



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VICTORIA KESKINEN  
PUUSILLAT SUOMESSA

Kandidaatintyö

Ohjaaja:  
Yliopistonlehtori Olli Kerokoski  
Työ jätetty tarkastettavaksi  
28. helmikuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**VICTORIA KESKINEN:** Puusillat Suomessa – Wooden Bridges In Finland

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 25 sivua

Helmikuu 2018

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastaja: Yliopistonlehtori Olli Kerokoski

Avainsanat: puusilta, puu, siltatyyppi

Työn aiheena on puusillat Suomessa. Aluksi käydään läpi siltojen perusasioita, eli käsitellään siltojen osia ja päämittoja, joille on monia omia nimityksiä. Lisäksi käsitellään siltojen ulkonäkötekijöitä ja nimityksiä, eli miten silta nimetään ja mitä nimi kertoo sillasta. Perusasioiden ymmärtäminen on tärkeää, jotta voi keskustella ja lukea silloista niiden oikeilla termeillä ilman väärinkäsityksiä.

Puun etuja ja haittoja rakennusmateriaalina on tärkeää ymmärtää sillanrakentamisessa, sillä on oleellista tietää, kuinka puu käyttäytyy ja minkälaisia rakenteita siitä voidaan tehdä. Työssä selvitetään, minkälaisia puusiltojen rakenteet ovat ja mikä on puusiltojen tilanne Suomessa tällä hetkellä. Puusilloissa käytettävälle puutavarakkeelle asetetaan paljon vaatimuksia, jotta silloista saadaan vuosikymmeniä kestäviä. Lisäksi puusilloille on määrittänyt muun muassa lahontorjuntaan, liittimiin ja kuormituksiin liittyen.

Puu toimii silloissa puristettuna, vedettynä tai taivutettuna rakenteena, eli silloissa käytetään hyväksi puun parhaita ominaisuuksia. Puusiltojen tyyppejä käsitellään esimerkkien avulla yleisimpien puusilloissa käytettävien tyyppien osalta. Siltatyypeistä käsitellään palkki-, ansas-, kaari ja katettu silta, joita on rakennettu jo pidempään, ja liittorakenne- ja poikittaisjännitetty silta, jotka ovat uudempia.

Lopussa selvitetään puusiltojen historiaa Suomessa; milloin puusiltoja on alettu tekemään ja miksi niiden tekeminen on vähentynyt. Lisäksi tutkitaan puusiltojen nykyhetken tilannetta ja mahdollisia tulevaisuuden näkymiä. Työssä käsitellään puusiltojen suunnittelunäkökohtia nykyään verraten siihen, että aluksi siltoja vain rakennettiin, eikä suunniteltu kovinkaan paljoa. Ennen sillat eivät tästä syystä olleet vuosikymmeniä kestäviä, vaan niitä jouduttiin rakentamaan uudelleen, jos edellinen romahti. Nykyisin puusillat suunnitellaan monen eri suunnittelualueen yhteistyönä ja otetaan huomioon esimerkiksi lujuusopillinen toiminta sekä käytetään usein tietomalleja kokonaisvaltaisen suunnittelun takaamiseksi.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että työ kertoo siltojen peruskäsitteistä ja puusiltojen tilanteesta Suomessa nyt ja menneinä vuosina. Tutkimuksen lopputuloksena voidaan päätellä, että erityisesti kevyen liikenteen siltoja kannattaa rakentaa puusta, mutta muuten puusiltoja rakennetaan lähinnä maisemallisen syyn vuoksi. Puulla on etunsa sillanrakentamisessa, mutta puusiltojen rakentamista pitäisi tutkia enemmän, jotta puuta osattaisiin hyödyntää vielä paremmin siltojen rakentamisessa.

## ALKUSANAT

Tämä kandidaatintyö on tehty lukuvuoden 2017–2018 aikana Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laboratoriolle. Työn ohjaajana toimii yliopistonlehtori Olli Kerokoski ja teknisissä asioissa asiantuntijana on professori Anssi Laaksonen.

Kiitän kandidaatintyön ohjaajaa ja tarkastajaa yliopistonlehtori Olli Kerokoskea työn ohjauksesta ja neuvoista. Lisäksi kiitän professori Anssi Laaksosta työn teknisten asioiden neuvomisesta. Haluan kiittää myös äitiäni ja muita läheisiä henkilöitä, jotka jaksoivat kuunnella ja tsemppata työn tekemisessä sekä auttoivat työn lukemisessa ja oikeinkirjoituksessa.

Tampereella, 28.2.2018

Victoria Keskinen

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	SILLAN PERUSKÄSITTEITÄ.....	3
	2.1 Sillan osat .....	3
	2.2 Päämitat.....	4
	2.3 Siltojen nimitykset.....	6
	2.4 Ulkonäkötekijät .....	7
3.	PUU SILTOJEN MATERIAALINA.....	9
	3.1 Puun etuja rakennusmateriaalina.....	9
	3.2 Puun epäedullisia ominaisuuksia .....	10
	3.3 Käytettävä puutavara.....	11
4.	PUUSILTOJEN TYYPPEJÄ.....	13
	4.1 Palkkisilta .....	13
	4.2 Ansasilta .....	14
	4.3 Kaarisilta .....	15
	4.4 Liittorakennesilta.....	17
	4.5 Poikittaisjännitetty silta .....	19
	4.6 Katettu silta .....	19
5.	PUUSILTOJEN HISTORIA, NYKYHETKI JA TULEVAISUUS .....	21
	5.1 Historia.....	21
	5.2 Nykyhetki ja tulevaisuus .....	23
6.	YHTEENVETO .....	25
	LÄHTEET.....	26

# 1. JOHDANTO

Ekologisuus on yhä edelleen kasvava trendi, mikä näkyy myös rakentamisessa. Puusta on tullut suosittu rakennusmateriaali, ja sen käyttöä pyritään lisäämään. Puu on uusiutuva luonnonvara, mikä on yksi tärkeimmistä eduista, kun puhutaan luonnonvaroista ja niiden loppumisesta. Lisäksi puutuotteiden tuotanto kuluttaa vähän energiaa ja aiheuttaa suhteellisen vähän ympäristön pilaantumista. Puuta yritetään käyttää yhä enemmän rakentamisessa, mutta puurakennuksien rakentamista on tähän mennessä onnistuttu lisäämään paremmin kuin puusiltojen rakentamista.

Puusilloista on aiemmin tehty erilaisia tyyppiratkaisuja sekä kevyen liikenteen silloille että tiesilloille. Puusilloilla on mahdollisuuksia tulla yleisemmiksi silloiksi tyyppisarjojen ja puun omien materiaali- ja rakentamisetujensa ansiosta. Puusillat ovat perinteisesti olleet kalliita ja näyttäviä rakenteita, joten puusiltoja ei ole rakennettu kovinkaan paljon esimerkiksi Suomen maanteille.

Kandidaatintyön aiheena on puusillat Suomessa. Puusillat ovat näyttäviä ja taidolla tehtyjä rakenteita, jotka vaativat erityisosaamista, ja ne ovat Suomessa nykyisin melko harvinaisia. Teräs- ja betonisillat ovat korvanneet puun uusissa ja osittain myös vanhoissa silloissa lähes kokonaan, sillä puu ei pärjää betonille esimerkiksi jäykkyydessä ja törmäyksen kestävyudessa, eikä teräkselle sitkeydessä ja lujuudessa. Tarkoituksena on selvittää yleisesti siltojen piirteitä ja puuta siltojen materiaalina sekä tutkia siltojen nykyhetken tilannetta ja rakentamismahdollisuuksia Suomessa.

Tutkimuksessa selvitetään, mitkä ovat puun hyvät ja huonot ominaisuudet ja minkälaisia siltarakenteita puusta tehdään. Päättökysymys on, millaisia puusiltarakenteita voidaan tehdä. Alakysymyksiä ovat, mitkä ovat puun etuja ja haittoja sillanrakennuksessa, mikä on puusiltojen nykyhetken tilanne ja mihin puusillat sopisivat. On tärkeää tutkia puun mahdollisuuksia sillanrakentamisessa, sillä puurakentaminen on suhteellisen ekologista ja olisi hyvä hyödyntää kotimaista uusiutuvaa luonnonvaraa. Puusilloilla on monia etuja muihin materiaaleihin nähden, esimerkiksi keveys ja muokattavuus.

Aluksi työssä käydään läpi siltojen peruskäsitteitä, jotta saadaan käsitys muun muassa sillan perusosista ja päämitoista. Seuraavaksi selvitetään puun etuja ja haittoja sillanrakennusmateriaalina ja käsitellään silloissa käytettävää puutavaraa. Keskivaiheilla työssä käsitellään erilaisia puusiltatyyppejä ja mihin eri tyyppiset sillat sopivat. Lisäksi käydään läpi puusilloissa käytettäviä rakenneratkaisuja. Työn lopussa päästään tutustumaan puusiltojen historiaan, nykyhetkeen ja tulevaisuuteen sekä puusiltojen suunnitteluun.

Tutkimus suoritetaan perehtymällä puusiltojen tilanteeseen Suomessa, siltojen rakentamiseen ja puuhun materiaalina. Tutkimus on kirjallisuusselvitys, joten tietoa etsitään lähinnä kirjallisuus- ja internetlähteistä. Kirjallisuus on TTY:n kirjastosta, Pirkanmaan kirjastoista ja tieteellisistä julkaisuista. Lisäksi materiaalina käytetään lehtiartikkelien tai uutisten esimerkkejä ottaen huomioon, etteivät ne välttämättä ole tieteellisiä. Kokonaisuudessaan työssä on tarkoitus tutkia puusiltojen nykyhetken tilannetta sekä selvittää puusiltojen hyötyjä ja mahdollisuuksia.

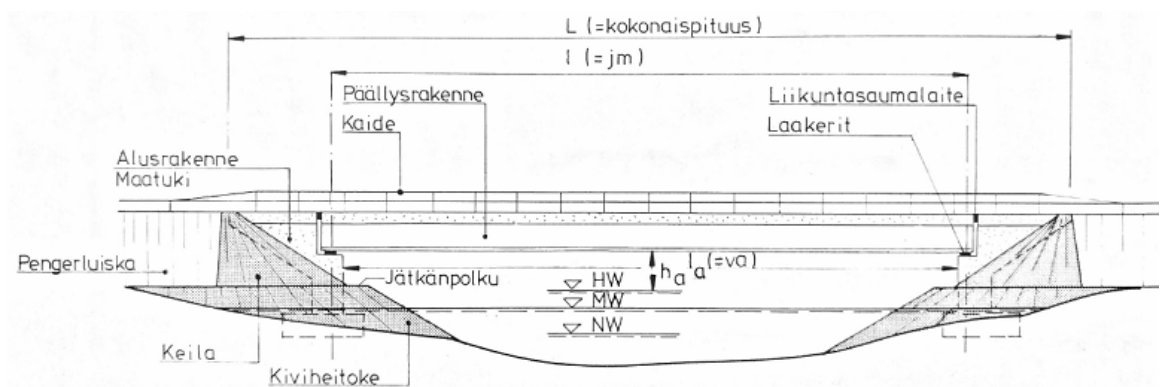
## 2. SILLAN PERUSKÄSITTEITÄ

Sillan peruskäsitteet on hyvä tietää, jotta voi ymmärtää, mistä puhutaan ja miten siltarakenteet toimivat. Yleensä silloilla on kaksi rakenteellisesti toisistaan poikkeavaa osaa, jotka ovat alus- ja päällysrakenne. Päällysrakenteen tehtävänä on siirtää kuormat silta-aukon yli alusrakenteille, jotka siirtävät kuormat edelleen kantavalle maaperälle. [1, s. 17] Silta on tiestön osa, mutta se on myös osa siltapaikan ympäröivää luontoa. Silloille on annettu teknisten vaatimusten lisäksi ulkonäköön liittyviä vaatimuksia, jotta ne sopivat ympäröivään ympäristöön.

### 2.1 Sillan osat

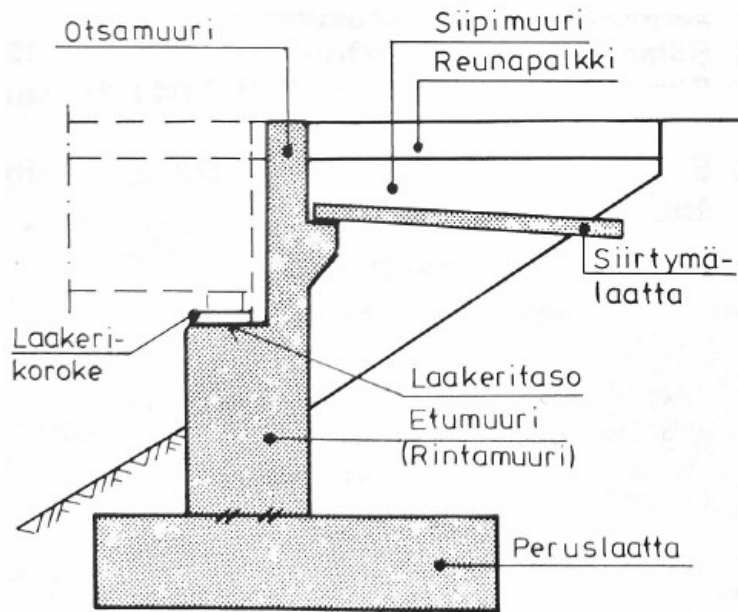
Silta voidaan useimmiten jakaa päällyys- ja alusrakenteeseen. Sillan päällysrakenteen tehtävänä on siirtää kuormat silta-aukon yli alusrakenteille. Päällysrakenteeseen kuuluvat kannatin- ja kansirakenne, pintarakenteet sekä varusteet ja laitteet. Joskus päällysrakenteisiin lasketaan kuuluvaksi vain kannatin- ja kansirakenne, jolloin pintarakenteet sekä varusteet ja laitteet ovat omia osia.

Silloilla on erilaisia kannatinrakenteita, joiden päätyyppejä ovat laatta-, palkki-, kehä-, kaari-, holvi-, ristikko-, ansas-, putki- ja erilaiset köysirakenteet. Pintarakenteeseen kuuluvat vedeneriste ja päällyste. Varusteita ja laitteita ovat muun muassa laakerit, liikunta- ja saumat, kuivatuslaitteet, kaiteet ja kosketussuojarakenteet sekä erilaiset valaistukseen, kunnossapitoon, tarkastukseen ja sotatilannetta varten olevat varusteet ja laitteet. [1, s. 17] Kuvassa 1 on havainnollistettu sillan pääosia ja muutamia päämittoja.



**Kuva 1.** Sillan pääosia ja -mittoja [1, s. 16].

Alusrakenteisiin kuuluvat perustukset, maa- ja päätytuet, välituet, holvi- ja kaarisiltojen kantamuurit sekä köysirakenteiden pylonit ja ankkurointituet. [1, s. 17][2, s. 55–59] Kuvassa 2 on alusrakenteisiin kuuluva perinteinen maatuki.



**Kuva 2.** Perinteinen maatuki ja sen osat [1, s. 17].

Siltojen perustamistavan valintaan vaikuttavat siltapaikan geotekniset ominaisuudet sekä eri perustamistapojen tekniset ja taloudelliset edut ja haitat. Yleisimpiä perustamistapoja ovat maanvarainen laattaperustus, kallionvarainen laatta- tai anturaperustus, paalutettu laattaperustus ja paalujen varainen perustus ilman laattaperustusta. Tukien painumat ja epätasaisen painuman aiheuttamat siirtymät lisäävät usein rakenteen rasituksia, joten siltojen perustukset on syytä viedä kovaan pohjaan asti, jotta vältytään painumien haittavaikutuksilta. [2, s. 50–54]

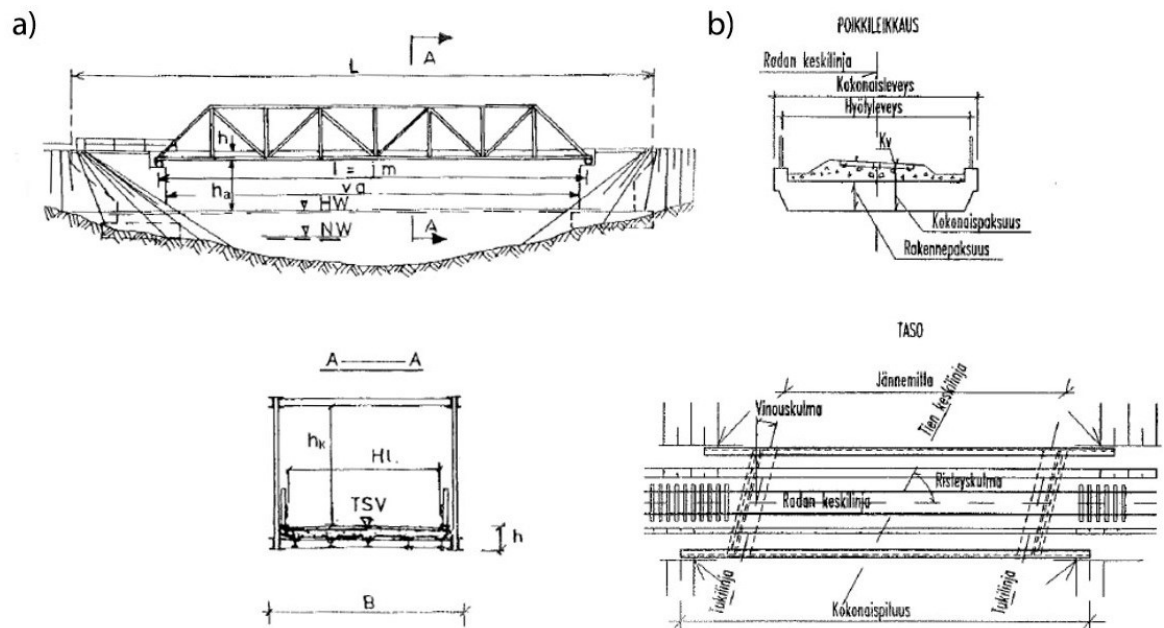
## 2.2 Päämitat

Silloilla on omat nimitykset kaikille sen mitoille. Siltaa suunniteltaessa on osattava käyttää oikeita termejä sillan mitoista. Ylipäänsä aina, kun aiheena ovat sillat, on tärkeää ymmärtää sillan päämittoja, jotta voidaan ymmärtää silta kokonaisuutena. Sillan keskeisiä päämittoja ovat

- sillan kokonaispituus  $L$
- jännemitta  $J_m (l)$
- kokonaisleveys  $B$
- hyödyllinen leveys  $Hl$
- vapaa aukko  $Va$
- vapaa alikulkukorkeus  $h_a$
- päällysrakenteen rakennekorkeus  $h$
- päällysrakenteen kokonaispaksuus
- vapaa läpikulkukorkeus  $h_k$
- vinouskulma  $\alpha$

- risteyskulma  $\beta$ . [1, s. 18]

Sillan päämittoja on havainnollistettu kuvan 3 kohdissa a) ja b).



**Kuva 3.** Sillan päämittoja: a) vesistön ylittävä tiesilta sekä alla sen poikkileikkaus ja b) tien ylittävän rautatiesillan poikkileikkaus ja alla tasopiirustus [2, s. 6].

Sillan kokonaispituus tarkoittaa siipimuurien tai niitä vastaavien rakenteiden äärimmäisten päiden välistä suurinta etäisyyttä mitattuna sillan reunalinjoja pitkin. Jännemitta sen sijaan tarkoittaa sillan keskilinjaa, tien paalutuslinjaa tai radan keskilinjaa pitkin mitattua etäisyyttä päällysrakenteen tukilinjalta tukilinjalle. Kokonaisleveys on päällysrakenteen kantavan rakenteen ulkoreunojen etäisyys toisistaan sillan keskilinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa mitattuna. Hyödyllinen leveys taas on kaiteiden sisäpintojen välinen pienin etäisyys sillan keskilinjaa vastaan kohtisuorassa suunnassa mitattuna. [1, s. 18]

Vapaa-aukko tarkoittaa tukirakenteiden vapaata väliä kulkukorkeudella alikulkevaa väylää vastaan kohtisuorassa suunnassa mitattuna. Vapaa alikulukorkeus tarkoittaa päällysrakenteen alapinnan ja alittavan väylän mitoitusvesipinnan, tienpinnan tai kiskon selän välistä pienintä korkeuseroa kulkuaukon kohdalla mitattuna. Vapaa läpikulukorkeus taas tarkoittaa sillan yläpuolisten rakenneosien alapinnan ja tienpinnan tai kiskonselän välistä korkeuseroa. [1, s. 18]

Päällysrakenteen rakennekorkeus on kantavan rakenteen ylä- ja alapinnan välinen korkeusero. Päällysrakenteen kokonaispaksuus on tien tasausviivan tai radan korkeusviivan ja kantavan rakenteen alapinnan välinen korkeusero. Vinouskulma tarkoittaa päällysrakenteen tukilinjaa ja sillan keskilinjaa normaalin välistä kulmaa. Risteyskulma taas tarkoittaa alittavan ja ylittävän väylän keskilinjien välistä kulmaa. [1, s. 18]

Lisäksi silloilla on niin sanotut pääpisteet, joiden avulla määritellään sillan sijainti. Näitä ovat pääpisteet (P), jotka ovat tukilinjan ja reunapalkin sisäreunan leikkauspisteitä, ja pääpisteet (S), jotka ovat päätytukien siipimuurien ulkonurkkien koordinaattipisteet. [3, s. 8]

## 2.3 Siltojen nimitykset

Sillalle annetaan nimi, joka koostuu paikan erisimestä ja sillan toimintaa kuvaavasta nimestä. Lisäksi sillalla voi olla erikseen annettu nimi. Siltojen toimintaan perustuvat nimet kuvaavat, millaisessa käytössä silta on, eli mikä kulkee yli ja mikä ali. [1, s. 5][3, s. 1–2] Sillat nimetään useimmiten kevyemmän kulkuneuvon mukaan. Seuraavassa luettelossa esitellään työn kannalta oleellisimpia siltojen nimimääreitä sekä niiden selityksiä. Tie- ja rautatiesilloille on omat nimityksensä, mutta tässä ei käsitellä kaikkia rautatiesiltojen nimiä, sillä rautatiesiltoja ei enää nykyisin ole juurikaan puisia. Nimien samankaltaisuuden takia selitetään kuitenkin muutama rautatiesilta, jotta voidaan hahmottaa paremmin sillan nimeämistä.

- *Alikulkukäytävä* on kevyen liikenteen väylän ylittävä tiesilta.
- *Alikulkusilta* on tien ylittävä rautatiesilta.
- *Alikäytävä (asematunneli)* on kevyen liikenteen väylän ylittävä rautatiesilta.
- *Kevyen liikenteen sillan* ensisijainen käyttötarkoitus on ylikulkukäytävä (tien yli), ylikäytävä (rautatien yli) tai raittisilta (vesistön yli).
- *Raittisilta* on vesistön ylittävä kevyen liikenteen silta.
- *Ramppisilta* on kahta tietä eritasoristeyksessä yhdistävällä rampilla sijaitseva silta.
- *Ratasilta* on vesistön tai maastoesteen ylittävä rautatiesilta.
- *Risteyssilta* on kahden tien eritasoristeykseen rakennettu silta, joka sijaitsee ylijohdavalla tiellä.
- *Tiesilta* on yleisnimi sillalle, jota kuormittaa tieliikenne.
- *Vesistösilta (silta)* on vesistön ylittämiseksi rakennettu tiesilta.
- *Ylikulkukäytävä* on tien ylittävä kevyen liikenteen silta.
- *Ylikulkusilta* on radan ylittävä tiesilta.
- *Ylikäytäväsilta* on rautatien ylittävä kevyen liikenteen silta. [1, s. 5][3, s. 1–2]

Sillalle annetaan nimen lisäksi tyyppinimike, joka kuvaa sillan pääkannattimen rakennusainetta, staattista toimintaa, pääkannattimien tyyppiä tai muuta siltaa kuvaavaa määritettä. Tyyppinimikkeet on jaettu rakennusaineiden mukaan ja tässä työssä tarkastellaan lähinnä puisia siltoja. Puisen sillan tyyppinimike voi olla esimerkiksi *puinen liimattu palkkisilta* tai *puinen kaarisilta*. [1, s. 5]

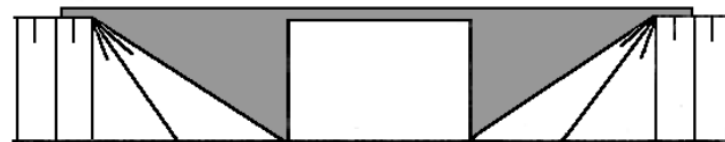
## 2.4 Ulkonäkötekijät

Sillan rakenteet määrittelevät, miltä silta näyttää. Puusillat ovat esteettisiä ja sopivat suomalaiseen maisemaan [4]. Joissakin tilanteissa puinen silta rakennetaan siitä syystä, että se on esteettinen ja sopii hyvin ympäröivään ympäristöön. Rakenteita suunniteltaessa ja mitoitettaessa täytyy siis ottaa huomioon sillan kokonaistoiminnan lisäksi ulkonäkö. Jännemitan suhde rakennekorkeuteen eli hoikkuusluku ja rakennekorkeuden suhde alikulukorkeuteen ovat tärkeitä ulkonäkötekijöitä. [2, s. 86] Hoikkuuslukua on havainnollistettu kuvassa 4.

Hoikkuusluku 5



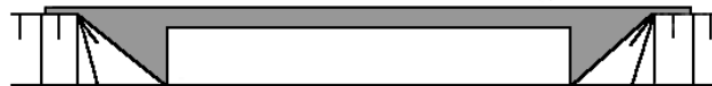
Hoikkuusluku 20



Hoikkuusluku 10



Hoikkuusluku 20



**Kuva 4.** Hoikkuusluku kuvaa jännemitan suhdetta rakennekorkeuteen. Kun jänne pidentyy, hoikkuusluvun tulisi kasvaa. [2, s. 85]

Päällysrakenteen muoto on tärkeä ulkonäköön vaikuttava tekijä. Sillat ovat usein massiivisia, joten suunnittelussa käytetään erilaisia keinoja massiivisuuden tunnun vähentämiseksi. Päällysrakenteen massiivisuutta voidaan vähentää esimerkiksi reunaulokkeella, joka hoikentaa, sillä osa rakenteesta jää tällöin varjoon. Lisäksi uloketta kallistamalla saadaan palkki näyttämään vaaleammalta sen heijastaessa enemmän valoa. Tuntua voidaan korostaa tekemällä vaalea reunapalkki tummaan rakenteeseen, jolloin tumma osa näyttää hoikemmalta. [2, s. 85–87]

Monessa sillan kohdassa valon ja varjon asettumisella voidaan luoda erilaisia vaikutelmia siitä, tuntuuko silta massiiviselta vai kevyeltä. Kuvassa 5 on esimerkki valaistusta

vesistö sillasta, jossa valaistus korostaa sillan asemaa ympäristössä. Siltarakenteessa erityisesti pylonit, köydet ja kaaret ovat hyviä valaistuskohteita, kuten kuvasta 5 voidaan huomata.



**Kuva 5.** Vaasan Raippaluodon sillan valaistus [5].

Muotoilulla ja muodoilla on vaikutusta sillan ulkonäköön. Palkki saadaan näyttämään hoikemmalta muotoilemalla esimerkiksi päällysrakenteen alareuna ilman kulmia. Lisäksi korkea reunapalkki antaa sillalle horisontaalista korostusta ja keveyttä. Jännejakoa on mietittävä, jos silta on useampiaukkoinen. Yleensä sekä lujuusopillisesti että ulkonäöllisesti on järkevää, että esimerkiksi kolmiaukkoisessa sillassa on yksi pidempi pääaukko keskimmäisenä ja kaksi lyhyempää reuna-aukkoa. [2, s. 80–88]

## 3. PUU SILTOJEN MATERIAALINA

Puu on yksi vanhimmista sillanrakennusmateriaaleista, ja sen työstäminen vaatii taitoa. Puu ja luonnonkivi ovat olleet tärkeimmät sillanrakennuksessa käytettävät materiaalit 1900-luvun alkuun asti [6, s. 3]. Tämän jälkeen betoni- ja terässillat ovat yleistyneet siltojen rakennusmateriaalina, mutta puutakin käytetään edelleen [2, s. 17]. Puulla on siltarakenteelle sekä edullisia että haitallisia ominaisuuksia, joten puuta pitää osata käyttää oikein ja hyödyntää sen edut siltojen rakentamisessa.

### 3.1 Puun etuja rakennusmateriaalina

Rakennusmateriaalina puu on kevyttä, lujaa ja helposti muokattavaa. Keveyden ansiosta puusilloja on helppoa kuljettaa, nopea rakentaa ja kätevä asentaa vaikeisiin paikkoihin. Puusillat voidaan esivalmistaa tehtaissa pitkälle valmiiksi ja kuljettaa sillan osina tai lohkoina rakennuspaikalle. Puusilloissa on usein yksinkertainen liitostekniikka, joka myös nopeuttaa asennusta. [7] Nopean asennuksen ansiosta mahdollista liikennettä ei tarvitse häiritä pitkiä aikoja. Puusilta ei tarvitse massiivisia perustuksia, mutta on kuitenkin hyvinkin kantokykyinen [4]. Siltapaikalla ei siis tarvitse tehdä välttämättä niin suuritöisiä perustuksia kuin muilla silloilla. Puusilta saadaan heti asennuksen jälkeen vesieristettäväksi ja pinnoitettavaksi, minkä jälkeen se voidaan ottaa liikenteen käyttöön [7].

Lujuus on tärkeä ominaisuus siltarakenteelle. Puun lujuus riippuu sen tiheydestä, sillä puun lujuus lisääntyy tiheyden kasvaessa. Tiheys ei kuitenkaan ole ainoa selittävä tekijä lujuudelle, sillä sydänpuun kestävyys selittyy sen suurella hartsi- ja pihkapitoisuudella. Puun lujuuteen vaikuttaa paljon se, missä suunnassa syitä vastaan puuta kuormitetaan. Taivutuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyden suhteen sen syiden suunnassa. Puun syiden suuntainen vetolujuus on suuri, usein 10–20 kertainen verrattuna syitä vastaan kohtisuoraan lujuuteen. Tiheyden kautta lujuuteen vaikuttavat myös puun kosteus, kimmoisuus ja kulutuskestävyys. Lisäksi lujuuteen vaikuttaa, onko puu kevät- vai kesäpuuta ja onko puussa oksia, vikoja tai halkeamia. [8]

Puusiltojen rakennus- ja elinkaarikustannukset ovat kilpailukykyisiä muiden siltojen kanssa. Myös puusiltojen ylläpito- ja korjauskulut ovat usein pienempiä kuin betoni- ja terässilloilla. Lisäksi puu on uusiutuva ja kotimainen materiaali, joka varastoi hiiltä ja kasvaessaan sitoo ilman hiilidioksidia. [7] Puun suojaustapoja on kehitetty ympäristöystävällisemmiksi, sillä aiemmin on käytetty esimerkiksi arseenia ja kromia, jotka ovat myrkkijä [2, s. 49]. Myrkkijien käyttö on ristiriidassa sen kanssa, että puuta käytetään ekologisuuden vuoksi, joten suojausmenetelmien kehitys on hyvä asia puusiltojen rakentamiselle. Puusilloja voidaan suojata muun muassa maalaamalla, suojaverhouksella, viemällä pääpalkit kansirakenteen suojaan tai kattamalla silta.

Puuta on opittu käyttämään uudelleen ja eri tavalla kuin ennen, jolloin on päästy pidempiin vapaisiin aukkoihin. Sotien jälkeen 1900-luvulla on rakennettu vielä pieniä siltoja, joiden vapaan aukon pituus on ollut suurimmillaan 6 metriä (ns. pioneerisilta), mutta 1970-luvulla Tiehallinnon laatimalla liimapuupalkkisiltojen tyyppisuunnitelmalla on päästy 20 metrin vapaisiin aukkoihin [2, s. 49]. Puusilloista on edelleen kehitetty 1990-luvun lopulla uudenlainen rakennetyyppi, jossa liimapuupalkki ja betonilaatta toimivat liittorakenteena, jolloin saadaan kulutusta kestävä kansirakenne ja hyödynnetään betonin hyvä puristuslujuus [2, s. 49]. Puusta osataan siis hyödyntää hyviä ominaisuuksia, mutta parantaa sen heikkouksia käyttämällä lisäksi muitakin materiaaleja.

### 3.2 Puun epäedullisia ominaisuuksia

Puulla on myös puutteita sen ominaisuuksissa sillanrakennusmateriaalina. Puu on hygroskooppista, eli sen kosteus vaihtelee ja riippuu ympäröivän ilman kosteudesta. Puu on myös anistrooppista, eli sen ominaisuudet ovat eri suunnissa erilaiset [9, s. B2/1]. Eloperäisenä ja kasvavana materiaalina puu on heterogeenista, eli se ei ole tasalaatuista, eikä sen laatua pystytä valvomaan samoin kuin tehdasvalmistetun tuotteen.

Puun käyttöä rajoittaa sen huono kestävyys kosteissa olosuhteissa, sillä kosteus alentaa puun lujuutta ja jäykkyyttä [2, s. 48–49]. Alhainen jäykkyys sekä leikkaus- ja puristuslujuus syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa ovat puun heikkouksia [8]. Kuormitusajaksi vaikuttaa merkittävästi puun lujuuteen ja muodonmuutoksiin, sillä kuormitusajan kasvaessa puun lujuus pienenee [9, s. A5/3]. Lisäksi puu kestää heikosti mekaanista kulutusta ja liitokset aiheuttavat rajoituksia rakenteen kestävyydelle. Edellä mainitut syyt rajoittavat puusiltojen käyttöä ajoneuvoliikenteen siltoina.

Puu itsessään ei ole kovinkaan kallista, mutta sen työstäminen vaatimukset täyttäväksi voi tulla kalliiksi. Esimerkiksi liimapuurakenteen kallis hinta saattaa olla ratkaisevana esteenä rakentaa puusilta. Muutenkin puusillasta tulee usein kalliimpi vaihtoehto kuin esimerkiksi teräbetonisillasta jo siitä syystä, että puusillan suunnittelu vaati erikoisosaimista. [2, s. 48]

Puusilloille annetaan puolta pienempi käyttöikätaavoite kuin betoni- ja terässilloille, mikä ei puolla puusillan valintaa. Puusiltojen suunnittelukäyttöikä on 50 vuotta, kun taas teräs- ja betonisiltojen suunnittelukäyttöikä on 100 vuotta. Taitorakenteiden, joihin sillat kuuluvat, suunnittelukäyttöikä perustuu kantavien rakenteiden laatuvaatimuksiin. Suunnittelukäyttöikä otetaan huomioon laatuvaatimusten mukainen rakentaminen ja sillan koko elinkaaren mittainen, säilyvyyden varmistava hyvä päivittäinen kunnossa- ja ylläpito. Kaikki rakenneosat eivät kestä suunniteltua käyttöikää, vaan niitä uusitaan kokemuseräisin määrävällein, mistä johtuen puurakenteita uusitaan keskimäärin useammin kuin teräs- ja betonirakenteita. Esimerkiksi puusiltojen kannet uusitaan 20 vuoden välein, kun taas teräsrakenteiden pintakäsittelyn uudismaalaus tehdään 35 vuoden välein. [10, s. 49–50]

Haitallisia ominaisuuksia ovat puun pinnan äkillinen kuivuminen ja auringon ultraviolettisäteilyn aiheuttamat pinnan muutokset. Puun pinnan äkillisen kuivumisen aiheuttaa suora auringon paiste ja seurauksena on pintahalkeilua. Auringon ultraviolettisäteily aiheuttaa värin muutoksia ja ohuen pintakerroksen halkeilua. [2, s. 49] Puu on alttiina myös biologiselle tuhoutumiselle, kuten lahottajasienille ja hyönteistuhoilille [9, s. A14/1]. Edellä mainitut haitalliset ominaisuudet voidaan kuitenkin välttää suojaamalla puurakenteiden pinnat, mutta tällöin puurakenne ei jää aina näkyviin.

### 3.3 Käytettävä puutavara

Sillanrakentamisessa käytettävälle puutavaralle on annettu tarkat materiaalivaatimukset. Pyöreän ja sahatun puutavaran täytyy olla painekyllästettyä mäntyä, jossa ei saa olla kuorta jäljellä. [11, s. 176] Kantavien rakenteiden lujuusluokan on oltava vähintään C30 ja sekundäärirakenteiden vähintään C24. Lujuusluokissa C-kirjain viittaa sahatavaraan, ja numero tarkoittaa puun taivutuslujuutta. Sormijatketun sahatavaran sormijatkosten tulee olla standardien mukaisia. [12, s. 20]

Liimattua puutavaraa käytetään nykyisin paljon siltojen rakentamisessa ja sillekin asetetaan monenlaisia vaatimuksia. Liimapuuhun käytettävän puutavaran täytyy olla painekyllästettyä mäntyä. Liimapuisten siltojen lujuusluokiksi tulevat todennäköisesti yleistymään kantavien rakenteiden osalta GL32c ja sekundäärirakenteiden osalta GL28c. Lujuusluokissa GL viittaa liimapuuhun, numero tarkoittaa puun taivutuslujuutta ja c-kirjain tarkoittaa, että liimapuu on epähomogeenista. Epähomogeenisen liimapuun poikkileikkauksen reunalamellien lujuusluokka on sisälamelleja korkeampi, kun taas homogeenisessä liimapuussa kaikki lamellit ovat samaa lujuusluokkaa. [12, s. 21]

Liimapuupalkkien ja -laattojen mitoille annetaan hyväksyttävät sallittujen poikkeamien arvot, joita ei saa ylittää [11, s. 176–177]. Liimapuun liimoille on määritelty erikseen vaatimuksia, jotta liimat kestävät. Liimojen ja liimasauvojen lujuuden ja säilyvyyden on oltava sellainen, että sauma säilyy ehjänä koko sillan elinkaaren ajan. Liimojen on täytettävä käyttöluokan 3, eli olosuhteiltaan vaativimman käyttöluokan, asettamat vaatimukset. [12, s. 23]

Puutavaralle on määritelty monenlaisia vaatimuksia lahontorjunnalle, liittimille ja liitososille. Lahontorjuntaan liittyviä vaatimuksia ovat muun muassa puutavaran kyllästämisen standardien mukaan ja valmistaminen ympäristöministeriön laadunvalvonnan alaisena. [11, s. 177–180] Metalliliittimien, -kiinnitysten ja -levyjen täytyy olla korroosionkestäviä tai ne on käsiteltävä sellaisiksi. Korroosioriskiä lisäävät tekijät, kuten suolaus ja puun happamuus, on huomioitava puusillan suunnittelussa metalliosien kohdalla. Metalliliitinten on oltava standardien mukaisia ja niillä täytyy olla viranomaisen tai virallisen tutkimuslaitoksen antama todistus, sertifikaatti, hyväksyntä tai CE-merkintä. [12, s. 23–27]

Kreosoottiöljyä saa ainakin vielä toistaiseksi käyttää puusiltojen kyllästämiseen, vaikka sillä on suojaavan vaikutuksen lisäksi haittavaikutuksia. Kreosoottiöljy on tahraavaa ja epäesteettistä sekä sillä on haju- ja biologisia haittavaikutuksia. [12, s. 26] Kreosoottiöljy on kivihiilitervan tisle, ja se on tehokas ja myrkyllinen puunsuojakemikaali. Siinä on orgaanisia yhdisteitä, jotka ovat vaarallisia sekä ympäristölle että terveydelle. [13] Kreosoottiöljyn käyttöä on vältettävä pohjavesialueilla ja harkittava aina hankekohtaisesti. Esteettisistä syistä kreosoottiöljyä ei yleensä käytetä näkyvissä rakenteissa ilman rakenteellista suojausta. Kreosootin huonoista ominaisuuksista huolimatta silloissa puun työstettyjen pintojen kyllästämiseen suositellaan kreosoottia lukuun ottamatta suolakyllästetyn puun näkyviin jääviä pintoja. [12, s. 26]

Puu voidaan suojata rakenteellisesti, jolloin esimerkiksi kaaret voidaan verhoilla ja kattaa sadetta ja aurinkoa vastaan. Tämän seurauksena reunimmainen palkki saa eri käyttöluokkia kuin sisemmät palkit. Sateen, tuulen ja auringon haittavaikutuksia voidaan torjua huolehtimalla pintaveden poistumisesta riittävin kallistuksin ja vedenpoistolaittein sekä eliminoimalla vettä keräävät rakenteet, kuten kynnykset, painanteet ja kolot. Puurakenteiden riittävästä tuuletuksesta ja tarvittavista suojaetäisyyksistä maahan veteen ja kasvuun on huolehdittava. Sateen, tuulen ja auringon haittavaikutuksia voidaan torjua sillan ja ympäristön tarkoituksenmukaisilla materiaalivalinnoilla, eli valitaan esimerkiksi pintarakenteiksi puuta suojaavia materiaaleja ja aineita. [12, s. 26] Rakenteellisella suojauksella vaikutetaan sillan ulkonäköön, eikä puu aina jää näkyväksi rakenteeksi, vaan peittyä esimerkiksi betonisen kannen alle.

Puuta on suojattava jokaisessa vaiheessa aina kuljetuksesta sillan elinkaaren loppuun saakka. Myös puusillan hävittäminen on tehtävä oikein. Kuljetukseen, varastointiin ja asentamiseen asetetaan vaatimuksia liittyen siihen, etteivät osat kolhiinnu, vaurioidu tai kostu. [11, s. 177–180] Lisäksi vaatimuksissa otetaan huomioon ympäristövaikutukset, joissa esimerkiksi kielletään kreosootilla kyllästetyn puuaineksen myynti ja luovutus yksityishenkilöille. Kreosoottikyllästetty puu luokitellaan vaaralliseksi jätteeksi, ja se täytyy toimittaa erilliskeräilyyn, eikä sitä saa polttaa kotitalouksissa. [13]

## 4. PUUSILTOJEN TYYPPEJÄ

Puusiltoja on erilaisia ja eri tyyppiset sillat sopivat erilaisiin tarkoituksiin. Toiset sopivat paremmin kevyen liikenteen silloiksi ja toiset taas ajoneuvoliikenteen silloiksi. Yleisesti puuosat sopivat erityisesti vedetyiksi, puristetuiksi ja taivutetuiksi rakenteiksi [9]. Näitä käyttötapoja hyödynnetään silloissa, kuten esimerkiksi kaarisillassa, jossa kaari toimii puristettuna rakenteena. Puusiltojen puinen kansi voidaan aina päällystää paremmin kulutusta kestäväällä materiaalilla, esimerkiksi asfaltilla, kunhan kasvanut pintarakenteen oma paino otetaan huomioon mitoittamisessa. [1, s. 154–155].

### 4.1 Palkkisilta

Liimapuinen palkkisilta on ollut puusiltojen yleisimmin käytetty rakenne 1970-luvun loppupuolelta alkaen. Liimapuutekniikka on mahdollistanut pyöreän puun ja sahatavaran dimensiorajoituksista vapautumisen. Liimapuutekniikalla sillan kannattimet saadaan aina tehtyä riittävän suuriksi, jolloin kestävyys ei jää niistä kiinni. [1, s. 152–153] Palkkisillan taloudellisin käyttöalue on ajoneuvoliikenteen silloissa jänneväliltään 4–20 metriä ja kevyen liikenteen silloissa jänneväliltään 3–30 metriä [14][15]. Kuvassa 6 on raittisilta Espoosta.



**Kuva 6.** *Espoon Fallanginsilta on yksiaukkoinen palkkisilta, jonka kantavana rakenteena ovat pituussuuntaiset liimapuupalkit [15].*

Palkkisillan kantavana rakenteena ovat sillan pituussuuntaiset liimapuupalkit, joiden varaan tehdään sillan kansirakenne [14]. Palkki toimii sillassa taivutettuna rakenteena.

Palkkisilta voidaan toteuttaa myös kaarevana rakenteena, jolloin sillan kansirakenne on kaareva. Palkkisillan kansirakenteena on tavallisesti puusta tehty syrjälankkukansi tai liimapuisista elementeistä rakennettu kansi. [15] Toinen esimerkki palkkisillasta on puinen jatkuva palkkisilta, jolloin silta on kaksi- tai useampiaukkoinen ja siinä on tällöin myös välitukia.

## 4.2 Ansassilta

Ansassilloja ovat tukiansassilta, joka tunnetaan myös ponsiansassiltana, ja riippuansassilta. Ansassillat, kuten useimmiten muutkin puusillat, ovat näyttäviä rakenteita ja ne soveltuvat sekä ajoneuvoliikenteelle että kevyen liikenteen väyläksi. [15] Nykyisin ansassillat ovat käytössä pääasiassa museorakenteissa ja erikoiskohteissa [1, s. 154][15]. Ansaat ovat kansirakenteen kannattimina, eli ne ovat ansassiltojen kantavaa rakennetta ja toimivat puristettuina rakenteina.

Tukiansassilta on ollut yleinen rakenne puusilloissa ennen liimapuun kehittämistä [15]. Kuvassa 7 on painorajoitettu (rajoitus 3,5 tonnia) vesistösilta Vantaalta. Sen kansirakennetta ei ole päällystetty, vaan se on edelleen puinen.



**Kuva 7.** *Vantaankosken silta on yksiaukkoinen tukiansassilta, joka on rakennettu vuonna 1876. Silta on Vantaan ainoa säilynyt puusilta. [16]*

Riippuansassillat sopivat poikittaisjäykkyytensä ansiosta parhaiten suhteellisen kapeille silloille, jotka ovat 15–50 metriä pitkiä. [14] Kuvassa 8 on risteyssilta Nastolan ja Heino-  
lan rajalla.



*Kuva 8. Haikulan silta on kaksiaukkoinen riippuanssilta [15].*

Haikulan silta (kuva 8) on esteettinen ja jää helpommin mieleen erilaisempuna kuin monet muut moottoriteillä olevat sillat. Sekä Vantaankosken silta että Haikulan silta ovat esteettisiä esimerkkejä puusilloista, jotka sopivat ympäristöönsä.

### **4.3 Kaarisilta**

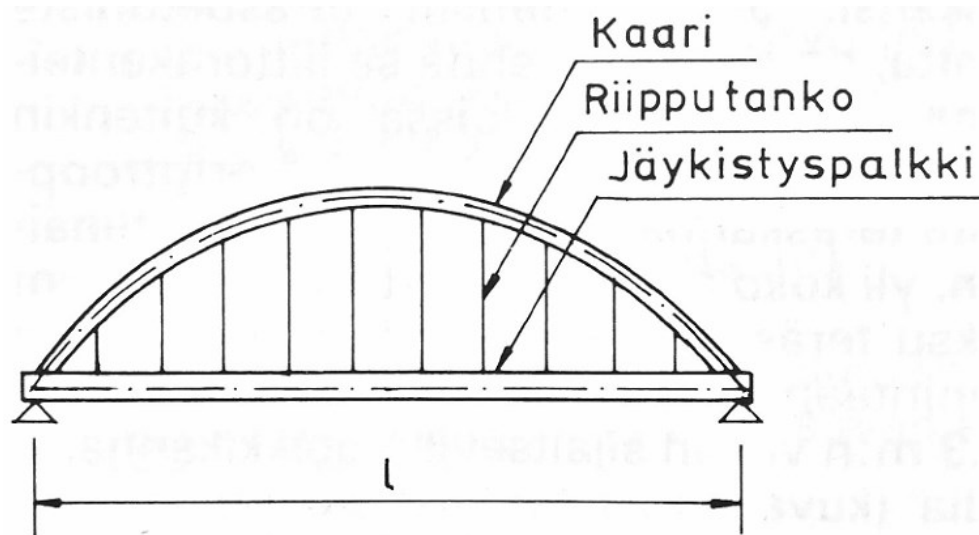
Kaarisillat ovat vaikuttavia rakenteita, joita on kaaren sijainnista riippuen eri näköisiä. Kaarisillassa kantavana rakenteena on kaaren muotoon liimattu liimapuu, joka toimii puristettuna rakenteena ja voi sijaita eri kohdissa sillan kanteen nähden. [14] Kaari voi sijaita kokonaan kannen alla, jolloin päällysrakenne tukeutuu kaaren päälle, tai kokonaan kannen päällä, jolloin päällysrakenne ripustetaan kaaren varaan. Kaari voi myös leikata kansilinjaa missä tahansa tältä väliltä, jolloin kaari on kahden edellisen yhdistelmä. [3, s. 23][14] Kuvassa 9 on Ypäjän Kurjenmäen raittisilta.



**Kuva 9.** Ypäjän Kurjenmäen silta on yksiaukkoinen kaarisilta [15].

Kaarisillat sopivat sekä ajoneuvoliikenteelle että kevyen liikenteen väyläksi. Kaarisillan jännemitta voi olla jopa 100 metriä, mikä mahdollistaa, että keskitukien määrää saadaan pystyä vähentämään. [15] Toisaalta kaarisillan suunnittelussa ja soveltuvuudessa siltapaikalle on otettava huomioon kaaren perustuksiin kohdistuva suuri vaakavoima [3, s. 23].

Langerpalkkisilta on vetotangollinen kaari, jossa kaari sijaitsee sillan päällä ja jäykistyspalkki toimii samalla vetotankona [1, s. 149]. Langerpalkkisilta eroaa perinteisestä kaarisillasta siten, että perustuksiin ei kohdistu vaakavoimia. Tästä johtuen siltatyypin soveltuu myös siltapaikalle, joka vaatii paalutetut perustukset. [3, s. 23] Kuvassa 10 on esitetty langerpalkkisillan pääosat.



*Kuva 10. Langerpalkkisillan pääosat [1, s. 150].*

Melko uusi esimerkki langerpalkkisillasta on vuonna 2008 valmistunut Malminmäen ylikulkukäytävä Ylöjärvellä. Malminmäen ylikulkukäytävä on kuvassa 11.



*Kuva 11. Malminmäen kaksiaukkoinen langerpalkkisilta Ylöjärvellä [17].*

Malminmäen ylikulkukäytävän suunnittelussa on kiinnitetty erityistä huomiota muun muassa siihen, miten puinen siltarakenne saadaan sopimaan rakenteellisesti ja esteettisesti moottoritien ja kevyen liikenteen ympäristöön. Talvisin malminmäen ylikulkukäytävä toimii hiihtosiltana. [17]

#### 4.4 Liittorakennesilta

Liittorakennesillat ovat puusiltojen uudempaa tekniikkaa, jossa on puiset palkit ja betoninen kansi. Puu- ja betoniliittorakennesilloissa liimapuupalkit ja teräsbetonikansi

liitetään esimerkiksi vaarujen avulla yhdessä toimivaksi rakenteeksi [18]. Liittorakennesilta sopii erityisesti ajoneuvoliikenteelle, sillä sen kantavuus on suuri [15].

Ainutlaatuinen esimerkki liittorakenteisesta sillasta on 1999 valmistunut Vihantasalmen silta, joka on ainoa oman kokoluokkansa puusilta maailmassa. Se on viisiaukkoinen silta, jonka kokonaispituus on 182 metriä. [18] Vihantasalmen sillasta järjestettiin aikanaan suunnittelukilpailu, sillä niin suurista päätteiden puusilloista ei ollut Suomessa kokemusta. Kilpailun tavoitteena oli kehittää valtatie liikenteeseen sopiva siltaratkaisu, jonka puurakenteet ilmentävät aluetta puumateriaalin lähteenä ja jalostajana, korostavat alueen ekoimagoa ja ottavat siltapaikan maisemalliset ominaisuudet huomioon. [19, s. 113] Kuvassa 12 on Vihantasalmen vesistösilta.



**Kuva 12.** Mäntyharjulla sijaitseva Vihantasalmen viisiaukkoinen liimapuinen riippuanssilta, jonka kansi on teräsbetoninen [15].

Vihantasalmen silta on perusidealtaan puurakentamisen perinteitä kunnioittava, mutta mittasuhteiltaan erittäin vaativa [18]. Sillassa on riippuansaat, joiden vinosauvat muodostuvat kahdesta suorasta liimapuupalkista. Liimapuupalkkien välissä riippuvat teräksiset vetotangot ja ajoradan päällä vinosauvat on yhdistetty toisiinsa poikittaisilla ristikoilla. Ristikoissa on liimapuusta tehdyt puristussauvat ja jännitetyt teräksiset diagonaalit. Kokonaisuudessaan Vihantasalmen sillan suunnittelussa on käytetty hyväksi uusinta tutkimustietoa ja onnistuttu yhdistämään rakenteiden puhdaspiirteisyys ja tarkoituksenmukaisuus. [19, s. 113–114]

## 4.5 Poikittaisjännitetty silta

Poikittaisjännitetty silta on toinen uudempaa siltatekniikkaa edustava siltatyyppejä. Poikittaisjännitetty silta on perustyyppiltään laatta, jonka pituussuuntaiset lankut tai liimapuupalkit puristetaan puun läpi poratuilla teräksillä kantavaksi levyksi. Poikittaisjännitetyn puisen maantiesillan rakentamiseen käytetään massiivisia liimapuupalkkeja, jotka asennetaan rinnakkain ja niiden läpi porataan reiät poikittaisia vetoteräksiä varten. Vetotankojen kiristämisen ansiosta koko siltakansi alkaa toimimaan yhtenäisenä levynä. Kannen päälle tehdään vesieristys ja monikerroksinen kulutuskerros parantamaan sillan kannen kestävyttä. Lisäksi siltaan tehtävä erillinen puuverhous mahdollistaa näkyvien puurakenteiden kulutuskerroksen helpon uusittavuuden. [6, s. 4] Esimerkki poikittaisjännitetyistä sillasta on kuvassa 13 oleva Otavantien vesistösilta Hyvinkäällä.



*Kuva 13. Hyvinkäällä sijaitseva Otavantien yksiaukkoinen poikittaisjännitetty silta [15].*

Poikittaisjännitetty silta soveltuu sekä ajoneuvo- että kevyelle liikenteelle. Jännemitta voi olla ajoneuvosilloilla 6–32 metriä ja kevyen liikenteen silloilla 6–38 metriä. [6, s. 4]

## 4.6 Katettu silta

Katetut puusillat ovat nimensä mukaisesti katettuja, eli niissä on katto. Niiden rakennustyyppi on yleensä ristikkosilta, jonka alapääte varassa on ajorata ja yläpääte varassa katto [14][15]. Suomessa rakennettujen katettujen siltojen kantava rakenne on ristikko tai ristikkoa muistuttava riippuansas, jossa voi olla piirteitä tukiansaastakin [19]. Kuvassa 14 on Suntinrannan raittisilta Paraisilla.



***Kuva 14.** Paraisten yksiaukkoinen katettu raittisilta, jonka edusta on vielä viimeistelemättä [14].*

Katettuja siltoja käytetään lähinnä kevyen liikenteen silloissa, josta Paraisten silta on esimerkki. Jännemitaltaan ne voivat olla jopa 100 metriä [14].

## 5. PUUSILTOJEN HISTORIA, NYKYHETKI JA TU- LEVAISUUS

Puu on aikoinaan ollut merkittävin sillanrakennusmateriaali. Kotimaisena materiaalina puuta on ollut helppo kuljettaa tai uittaa lähimetsistä sillanrakennuspaikalle. [2, s. 48] Aiemmin ei ollut helposti saatavilla juurikaan muuta rakennusmateriaalia kuin mitä luonnosta löytyi. Puuta on käytetty pitkään myös teräksen ja betonin yleistymisen jälkeen, sillä se on ollut halpaa ja helposti saatavissa [19, s. 91]. Nykyisin, vaikka on kehitetty ja opittu käyttämään paljon muitakin helposti saatavia ja edullisia materiaaleja, puun käyttö siltojen rakennusmateriaalina kiehtoo edelleen. Puu on esteettisesti kaunis ja ekologinen rakennusmateriaali, jota yritetään koko ajan käyttää enemmän [6, s. 8]. Kuten aiemmin on jo tullut ilmi, puulla on paljon mahdollisuuksia tulla uudelleen yhdeksi yleiseksi sillanrakennusmateriaaliksi.

### 5.1 Historia

Puu on oletettavasti ollut 1700-luvun puoliväliin saakka ainoa sillanrakennusaine joitakin köysirakenteita ja rumputyyppejä kivirakenteita lukuun ottamatta. Aluksi puusillat ovat olleet luonnon itse tekemiä, esimerkiksi kaatuneita puun runkoja tai tulvan tuomia ajopuita. Ensimmäiset ihmisen rakentamat puusillat ovat olleet luonnon mallin mukaisesti rakennettuja palkkeja esteen yli. Vähitellen on ymmärretty ja osattu tehdä kehittyneempiä versioita, joissa on saattanut olla monta palkkia vierekkäin ja yläpinta on voinut olla taiseksi veistelty. Jo varhain ymmärrettiin myös tehdä sillalle erillinen kansi asettamalla puutavaraa poikittain palkkien päälle. Sillan sileä pinta teki sillalla liikkumisesta turvallisempaa ja helpompaa. [19, s. 89]

Puisia tela- eli kapulasilloja ja pitkospuuta pehmeikköjen yli on rakennettu Suomessa ainakin keskiajalta lähtien. Lapinjärveltä on löydetty suosilta, jonka vanhimmat puuosat ovat puun iänmäärittämisen perusteella 1500-luvun lopusta ja uusimmat 1700-luvun alusta. Ensimmäinen maininta sillasta Helsingissä on vuodelta 1551, ja silta on ollut kahden ki- viarkun varaan rakennettu kosken ylittävä silta. Asiakirjoista löytyy mainintoja puusilloista jo 1300-luvulta lähtien, mutta niissä ei ole siltojen rakennetietoja ja mittoja, joten viralliset tiedot ovat vähäisiä. Sillanrakennusta varten tehtyjä suunnitelmia on löydetty vasta 1800-luvun alkupuolelta lähtien. [19, s. 89–95] Siltoja ei ole näin ollen aluksi suunniteltu kovinkaan paljon, vaan niitä on vain rakennettu. Tästä syystä siltoja on sortunut aiemmin melko paljon. Sortuneen sillan tilalle on yksinkertaisesti rakennettu uusi vähän parempi silta.

Ensimmäiset suurten jokien ylityksiin valmistetut sillat ovat olleet kelluvia lauttasiltoja, ja ne ovat olleet yleisiä 1600- ja 1700-luvuilla. Ne ovat olleet kiinnitettyinä rantoihin ja

niitä on pystytty irrottamaan ja vetämään maihin esimerkiksi talveksi tai jäiden lähdön ajaksi. Lauttasiltojen huono puoli on ollut se, että ne on jouduttu uusimaan muutaman vuoden välein vettymisen ja kantokyvyn menetyksen vuoksi. 1800-luvulla ja vielä 1900-luvun alussa yleisin siltarakenne on ollut puusilta kivisillä tuilla ja rakenteen kantavana osana ovat olleet tukiansaat. Ensimmäiset rautatieliikenteelle tehdyt sillat (vuonna 1858) on tehty puusta, mutta raideliikenteen osalta siirryttiin jo vuonna 1874 metallirakenteisiin rautatiesiltoihin. [19, s. 89–90,]

Siltojen rakentaminen on kehittynyt vähitellen ja osa asioista on opittu kokeilemalla. Kirvesmiehillä on ollut kokemusta sekä perimätietoa ja -taitoa, jotka ovat siirtyneet muistin varassa. On muun muassa tiedetty, että männyn sydänpuu on ainoa lahonkestävä puuaine, ja on osattu välttää pahimmat rakennusvirheet, kuten puurakenteiden jättäminen maanvaraisiksi. Vähitellen on kehitelty menetelmiä rakenteelliseen suojaamiseen lahontorjuntaa vastaan, joilla sillan käyttöikä on saatu pidemmäksi. 1600-luvulta lähtien on käytetty kemiallisena suojausaineena tervaa, joka on kuulunut vielä 1940-luvun lopulla Lappiin rakennettujen puusiltojen kunnossapitoon. Toisaalta rakennuksia, kuten siltoja, ei ole ennen pidetty tärkeinä, joten puuta ja siltojen tekemiseen vaadittavaa työtä ei ole arvostettu, eikä niiden pitkäikäisyyttä ole pidetty tärkeänä. [19, s. 94]

Myöhemmin on ymmärretty tehdä kestävämpiä rakenneratkaisuja, kun kuormat ovat kasvaneet ja on haluttu saada vuosikymmeniä kestäviä siltoja. Suuria jännevälejä ei osattu rakentaa kestäviksi, joten on kehitelty välitukia ja vinotukia palkkien alle. Lisärakenteet eivät ole aina mahtuneet sillan kannen alle, joten kantavia rakenteita on pitänyt tuoda myös sillan päälle. Jäykistetyille palkeille on voitu lisätä yläpuolelle puiset ja myöhemmin teräksiset vetotangot, jotka lisäävät sillan kantavuutta. Tämän seurauksena on syntynyt riippuansas, josta taas erilaiset ristikkorakenteet ovat kehittyneet. Ristikkorakenteet ovat edellyttäneet jo hyvin kehittyntä puuliitostekniikkaa. [19, s. 91] Sillan osien painekyllästystä on alettu pitää itsestään selvänä 1950-luvulta lähtien ja palkkien suojaamiseksi on käytetty 1970-luvulta lähtien kreosootia [19, s. 94].

Puusillat ovat olleet yleinen ongelman ja riidan aihe. Lähinnä kiistaa on ollut siitä, kuka on vastuussa vaurioiden korjaamisesta, kunnossapidosta ja mahdollisesta sillan uudelleenrakentamisesta [19, s. 95]. Lisäksi on voinut olla epäselvää, mistä saadaan tarvittavat rakennuspuut ja kenen on rakennettava silta. Arkistoista löytyy monenlaisia vanhoja piirustuksia ja rakennusohjeita sekä tietoja eri siltojen vaiheista. Vanhin käytössä oleva puusilta on vuonna 1837 valmistunut Eteläkylän Isosilta Pyhäjoella [19, s. 112–113]. Kuvassa 15 on Eteläkylän Isosilta, joka on vesistösilta.



*Kuva 15. Pyhäjoella sijaitseva 4-aukkoinen tukiansassilta [2, s. 8].*

Eteläkylän Isosilta on 4-aukkoinen kivitulle perustettu tukiansassilta. Sitä on valmistuksen jälkeen korjattu ja paranneltu moneen kertaan, mutta siinä on jäljellä myös alkupe räisiä, hyvässä kunnossa olevia osia. [19, s. 112–113]

## 5.2 Nykyhetki ja tulevaisuus

Puu on ollut suosituin sillanrakennusaine kiven ohella 1900-luvun alkuun saakka [19, s. 89]. Suomessa on tällä hetkellä yhteensä 15 160 liikenneviraston hoidettavana olevaa ajoneuvo- ja kevyen liikenteen siltaa, joista vain 4 % on puusiltoja. Teräsbetonisia siltoja on yli puolet (59 %) Suomen tiesilloista. [20, s. 7] Tällä hetkellä uusitaan 1960- ja 1970-luvuilla rakennettuja puusiltoja, sillä niissä on ongelmia. Osa puusilloista uusitaan kokonaan, eikä vanhan tilalle rakenneta aina uutta puusiltaa, vaan esimerkiksi teräsbetonisilta. Vanhojen puusiltojen kansien uusimiseen käytetään kuitenkin melko usein uutta puukantta.

Nykyajan sillanrakentamiseen ei aina sovi kokonaan puinen silta, mutta puu voi hyvin olla yhtenä rakennusmateriaalina betonin ja teräksen rinnalla. Hyviä esimerkkejä puun käytöstä ovat liittorakennesilta ja poikittaisjännitetty silta, joissa puu toimii yhdessä teräksen ja betonin kanssa kantavana rakenteena. Tällaisia siltoja voisi hyvin olla enemmänkin. Puusiltojen suunnitteluun vaaditaan puisten taitorakenteiden suunnittelun hallintaa, jota on Suomessa tällä hetkellä melko vähän. Nykyisin suunnittelussa käytetään yhä useammin tietomallintamista, jolloin silta saadaan suunniteltua kokonaisvaltaisesti ja huomataan epäkohdat ajoissa [21, s. 10–11]. Puusiltojen suunnittelua ja rakentamista pitäisi tutkia enemmän, jotta voitaisiin rakentaa enemmän puusiltoja ja osattaisiin hyödyntää puun hyviä ominaisuuksia paremmin kuin tällä hetkellä.

Puusiltojen suunnittelussa on otettava huomioon kuormat ja ympäristön vaikutukset, joita ovat esimerkiksi tuuli-, lumi-, lämpötila-, liikenne- ja onnettomuuskuormat [22, s. 12]. Kuormille määritellään aikaluokat ja materiaaleille mitoitusarvot, joiden perusteella puusilta mitoitetaan. Puusiltojen suunnittelussa on otettava huomioon puurakenteita koskevat lisäsäännöt [23, s.21]. Puiisiin rakenneseisiin suoraan kohdistuvan sateen ja auringon vaikutusta pienennetään suojaamalla rakenteet. Suojaaminen voi tapahtua muotoilemalla rakenteet siten, että ne pääsevät kuivumaan, tai käyttämällä luonnostaan kestäväää tai biologisia rasituksia vastaan käsiteltyä puuta. Metalliliittimien tulee olla tarvittaessa joko luonnostaan korroosionkestäviä tai ne tulee suojata korroosiolta. Puun kemiallinen suojaus tai puun korkea happamuus voi vaikuttaa liittimien kestävyys, mikä on otettava huomioon suunnittelussa. [22, s. 15] Puurakenteiden rakennepiirustuksissa on esitettävä

- mitat ja rakenteen muoto kohotuksineen
- puun lujuus- ja kosteusluokka
- puulaji
- puun kyllästystapa ja -luokka sekä mahdollinen pintakäsittely
- liimapuurakenteiden liimausluokka
- liittimien ja muiden mahdollisten teräsosien rakenne, laatu, sijainti ja pintakäsittely
- elementtien asennusjärjestys ja kiinnitystapa. [24, s. 21]

Puurakenteiden mallintamisessa on huomioitava rakenneseiden poikkeamat suorasta linjasta ja materiaalin epähomogeenisuus. Lisäksi on esitettävä liittosten kestävyys ja analysoitava rakenteet käyttämällä staattisia malleja, joissa huomioidaan rakenteen ja tukien toiminta riittävän täsmällisesti. On myös otettava huomioon rakenteen geometrian alkuepätkäkkyydet erityisesti kaarien mallintamisessa. Puusiltojen suunnittelussa on koko ajan otettava huomioon puun epähomogeenisuus ja lämmön sekä kosteuden vaikutukset. [23, s. 32–34]

## 6. YHTEENVETO

Siltanimikkeistön tuntemus on tärkeää, jotta voi ymmärtää silloista kertovia kirjoituksia. On hyvä tietää, että puulla on sekä hyödyllisiä että haitallisia ominaisuuksia sillanrakennuksessa. Puun hyötyjä ovat muun muassa keveys, ekologisuus ja muokattavuus. Huonoja puolia taas ovat puun hygroskooppisuus, alhainen jäykkyys ja heikko mekaanisen kulutuksen kestävyys. Käytettävällä puutavaralla on suuri vaikutus sillan kestävyteen, ja puutavaralle annetaan tämän vuoksi kovia vaatimuksia.

Puu toimii parhaiten vedettynä, puristettuna tai taivutettuna rakenteena ja näitä käyttötapoja hyödynnetään silloissa. Esimerkiksi kaarisillassa kaari toimii puristettuna ja palkkisillassa palkki taivutettuna rakenteena. Erilaiset siltatyypit sopivat eri kohteisiin, kuten esimerkiksi katettu silta sopii kevyen liikenteen sillaksi ja liittorakennesilta sopii ajoneuvoliikenteen sillaksi. Siltojen toimintaan perustuvien nimien tuntemus on hyödyllistä, jotta tietää millainen silta on: mikä kulkee yli ja mikä ali.

Ennen siltojen päärakennusmateriaali on ollut puu. Nykyisin betoni- ja teräsrakenteet ovat syrjäyttäneet puun melkein kokonaan. Puusiltojen rakentaminen on kehittynyt vähitellen ja on pystytty tekemään muutaman vuoden välein uusittavien lauttasiltojen sijaan esimerkiksi suurten jokien ylittäviä vuosikymmeniä kestäviä siltoja. Siltojen suunnittelu on kehittynyt huomattavasti ja nykyään siltojen tiedetään kestävänsä Suomessa. Aina näin ei ole ollut, sillä sillat ovat sortuneet, kun niitä ei ole suunniteltu ollenkaan tai ei ole osattu suunnitella tarpeeksi kestäväksi siltaa. Nykyisin suunnittelussa otetaan huomioon kaikki siltaan kohdistuvat kuormat, kuten lumi-, liikenne-, ja onnettomuuskuormat. Suunnittelussa käytetään paljon tietomallinnusta, jolloin saadaan yhdistettyä eri osapuolten suunnitelmat ja huomataan epäkohdat ajoissa.

Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että täysin puiset sillat eivät ole yleensä kannattavia ratkaisuja. Poikkeuksena ovat kevyen liikenteen sillat ja vähäliikenteisten teiden sillat, jotka on järkevää tehdä puusta. Muuten kokonaan puisia siltoja kannattaa tehdä lähinnä maiseman säilyttämiseksi tai esteettisyyden vuoksi. Puu on kuitenkin hyvä rakennusmateriaali, joten sitä voisi käyttää enemmän yhtenä sillan rakennusmateriaalina betonin ja teräksen rinnalla, kuten liittorakennesilloissa. Puu luo arvokkuutta ja esteettisyyttä siltaan, vaikka silta ei olisikaan kokonaan puinen.

Puusiltojen rakentamista pitäisi tutkia enemmän, jotta voitaisiin rakentaa enemmän puusiltoja ja osattaisiin hyödyntää puun hyviä ominaisuuksia paremmin kuin tällä hetkellä. Työ ei ole kovin laaja, joten yksinään tämän perusteella ei voida ryhtyä toimenpiteisiin, vaan on tehtävä lisätutkimuksia. Työ on kokonaisuus, joka selvittää siltojen nykyhetken tilannetta ja puusiltojen rakentamisen mahdollisuuksia sekä yleisesti siltojen piirteitä ja puuta siltojen materiaalina.

## LÄHTEET

- [1] RIL 179 Sillat, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 1989, 390 s.
- [2] A. Laaksonen, RAK-33600 Sillanrakennuksen perusteet Luentomoniste, Tampereen teknillinen yliopisto, 1.10.2013, 88 s.
- [3] J. Noeskoski & P. Pulkkinen, RIL 179-2017 Sillat Luku 2, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry, 12.3.2017, vain lausuntokäyttöön, 30 s. Saatavissa (viitattu 4.1.2017): [http://ril.easypage.fi/media/files/julkaisut/lausuntopyynto1/2.\\_sillan\\_peruskasitteet\\_ja\\_siltatyypit\\_12.03-lausunto.pdf](http://ril.easypage.fi/media/files/julkaisut/lausuntopyynto1/2._sillan_peruskasitteet_ja_siltatyypit_12.03-lausunto.pdf).
- [4] J. Autioma, Puusilta istuu suomalaiseen maisemaan, Biotalous, 9.8.2017, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.10.2017): <http://www.biotalous.fi/puusilta-istuu-suomalaiseen-maisemaan/>.
- [5] Raippaluodon silta, Advisor.Travel, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 6.2.2018): <https://fi.advisor.travel/poi/Raippaluodon-silta-9161>.
- [6] Kevyt ja kestävä puusilta, Puuinfo, 26.3.2015, s. 8. Saatavissa (viitattu 31.10.2017): <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puusiltaesite.pdf>.
- [7] Puusillat, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.10.2017): <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusillat>.
- [8] Lujuusteknisiä ominaisuuksia, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.10.2017): <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>.
- [9] Step 1 Puurakenteet, Valtion teknillinen tutkimuskeskus ja Rakennustieto Oy, 1996, 481 s.
- [10] Taitorakenteiden ylläpidon toimintalinjat, Liikennevirasto, 2015, 106 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2015-26\\_taitorakenteiden\\_yllapidon\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-26_taitorakenteiden_yllapidon_web.pdf).
- [11] Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat, Rakennustieto, 2006, 278 s.
- [12] Eurokoodin soveltamisohje Puurakenteiden suunnittelu – NCCI 5, Liikennevirasto, 2013, 76 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo\\_2013-25\\_ncci5\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-25_ncci5_web.pdf).

- [13] Kreosootilla kyllästetyn puun käyttö ja hävittäminen, Tukes, 2016, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 5.2.2018): <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Biosidit/Biosidien-kayton-rajoitukset/Kreosootti/>.
- [14] Puusiltatyyppejä on monenlaisia, Puuinfo, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 9.12.2017): <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusillat/puusiltatyyppej%C3%A4-monenlaisia>.
- [15] Puusilta – ekologista ja näyttävää siltarakentamista, Versowood Group, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 31.10.2017): <https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/maa-ja-tierakentamisen-tuotteet/puusillat>.
- [16] Alueen historia Uusi Vantaankoski -ideakilpailu, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 3.1.2018): <https://www.uusivantaankoski.fi/alueen-historia>.
- [17] Malminmäen ylikulkukäytävä, A-Insinöörit, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.1.2018): <http://a-insinooritfi.virtualserver22.nebula.fi/palvelumme/referenssit/malminmaen-ylikulkukaytava>.
- [18] Vihantasalmen silta, Tiehallinto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 4.1.2018): <http://alk.tiehallinto.fi/hanke/vsalmi.htm>.
- [19] Siltojemme historia, Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2004, 525 s.
- [20] M. Torkkeli, Betonipäivät, Liikennevirasto, 31.10.2017, 20 s. Saatavissa (viitattu 9.11.2017): <http://betoni.com/wp-content/uploads/2017/11/10.-Rakennushankkeen-osapuolten-toimet-laadun-varmistamiseksi-Tilaaaja-Yksik%C3%B6n-p%C3%A4%C3%A4llikk%C3%B6-Minna-Torkkeli-Liikennevirasto.pdf>.
- [21] Siltojen tietomalliohje, Liikennevirasto, 2014, 82 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2014-06\\_siltojen\\_tietomalliohje\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-06_siltojen_tietomalliohje_web.pdf).
- [22] Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 2: Sillat, Suomen standardisoimisliitto, 2004, 28 s.
- [23] Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, Suomen standardisoimisliitto, 2014, 222 s.
- [24] Siltojen suunnitelmat, Tielaitos, 2002, 30 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/sillat/julkaisut/silsuu00.pdf>.