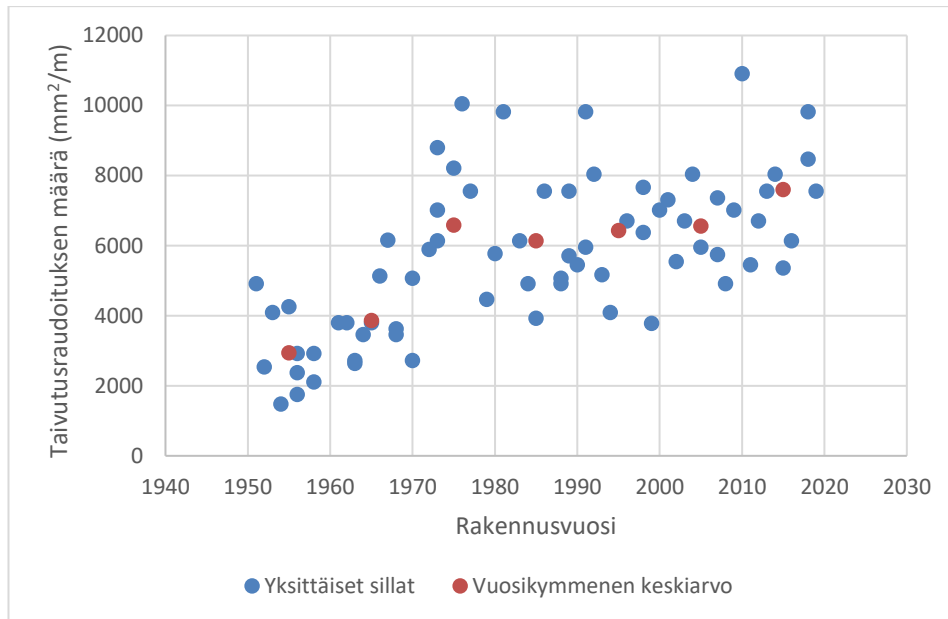
Kuva 12. Välituen pilareiden poikittainen etäisyys eri vuosina



Kuva 13. Reunapilarin etäisyys sillan reunapalkin ulkoreunaan eri vuosina

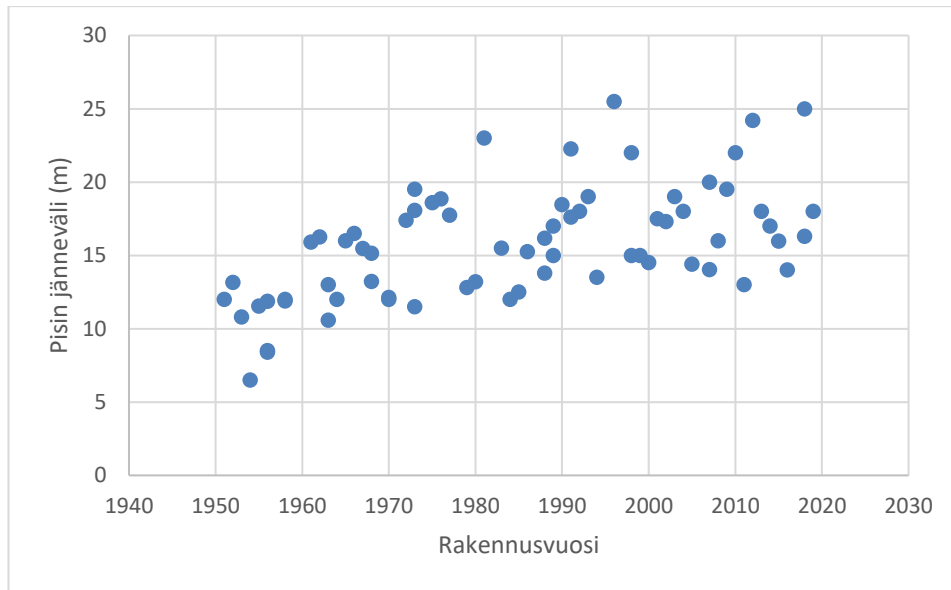
3.2.2 Raudoitus

Raudoitusta tarkastellessa voidaan huomata, että 70-luku on tässäkin tapauksessa eräänlainen taitekohta. Kuvassa 14 on laskettu siltojen pituussuuntaisten pääraudoitusten kokonaispinta-aloja ja jaettu ne leveydellä. Siten on saatu raudoitusmäärästä kertova kuvaaja, joka kertoo teräsmäärän leveysmetriä kohden. Näin voidaan vertailla eri levyisten siltojen teräsmääriä toisiinsa. Raudoituksen määrä on katsottu laatan yläpinnasta välituelta, johon jatkuvan laatan tapauksessa syntyy yksi taivutusmomentin huipparvoista, kun kuormitus on tasainen. Kuvaajasta voidaan nähdä, että aikaisemmin esitettyjen kuvaajien tapaan, myös teräsmäärässä on selkeä hyppy, kun siirrytään 70-luvulle. 70-luvulta aina 2000-luvulle saakka teräsmäärät pysyvät hyvin samankaltaisina ja seuraava selkeämpi muutos on nähtävissä vasta 2010-luvulla.



Kuva 14. Laattasiltojen pituussuuntaisen taivutusraudoituksen määrä leveysmetriä kohden eri vuosina

Teräsmäärän kasvua voidaan selittää esimerkiksi kuormien kasvulla. Ajoneuvojen massat ovat kasvaneet paljon, joten myös silloilta vaaditaan enemmän. Esimerkiksi yksi mahdollinen 70-luvun hyppäystä selittävä tekijä on se, että vuonna 1975 ajoneuvojen painorajoja nostettiin, joka luonnollisesti näkyy uusien siltojen suunnittelukuormissa (Aitta et al. 2004, s. 71). Myös monet analysoiduista 50- ja 60-luvun silloista ovat ylikulkuksiltoja, joissa pienehkö tie ylittää radan. Näillä silloilla liikenne on luultavasti hiljaisempaa ja kevyempää kuin esimerkiksi kaupunkien suurilla risteyssilloilla tai suurempien maanteiden silloilla. Taivutusraudoituksen lisäystä voidaan myös verrata jännemittojen kehitykseen. Alla olevassa kuvassa 15 nähdään analysoitujen siltojen pisimmät jännemittarit eri vuosina. Huomataan, että myös se kasvaa samankaltaisesti teräsmäärään nähden. Kasvu ei ole yhtä jyrkkää, mutta näiden kahden kuvaajan suora vertailu ei ole tarkoituksenmukaista, koska teräsmäärään vaikuttaa jännemitan lisäksi moni muukin asia. Pidempi jännemitta kuitenkin pidentää tuelle taivutusrasitusta aiheuttavaa momenttivartta, joka taas johtaa taivutusrasituksen kasvuun. Voidaan siis sanoa, että jännemittojen kasvulla on oma osansa raudoituksen määrän kasvuun. Myös yksi raudoituksen määrään vaikuttava tekijä voi olla mitoitusmenetelmien kehittyminen. 70-luvulla alettiin siirtymään rajatilamitoitukseen, jossa kuormia kasvatetaan ja kestävyiksi pienennetään kertoimien ja osavarmuuslukujen avulla (Aitta et al. 2004, s. 411). Toki tämän vaikutusta teräsmääriin ei voi suoraan olettaa, vaan eri vuosikymmenien mitoitusmenetelmien vaikutus pitäisi todentaa laskemalla.



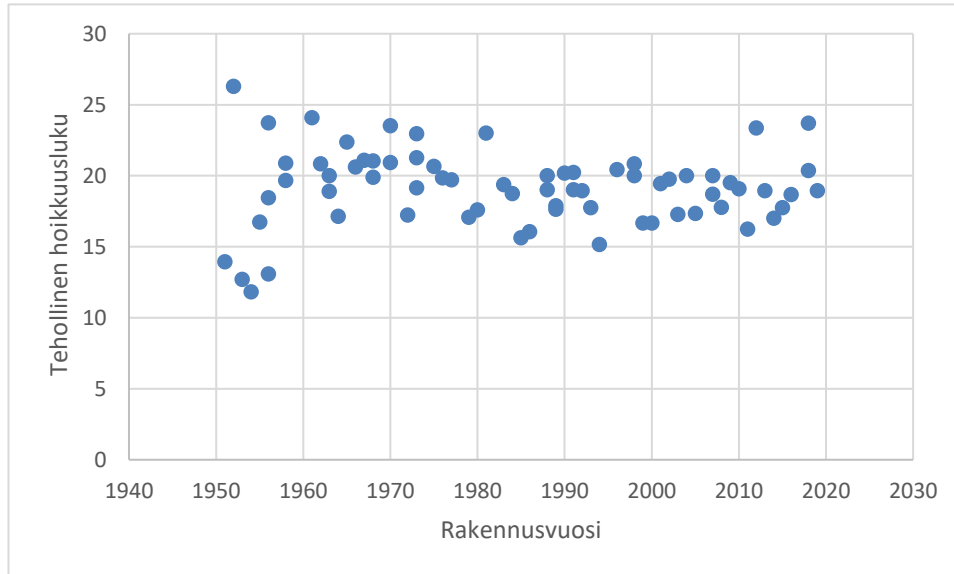
Kuva 15. Laattasiltojen pisin jänneväli eri vuosina

Toinen mielenkiintoinen huomio kuvasta 14 on se, kuinka tasaisena taivutusraudoituksen määrä on pysynyt jo 50 vuoden ajan. Vaikka vuosikymmenien keskiarvossa on pientä heittoa, on esimerkiksi 70-, 80-, 90- ja 2000-luvun raudoitusmäärät ovat hyvin samankaltaisia. Ainoastaan 2010-luvulla on nähtävissä pieni selkeämpi raudoitusmäärän nousu. Tämän perusteella voidaan sanoa, että 70-luvulta eteenpäin laattasiltojen suunnittelu on ollut siltä osin yhteneväistä, että siltojen raudoitusmäärät ovat pysyneet samankaltaisina, vaikka suunnittelumenetelmät olisivatkin kehittyneet. Vaikka 50- ja 60-luvuilla kuormat ovat olleet luultavasti pienempiä, voi pienemmät teräsmäärät ainakin osittain selittyä määräyksien ja ohjeiden puutteella. Esimerkiksi varmuutta on voitu laskea paljon vähemmän verrattuna uudempiin siltoihin. Myös pienet eroavaisuudet uudempien siltojen välillä saattavat osittain johtua määräyksien ja ohjeiden muuttumisesta. Esimerkiksi Eurokoodien käyttöönotolla saattaa olla osittainen vaikutus raudoitusmäärän pieneen kasvuun 2000- ja 2010-lukujen välillä, koska Eurokoodien siirtymäaika päättyi vuonna 2010 ja Suomen omasta Rakentamismääräyskokoelmasta luovuttiin. (Rakennusteollisuus 2024).

3.2.3 Geometria

Siltojen geometriaa tarkastellessa yksi mielenkiintoinen suure on hoikkuus. Siltojen suunnittelussa hoikkuutta pidetään yhtenä hyvän muotoilun tunnusmerkkinä, johon olisi hyvä pyrkiä. Hoikkuus ilmoitetaan jännevälin ja rakennekorkeuden välisenä suhteena L/H , jota sanotaan teholliseksi hoikkuusluvuksi. (RIL-179 2018, s. 127) Kuten kaavasta näkee, jännemitan pidentäminen ja rakennekaksuuden pienentäminen kasvattavat hoikkuutta. Kuvassa 16 nähdään siltojen hoikkuuslukujen kehitys 50-luvulta 2010-luvulle.

Hoikkuudet on laskettu pisimmän jännemitan ja välituella sijaitsevan rakennekorkeuden perusteella.

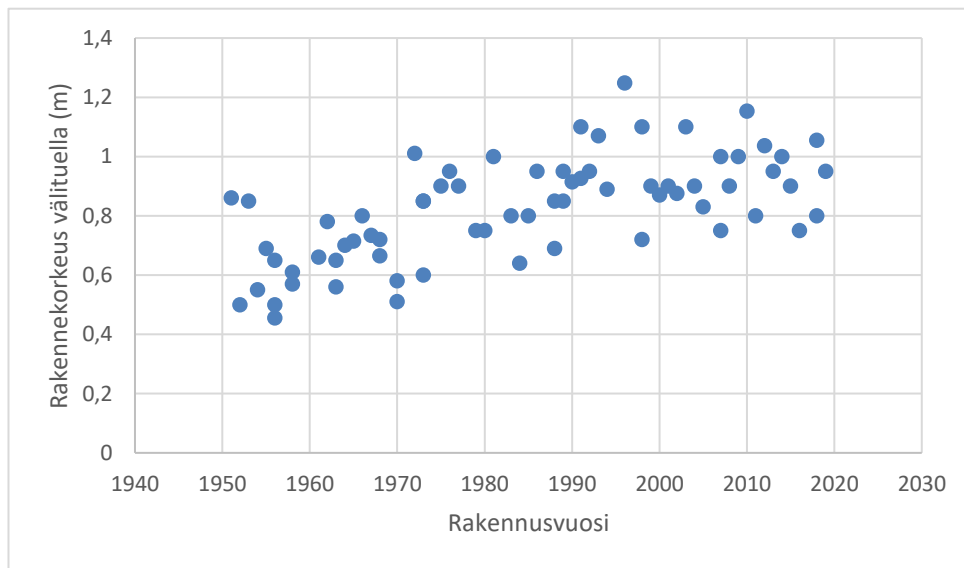


Kuva 16. Siltojen tehollinen hoikkuusluku eri vuosina

Kuvasta voidaan huomata, että vuosien varrella siltojen hoikkuusluku on pienentynyt ta- saista tahtia. Samalla kun silloista on tullut hieman massiivisempia, on kuitenkin hajonta siltojen hoikkuuslukujen välillä pienentynyt selkeästi. Esimerkiksi 80-luvulta eteenpäin lähes kaikkien siltojen hoikkuusluvut ovat olleet välillä 17–20, kun taas 50-luvulla hoik- kuudet vaihtelivat noin välillä 12–26. Kyseinen kehitys voi johtua esimerkiksi siitä, että siltojen estetiikkaan alettiin kiinnittämään enemmän huomiota. Esimerkiksi RIL-179 2018 -kirjassa esitetyt huomiot siltojen estetiikkaan vaikuttavista tekijöistä perustuvat Christian Mennin vuonna 1983 luonnehtimiin hyvän muodon ominaisuuksiin.

Kun pohditaan syitä hoikkuuden tasaiselle pienentymiselle, yksi mahdollinen syy on juuri ulkonäkö. Vaikka aikaisemmin mainittiin, että hoikkuus on silloissa tavoiteltu ominaisuus, ei mahdollisimman hoikka rakenne ole aina välttämättä parhaimman näköinen. On pää- teltävissä, että jos rakennetta hoikennetaan jatkuvasti, on jossain vaiheessa lopputulok- sena epäsopuhtaisen ja heiveröisen näköinen silta. Muita mahdollisia syitä on esimer- kiksi rakenteen toimivuus. Aikaisemmassa kappaleessa kuvasta 15 nähtiin, että siltojen jännevälit ovat kasvaneet tasaisesti vuosien varrella. Alla olevasta kuvasta 17 kuitenkin voidaan huomata, että myös rakennekorkeus on kasvanut hieman jänneväliä jyrkemmin. Rakennekorkeuden kasvu on siis kumonnut jännevälin kasvun aiheuttaman hoikkuutta kasvattavan vaikutuksen ja aiheuttanut hoikkuuden pienen laskemisen. Rakennekorkeu- den kasvun syitä voi olla aikaisemmin mainittu teräsmäärän kasvu ja esimerkiksi lävis-

tysmitoituksen kehitys. Kun siltoihin laitetaan enemmän terästä, käy hyvin matalat rakennekorkeudet ahtaiksi. Taivutusraudoitus on rakenneteknisen toimivuuden kannalta tarkoituksen mukaista laittaa mahdollisimman lähelle laatan ylä- ja alareunoja, ja tällöin kaikista matalimmat laatat eivät toimi. Lävistysmitoituksessa rakennekorkeus on yksi keinoista sillan lävistyskestävyyden kasvattamiseen, joten on mahdollista, että rakennekorkeus on vuosien varrella kasvanut myös osittain sen vuoksi. Tämän kaiken perusteella on todennäköistä, että hoikkuuden hitaan pientymisen ja vakioitumisen taustalla on jonkinlainen kompromissi ulkonäön, rakenteellisen toimivuuden ja rakennettavuuden välillä.



Kuva 17. Sillan kansilaatan rakennekorkeus välituella eri vuosina

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tarkemman analyysin perusteella voidaan todeta, että laattasiltojen rakentamisessa elettiin eräänlaista murrosvaihetta 70-luvulla, koska suurimmat muutokset kaikissa analysoiduissa ominaisuuksissa tapahtuvat poikkeuksetta silloin. Ehkä näkyvin muuttunut ominaisuus on välitukien rakenne. 70-luvulla siirryttiin suorakulmaisista pilareista pyöreisiin pilareihin hyvin nopeasti. Samalla myös poikittaiset tukivälit ja reunaetäisyydet kasvoivat sekä pilarien määrä väheni, mikä vaikutti huomattavasti siltojen ulkonäköön. Kerätyn datan perusteella saadaankin melko toimiva nyrkkisääntö kaikista vanhimpien siltojen tunnistamiseen. Jos sillassa on neliskulmaiset pilarit, on se rakennettu hyvin suurella todennäköisyydellä ennen 70-lukua. Toinen 70-luvulla nähtävä muutos on taivutusraudoituksen määrän kasvu, jossa tapahtuu myös selkeä hyppäys. Tätä aihetta olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin ja selvittää mistä hyppäys johtuu. Mahdollisia syitä on jo aikaisemmin mainitut jännemittojen pidentyminen, kuormien kasvu ja mitoitusmenetelmien kehitys. Jokaisella näillä voi olla oma osuutensa asiaan, mutta tarkempi tutkiminen osoittaisi millä on suurin merkitys kehitykseen. Monissa muissa ominaisuuksissa, esimerkiksi geometriaan liittyvissä, muutokset vuosikymmenien aikana olivat melko rauhallisia ja odotettavia. Esimerkiksi hyötyleveys ja pisin jänneväli kasvavat 50-luvulta 70-luvulle rauhallisesti, jonka jälkeen ne ovat pysyneet hyvin samankaltaisina aina nykyhetkeen saakka. Tämä kehitys, johtuu luultavasti melko suoraan liikenteen määrän ja ajoneuvojen koon kasvusta sekä käyttötarkoitusten muuttumisesta.

Yleisanalyysissä huomattiin, että datan perusteella saadut tulokset eivät aivan vastanneet alkuoletuksia. Esimerkiksi RIL-179 2018 -kirjan mukaan olisi voinut olettaa, että risteysiltoja olisi ollut suurempi osuus. Myös ulokkeellisuudesta kertova data oli päinvastaista siihen, mitä voisi olettaa. Kuten aikaisemmin todettiin, suurin osa Taitorakennerekisterissä olevista silloista on Väyläviraston omistuksessa ja kaupunkien omistamista silloista rekisterissä on vain murto-osa. Tämä johti siihen, että datassa painottuivat maanteille tyypilliset siltatyypit. Esimerkiksi risteys sillat ovat yleisiä kaupungeissa, joten todellisuudessa niitä on Suomen laattasilloista paljon suurempi osuus, mitä nyt analysoitu data antaa olettaa. Tämän takia olisi mielenkiintoista nähdä, miten etenkin tarkemman analyysin tulokset muuttuisivat, jos kaupunkien ja Väyläviraston omistamien siltojen suhde datassa olisi todenmukainen. On kuitenkin todennäköistä, että analyysin mielenkiintoisimmat havainnot pysyivät samankaltaisina, koska esimerkiksi välitukeen ja raudoitukseen liittyvät trendit 70-luvulla olivat niin selkeitä. Mielenkiintoisia muutoksia voisi syntyä kuitenkin esimerkiksi hyötyleveyteen tai hoikkuuteen.

Työn tavoitteena oli etsiä selkeitä tunnuslukuja suomalaisista laattasilloista, ja muodostaa selkeää dataa siitä, miten niiden eri ominaisuudet ovat kehittyneet vuosien varrella. Ominaisuuksien osalta tavoitteeseen päästiin, koska monilta ominaisuuksilta löydettiin selkeitä kehityskaaria, ja niiden mahdollisia syitä pystyttiin nostamaan esiin. Vaikka analyysiosuuden alussa huomattiin, että dataotanta ei välttämättä kuvaa Suomen laattasillastoa täysin realistisesti, voidaan olettaa, että tarkan analyysin tulokset ovat silti käyttökelpoisia, koska monien ominaisuuksien kehityksistä löytyi niin selkeitä piirteitä. Tämän takia esimerkiksi raudoituksen kehittymistä olisi mielenkiintoista tutkia tarkemmin, kuten aikaisemmin mainittiin. Yleisanalyysissä kerätty data ei kuvannut laattasiltoja samalla tavalla kuin aineistot antoivat olettaa, joten sen avulla ei saatu selvitettyä, minkälainen on oikeasti tyypillisin suomalainen laattasilta. Täten alkuperäiseen tavoitteeseen suomalaista laattasillastoa kuvaavista tunnusluvuista ei päästy. Tuloksia ja lähdeaineistoa vertaamalla saatiin kuitenkin tilalle johtopäätelmiä eroista Väyläviraston ja kaupunkien omistamien siltojen välillä.

LÄHTEET

Aitta, S., Ahvenainen, J., Eloniemi, P., Havukainen, Y., Huura, J., Hyttinen, E. et al. (2004). Siltojemme historia. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL. Helsinki. 525 s.

Laaksonen, A. (2023a). RAK.RS.430 Sillanrakennuksen perusteet luentomoniste: Siltojen rakennusaineet, nimitykset ja terminologia. Tampereen yliopisto. 19 s.

Laaksonen, A. (2023b). RAK.RS.430 Sillanrakennuksen perusteet luentomoniste: Sillan staattinen toimintatapa ja sillan pääosat. Tampereen yliopisto. 27 s.

Laaksonen, A. (2023c). RAK.RS.440 Betonisillat luentomoniste: Kurssin sisältö, sillan-suunnittelun ohjeistus ja siltojen päällysrakenteet. Tampereen yliopisto. 27 s.

Rakennusteollisuus RTT ry. Eurokoodit. Verkkosivu. Saatavissa: (viitattu 26.3.2024): <https://www.eurocodes.fi/historiaa/>

RIL 179-2018. (2018). Sillat -suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL. Helsinki. 509 s.

SFS-EN 1992-1-1 + A1 + AC (2015). Eurokoodi 2: Betonirakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki. 220 s.

Taitorakennerekisteri: tietokanta (2024). Väylävirasto. Helsinki.

Väylävirasto (2023). Taitorakennerekisteri. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.01.2024): <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/trex>

Väylävirasto (2024). Väyläviraston sillat 31.12.2022. Väyläviraston julkaisuja 8/24. Helsinki. 114 s. Saatavissa (viitattu 29.01.2024): <https://www.doria.fi/handle/10024/188467>

Zhao, J. & Tonias, D. (2012). Bridge Engineering: Design, Rehabilitation, and Maintenance of Modern Highway Bridges. Third edition. McGraw-Hill Publishing, New York. 56 p.