

SILTOJEN ALUSRAKENTEIDEN UUDELLEENKÄYTÖN OPTIMOINTI

Alenius Ville

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2023

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Ville Alenius	Vuosi	2023
Ohjaaja(t)	Ville Airas		
Toimeksiantaja	Ramboll Finland Oy		
Työn nimi	Siltojen alusrakenteiden uudelleenikäytön optimointi		
Sivumäärä	48 + X		

Tarkoituksena opinnäytetyössä oli perehtyä Suomen tiesiltoihin ja kuvata siltojen ikääntymiseen ja kunnan huonontumiseen liittyvä tulevaisuuden ongelma. Lisäksi tavoitteena oli esitellä sillan osittainen uusiminen yhtenä keinona sillan käyttöiän pidentämiselle. Työssä hyödynnettiin Väyläviraston julkaisu- ja ohjekokoelmaa, jota sovellettiin myös esimerkkisillan tarkastelussa.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi menetelmällinen kuvaus alusrakenteen uudelleenikäytön selvitystyöstä. Menetelmällisessä kuvauksessa tarkasteltiin asioita, joita tulee huomioida, kun suunnitellaan sillan alusrakenteen hyötykäyttöä uudelle päällysrakenteelle. Työssä avattiin myös erikoistarkastuksen suunnittelua sekä betonirakenteen ikäkestävyyttä uhkaavien vaurioiden toimintaa. Lisäksi työssä pohdittiin alusrakenteen jäljellä olevan käyttöiän määrittämistä sekä geoteknistä ja rakenteellista kestävyyttä.

Työtä voidaan hyödyntää sekä suunnittelijoiden että siltojen omistajien käytössä, jos tarkoituksena on pohtia sillan osittaista uusimista kokonaan uuden sillan rakentamisen vaihtoehtona.

Avainsanat
Muita tietoja

betonirakenteet, käyttöikä, sillat, sillanrakennus, ylläpito
Työhön liittyy esimerkkisillalle tehty toteuttamiskelpoisuuden arviointi, jonka raportti ei ole julkinen

Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Ville Alenius	Year	2023
Supervisor(s)	Ville Airas		
Commissioned by	Ramboll Finland Oy		
Title	Optimizing the Re-use of Bridge Substructures		
Number of pages	48 + X		

The aim of the thesis was to study Finnish road bridges and to describe the future problems caused by aging and deterioration. The aim was also to present partial bridge rebuild as one of the ways of extending the life cycle of a bridge.

The study was made by using Finnish Transport Agency's collection of publications and guidelines, which were also applied to the analysis of the example bridge.

As a result of the study, a methodical description of the study on the renewal of the substructure was created. This methodical description examines the issues to be considered when designing the reuse of a bridge substructure for a new superstructure. The thesis also illustrates the planning of a special audition for substructure and the causes of damage that threatens the durability of concrete structures. In addition, the determination of the remaining service life of the substructure and its geotechnical and structural durability are also considered in the thesis.

The result can be utilized by bridge designers but also bridge owners when considering the partial rebuild of a bridge as an alternative to building a completely new bridge.

Keywords	concrete structures, service life, bridges, bridge building, maintenance
Special remarks	The thesis includes feasibility evaluation for partial rebuild of example bridge, which is not public

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	SILTA YLEISESTI.....	8
2.1	Taitorakenne ja maamerkki.....	8
2.2	Siltatyypit	9
3	SILLAN RAKENTEELLINEN TOIMINTA.....	11
3.1	Rakenneosat.....	11
3.2	Rakenteellinen toiminta.....	12
3.3	Suunnittelukuormien kehittyminen ja seuraukset	13
4	TIESILLAT SUOMESSA.....	14
4.1	Siltojen omistus.....	14
4.2	Nykyisten siltojen taustaa	15
4.3	Rakennusmateriaalit	16
4.4	Kunto ja kehitys.....	18
4.5	Tarkastustoiminta.....	20
4.6	Korjausvelka	22
5	IKÄÄNTYVÄ SILLASTO – OMISTAJAN KEINOT JÄLJELLÄ OLEVAN KÄYTTÖIÄN PIDENTÄMISELLE	24
5.1	Käyttöikä	24
5.2	Vanhan korjaus vai uuden rakentaminen?	25
5.3	Vanha alusrakenne – uusi päällysrakenne	26
5.4	Kestävän kehityksen näkökulma.....	26
6	TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY — RAMBOLL.....	28
7	ESIMERKKITARKASTELU TOTEUTTAMISKELPOISUUDELLE	30
7.1	Toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin kuvaus	30
7.2	Sillan lähtötiedot.....	30
7.3	Alusrakenteelle kohdennetun erikoistarkastuksen suunnittelu	31
7.4	Alusrakenteen jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen.....	33
7.5	Päällysrakenteen tyyppivaihtoehdot ja niiden soveltuminen	34
7.6	Geotekninen tarkastelu	36
7.7	Rakenteellinen tarkastelu.....	39

7.8 Epävarmuudet.....	40
8 POHDINTA.....	42
LÄHTEET.....	44
LIITTEET.....	48

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyöni toimeksiantajayrityksen Ramboll Finland Oy:n Matti Airaksista saamastani tuesta ja luottamuksesta, Janne Ylijokea taustaprojektin johtamisesta ja organisoinnista sekä Matti Kivelää laskentatarkastelun ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää esimerkkisiltää hallinnoivan ELY-keskuksen siltain-sinööriä, jonka tilaama toimeksianto Ramboll Finland Oy:ltä mahdollisti opinnäytetyölleni konkretian.

Eriytinen kiitos vanhemmilleni. Teiltä saamani tuki ja kannustus opintoihin on ollut korvaamatonta, ja sitä on ollut saatavilla aina kun olen sitä tarvinnut.

Rovaniemellä 19.11.2023

Ville Alenius

1 JOHDANTO

Suomen tiesillaston kunto on huonontunut viime vuosien aikana (Väyläviraston sillat 31.12.2021, 65) ja ikääntyvään sillastoon kohdistuu tulevaisuudessa entistä enemmän ennakoivia korjaustarpeita (Siltojen toimintalinjat 2023, 14). Vaikka korjauksia ei ole tehty tarpeeseen nähden viime vuosina riittävästi, on siltojen vauri-
onsietokyky Suomessa hyvä. Sillan uusiminen on ennakoivaa kunnossapitoa ja korjausta kalliimpaa, mutta ongelmana on, ettei korjauksiin kohdenneta riittävästi resursseja korjausvelan kasvun hillitsemiseksi. (Väylävirasto 2023a.)

Opinnäytetyön keskiössä on Suomen tiesillasto sekä sen kunnan kehitys, mutta työssä tarkastellaan myös osittaista uusimista keinona välttää koko sillan uusiminen. Lisäksi käsitellään siltoja yleisesti, niiden rakenteellista toimintaa ja kunnan kehityksen seurantaan palvelevaa tarkastustoimintaa. Työ on rakennettu palvelemaan siltojen omistajia ja suunnittelijoita esimerkkisillan toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin menetelmäkuvauksen avulla. Työn rajaamiseksi työssä keskitytäänkin pääasiassa varsinaisiin tiesiltoihin, eikä putkisiltoja tai rautatiesiltoja käsitellä. Lisäksi toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin menetelmäkuvauksen laajuus rajattiin esimerkkisillan ominaistietojen perusteella koskemaan kallionvaraisia maatukirakenteita, eikä esimerkiksi paaluperustuksia tai maanvaraista perustusta tarkastella.

Työn tavoitteena on, että esimerkkisillan tarkastelu toimisi menetelmällisenä kuvauksena toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin laadinnasta. Lisäksi työn on tarkoitus auttaa suunnittelijaa sekä siltojen omistajia selkeyttämään kokonaisuutta, kun selvitetään alusrakenteen hyödynnettävyyttä uudelle päällysrakenteelle sillan osittaisessa uusimisessa.

2 SILTA YLEISESTI

2.1 Taitorakenne ja maamerkki

Sillalla tarkoitetaan rakennetta, joka johtaa liikennettä jonkin esteen ylitse (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 11). Kuitenkin suomalaisen käytännön mukaisesti kyseisen rakenteen vapaan aukon on oltava vähintään 2,00 metriä, jotta kyseistä rakennetta kutsutaan sillaksi (Pulkkinen 2018, 39). Tätä lyhyemmistä siltamaisista rakenteista käytetään nimitystä rumpu (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 11). Vapaa-aukolla tarkoitetaan sitä vaakasuoraa vapaata etäisyyttä, joka on kahden perättäisen tuen välinen pienin etäisyys sillan keskilinjan suuntaisesti mitattuna. Terminä vapaa-aukko on vakioitunut mittakäsitelä, joita siltojen mittaamailmassa on runsaasti. (Pulkkinen 2018, 40.)

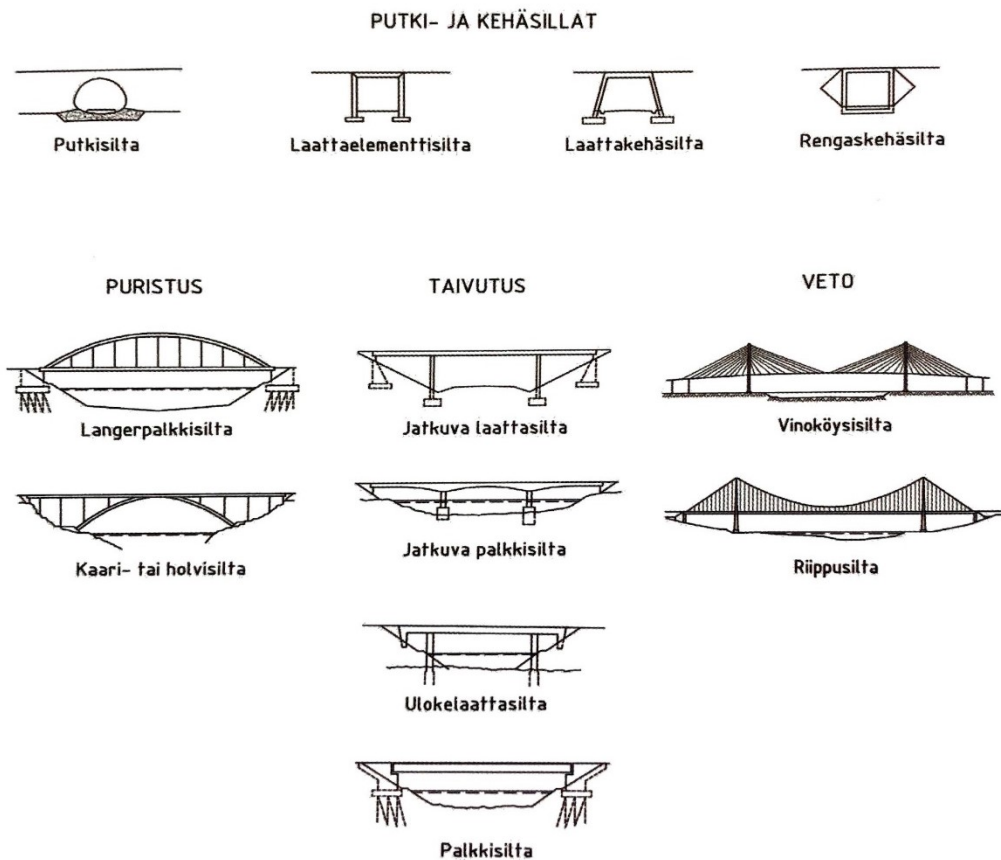
Rakenne, jonka rakentamista varten on laadittu lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat, kutsutaan Väyläviraston (Taitorakenteiden tarkastuskäsikirja 2013, 8) ohjeen mukaan taitorakenteeksi. Taitorakenteelle ominaista on myös se, että sen vaurioituminen rakenteellisesti suunnittelu- tai rakennusvirheen takia voi aiheuttaa vaaraa ihmisille tai liikennejärjestelmälle sekä mahdollisesti myös merkittäviä korjauskustannuksia itse rakenteelle tai sen ympäristölle. Siltojen lisäksi tyypillisiä taitorakenteita ovat esimerkiksi rautatierummut, satamalaiturit, tunnelit ja tukimuurit. (Taitorakenteiden tarkastuskäsikirja 2013, 8.)

Sillat ovat taitorakenteina osa liikenneverkkoa, joka kuuluu liikennejärjestelmän kokonaisuuteen (Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2022). Nykyisin siltojen koetaan olevan myös merkittävässä roolissa kaupunkirakenteen ja -ympäristön kannalta (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2018, 15): Uusia siltoja nimitetään uutisotsikoissa maamerkeiksi sekä Oulussa Yleisradion (Degerman 2023) että Helsingissä Helsingin Sanomien (Palkoaho 2023) toimesta, mikä tukee Pulkkisen (2018) näkemystä siitä, että silloista halutaan tehdä kaupungin identiteettiä kohottavia maamerkkejä. Siltojen toimiminen maamerkkeinä ei kuitenkaan rajoitu vain nykyisyyteen: Vuonna 1937 avattu Golden Gate Bridge -silta on avaamisensa jälkeen vielä tänäkin päivänä yksi San Franciscon tunnetuimpia maamerkkejä ja turistinähtävyyksiä (San Francisco Travel Association 2023).

Vastaavasti vuonna 1989 valmistuneeseen Jätkäkynttiläsilltaan on viitattu Rovaniemen kaupunkikuvan merkittävänä tunnusmerkkinä jo vuonna 1992 julkaisussa Tielaitoksen julkaisussa (Jätkäkynttilä – The Lumberjack’s Candle 1992, 3). Jokaisen sillan ei kuitenkaan tarvitse olla maamerkki. Ensisijaisena tehtävänä on kuitenkin johtaa liikennettä esteen yli.

2.2 Siltatyypit

Erilaisia siltoja jaotellaan niiden kantavan rakenteen staattisen toimintatavan perusteella eri siltatyyppeihin. Staattisella toimintatavalla tarkoitetaan puristusta, vetoa tai taivutusta. (Kuvio 1.)



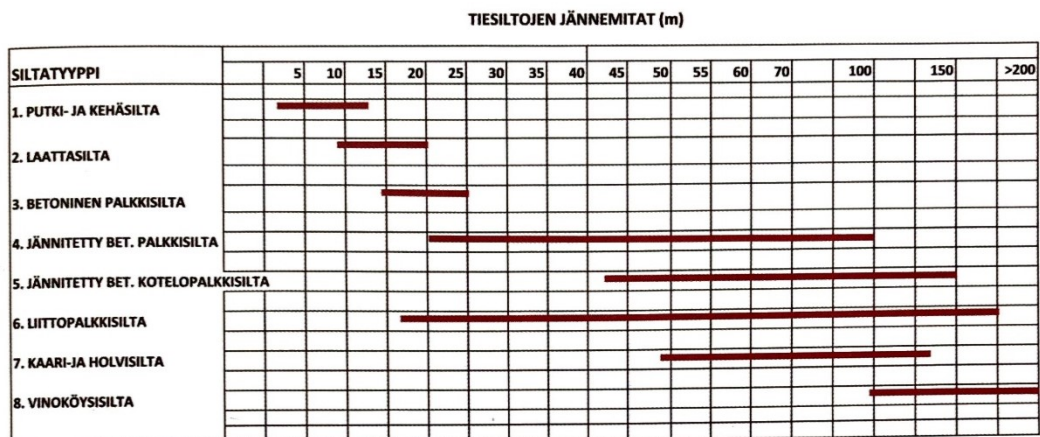
Kuvio 1. Siltatyypien jaottelu rakenteellisen toiminnan perusteella (Pulkkinen 2018, 46)

Puristettuihin siltatyyppeihin kuuluvat erilaiset kaari- ja holvisillat sekä langerpalkkisillat. Vedettyjä siltoja ovat vinoköysisillat sekä riippusillat, jotka soveltuvat pitkille jänneväleille (Pulkkinen 2018, 56–57). Erilaiset laatta- ja palkkisillat muodostavat taivutettujen siltojen siltatyypin. Lisäksi omat siltatyypinsä muodostavat

putki- ja kehäsillat sekä erikoissillat, joihin kuuluvat avattavat sillat ja ponttonisillat. (Pulkkinen 2018, 45–47.)

Kokonaisrakennuskustannukset ovat pääsääntöinen valintaperuste siltatyypin valinnassa. Kokonaisrakennuskustannuksiin vaikuttavat eri siltaratkaisujen rakenteiden tehokkuus ja niiden vaikutukset väylien rakennuskustannuksissa. Rakennuskustannusten lisäksi myös ylläpitokustannukset voivat vaikuttaa siltatyypin valinnassa. (Pulkkinen 2018, 46.)

Sillat ja ympäristö -ohjeen (2013, 103) mukaan ympäristön luonne on siltatyypin valinnassa tärkeä lähtökohta. Myös Pulkkisen (2018, 46) mukaan valintakriteerinä voi olla esimerkiksi ulkonäkö tai ympäristöön sopeutuminen, mutta se ei ole kuitenkaan ensisijainen lähtökohta. Sopivaa siltatyyppiä valittaessa asiaa tarkastellaan yleensä jännemitan kautta. Kuviossa 2 on esitetty tyypillisiä jännemitta-alueita Suomen tiesilloille.



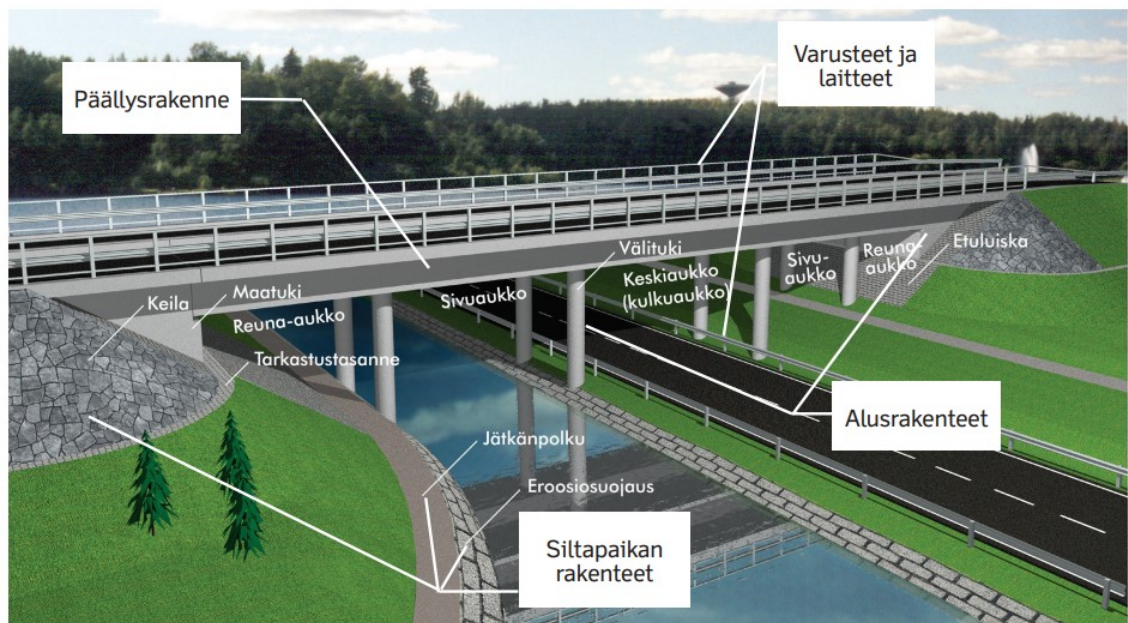
Kuvio 2. Eri siltatyyppien jännemitta-alueita tiesilloilla Suomessa (Pulkkinen 2018, 47)

Soveltuva siltatyyppi määräytyykin sekä kokonaisrakentamiskustannusten (Pulkkinen 2018, 46) että toiminnallisten ja teknisten vaatimusten (Sillat ja ympäristö, 103) kautta. Esimerkiksi teräsbetonisen laattasillan optimaalinen jänneväli on 8–20 metriä (Pulkkinen 2018, 49), kun taas kaksipyloisessa vinoköysisillassa kustannustehokkuus alkaa vasta noin 200 metrin jännevälistä (Pulkkinen 2018, 56).

3 SILLAN RAKENTEELLINEN TOIMINTA

3.1 Rakenneosat

Silta jaetaan neljään päärakenneosaan, jotka ovat nimetty niiden toiminnan perusteella (Pulkkinen 2018, 44–45). Sillantarkastustoimintaa palvelevissa ohjeissa rakenneosat on jaettu vielä tarkempiin osakokonaisuuksiin. Rakenteellisen toiminnan kannalta päärakenneosat ovat alusrakenteet, päällysrakenne, varusteet ja laitteet sekä siltapaikan rakenteet. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 15.) Kuviossa 3 on havainnollistettu sillan päärakenneosat risteyssillalla.



Kuvio 3. Sillan päärakenneosat (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 15)

Päällysrakenne on se rakenneosa, joka kantaa sillalla kulkevan liikenteen kuorman esteen yli. Päällysrakenteen kantavaa osaa kutsutaan pääkannattimeksi. (Pulkkinen 2018, 44.) Päällysrakenne välittää liikennekuorman ja pysyvät kuormat, kuten oman painon, alusrakenteelle. Sillasta ja rakenneteknisestä riippuen kuormien välitys tapahtuu laakereiden avulla. Rautatiesilloissa kuormia välittävät kiskot, ratapölkkyt ja tukikerros kuuluvat myös päällysrakenteeseen. Vastaavasti tiesilloissa päällysrakenteeseen kuuluvat kantavaa rakennetta suojaavat pintarakenteet kuten vedeneriste ja päällysteet. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 15.)

Päällysrakenteelta tulevien kuormien välittäminen kantavaan maaperään on alusrakenteen pääsääntöinen tehtävä. Alusrakenteet myös mahdollistavat sillan liittämiseksi tehtävän maaleikkauksen ja tukevat sillalle tulevaa väylärakennetta. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 15.) Alusrakenteeseen lasketaan kuuluvaksi väli- ja päätytuot sekä niihin liittyvät tukimuurit ja siirtymälaatat. Myös perustuksiin kuuluvat paalut, tukiseinät ja -muurit kuuluvat alusrakenteen rakenneosalle. (Pulkkinen 2018, 44–45.)

Varusteet ja laitteet tukevat sillan toimintaa (Pulkkinen 2018, 45). Esimerkiksi laakerit ja liikuntasaumalaitteet tukevat alus- ja päällysrakenteen toimintaa sillan käytettävyyden kannalta, kun taas kaiteet tukevat turvallisuuden kannalta sillan toimintaa (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 15).

Siltapaikan rakenteita ovat ne pääosin sillan ulkopuoliset rakenteet, jotka liittyvät sillan kuivatukseen, turvallisuuteen ja pitkäaikaiskestävyyteen. Näitä ovat esimerkiksi luiskat, sadevesikourut ja pengercaiteet (Pulkkinen 2018, 45). Taitorakenteiden tarkastusohjeen (2013, 15) mukaan siltapaikan rakenteiden avulla väylät ovat turvallisia ja siltapaikka on arvonsa mukaisessa kunnossa. Lisäksi siltapaikan rakenteiden ansiosta rakenteen toimintaan vaikuttavia eroosioriskejä ei kohdistu siltapaikkaan (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 15).

3.2 Rakenteellinen toiminta

Siltatyypistä, eli päällysrakenteen toimintatavasta riippumatta rakenteellisesti silta toimii siten, että päällysrakenne siirtää sillalla olevan hyötykuorman alusrakenteelle, jotka välittävät sen edelleen kantavaan maapohjaan. Rakenteellisesti silta on kuitenkin moninainen kokonaisuus. Kokonaisuudella tarkoitetaan alus- ja päällysrakenteita ja niiden yhteistoimintaa maan kanssa. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 16.)

Silta suunnitellaan rakenteellisen kokonaistoiminnan kautta. Siltarakenteisiin kohdistuu ulkoisia ja sisäisiä kuormia, joista ulkoiset kuormat jaetaan pysty- ja vaakasuoriin kuormiin. Pystysuoriksi ulkoisiksi kuormiksi katsotaan rakenteiden omapaino, sillalla kulkeva hyötykuorma eli liikennekuorma sekä lumikuorma, joka harvoin kuitenkaan mitoittaa rakenteita. Ulkoisten kuormien vaakasuoria kuormia

ovat liikennekuormien vaakasuorat komponentit sekä maanpaine kuormat. Lisäksi tuulikuormat ja törmäyskuormat ovat ulkoisia vaakasuoria kuormia. Rakenteen sisäisiksi kuormiksi katsotaan lämpötilakuormat, tukien siirtymät ja laakerikitka. Rakennusmateriaalista johtuvia sisäisiä kuormia ovat myös jännevoimat sekä betonin kutistuma ja viruma, jotka huomioidaan kuormien tavoin. (Laaksonen 2018, 139.)

Mikäli siltaa ylikuormitetaan liian suurella kuormalla, voivat sillan kantavat rakenteet vaurioitua (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 11). Tällöin sillan kantavuus ylittyy. Kantavuuden ylittymisellä tarkoitetaan sitä, että kuorman aiheuttama rasitus ylittää rakenteen kapasiteetin (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 16). Ylikuormituksen seuraukset voivat olla esimerkiksi halkeamia tai taipumia, mutta myös siirtymiä. Seurauksista voi kehittyä vakavia vaurioita, jotka voivat vaikuttaa sillan käyttöikään ja kantavuuteen alentavasti. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 11.)

3.3 Suunnittelukuormien kehittyminen ja seuraukset

Tiesilloilla suurimmat sallitut ajoneuvopainot ovat yli kaksinkertaistuneet ja raskaan liikenteen liikennemäärä moninkertaistunut 1960-luvulta katsottuna (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 111). Tämä tarkoittaa sitä, että sillat joutuvat nyt kantamaan kuormia, joille niitä ei ole aikoinaan suunniteltu (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 11).

Liikennevirastossa tiedostettiin siltojen käyttöiän lyhentyminen, kun sallittuja ajoneuvopainoja nostettiin vuonna 2013. Erityisesti käyttöiän lyhentyminen koskettaa ennen 1970-lukua valmistuneita siltoja, jotka on suunniteltu ennen yhteispuhjoismaalaista mitoituskuorman PKM 71 käyttöönottoa. Vuonna 2014 arvioitiin, että yhteensä 4 200:n jännitetyn ja teräsbetonisen sillan suunnittelukuorma ei riitä kasvaneille liikennekuormille, ja kyseisten siltojen käyttöiäksi arvioitiin tuolloin 0–30 vuotta (Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat 2015, 51.) Viimeisimmät nostot sallittuihin ajoneuvopainoihin on tehty vuonna 2020 (Tieliikennelaki 729/2018 § 122). Tulevaisuudessa täytyy siis varautua siltojen uusimiseen pelkästään riittämättömän kantavuuden vuoksi.

4 TIESILLAT SUOMESSA

4.1 Siltojen omistus

Väylävirasto omistaa valtion maantiesillat, joiden kunnossapidosta vastaavat ELY-keskukset (Siltojen toimintalinjat 2023, 12–13). Valtion maantiesilloja on Väyläviraston sillat 31.12.2021 (2022, 13) -julkaisun mukaan 15 117 kappaletta, joista varsinaisia siltoja 11 779 ja putkisilloja 3 338 kappaletta (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 14–16). Väylävirasto tuntee siis siltaomaisuutensa tarkkaan.

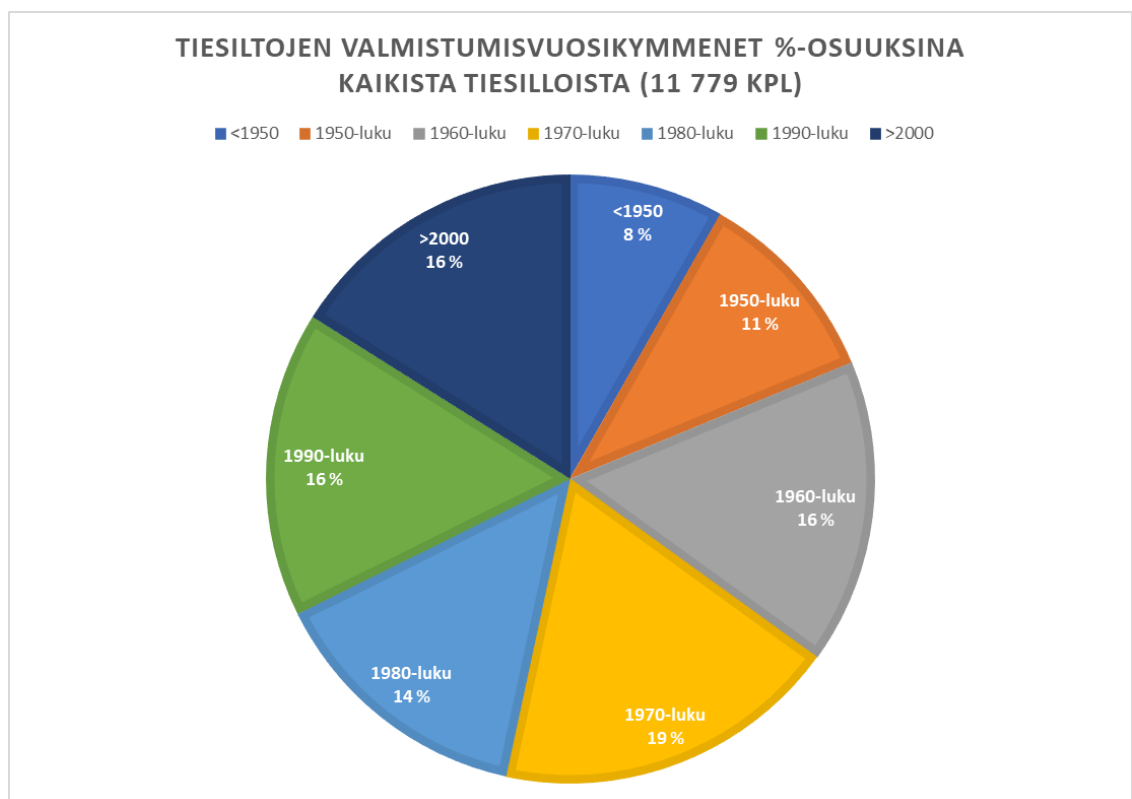
Pääosan Suomen tiesilloista omistaa Väyläviraston lisäksi kunnat ja kaupungit, jotka omistavat noin 3 100 siltaa (Pulkinen 2018, 22). Kuntien ja kaupunkien omistamiin siltojen lukumäärään liittyy kuitenkin epävarmuutta: 1985 julkisen hallinnon silloista 11,4 %, 1 543 kappaletta, todettiin kuntien ja kaupunkien omistamiksi. Osuus todettiin kuitenkin kunnille ja kaupungeille kohdistetusta kyselylomakkeesta, jonka vastausprosentti oli 70 %. (Söderqvist 1989, 32–33.)

Muita tiesiltojen omistajia Suomessa ovat Metsähallitus sekä yksityiset tiekunnat (Pulkinen 2018, 22). Näiden omistuksien lukumäärästä ei ole kuitenkaan yhtä tarkkaa tietoa, kuin Väyläviraston silloista. Metsäkeskuksen (2023) mukaan silta-pistekartoituksen perusteella yksityisteillä on noin 13 000 siltaa tai sillan mitat täyttävän rakenteen kohdetta, joista puolet on tiekuntien hallinnoimilla teillä. Metsähallitus kertoo ylläpitävänsä 36 000 kilometrin pituista metsäautotieverkostoa, jolla sijaitsee noin tuhat siltaa (Metsähallitus 2023).

Väylävirasto hallinnoi taitorakenteitaan, kuten esimerkiksi siltaomaisuuttaan Taitorakennerekisterillä. Se on aiemmin käytössä olleen Siltarekisterin korvannut omaisuudenhallintajärjestelmä, joka toimii taitorakenteiden tiedon pääjärjestelmänä. (Väylävirasto 2023b.) Siltojen perus-, rakenne- ja kuntotietojen lisäksi rekisteriin tallennetaan tiedot kaikista tehdyistä ja suunnitelluista korjauksista sekä tarkastuksista. Vuositarkastustiedot eivät kuitenkaan sisälly taitorakennerekisterin tietoihin. (Siltojen toimintalinjat 2023, 26–27.) Väyläviraston ja ELY-keskusten lisäksi Taitorakennerekisteriä käyttävät palveluntuottajat, kuten suunnittelijat ja tarkastajat. Myös useat kunnat käyttävät Taitorakennerekisteriä siltojensa omaisuudenhallintaan. (Väylävirasto 2023b.)

4.2 Nykyisten siltojen taustaa

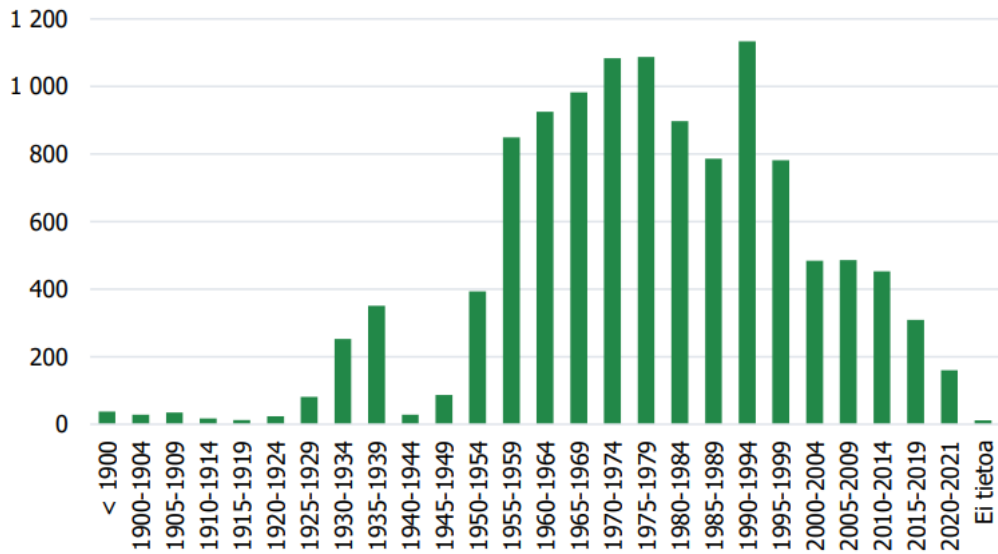
Suomen nykyisistä käytössä olevista tiesilloista pääosa on rakennettu 1950-luvun jälkeisenä aikana (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 10). Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL:n (2018, 25) mukaan käytössä olevista tiesilloista suuri osa on rakennettu 1960–1970-luvuilla, jolloin päätieverkko rakennettiin. Tilaston (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 46) mukaan nykyisin käytössä olevista varsinaisista tiesilloista kolmasosa on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla (kuvio 4).



Kuvio 4. Varsinaisten tiesiltojen valmistusvuosikymmenet (mukaillen Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, taulukko 23)

Vuosittain rakennettujen siltojen määrän kehitys on ollut laskevaa 1980-luvulta alkaen lukuun ottamatta 1990-luvun alkua, jolloin siltoja rakennettiin 1 134 kappaletta (kuvio 5).

Varsinaisten siltojen lukumäärien jakauma valmistumisvuosittain



Kuvio 5. Varsinaisten siltojen lukumäärien jakauma valmistumisvuosittain (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, kuva 21)

Varsinaisista silloista käyttötarkoitukseltaan suurin osa on vesistösiltoja, alikulkukäytäviä ja risteyssiltoja. Ylivoimaisesti eniten on vesistösiltoja: 6 716 kappaletta. Tämä on 57 % varsinaisista tiesilloista. Alikulkukäytäviä on 2 189 ja risteyssiltoja 1 782 kappaletta. (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, taulukko 8.) Alueellisesti siltoja sijaitsee eniten Uudellamaalla, mutta myös Pohjois-Pohjanmaalla sekä Pohjois-Savossa siltoja on enemmän kuin muualla Suomessa (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 14). Tämä selittyy Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n (2018, 22) mukaan Uudenmaan tiheästä yhdyskuntarakenteesta sekä suurista liikennemääristä, ja Pohjois-Pohjanmaan ja Pohjois-Savon suurilla vesistö- ja tiemäärillä.

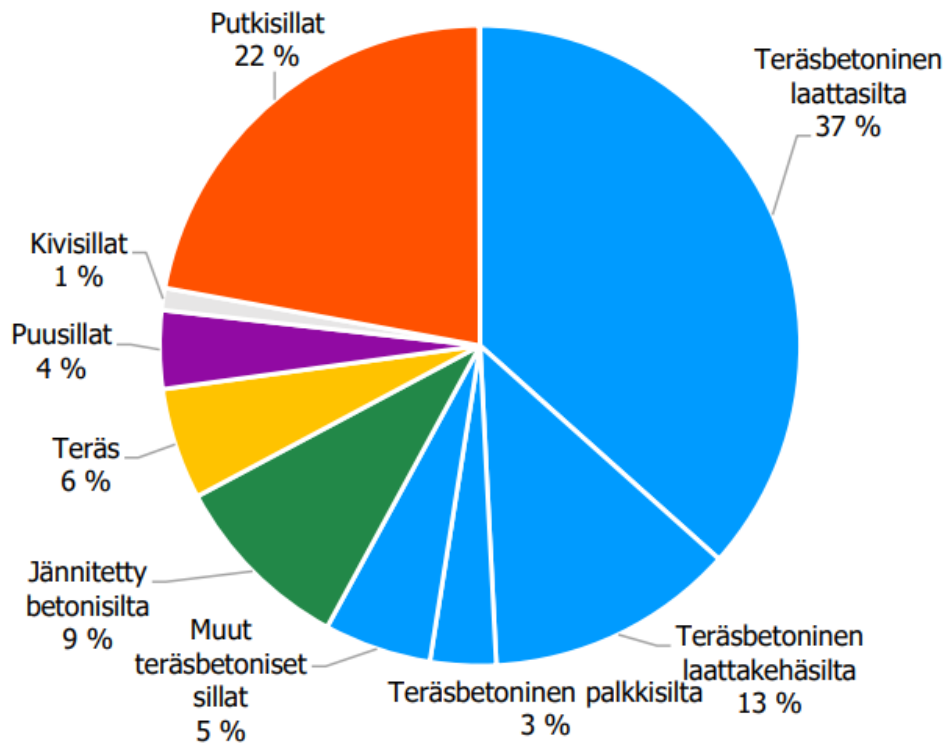
4.3 Rakennusmateriaalit

Sillalle annetun erisnimen lisäksi sitä kuvataan tyyppinimikkeellä, joka pitää sisällään pääkannattimen rakennusaineen sekä staattisen toiminnan tai pääkannattimen tyyppinimikkeet jaetaan rakennusaineittain teräsbetoniin, jännitettyyn betoniin, kiveen, puuhun ja teräkseen. (Pulkkinen 2018, 40–45.) Esimerkiksi teräsbetonista valmistettua päätyulokkeellista laattasiltaa kutsutaan tyyppinimikkeellä ”teräsbetoninen ulokelaattasilta”. Vastaavasti liimapuusta valmistettua

palkkisiltaa kutsutaan nimikkeellä ”puinen liimattu palkkisilta”. (Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2018, Liite 1.)

Betoni on Suomen yleisin sillanrakennusmateriaali. Yli puolet Suomen kaikista tiesilloista on teräsbetonisia siltoja: joko laatta-, laattakehä tai palkkisiltoja (kuvio 6).

Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin



Kuvio 6. Siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, kuva 15)

Kun huomioidaan muut teräsbetoniset sillat sekä jännitetystä betonista tehdyt sillat, saadaan betonisten siltojen osuudeksi Suomen tiesilloista noin kaksi kolmasosaa (kuvio 6). Seuraavaksi yleisin materiaali on teräs: Miltei kolmannes tiesilloista on valmistettu teräksestä, koska putkisillat on valmistettu pääsääntöisesti teräksestä (kuvio 6; Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 30—31). Loput noin 5 % ovat puu- ja kivisilloja (kuvio 6).

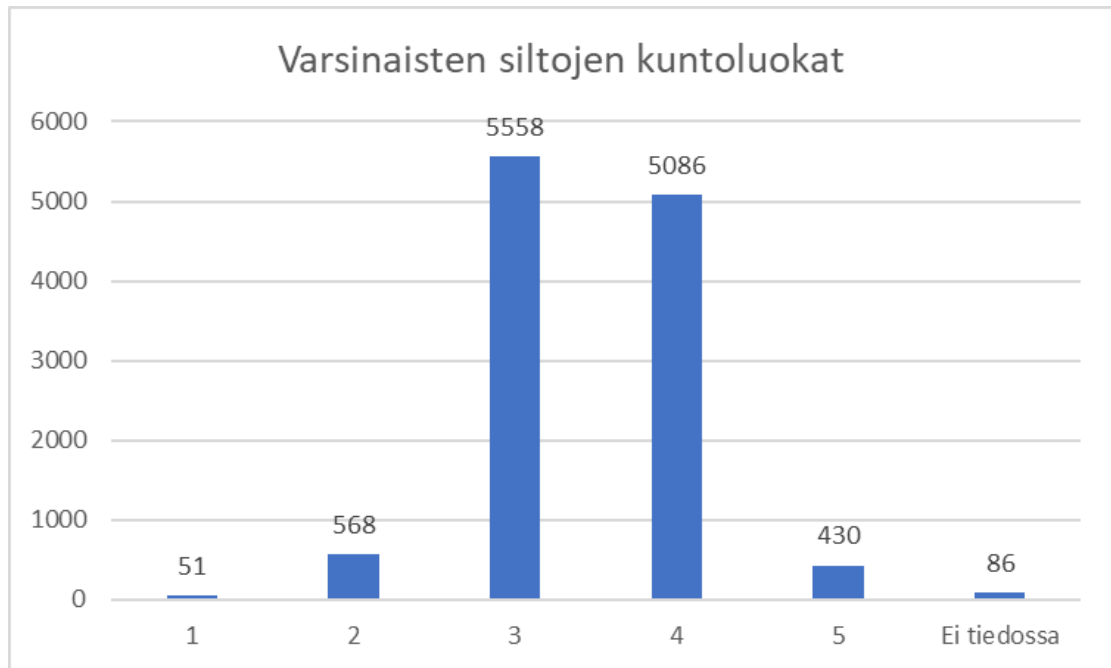
Todellisuudessa betonin osuus rakennusmateriaalina on kaikkiaan suurempi, koska tilastoitu siltatyypin määräytyy Pulkkisen (2018, 40) mukaan pääkannattimen rakennusaineen perusteella, eikä esimerkiksi alusrakenteita huomioida. Alusrakenteet kasvattavatkin betonin osuutta sillanrakennusmateriaalina, koska ne on tehty pääsääntöisesti aina betonista (Sillat ja ympäristö 2013, 91; Väylävirasto 2022b). Toisaalta kokonaisuutta tarkasteltaessa teräksen osuutta sillanrakennusmateriaalina kasvattavat varusteisiin ja laitteisiin kuuluvat kaiteet, jotka pääsääntöisesti valmistetaan teräksestä (Siltakaiteiden suunnittelu 2022, 9).

4.4 Kunto ja kehitys

Sillan kuntoluokitukseen on käytössä viisiportainen asteikko 1–5, jossa 5 tarkoittaa erittäin hyväkuntoista ja 1 erittäin huonokuntoista siltaa. Muita luokituksia ovat 4 hyvä, 3 tyydyttävä ja 2 huono. (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, Liite 3.) Kuntoluokitusta ei pidä sekoittaa Sillantarkastuskäsikirjan (2020, 37) mukaiseen yleiskunnon arvioinnin asteikkoon 0–4, jossa 0 vastaa uutta tai uuden veroista siltaa ja 4 erittäin huonokuntoista siltaa.

Kuntoluokitusluokat 1–5 jakavat sillat ylläpitotarpeiden luokkiin. Erittäin hyväkuntoiseen siltaan ei kohdistu ylläpitotarpeita, hyväkuntoiseen siltaan kohdistuu vähäistä kunnostusta, tyydyttäväkuntoisella sillalla peruskorjaus on tulossa, huonokuntoinen silta on peruskorjattava nyt ja erittäin huonokuntoisen sillan peruskorjaus on jo myöhässä. (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 59.)

Varsinaisista tiesilloista 47 %, suurin osa, on tyydyttäväkuntoisia (kuvio 7), eli peruskorjaus tulossa -statuksella olevia siltoja. Omaisuudenhallinnan näkökulmasta peruskorjausten tekeminen riittävän ajoissa olisi Väyläviraston Virpi Anttilan mukaan tehokasta ja korjauskustannukset kohtuullisia, kun suuri määrä siltoja on tulossa peruskorjausikään (Pantsu 2023).

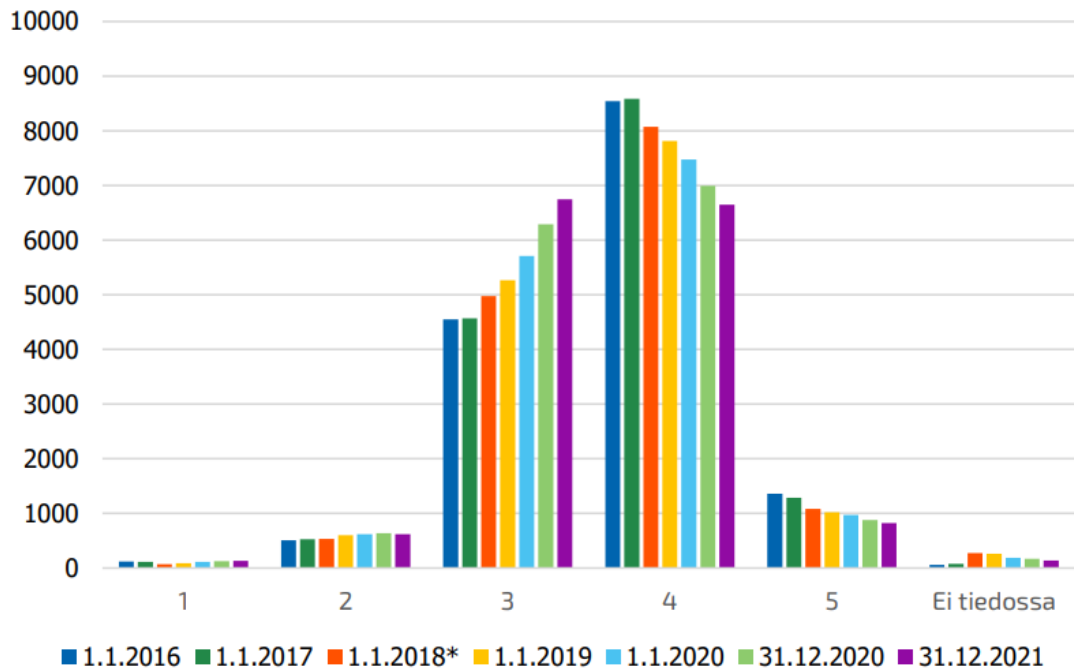


Kuvio 7. Varsinaisten siltojen kuntoluokat (mukailien Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, taulukko 38)

Pelkästään Väyläviraston omistamista varsinaisista tiesilloista 619 siltaa odottaa kuntoluokituksen perusteella siis peruskorjausta heti, tai se on jo myöhässä (kuvio 7). Luku ei sisällä putkisilloja.

Tiesiltojen, mukaan lukien putkisiltojen, kuntoluokitus on huonontunut viimeisten vuosien aikana. Vuodesta 2003 vuoteen 2021 keskimääräinen kuntoluokka on laskenut arvosta 3,77 arvoon 3,50 (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, taulukko 44). Huomattavin kuntoluokituksen lasku on tapahtunut 2016–2021 välisenä aikana, kun hyväkuntoisia 4-kuntoluokan siltojen määrä on huomattavasti alentunut ja tyydyttäväkuntoisten 3-kuntoluokan määrä on vastaavasti kasvanut (kuvio 8).

Siltojen yhtenäisten kuntoluokkien kehitys 1.1.2016-31.12.2021



Kuvio 8. Siltojen yhtenäisten kuntoluokkien kehitys 2016–2021 (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, kuva 30)

Vastaavanlaista tarkkaa kuntoluokitustietoa kaupungin ja kuntien tai yksityisten tiekuntien omistamista silloista ei ole, sillä Väyläviraston sillat 31.12.2021 (2022) julkaisussa on mukana vain sen omistamat sillat. Suomen Tieyhdistyksen metsätieasiantuntijan Teuvo Tauran arvion mukaan joka viides yksityinen silta onkin kantavuudeltaan heikentynyt niin, että se vaatii korjaustoimenpiteitä (Lindholm 2022).

4.5 Tarkastustoiminta

Suomen suurimpana sillanomistajana Väylävirasto seuraa siltojensa kunnon ja toiminnallisten puutteiden kehittymistä sillantarkastustoiminnan avulla. Väylävirastolla on käytössä tarkastusjärjestelmä, jonka avulla kunnon seurannan lisäksi ohjelmoidaan korjaukset, varmistetaan liikenneturvallisuus ja hallitaan kunnossapitokustannuksia. (Siltojen toimintalinjat 2023, 26.) Taitorakenteiden tarkastusohjeen (2013, 10) mukaan useat eri ohjeet ohjaavat siltojen tarkastuksia, joten kyseinen ohje toimii enemmänkin ylempänä ohjeena useille taitorakennekohtaisille

tarkastusohjeille (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 8). Väyläviraston laatimat tarkastusohjeet ja -käytännöt eivät sellaisenaan sido muita sillanomistajia, mutta ohjeita voi soveltuvin osin käyttää myös kuntien, kaupunkien, yksityisten tiekuntien ja muiden omistamiin siltoihin (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 8; Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 4). Yleensä muut sillanomistajat noudattavatkin Väyläviraston laatimia siltoja koskevia ohjeita, vaikka Väyläviraston ohjeet eivät heitä velvoitakaan (Laaksonen 2018, 132).

Sillan tarkastus- ja kunnossapitohistoria aloitetaan vastaanottotarkastuksella, eli VOT:lla. Tarkastuksen yhteydessä sillan perus- ja kuntotiedot kirjataan Taitorakennerekisteriin, ja ensimmäisen yleistarkastuksen ajankohta määritellään. Yleistarkastukset tehdään pääsääntöisesti viiden vuoden välein, ja niiden avulla seurataan sillan kunnan kehittymistä läpi käyttöiän. (Sillantarkastuskäsikirja 2020, 8.) Yleistarkastuksessa silta tarkastetaan silmämääräisesti kaikki rakenneosat läpikäyden. Yleistarkastus voidaan myös laajennettuna yleistarkastuksena, jos on tarve tutkia tiettyjä rakenneosia tarkemmin esimerkiksi nostimen avulla. Laajennettua yleistarkastusta käytetään erikseen määritellyille silloille. (Siltojen toimintalinjat 2023, 26.)

Kun rakenteen kunnosta ja vaurioista tarvitaan silmämääräistä tarkastusta tarkempaa tietoa, käytetään erikoistarkastusta. Erikoistarkastus tehdään sillalle myös peruskorjausta edeltävänä toimenpiteenä, joka vaatii erityistä asiantuntemusta ja kalustoa. (Siltojen toimintalinjat 2023, 26.) Tavoitteena erikoistarkastuksessa on siis tuottaa lähtötietoa korjaussuunnittelua varten (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 7).

Erikoistarkastus voidaan myös kohdentaa tiettyyn tai tiettyihin rakenneosaan tai -osiin, tai kohdistua vain määriteltyihin vaurioihin (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 7). Siltojen toimintalinjat -ohjeen (2023, 26) mukaan aikaisessa vaiheessa tehdyllä kohdennetulla erikoistarkastuksella voidaan saavuttaa elinkaaritehokkuutta, kun peruskorjauksen ajankohta saadaan optimoitua.

Sillantarkastustoimintaan kuuluu edellisten lisäksi myös vuositarkastukset, jotka täydentävät yleistarkastuksia (Siltojen toimintalinjat 2023, 26). Vuositarkastusten suorittaminen kuuluu sillan hoitovastuussa olevalle kunnossapitourakoitsijalle ja

niillä seurataan hoidon laatua sekä havaitaan liikenneturvallisuutta vaarantavia vaurioita (Siltojen toimintalinjat 2023, 27–28).

Sillan tehostettu tarkkailu katsotaan myös kuuluvaksi sillantarkastustoimintaan. Sitä käytetään, kun silta halutaan peruskorjauksen sijasta käyttää hallitusti loppuun. Vaihtoehtoisesti tehostetun tarkkailun avulla seurataan vaurioiden kehitystä ja etenemisnopeutta tehostetusti, esimerkiksi kantavuutta vaarantavan vaurion tai kriittisen kunnan vuoksi. (Siltojen toimintalinjat 2023, 26.)

4.6 Korjausvelka

Kun rakenteiden kuluminen on suurempaa kuin kunnossapito, syntyy korjausvelkaa. Sen määrä kertoo summan, joka olisi pitänyt investoida ennakoivaan kunnossapitoon, jotta korjausvelan kohde olisi käytön kannalta hyvässä kunnossa. (Rakennusteollisuus 2023.) Liikenneväylien korjausvelalla tarkoitetaan rahamäärää, joka on väyläomaisuuden korjauskustannusten summa. Siihen lasketaan mukaan huonokuntoinen, korjaustarpeessa oleva väyläomaisuus. (Junes, Lumme & Miettinen 2022, 13.)

Väylävirasto laskee vuosittain korjausvelan määrää eri väylämuodoille, joita ovat tie-, rata- ja vesiväylät. Lisäksi korjausvelan määrä kohdistetaan eri omaisuustyypeille, joita ovat linjaosuudet, taitorakenteet, laitteet sekä varusteet. (Junes ym. 2022, 9–10.) Yhteensä koko Väyläviraston väyläomaisuuden korjausvelka on 1.1.2022 ollut 2 868 miljoonaa euroa, josta 75 %, eli suurin osa koostuu tie- ja rataverkon linjaosuuksista (Junes ym. 2022, 17). Linjaosuuksilla tarkoitetaan tieverkolla päällystettyjä teitä, sorateitä ja kevyen liikenteen väyliä ja rataverkolla radan päällysrakenteita (Junes ym. 2022, taulukko 1).

Taitorakenteiden osuus koko Väyläviraston korjausvelasta on 13 %, eli 377 miljoonaa euroa (Junes ym. 2022, taulukko 4). Luku pitää sisällään taitorakenteita kaikista väylätyypeistä, mutta vain 10 miljoonaa euroa kohdistuu vesiväylien taitorakenteisiin, kuten avattaviin siltoihin ja kanaviin (Junes ym. 2022, taulukko 8). Valtaosa taitorakenteiden korjausvelasta kohdistuu tie- ja ratasiltoihin: tiesiltoihin 237 miljoonaa ja ratasiltoihin 59 miljoonaa euroa. Loput taitorakenteiden korjausvelasta kohdistuvat tieverkon putkisiltoihin ja laitureihin sekä rataverkon rumpui-

hin ja tunneleihin. (Junes ym. 2022, taulukko 6.) Siltoihin tulisikin käyttää enemmän rahaa, jotta korjausvelan kasvu saataisiin taitettua: Väyläviraston Markku Äijälä on arvioinut haastattelussa maantiesiltojen korjauksiin varatun 75 miljoonan euron olevan liian vähäinen. Maantiesiltojen korjauksiin tarvittaisiin yli 100 miljoonaa euroa vuodessa. (Saarinen 2023.) Omat haasteensa korjausvelan kasvun hillitsemiseksi tuovat ne tosiasiat, että suuri osa silloista vanhenee yhtä aikaa peruskorjausikään (Pantsu 2023), ja rahan ja resurssien riittävyys on tunnistettu riittämättömäksi (Saarinen 2023).

Korjausvelan laskentaan liittyy kuitenkin haasteita. Yksittäisen vuoden laskettu korjausvelka ei huomioi lyhyen aikavälin kustannusten muutoksia. Liikenneväylien korjausvelan 1.1.2022 tilannetta laskettaessa myöhemmin vuonna 2022 on tiedostettu, ettei maailmanpoliittisten tapahtumien vaikutusta kustannusten nousuun ole huomioitu korjausvelan määrässä. Myös maanrakennusalan kustannusten nousu tulee huomioida korjausvelkaa määritettäessä. Korjausvelka voi siis euromääräisesti kasvaa, vaikka rakenteiden kunto säilyisikin samana. (Junes ym. 2022, 15.)

Väyläviraston laskemassa siltojen korjausvelassa ei ole mukana sitä korjausvelkaa, joka kohdistuu muiden kuin Väyläviraston omistamiin siltoihin. Kaupunkien, kuntien ja yksityisten tiekuntien omistamien siltojen korjausvelan määrästä ei ole esitetty kokonaisarviota. Yksityisteiden silloissa korjausvelka voi olla jopa miljardiluokkaa (Lindholm 2022). Kuntaliiton julkaisemassa Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittelyshanke -julkaisussa tavoiteltiin sellaisen ohjeistuksen laatimista, joka soveltuisi suurien omaisuusmäärien korjausvelan määrien arviointiin. Sillat olivat kuitenkin rajattu hankkeen ulkopuolelle. (Rantanen 2014.) Huonokuntoisia siltoja on myös kaupunkien ja kuntien omistuksessa (Saarinen 2023), joten siltoihin liittyvää korjausvelkaa on varmasti yhtä lailla niin kaupungeilla ja kunnilla kuin Väylävirastollakin.

5 IKÄÄNTYVÄ SILLASTO – OMISTAJAN KEINOT JÄLJELLÄ OLEVAN KÄYTTÖIÄN PIDENTÄMISELLE

5.1 Käyttöikä

Tiesiltojen suunniteltu tavoiteikä on uusilla silloilla 100 vuotta lukuun ottamatta puusiltoja ja teräksisiä putkisiltoja, joiden tavoiteikä on 50 vuotta. Tämä kuitenkin koskee niitä rakenteita, jotka on toteutettu nykyvaatimusten tarkoittamalla tavalla. Silta ei kuitenkaan automaattisesti saavuta tavoiteikää, sillä tiettyjen rakenneosien käyttöiät ovat sillan tavoiteikää pienemmät. Esimerkiksi laakereiden ja reunapalkkien osalta tavoitellaan 50 vuoden, vedeneristykselle 40 vuoden ja liikuntasaumalaitteille 30 vuoden käyttöikä. (Siltojen toimintalinjat 2023, 25.) Siltaa siis tulee hoitaa ja ylläpitää, jotta tavoiteikä voidaan saavuttaa.

1980-luvun siltakirjallisuudessa on tiedostettu betonin rajallinen ikäkestävyys, ja raudoitettun betonin käyttöikä on arvioitu noin 100 vuotta. Käyttöikä ei ole ollut suunnitteluperusteena vielä 1980-luvulla, mutta tarve käyttöiälle suunnitteluperusteena on tiedostettu kuitenkin jo tuolloin. (Järvenpää 1989, 102.) Ei siis ole perusteltua olettaa 1960–1970-luvuilla rakennettujen siltojen kestävä automaattisesti 2060–2070-luvuille saakka, sillä kyseisiä siltoja ei ole rakennettu sillä nykyvaatimusten mukaisella tavalla, jolla voidaan saavuttaa 100 vuoden tavoiteikä. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry:n (2018, 25) mukaan 1960–1970-luvun silloista merkittävä osa onkin elinkaarensa päässä.

Vanhojen taitorakenteiden elinkaarta voidaankin jatkaa asiantuntevalla ylläpidolla. Kokemusperäisellä asiantuntijatiedolla voidaan ennakoida toimenpiteitä, kuten peruskorjauksia tai rakenneosakohtaisia korjauksia, vaikka ohjeelliset tavoiteikäiät eivät vielä täytyisikään. Tällöin on tärkeää tietää ja ymmärtää vanhoihin siltoihin liittyviä erityispiirteitä, kuten esimerkiksi betonissa käytettävien lisäaineiden käyttöhistorian vaikutukset, vedeneristeiden materiaalimuutokset vuosikymmenten aikana, alkalikiviainesreaktion vaikutukset sekä nykyvaatimuksia pienemmät betonipeitteiden paksuudet. (Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat 2015, 50–51.)

5.2 Vanhan korjaus vai uuden rakentaminen?

Korjaustoimenpiteitä tulee tehdä sillalle elinkaarellisina toimenpiteinä läpi koko sillan käyttöiän, jotta toimenpiteiden kustannukset ja hyödyt saadaan optimoitua ja rakenteiden kestävyys varmistettua (Siltojen toimintalinjat 2023, 25). Pienempiä nopeita toimenpiteitä vaativia ja yksittäisten vaurioiden korjauksia kutsutaan ylläpitokorjauksiksi. Kun ylläpitokorjaukset kohdennetaan ja ajoitetaan oikein, voidaan sillan rakenteiden kestävyttä parantaa ja peruskorjausta siirtää myöhemmäksi tulevaisuuteen. (Siltojen toimintalinjat 2023, 28.)

Peruskorjaus on sillalle tehtävä laajempi kokonaiskorjaus, jossa sillan vaurioituneet ja kuluneet rakenteet kunnostetaan tai uusitaan. Sillan kunto pyritään palauttamaan jäljellä olevan käyttöiän edellyttämälle tasolle. (Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje 2011, 9.) Siltojen toimintalinjat -ohjeen (2023, 28) mukaan kaikki vaurioituneet ja kuluneet rakenteet uusitaan, mikäli rahoitus sen sallii. Peruskorjaukseen kuuluu laaja-alaisia korjauksia, kuten vedeneristeen ja reunapalkkien uusimiset (Sillantarkastuskäsikirja 2020, 27). Vedeneristyksen uusimisen yhteydessä uusitaan myös sillan pintarakenteet, joka on merkittävän suuri osa peruskorjausta (Siltojen toimintalinjat 2023, 28).

Sillan uusiminen on vaihtoehto vanhan korjaamiselle. Lähtökohtaisesti koko sillan uusiminen tehdään erittäin huonokuntoisille silloille tai sellaiselle sillalle, joka ei ole enää korjauskelpoinen. Lisäksi myös kustannukset vaikuttavat asiaan: Mikäli sillan korjauskustannukset ovat yli kaksi kolmasosaa uusimisen kustannuksesta, tehdään sillalle korjauksen sijasta uusiminen. (Siltojen toimintalinjat 2023, 29.)

Mikäli korjaaminen on elinkaaritehokasta eikä sillalla ole merkittäviä toiminnallisia puutteita, voidaan peruskorjausta pitää kannattavana vaihtoehtona. Jos silta on liian huonokuntoinen uusittavaksi tai merkittävät toiminnalliset puutteet eivät ole kustannustehokkaasti poistettavissa, tulee silta uusida. Uusimista odottaessa silta voidaan päästää harkitusti huonoon kuntoon, mutta tällöin turvallisesta loppuunikäytöstä tulee olla suunnitelma. (Siltojen toimintalinjat 2023, 31–32.)

5.3 Vanha alusrakenne – uusi päällysrakenne

Yhtenä vaihtoehtona sillan jäljellä olevan käyttöiän pidentämiseksi on uusia silta osittain. Uusiminen voidaan toteuttaa koko sillan uusimisen sijaan vain päällysrakenteelle. Tällöin olemassa olevat alusrakenteet hyödynnetään uuden päällysrakenteen alusrakenteena. Tällöin tulee varmistaa olemassa olevan alusrakenteen kantavuus ja kestävyys. Jos sen kantavuus ei ole riittävä päällysrakenteen uusimiselle, tulee silta uusia kokonaan. (Siltojen toimintalinjat 2023, 29.) Sillan tulee siis korjattuna kestää siihen kohdistuvat liikennekuormat ja muut rakenteisiin kohdistuvat kuormat (Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje 2011, 10).

Olemassa olevan alusrakenteen kantavuus tulee tarkastaa nykyisten suunnitteluohjeiden mukaisilla vaatimuksilla (Siltojen kantavuuslaskentaohje 2015, 24). Siltojen kantavuuslaskentaohjetta (2015, 10) voidaan kuitenkin soveltaa, kun tarkastellaan alusrakenteen rakenteellista kestävyyttä uudelle päällysrakenteelle. Vaikka Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje (2011, 11) sallii säilytettävien rakenneseosien mitoituksessa liikennekuormien pienentämisen, niin osittainen uusiminen katsotaan kuitenkin uusimiseksi (Siltojen toimintalinjat 2023, 29). Suunnittelijan tulee ymmärtää silta rakenteellisena kokonaisuutena olemassa olevaa rakennetta hyödynnettäessä. Tällöin tulee hallita sekä uudis- että korjaussuunnitteluohjeiden, mutta myös sillantarkastusohjeiden käyttö ja soveltaminen.

5.4 Kestävän kehityksen näkökulma

Kestävä kehitys on ohjattua ja jatkuvaa yhteiskunnallista muutosta, jonka tavoitteena on nykyisten ja tulevien sukupolvien hyvien elämisen mahdollisuuksien turvaaminen. Tämän toteutuminen edellyttää ympäristön, ihmisen ja talouden tasa-vertaista huomioimista toiminnassa ja päätöksenteossa. (Ympäristöministeriö 2023.)

Ekologista ja taloudellista kestävyttä varmistetaan siltojen osalta suunnitelmalla sillat pitkäikäisiksi, mutta myös kunnossapidon suunnitelmallisella ja ennakkoivalla ohjelmoinnilla ja toteutuksella. Lisäksi on tärkeää varautua ajoissa liikenteellisten tarpeiden muutoksiin, ja huomioida ne siltojen suunnitelmissa. Tavoit-

teena on ehkäistä jätteen syntyä, mutta myös saavuttaa taloudellista hyötyä. Lisäksi uuden rakentamisesta johtuvaa ympäristökuormaa on tarkoitus vähentää. (Siltojen toimintalinjat 2023, 36.) Tätä voidaan saavuttaa olemassa olevan alusrakenteen uudelleenkäytöllä, kun silta uusitaan osittain uudella päällysrakenteella.

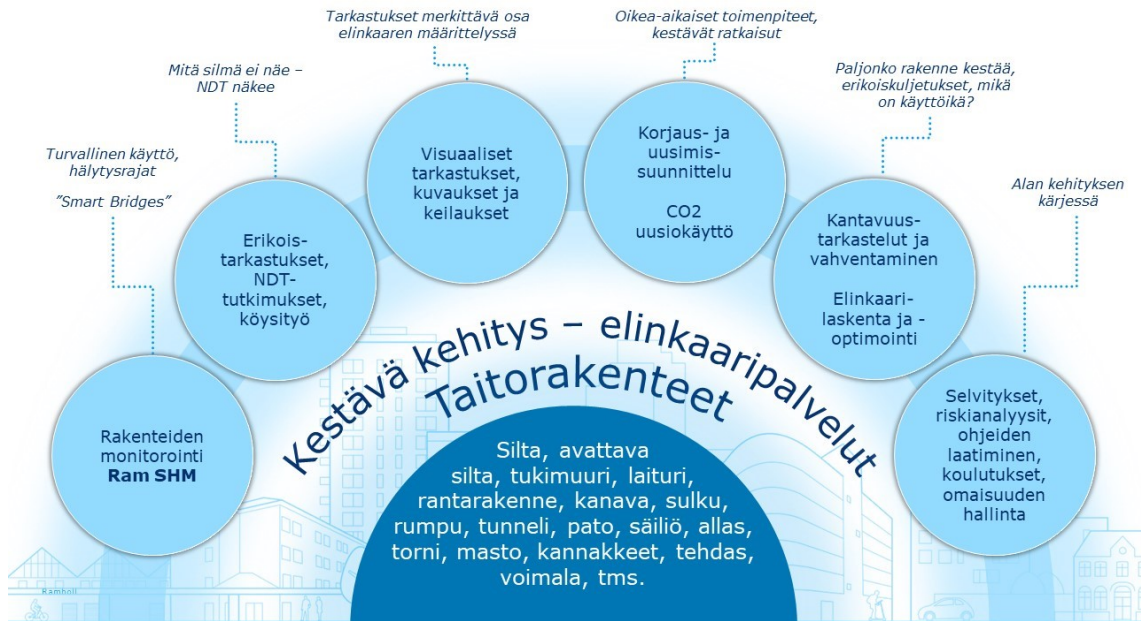
Sosiaalisen kestävyuden takaamiseksi tulee hyvinvoinnin edellytysten siirtyä sukupolvelta toiselle (Ympäristöministeriö 2023). Sillat mahdollistavat ihmisten liikumisen turvallisesti sekä elinkeinon harjoittamisen, ja tämä tulee varmistaa myös vähäliikenteisten teiden silloilla. Myös eri väestöryhmien huomiointi ja liikumismahdollisuuksien takaaminen edistävät sosiaalista kestävyyttä, mutta myös liikenneturvallisuutta. Kun kevyen liikenteen tarpeet ja esteettömyys huomioidaan siltojen suunnittelussa, paranee liikenneturvallisuuden lisäksi myös sosiaalinen kestävyys. (Siltojen toimintalinjat 2023, 36.)

6 TOIMEKSIANTAJAN ESITTELY — RAMBOLL

Ramboll on Tanskassa 1945 perustettu nykyisin globaali asiantuntijayrityskonserni, joka tarjoaa asiantuntijapalveluita asiakkailleen yli 18 000 asiantuntijan voimin (Ramboll 2023a). Ramboll-säätiö on Ramboll-konsernin pääomistaja 97,5 % omistusosuudellaan, ja Rambollin työntekijät omistavat loput 2,5 % konsernin osakkeista. Säätiöomistuksella varmistetaan tulojen uudelleen sijoittaminen yhtiön jatkuvaan kehitykseen sekä työntekijöiden kehitys pitkällä aikavälillä. Ramboll-säätiö toimii myös hyväntekeväisyysjärjestönä, joka lahjoittaa tulojansa tutkimuksen, opintojen ja koulutustoiminnan lisäksi hankkeisiin, jotka tukevat humanitaarista toimintaa sekä vahvistavat kansalaisyhteiskuntaa. (Ramboll 2023c.)

Suomessa Rambollin juuret juontuvat 1962 perustetusta entisestä Viatek-yhtiöstä. 1990-luvulla Viatek yhdistyi Scandiaconsult-konserniin, ja vuonna 2003 Ramboll sekä Scandiaconsult yhdistyivät kansainväliseksi Ramboll-konserniksi. Ramboll on kasvattanut liiketoimintaansa Suomessa vuosien saatossa useilla suunnittelu- ja asiantuntijayritysten yritysostoilla. (Ramboll 2023b.) Nykyään Ramboll Finland on Suomen suurimpia suunnittelu- ja konsultointialan yrityksiä: Vuoden 2022 perusteella Ramboll Finland Oy sijoittui Rakennuslehden (2023) Suurimmat-työkalussa toimialansa toiseksi suurimmaksi yhtiöksi liikevaihdoltaan ja henkilöstömäärältään.

Ramboll Finlandin Bridge Asset Management -yksikkö tuottaa asiakkailleen siltojen ja muiden taitorakenteiden omaisuudenhallintapalveluita. Yksikön 30 asiantuntijaa kahdeksalla paikkakunnalla toimivat koko Suomen alueella ja tarjoavat palveluitaan myös ulkomaille. (Airaksinen 2023.) Yksikön toimintaa on kuvattu kuviossa 9.



Kuvio 9. Bridge Asset Management -yksikön toiminta (Airaksinen 2023)

Bridge Asset Management -yksikön asiakkaita ovat Väyläviraston ja ELY-keskusten lisäksi myös muut taitorakenteiden omistajat kuten kunnat, kaupungit, yksityiset tiekunnat, vesivoimayhtiöt sekä teollisuuden eri toimijat. Perinteisten korjaus- ja uusimissuunnittelun lisäksi yksikön keskeistä toimintaa ovat siltojen yleis- ja erikoistarkastukset sekä ainetta rikkomattomat NDT-tutkimukset. Lisäksi elinkaari- ja taitorakenteiden palvelut kuten siltojen kantavuustarkastelut, vahventamiset, monitoroinnit sekä toimenpideohjelmoinnit kuuluvat yksikön toimintaan. (Airaksinen 2023.)

7 ESIMERKKITARKASTELU TOTEUTTAMISKELPOISUUDELLE

7.1 Toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin kuvaus

Tässä luvussa kuvataan menetelmällisesti tarkastelu toteuttamiskelpoisuuden arvioinnista, joka on laadittu tämän opinnäytetyön yhteydessä. Toteuttamiskelpoisuuden arvioinnissa tarkasteltiin esimerkkisillan alusrakenteen hyödynnettävyyttä uudelle päällysrakenteelle. Esimerkkisillan tarkastelusta laadittiin oma raporttinsa (Liite 1), joka ei kuitenkaan ole julkinen.

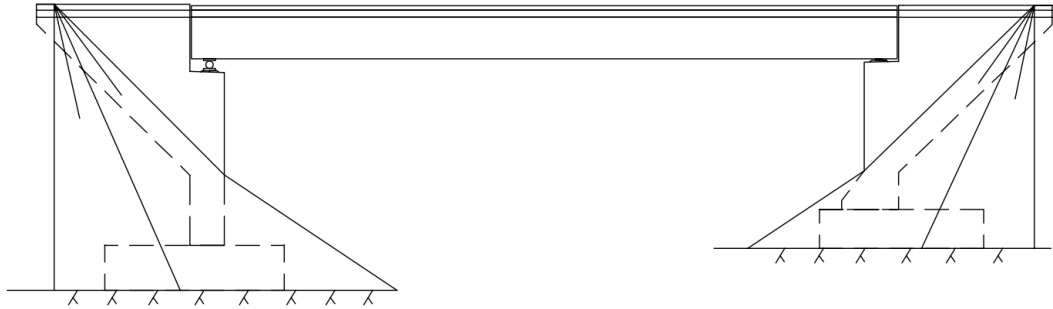
Laki viranomaisen toiminnan julkisuudesta (1999/621 § 6:24.1) määrittelee 10. kohdassa sellaiset viranomaisen asiakirjat salassa pidettäviksi, jotka koskevat maanpuolustuksen kannalta merkityksellisiä kohteita. Lisäksi 7. kohdassa määritellään salassa pidettäviksi rakennusten sekä rakennelmien turvajärjestelyjä koskevat ja niiden toteuttamiseen vaikuttavat asiakirjat (1999/621 § 6:24.1). Tällaisiksi voidaan katsoa esimerkiksi siltojen panostilat. Siltojen tiedot ovat liikenneyhteyksien kannalta keskeisiä kohteita, jotka katsotaan maanpuolustuksen kannalta muutoin merkityksellisiksi kohteiksi (HE 30/1998 vp, 92). Esimerkkisillaa tarkastellaan tässä opinnäytetyössä siis yleisellä tasolla siten, ettei sillasta julkaista yksilöivää ja tunnistettavissa olevaa tietoa. Myöskään geoteknisen tai rakenteellisen tarkastelun laskennan tuloksia tai laskenta-arvoja ei käsitellä, vaan tarkastelusta esitetään menetelmäkuvaus.

7.2 Sillan lähtötiedot

Sillan lähtötiedot saadaan yleensä sillan omistajalta. Väyläviraston sekä useiden kaupunkien ja kuntien siltojen tiedot ovat viety Väyläviraston ylläpitämään Taitorakennerekisteriin, jonne myös suunnitelmadokumentit voi arkistoida (Väylävirasto 2023b). Riippuen omistajasta, sillan lähtötietoja ja dokumentteja voi löytyä myös esimerkiksi kunnan arkistosta tai tiekunnan henkilöiltä. Lähtötietoja kerätessä kannattaa huomioida myös ajan saatossa tapahtuneet omistajanvaihdokset, ja tarvittaessa tiedustella dokumentteja myös edellisiltä omistajilta.

Esimerkkisilta on tyypiltään jännitetty betoninen palkkisilta, joka on valmistunut 1960-luvulla. Tämän yksijänteisen sillan jännemitta on yli 15 mutta alle 50 metriä,

ja silta on perustettu kallionvaraisesti massiivisten teräsbetonisten maatumien vaaraan. Sillan ei-mittakaavassa oleva havainnekuva on esitetty kuviossa 10, josta ei ilmene sillan tunnistamista helpottavia tietoja.



Kuvio 10. Esimerkkisillan alus- ja päällysrakennetta kuvaava havainnekuva

Silta on tieliikenteen käytössä oleva vesistösilta, ja sen ylittävä väylä on luokaltaan kantatie. Siltaa ylittävän tien liukkautta torjutaan pääosin suolalla. Sillan tiedot ja suunnitelmadokumentit saatiin Taitorakennerekisteristä. Lähtötietoja tarkennettiin ja kerättiin myös alusrakenteelle kohdennetulla erikoistarkastuksella.

7.3 Alusrakenteelle kohdennetun erikoistarkastuksen suunnittelu

Alusrakenteen uudelleenkäyttöä uutta päällysrakennetta varten tulee selvittää nykyisen olemassa olevan alusrakenteen kunto mahdollisimman tarkasti, jotta myös jäljellä olevan käyttöiän arvioiminen olisi mahdollista. Tärkeintä on kerätä kattavat tiedot alusrakenteen säilyvyyteen vaikuttavista vaurioista sekä tarkastaa rakenteen todelliset mitat näkyviltä osin, että ne vastaavat lähtötietoja kuten alkuperäistä rakennussuunnitelma-aineistoa tai toteutumakuvia.

Tarkastusta suunniteltaessa tulee huomioida betonirakenteiden yleisimmät vaurionaiheuttajat, joita ovat betonin karbonatisoitumisen mahdollistama raudotteiden korroosio, kloridien aiheuttama korroosio, halkeilu sekä pakkasrapautuminen (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 101). Lisäksi myös alkalivivainesreaktio voi aiheuttaa betonin rapautumista ja halkeilua (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 14), joten sen tutkiminen täytyy huomioida kohdennettua erikoistarkastusta suunniteltaessa.

Esimerkkisillan alusrakenteelle kohdennetulle erikoistarkastukselle laadittiin tutkimussuunnitelma soveltaen Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat (2018) -ohjetta. Ohjeen mukaisesti erikoistarkastuksen kohteesta tulee laatia tarkastussuunnitelma, josta tulee selvittää tarkastuksen organisaatio, käytettävät laitteet ja varusteet, käytettävä laboratorionäytteiden analysointilaitos, työmenetelmät sekä tarkastuskohteittain laadittu tutkimusohjelma (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 10). Nämä asiat esitettiin tutkimussuunnitelmassa, jonka työn tilaaja hyväksyi.

Tutkimussuunnitelman lähtötietoina käytettiin Taitorakennerekisterin tietoja, rakennussuunnitelma-aineistoa sekä edellisen yleistarkastuksen tietoja. Edellisessä tarkastuksessa esimerkkisillan ongelmia olivat vedeneristyksen vesivuodot, reunapalkkien ja -ulokkeiden rapautuminen, päällysteen halkeamat, kaiteiden vauriot sekä liikuntasaumalaitteiden vesivuodot sillan molemmissa päissä. Ylittävän väylän suolarasitus sekä liikuntasaumalaitteiden vesivuodot aiheuttavat ylimääräistä suolavesirasitusta myös alusrakenteelle, johon voi aiheutua seurausvaurioita vuotavien liikuntasaumalaitteiden takia. Tämä huomioitiin alusrakenteen tutkimuksissa.

Päätyrakenteista, eli esimerkkisillan maatuista suunniteltiin tutkittavaksi yksi ohuthietutkimus maatukea kohden, vetolujuuden ja karbonatisoitumissyvyyden mittaus kummastakin etumuurista ja siipimuureista sekä kloridipitoisuuden mitaukset. Kloridipitoisuuksien tutkinnassa rakenne suunniteltiin tutkittavaksi kloridirasitettuna rakenteena, johtuen sillan vaurioiden seurauksista: Sillan etumuu-reissa oli nähtävissä valumajälkiä, jotka johtuvat vuotavista liikuntasauomoista. Lisäksi betonipeitteet suunniteltiin mitattavaksi kaikista näkyvistä rakenneosista. Ohjeesta poiketen molemmista etumuureista päätettiin tutkia myös betonin puristuslujuudet, vaikka pääsääntöisesti puristuslujuustutkimukset kohdennetaan päällysrakenteelle. Puristuslujuustutkimukset suunniteltiin tehtäväksi etumuu-reille, jotta alusrakenteesta ja sen kunnosta saataisiin mahdollisimman kattava käsitys. (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 19–25.)

7.4 Alusrakenteen jäljellä olevan käyttöiän määrittäminen

Jäljellä olevaa käyttöikää voivat alentaa rakenteiden säilyvyyttä heikentävät vauriot. Myös halkeamat ovat betonille säilyvyyttä uhkaavia, sillä teräskorroosiota aiheuttava suolapitoinen vesi voi päästä rakenteeseen jo 0,1 mm leveästä halkeamasta. Yhtenä betonin ominaisuutena onkin sen raudoitetta korroosiolta suojaava emäksisyys, joka kuitenkin ajan saatossa vähenee ilman hiilidioksidin takia. Tätä emäksisyyden menetystä kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Teräskorroosio ilmenee raudoituksen ympärillä olevan betonin halkeiluna ja lohkeiluna tai ruostelaikkuina betonin pinnalla. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 106.)

Karbonatisoitumissyvyys mitataan rakenteesta irti poratusta näytteestä. Se mitataan, kun näyte käsitellään pH-indikaattorilla. Indikaattori ilmaisee väriä muuttamalla karbonatisoitumattoman osan näytteestä, jolloin karbonatisoituneen osuuden voi mitata. (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 12.) Toinen teräskorroosion mahdollisista aiheuttajista, kloridien tunkeutuminen rakenteeseen, on jopa karbonatisoitumista vaarallisempi. Kloridirasitus aiheuttaa korroosion välittömän käynnistymisen, vaikka betoni ei olisi karbonisoitunut. (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 106.) Kloridipitoisuus voidaan mitata porajauhenäytteillä eri rakenneosista. Tarkoituksena on tutkia porajauhetta eri syvyyksiltä rakenteesta, jotta kloridien tunkeumasyvyyttä ja sen vaikutusta käyttöikään voidaan arvioida. Tärkeää on kohdistaa kloriditutkimukset suurimman suolarasituksen alueelle. (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 12.)

Betonin veto- ja puristuslujuustutkimuksilla saadaan tietoa betonin lujuusominaisuuksista, jotka ovat tärkeitä tietoja suunnittelijalle. Lisäksi tietoja saadaan myös rapautumisherkkydestä. Ohuthietutkimuksella saadaan selville betonin laatu ja mahdollisten vaurioiden aiheuttajat, kuten esimerkiksi alkalikiviainesreaktion esiintyvyys. Tutkimukset tehdään irti poratuista näytteistä. (Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 13–14.) Alkalikiviainesreaktiolla tarkoitetaan betonissa kemiallisesti tapahtuvaa reaktiota, missä alkalipitoinen sementtikivi reagoi betonin runkoaineen mineraalipitoisen kiviaineksen kanssa. Reaktiotuotteena oleva geeli imee itseensä kosteutta ja paisuessaan aiheuttaa be-

toniin halkeamia ja lohkeamia. Alkalikiviainesreaktio yhdistettynä pakkasrapautumisen kanssa kiihdyttää betonin rapautumista. Vaikka Suomessa käytettävän sementin alkalipitoisuus onkin korkea, on alkalikiviainesreaktio Suomessa hidaskiireaktio. Tämä johtuu siitä, että reaktio tarvitsee lämpöä. Ilmastonmuutos voikin kiihdyttää alkalikiviainesreaktiota, kun ilmasto lämpenee ja muuttuu sateisemmaksi. (Väylävirasto 2022c.)

Alusrakenteelle kohdennetulla erikoistarkastuksella saadaan hyvä käsitys alusrakenteen kunnosta, jonka avulla voidaan arvioida alusrakenteen jäljellä olevaa käyttöikää. Tarkastusta suorittaessa on näytteenoton lisäksi havainnoitava erityisesti sellaisia vaurioita, jotka voivat vaikuttaa rakenteen säilyvyyteen ja hyödynnettävyyteen. Betonirakenteiden kunnan lisäksi onkin tärkeää havainnoida viitteitä alusrakenteen mahdollisista siirtymistä ja painumista (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013, 58). Kunnan arvioinnissa hyödynnetään silmämääräisiä havaintoja sekä rakenteesta otettujen näytteiden laboratoriotuloksia, ja jäljellä olevan käyttöiän arvio muodostetaan näitä tietoja yhdistelemällä.

7.5 Päällysrakenteen tyyppivaihtoehdot ja niiden soveltuminen

Uudelle päällysrakenteelle tulee jo toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin vaiheessa pohtia mahdollisia tyyppivaihtoehtoja, jotta geotekninen ja rakenteellinen tarkastelu voidaan suorittaa. Päällysrakenteen aiheuttaa omapainollaan alusrakenteelle kohdistuvan kuorman, ja sen suuruudella voi olla vaikutusta alusrakenteen kestävyteen ja hyödynnettävyyteen. Tarkastelun lisäksi tyyppivaihtoehdot esitellään sillan omistajalle toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin raportissa. Tämä helpottaa sillan omistajan päätöksentekoa, mutta myös osittaisen uusimisen rakennussuunnitelman laatijaa. Esimerkkisillan tarkastelussa sillalle tarkasteltiin kolme eri tyyppivaihtoehtoa: Versowoodin puisia tyyppisilloja, Nordecin Easy Bridgeä sekä elementtirakenteista jännitettyä betonista palkkisiltaa.

Sillanrakennusmateriaalina puu on nykyisin vähän käytetty (Väyläviraston sillat 31.12.2021 2022, 30–31), mutta on silti hyvä vaihtoehto teräs- tai betonisillalle. Puisen päällysrakenteen voi myös valmistaa tehtaalla täysin valmiiksi ja asentaa paikoilleen yhden työpäivän aikana. (Versowood 2023a.) Tämä on merkittävä

etu, sillä se vähentää osittaisen uusimisen aiheuttamaa liikennehaittaa toteutusvaiheessa. Versowoodin (2023a) valmistamat tyyppihyväksytyt puusillat on hyväksytty Liikenneviraston toimesta tiesilloiksi sekä valtionavustusta saavien yksityisteiden silloiksi. Puusiltojen rajoitteet aiheutuvat rajallisista jännemitoista ja hyötyleveyksistä: Versowoodin (2023a) mukaan poikittaisjännitetyn laattasillan taloudellisin käyttöalue on 30 metrin jännemittaan asti. Maksimijännemitaltaan pidemmän, 32 metrin palkkisillan suurin mahdollinen hyötyleveys on 9,0 metriä (Versowood 2023b). Sillat eivät siis mittojensa puolesta välttämättä sovellu kaikkiin kohteisiin. Lisäksi puusiltojen ongelmana on viime vuosina ollut lahottajasieni, joka on vaivannut uudempia puusiltoja, kun puun kyllästeaineet ovat muuttuneet aiempaa ympäristöystävällisemmiksi (Väylävirasto 2021).

Teräspalkeista ja teräsbetonisesta kannesta koostuvaa siltaa kutsutaan liittopalkkisillaksi, ja sitä käytetään yleensä pitkien jännevälien vesistösilloissa (Pulkkinen 2018, 51). Nordecin valmistama Easy Bridge on teräspalkeista sekä betonilaa-toista koostuva Väyläviraston käyttöön hyväksymä vakioratkaisu, joka voidaan myös asentaa yhdessä päivässä (Nordec 2023) liikennehaitta minimoiden. Optimaalisin käyttötarkoitus Easy Bridgelle on valmistaja Nordecin (2023) mukaan 11–35 metrin pituisille yksiaukkoisille silloille, ja sitä valmistetaan 4,5–10,5 metrin hyötyleveysillä kahden metrin välein. Pulkkisen (2018, 51–52) mukaan liittopalkkisilta valitaan yleensä vasta yli 70 metrin jännevälillä silloille, mutta myös alempien tieluokkien lyhyille yksiaukkoisille silloille, joiden rakentamisaika halutaan saada minimoitua. Teräs on kuitenkin materiaalina korkeahintaista. Sen valmistaminen vaatii paljon energiaa, ja energian kallistuminen on nostanut entisestään teräksen hintaa (Väylävirasto 2022a). Teräksen hinnannousun lisäksi myös Venäjän hyökkäyssota Ukrainaan on vaikuttanut teräksen saatavuuteen siten, että esimerkiksi Hessundinsalmen sillan uusimisen suunnitteluvaiheessa terässilta vaihdettiin kustannussyistä betoniseksi (Airaksinen 2022).

Kolmantena vaihtoehtona tarkasteltiin elementtirakenteisia jännitettyjä betonipalkkeja pääkannattajina. Jännemitta-alue jännitettyllä betonisella palkkisillalla alkaa jo alle 20 metristä, mutta on käyttökelpoinen jopa sataan metriin asti. Yleensä betoniset palkkisillat tehdään jännitettyinä, koska sillä saadaan huomattavasti parempi kantokyky mutta myös pienempi omapaino. (Pulkkinen 2018, 51.) Element-

tirakenteisten jännitettyjen betonipalkkien päälle rakennettava kansi tehdään betonisista kansielementeistä, jotka liitetään toisiinsa sekä palkkeihin juotosvalulla. Tämän vaihtoehdon pohdinnassa hyödynnettiin Väyläviraston Taitorakennerekisteriä (2023b) siten, että esimerkiksi vastaavan jännemitan omaavan elementtirakenteisen sillan suunnitelmätietoja käytettiin hyväksi pohdittaessa vaihtoehdon soveltuvuutta. Tämä vähentää esimerkiksi uuden päällysrakenteen omapainon ja tarvittavan rakennekorkeuden arvioinnissa mahdollisesti tapahtuvia virheitä. Jännitetty betoninen palkkisilta voitaisiin tehdä myös paikallavaluna, mutta tämä aiheuttaisi huomattavasti pidemmän liikennehaitan siltapaikalle. Lisäksi se vaatisi huomattavasti enemmän työtä siltapaikalla esimerkiksi telineiden ja muottien rakentamisen takia.

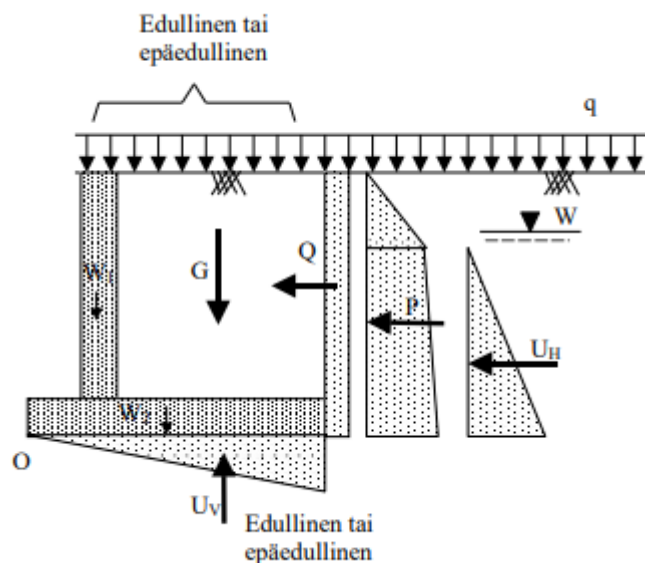
Tyypivaihtojen soveltumista ja kokonaisuutta pohdittaessa tulee myös tarkastella alusrakenteen jäljellä olevaa käyttöikää elinkaarikustannusten kannalta. Siltojen tavoiteikäkäyttöä betoni- ja terässilloilla on nykyvaatimusten mukaisesti toteutettuna 100 vuotta (Siltojen toimintalinjat 2023, 25). Puisten päällysrakenteiden alempi 50 vuoden tavoiteikäkäyttö (Siltojen toimintalinjat 2023, 25) voisi mahdollistaa tehokkaamman optimoinnin alusrakenteen uudelleenkäytölle, kun uuden päällysrakenteen käyttöikä halutaan lähelle sitä tasoa mitä alusrakenteen jäljellä oleva käyttöikä on. Lisäksi soveltumisessa täytyy miettiä uuden päällysrakenteen rakennekorkeutta, joka voi vaikuttaa geoteknisen tarkastelun tuloksiin. Olemassa olevaa korkeampi päällysrakenne voi johtaa tulopenkereiden korottamiseen, joka taas osaltaan suurentaa alusrakenteelle kohdistuvaa maanpainetta.

7.6 Geotekninen tarkastelu

Sillan alusrakenteen uudelleenkäyttö uudelle päällysrakenteelle vaatii laskennallisen tarkastelun siitä, että vanhan ja uuden rakenteen yhteistoiminnasta voidaan varmistua (Geotekninen suunnittelu – NCCI 7, 94). Toteuttamiskelpoisuuden arvioinnissa tulee siis tarkastella alusrakenteen kestävyys. Tarkastelussa tulee huomioida nykytilanteen ja lopputilanteen lisäksi myös toteuttamisvaihe. Esimerkkisillan tarkastelussa tarkasteltiin alusrakenteen, eli maatumien, liukumiskestävyys, kaatumisvarmuus sekä kantokestävyys alkuperäisen rakennussuunnitelman sekä olemassa olevien pohjaolosuhdetietojen perusteella. Huomionarvoista on, että toteuttamiskelpoisuuden arvioinnissa ei tehdä uuden päällysrakenteen

lopullista mitoitusta tai valintaa. Näin ollen geotekninen tarkastelu toimii vain arviointitarkoituksessa, eikä lopullisena rakennussuunnitelman laskentatarkasteluna. Nimensä mukaisesti tarkoituksena on arvioida, onko osittaiselle uusimiselle edellytyksiä.

Kuormat jaetaan laskentaan perustuvassa tarkastelussa kaataviin eli epäedullisiin sekä vakauttaviin eli edullisiin kuormiin. Jako edullisiin ja epäedullisiin on kuitenkin tarkastelukohtainen, sillä esimerkiksi maatuen omapaino on kantokestävyyttä tarkasteltaessa epäedullinen, mutta liukumistarkastelussa edullinen kuorma. (Geotekninen suunnittelu – NCCI 7 2023, 20.) Kuviossa 11 on esitetty kulmatukimuuriin vaikuttavia kuormia, joka havainnollistaa edullisen ja epäedullisen kuorman tarkastelukohtaisuutta. Esimerkiksi anturan kohdalla penkereen päällä oleva hyötykuorma toimii liukumis- ja kaatumistarkastelussa edullisena kuormana, mutta kantokestävyyttä mitoittaessa epäedullisena kuormana.



Kuvio 11. Edullisten ja epäedullisten kuormien esimerkki (Geotekninen suunnittelu NCCI 7 2023, 30)

Maatukirakenteisiin vaikuttava maanpaine lasketaan yleensä lepopaineena, joka vaikuttaa vaakasuorassa suunnassa. Syvyyden kasvaessa lepopaine kasvaa suoraviivaisesti. (Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa 1999, 48.) Maan lepopaineen suuruutta laskettaessa tulee pohjavedenpinnan eri asemat huomi-

oida, sillä ne vaikuttavat maanpaineen suuruuteen: Pohjavedenpinnan alapuolella maanpaine lasketaan käyttäen tehokasta tilavuuspainoa, joka saadaan, kun vedellä kyllästyneen maan tilavuuspainosta vähennetään veden tilavuuspaino (RIL 263-2014, 88). Rakenteella tulee siis olla varmuus sekä alivedenpinnan NW että ylivedenpinnan HW tasoilla (Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 2017, 67). Tapauskohtaisesti tulee pohtia myös ilmastonmuutoksen vaikutusta, joka lisää sään ääri-ilmiöitä. Siltojen toimintalinjat -ohjeen (2023, 11) mukaan tulvariskit ja vedenpinnan vaihtelut tulee huomioida. On siis perusteltua pohtia, tarvitseeko sillan alkuperäisissä rakennussuunnitelmissa esitettyjä NW- ja HW-tasoja muuttaa.

Liukumiskestävyyttä tarkasteltaessa tulee varmistua siitä, että epäedullisten vaakasuorien kuormien resultantin mitoitusarvo on liukumiskestävyuden mitoitusarvoa pienempi. Tarkastelu tehdään STR/GEO-rajatilassa, ja siinä tulee huomioida kallion mahdollinen kaltevuus sekä kallion laatu kitkakerrointa määritettäessä. Liukumiskestävyuden mitoitusarvolla tarkoitetaan pystykuorman ominaisarvoa kerrottuna kallion ja betonin välisen kitkakulman tangentilla ja jaettuna liukumiskestävyuden osavarmuudella 1,10. Liukumiskestävyuden mitoitusarvoon voidaan lisätä liukumista estävien kuormien mitoitusarvo, jos niiden pysyvyydestä voidaan olla varmoja. (Geotekninen suunnittelu NCCI 7 2023, 44–45.)

Rakenne pysyy pystyssä eikä lähde kaatumaan, kun kaatavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo on vakauttavien kuormien vaikutusten mitoitusarvoa pienempi. Kaatumistarkastelu tehdään rajatilassa EQU, ja kallionvaraiselle perustukselle tarkastelu tehdään kummassakin pääsuunnassa suorakaiteen muotoisella anturalla. Kuormien mitoitusarvojen momentit anturan reunan suhteen toimivat kuormien vaikutusten mitoitusarvoina. Pysyvien kuormien ominaisarvot tulee kertoa mallikertoimella 1,20, jos ne ovat rakennetta kaatavia voimia. (Geotekninen suunnittelu NCCI 7 2023, 43.)

Kallion kantokestävyys tarkastellaan STR/GEO-rajatilassa ja sen mitoitusehtona on, että nurkkajännityksen mitoitusarvon tulee olla kallion kantokestävyuden mitoitusarvoa pienempi. Laskentatarkastelussa oletuksena on pohjapaineen jännityksen jakautuminen kolmiomaisesti sekä kallion sekä perustuksen välille ei kat-

sota muodostuvan vetojännityksiä. Kallion kantokestävyyden ominaisarvona voidaan käyttää 8 MPa, jos kalliotutkimuksia ei tehdä. Tämä edellyttää kuitenkin kalliolta tiettyjä ominaisuuksia, joita ovat harva- tai vähärakoisuus, rapautumaton tai vähän rapautunut kivi, tiiviit raot sekä rakojen sellainen suuntautuneisuus, että vakavuus on riittävä. Kallion kantokestävyyden ominaisarvona voidaan käyttää myös korkeampia arvoja, mutta niiden käyttäminen edellyttää geoteknisen suunnittelijan kalliotutkimuksiin perustuvaa arviota, sekä tiettyjen kivilajiominaisuuksien täyttymistä. Mikäli ehdot kallion ehjyydestä tai rapautumattomuudesta eivät täyty, tulee perustus suunnitella maanvaraisena tai paalutettuna perustuksena. (Geotekninen suunnittelu NCCI 7 2023, 42–43.)

Maatukien tulee siis toteuttamiskelpoisuutta arvioitaessa säilyttää stabiliteettinsa, eli kantokestävyyden sekä varmuuden liukumista ja kaatumista vastaan. Tarkastelu tulee tehdä käyttäen uuden päällysrakenteen omapainoa, mutta myös ilman päällysrakenteen omapainoa. Mikäli kaatumis- tai liukumisvarmuutta ei saavuteta ilman päällysrakenteen omapainoa, tulee pohtia tulopenkereiden poistamista maanpaineen vähentämiseksi ja stabiliteetin saavuttamiseksi. Toisaalta jos tulopenkereitä lähdetään poistamaan, tulee pohtia kannattavuuden rajaa vanhojen maatukien uudelleenkäytön ja kokonaan uuden sillan välillä. Lisäksi tarkastelussa tulee huomioida myös työnaikaiset kuormat, kuten työkoneiden liikennekuormien aiheuttamat maatukiin kohdistuvat maanpaineet.

7.7 Rakenteellinen tarkastelu

Geoteknisen tarkastelun rinnalla tulee tarkastella alusrakenteen rakenteellinen kestävyys. Esimerkkisillan tapauksessa tarkasteltiin maatukien etumuurien kestävyyttä uudelle suunniteltavalle päällysrakenteelle sekä nykyisien suunnitteluohjeiden mukaisille liikennekuormille. Uuden päällysrakenteen soveltuvat tyyppivaihtoehdot vaikuttavat siis ominaisuuksillaan sekä geotekniseen että rakenteelliseen tarkasteluun, jonka takia tarkastelut kulkevat samanaikaisesti toistensa rinnalla.

Alusrakenteen tulee kestää uuden päällysrakenteen omapainon lisäksi alkuperäistä suunnittelukuormaa suurempi liikennekuorman aiheuttama raskaus, jotta alusrakenteen uudelleenkäyttö voidaan arvioida mahdolliseksi. Päällysrakenne

välittää omapainon ja liikennekuorman laakereiden välityksellä alusrakenteen etumuurille, jonka paikallisen puristuksen kapasiteetti tulee olla riittävä. Betonin puristuskestävyytenä käytetään alusrakenteiden erikoistarkastuksessa otettujen puristuslujuustutkimusten tulosten perusteella saatua lujuutta (Siltojen kantavuuslaskentaohje 2015, 14). Paikallinen puristuskestävyys tarkastetaan Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 -ohjeen (2022, 62) mukaisesti. Mikäli maatuurakenteessa on halkaisuvoimia vastaanottava poikittaisraudoitus laakereiden kohdalla, tulee varmistua kyseisen raudoituksen toiminnasta myös uuden päällysrakenteen kanssa. Jos esimerkiksi palkkisillan palkkien määrät ja sijainnit muuttuvat uuden päällysrakenteen myötä eivätkä uuden päällysrakenteen rasi-
tukset kohdistu samaan kohtaan kuin aiemmin, ei halkaisuraudoitusta voi huomioida paikallista puristuskestävyyttä tarkasteltaessa.

Betonirakenteen kestävyys tulee tarkastaa paikallisen puristuksen lisäksi myös taivutukselle. Maan lepopaine pyrkii taivuttamaan etumuuria, joten etumuurin terästen kapasiteetin tulee olla riittävä taivutukselle. Lisäksi rakenteen tulee kestää myös pohjapaineen aiheuttamat jännitykset anturassa. Tarkastelut tehdään soveltaen useaa ohjetta. Vanhojen rakenteiden materiaalien lujuus- ja sitkeysominaisuuksia on kuvattu Siltojen kantavuuslaskentaohjeessa (2015, 13–15), jonka avulla vanhojen suunnitelmien materiaalitietoja voi hyödyntää laskennassa. Erikoistarkastuksesta saadut laboratoriotulokset näytekappaleista tulee kuitenkin huomioida. Voimassa olevia siltojen suunnittelussa käytettäviä liikennekuormia käsitellään Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1 (2017, 10–14) ohjeessa. Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2 (2022, 3) ohjeen mukaan soveltamisohjeita voi käyttää korjauskohteissa, jos se koetaan tarkoituksenmukaiseksi. Osittain uusittavan sillan päällysrakenne suunnitellaan joka tapauksessa eurokoodien ja Väyläviraston soveltamisohjeiden mukaisesti, joten on perusteltua tarkastaa alusrakenteen rakenteellinen kestävyys samoilla ohjeilla.

7.8 Epävarmuudet

Alusrakenteiden kunnon määrittämisessä ja hyötykäyttöä arvioitaessa tulee pohdita mahdollisia epävarmuuksia. Sillantarkastuskäsikirjan (2020, 8) mukaan rakenteen silmä määräisessä tarkastuksessa onkin aina mahdollisuus tulkinta- ja näkemuseroihin. Sillantarkastustoiminta on ohjeistettu tarkasti, jotta silloista saatava

tietoaineisto on vertailukelpoista ja luotettavaa (Siltojen toimintalinjat 2023, 26). On silti aina olemassa mahdollisuus esimerkiksi sille, ettei tarkastaja huomaa kaikkia vaurioita. Rakenteesta otettujen näytekappaleiden ominaisuudet ja laboratoriotulokset edustavat näytteenottokohdista saatavia tietoja, joten näytteenottokohdat on suunniteltava hyvin ja otannan tulee olla riittävä. Tarkoituksena on saada luotettava arvio rakenteen kunnosta ja mahdollisista korjaustarpeista (Tairakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat 2018, 38). Lisäksi vain rakenteen näkyvät osat voidaan tarkastaa, joten täysin kattavaa kunnan määrittäystä ei voida suorittaa.

Laskentatarkasteluun liittyvät epävarmuudet kohdistuvat lähtötietoihin. Sillan suunnitelmissa esitetyt mitat voivat erota todellisesta rakenteesta, eikä niiden tarkastaminenkaan ole mahdollista kuin näkyviltä osin. Sillasta tulisikin olla käytössä sillan mitattavissa olevia rakenteita vastaavat toteumapiirustukset, jotta tarkasteluun liittyviä epävarmuuksia olisi vähemmän. Maatukien mitat vaikuttavat omapainoon, joten ne vaikuttavat myös geotekniseen laskentatarkasteluun. Suunnitelmien perusteella laaditut laskelmat eivät ole luotettavia, jos rakenteen todelliset mitat siltapaikalla ovat erit.

Jäljellä olevalle käyttöiälle ei ole laskukaavaa, joka osoittaisi aukottomasti kauanko rakenne on vielä käyttökelpoinen. Alusrakenteiden jäljellä oleva käyttöikä perustuukin suunnittelijan laatimaan arvioon, johon vaikuttavat rakenteen nykyinen kunto sekä säilyvyyttä uhkaavien vaurioiden esiintyminen. Vaikka käyttöikää olisikin arvion mukaan runsaasti jäljellä, niin rakenteen kuntoa seuraavaa tarkastustoimintaa ei kuitenkaan sovi unohtaa.

8 POHDINTA

Vastuu sillan kunnosta on sen omistajalla. Suomen ikääntyvän sillaston kunto voi huonontua entisestään tulevaisuudessa, jos korjausvelan kasvua ei saada taittumaan. Yksittäisen sillan kunnan päästessä erittäin huonoksi, voi edessä olla laajan peruskorjauksen sijasta koko sillan uusiminen. Tällöin silta ei pääse tavoitekäyttöikänsä, eikä toiminta ole taloudellisesta tai ympäristöllisestä näkökulmasta kestävää. Hyvällä omaisuudenhallinnalla sekä kunnossapitotoimenpiteiden oikealla ajoituksella voidaan ehkäistä siltojen kunnan kehittymistä erittäin huonoksi.

Sillan päällysrakenteen uusiminen olemassa olevalle alusrakenteelle on varteentotettava vaihtoehto koko sillan uusimiselle, jos sillan päällysrakenteen kunto on päässyt erittäin huonoksi, ja pohditaan koko sillan uusimisen ja erittäin laajan peruskorjauksen vaihtoehtojen välillä. Tämä kuitenkin edellyttää alusrakenteelta tiettyjä edellytyksiä, joiden selvittämiseksi tulee huomioida useita asioita. Tätä osittaiseksi uusimiseksi kutsuttua toimenpidettä varten tulee sillalle laatia toteutuskelpoisuuden arviointi. Siinä annetaan sillan omistajalle selvitys alusrakenteen kunnosta sekä tieto alusrakenteen hyödyntämiskelpoisuudesta uutta päällysrakennetta varten.

Työssä ei tarkasteltu osittaisen uusimisen kannattavuutta taloudellisilla mittareilla. Raha ei kuitenkaan ole ainoa kannattavuuden mittari. Kestävän kehityksen kannalta ajateltuna vanhojen rakenteiden hyötykäyttö edistäisi sekä ekologista että taloudellista kestävyttä. Toisaalta alusrakenteen hyötykäyttö pitää sisällään riskin käyttöiän arvioinnin onnistumiselle. Voiko se johtaa tulevaisuudessa tilanteeseen, jossa päällysrakenne olisi vielä hyväkuntoinen, mutta alusrakenne käyttöikänsä päässä? Tällöin tulisi pohtia päällysrakenteen hyödynnettävyyttä uusille perustuksille tai vaihtoehtoisesti kokonaan uuden sillan rakentamista.

Opinnäytetyön keskeisenä lähdeaineistona käytettiin Väyläviraston laajaa ohjeja julkaisukokoelmaa, jota soveltaen esimerkkisillan arviointi tehtiin. Aineiston luotettavuus on korkeatasoista, sillä Väyläviraston ohjeet ovat velvoittavia ohjeita siltojen tarkastuksissa ja suunnittelussa.

Opinnäytetyön tuloksena laadittiin menetelmäkuvaus alusrakenteelle kohdistettavista toimenpiteistä toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin suorittamiseksi. Tämän alkuperäisenä tavoitteenakin määritellyn tuloksen saavuttamisessa edesauttoi esimerkkisillan tarkastelun laatiminen osana toimeksiantajan ja ELY-keskuksen välistä erillistä toimeksiantoa. Menetelmäkuvauksen lisäksi opinnäytetyössä tuotiin kattavasti ilmi Suomen siltojen ikä- ja materiaalitietoutta sekä nykykunnan tilaa. Opinnäytetyö oli tekijälleen opettavainen kokemus.

LÄHTEET

- Airaksinen, A. 2022. Turun saariston siltatyömaalla pääraaka-aine vaihtui teräksestä betoniin – Ukrainan sota nosti hintoja ja ajoi muuttamaan suunnitelmia. Tekniikka & Talous 19.7.2022. Viitattu 14.11.2023
<https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/turun-saariston-siltatyomaalla-paaraaka-aine-vaihtui-teraksesta-betoniin-ukrainan-sota-nosti-hintoja-ja-ajoi-muuttamaan-suunnitelmia/be28add-627a-473c-a277-115c253b636c>.
- Airaksinen, M. 2023. Ramboll Finland Oy. Head of Department. Keskustelu yksikön toiminnasta ja esitysmateriaalista 13.11.2023.
- Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Eurokoodin soveltamisohje. Väyläviraston ohjeita 5/2022. Viitattu 15.11.2023
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-5_NCCI_2_web.pdf.
- Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje. Betonisiltojen levennyksen ja suurempien valukorjausten mitoitus- ja suunnitteluohje 22.12.2011. Liikenneviraston ohjeita 17/2011. Viitattu 7.11.2023
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120923/lo_2011-17_978-952-255-724-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Degerman, R. 2023. Ouluun tulossa uusi maamerkki — uuden Hartaansillan rakentaminen aloitetaan kesällä. Yleisradio 7.6.2023. Viitattu 17.10.2023
<https://yle.fi/a/74-20035651>.
- Geotekninen suunnittelu – NCCI 7. Eurokoodin soveltamisohje. Väyläviraston ohjeita 14/2023. Viitattu 15.11.2023
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-14_NCCI_7_web.pdf.
- HE 30/1998 vp. Hallituksen esitys Eduskunnalle laiksi viranomaisten toiminnan julkisuudesta ja siihen liittyviksi laeiksi. Viitattu 10.11.2023
http://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/he_30+1998.pdf.
- Junes, J., Lumme, E. & Miettinen, H-M. 2022. Liikenneväylien korjausvelka 2022. Väyläviraston julkaisu 58/2022. Viitattu 29.10.2023
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-997-4>.
- Järvenpää, E. 1989. Suunnitteluperusteet. Teoksessa J. Nieminen, A. Jutila, E. Järvenpää, P. Kaista, P. Karola, Y. Matikainen, H. Paavola, H. Roos, S. Viita & J. Vähäaho (toim.) RIL 179 Sillat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., 96–107.
- Jätäkänkynttilä – The Lumberjack’s Candle. Tielaitoksen selvityksiä 30/1992. Viitattu 14.10.2023
<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138426/3616tie.pdf?sequence=1>.

Laaksonen, A. 2018. Sillansuunnittelu. Teoksessa P. Pulkkinen, O-P. Aalto, A. Laaksonen, S. Rantala, M-K. Söderqvist, T. Tirkkonen, I. Vilonen & G. Åström (toim.) RIL 179 SILLAT – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 123–310.

Laki viranomaisen toiminnan julkisuudesta 21.5.1999/621. Viitattu 10.11.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990621>.

Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2022. Liikennejärjestelmäanalyysi. Viitattu 19.10.2023 <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/liikennejarjestelma/liikennejarjestelmaanalyysi>.

Lindholm, K. 2022. Yksityisteiden silloissa muhii miljardiluokan korjausvelka. Maaseudun Tulevaisuus 6.1.2022. Viitattu 22.10.2023 <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/d899cf54-2825-562c-b20c-269ce10d745a>.

Metsähallitus 2023. Metsähallitus ylläpitää mittavaa metsäautotieverkostoa. Viitattu 22.10.2023 <https://www.metsa.fi/vastuullinen-liiketoiminta/metsatalous/metsatiet/>.

Metsäkeskus 2023. Yksityisteiden siltakartoitus. Viitattu 22.10.2023 <https://www.metsakeskus.fi/fi/yksityisteiden-siltakartoitus>.

Nordec 2023. Nordec Easy Bridge – Vakioratkaisu kaikille teille. Viitattu 14.11.2023 <https://nordec.com/fi/nordec-easy-bridge/>.

Palkoaho, M. 2023. Helsingin uusi maamerkki nousee meren ylle. Helsingin Sanomat 5.9.2023. Viitattu 17.10.2023 <https://www.hs.fi/kaupunki/art-2000009833266.html>.

Pantsu, P. 2023. Lähes sata maantiesiltaa remontin alla – katso listasta, osuuko hidastava pullonkaula kesälomareitillesi. Yleisradio 2.7.2023. Viitattu 22.10.2023 <https://yle.fi/a/74-20036915>.

Pohjarakennusohjeet sillansuunnittelussa 1999. Helsinki: Tielaitos. Viitattu 15.11.2023 <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/prakos99.pdf>.

Pulkkinen, P. 2018. Sillan peruskäsitteet ja siltatyypit. Teoksessa P. Pulkkinen, O-P. Aalto, A. Laaksonen, S. Rantala, M-K. Söderqvist, T. Tirkkonen, I. Vilonen & G. Åström (toim.) RIL 179 SILLAT – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 37–61.

Rakennuslehti 2023. Suurimmat-työkalu. Viitattu 14.11.2023 <https://www.rakennuslehti.fi/suurimmat/>.

Rakennusteollisuus 2023. Korjausvelka. Viitattu 29.10.2023 <https://www.rt.fi/Tietoa-alasta/Korjausrakentaminen1/Korjausvelka/>.

Ramboll 2023a. Ramboll yrityksenä. Viitattu 14.11.2023 <https://www.ramboll.com/fi-fi/ramboll-yrityksena>.

Ramboll 2023b. Rambollin historia. Viitattu 14.11.2023
<https://www.ramboll.com/fi-fi/rambollin-historia>.

Ramboll 2023c. Säätiön omistama yritys. Viitattu 14.11.2023
<https://www.ramboll.com/fi-fi/saation-omistama-yritys>.

Rantanen, J. 2014. Korjausvelan laskentaperiaatteiden määrittelyshanke. Viitattu 29.10.2023 <https://www.kuntaliitto.fi/julkaisut/2014/1629-korjausvelan-laskentaperiaatteiden-maarityshanke>.

Saarinen, M. 2023. Aikamoinen työmaa. Helsingin Sanomat 28.10.2023. Viitattu 29.10.2023 <https://www.hs.fi/visio/art-2000009917579.html>.

San Francisco Travel Association 2023. Golden Gate Bridge. Viitattu 19.10.2023 <https://www.sftravel.com/things-to-do/attractions/iconic-sf/golden-gate-bridge>.

Sillantarkastuskäsikirja. Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Väyläviraston ohjeita 33/2020. Viitattu 22.10.2023
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-33_sillantarkastuskasikirja_web.pdf.

Sillat ja ympäristö. Liikenneviraston ohjeita 3/2013. Viitattu 19.10.2023
https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121540/lop_2013-03_sillat_ymparisto_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Siltakaiteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 9/2022. Viitattu 6.11.2023
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-9_siltakaiteiden_suunnittelu.pdf.

Siltojen kantavuuslaskentaohje. Liikenneviraston ohjeita 36/2015. Viitattu 7.11.2023 <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-196-1>.

Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1. Eurokoodin soveltamisohje. Liikenneviraston ohjeita 24/2017. Viitattu 15.11.2023
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-24_ncci1_web.pdf.

Siltojen toimintalinjat. Väyläviraston ohjeita 9/2023. Viitattu 22.10.2023
https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-9_siltojen_toimintalinjat_web.pdf.

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry 2018. RIL 179 SILLAT – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Söderqvist, M-K. 1989. Tilastotietoja silloista. Teoksessa J. Nieminen, A. Jutila, E. Järvenpää, P. Kaista, P. Karola, Y. Matikainen, H. Paavola, H. Roos, S. Viita & J. Vähäaho (toim.) RIL 179 Sillat. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y., 32–43.

Taitorakenteiden erikoistarkastusten laatuvaatimukset – Sillat. Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Liikenneviraston ohjeita 28/2018. Viitattu 25.10.2023
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-401-6>.

Taitorakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. Viitattu 16.10.2023 https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf.

Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat. Taustaselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 26/2015. Viitattu 6.11.2023 <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-090-2>.

Tieliikennelaki 10.8.2018/729. Viitattu 6.11.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2018/20180729>.

Versowood 2023a. Puusilta – ekologista ja näyttävää siltarakentamista. Viitattu 14.11.2023 <https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/maa-ja-tierakentamisen-tuotteet/puusillat>.

Versowood 2023b. Tyyppihyväksytyt sillat. Viitattu 14.11.2023 <https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/maa-ja-tierakentamisen-tuotteet/tyyppihyvaksytyt-sillat>.

Väylävirasto 2021. Lahottajasienten aiheuttamat vauriot puusilloissa on kartoitettu. Viitattu 14.11.2023 <https://vayla.fi/-/lahottajasienten-aiheuttamat-vauriot-puusilloissa-on-kartoitettu>.

Väylävirasto 2022a. Materiaalien korkeat hinnat ja huono saatavuus haastavat rakentamista. Viitattu 14.11.2023 <https://vayla.fi/-/materiaalien-korkeat-hinnat-ja-huono-saatavuus-haastavat-rakentamista>.

Väylävirasto 2022b. Teräs ja betoni – siltarakentamisen dynaaminen duo. Viitattu 6.11.2023 <https://vayla.fi/-/teras-ja-betoni-siltarakentamisen-dynaaminen-duo>.

Väylävirasto 2022c. Tutkimus Suomen siltojen alkalikiviainesreaktioherkkyydestä. Viitattu 18.11.2023 <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/tutkimukset/alkalikiviaines>.

Väylävirasto 2023a. Miten Suomen sillat voivat? Viitattu 12.11.2023 <https://vayla.fi/-/miten-suomen-sillat-voivat->.

Väylävirasto 2023b. Taitorakennerekisteri. Väyläviraston taitorakenteiden omaisuudenhallintajärjestelmä. Viitattu 26.10.2023 <https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/trex>.

Väyläviraston sillat 31.12.2021. Sillaston rakenne, palvelutaso ja kunto. Väyläviraston julkaisuja 53/2022. Viitattu 14.10.2023 <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-317-991-2>.

Ympäristöministeriö. 15.3.2023. Mitä on kestävä kehitys? Viitattu 7.11.2023 <https://ym.fi/mita-on-kestava-kehitys>.

LIITTEET

- Liite 1. Esimerkkisillan toteuttamiskelpoisuuden arvioinnin geotekniset ja rakenteelliset laskelmat (Ei-julkinen)