

# PUUN KÄYTTÖ YKSITYISTEIDEN SILLOISSA

Repola Petri

Opinnäytetyö  
Luonnonvara-ala  
Luonnonvarojen älykäs johtaminen  
Insinööri YAMK

2022

Luonnonvara-ala  
Luonnonvarojen älykäs johtaminen  
Insinööri YAMK

---

<b>Tekijä</b>	Petri Repola	<b>Vuosi</b>	2022
<b>Ohjaajat</b>	Jussi Soppela ja Timo Pisto		
<b>Toimeksiantaja</b>	Suomen metsäkeskus		
<b>Työn nimi</b>	Puun käyttö yksityisteiden silloissa		
<b>Sivu- ja liitemäärä</b>	67 + 1		

---

Yksityisteiden sillat on rakennettu pääosin 1960–1990 luvuilla. Siltojen suunnittelukuormat ovat tuolla ajanjaksolla olleet huomattavasti nykyistä pienempiä. Raskaan kaluston painot ovat nousseet eivätkä kaikki vanhat sillat täytä enää nykyisiä suunnittelumääräyksiä.

Opinnäytetyö on tehty Suomen metsäkeskuksen tilauksesta. Työn lähtökohtana oli Metsäkeskuksen teettämä Kainuun yksityisteiden siltojen kuntokartoitusaineisto. Aineisto koostuu maastossa kerätystä mitta- ja laatu aineistosta sekä kattavasta siltakohtaisesta kuvamateriaalista. Aineiston avulla saatiin yksilöityä Kainuun yksityistieverkostolle olevien siltojen kunto, rakennusmateriaalit ja korjaustarve.

Työn tarkoituksena on puunkäytön lisääminen yksityisteiden silloissa. Näkökulmana oli olemassa olevien puurakenteiden hyödyntäminen korjausrakentamisessa. Tutkimuksen tuloksena saatiin yksityiskohtaista tietoa Kainuun siltojen rakenteellisesta kunnosta ja kunnostamistarpeista. Lisäksi työn tuloksena esitettiin ehdotus korjausmenetelmäksi, jossa hyödynnetään vanhoja puisia paalutuksia ja maatukia sillan korjauksessa.

Kainuun silloissa valtaosa rakenteista on tehty teräsbetonista. Näistä silloista merkittävässä osassa ovat Ble I ja II tyyppisillat. Vaikka rakenteet näiden siltojen osalta ovatkin pääosin kunnossa, on niissäkin havaittavissa korjauskohteita. Korjaustarve johtuu osin huonosta toteutuksesta rakentamisen aikana. Siltojen kaiheet tarvitsevat kuitenkin selvästi korjausta. Nykyiset sillankaiheet eivät pääosin täytä nykyisiä vaatimuksia joko materiaalin tai mittojen puolesta.

Kainuun alueella tehdyn yksityisteiden siltakartoituksen tulokset tukevat yleistä näkemystä yksityisteiden siltojen korjausvelan kasvusta. Tulevina vuosina korjauksen tarpeessa olevien siltojen määrä tulee kasvamaan. Erityisesti korjausvelka kasvaa puurakenteisissa silloissa, jotka ovat tulossa tai tulleet elinkaarensa päähän.

Smart Management of Natural Resources  
Master of Engineering

---

<b>Author</b>	Petri Repola	Year	2022
<b>Supervisor</b>	Jussi Soppela, Timo Pisto		
<b>Commissioned by</b>	Finnish Forest Center		
<b>Subject of thesis</b>	Use of wood in private road bridges		
<b>Number of pages</b>	67 + 1		

---

The purpose of the work is to increase the use of wood in private road bridges. The approach angle was the utilization of existing wooden structures in repair construction. The result of the study is a detailed summary of the bridges of Kainuu. In addition, the work resulted in a repair method that utilizes old piles made of wood and ground supports in the bridge repair.

The thesis was commissioned by the Finnish Forest Center. The starting point of the work was the bridge condition check of structure material commissioned by Finnish Forest Center. The material consists of measurement and quality data collected in the bridge site, as well as comprehensive bridge-specific imagery. The study analyzed condition check material data. The material was used to identify the condition of the bridges on the Kainuu private road network, the building materials, and the need for repairs. The purpose of the work is to increase the use of wood on private road bridges. The approach was to utilize existing wooden structures in renovation construction. As a result of the study, the utilization of old wooden piles and land supports in the repair is presented.

The results of the bridge survey of private roads carried out in the Kainuu region area support the general view of the increase in the repair debt of private road bridges. In the coming years, the number of bridges in need of repairs will increase. Repair debt increases in wooden bridges that are coming or coming to the end of the life cycle.

Key words                      Private Road, wood, bridge

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	1
2 YKSITYISTIET JA SILLAT .....	2
2.1 Puu sillan rakennusmateriaalina.....	3
2.2 Puun säänsuojaus vaihtoehdot .....	4
2.3 Puun käyttö sillan rakenneosissa .....	8
3 KAINUUN AINEISTON KOKONAAN PUISET SILLAT .....	10
3.1 Siltatyypit PU .....	10
3.2 Siltatyypit Plp.....	11
3.3 Kommaniemen puupalkkisilta .....	12
3.4 Terva-ahon yksityistien puupalkkisilta (Tukkisilta II) .....	12
3.5 Kaarneen yksityistien puupalkkisilta .....	15
3.6 Seilosen yksityistien puupalkkisilta .....	16
3.7 Saarelantien jatkuvapuinen palkkisilta.....	16
3.8 Luokkipuron yksityistien silta .....	17
3.9 Puusiltojen kantavuus ja vauriot.....	18
4 KASVIHUONEPÄÄSTÖT .....	21
4.1 Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki .....	21
4.2 Betoni ja teräs .....	22
4.3 Rakennusmateriaalien vertailu siltakohteella.....	22
4.2 Kainuun sillat hiilijalanjälki .....	24
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUSTAPA.....	25
6 TULOKSET .....	27
6.1 Siltatyyppien jakautuminen aineistossa .....	27
6.2 Sillan rakenneosien materiaalit.....	28
6.3 Sillan päämitat.....	30
6.4 Rakenneosien kunto.....	32
6.5 Korjaustarve .....	35
6.6 Kirjalliset havainnot kartoitus aineistossa .....	36
6.7 Silta kalojen ja vesieliöiden vaellusesteenä.....	41
6.8 Kainuun kuntokartoitusaineiston puusillat.....	45

Smart Management of Natural Resources  
Master of Engineering

---

7 KEHITTÄMISEHDOTUS PUUSILLAN KUNNOSTUSTAVAKSI.....	58
7.1 Vanhat puupaaluperusteiset maatuet ja uusi kansirakenne .....	58
7.2 Puunkäyttö sillan korjauskohteissa.....	61
8 POHDINTA .....	63
LÄHTEET.....	67
LIITTEET .....	71

## KUVIOLUETTELO

Kuvio 1. Suomen tieverkko Väylävirasto 2021, tieverkko) .....	2
Kuvio 2. Huonokuntoinen puusilta.....	4
Kuvio 3. Katolla suojattu silta (Vermont Timber Works 2021) .....	5
Kuvio 4. 160 metriä pitkä puusilta Mistissini, Quebec, Kanada (Lefebvre D& Richard G .2014) .....	5
Kuvio 5. Liimapuisen sillankannen suojaus.....	6
Kuvio 6. Palkin suojaus paneloimalla (Torbjörn Östling 2020) .....	7
Kuvio 7. Ali-Keravan vanha jokisilta vuodelta 1905 (FINNA 2021).....	9
Kuvio 8. Laattasilta, palkkisilta, ristikkosilta (Sveskt Trä 2015) .....	9
Kuvio 9. Puusillat tyyppiirustusluettelo (Liikennevirasto).....	10
Kuvio 10. PU versio 1.1 .....	11
Kuvio 11. Tyyppisilta Plp.....	11
Kuvio 12. Puupalkkisilta, Kommaniemen yksityistie (Metsäkeskus 2020).....	12
Kuvio 13. Puupalkkisilta, Terva-ahon yksityistie (Metsäkeskus 2020) .....	13
Kuvio 14. Tukkisilta II, pääkannattajat.....	13
Kuvio 15. Tukkisiltojen kantavuus .....	14
Kuvio 16. Tukkisilta, puupaaluperustus ja maanpaineseinä (Metsähallitus 1989) .....	14
Kuvio 17. Tukkisilta, laakeritaso, kaiteet ja kansirakenne (Metsähallitus 1989) .....	15
Kuvio 18. Puupalkkisilta, Kaarneen yksityistie (Metsäkeskus 2020) .....	15
Kuvio 19. Puupalkkisilta, Seilosen yksityistie (Metsäkeskus 2020).....	16
Kuvio 20. Puinen palkkisilta, Saarelantien tiekunta (Metsäkeskus 2020).....	17
Kuvio 21. Tyyppikuva vaarnapalkkisilta 1900–1946 (Liikennevirasto) .....	17
Kuvio 22. Liimapuinen palkkisilta, Luokkipuronyksityistie (Metsäkeskus 2020) .....	18
Kuvio 23. Lahon tutkiminen mikroporalla (Gopu 2016) .....	19
Kuvio 24. Paalun vaurioituminen (Gopu 2016) .....	19
Kuvio 25. Siltojen jakautuminen pääkannattajan materiaalin mukaan .....	27
Kuvio 26. Sillat siltatyypeittäin.....	28
Kuvio 27. Siltojen kansimateriaali .....	29
Kuvio 28. Maatuen materiaali .....	29
Kuvio 29. Kaidemateriaali .....	30
Kuvio 30. Siltojen jännemitta pääkannattajan mukaan.....	31

Kuvio 31. Siltojen vapaa-aukko päämateriaalin mukaan.....	31
Kuvio 32. Kaikki sillat kuntoluokittain .....	33
Kuvio 33. Kaiteiden kuntoluokat.....	33
Kuvio 34. Maatuen kunto, kaikki sillat .....	34
Kuvio 35. Sillan kannen kunto kaikki sillat.....	35
Kuvio 36. Kaikki sillat, korjaustarpeen kiireellisyys.....	36
Kuvio 37. Puutteellinen uomanpuolen täyttö. Suomen metsäkeskus.....	37
Kuvio 38. Puutteellinen uomanpuolen täyttö.....	37
Kuvio 39. Kaiteiden ja kannen lahovaurioita. (Metsäkeskus 2020).....	39
Kuvio 40. Kaiteiden ja kannen lahovaurioita .....	39
Kuvio 41. Kaiteiden lahovaurio, (Metsäkeskus 2020) .....	40
Kuvio 42. Ajoittainen vaelluseste. (Metsäkeskus 2020) .....	42
Kuvio 43. Ei vaellus estettä. (Metsäkeskus 2020).....	42
Kuvio 44. Täydellinen vaelluseste. (Metsäkeskus 2020).....	43
Kuvio 45. Varsinainen silta, ei vaellusestettä. (Metsäkeskus 2020).....	43
Kuvio 46. Putkisillat vaellusesteenä .....	44
Kuvio 47. Putkisilta vaellusesteenä-materiaalin mukaan .....	44
Kuvio 48. Puusillat jakautuminen siltatyypin mukaan.....	45
Kuvio 49. Puusillat kokonaiskunto.....	46
Kuvio 50. Puusiltojen maatuen kunto.....	46
Kuvio 51. Luokka 1, (Metsäkeskus 2020) .....	47
Kuvio 52. Luokka 2, korjaustarve otettava seurantaan. (Metsäkeskus 2020) ..	48
Kuvio 53. Luokka 3, uusittava/korjattava 5–10 vuotta. (Metsäkeskus 2020).....	48
Kuvio 54. Maatuen rakennusmateriaali.....	49
Kuvio 55. Luokka 1(Puinen maatukirakenne). Ei korjaustarvetta (Metsäkeskus 2020) .....	50
Kuvio 56. Luokka 1 (Betoninen maatukirakenne). (Metsäkeskus 2020) .....	50
Kuvio 57. Puusillan kannen kunto .....	51
Kuvio 58. Luokka 1. Ei korjaustarvetta. (Metsäkeskus 2020).....	52
Kuvio 59. Luokka 2. Korjaustarve otettava seurantaan. (Metsäkeskus 2020)...	52
Kuvio 60. Luokka 3. Korjattava/ uusittava 5–10 vuotta. (Metsäkeskus 2020) ...	53
Kuvio 61. Luokka 4. Uusittava/ korjattava kiireellisesti. (Metsäkeskus 2020)....	53
Kuvio 62. Puusiltojen kaiteiden kunto .....	54
Kuvio 63. Puusiltojen kaidemateriaali .....	54
Kuvio 64. Luokka 1 Hyväkuntoiset sillan kaiteet. dfda561d-a9f4-49e3-8da .....	55

Kuvio 65. Luokka 2 seurantaan otettava kohde. (Metsäkeskus 2020).....	55
Kuvio 66. Luokka 3 korjattavat tai uusittavat kaiteet 5–10 vuotta. (Metsäkeskus 2020) .....	56
Kuvio 67. Luokka 4. Kiireellinen korjaus tai uusimistarve. (Metsäkeskus 2020)	57
Kuvio 68. Kaksirivinen puupaaluperustus (Liikenneviraston arkisto).....	59
Kuvio 69. Uusi liimapuinen laakeripalkki .....	60
Kuvio 70. Valmis maatukirakenne.....	60
Kuvio 71. Sillan kansirakenteen nosto .....	61



## 1 JOHDANTO

Suomessa on kattava yksityistieverkosto, joka muodostuu asuinkäytössä olevista yksityisteistä ja metsäkäytössä olevista yksityisteistä. Usein asuinkäytössä oleva yksityistie toimii myös metsäautotien ulospääsytienä yleiselle tieverkolle. Yksityisteitä on esitetty olevan liikenneviraston mukaan noin 0,35 milj.km. (Väylävirasto 2021.) Yksityisten tienpitäjien osuus tieverkosta on mittava ja kunnossapidettävää on paljon. Suomen yksityisteillä on arvioitu olevan noin 12 000 siltaa. Yksityisteiden ja yksityisteillä sijaitsevien siltojen huono kunto aiheuttaa merkittävän haitan puunkuljetuksille, virkistyskäytölle, maataloudelle ja yksityisteiden varrella toimimille teollisille toimijoille. Arvio perustuu Suomen metsäkeskuksen tekemään arvioon.

Puurakentamisen toimenpideohjelmassa, joka laadittu vuosille 2016–2022 todetaan, että ilmaston muutoksen hillitseminen on globaalisti tärkein yhteiskuntaan kohdistuva toimenpide. Suomi on sitoutunut tähän tavoitteeseen kansainvälisten sopimusten kautta. Kolmannes kaikista päästöistä syntyy rakentamisesta ja rakennussektorista. Tehostamalla puurakentamista voidaan ilmastoon kohdistuvia päästöjä pienentää. (Ympäristöministeriö 2020.)

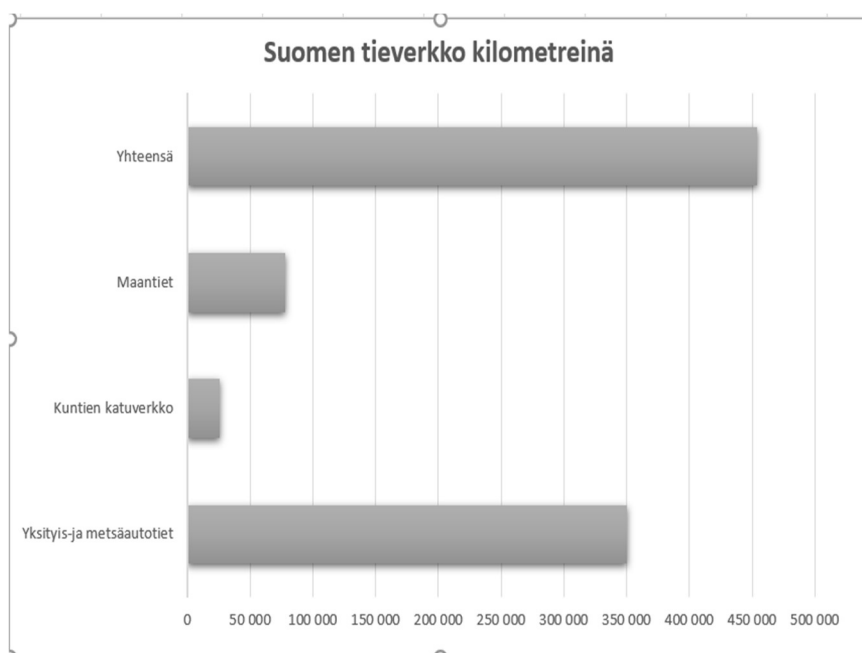
Opinnäytetyöni tilaajana on Suomen metsäkeskus. Metsäkeskus ja Suomen tieyhdistys ry toteuttavat vuosina 2020–2021 maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Yksityisteiden puuinfra -hankkeen (Metsäkeskus 2022a.), joka on valittu toteuttamaan hallitusohjelman mukaista maankäyttösektorin ilmastotoimenpidekokonaisuutta. Opinnäytetyö on osa edellä mainittua projektia.

Työssä tutkimuskysymyksiä oli kolme. Tutkimuskysymykset olivat:

1. Voidaanko Kainuun yksityisteiden siltojen kuntokartoitusaineiston perusteella määrittää siltojen kunto, määrä ja laatu rakenneosittain?
2. Miten vanhojen rakenteiden hyödyntäminen vaikuttaa sillan hiilijalanjälkeen?
3. Voidaanko kuntokartoitusaineiston tuloksia hyödyntämällä löytää keinoja puunkäytön lisäämiseen ja esittää korjaustapa hyödyntämällä vanhoja olemassa olevia rakenteita?

## 2 YKSITYISTIET JA SILLAT

Suomen tieverkko käsittää maantiet, kunnalliset katuverkot ja yksityistiet. Koko tieverkoston pituus on 484 000 tkm (Väylävirasto 2021). Tieverkon jakautuminen eri luokkiin esitetty kuviossa 1. Maanteitä ylläpitää valtio ja kunnallisia katuverkkoja nimensä mukaisesti kunnat ja kaupungit. Yksityisteiden ylläpidosta vastaavat tiekunnat.



Kuvio 1. Suomen tieverkko (Väylävirasto 2021)

Yksityistiellä päättävänä toimielimenä on aina tiekunta, joka on järjestäytynyt tiekunnaksi. Kaikki tiekunnan kannalta oleelliset päätökset tehdään tiekunnan kokouksessa. Kokouksissa käsitellään kaikki merkittävät asiat, kuten siltahankkeen käynnistäminen ja hankkeeseen varattavien varojen kerääminen sekä päätös mahdollisten yhteiskunnan tukien hakemisesta. Tie kuntien toimintaa ohjaa yksityistielaki. (Yksityistielaki 560/2018:5.50§.)

Tiekuntaa edustamaan ja asioita hoitamaan valitaan joko toimitsijamies tai hoitokunta. Tie kunnan koko määrittää usein sen, kumpi toimielin otetaan käyttöön. Tie kunta päättää toimielimen, joka käyttää kokouksen myöntämiä valtuuksia ja velvoitteita. (Yksityistielaki 560/2018:1.3§.)

Valtion ylläpitämiä tukirahoitusmuotoja on olemassa tällä kaksi. Metsäkeskus myöntää tukea pääsääntöisesti metsätiehankkeille, joissa metsäkäytön osuus yk-

siköiden mukaan on vähintään 30 prosenttia. Tuen suuruus vaihtelee maakunnittain. Eteläisen Suomen 30 prosentista, pohjoisen 60 prosenttiin. Siltahankkeille myönnetään 10 prosentin korotus. (Metsäkeskus 2022b.)

Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset myöntävät tukea kaikille yksityisteille. Etusijalla tuen saajina ovat sellaiset tiekunnat, joilla on runsaasti loma-asuntoja ja pysyvää asutusta. Tiekunnan tiellä ei tarvitse kuitenkaan olla nykyisen lain säädännön mukaan asutusta. Tiekunnan tulee täyttää seuraavat vaatimukset ollakseen avustuskelpoinen. Tielle tulee olla perustettuna tiekunta ja tiekuntaa ja yksityistietä koskevat tiedot ovat ajantasaiset yksityistierekisterissä sekä tie- ja kaiverkon tietojärjestelmässä (Digiroad) niin kuin yksityistielain 50 §:ssä edellytetään (Traficom 2020, 1).

Käytännössä vaatimukset tarkoittavat, että tiekunnan tiedot tulee olla ajan tasalla tien hoitokunnan tai toimitsijamiehen osalta. Lisäksi tieoikeuksien tulee olla kunnossa. Tiekunnan olemassaolo todistetaan Maanmittauslaitokselta saatavalla kiinteistötietojärjestelmän yksityistierekisteriotteen tulosteella. (Traficom 2020, 1).

Siltahankkeet ovat etusijalla jaettaessa avustusta. Vuonna 2022 siltahankkeille myönnettävä avustus on 75 prosenttia hankkeen kustannuksista (Traficom 2020,17). Tiekunnat voivat saada myös tukea hankkeilleen kunnalta tai kaupungilta. Saadut tuet eivät leikkaa toisiaan vaan tiekunnan saama tuki voi olla jopa 100 prosenttia.

## 2.1 Puu sillan rakennusmateriaalina

Suomi on puuraaka-aineen suhteen omavarainen. Rakentamiseen soveltuvaa raaka-ainetta on saatavilla hyvin ja puuta jalostavia sahoja on tasaisesti ympäri Suomea. Puun käyttöä rakentamisessa puoltaa sen hyvä saatavuus ja uusiutuvana materiaalina se on ekologisesti kestävä valinta. Suomen valtapuulajeja ovat mänty, kuusi ja koivu. (Puuinfo 2020e.) Puun tärkeimpiä ominaisuuksia rakennusmateriaalina ovat veto- ja leikkauslujuus sekä taivutus ja puristuslujuus. Suomen yleisimmät puulajit rakentamisen kannalta ovat kuusi ja mänty. (Puuinfo 2020d.)

Puu elää kosteusvaihteluiden mukaan. Kuivuessaan puuaines kutistuu ja kosteuden lisääntyessä se turpoaa ja muuttuu muotoaan. Puuaineksen kostevaihtelu onkin huomioitava rakenteita suunniteltaessa. Kuusen ja männyn välillä on eroa kosteuteen reagoimisessa. Kuusen reaktiot kosteudenvaihteluun ovat hitaampia. Tuoreen puun kosteus prosentti on noin 30. Kuivatun puun kosteus vaihtelee välillä 8–25 prosenttia. Tähän vaikuttavat puun käyttökohde ja sijainti. Puun lujuus ominaisuudet parantuvat kuivatuksen myötä. (Puuninfo 2020f.)

## 2.2 Puun säänsuojaus vaihtoehdot

Puun suojaaminen on tärkeää rakenteen kestävyuden kannalta. Ilman suojaamista puu alkaa sinistyä ja lahota kuten kuvion kaksi sillassa on käynyt. Rakenne, jota ei ole suojattu, ei ole pitkäikäinen. (Luonnonvarakeskus 2016.) Puurakenne voidaan suojata joko rakenteilla tai suojaamalla puuaines esimerkiksi kyllästämällä. (Luonnonvarakeskus 2016).



Kuvio 2. Huonokuntoinen puusilta

Rakenteellinen suojaaminen voidaan tehdä esimerkiksi kattorakenteella, joka estää puun suoran altistumisen jatkuvalla kosteudella. Näin puurakenne ei ole jatkuvasti alttiina suoralle sateelle. (Luonnonvarakeskus 2016.) Kuviossa 3 oleva puusilta on suojattu kattorakenteella.



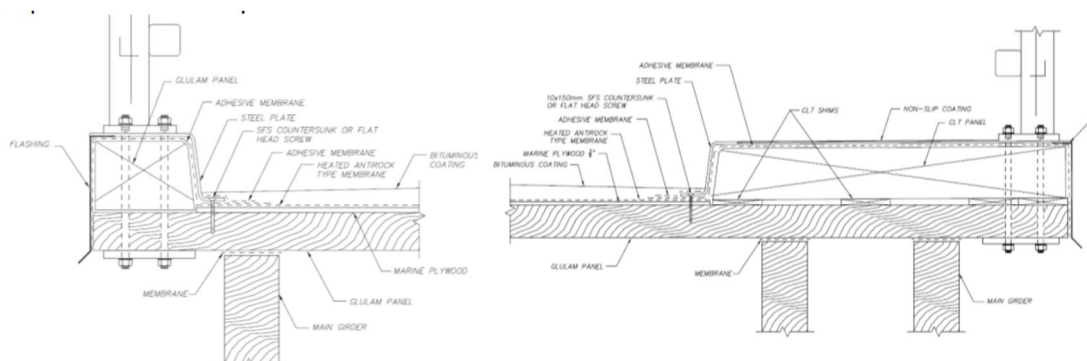
Kuvio 3. Katolla suojattu silta (Vermont Timber Works 2021)

Sillan kansirakenteen suojauksessa voidaan käyttää myös kuviossa 5 esitetyn kaltaista suojausta. Tämä kuvassa 4 oleva puusilta sijaitsee Mistissinissä, Quebecissä. Silta on 160 metriä pitkä betoniperustuksille rakennettu liimapuinen palkkisilta.



Kuvio 4. 160 metriä pitkä puusilta Mistissini, Quebec, Kanada (Lefebvre, D & Richard, G. 2014)

Riittäväällä sillankannen kaltevuudella edesautetaan veden nopeaa poistumista rakenteen päältä ja näin ollen vesi ei pääse vaikuttamaan pitkäaikaisesti puurakenteisiin. Kannen ja palkistorakenteen suojaus on tehty käyttämällä vedeneristeenä toimivaa polymeeri-bitumista valmistettua mattoa. Maton päälle asennetaan elastinen asfaltti. Kansirakenteen suojaus on toteutettu kerroksittain. Kuvassa 4 on esitetty kerrokset, joista alimmaisena on merivaneri (marine plywood), kerroksen tehtävänä on estää bitumipinnoitteen halkeilu. Merivanerin päällä on useita kerroksia polymeeri-bitumimattoa, joka toimii vesieristeenä. Päällimmäiseksi asennetun teräslevyn tehtävänä on suojata reunapalkkia lumiauran aiheuttamilta mekaanisilta vaurioilta. (Lefebvre, D & Richard, G 2014.) Merivaneri ei itsessään ole vedenpitävä materiaali, mutta sen liimaamiseen on käytetty vedenkestävää liimaa. Mikäli levyä ei käsitellä kemikaaleilla ei levy ole lahonkestävää. (Taylor 2021.)



Kuvio 5. Liimapuisen sillankannen suojaus

Puusillan rakenneosien suojausta tehdään myös asentamalla erillinen suojaus rakenteen päälle. Kuviossa kuusi on kantava palkki, joka on verhoiltu puupaneloinnilla. Verhous suojaa palkkia suoralta auringonpaisteelta, mutta se estää myös veden ja lumen pääsyn palkkiin (Östling 2020).



Kuvio 6. Palkin suojaus paneloimalla (Östling 2020)

Puun ulkopinta voidaan käsitellä myös maalaamalla. Maalaus suojaa puun ulkopintaa kosteudelta, uv-säteilyltä ja fysikaaliselta kulumiselta. Maalaus ei kuitenkaan suojaa puuta pintaa syvemmältä. Maalaus soveltuukin parhaiten rakennuksiin, jotka on suojattu erillisellä vesikattorakenteella. (Luonnonvarakeskus 2016.)

Puuaineksen kyllästäminen soveltuu kohteisiin, joita ei voida suojata rakenteilla. Tällaisia kohteita ovat jatkuvasti maakontaktissa olevat rakenteet kuten siltojen puiset paalutukset ja maanpaineseinät. (Turvallisuus- ja kemikaalikeskus 2021a.) Siltarakenteissa käytetty kyllästeaine on kreosootti. Kreosootti eli kreosoottiöljy on kivihiilitervan tisle. Aine on tehokas mutta myrkyllinen puunsuoja-aine. Aine koostuu sadoista orgaanisista yhdisteistä, joista suurin osa on ympäristölle haitallista tai vaarallista. Kreosootti on tarkoitettu vain ammatti käyttöön eikä sillä käsiteltyjä tuotteita saa luovuttaa kuluttajille. Käyttö on sallittu jatkuvasti maata koskettavissa kantavissa rakenteissa kuten silloissa. (Turvallisuus- ja kemikaalikeskus 2021a.)

Kuluttajille suunnattua painekyllästettyä puutavaraa tarjotaan kahdessa eri luokassa A ja AB. Kylläste on kuparipohjainen ja sitä on tarjolla vihreänä ja ruskeana. A-luokan painekyllästetty puutavara on tarkoitettu maa- tai betonikontaktissa oleviin rakenteisiin ja AB maanpäällisiin rakenteisiin. (Puuinfo 2020b.) Kreosootin korvaajaa on etsitty ja yhdeksi vaihtoehdoksi on esitetty Tanasote S40 kylästettä, jonka tehoaineina toimivat kuparihydroksidi, penflueeni ja DDAkarbonaatti. Aine on hyväksytty Euroopan unionin alueella. (Turvallisuus- ja kemikaalikeskus 2021b.)

Puun lämpökäsittely tarjoaa myrkyttömän vaihtoehdon puunsuojaukseen. Modifointiprosessissa puu käsitellään yli 160 celsius asteen lämpötilassa. Korkeassa lämpötilassa pihka-aineet poistuvat puusta. Puuaineen rakenteellinen lujuus pienenee jonkin verran. Puun biologinen kestävyys paranee käsittelyn ansiosta. Lämpökäsiteltyä puuta ei suositella käytettäväksi jatkuvassa maakosketuksessa oleviin rakenteisiin. (Puuinfo 2020a.)

### 2.3 Puun käyttö sillan rakenneosissa

Puuta on käytetty Suomessa ja muualla maailmassa pitkään siltojen rakentamiseen. Perinteinen suomalainen silta on rakennettu pyöreästä puusta. Pyöreää puuta on käytetty vaarnapalkkien valmistamiseen. Vaarnapalkki muodostuu vähintään kahdesta puusta, jotka on liitetty toisiinsa mekaanisesti (Eskelinen 2016).

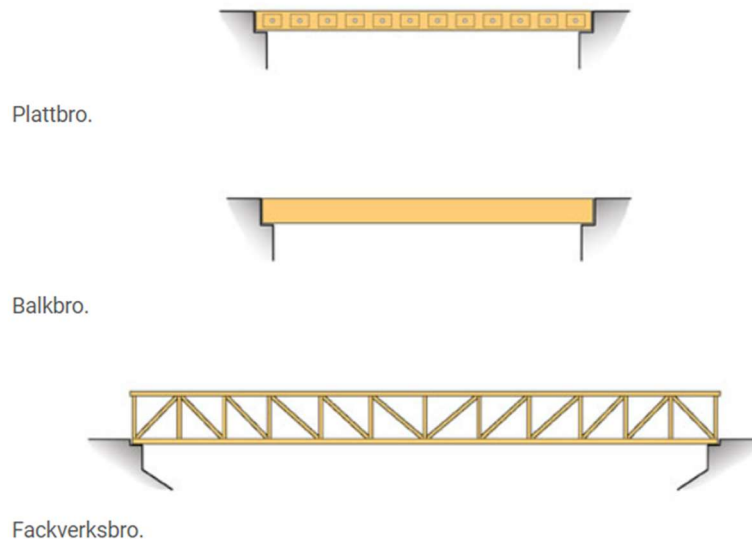
Puuta on aina ollut helposti saatavilla. Puuta onkin käytetty kaikissa sillan rakenne osissa kuten maapaineseinissä, paaluissa, hirsiarakuissa, kantavana rakenteena, kansimateriaalina ja kaiteina. Tästä hyvänä esimerkkinä toimii Ali-Keravan puinen vanha jokisilta vuonna 1905 (Kuvio 7). Silta on rakennettu puisten hirsiarakkujen päälle ja pääkannattajina toimivat hirsipalkit. Sillassa on myös matalat puiset kaiteet. (Keravan museopalvelut 2021.)





Kuvio 7. Ali-Keravan vanha jokisilta vuodelta 1905 (Keravan museopalvelut 2021)

Nykyaikainen puurakentaminen mahdollistaa puunkäytön siltarakentamisessa monipuolisesti. Ruotsalaisella Svesks Trä sivustolla esitellään kattavasti vuosina 1992–2007 Ruotsissa rakennettuja erityyppisiä puusiltoja. Tavanomaisimmat puusiltatyypit ja niiden toiminta periaate selviää alla olevasta kuvioista 8. Nykyaikaisissa silloissa rakennusmateriaalina käytetään pääosin liimapuisia palkkiratkaisuja. (Svensk Trä 2015.)



Kuvio 8. Laattasilta, palkkisilta, ristikkosilta (Sveskt Trä 2015)

### 3 KAINUUN AINEISTON KOKONAAN PUISET SILLAT

Kainuun kartoitusaineistossa täysin puisissa silloissa rakenteet perustuvat useimmissa tapauksissa Metsähallituksen ja Liikenneviraston (kuvio 9) tyyppihyväksytyihin malleihin. Siltatyypeistä löytyy luettelo ja piirustuspaketit Liikenneviraston arkistosta. Tässä luvussa esitellään muutama silta hieman tarkemmin. Kaikki sillat on tehty käyttämällä painekyllästettyä puuta, mutta poikkeavat kuitenkin toisistaan pääkannattajien ja perustamistavan osalta.

Siltojen mitoituskantavuus on seurannut kuljetuskaluston kehitystä eri vuosikymmenillä, mutta vanhoja siltoja ei ole korjattu vastaamaan kantavuuden vaatimuksia (Rauhanen 2015). Mitoituskuormien kehitystä voi tutkia esimerkiksi vanhoista Tie- ja vesirakennushallituksen 1982 ja Liikenneviraston 1999 siltojen kuormat ohjeista. Vanhoissa puusilloissa ovat rakenteet jo usein niin huonokuntoisia, ettei niitä voida hyödyntää korjaamalla.

Vanhoissa yksityisteiden silloissa puukaiteet ovat yleisesti käytettyjä. Puurakenteet kaiteissa eivät kuitenkaan täytä nykyisiä suunnittelumääräyksiä. Liikenneviraston Siltojenkaiteet ohjeessa vuodelta 2012, annetaan mahdollisuus käyttää tyyppihyväksymättömiä sillankaiteita museosilloissa. Tien suurin nopeus tulee kuitenkin olla rajattu 50 km/h. (Liikennevirasto 2012, 20.) Yksityisteillä nopeudet on pääsääntöisesti rajoitettu maksimissaan edellä mainittuun nopeuteen.

#### Puusillat

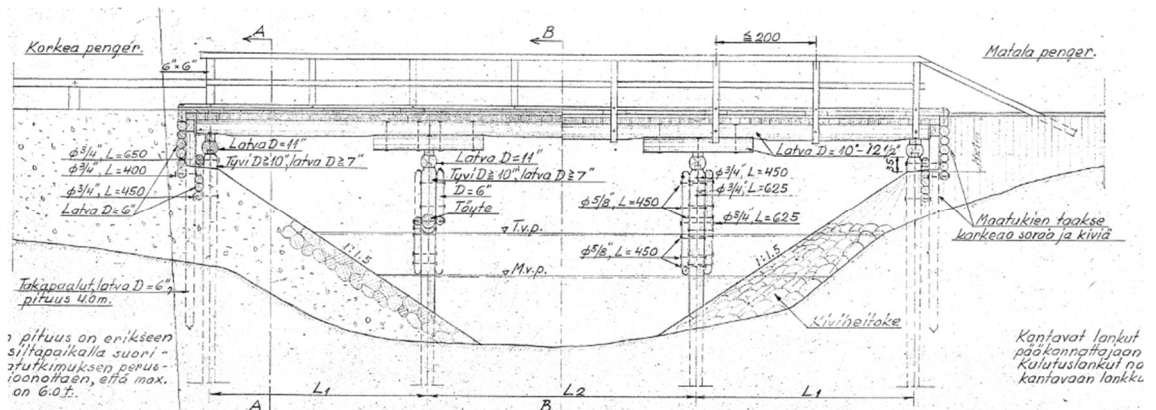
Siltatyyppi	Piirustusluettelo	Hyväksymisvuosi	Piirustuspaketti
Plp	<a href="#">Puinen liimattu palkkisilta</a>	1976 .. 1979	<a href="#">Plp</a>
PA	<a href="#">Yksiaukkoiset puupalkkisillat</a>	1900 .. 1960	<a href="#">PA</a>
PC	<a href="#">Vaarnapalkkisillat ilman poikkikannattajaa</a>	1900 .. 1946	<a href="#">PC</a>
PK	<a href="#">Naulatut lautapalkkisillat</a>	1900 .. 1945	<a href="#">PK</a>
PU	<a href="#">Jatkuvat puiset palkkisillat</a>	1900 .. 1966	<a href="#">PU</a>
PY	<a href="#">Railosillat</a>	1931 .. 1934	<a href="#">PY</a>
PF	<a href="#">Vaarnapalkkisillat</a>	1939 .. 1940	<a href="#">PF</a>
PR	<a href="#">Riippusillat</a>	1936 .. 1946	<a href="#">PR</a>

Kuvio 9. Puusillat tyyppi- ja piirustusluettelo (Liikennevirasto 2022)

#### 3.1 Siltatyyppi PU

PU- siltatyyppi on suunniteltu ja sen piirustuksia on päivitetty vuosina 1957–1966 (Liikennevirasto 2013). Sillan suunniteltu kantavuus on ilmoitettu suunnitelma-

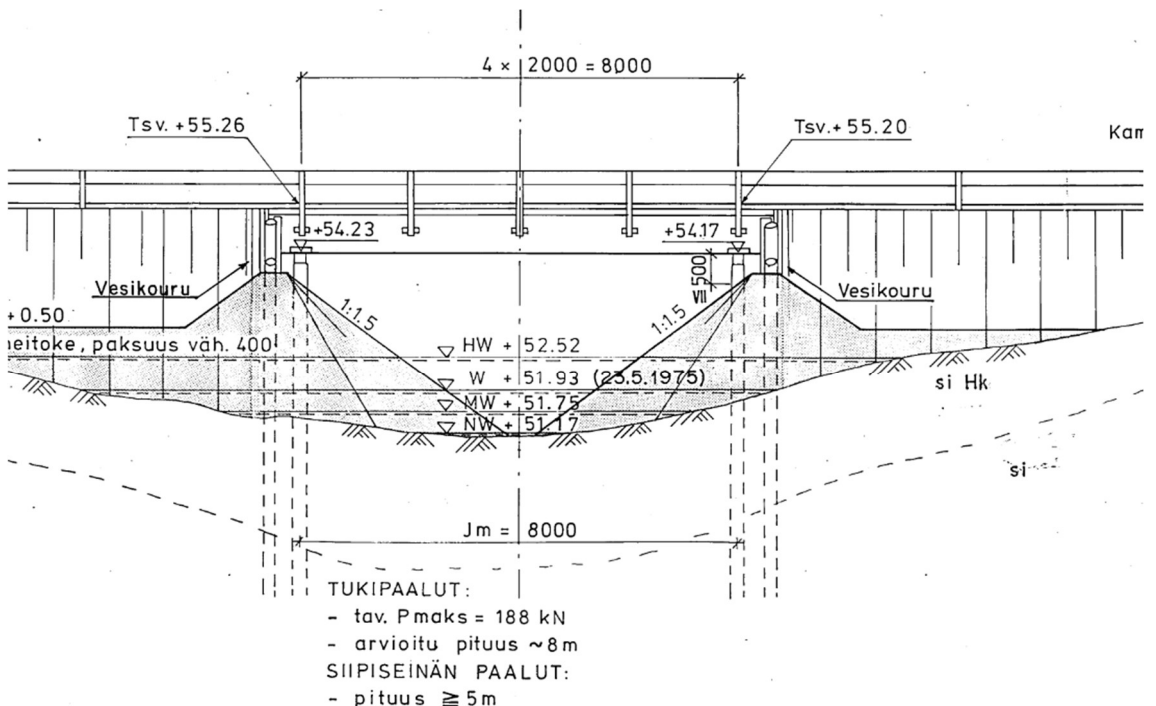
asiakirjoissa seuraavasti: kaksi kappaletta 9 tonnin painoisia autoja tai yksi kappaletta 12 tonnin painoisia autoja (Liikennevirasto 2022) (Kuvio 10).



Kuvio 10. PU versio 1.1

### 3.2 Siltatyyppi Plp

Siltatyyppi Plp suunnitelma asiakirjat on laadittu vuonna 1978. Pääkannattajana toimii liimapuupalkkisto. Siltatyyppi on suunniteltu hyötyleveyksille 4–6,5 metriä. Jännemitat ovat välillä 4–20 metriä. Suunnitelma asiakirjoissa on piirustukset puusille maaturkirakenteille sekä betonisille maatuille (Kuvio 11). Suunnittelukuormana on käytetty RKN 75 (EK II). Yksityisteillä on käytetty ajoneuvon kokonaispainona mitoituksena 60 tonnin ajoneuvoa. Yleisillä teillä sillat on suunniteltu 75 tonnin ajoneuvon kokonaisuudelle. (Tiehallinto 1999, 9.)



Kuvio 11. Tyypisilta Plp

Kainuun aineistossa on 11 kappaletta kokonaan puisia siltoja. Eli siltojen maatuet, kantavat palkit, kansirakenne ja kaiteet pääosin on tehty puusta. Malleina näissä silta rakenteissa on käytetty Liikenneviraston ja Metsähallituksen puu- ja liimapuupalkkisiltojen tyyppikuvia.

### 3.3 Kommaniemen puupalkkisilta

Kommaniemen puupalkkisilta ei ole suoraan mallinnettu kummastakaan tyyppi-silta mallista. Todennäköisesti sillalle ei ole koskaan tehty suunnitelmaa. Eli kantavuus on ollut jo uutena matala. Sillan puiset kansi- ja kaiderakenteet ovat kuvien ja kartoitustietojen perusteella lahoja. Puisen maaturakenteen osat ovat myös lahoja eikä rakenne ole tyyppisuunnitelmien mukainen (Kuvio 12).



Kuvio 12. Puupalkkisilta, Kommaniemen yksityistie (Metsäkeskus 2020)

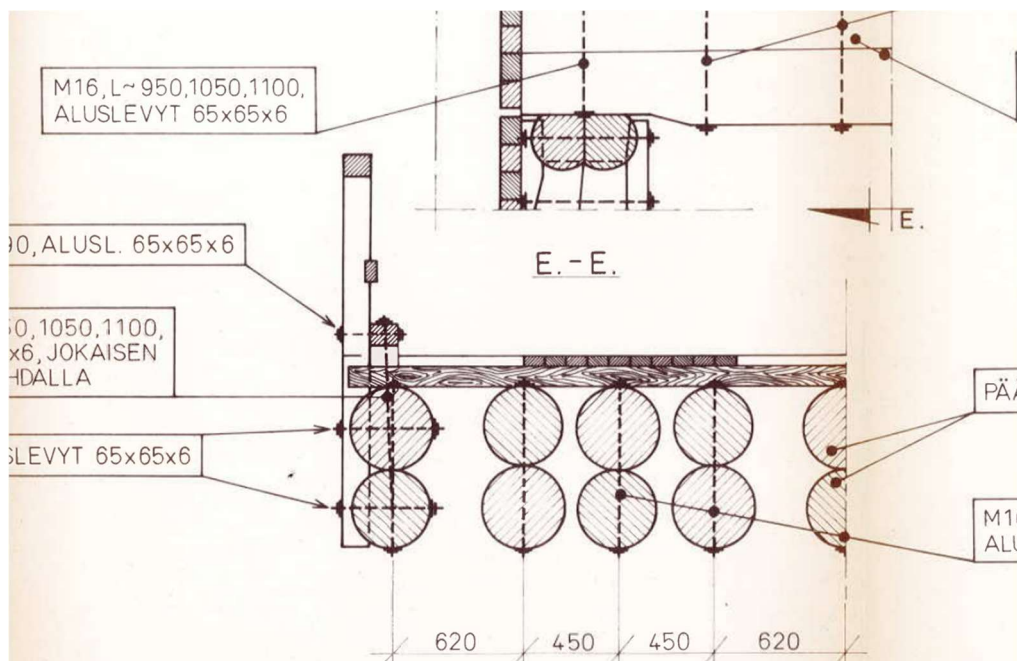
### 3.4 Terva-ahon yksityistien puupalkkisilta (Tukkisilta II)

Terva-ahon yksityistien silta (Kuvio 13) näyttäisi olevan rakennettu Metsähallituksen tukkisillan tyyppikuvien mukaan (Kuvio 14,16 ja 17). Uomaan on lisätty suo-  
jaukseksi kantaville paaluille vaakatasossa olevat kestopuiset pylväät. Maatuki-  
paaluja on sillassa seitsemässä rivissä. Sillan kaiderakenne on uusittu jossain

vaiheessa. Tämän siltatyypin kantavuus on ollut uutena luokkaa 30–40 tonnia, kantavuus on esitetty kuviossa 15. Sillan maatumkirakenne on todettu kuntokartoituksessa hyväkuntoiseksi ja kuvista tehdyt havainnot tukevat tätä tietoa.



Kuvio 13. Puupalkkisilta, Terva-ahon yksityistie (Metsäkeskus 2020)

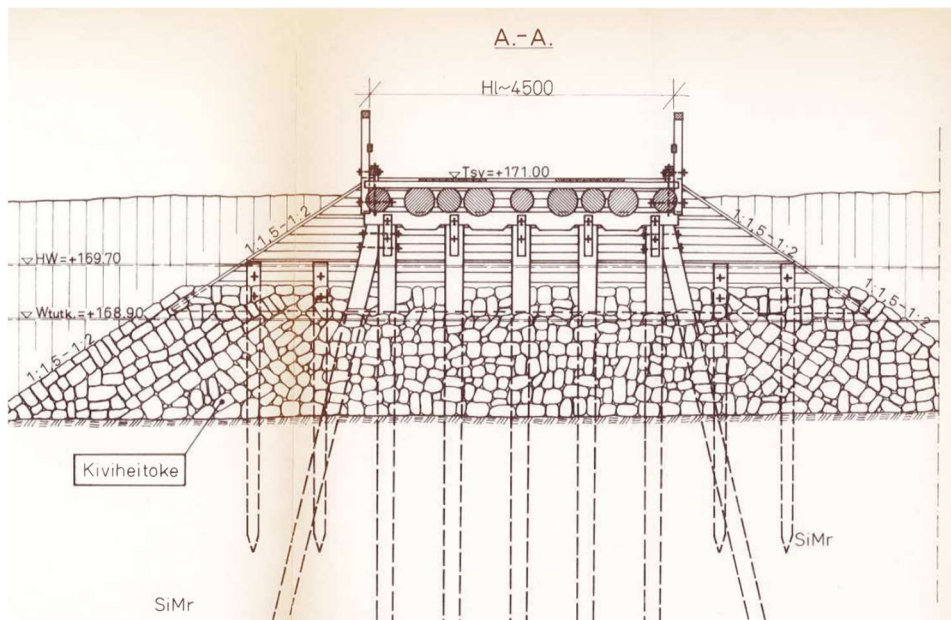


Kuvio 14. Tukkisilta II, pääkannattajat

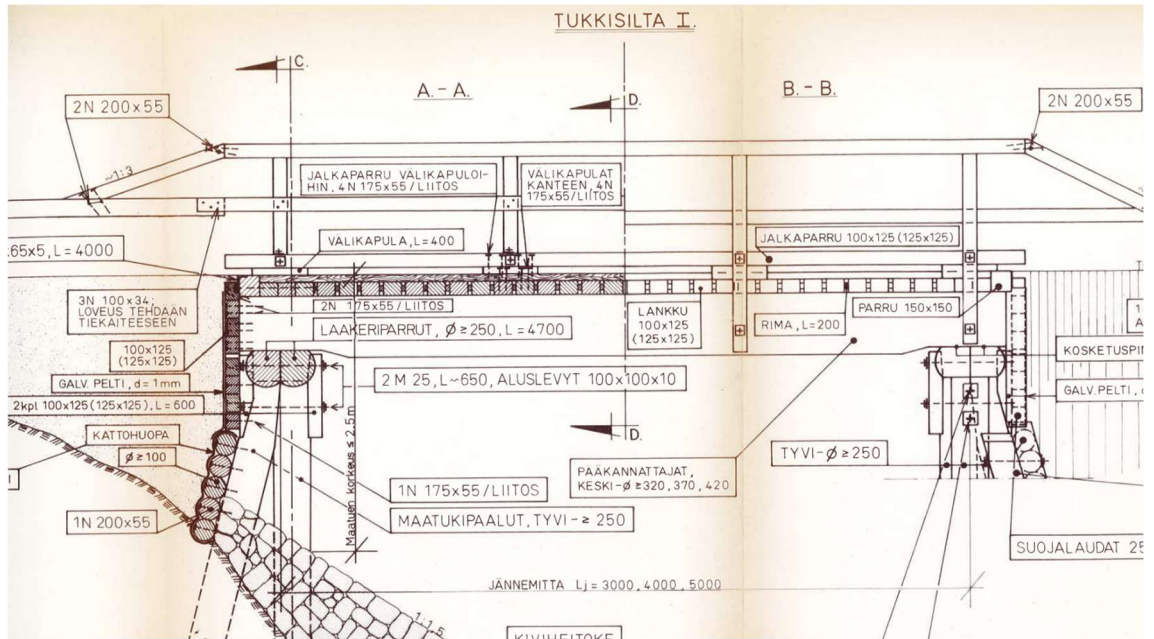
piirustusten mukaisesti.

SUUNNITTELUKUORMA :	Tukkisilta I. = Liikennekuorma 2. (Lk 2.).
—————  ————— :	Tukkisilta II. = Liikennekuorma 1. (Lk 1.).
TARKISTUSKUORMA :	Tukkisilta I. = 0,35 MN:n telapuskutraktori.
—————  ————— :	Tukkisilta II. = 0,40 MN:n telapuskutraktori.

Kuvio 15. Tukkisiltojen kantavuus



Kuvio 16. Tukkisilta, puupaaluperustus ja maanpaineseinä (Metsähallitus 1989)



Kuvio 17. Tukkisilta, laakeritaso, kaiteet ja kansirakenne (Metsähallitus 1989)

### 3.5 Kaarneen yksityistien puupalkkisilta

Kaarneen yksityistien sillassa on puinen kansi- ja kaiderakenne. Pääkannattajina toimivat puiset palkit. Lisäksi uoman puolella välissä on hirsiarkkurakenne välitukena. Kuviossa 18 on havaittavissa laajoja lahovaurioita ja taipumaa pääkannattajissa. Sillan korjaaminen tai rakenteiden hyväksi käyttäminen korjaamisessa ei ole kannattavaa tai mahdollista niiden huonon kunnon takia.



Kuvio 18. Puupalkkisilta, Kaarneen yksityistie (Metsäkeskus 2020)

### 3.6 Seilosen yksityistien puupalkkisilta

Seilosen yksityistien silta (Kuvio 19) on rakenteeltaan puinen palkkisilta. Siltaa on korjattu muutaman vuoden sisällä. Tarkempaa ajankohtaa ei ole tiedossa. Siltaan on vaihdettu kansilankutus ja sillan kaiteet on myös uusittu. Sillan maa- ja välituki rakenteet ovat kuntokartoitustietojen ja kuvien perusteella hyväkuntoisia. Maatuissa on käytetty osittain betonista valmistettua maanpaineseinä rakennetta, mutta paalutukset on tehty kyllästetystä puusta. Silta ei kuitenkaan täytä nykyisiä suunnittelumääräyksiä ja sillalla onkin asetettu 60 tonnin painorajoitus.



Kuvio 19. Puupalkkisilta, Seilosen yksityistie (Metsäkeskus 2020)

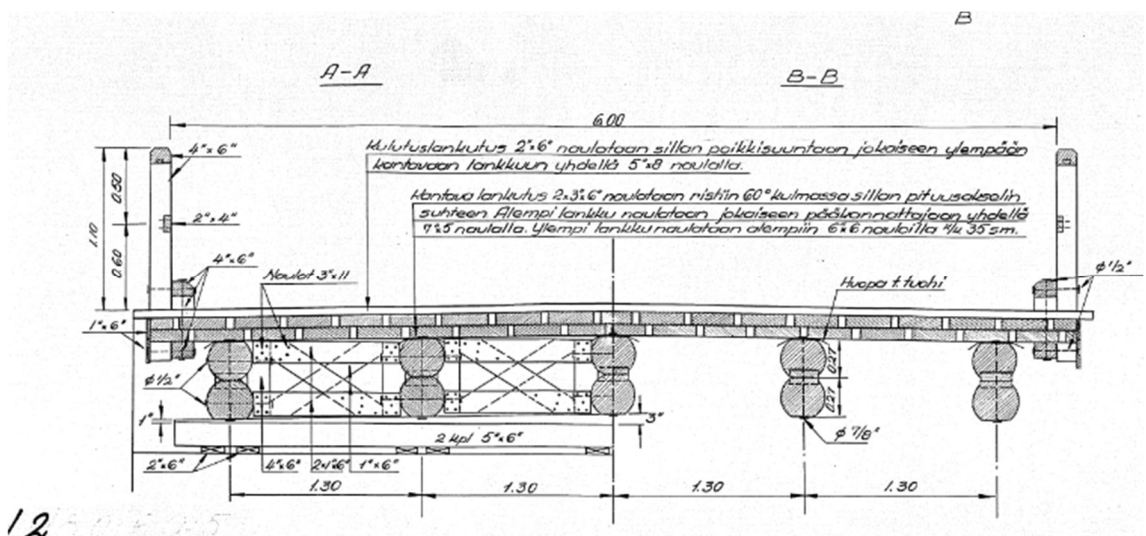
### 3.7 Saarelantien jatkuvapuinen palkkisilta

Saarelantien silta (Kuvio 20) on puinen palkkisilta (Kuvio 21), jossa on puusta rakennetut puupaaluperusteiset maatuet ja kaksi puista välitukea. Sillan kansirakenteessa on aluspuina parrut ja kulutuskerroksena ruodelauditus. Sillan kaikissa rakenteissa on havaittavissa vakavia lahovaurioita, ja sillan osittainenkaan jatkokäyttö ei ole mahdollista. Silta on tullut käyttöikänsä päähän.





Kuvio 20. Puinen palkkisilta, Saarelantien tiekunta (Metsäkeskus 2020)



Kuvio 21. Tyypik kuva vaarnapalkkisilta 1900–1946 (Liikennevirasto)

### 3.8 Luokkipuron yksityistien silta

Luokkipuron yksityistien sillan (Kuvio 22) pääkannattajina toimivat liimapuiset pal-  
kit. Kansirakenteena on syrjälankku. Sillankaiteet on rakennettu parrusta. Maa-  
tuet ja pääkannattajat oli arvioitu kuntokartoituksessa kuntoluokkaan kaksi.



Kuvio 22. Liimapuinen palkkisilta, Luokkipuronyksityistie (Metsäkeskus 2020)

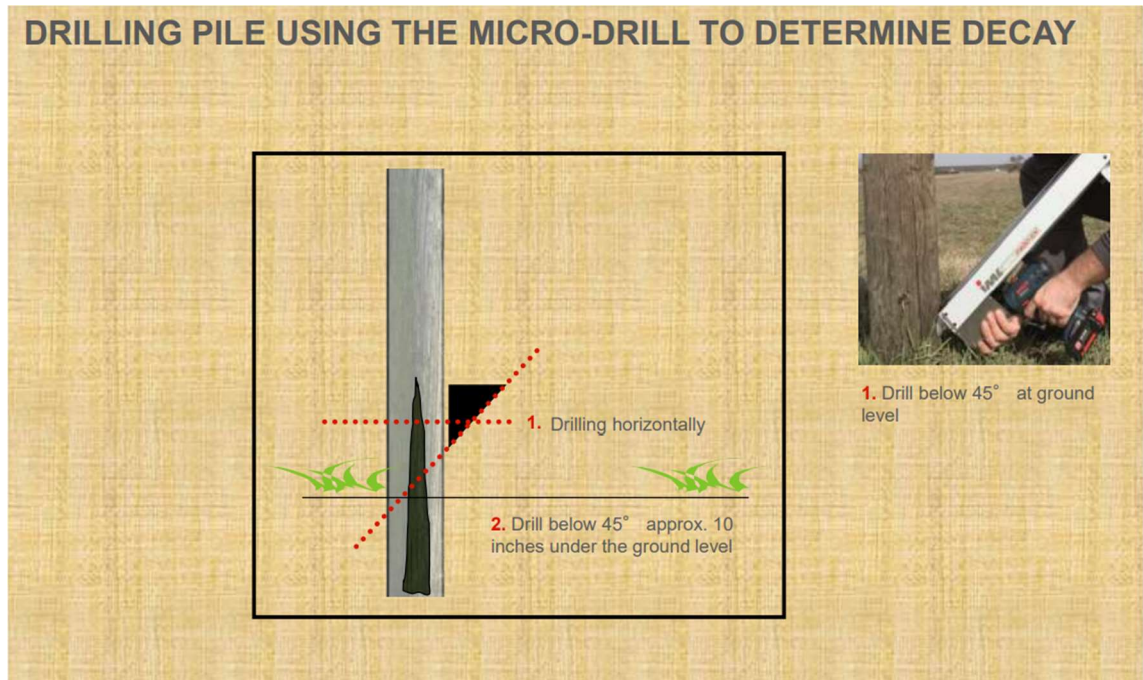
### 3.9 Puusiltojen kantavuus ja vauriot

Liikennevirasto on tehnyt vuonna 2016 tutkimuksen puusilloille, jotka olivat valmistuneet vuosina 1965–1973. Tutkimuksessa tarkasteltiin siltojen kantavuutta ja kuntoa. Tutkimuksen kohteena olleet puusillat sijaitsivat pääosin vähäliikenteisillä teillä, mutta niillä oli kuitenkin raskasta liikennettä, joka johtui pääosin puukuljetuksista. (Liikennevirasto 2016, 3.)

Tutkimuksen kohteena olleissa silloissa pääkannattajina toimivat pyöreästä puusta valmistetut pääkannattajat, joita oli kaksi päällekkäin. Rakenne oli sidottu toisiinsa pulttiliitoksilla. Pääkannattajana toimivat puut oli sahattu 250 mm vahvoiksi. Pääkannattimien jakona on käytetty 0,5 metriä. Sillat olivat Pjp tyyppisilltoja, jotka oli mitoitettu suunnittelukuormien A1 ja vuodesta 1969 alkaen Akl, EKII mukaisesti. (Liikennevirasto 2016, 3.)

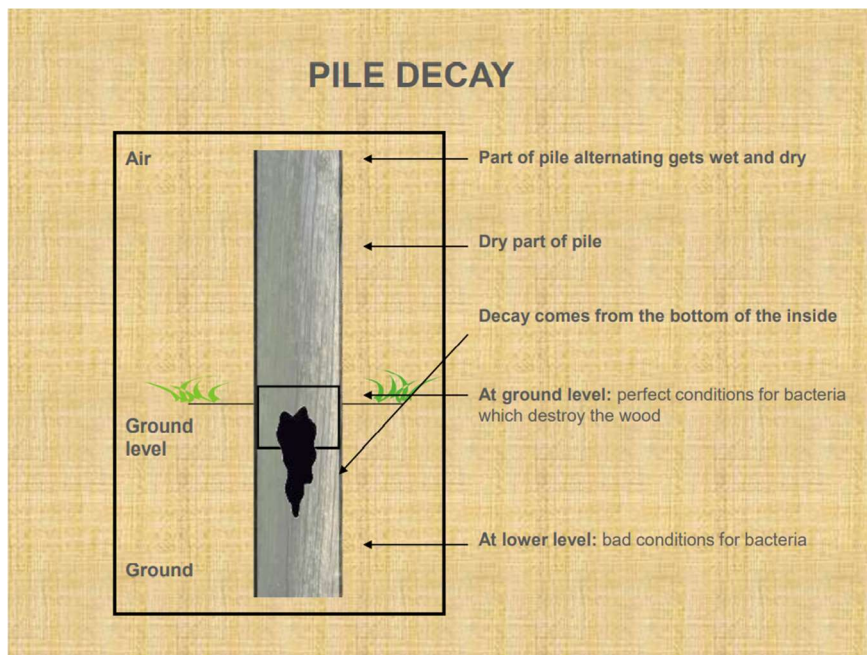
Siltojen lahon tutkimisessa oli käytetty mikroporaa ja kasvukairaa. Laha oli löydetty paalujen vesirajasta ja maanpainesestä. Laha oli löytynyt myös pääkannattimista ja niskapuista. (Liikennevirasto 2016, 3.) Lahontutkiminen mikroporaa

käyttäen on esitetty kuviossa 23. Poraaminen tapahtuu paaluun maanpinnantasolta 45 asteen kulmassa ulottuen noin 25 senttimetrin syvyyteen maanpinnan alapuolelle (Gopu 2016).



Kuvio 23. Lahon tutkiminen mikroporalla (Gopu 2016)

Lahon esiintyminen paalutuksessa on esitetty kuviossa 24. Lahoamiselle alttein osa sijaitsee maantasolla, jossa on parhaimmat olosuhteet bakteeri toiminnalle (Gopu 2016).



Kuvio 24. Paalun vaurioituminen (Gopu 2016)

Siltojen kuormankantavuutta oli testattu kuormituskokeella, jossa kuormitus aiheutettiin täysperävaunuisella sorarekalla. Siltoihin oli asennettu antureita, joiden tarkoituksena oli seurata pystysiirtymiä ja venymiä palkkirakenteissa. (Liikennevirasto 2016, 4.) Koekuormituksilla oli saatu aikaiseksi palautumattomia painumia, jotka saattoivat johtua paalujen painumisesta tai lahon vaikutuksesta. Tuloksia oli mallinnettu laskentamalleilla ja niiden avulla oli todettu, että lahovauriot välituilla saattoivat aiheuttaa koko pääkannattajan romahtamisen. Jo pienikin lahovaurio voi mahdollistaa romahtamisen. (Liikennevirasto 2016, 4.) Lahotutkimuksessa oli tehty havaintoja paaluista, jotka näyttivät silmävaraisesti arvioiden olevan ehyitä, mutta porauksessa oli selvinnyt puun todellinen kunto. Tutkimuksen kohteena oli 40 siltaa, joissa kolmessa ei havaittu lahoa (Liikennevirasto 2015). Puun pinnassa oli 20–50 mm tervettä puuta, mutta puu oli sisältä täysin laho. (Liikennevirasto 2016, 23.)

## 4 KASVIHUONEPÄÄSTÖT

Julkiselle puurakentamiselle on asetettu tavoitteet vuosille 2016–2022. Suomi on sitoutunut kansainvälisten sopimusten kautta vähentämään kasvihuonepäästöjä. Puurakentaminen on todettu tärkeäksi keinoksi päästöjen vähentämisessä. (Ympäristöministeriö 2020.) Yksityisteiden silloissa on mahdollista lisätä puunkäyttöä ja osallistua näin kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. Puunkäyttöä voidaan lisätä sekä siltojen korjaus että uusimiskohteissa. Noin puolet puuaineksesta on hiiltä. Yksi kuutiometri puuta sitoo noin 750 kilogrammaa hiiltä (Puuinfo 2020c).

### 4.1 Hiilijalanjälki ja hiilikädenjälki

Hiilijalanjälki kuvaa rakennuksen elinkaaren aikaista vaikutusta ilmastoon. Hiilijalanjäljen laskemiseksi rakennuksille on olemassa oma eurooppalainen standardin SFS-EN 15978. (Kujala 2018.) Hiilikädenjälki tarkoittaa tuotteen tai palvelun tuottamaa positiivista vaikutusta hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi (Puutuoteollisuus Ry 2022).

Rakenteiden hiilijalanjälki muodostuu rakenteen elinkaaren aikana seuraavista tekijöistä:

- raaka-aineet
- rakennustuotteiden valmistamisen raaka-aineista
- kuljetukset
- siirrot
- työmaatoiminnot
- rakennuksen käytön sisältäen ylläpidon
- huollon ja korjaukset
- lopulta rakennuksen poiston käytöstä ja tästä purkamisen kautta syntyvien jätteen uudelleen käytön, kierrätyksen tai loppusijoituksen. (Rakennusteollisuus 2020, 7.)

## 4.2 Betoni ja teräs

Tulevaisuudessa on kuitenkin odotettavissa esimerkiksi teräksen osalta fossiilivapaata teräksen tuotantoa. Teräksen valmistuksessa käytettävä kooksi korvataan fossiilivapaalla sähköllä ja vedyllä. Teräksen hyviin ominaisuuksiin voidaan huomioida hyvä kierrätettävyys. (Cronvall 2021.)

Betonin osalla on myös tapahtunut kehitystä kohti ilmastoystävällisempää rakentamista. Rudus Oy:n sivuilla esitellään vihreää betonia. Tässä tuotteessa sementti on korvattu korvaavilla sideaineilla kuten lentotuhkalla ja masuunikuonalla. (Rudus Oy 2021.)

## 4.3 Rakennusmateriaalien vertailu siltakohteella

Tulevaisuuden valintoja tehtäessä on hyvä huomioida myös ilmastovaikutukset. Esimerkkivertailun tarkoitus on havainnollistaa hiilijalan- ja hiilikädenjäljen muodostumista rakennusmateriaalien osalta 10 metrin jännemitalla (JM) ja 4,5 metrin hyötyleveydellä (HL) oleville silloille.

Vertailu suoritettiin seuraavilla siltavaihtoehdoilla:

- Ble II teräsbetoninen laattasilta JM 10 m, HL 4,5 m, maatuen korkeus 1,7 m.
- Vanhat maatuet, Versowoodin puinen laattasilta, JM 10 m, HL 4,5 m.
- Vanhat maatuet, Versowoodin puinen palkkisilta, JM 10 m, HL 4,5 m.
- Paikalla valettu teräsbetoninen maatuki, Versowoodin puinen laattasilta JM 10 m, HL 4,5 m.
- Paikalla valettu teräsbetoninen maatuki, Versowoodin puinen palkkisilta JM 10 m, HL 4,5 m.

Vertailun tarkoituksena on selvittää rakenteiden rakennusmateriaalien hiilijalan- ja hiilikädenjälki. Vertailu tehtiin käyttämällä Ympäristöministeriön hiilijalanjäljen arviointityökalua (v 2019). Vertailussa laskuriin annettiin rakenteiden rakennusmateriaalit kilogrammoina. Vertailussa ei otettu huomioon kaidarakenteita, koska oletuksena on, että kaikissa vaihtoehdoissa on samanlainen teräksinen kaiderakenne. Näin ollen kaiteiden mukana olo ei olisi tuonut vertailuun lisäarvoa.

Rakennusmateriaali määrät on saatu BLE II sillan osalta tyyppiirustuksista. Paikalla valettavan maatumien materiaali määrät on saatu VeiTa Tekniikka Oy tekemästä siltasuunnitelmasta ja Versowoodin laatta- ja palkkisiltojen materiaalmäärät on saatu Versowoodilta. Betonin painona on laskelmissa käytetty 2400 kg/m<sup>3</sup> ja raudoitetussa betonissa painona on käytetty 2500 kg/m<sup>3</sup>. Liimapuun painona on käytetty 450 kg/m<sup>3</sup>.

Teräsbetoninen elementtilaattasilta on Liikenneviraston hyväksymä tyyppisilta, jota käytetään yleisesti yksityisteiden siltaratkaisuna. Siltatyyppi soveltuu käytettäväksi, jos penkereen varainen perustamistapa on mahdollinen. Silta muodostuu perustus-, maatum- ja kansielementeistä. Sillan hiilijalanjälki on esitetty Taulukossa 1.

Paikalla valetun maatumirakenteen rakennusmateriaalit ovat teräs ja betoni. Niimensä mukaisesti maatumirakenne valmistetaan siltapaikalla kokonaan. Sillan kansirakenteena käytettävä Versowoodin palkkisilta toimitetaan kokonaisuena elementtinä siltapaikalle ja asennetaan valmiin maatumirakenteen päälle nosturin avulla.

Hiilijalanjälki muodostuu tässä vaihtoehdossa negatiiviseksi lähinnä maatumirakenteen vuoksi. Taulukossa yksi on esitetty rakenteen aiheuttamat ilmastovaikutukset. Hiilijalanjälkeä pienentää hiiltä sitova puinen kansi rakenne.

Paikalla valetun maatumirakenteen rakennusmateriaalit ovat teräs ja betoni. Niimensä mukaisesti maatumirakenne valmistetaan siltapaikalla kokonaan. Sillan kansirakenteena käytettävä Versowoodin puinen laattasilta tulee kokonaisuena siltapaikalle ja asennetaan suoraan valmiin maatumirakenteen päälle.

Laattasiltaan käytettävä puumäärä on suurempi kuin palkkisiltaan käytettäväpuumäärä. Taulukossa yksi on esitetty rakenteen aiheuttamat ilmastovaikutukset. Hiilijalanjälkeä pienentää hiiltä sitova puinen kansirakenne.

Vanha käyttökelpoinen maatumirakenne voi olla joko teräsbetonirakenteinen tai puupaaluperusteinen myös vanhoja käyttökelpoisia kiviperustuksia löytyy. Mikäli vanha maatumirakenne on käyttökelpoinen ja kansirakenne uusitaan käyttämällä puista laatta- tai palkkisiltaa, saadaan sillan hiilijalanjälki positiiviseksi. Puinen sillan kansirakenne sitoo hiilidioksidia taulukon yksi mukaisesti.

Taulukko 1 Siltarakenteiden välinen hiilijalan- ja hiilikädenjäljen laskenta

Vertailulaskelma

Siltarakenne	Materiaali	Määrä kg	kgCO <sub>2</sub> e	
			Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
BLE II, JM= 10 m, HL=4,5 m	Betoni+teräkset	142900	22864	
			22864	
			Hiilitase	22864
Paikalla valettu maatuki	Betoni+teräkset	156000	19812	
			995	
Versowood puinen palkkisilta JM=10m, HL=4,5m	Liimapuu	9738	3470	-15776
			Jänneteräs	981
			Yhteensä	24742
			Hiilitase	-15776
				8966
Paikalla valettu maatuki	Betoni+teräkset	156000	19812	
			995	
Versowood puinen laattasilta JM=10m, HL=4,5m	Liimapuu	13446	4792	-21783
			Jänneteräs	740
			Yhteensä	25950
			Hiilitase	-21783
				4167
Vanha maatukirakenne				
Versowood puinen laattasilta JM=10m, HL=4,5m	Liimapuu	13446	4792	-21783
			Jänneteräs	740
			Yhteensä	5143
			Hiilitase	-21783
				-16640
Vanha maatukirakenne				
Versowood puinen palkkisilta JM=10m, HL=4,5m	Liimapuu	9738	3470	-15776
			Jänneteräs	981
			Yhteensä	3935
			Hiilitase	-15776
				-11841

#### 4.2 Kainuun sillat hiilijalanjälki

Aineiston rakennusmateriaalien määriä ei ole aineistossa tarkasti esitetty, eikä rakenneosien tilavuudesta ole mitattua tietoa. Joten tarkan hiilijalanjäljen tai hiilikädenjäljen laskeminen aineistosta ei ole mahdollista. Kokonaisuutta tarkasteltaessa voidaan kuitenkin tehdä oletuksia, kun tiedetään materiaalien jakautuminen siltatyypin mukaan.

Aineiston perusteella voidaan päätellä, että Kainuun aineistossa olevien siltojen aiheuttama hiilijalanjälki on suurempi kuin hiilikädenjälki. Rakenteissa on käytetty paljon betonia ja terästä. Hiiltä sitovat puiset ratkaisut ovat aineistossa vähemmistönä. Puusillat ovat tulossa elinkaarensa päähän. Jos hiilensidonta siltarakenteissa halutaan pitää entisellä tasolla tai lisätä hiilen sidontaa tulee vanhat puusillat korvata vastaavanlaisilla rakenteilla.



## 5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUSTAPA

Työn tarkoituksena oli tutkia Kainuun yksityisteiden siltojen kuntoa, Metsäkeskuksen tuottaman kuntokartoitusaineiston pohjalta. Tutkimus menetelmänä on käytetty tapaustutkimuksen keinoja (Vuori, J 2022). Aineistoa on analysoitu mahdollisimman kattavasti. Aineistossa olevia osia on vertailtu keskenään ja pyritty ymmärtämään yksityisteiden siltojen nykytilaa. Analysoinnissa on käytetty laadullisen tutkimuksen menetelmiä kuten luokittelua sekä määrällisen tutkimuksen menetelmiä kuten ristiintaulukointi (Jokinen, A 2022).

Tutkimuksessa on pyritty kuvaamaan joukkoa, jonka muodostaa siltakartoitusaineisto. Aineistoa tukevaa viitekehystä on kerätty pääasiallisesti verkkojulkaisuista. Aineistoa on lähestytty faktanäkökulmasta, jolla on tarkoitus esittää tutkitavan kohteen todellinen tila ja selittää todellisuuteen perustuvia havaintoja. Osittain aineistoa on tutkittu myös kokemusnäkökulmaa hyväksi käyttäen. (Jokinen, A 2022.)

Osallistuin henkilökohtaisesti aineiston keräämiseen kuntokartoittajan roolissa. Oma kohtainen kokemus aineiston keruusta on tuonut ajatuksia tietojen keräysmenetelmän kehittämiseksi. Kainuun siltakartoitus aineisto on tarkkaan rajattu joukko, jota on tutkittu kokonaisuutena. Toisaalta joukosta on tutkittu myös tarkemmin rajattua osiota eli puusiltoja. Joukkoa on tutkittu laadullisia menetelmiä hyväksi käyttäen. Tausta aineistolla on pyritty kuvaamaan puusiltojen nykytilaa ja historiaa hieman laajemmin.

Opinnäytetyöni tausta-aineistona toimii Suomen Metsäkeskuksen maastossa keräämä Kainuun yksityisteiden siltojen kuntokartoitusaineisto. Aineisto on kerätty kesän 2020 aikana erilliskartoituksena. Maastossa kartoitettiin noin 250 kappaletta yksityisteiden siltoja.

Metsäkeskus tilasi työn OTSO Metsäpalvelut Oy:ltä. Kuntokartoituksen tiedot tallennettiin Metsäkeskuksen tietokantaan puhelinsovelluksen avulla. Kainuun siltojen kuntokartoitus aineisto sisältää tietoa kuvien ja mittaustietojen muodossa.

Tehdyssä siltojenkuntokartoituksissa määritettiin siltojen rakenneosien valmistusmateriaali ja arvioitiin rakenteiden kunto silmävaraisesti. Kartoituksessa kirjat-

tiin arvio rakenteen kunnosta rakenneosittain. Tutkittavia osia olivat pääkannattajat, maatuet, paalutukset, kansirakenne ja kaiteet penkereen sillan osalta. Lisäksi kartoittajien tehtävänä oli arvioida, onko siltarakenne vaelluseste vesieliöstölle.

Aineistoon liittyy olennaisena osana kuvamateriaalia. Kuvamateriaalia on käytetty opinnäytetyössä havainnollistamiseen. Olen saanut aineiston käyttöni Metsäkeskukselta Excel-taulukkona ja kuvapankkina. Kuvat on sidottu siltapaikkoihin tunnisteella. Olen analysoinut aineistoa käyttämällä Pivot-taulukkotyökalua. Aineistosta on tehty Pivot-työkalulla hakuja, joiden avulla on selvitetty ensin koko aineiston osalta siltojen kuntoluokka, käytetyt rakennusmateriaalit, rakenneosien kunto ja määrä materiaaleittain. Hakujen perusteella tehtiin vertailua esimerkiksi kuntoluokituksen osalta eri rakennusmateriaalien välillä.

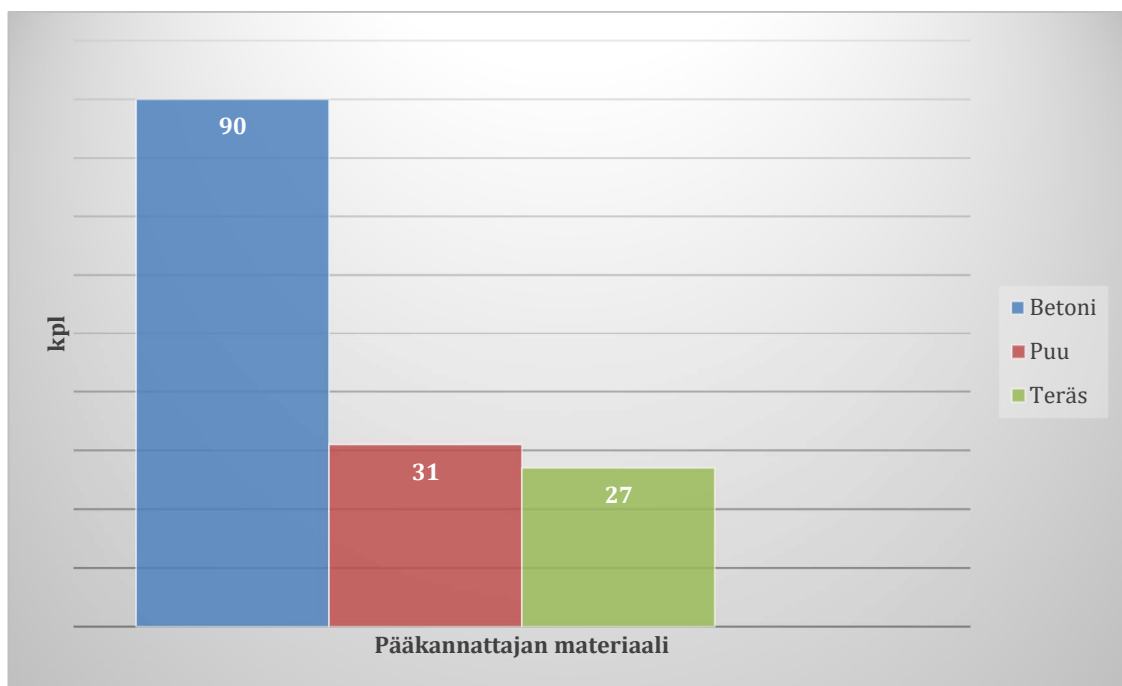
Haku toistettiin ja tiivistettiin kokonaan puisille silloille. Tällä oli tarkoitus löytää hyödynnettäviä rakenneosia työn lopulliseen tulokseen eli jonkin rakenneosan jatkokäyttöön. Aineistossa olevaa kuvamateriaalia on käytetty havainnollistamaan luokkien ja rakenteiden välisiä eroja. Kuvat antavat kohteiden välille perspektiiviä lukijalle ja helpottavat aineistokokonaisuuden hahmottamista. Opinnäytetyön luonteesta johtuen teoria-aineistoa, joka olisi tutkinut opinnäytetyöni aihetta oli alustavien tutkimuksien mukaan heikosti saatavilla. Yksityisteiden siltojen puurakentaminen on ollut Suomessa vähäistä 2000 luvulla.

## 6 TULOKSET

Kainuun yksityisteiden siltojen kuntokartoitusaineisto koostuu Exceliin koostetusta aineistosta sekä siltakohtaisesta kuvamateriaalista. Tulokset on koostettu Pivot-hakuja hyödyntäen. Aineistossa on huomattu muutamia kirjausvirheitä, kuten diagrammeissa esiintyvä ”valokuva” tai ”tyhjä”. Havaitut virheet eivät kuitenkaan vaikuta mielestäni aineiston luotettavuuteen vaan aiheuttaa lähinnä kosmeettisen haitan. Nämä edellä mainitut virheet eivät ole tuloksissa mukana muutoin kuin diagrammeissa häiritsevänä merkintänä.

### 6.1 Siltatyypin jakautuminen aineistossa

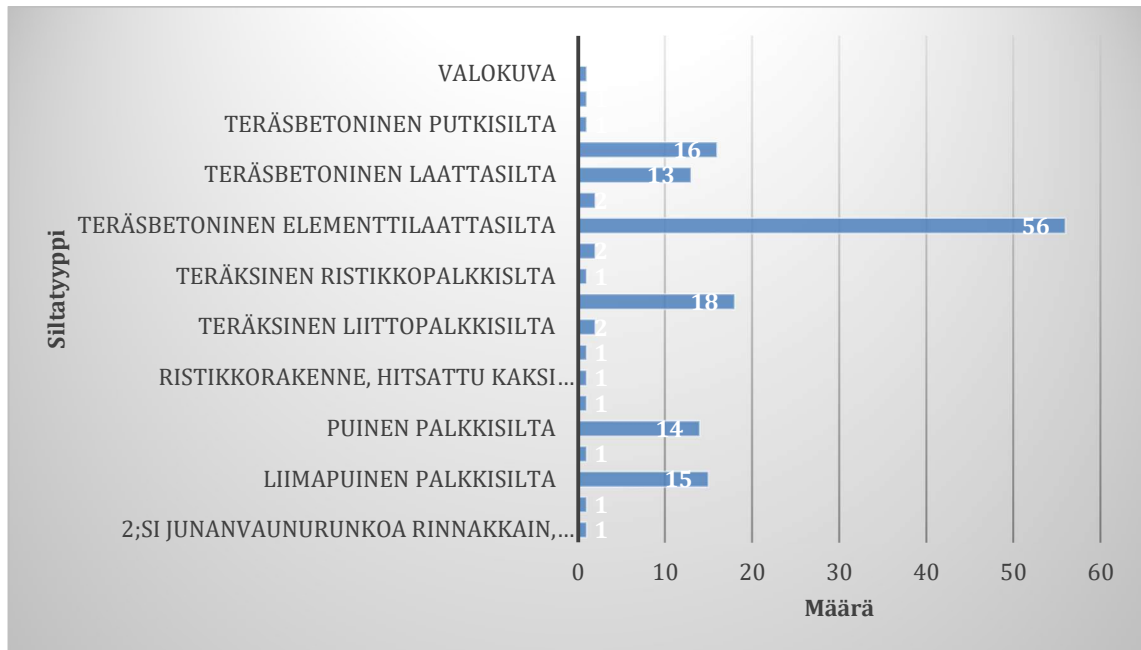
Kainuun aineistossa sillat jakautuvat kolmeen pääkannattajan mukaan jaettuun ryhmään. Pääkannattajien materiaalina toimivat puu 31 kpl, betoni 90 kpl ja teräs 27 kpl. Yhteensä siltoja on aineistossa 148 kpl (Kuvio 25). Aineistossa on mukana myös 31 rumpua tai putkisiltaa. Opinnäytetyössä putkisillat jäivät pienemmälle huomiolle, koska on tarkoituksena keskittyä puusiltoihin.



Kuvio 25. Siltojen jakautuminen pääkannattajan materiaalin mukaan

Kartoitetuista silloista löydettiin yhdeksän siltatyyppiä. Teräsbetonisia siltatyyppejä oli aineistossa kolme. Yleisin teräsbetoninen ratkaisu on elementtilaattasilta, joita aineistossa on 56 kpl. Toiseksi yleisin on teräsbetoninen palkkisilta 16 kpl ja kolmanneksi yleisin teräsbetoninen laattasilta 13 kpl. Aineistossa on myös yksi

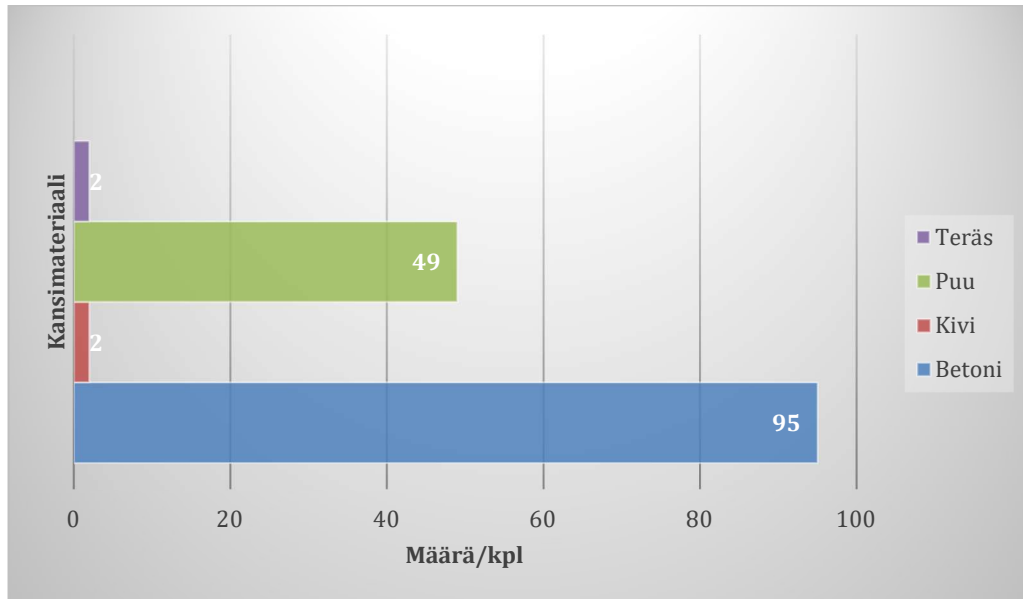
uittopatosilta. Teräsbetonisia putkisilloja on aineistossa yksi (Kuvio 26). Teräksen osalta siltatyypit jakautuvat seuraavasti: Selvä enemmistö teräs silloista on palkkisilloja 18 kpl. Teräksen ja puupalkkisillan sekoituksia löytyy kaksi kappaletta. Teräksisiä liittopalkkisilloja kaksi kappaletta. Teräksisiä putkisilloja ei aineistossa ole, mutta yksi kappale teräksisiä holvikaarisilloja. Puusillat jakautuvat kahteen päätyyppiin eli puupalkkisiltoihin 14 kpl ja liimapuisiin palkkisiltoihin 15 kpl.



Kuvio 26. Sillat siltatyypeittäin

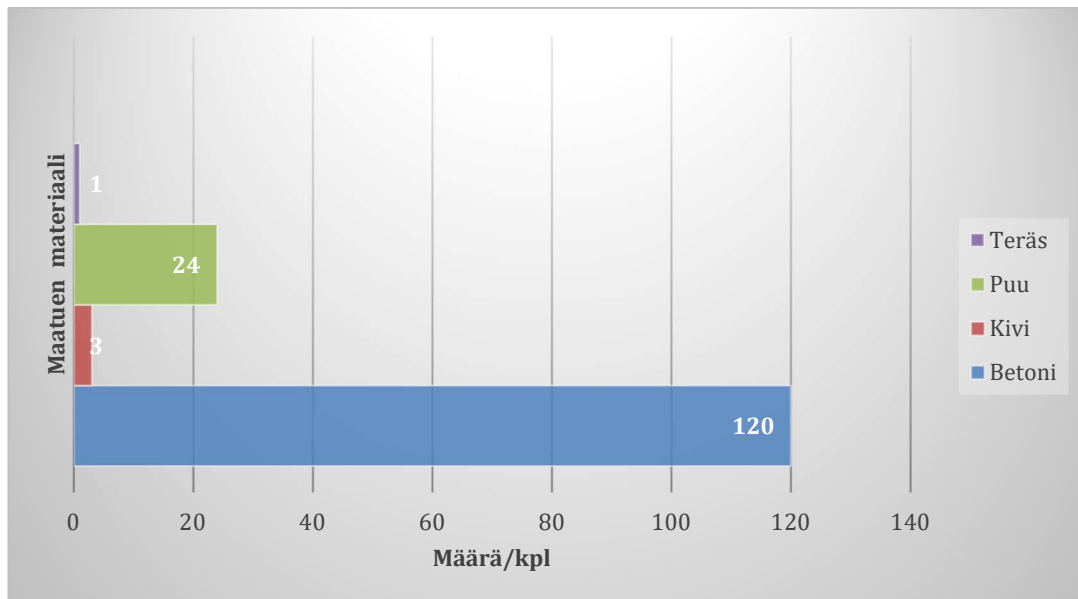
## 6.2 Sillan rakenneosien materiaalit

Rakenneosat on kartoitettu Kainuun siltojen aineistossa silmävaraisesti. Materiaaliluokat olivat puu, betoni, teräs ja kivi. Betonista puhuttaessa on tietenkin oletettava, että rauditus sisältyy rakenteisiin. Kartoitus aineistoon kuuluu myös kuvamateriaali, josta rakenteiden kuntoa voidaan arvioida kuvien pohjalta. Aineiston mukaan 95 sillassa oli teräsbetoninen kansi. Puuta oli käytetty 49 sillassa ja kiveä kahdessa ja terästä kahdessa sillassa (Kuvio 27).



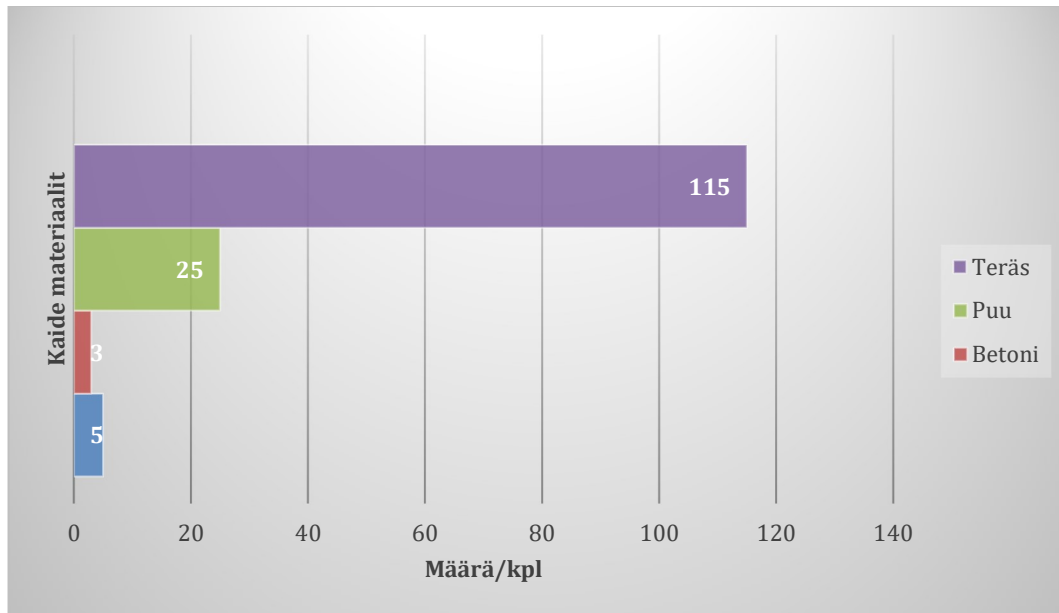
Kuvio 27. Siltojen kansimateriaali

Aineiston mukaan 120 sillan maatukirakenne oli tehty betonista. Puusta valmistettuja maatukirakenteita oli 24 sillassa ja terästä oli käytetty yhdessä sillassa (Kuvio 28).



Kuvio 28. Maatuen materiaali

Kaiderakenteena oli käytetty kolmea eri materiaalia. Teräksisiä kaideratkaisuja aineistossa on 115 kappaletta, puisia 25 kappaletta ja betonisia kolme kappaletta. Viiden sillan kaidemateriaalia ei ollut määritetty (Kuvio 29).

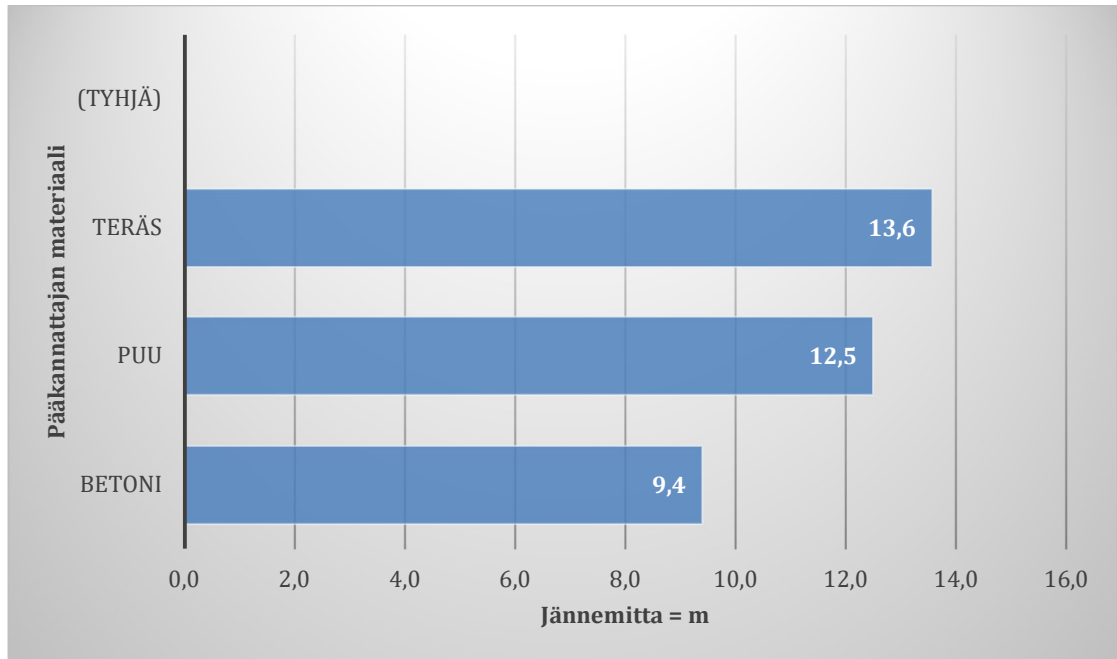


Kuvio 29. Kaidemateriaali

### 6.3 Sillan päämitat

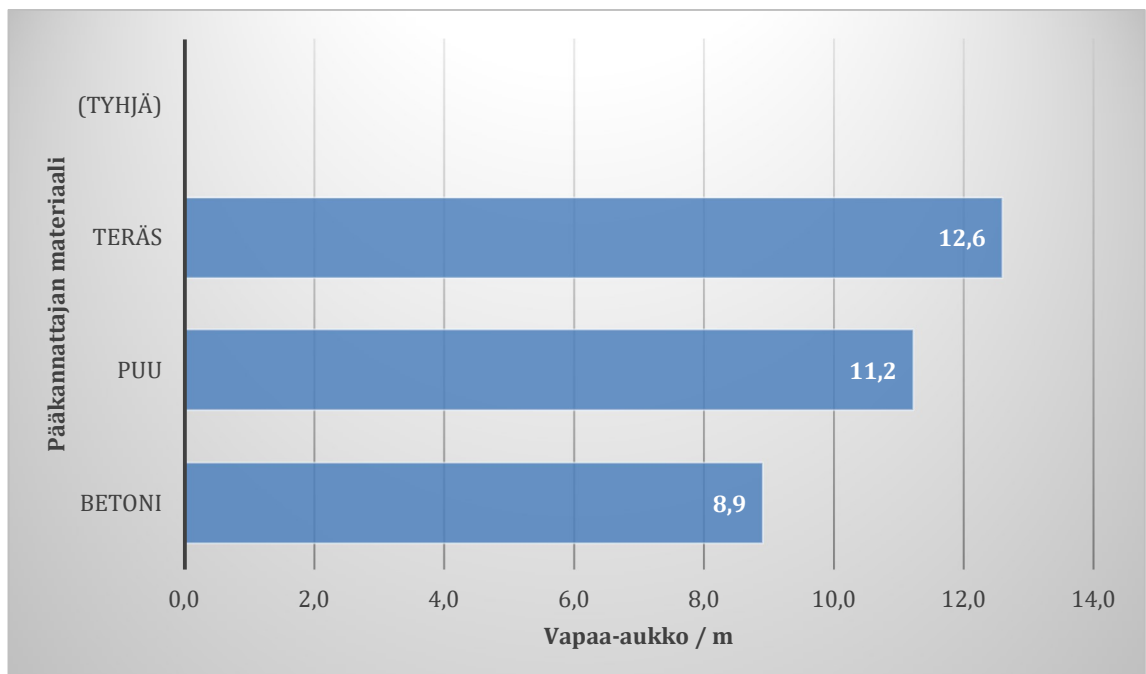
Päämitoilla tarkoitetaan Kainuun siltakartoituksen osalla kolmea eri mitta. Mittoja ovat jännemitta. Jännemitta mitataan tukien keskipisteiden välisenä matkana. Toinen mitattu arvo on vapaa-aukko. Vapaa aukolla tarkoitetaan maatu- kien välistä suurinta mitta, jossa vesi voi vapaasti kulkea. Kolmas mitattu arvo on sillan hyötyleveys. Mitta otetaan kohtisuoraan kaiteiden välistä.

Sillan jännemitalla tarkoitetaan sillan maatu- kien/ laakeritason keskipisteiden vä- listä matkaa. Jännemitat esitetty kuviossa 30 keskiarvomittoina. Aineiston mu- kaan puustensiltojen jännemitta on keskimäärin 12,5 metriä. Suurin jänneväli on teräksisillä silloilla, jännemitan ollessa keskiarvona 13,6 metriä. Betonisilloilla keskiarvoinen jänneväli on 9,4 metriä.



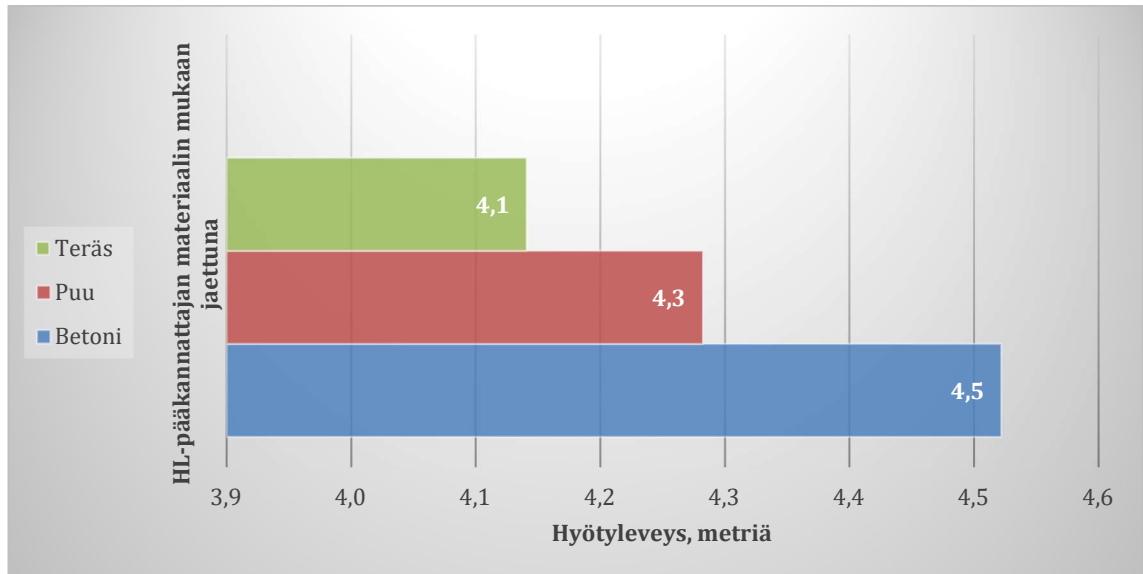
Kuvio 30. Siltojen jännemitta pääkannattajan mukaan

Sillan vapaa-aukolla tarkoitetaan aukon tai aukkojen yhteen laskettua esteetöntä virtausalaa. Aineistossa vapaa-aukko on mitattu sillan maatukien välisestä aukosta. Vapaan aukon neliömäärää ei ole tilastoitu. Vapaa-aukon suuruus pääkannattajan mukaan jaoteltuna on esitetty kuviossa 31.



Kuvio 31. Siltojen vapaa-aukko päämateriaalin mukaan

Sillan hyötyleveydellä tarkoitetaan suurinta leveyttä sillan päällä, joka on käytettävissä ajoneuvolla, kun siltaa ylitetään. Hyötyleveys mitataan sillan kaiteiden välisenä etäisyytenä. Siltojen hyötyleveys vaihtelee välillä 4,1–4,5 metriä. Suurin hyötyleveys on silloilla, joiden pääkannattajan materiaalina on betoni ja kapein silloilla, joiden pääkannattajan materiaalina on teräs (Kuvio 32).



Kuvio 32. Sillan hyötyleveys pääkannattajan materiaalin mukaan jaettuna

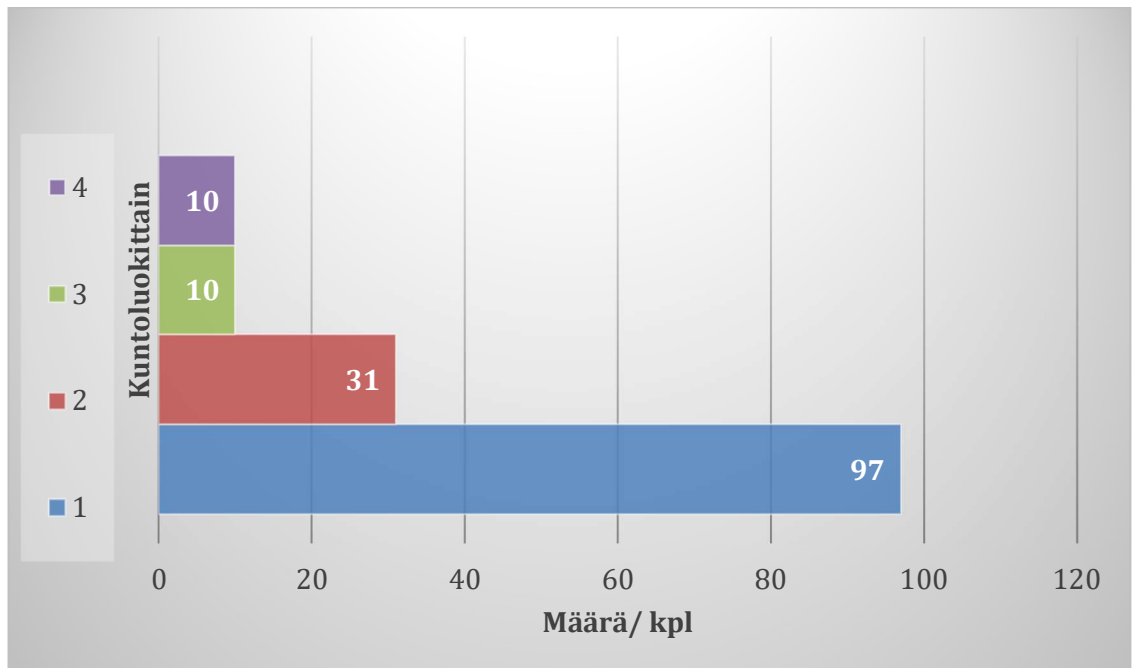
#### 6.4 Rakenneosien kunto

Kainuun siltojen kuntokartoitusaineistossa rakenneosien kunto on esitetty kunto- ja materiaaluokittain. Tarkastuksen tulos perustuu silmävaraiseen havainnointiin. Tarkasteltavia rakenneosia olivat sillan kaiteet, päällysrakenne ja maatumirakenne. Kaiteiden osalla tarkasteluun kuului myös sillan pengerkaitteet.

Kuntokartoituksessa käytettiin neliportaista kuntoluokitusta. Luokkaan yksi luokitellut ovat hyvä kuntoisia siltoja. Luokkaan kaksi määritetyt ovat tyydyttävässä kunnossa ja niissä on huomattu jo jotain korjaustarvetta. Luokkaan kolme määritetyissä silloissa on jo selviä korjaustarpeita. Luokkaan neljä määritetyt ovat jo elinkaarensa päässä. Kuntoluokkaan yksi oli määritelty 97 kappaletta siltoja. Luokkaan kaksi oli määritelty 31 kappaletta siltoja. Luokkaan kolme oli määritelty 10 kappaletta siltoja ja luokkaan neljä 10 kappaletta siltoja (Kuvio 33).

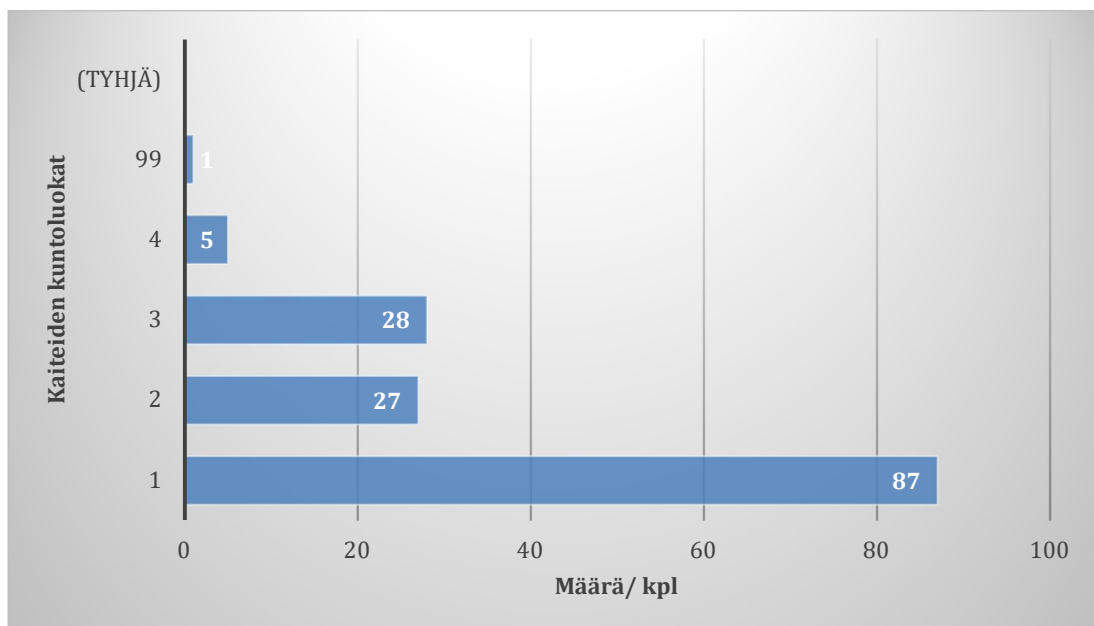


a



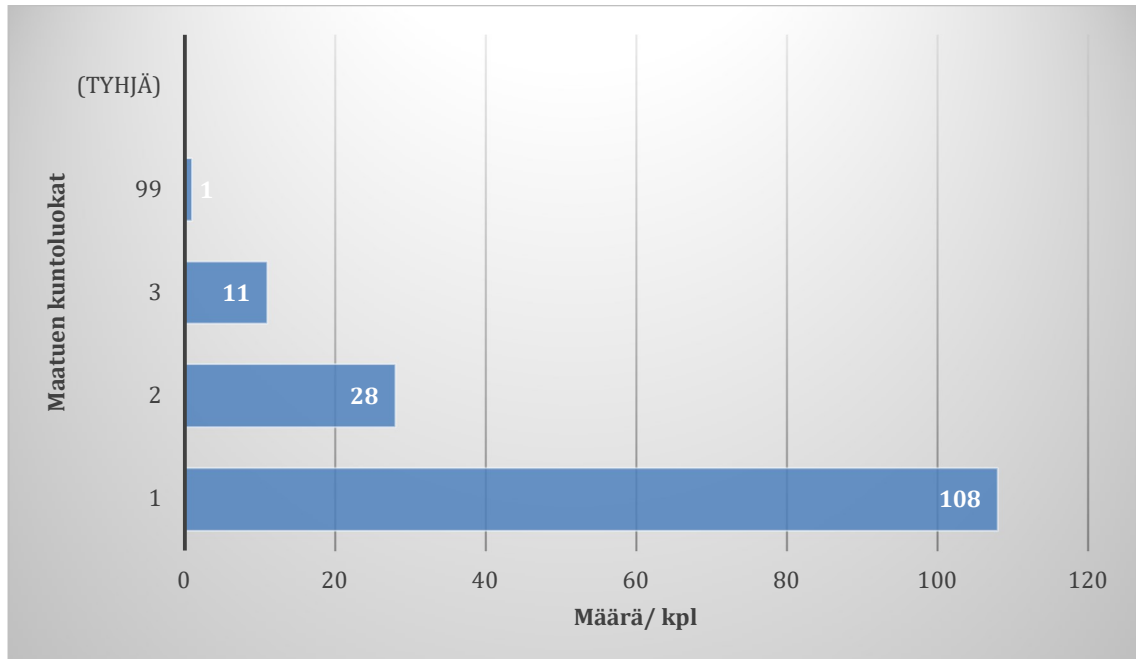
Kuvio 33. Kaikki sillat kuntoluokittain

Aineiston mukaan siltojen kaiteet olivat hyväkuntoisia 87 sillalla tyydyttävässä kunnossa kaiteet olivat 27 sillalla, huonokuntoisia kaiteita oli 28 sillalla ja erittäin huonokuntoisia viidellä sillalla (Kuvio 34).Kaiteiden kunto näyttäisi olevan pääosin hyvä.



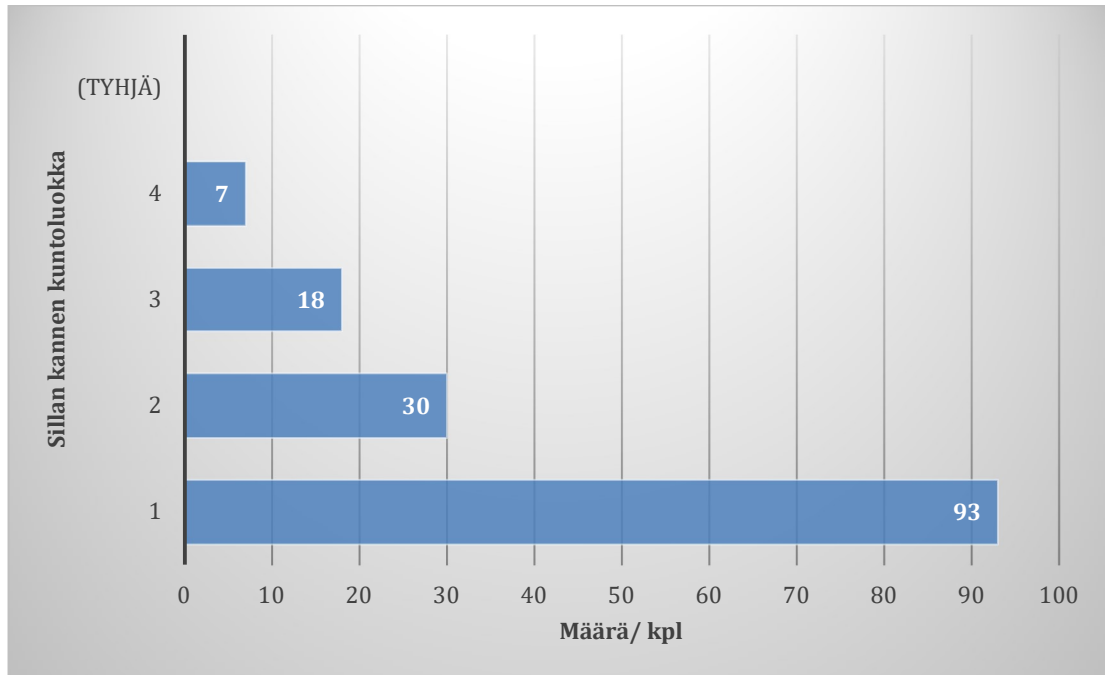
Kuvio 34. Kaiteiden kuntoluokat

Aineiston mukaan hyväkuntoisia sillan maatukirakenteita oli 108 sillalla, tyydyttävässä kunnossa 28 sillalla ja huonokuntoisia oli kolme. Erittäin huonokuntoisia ei ollut (Kuvio 35). Maatukirakenteiden kunto on tulosten mukaan pääosin hyvä. Tämä selittyy hyväkuntoisten maatukirakenteiden rakennusmateriaalista. Materiaalina on käytetty betonia.



Kuvio 35. Maatuen kunto, kaikki sillat

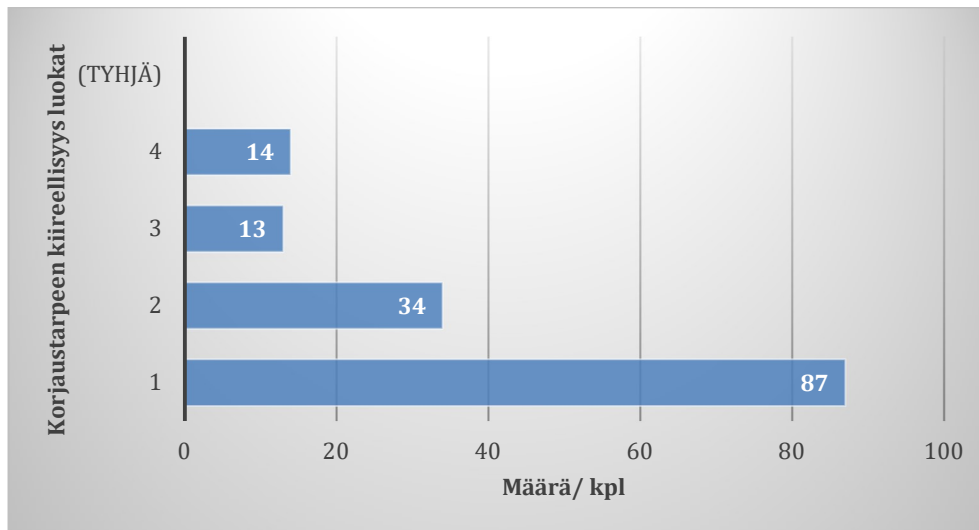
Hyväkuntoinen kansirakenne oli 93 sillassa, tyydyttävässä kunnossa oli 30 sillan kansi, huonokuntoinen kansi 18 sillalla ja erittäin huono seitsemällä sillalla (Kuvio 36). Kansirakenteiden kunto on todettu suurimmassa osassa hyväkuntoiseksi. Tämä johtuu betonirakenteiden vallitsevasta osuudesta.



Kuvio 36. Sillan kannen kunto, kaikki sillat

### 6.5 Korjaustarve

Korjaustarve arvio perustuu sillan kuntokartoituksen tehneen kartoittajan tekemään arvioon. Aineiston mukaan välitöntä korjaustarvetta ei ollut 87 sillalla Siltoja, joilla havaittiin korjaustarvetta ja jotka otettava seurantaan oli 34 siltaa. Uusittavia siltoja 5–10 vuoden sisällä löytyi 13 kappaletta. Välittömästi uusittavia siltoja löytyi 14 kappaletta (Kuvio 37).



Kuvio 37. Kaikki sillat, korjaustarpeen kiireellisyys

### 6.6 Kirjalliset havainnot kartoitus aineistossa

Kartoittajilla oli mahdollisuus kirjata kirjallisia huomiota. Silloista oli kirjattu kunto-luokan luokan mukaan seuraavanlaisia havaintoja. Yleisin huomio luokassa yksi (sillankunto hyvä) oli pengerkaiteet. Kaiteet puuttuivat joko kokonaan tai niiden pituus oli huomattavan lyhyt. Yhtä yleinen huomautus oli myös sumupaalujen puuttuminen pengerkaiteiden alusta.

Teräsbetoniin siltoihin liittyen oli useampi huomautus puutteellisesta uoman puolen täytöstä. Täyttö on tehty aikanaan huonosti ja tulvavedet ja jäät ovat paljastaneet perustuselementtien ”hampaat” (Kuvio 38). Perustuselementtien hampaat ja niissä olevat puiset asennus kiilat näkyvillä (Kuvio 39).



Kuvio 38. Puutteellinen uomanpuolen täyttö (Metsäkeskus 2020).



Kuvio 39. Puutteellinen uomanpuolen täyttö (Metsäkeskus 2020).

Kuntoluokka kaksi (silta tyydyttävässä kunnossa) sisälsi seuraavanlaisia huomiota. Useita mainintoja oli kansirakenteen huonosta kunnosta (Kuviot 39 ja 40). Mainintoja oli esimerkiksi kannen kiertymästä ja kulumasta. Lisäksi oli samanlaisia havaintoja kuin luokassa yksi. Eli pengerkaiteet puuttuivat ja sumupaalut

puuttuivat. Sillankaiteissa oli myös havaittu puutteita. Puutteiksi oli kirjattu kaiteiden lahovaurioita (Kuviot 40 ja 41), liian matalia kaiteita tai lyhyitä kaiteita.



Kuvio 40. Kaiteiden ja kannen lahovaurioita. (Metsäkeskus 2020).



Kuvio 41. Kaiteiden ja kannen lahovaurioita (Metsäkeskus 2020)

Useammalla sillalla oli maininta kannelle kulkeutuneesta maa-aineksesta, joka tulisi poistaa kannen päältä. Sillan ympäristö oli myös useammalla sillalla vesikon ja puuston valtaama ja tästä oli myös maininta useammalla sillalla.

Kuntoluokan kolme (Uusittava/ korjattava 5–10 vuotta) silloilla oli lähes kaikilla maininta painorajoituksesta tai sen puuttumisesta. Tämän luokan kirjallisissa havainnoissa oli jo havaittavissa useita vaaraa aiheuttavia vikoja kuten kannen ja maatukien lahovaurioita, kaiteiden lahovaurioita (Kuvio 42) sekä muita aiemmin mainittuja vaurioita.



Kuvio 42. Kaiteiden lahovaurio (Metsäkeskus 2020)

Luokassa neljä (uusittava/korjattava kiireellisesti) oli lähes jokaisella maininta kiireellisestä korjaustarpeesta. Havaittuja puutteita ja vikoja ei oltu eritelty, vaan kartoittajat olivat katsoneet sillan kokonaisuudessaan huonoksi. Voidaankin todeta, että tässä luokassa olevat sillat sisältävät kaikenlaisia vikoja, eikä niitä voida tai niitä ei kannata korjaamalla kunnostaa.



## 6.7 Silta kalojen ja vesieliöiden vaellusesteenä

Vaelluseste on määritelty Vesi.fi sivulla seuraavasti: Vaellusesteellä tarkoitetaan patoa tai muuta rakennelmaa, joka estää kalojen ja muiden vesieliöiden leviämisen tai vaelluksen vesistöissä kutu- ja elinalueiden välillä. (Vesi.fi 2021.)

Kainuun aineistossa varsinaisissa silloissa ei vaellusestettä havaittu. Varsinaisissa silloissa uoman pohja on yleensä koskematon tai luonnontilaisen kaltainen, joten vaellusestettä ei synny (Kuvio 46). Poikkeuksen tähän tekee patosilta, joka on osa voimalaitosta. Tällaisia siltoja oli aineistossa yksi kappale.

Putkisilta aineistossa (Kuvio 47) silloiksi luokitelluissa putkissa 17/32 aiheutti täydellisen vaellusesteen (Kuvio 43). 11 putkisiltaa aiheutti ajoittaisen vaellusesteen (Kuvio 45) ja neljä putkisiltaa ei aiheuttanut vaellusestettä (Kuvio 44) ollenkaan.



Kuvio 43. Ajoittainen vaelluseste (Metsäkeskus 2020).



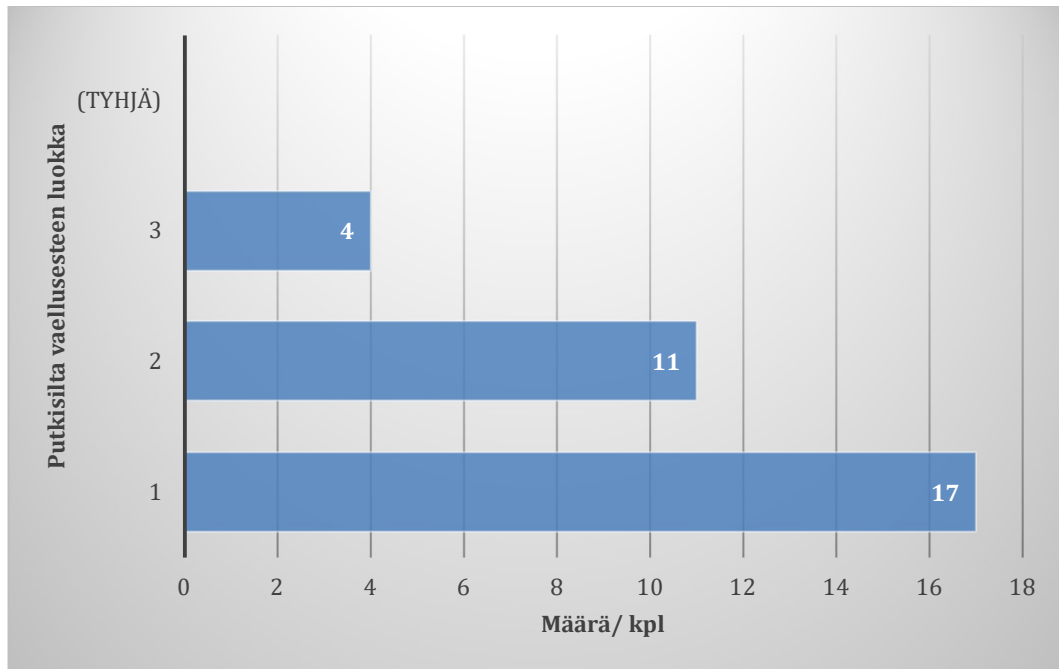
Kuvio 44. Ei vaellus estettä. (Metsäkeskus 2020)



Kuvio 45. Täydellinen vaelluseste. (Metsäkeskus 2020)

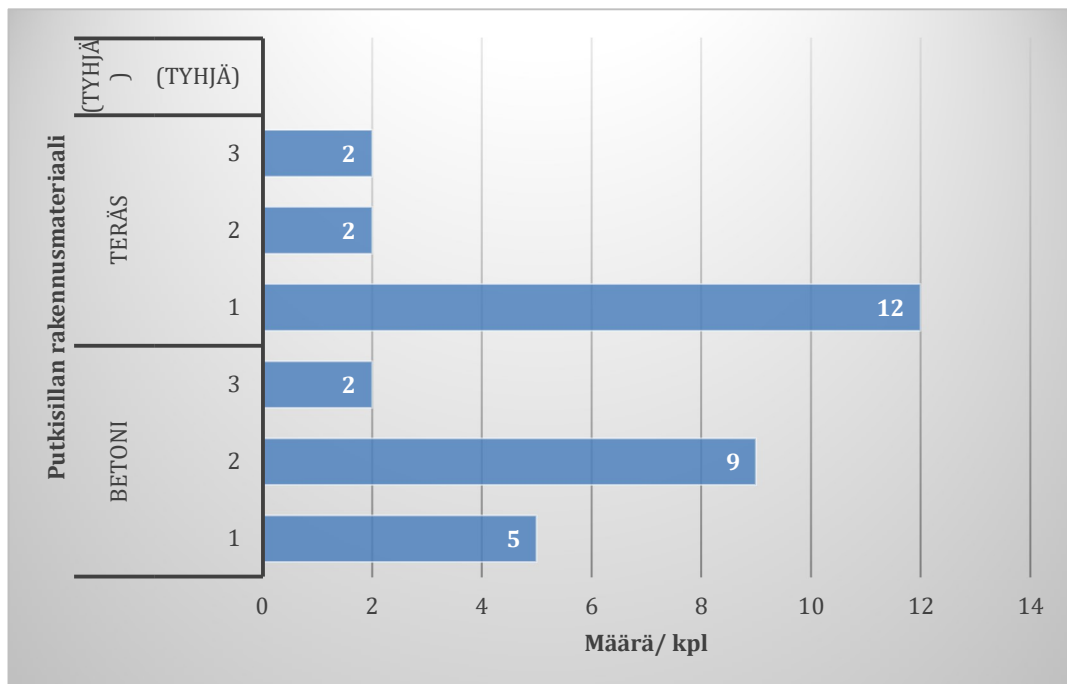


Kuvio 46. Varsinainen silta, ei vaellusestettä. (Metsäkeskus 2020)



Kuvio 47. Putkisillat vaellusesteenä

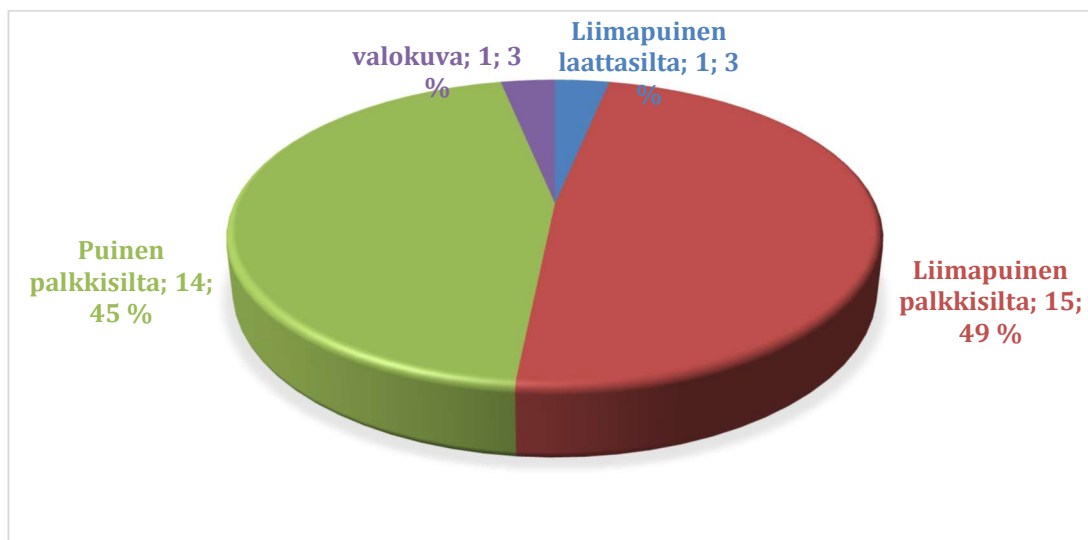
Aineiston mukaan näyttäisi betonista rakennettu putkisilta olevan useammin vaelluseste, kuin teräksinen putkisilta (Kuvio 48).



Kuvio 48. Putkisilta vaellusesteenä-materiaalin mukaan

## 6.8 Kainuun kuntokartoitusaineiston puusillat

Tässä luvussa esitetään Kainuun aineistossa olevat puusillat, niiden rakennesien kunto, siltatyypit ja havainnekuvat. Siltojen kaikki rakennesosat on valmistettu puusta. Kokonaan puusta rakennettuja siltoja on 30 kappaletta (Kuvio 49). Puusilloista 49 prosenttia on liimapuisia palkkisiltoja ja 45 prosenttia puisia palkkisiltoja. Aineistossa on myös yksi liimapuinen palkkisilta.



Kuvio 49. Puusiltojen jakautuminen siltatyypin mukaan

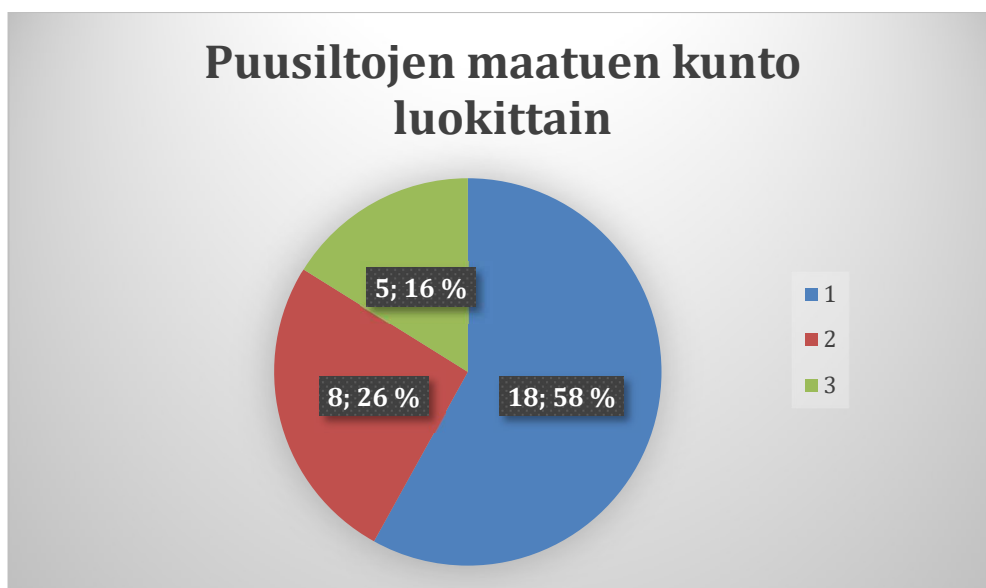
Puusiltojen osalta siltojen kuntoluokat jakautuvat seuraavasti. Luokkaan 1 oli siltoja 11 (35,5 %) kappaletta. Luokkaan 2 oli sijoitettu 13 (42 %) siltaa. 3 kolme siltaa ja luokkaan 4 neljä siltaa (Kuvio 50). Kartoitustietojen mukaan 65 % (luokat 2+3+4) puusilloista vaati tarkempaa tutkimusta tai välittömiä korjaustoimenpiteitä.

Kainuun siltojen kuntokartoitus aineiston mukaan 18 siltaa oli arvioitu luokkaan 1 jossa ei ole korjaustarvetta. Seurantaan otettavia kohteita oli kahdeksan. Kymmenen vuoden sisällä korjattavia tai uusittavia oli viisi kappaletta. Kiireellisesti korjattavia ei ollut yhtään.



Kuvio 50. Puusillat kokonaiskunto

Hyväkuntoisia maatukirakenteita oli 18 sillassa (Kuvio 52). Korjaustarve tai seurantaan otettavaksi oli havaittu kahdeksan sillan osalta. Viiden sillan osalla todettiin kiireellinen korjaus tai uusimistarve 5-10 vuoden sisällä (Kuvio 51).



Kuvio 51. Puusiltojen maatuen kunto

Kuvien perusteella maatukien kuntoluokan arvioiminen on haasteellista. Kuten kuvista näkyy, ovat maatukirakenteet kunnoltaan saman näköisiä, eikä niistä voi päätellä miksi rakenne on asetettu luokkaan yksi tai kaksi. Kuntokartoittaja on tehnyt päätöksen oman kokemuspohjan perusteella. Kuvioissa 52-54 on esitetty kuntoluokkien välisiä eroja.



Kuvio 52. Hyväkuntoinen maatukirakenne, luokka 1 (Metsäkeskus 2020)



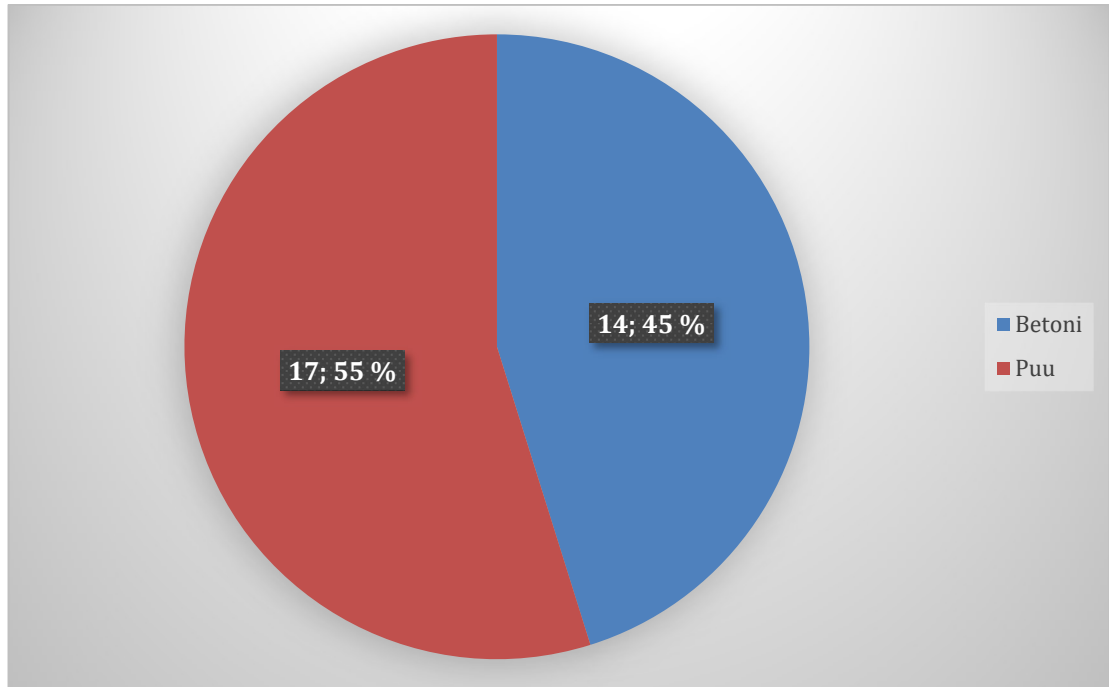
Kuvio 53. Luokka 2, korjaustarve otettava seurantaan. (Metsäkeskus 2020)



Kuvio 54. Luokka 3, uusittava/korjattava 5–10 vuotta. (Metsäkeskus 2020)



Puusilloissa (pääkannattajan materiaali) maatukien rakennusmateriaalina on käytetty (teräs)betonisia ja puurakenteisia maatukia. Puusta valmistettuja maatu-  
kirakenteita on 55 prosenttia ja betonisia 45 prosenttia (Kuvio 55). Maatukiraken-  
teiden (betoni ja puu) välisiä eroja on havainnollistettu kuvioissa 56 ja 57.



Kuvio 55. Maatuen rakennusmateriaali

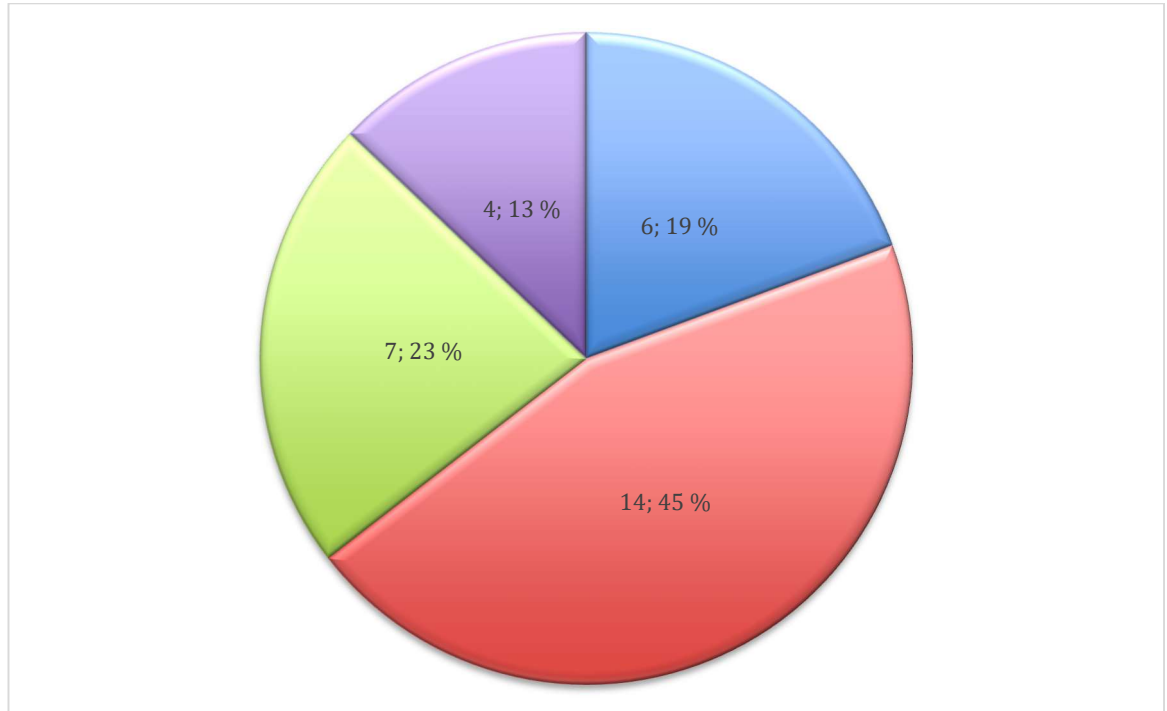


Kuvio 56. Luokka 1, Puinen maatumkirakenne, ei korjaustarvetta (Metsäkeskus 2020)



Kuvio 57. Luokka 1, Betoninen maatumkirakenne (Metsäkeskus 2020)

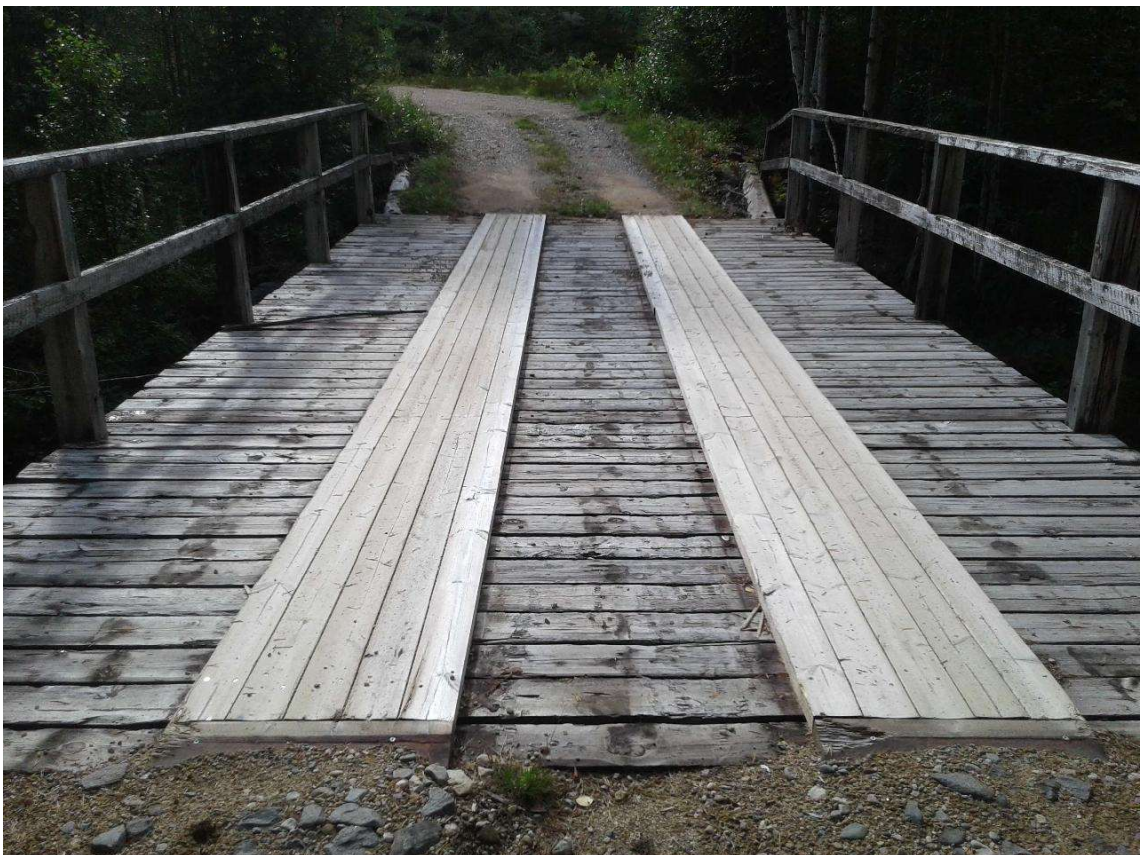
Puusilloissa hyväkuntoisia sillan kansia oli 19 prosenttia. Seurantaan otettavaksi oli ehdotettu 45 prosenttia ja kymmenen vuoden sisällä uusittavia löytyi 23 prosenttia. Kiireellisesti uusittavia tai korjattavia oli neljä (13 prosenttia) (Kuvio 58). Edellä mainitun pohjalta voidaankin olettaa korjaustarpeen kasvavan tulevina vuosina. Kuntoluokkien välisiä eroja voi havainnoida kuvioista 59–62.



Kuvio 58. Puusillan kannen kunto



Kuvio 59. Luokka 1. Ei korjaustarvetta (Metsäkeskus 2020)



Kuvio 60. Luokka 2. Korjaustarve otettava seurantaan (Metsäkeskus 2020)

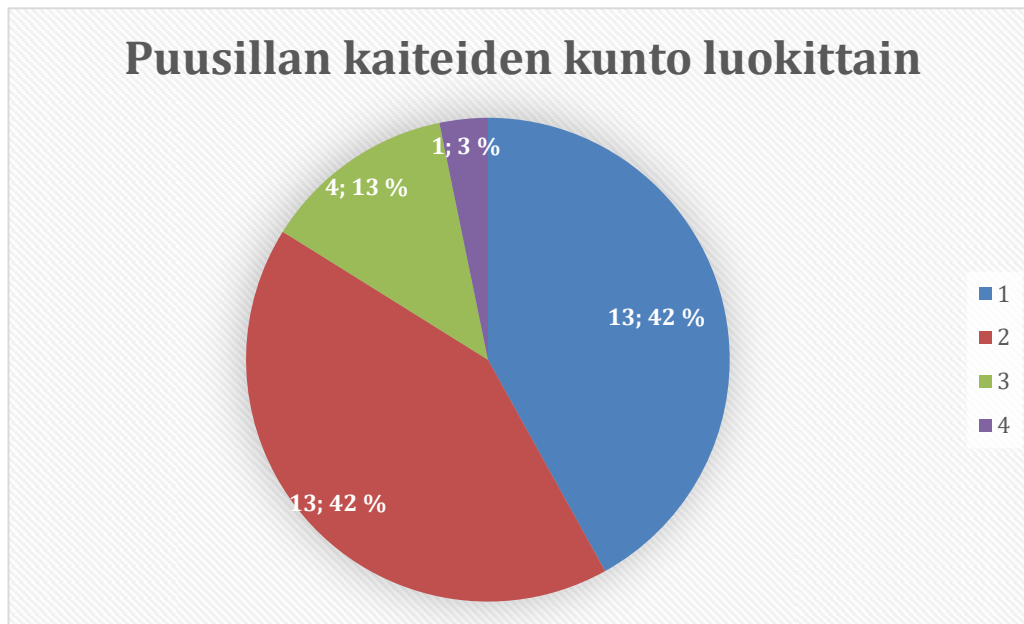


Kuvio 61. Luokka 3. Korjattava/ uusittava 5–10 vuotta. (Metsäkeskus 2020) ,



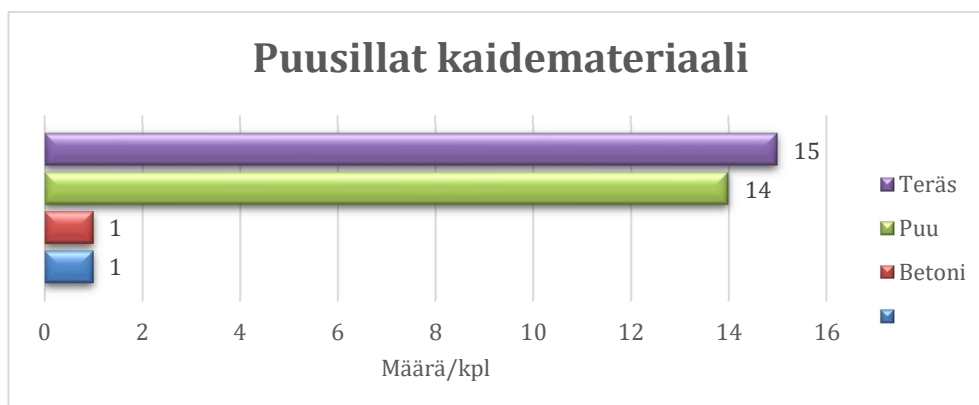
Kuvio 62. Luokka 4. Uusittava/ korjattava kiireellisesti (Metsäkeskus 2020).

Sillan- ja pengerkaiteiden kuntoluokituksessa oli luokkaan yksi eli hyvä kuntoisiin luokiteltu 42 prosenttia. Korjaustarpeen seurantaan otettavaksi oli luokiteltu 42 prosenttia. Neljän sillan kaiteissa oli todettu korjaustarve 5–10 vuoden sisällä ja yhdellä sillalla oli todettu kiireellinen korjaustarve (Kuvio 63).



Kuvio 63. Puusiltojen kaiteiden kunto

Puusiltojen Kaidemateriaalina teräs oli yleisin, terästä oli käytetty 15 sillalla. Lähes yhtä yleinen oli puinen kaidemateriaali. Betonista kaiderakennetta oli aineiston mukaan käytetty yhdellä sillalla ja yhden sillan materiaalia ei ilmoitettu (Kuvio 64). Hyväkuntoiset sillankaiteet ovat aineiston mukaa yleisesti valmistettu teräksestä. Myös hyväkuntoisissa sillan kaiteissa on kuitenkin havaittavissa korjauskohteita. Esimerkiksi kuviossa 65 puuttuu sillan kaiteista välijohteita.



Kuvio 64. Puusiltojen kaidemateriaali



Kuvio 65. Luokka 1 Hyväkuntoiset sillan kaiteet (Metsäkeskus 2020)

Luokassa kaksi on jo sillan kaiteiden osalla yleisesti paljon korjattavaa. Yleisesti vaurioita on havaittavissa esimerkiksi rakenteiden lahoamisena, murtumina ja kulumisena (Kuvio 66).



Kuvio 66. Luokka 2 seurantaan otettava kohde. (Metsäkeskus 2020)

Luokassa kolme on jo havaittavissa selviä puutteita kaiteiden osalla. Kuviossa 67 olevasta sillasta puuttuvat pengerkaitteet kokonaan ja sillan kaiteet ovat kallistuneet selvästi uomansuuntaan. Todennäköisesti kaiteet eivät kestä nojaamista tai minkäänlaista törmäystä. Kaiteet kuitenkin kertovat visuaalisesti siltarakenteen paikan.



Kuvio 67. Luokka 3 korjattavat tai uusittavat kaiteet 5–10 vuotta (Metsäkeskus 2020)

Luokassa neljä kaidarakenteita ei ole ollenkaan tai ne ovat sortuneet sillan viereen. Kuviossa 68 kaiteista on jäljellä vain tolpat ja varsinaiset kaiteet ovat pudonneet sillan viereen. Kuvan mukainen silta aiheuttaa merkittävän riskin tienkäyttäjille.





Kuvio 68. Luokka 4. Kiireellinen korjaus tai uusimistarve (Metsäkeskus 2020)

## 7 KEHITTÄMISEHDOTUS PUUSILLAN KUNNOSTUSTAVAKSI

Aineiston perusteella selvisi, että korjauskelpoisia kokonaan puusta rakennettuja siltoja on mahdollisesti muutama. Rakenneosittain tarkasteltuna parhaassa kunnossa ovat maatuet. Sillan pääkannattajina toimivat nykyiset puiset pääkannattajat eivät ole pääosin siinä kunnossa, että niitä voitaisiin hyödyntää. Sillan ja penkereiden puiset kaiteet ovat huonokuntoisia, eivätkä ne täytä nykyisiä suunnittelumääräyksiä.

Tarkasteltaessa sillan puupaaluperustusta ja maaturakennetta on tärkeää havainnoida maaturkien geometriaa. Maaturkien korkeusaseman säilymisestä voidaan päätellä, että puupaalutus on saatu rakentamisen aikaan hyvin kantavaan maakerrokseen asti. Painumia tai muita muodon muutoksia ei saa olla korjattavaksi valittavalla kohteella. Tukipaaluja tarkasteltaessa tulee kiinnittää huomio mahdollisiin mekaanisiin vaurioihin. Mekaanisia vaurioita aiheuttaa esimerkiksi tulva-aikainen jäiden liike. Paalutus ja maatuet tulee tutkia lahovaurioiden osalta esimerkiksi ikäkairaa käyttämällä. Paalutuksen laskennallinen riittävyys kannattaa varmistaa suorittamalla paalutuslaskenta, jossa selviää mahdollinen lisäpaalujen tarve.

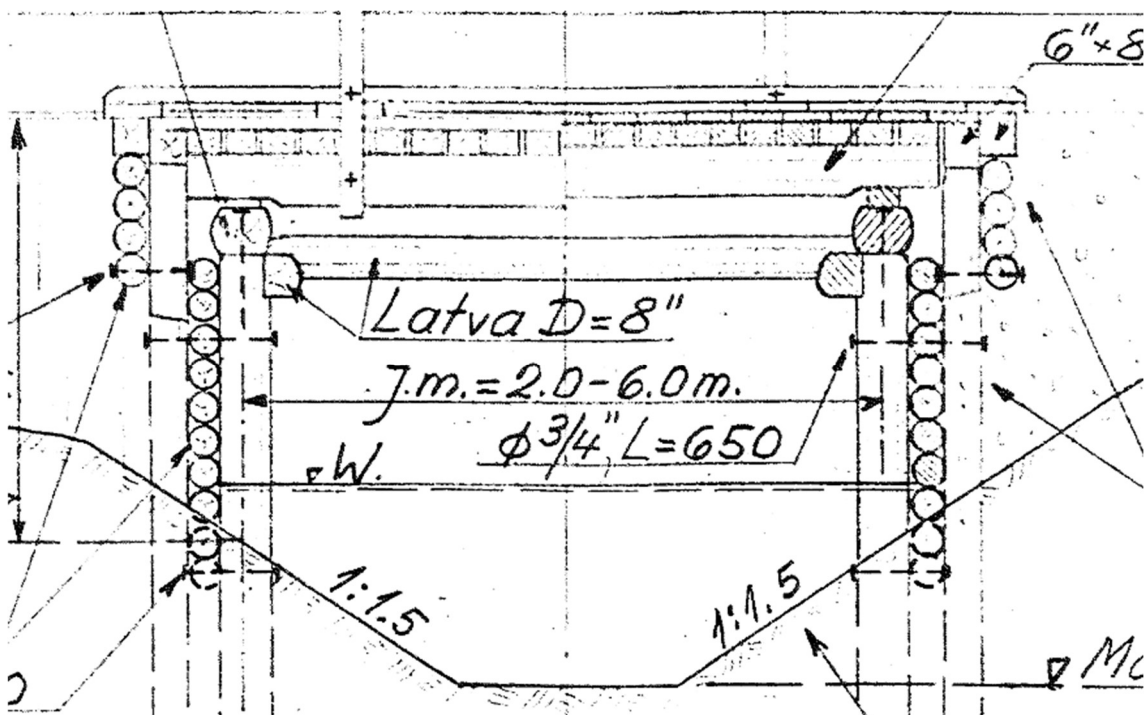
Kainuun kohteille ei ole tehty lahotutkimuksia kasvukairaa käyttämällä. Kun kunnostettavan kohteen kuntoa arvioidaan, tuleekin tarkastus suorittaa ohjeen: Liikenneviraston ohjeiden 36/2017 mukaisesti. Ohjeet on tehty puusillan laajennetun yleistarkastuksen tekemistä varten ja se käsittelee pieniä pyöröpuisia siltoja.

### 7.1 Vanhat puupaaluperusteiset maatuet ja uusi kansirakenne

Esittelemääni korjaustapaa on käytetty yhdessä aineistossakin esiintyvässä sillassa. Nyt esiteltävää korjaustapaa ovat kehittäneet rakennusmestari Mikko Tölli ja insinööri Veikko Heikkinen. Menetelmää on käytetty onnistuneesti muutamassa sillassa. Suunnittelijoiden tarkoituksena on ollut käyttää rakenteet loppuun. Menetelmässä asennetaan uusi puinen sillan päällysrakenne vanhoille perustuksille. Kun vanhat puiset paaluperustukset tulevat käyttöikänsä päähän on päällysrakenteella todennäköisesti vielä käyttöikää jäljellä. Korjausmenetelmässä poistetaan vanhat pääkannattajat ja mahdolliset välituet kokonaan ja hyödynnetään vanhaa puupaaluperustusta ja maanpaineseinämää. Sillan maaturkirakenteessa on paalutus kahdessa rivissä (Kuvio 69). Alkuperäisessä mallissa

sillan kuorma asettuu ensimmäisen paalurivin varaan. Toisen paalurivin tehtävänä on ollut maanpaineseinän tukeminen.

Korjaustavassa otetaan myös takimmainen paalurivi mukaan kantamaan sillalle kohdistuvia kuormia. Näin toimittaessa voidaan paalutuksen päälle asentaa uusi leveämpi liimapuinen laakeritaso, joka mahdollistaa uuden päällysrakenteen asentamisen vanhoille perustuksille.



Kuvio 69. Kaksirivinen puupaaluperustus (Liikenneviraston arkisto)

Liitteessä yksi on periaatepiirros korjauksesta. Menetelmässä sidotaan molemmat paalurivit toimimaan yhtenä kokonaisuutena. Sitominen tapahtuu siten, että molemmat paalurivit katkaistaan samalle tasolle ja paalutuksien päälle asetetaan liimapuinen palkki laakeritasoksi (Kuviot 70 ja 71). Palkki sidotaan paalutukseen kiinni hakkupulteilla. Pulttien määrä riippuu paalujen määrästä. Laakeripalkkiin porataan reiät halkeilun estämiseksi. Esiporaus tehdään myös puupaalujen päihin. Hakkupultit isketään laakeritason läpi puupaalujen päihin. Hakkupultit ankuroivat laakeritason kiinni paalutukseen. Hakkupultit sitovat rakenteen yhdeksi kokonaisuudeksi ja näin paino jakautuu tasaisesti koko paalutukselle. Mikäli päällysrakenteen rakennekorkeus halutaan matalammaksi, voidaan palkkisillan sijaan käyttää puista laattasiltaa.



Kuvio 70. Uusi liimapuinen laakeripalkki



Kuvio 71. Valmis maatukirakenne

Uusi kansirakenne voidaan nostaa paikalleen kokonaisena (Kuvio 72) tai koota siltapaikalla palkki kerrallaan. Asennustavan valintaan vaikuttaa siltapaikka. Mikäli siltapaikalle tulo on ahdas tai siltapaikan sijainti on sellaisessa maantieteessä, ettei isoa nosturia ole saatavilla, on paikalla kasaaminen järkevä vaihtoehto. Paikalla kasaaminen mahdollistaa pienempi tehoisen nosturin käyttämisen.



Kuvio 72. Sillan kansirakenteen nosto

## 7.2 Puunkäyttö sillan korjauskohteissa

Puun käyttöä voidaan lisätä kunnostettavissa silloissa. Tyypillinen kunnostuskohde on sillan kansirakenne, joka on tehty syrjälleen asetetuista lankuista. Pui- sissa vanhoissa liimapuupalkkisilloissa on käytännössä aina puinen kansilanku- tus. Lankutus on kulutustavaraa ja onkin usein vaihtokunnossa jo 10–20 vuoden välillä sillan valmistumisesta. Lankutus kuuluu urille ajoradan kohdalta. Kansilan- kutuksen kulumista lisää ja aiheuttaa maa-aineksen kulkeutuminen sillan kan- nelle. Sillan kansi tulisikin puhdistaa ajoittain sillalle kulkeutuneesta maa-ainek- sesta. Maan kulkeutumista voidaan vähentää asfaltoimalla sillan penkereet.

Kansilankutuksen korjauksen yhteydessä on usein myös järkevää korjata siltaan liittyvät kaiderakenteet. Vanhoissa silloissa kaiteet ovat usein puuvalmisteisia. Kaiteiden uusiminen uudelleen puusta on haasteellista, koska tyyppihyväksytyjä puisia kaiderakenteita ei tällä hetkellä ole olemassa. Kaiteet voidaan kuitenkin valmistaa puusta. Kaiderakenteita suunniteltaessa on huomioitava, että siltapai- kan ajonopeus tulee olla rajoitettu. Kaiteet tulee mitoittaa törmäyskestävyys huo- mioiden.

Kansilankutus kannattaa uusia, mikäli sillan rakenteet ovat muutoin kunnossa. Vanhoissa puusilloissa kantavuus ei ole Kainuun siltakartoitus aineiston mukaan

pääosin nykyvaatimusten tasolla. Kantavuutta voidaan kuitenkin lisätä vaihtamalla vaurioituneet palkit uusiin sekä lisäämällä palkkien kokonaismäärää. Puitten maanpaineseinien painekyllästetyt pylväät lahoavat ajan mittaan. Vauriot ovat usein kuitenkin paikallisia. Lahoamista on usein havaittavissa pylväiden päissä. Sillan elinkaarta voidaan kuitenkin jatkaa vaihtamalla maanpaineseinässä olevat vaurioituneet pylväät uusiin.

## 8 POHDINTA

Kainuun silta-aineisto on hyvä esimerkki yksinkertaisesta tiedonkeruusta, jolla voidaan saavuttaa yhteiskuntaa ja yksityisteiden tiekuntia hyödyntävää tietoa edullisesti. Aineiston antama tieto antaa alueellisesti merkittävän tiedon yksityisteiden silloista yleisellä tasolla. Siltojen kunnan seuraaminen ei voi kuitenkaan loppua tähän.

Aineistossa olevat tiedot kertovat siltojen kunnan olevan osittain jopa kriittisen huono. Tiekuuntia, jotka toimivat siltojen ylläpitäjinä tulisivat informoida tiekuunkohtaisesti. Annettavan tiedon tulisi sisältää ohjeistus jatkuvalla tiekunnan suorittamalle sillan kunnan seurannalle. Huonoimmassa kunnossa olevat sillat aiheuttavat jo nyt merkittävän liikenneturvallisuusriskin. Toisaalta hyväkuntoisten siltojen osalta voidaan kevyemmällä korjaustoimenpiteillä jatkaa siltojen elinkaarta pitkäksi aikaa.

Työssä esitetty korjaustapa tukee puurakentamista ja uskonkin, että tähän soveltuvia kohteita on kokomaan tasolla merkittävä määrä. Metsäkeskus on jatkanut yksityisteiden siltojen kartoituksia ja tavoitteena ilmeisesti onkin, että aineisto kattaisi ajan mittaan koko Suomen. Uusia käyttökohteita esittelemälleni menetelmälle on siis jatkossa helpompi löytää aineiston laajentuessa. Menetelmää käytettäessä on erityisen tärkeää, että olemassa olevat puiset maatukirakenteet tutkitaan huolellisesti ennen päätöksentekoa vanhojen maatukien jatkokäytöstä.

Versowoodin tyyppihyväksytyt puusillat mahdollistavat siltahankkeiden nopean toteuttamisen. Rakentamiseen käytettävä aika on usein isossa roolissa tiekunnan kannalta, etenkin jos rakentamisaikasta kiertotietä ei ole valmiina käytössä. Kiertotien rakentaminen aiheuttaa usein lisäkustannuksia sillanrakennushankkeelle. Mikäli vanhoja maatukirakenteita voidaan hyödyntää, on tie sillankohdalta pois käytöstä normaali tilanteessa viikosta kahteen.

Puu rakennusmateriaalina sopii suomalaiseen maisemaan. Sillan päällysrakenteen vaihtaminen uuteen puurakenteiseen päällysrakenteeseen mahdollistaa maatukirakenteen elinkaaren jatkamisen niin, että rakenne voidaan käyttää loppuun. Toisaalta kun vanhat aiemmassa remontissa säästetyt maatukirakenteet tulevat elinkaarensa loppuun, voidaan uusittu päällysrakenne hyödyntää ja rakentaa uudet maatuet.

Korjausta suunniteltaessa tulee huolellisesti arvioida vanhojen maatukirakenteiden jäljellä oleva käyttöikä. Jos arvioitu aika on esimerkiksi alle 10 vuotta, onko järkevää jättää vanha rakenne? Sillan rakentaminen on kuitenkin aina rahallisesti merkittävä investointi tiekunnalle. Arviointia tehdessä kannattaa huomioida myös tarjolla olevan avustuksen suuruus ja saatavuus. Valtion myöntämät tukirahat ovat vaihdelleet vuosien mittaan, joten avustuksen saanti ei ole aina itsestään selvyyttä.

Tekemässäni hiilijalanjälkivertailussa tulevat hyvin esille puukannen käytön positiiviset vaikutukset ilmastoon kannalta. Sillan kansirakenne toimii hiilinieluna. Ongelmana koen kuitenkin puun kyllästämiseen käytettävän kreosootin. Kylläste pitäisi pystyä korvaamaan myrkyttömällä vaihtoehdolla. Kainuun silta-aineistossa betonisten rakenteiden osuus on merkittävä. Siltojen maatukirakenteissa on käytetty paljon teräsbetonia. Näiden maatukirakenteiden hyödyntäminen korjaushankkeissa on hyvä ottaa huomioon. Maatukirakenteet ovat kartoituksen mukaan vielä pääsääntöisesti hyväkuntoisia. Käyttämällä olemassa olevia rakenteita voidaan pienentää hiilijalanjälkeä, koska ei tarvitse rakentaa uutta. Tai muutokset ovat vähäisiä. Jos vanhoja maatukirakenteita hyödynnetään ei purkamisesta aiheudu lisää päästöjä. Maatuet soveltuvat hyvin esimerkiksi käytettäväksi uuden puisen sillan päällysrakenteen kanssa pienin muutoksin.

Tulevaisuudessa on tärkeä miettiä siltakohtaisesti peruskorjauksen mahdollisuus eri rakenneosia hyödyntämällä. Puusillan tulisi olla aina mukana yhtenä vaihtoehtona uuden tai korjattavan sillan suunnittelussa. Mikäli puunkäyttöä halutaan merkittävästi lisätä lyhyellä aikavälillä, pitäisi minun mielestäni valtion myöntämän tuen ohjata puunkäyttöön. Esimerkiksi puusillan rakentamisesta maksettaisiin korotettua tukea vaikka 5–10 prosenttia verrattuna muihin rakenteisiin. Puuta käyttämällä on mahdollista lisätä infrarakentamisen ympäristöystävällisyyttä, luoda työpaikkoja ja nostaa puuraaka-aineen arvostusta rakennusmateriaalina.

Tällä hetkellä tyyppihyväksytyjä puisia siltoja valmistaa vain Versowood Oy. Mikäli puisia tyyppisiltaratkaisuja olisi valittavissa useampia, varsinkin lyhyille jäsenemitoille (alle 10 metriä) voitaisiin siltarakenteita ehkä valmistaa paikallisesti, lähellä sillan rakennuspaikkaa. Näin myös rakennusmateriaalien kuljetusmatkat voisivat jäädä lyhyemmiksi.



Eriyisesti pyöreän puun hyödyntämistä siltarakenteissa tulee tutkia enemmän. Tällä tarkoitan vanhojen työssäni esitettyjen puupalkkisiltojen tyylistä rakentamista. Esimerkiksi vaarnapalkkien valmistaminen käsityönä voisi olla tulevaisuutta ja avata mahdollisuuksia pienemmille toimijoille puurakentamisen parissa.

Puusiltojen suhteellisen lyhyt elinkaari ilman suojaavia käsittelyitä on mietinnän arvoinen asia. Tuleeko lyhyempi käyttöikä vain hyväksyä? Vai voidaanko puun suojaaminen tehdä niin, ettei lahoamista tapahdu. Voidaanko Suomessa alkaa rakentamaan siltojen päälle esimerkiksi katto tai suojata puu rakenteet muilla materiaaleilla? Tämä olisi mielestäni hyvä keino kohti päästötöntä pitkäikäistä puusiltarakentamista. Suojaamalla sillat rakenteellisesti on mahdollista vähentää kemiallisesti käsiteltyjä puutuotteita ja jatkaa rakenteiden ikää ilman kemiallista käsittelyä.

Vastaavien siltakartoitusten tekemisessä olisi hyvä kehittää tiedon ja etenkin kuvamateriaalin keräämistapaa. Olen käyttänyt omassa ammatinharjoittamisessa sillan kuntokartoituksissa apuna kuvaamiseen kevyttä nelikopteria eli dronea. Dronen käyttö tehostaa itse kartoitustapahtumaa monellakin eri tavalla. Kohteet voidaan kuvata useista eri kulmista ja saadaan myös kuvia, joita ei ole mahdollista saada ilman venettä. Ilmasta otetuista kuvista saadaan tietoa siltapaikasta ja siltaan liittyvän tien geometriasta ja suuntauksesta. Näitä asioita on usein hankala havainnoida tavanomaisista kuvista. Kohteen kuvaamisessa voidaan hyödyntää myös 360-kuvia. Kuvaustavan etuna on se, ettei kameran asennolla ole merkitystä koska kamera kuvaa ympärilleen joka puolelle. Kuvaustekniikan pohjalta on mahdollista luoda kuva tarina siltapaikasta sekä liikkua virtuaalisesti siltapaikalla. Kuvaustekniikka mahdollistaa kuvauksen myös sillan kannen alapuolelta menemättä itse uomaan. Nämä kuvaustavat lisäävät myös kartoittajien työturvallisuutta, koska vedenvaraan joutumisen riski pienenee oleellisesti.

Työn eettisyys on mielestäni oikealla pohjalla, koska tavoitteena on ollut löytää ilmaston kannalta kestäviä puusta tehtyjä kotimaisia ratkaisuja. Parhaimmassa tapauksessa tehty tutkimus voi lisätä liiketoimintaa puuteollisuuden parissa. Työn luotettavuus on hyvällä tasolla alueellisesti eli Kainuussa. Toki epävarmuutta tuo kuntokartoituksen silmävarainen rakenteiden kunnon arviointi. Lisäksi kuntoarvion luotettavuuteen on vaikuttanut kartoituksen tekijöiden henkilökohtainen osaamistaso kuntoarvion tekemiseen.

Vaikutelma, jonka aineistosta olen saanut, on että tulokset ovat loogisia. Merkittäviä ristiriitoja en ole havainnut. Kuvia tarkastelemalla voi kuitenkin löytää rajatapauksia luokituksessa. Näissä epäselvissä tapauksissa päätöksen on tietenkin tehnyt kohteen kartoittaja. Mielestäni nämä eivät vaikuta kartoitustulosten luotettavuuteen kuitenkaan kovin paljon, koska aineiston tarkoitus on antaa yleiskuva Kainuun yksityisteiden silloista.

Tulosten yleistäminen koko Suomea kattavaksi aiheuttaa mielestäni epävarmuutta, koska käyttämässäni aineistossa betonisillat olivat käsitykseni mukaan ylliedustettuina. Omaan kokemukseeni nojaten voin todeta, että Kainuun aineiston yleistäminen koko Suomea koskevaksi aiheuttaa merkittävän epäluotettavuuden. Aineistossa on kuitenkin osioita, joita voidaan yleistää koko Suomea koskeviksi, eli silloissa havaitut vauriot ovat samankaltaisia kaikilla suomen yksityisteiden silloilla.

## LÄHTEET

- Eskelinen 2016. Opinnäytetyö. Käsin veistetty luonnonpyöreä vaarnapalkki. Viitattu 12.3.2020 <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201604053897>.
- Gopu 2016. Timber bridge repair details and best practices. Viitattu 19.2.2022 [https://www.ltrc.lsu.edu/ltrc\\_16/pdf/presentations/6-Bridge%20Inspection%20and%20Repair%20Methods-Timber%20Bridge%20Repair%20Details%20and%20Best%20Practices.pdf](https://www.ltrc.lsu.edu/ltrc_16/pdf/presentations/6-Bridge%20Inspection%20and%20Repair%20Methods-Timber%20Bridge%20Repair%20Details%20and%20Best%20Practices.pdf). University of Louisiana.
- Jokinen A. 2022. Laadullisen tutkimuksen näkökulmat. Teoksessa J.Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu 17.4.2022 <<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menettelmaopetus/>>.
- Keravan museopalvelut 2021. Ali-Keravan puinen vanha jokisilta vuonna 1905. Keravan museon kuva-arkisto. Viitattu 26.12.2021 [https://finna.fi/Record/kerava\\_mui.mui-5779](https://finna.fi/Record/kerava_mui.mui-5779).
- Kujala, M 2018. Mitä rakennuksen hiilijalanjäljen laskenta tarkoittaa? Kirjoitus Vähä0-hankkeen blogissa. Viitattu 12.3.2022 <https://tulevaisuudenrakentaminen.samk.fi/2018/02/16/mita-rakennuksen-hiilijalanjaljen-laskenta-tarkoittaa/>.
- Lefebvre, D& Richard, G.2014. 160 metriä pitkän puusillan rakenne. Viitattu 8.1.2022 [https://www.nordic.ca/data/files/article/160-Metre-Long-Wood-Bridge-IHF2014\\_FINAL\\_Stantec.pdf](https://www.nordic.ca/data/files/article/160-Metre-Long-Wood-Bridge-IHF2014_FINAL_Stantec.pdf).
- Liikennevirasto 2012. Siltojen kaiteet. Viitattu 12.3.2022 [https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo\\_2012-25\\_siltojen\\_kaiteet\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-25_siltojen_kaiteet_web.pdf).
- Liikennevirasto 2013. Piirustusluettelo PU. Viitattu 21.12.2021 [extension://elhekieabhbkmcefcobjddigjaadp/https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/tyyppiirustukset/vanhat/pu\\_piirustusluettelo.pdf](https://elhekieabhbkmcefcobjddigjaadp/https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/tyyppiirustukset/vanhat/pu_piirustusluettelo.pdf).
- Liikennevirasto 2015. Siltojen kantavuuslaskenta koulutus 23.4.2015. Viitattu 12.3.2022. Asiaa puusiltojen riskikohteista ja kantavuudesta. <https://doczz.net/doc/7072310/siltojen-kantavuuslaskentakoulutus-23.4.2015>.
- Liikennevirasto 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2016. LopPURAPORTTI puusiltojen kantavuus- ja kuntotutkimuksista Puinen jatkuva palkkisilta (Pjp). Viitattu 19.2.2022. [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2016-40\\_loppuraportti\\_puusiltojen\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2016-40_loppuraportti_puusiltojen_web.pdf).
- Liikennevirasto 2022. Tyyppiirustukset. Viitattu 20.5.2022 [https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/arkisto\\_tyyppiirustukset\\_15.1.2019.pdf](https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/arkisto_tyyppiirustukset_15.1.2019.pdf).
- Luonnonvarakeskus 2016. Puun suojaaminen. Viitattu 26.12.2021 <https://www.luke.fi/suojaus-pidentaa-puun-elinkaarta/>.

- Masalin J 2021. Teräs – hiilijalanjälki tulevaisuudessa nolla? Cronvall Oy. Viitattu 5.3.2022 <https://blog.cronvall.fi/blog/teras-on-ikuisesti-kierratettava-materiaali>.
- Metsäkeskus 2020. Suomen Metsäkeskuksen siltojen kuntokartoitusaineisto Kainuu. Ei julkinen.
- Metsäkeskus 2022a. Kehittämishankkeet, yksityisteiden puuinfra. Viitattu 20.5.2022 <https://www.metsakeskus.fi/fi/hankkeet/yksityisteiden-puuinfra>.
- Metsäkeskus 2022b. Tuki metsäteihin. Viitattu 18.5.2022 <https://www.metsakeskus.fi/fi/palvelut/tuki-metsateihin>.
- Östling 2021. Svenskt Trä. Träbroar. Viitattu 18.5.2022 <https://www.traguiden.se/konstruktion/konstruktionsexempel/trabroar/>.
- Puuinfo 2020a. Puutieto, sahatavara ja sen jalosteet, Lämpökäsittely puutavara. Viitattu 26.12.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/lampokasittely-puutavara/>.
- Puuinfo 2020b. Puutieto, sahatavara ja sen jalosteet, Paineekyllästetty sahatavara. Viitattu 26.12.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/sahatavara-ja-sen-jalosteet/painekyllastetty-sahatavara/>.
- Puuinfo 2020c. Puutieto, puun käytön ympäristövaikutukset. Puuhun sitoutuu hiiltä. Viitattu 31.1.2021 <https://puuinfo.fi/puutieto/ymparistovaikutukset/puuhun-sitoutuu-hiilta/>.
- Puuinfo 2020d. Puutieto, puun ominaisuudet. Mänty ja kuusi. Viitattu 18.5.2022 <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/manty-ja-kuusi/>.
- Puuinfo 2020e. Puutieto, puulajit. Viitattu 18.5.2022 <https://puuinfo.fi/puutieto/puulajit/>.
- Puuinfo 2020f. Puutieto, kosteustekniset ominaisuudet. Viitattu 18.5.2022 <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>.
- Puutuoteteollisuus Ry 2022. Tietoa puusta ja tuotteista. Viitattu 13.3.2022 <https://puutuoteteollisuus.fi/tietoa-puusta-ja-tuotteista/hiilijalanjalki-hiilikadenjalki>.
- Rakennusteollisuus 2016. Rakennusteollisuuden ja rakennetun ympäristön vähähiilisyiden tiekartta 2020–2035–2050. Viitattu 12.3.2022 [https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys\\_uudet/rt\\_4.-raportti\\_vahahiilisyiden-tiekartta\\_lopullinen-versio\\_clean.pdf](https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/ymparisto-ja-energia/vahahiilisyys_uudet/rt_4.-raportti_vahahiilisyiden-tiekartta_lopullinen-versio_clean.pdf).
- Rauhanen 2015. Siltojen kantavuuden kehitys. Ajoneuvoasetuksen muutos 2013 (kuntatekniikka.fi). Viitattu 18.5.2022 [https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/sites/2/2015/06/SKTY\\_Ajoneuvoasetukse-muutos\\_Rauhanen\\_Turku2015.pdf](https://kuntatekniikka.fi/wp-content/uploads/sites/2/2015/06/SKTY_Ajoneuvoasetukse-muutos_Rauhanen_Turku2015.pdf).
- Rudus Oy 2021. Rudus Pro ajankohtaista 29.06.2021. Viitattu 12.3.2022 <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2021/06/29/vihrea-betoni-pienentaa-rakentamisen-hiilijalanjalkea>.

- Svenskt Trä 2015. Puusiltatyypit. Viitattu 8.1.2022 <https://www.traguiden.se/planing/planera-ett-trabygge/trabroar/trabroar/brotyper/?previousState=1>.
- Taylor 2021. What Is Marine-Grade Plywood? Viitattu 8.1.2022 <https://www.thespruce.com/what-is-marine-grade-plywood-2736672>.
- Tie- ja vesirakennushallitus 1982. Siltojen kuormat 1982. Viitattu 12.3.2022 <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/132355/tie761.pdf?sequence=1>.
- Tiehallinto 1999. Siltojen kuormat. Viitattu 5.2.2022 <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/skuoro00.pdf>.
- Traficom 2020. Yksityisteiden valtionavustukset -ohje päivitetty 20210701\_\_.pdf (traficom.fi). Viitattu 18.5.2022 [https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Yksityisteiden%20valtionavustukset%20-ohje%20p%C3%A4ivitetty%2020210701\\_\\_.pdf](https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Yksityisteiden%20valtionavustukset%20-ohje%20p%C3%A4ivitetty%2020210701__.pdf).
- Turvallisuus- ja kemikaalikeskus 2021a. Kreosootilla kyllästetyn puun käyttö ja hävittäminen. Viitattu 26.12.2021 <https://tukes.fi/kemikaalit/biosidit/kreosootin-kayton-rajoitukset>
- Turvallisuus- ja kemikaalikeskus 2021b. Tanasote S40 -biosidivalmisteen vastavuoroinen rinnakkainen tunnustaminen. Viitattu 26.12.2021 <https://echa.europa.eu/documents/10162/cf35cceb-ded1-00c8-fb16-c06ff8ff34a5>.
- Väylävirasto 2020. Yksityisteiden sillat. Viitattu 3.4.2022 <https://vayla.fi/palveluntuottajat/>.
- Väylävirasto 2021. Tieverkko. Viitattu 30.1.2022 <https://vayla.fi/vaylista/tieverkko>.
- Vermont Timber Works 2021. Custom cored bridge. Viitattu 26.12.2021 <https://www.vermonttimberworks.com/our-work/timber-frame-projects/custom-designed-covered-bridge/>.
- Versowood Oy 2022. Tuotteet. Viitattu 17.4.2022. <https://www.versowood.fi/fi/tuotteet/>
- Vesi.fi 2021. Vaelluseste. Viitattu 25.9.2021 <https://www.vesi.fi/sanasto/vaelluseste/>.
- Vuori J 2022. Tapaustutkimus. 17.4.2022 Teoksessa Jaana Vuori (toim.) Laadullisen tutkimuksen verkkokäsikirja. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. Viitattu <<https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/>>.
- Yksityistielaki 560/2018:1.3§.
- Yksityistielaki 560/2018:5.50§.
- Ympäristöministeriö 2020. Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet. Puurakentamisen toimenpideohjelma 2016–2022. Viitattu 12.3.2022 [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E\\_8436\\_408A\\_8CD7\\_510C6C1AD000-](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-)

161609.pdf/1fc95a52-5c50-4c9b-1f5d-325395658d72/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E\_8436\_408A\_8CD7\_510C6C1AD000-161609.pdf?t=1603259868530.

## LIITTEET

Liite 1. Vanhat maatuet ja uusi päällysrakenne