

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Rakennesuunnittelu

2022

Tanja Uski

BETONISILTOJEN ESI- JA YLEISSUUNNITTELUVAIHEEN KUSTANNUS- JA MÄÄRÄLASKENTAOHJELMAN LAATIMINEN


TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Ohjaajat: DI Pirjo Oksanen, DI Harri Koskinen

2022 | 56 sivua, 15 liitesivua

Tanja Uski

BETONISILTOJEN ESI- JA YLEISSUUNNITTELUVAIHEEN MÄÄRÄ- JA KUSTANNUSLASKENTA OHJELMAN LAATIMINEN

Hankeosalaskenta on esi- ja yleissuunnitteluvaiheissa käytetty kustannuslaskentamenetelmä, kun lähtötiedot ovat vielä vähäisiä ja yleispiirteisiä. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli muodostaa kaavat ja laskentalogiikat, joiden perusteella saadaan määräluettelo muodostettua hankeosalaskentasovellukseen betonisilloille. Työtä tehtiin osana Ihku-laskentapalvelun kehitystä. Laskennasta saatavat rakennusainemäärät tullaan sitomaan Ihkun rakennusosakirjaston panosrakenteisiin hintoihin, jolloin saadaan muodostettua kustannusarvio.

Työssä muodostettiin eri siltatyypeille rakenteet, jotka vastaisivat mahdollisimman hyvin siltojen yleisimpiä rakenteita. Rakennusosia mallinnettiin käyttäen apuna suunnitteluohjeita sekä kokeneita siltasuunnittelijoita. Sovelluksen helppokäyttöisyyden lisäämiseksi pyrittiin minimoimaan pakollisten käyttäjän syötettävien lähtötietojen määrä muodostamalla laskentalogiikat, joiden avulla sovellukseen muodostuu osalle oleellisista lähtötiedoista ehdotukset.

Työn aikana tehtiin laskentalogiikoiden testausta vertailemalla toteutuneiden kohteiden määräluetteloita laskentapohjan antamiin määräluetteloihin. Kaavoja ja arvoja muokattiin testauksen pohjalta, jotta päästäisiin mahdollisimman tarkkoihin rakennusosamääriin eri kohteilla. Tämän lisäksi työssä pohdittiin, miten siltojen hankeosalaskentaa voitaisiin kehittää jatkossa.

ASIASANAT:

Hankeosalaskenta, silta, määräluettelo, kustannusarvio, laskentalogiikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering

Instructors: Pirjo Oksanen, (M. Sc. Eng.) , Harri Koskinen (M. Sc. Eng.)

2022 | 56 pages, 15 pages in appendices

Tanja Uski

DEVELOPING QUANTITY AND COST CALCULATION PROGRAM FOR PRELIMINARY AND GENERAL PLANNING OF CONCRETE BRIDGES.

Project part calculation is a calculation method which is used in the preliminary and general planning phases when the raw data is still slight and unspecified. The goal of this thesis was to devise formulas and calculation logics, on the basis of which bill of quantities can be formed for the project part calculation application for concrete bridges. The thesis was completed as part of the development of Ihku cost management systems. Amounts of the building materials obtained from the calculation will be tied to the prices of construction elements that are defined in the Ihku project.

In the thesis, structures were formed for different types of bridges that would correspond as closely as possible to the most common structures of bridges. Structural parts were modelled with the help of design manuals and experienced bridge designers. In order to increase the user-friendliness, the amount of mandatory input data was set as low as possible which was realized by forming calculation logics that suggests values for a part of the input data.

In the making of the thesis the data from the application was compared to data from existing bridges. Formulas and values were modified on the basis of testing in order to obtain the most accurate quantity of structural materials at different sites. The thesis also considered how project part calculation of the bridges could be evolved in the future.

KEYWORDS:

Project part calculation, bridge, bill of quantities, cost estimation, calculation logic

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 INFRAHANKKEEN KUSTANNUSHALLINTA ESI- JA YLEISUUNNITTELUVAIHEESSA	9
2.1 Esisuunnitteluvaiheen kustannushallinta	9
2.2 Yleissuunnitteluvaiheen kustannushallinta	10
2.3 Hankeosalaskenta	13
2.4 Siltojen esi- ja yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvio	14
3 LÄHTÖTIETOJEN SELVITYS	17
3.1 Lähtötietojen optimointi yleissuunnitteluvaiheeseen soveltuvaksi	17
3.2 Muuttujat ja riskit	18
3.3 Mitoittavat tekijät ja ohjelman automatisointi	19
4 LASKENTAPERIAATTEET	21
4.1 Alusrakenne	21
4.2 Päällusrakenne	25
4.3 Varusteet ja laitteet	26
4.4 Kaivannot ja ympäristäytöt	27
5 SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN	30
5.1 Ohjelman testaaminen toteutuneilla kohteilla	30
5.1.1 Välitukien määrän ja maksimijännemitan laskentalogiikka	30
5.1.2 Määrälaskentakaavojen laskentalogiikka	32
5.2 Ohjelman ehdottamien arvojen käyttämisen vaikutus määräluetteloon	39
5.3 Käyttökohdealue	41
6 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JATKOTOIMENPITEET	42
6.1 Laattakehäsilta	42
6.2 Laattasilta	44
6.3 Palkkisilta	46
6.4 Kaukalopalkkisilta	48
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	52

LIITTEET

- Liite 1. Sillan muiden rakenneosien vertailutulokset.
Liite 2. Laattasillan määräluettelo esimerkki sillalla.
Liite 3. Ulokelaattasillan määräluettelo esimerkki sillalla.
Liite 4. Laattakehäsillan määräluettelo esimerkki sillalla.
Liite 5. Palkkisillan määräluettelo esimerkki sillalla.
Liite 6. Kaukalopalkkisillan määräluettelo esimerkki sillalla.

KAAVAT

Kaava 1. Päätypalkin korkeus	23
Kaava 2. Siipimuurin paksuus	23
Kaava 3. Peruslaatan poikkisuuntainen leveys	24
Kaava 4. Päätytuen peruslaatan pituussuuntainen leveys	24
Kaava 5. Päätytuen peruslaatan korkeus	24
Kaava 6. Päätytuen seinän korkeus	24
Kaava 7. Pilarin halkaisija	25
Kaava 8. Pilarin korkeus	25
Kaava 9. Kansilaatan/kansilaatan palkin paksuus	25
Kaava 10. Palkkisillan kansilaatan palkin leveys	25
Kaava 11. Päätytuen siipimuurin pituus	26
Kaava 12. Laattakehäsillan peruslaatan pituus	26
Kaava 13. Ympärystäyttö	28

KUVAT

Kuva 1. Siltojen päätytukia (Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu 2021)	23
Kuva 2. Maatuen mitat (Sillan geotekninen suunnittelu 2007)	24
Kuva 3. Kaivantojen määräytyminen väylän ja sillan määräluetteloon (Sillan määräluettelo 2008)	28
Kuva 4. Laattakehäsillan kaivu	29
Kuva 5. Laattakehäsillan ympärystäyttö	29

KUVIOT

Kuvio 1. Päätyrakenne vaihtoehdot ohjelmassa	22
Kuvio 2. Palkkisillan lähtötietovertailun tulokset	31

Kuvio 3. Laattasillan lähtötietovertailun tulokset	32
Kuvio 4. Laattasiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset	33
Kuvio 5. Laattasiltojen alusrakenteiden vertailutulokset	33
Kuvio 6. Laattasiltojen alus- ja päällysrakenteen yhteismäärien vertailutulokset	34
Kuvio 7. Palkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset	35
Kuvio 8. Palkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset	35
Kuvio 9. Palkkisiltojen alus- ja päällysrakenteen yhteismäärien vertailutulokset	36
Kuvio 10. Laattakehäsiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset	37
Kuvio 11. Laattakehäsiltojen peruslaattojen vertailutulokset	37
Kuvio 12. Kaukalopalkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset	38
Kuvio 13. Kaukalopalkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset	39
Kuvio 14. Kaukalopalkkisiltojen alus- ja päällysrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset	39
Kuvio 15. Päällysrakenteiden vertailun tulokset ohjelman määrittäessä välitukien määrän ja maksimijännemitan	40
Kuvio 16. Päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset ohjelman määrittäessä välitukien määrän ja maksimijännemitan	41
Kuvio 17. Laattakehäsiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	43
Kuvio 18. Laattakehäsiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	43
Kuvio 19. Laattakehäsiltojen päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen	44
Kuvio 20. Laattasiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	45
Kuvio 21. Laattasiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	45
Kuvio 22. Laattasiltojen päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen	46
Kuvio 23. Palkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	47
Kuvio 24. Palkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	47
Kuvio 25. Palkkisiltojen päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen	48
Kuvio 26. Kaukalopalkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset uudella laskentapohjalla	49
Kuvio 27. Kaukalopalkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset uudella laskentapohjalla	49
Kuvio 28. Kaukalopalkkisiltojen päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset uudella laskentapohjalla	50
Kuvio 29. Kaukalopalkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen	51
Kuvio 30. Kaukalopalkkisiltojen päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen.	51

TAULUKOT

Taulukko 1. Siltojen ohjeellisia kustannuksia €/kansi-m ² (RIL 179-2018, 116.)	15
Taulukko 2. Varusteet ja laitteet määräluettelossa	27

1 JOHDANTO

Hankeosalaskenta on suunnitelmaratkaisuiden hinnoittelun menetelmä, joka perustuu hankeosiin. Hankeosalaskentaa käytetään yleensä infrahankkeiden varhaisemmissa suunnitteluvaiheissa. Menetelmä on käytössä kustannusarvion teossa, kun lähtötiedot ovat vielä puutteellisia ja epävarmoja. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Rakennusosalaskenta on määrälaskentaan perustuva suunnitelmaratkaisujen hinnoittelun menetelmä. Rakennusosalaskennassa määrät sidotaan panospohjaisiin rakennusosiin. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021) Rakenne jaetaan Infranimikkeistön mukaisesti rakenneosiin noudattamalla määrämittaushjetta. Rakennusosalaskennan vaiheet ovat: rakennusosien määrien mittaus ja hinnoittelu, hankepalveluiden hinnoittelu sekä muiden haluttujen kustannuserien hinnoittelu. (RIL 2006, 49.)

Ihku-Allianssissa kehitetään laskentapalvelua, jolla saadaan laskettua luotettavat kustannusarviot infrahankkeen eri vaiheissa. Ihku-Allianssin tavoitteena on tuoda lisää läpinäkyvyyttä ja avoimuutta infra-alan kustannusten muodostumisesta. Rakennusosalaskennan osalta laskentapalvelu on jo julkaistu ja kehitystyötä jatketaan käyttäjäkokemusten pohjalta. (Ihku-allianssi 2022) Tällä hetkellä laskentapalveluun kehitetään hankeosalaskentaa. Ihku-hankeosalaskentasovellusta hyödyntämällä projektin ensimmäinen kustannusarvio saadaan jo hyvin vähäisillä lähtötiedoilla. Hankeosalaskelma saadaan avattua varsinaiseksi laskelmaksi, jossa käyttäjä pääsee tarkentamaan lähtötietoja sekä näkee, mistä rakennusosista hankeosa koostuu. (Ihku-allianssi 2021)

Tämän työn tavoitteena on mallintaa siltahankeosan sisältö, laskentaperiaatteet ja kaavat. Laskentaperiaatteet luodaan ja testataan Excel-ohjelmalla, mutta lopullisen sovelluksen tekevät sovelluskehittäjät. Laskentaperiaatteiden ja kaavojen muodostamisessa käytetään apuna asiantuntijoita, jotka koostuvat kokeneista siltasuunnittelijoista. Ohjelmasta tehdään helppokäyttöinen ja sen on tarkoitus soveltua myös muiden kuin siltasiantuntijoiden käyttöön. Siitä saadaan lopputuotoksena rakennusosatarkkuudella laadittu määräluettelo, jota on helppo siirtyä rakennusosalaskentavaiheessa täydentämään ja tarkentamaan. Tässä työssä ohjelmalla viitataan Excelillä tehtyyn laskentapohjaan, jota käytetään laskentalogiikoiden muodostamiseen ja testaukseen.

Hankeosalaskentasovellusta kehitetään yhdessä mallintajien ja asiantuntijoiden kanssa. Mallinnustyössä hankeosien sisältö pyritään siirtämään laskentalogiikoiden ja kaavojen muotoon ja tavoitteena on saada mahdollisimman tarkkaa ja luotettavaa tietoa rakennusosittain. Tarkoituksena on luoda mahdollisuus sille, että hankkeen sisällä voidaan tehdä laskentaa sekä rakennusosa- että hankeosalaskentatasolla yhtäaikaaisesti. Hankeosalaskennan kustannukset muodostuvat Ihkun rakennusosakirjastosta eli hankeosalaskennasta pystytään helposti siirtymään rakennusosalaskentaan. Käyttäjällä on myös mahdollisuus nähdä miten eri lähtötiedot vaikuttavat rakennusosiin ja määriin. Tämän lisäksi pyritään luomaan käyttäjälle mahdollisuus ositella hanke olosuhteiltaan, poikkileikkaukseltaan ja korkeusasemaltaan erilaisiin osiin hankeosan sisällä. Tällä tavalla pystytään laskemaan suurempia kokonaisuuksia ilman, että täytyy luoda useampia laskelmia samasta hankeosasta. (Ihku-allianssi 2021)

Työ rajataan käsittelemään yleisimpiä teräsbetonisia siltatyyppejä. Tarkasteltavat siltatyypit ovat laattasilta, palkkisilta ja laattakehäsilta. Laattasilloista tutkitaan tavallista laattasiltaa sekä ulokelaattasiltaa. Käyttötarkoitukseltaan tarkasteltavia siltoja ovat risteysilta, alikulkukäytävä, ylikulkusilta, vesistösilta, ylikulkukäytävä, ylikäytävä, raittisilta, alikäytävä, alikulkukäytävä, ratasilta ja rautatieristeysilta. Työssä käsitellään vain uuden sillan rakentamista eikä siltojen korjausrakentamiseen oteta tässä opinnäytetyössä kantaa.

2 INFRAHANKKEEN KUSTANNUSHALLINTA ESI- JA YLEISUUNNITTELUVAIHEESSA

2.1 Esisuunnitteluvaiheen kustannushallinta

Esisuunnittelu on hankesuunnittelua edeltävä vaihe, jossa päätetään ratkaisusta ja vaihtoehtoista periaatteen tasolla. Näitä ratkaisuja ja vaihtoehtoja sitten tarkennetaan hankesuunnittelussa. Vaihtoehtojen kustannusarvioiden tulee olla keskenään vertailukelpoiset ja niiden tarkoituksena on tuoda esille eri suunnitteluratkaisujen kustannuseroja. Kustannussuunnittelu ohjaa hankkeen ratkaisujen taloudellisuutta ja kustannustietojen tulee olla siirrettävissä seuraaviin vaiheisiin lähtötiedoiksi siten, että vertailtavuus vaiheiden välillä säilyy. Vertailukelpoisuuden varmistamiseksi eri aikoina tehdyt kustannusarviot muutetaan samaan maarakennuskustannusindeksiin. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Esisuunnitteluvaiheen kustannusarvion tulee olla niin tarkka, että se muodostaa luotettavan perustan yleissuunnitteluvaiheen kustannusarviota varten, hankkeen kokonaiskustannusten sekä myös tienpidon investointeihin tarvittavien määrärahojen arvioimiseksi. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Vaihtoehdot eivät yleensä muodostu kustannusten perusteella, mutta esisuunnitteluvaiheen kustannusarvio on kuitenkin lähtötieto seuraavien vaiheiden kustannusten hallinnalle. Määrätietojen keräämisen ja hyödyntämisen voi aloittaa jo esisuunnitteluvaiheessa. Maaperäkartojen ja Maanmittauslaitoksen epätarkkojakin mittausaineistoja on suositeltava hyödyntää määrien arvioinnissa, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Esisuunnitteluvaiheessa kustannusarvio on tähän asti muodostettu Fore-palvelun hankeosalaskennalla, asiantuntija-arviona tai näiden yhdistelmällä. On todennäköistä, että kaikkia hankeosia ei ole mallinnettu riittäväällä tarkkuudella Fore-palveluun tai hanke sisältää erityisiä suunnitteluratkaisuja ja tästä johtuen ainakin osa kustannusarviosta joudutaan toteuttamaan asiantuntija-arviona. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Esisuunnitteluvaiheessa kustannustenlaskenta tapahtuu hankeosatarkkuudella, joka tarkoittaa käytännössä, että uuden tien tai radan kustannukset lasketaan nauhakustannuksena, joka on muotoa euroa/metri. On kuitenkin huomioitava kaikki kustannuksiin

vaikuttavat tekijät riittävän laajasti, vaikkei niitä olisikaan vielä varsinaisesti suunniteltu. Erilaiset kustannuksiin vaikuttavat tekijät, kuten meluasteet tai työnmaanaikaisten liikenejärjestelyiden kustannukset voidaan arvioida vastaavan tyyppisen hankkeen tarkemman suunnitteluvaiheen tai toteutuneiden kustannusten pohjalta tietynä prosentiosuutena kokonaiskustannuksista, jos tarkempaa tietoa laajuudesta ei ole tiedossa. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Hanke ryhmitellään kustannusarvioon pääkohteittain ja tekniikkalajeittain. Esimerkiksi tiehankkeessa ryhmittely menisi näin: päätie, eritasoliittymät, maantiet, yksityistiet, meluntorjunta, sillat jne. Kustannusarvioiden vertailu eri suunnitteluvaiheiden välillä helpottuu, kun hankkeet ryhmitellään. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Hankeosalaskentaa tehdessä on otettava huomioon hankeosamallien variaatio ja niitä tulee käyttää harkiten ominaisuuksiensa mukaan. Ominaisuuksien oletusasetukset tulee aina tarkastaa enne käyttöä. Väylät tulee ositella riittävän tiheästi, sillä niiden pystygeometria ja pohjaolosuhteet voivat vaihdella ja vaikuttaa merkittävästi metrihintaan. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Jos vaihtoehdoista tunnistetaan kustannusriskejä, tulee riskit dokumentoida tarvittaessa ja tarkentaa jatkosuunnittelussa. Esisuunnitteluvaiheessa suunnittelun lähtötietojen puute tai suunnittelun epätarkkuus aiheuttaa kustannusriskin ja ne on syytä dokumentoida ja kohdentaa jatkosuunnittelun ohjaamiseksi. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

”Kustannushallinnan muistiossa kustannusarviolle esitetään vaihteluväli, jos siihen on perusteita muuan muassa lähtötietojen epävarmuudesta ja -tarkkuudesta johtuen. Kustannusarvion vaihteluväliin vaikuttavat tekijät tulee esittää, jotta jatkosuunnittelu osataan kohdentaa epävarmoihin kohteisiin.” (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

2.2 Yleissuunnitteluvaiheen kustannushallinta

Yleissuunnitteluvaiheessa otetaan selvää hankkeen eri vaihtoehdoista, määritetään likimääräinen sijainti tielle tai radalle sekä kytkennät nykyiseen ja tulevaan maankäyttöön. Lisäksi määritetään liikenteelliset ja tekniset perusratkaisut, hankkeen vaikutukset, alustava kustannusarvio sekä ympäristöhaittojen estämisen periaatteet. Suunnittelun tarkkuuden tulee olla sillä tasolla, että ratkaisujen tekninen, ympäristöllinen sekä taloudellinen toteutettavuus pystytään varmistamaan. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Yleissuunnitteluvaiheessa maaperätietous voi olla vähäistä ja hankkeen sisältö edelleen yleispiirteinen. Hankkeen sisältö ja kustannusarvio kyllä tarkentuvat, mutta edelleen jää epävarmuustekijöitä. Yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvion tulee kuitenkin muodostaa luotettava pohja hankkeen kokonaiskustannusten ja tienpidon investointeihin tarvittavien määrärahojen arvioimiseksi. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Yleissuunnitteluvaiheessa esisuunnitteluvaiheen kustannusarvio päivitetään ensin ajantasaiseksi maanrakennuskustannusindeksillä ja otetaan sen jälkeen lähtökohdaksi yleissuunnitelman kustannusarvion laatimiseen. Riippuen esisuunnitteluvaiheen tarkkuudesta, päivitetty kustannusarvio muodostaa kustannustavoitteen hankkeelle. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

”Kustannusarvion rakenne ja osittelu muokataan hankekohtaisesti suunnitteluvaihetta palvelevaksi. Kustannusarvion päivitystiheys ja ajankohta sovitaan hankkeen alussa tilaajan kanssa hankkeen kokonaisaikataulun ja tilaajan tarpeen mukaan.” Yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvio on tärkeä hankkeelle ja sen etenemiselle. On kuitenkin syytä käyttää termiä alustava kustannusarvio, sillä muutoksia voi vielä tulla myöhemmissä suunnitteluvaiheissa. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Määrätietoja aletaan keräämään ja hyödyntämään kustannuslaskennassa viimeistään yleissuunnitteluvaiheessa, mutta pääsääntöisesti kustannusarvio muodostetaan edelleen hankeosalaskennalla. Joidenkin kustannuserien osalta suunnittelutarkkuus voi olla jo riittävä rakennusosalaskennan käyttämiseen. Erityisesti merkittävästi kustannuksiin vaikuttavien suoritteiden osalta pyritään kustannukset laskemaan rakennusosalaskennalla. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Yleissuunnitteluvaiheessa siltojen kustannusarvio tehdään hankeosalaskennalla. Nykyisellään sen käyttö edellyttää siltateknistä asiantuntemusta. Kustannuksia arvioidaan Hollan lisäksi neliöhintaperusteisesti. Erilaisten siltojen neliöhinnat perustuvat toteutuneiden siltojen kustannuksiin. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Kallio- ja betonitunneleiden osalta hankeosalaskennasta löytyy peruselementit kustannusten laskemiseen. Kuitenkin vaadittujen valintojen tekeminen vaatii teknistä asiantuntemusta. Tunneleissa on merkittävästi kustannuksiin vaikuttavia osioita, joita ei ole hankeosassa. Nämä osiot tulee lisätä kustannusarvioon asiantuntijatyönä. Suuren

kustannusvaikutuksen omaavissa tunneleissa tulee aina käyttää erillistä asiantuntijan tekemää kustannusarviota. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Ratahankkeissa yleissuunnitteluvaiheessa tavoitteena on tehdä suunnitelma, jonka pohjalta saadaan määriteltyä investoinnin laajuus, toteutusaikataulu ja mahdolliset kustannusjaot toteutus päätöstä varten. Yleissuunnitteluvaiheessa on tarkoitus selvittää eri vaihtoehdot uuden ratayhteyden linjauksille. Ratahankkeissa yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvio laaditaan yleensä hankeosatarkkuudella, mutta jotkut kustannuserät voidaan laatia myös erillisenä asiantuntijatyönä. Jos hankkeen suunnittelutarkkuus on kuitenkin riittävä, voidaan kustannuslaskenta suorittaa myös rakennusosalaskennalla. Turvalaitteiden osalta hankeosalaskenta tai nauhakustannus ei usein ole riittävää vaan jokaiselle vaihtoehdolle tulee laatia oma turvalaitesuunnitelma ja laskea kustannukset sen perusteella. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Tiehankeilla yleissuunnitteluvaiheen alustavassa kustannusarviossa suositellaan erittelemään toimenpiteiden rakentamiskustannukset sekä lunastus- ja korvauskustannukset. Tämän lisäksi kustannukset eritellään pääkohteittain ja erikoiskohteiden kustannukset esitetään erillisinä. Alustavaa kustannusarviota laatiessa tulee tunnistaa riskit ja mahdollisesti tarkentaa suunnittelua riskien pienentämiseksi. Alustavassa kustannusarviossa tulee ottaa laajalti kaikki vaikuttavat tekijät huomioon kuten rakentamisen erityisolosuhteet, tien varusteet sekä työnaikaisen liikenteen järjestely. Muita huomioitavia asioita ovat kohteen ympäristönhoito- ja suojaustoimenpiteet sekä elinkaarikustannukset. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Tiehankeiden yleissuunnitteluvaiheessa suunnitellaan alustavasti tieyhteydelle tarvittavat palvelut kuten tievarsitiedotus, kelivaroitukset ja nopeusrajoitukset, mutta kuitenkin laitteiden sijoitustiheyteen tai ominaisuuksiin ei oteta kantaa. Vaihtuvan ohjauksen kustannuksia arvioidaan usein keskimääräisten kilometriperusteisten toteumatietojen avulla yksi- ja kaksiajorataisilla teillä. Ne sisältävät kuitenkin osin päällekkäisiä palveluita ja ovat suuntaa antavia. Lisäksi järjestelmien suunnittelu ja käyttöönotto on merkittävä kuluerä hankintakustannusten lisäksi. Hankeosalaskenta ei useinkaan tuota liikenteen hallinnan erityispiirteiden vuoksi riittävän tarkkaa kustannusarviota ja sen takia kannattaa käyttää erillistä asiantuntija-arviota tai kustannuslaskentaa. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Väylähankkeissa kuljetusmatkoilla on merkittävä vaikutus kustannuksiin. Yleissuunnitteluvaiheessa kuljetusmatkojen pituuteen vaikuttavia tekijöitä ei tunneta kovin tarkkaan ja

siksi oletukset tulee dokumentoida ja kirjata mahdollinen riskikustannus. Holassa kuljetusmatkojen pituuden saa itse syötettyä oletusarvon tilalle ja silloin koko hankkeen kuljetusmatkat vaihtuvat mukana. Myös hankeosakohtaisesti on mahdollista säätää kuljetusmatkoja. Yleissuunnitteluvaiheessa ei ole tarvittavaa tehdä tarkkoja massatasapainolaskelmia. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

Yleissuunnitteluvaiheessa harvemmin tehdään herkkyystarkasteluja kustannusarviolle. Esimerkiksi liikenne-ennusteen muuttuminen voi kuitenkin aiheuttaa tarvetta herkkyystarkastelulle. Kun tarkastellaan suunniteltujen ratkaisujen riittävyttä, voidaan päätyä tekemään mitoitus uudelleen ja sen myötä vaihtoehtotarkasteluun ja uuteen kustannusarvioon. Hankeosalaskennassa käytettyjä epävarmoja oletuksia kannattaa arvioida niiden kustannusvaikutusten kautta erityisesti, jos laskelmakertoimet ovat ääripäissään. (Väylähankkeiden kustannushallinta 2021)

2.3 Hankeosalaskenta

”Hankeosa kuvaa valmista infrahankkeen lopputuotteen osaa kaikkine rakennusosineen. Hankeosien laajuutta tarkastellaan hankeosaa kuvaavalla mittayksiköllä (esim. metri tai kappale). Tyypillisiä hankeosia ovat esim. katu, liittymä tai silta.” (RIL 2006, 43.) Perushinta on standardihinta, joka muodostuu keskimääräisen suunnitteluratkaisun mallin perusteella. Lisäkustannukset lisätään perushintaan ja niiden mittayksikkö on sama kuin kyseessä olevan hankeosan mittayksikkö. Kustannukset voivat myös vähentyä lisäyksillä ja tästä kertoo hinnan edessä oleva miinusmerkki. (RIL 2006, 43.)

Hankeosalaskentavaiheessa käytetään apuna Fore Projectin Hola-työkalua. Hola-työkalussa on jo 250 hankeosamallia, jotka perustuvat infrarakentamisen hyviin käytäntöihin. Hankeosamalleja on testattu useissa infrarakentamisen hankkeissa. Mallien taustalla on käytössä Rolan panosrakenteiset rakennusosat. Rola on Fore Projectin työkalu, jota käytetään suunnitelmaratkaisujen hinnoitteluun. Ominaisuustietojen perusteella pystytään arvioimaan hankkeen kustannusarvio Holan avulla. Holaa hyödyntämällä pystytään analysoimaan eri ratkaisuvaihtoehtojen kustannuseroja. (Rapal Oy 2022)

Holassa käyttäjä määrittelee hankkeen laajuuden ja laatutason, vaikuttavat olosuhdetekijät, halutut erikoisominaisuudet ja riskit sekä varaukset. Hankeosalaskenta aloitetaan syöttämällä aluekertoimen, laskennan hintatason ja hankeosien oletus kuljetusmatkat. Tämän jälkeen käyttäjä syöttää hankeosien määrät ja hankeosakorttien kautta voidaan

vaikuttaa hankeosan ominaisuuksiin. Holarakennusta muodostaa annettujen ominaisuustietojen perusteella tuoterakenteita, joita yhdessä hinnastojen kanssa hyödyntämällä se pystyy antamaan hankeosalle tavoitekustannuksen. (Rapal Oy 2011)

2.4 Siltojen esi- ja yleissuunnitteluvaiheen kustannusarvio

Siltojen kustannusarviot perustuvat määrätietoihin lähes kaikissa suunnitteluvaiheissa. Nämä määrätiedot sidotaan tilastollisiin yksikköhintoihin. Kustannusarvioon lisätään yleiskustannuksia ja muita kustannuksia prosenttimäärinä. Prosenttimäärät ovat käytännössä vakiintuneita arvoja. Määrätietojen oikeellisuus aiheuttaa suurimman riskin kustannusarvion tekemiseen ja ne onkin syytä tarkastaa merkittävimpien määrien kohdalla. (RIL 179-2018, 117.)

Siltojen kustannukset eivät koostu ainoastaan sillan osista, vaan kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi myös siltaan liittyvät maanrakennus- ja pohjanvahvistustyöt. Sillan rakennuskustannusten, sillan kokonaiskustannusten ja hankkeen kustannusten erottaminen on tärkeää. Sillan kokonaiskustannuksiin sisältyy mm. suunnittelu- ja rakennuttamiskustannukset. Epäselvyyttä tuo myös se, että ajatellaan rakennettavaksi pelkkä silta, mutta samalla rakennetaankin tietä, rantamuureja ja tehdään pohjanvahvistuksia. (RIL 179-2018, 115.)

Samantyyppisten siltojen välille voi muodostua kustannuseroja riippuen perustamisesta tai vanhan sillan purkamiskustannuksista. Taulukossa 1 on esitelty eri siltojen arvioituja rakennuskustannuksia. Kustannukset eivät sisällä maanrakennuskustannuksia, suunnittelu- ja rakennuttamiskustannuksia. Hinnat ovat ohjeellisia ja niihin vaikuttaa merkittävästi urakan laajuus, perustamisolosuhteet, markkinatilanne sekä kohteen sijainti. Taulukon hinnat ovat vuodelta 2017 ja niissä ei ole arvonlisäveroa mukana. (RIL 179-2018, 116.)

Taulukko 1. Siltojen ohjeellisia kustannuksia €/kansi-m2 (RIL 179-2018, 116.)

	Siltatyyppi	Minimi	Maksimi
TIESILLAT:	Vinojalkainen kehäsilta, tyyppisuunnitelman mukaan	2200	2500
	Suorajalkainen kehäsilta, tyyppisuunnitelman mukaan	2400	2800
	Ulokelaattasilta	1300	1600
	Jännitetty jatkuva palkkisilta, risteyssilta	1400	1800
	Jännitetty jatkuva palkkisilta, pitkät jännevälit, vesistösilta	1700	2100
	Liittopalkkisilta, pitkät jännevälit, vesistösilta	2000	2300
	Vinoköysisillat	5000	8000
RAUTATIE-SILLAT:	Laatta- tai palkkisilta, sivustasiirrettävä	3200	4000
	Kaukalopalkkisilta	3500	4200
KEYYEN LIIKENTEEN SILLAT:	Betoninen laatta- ja palkkisilta	1500	1800
	Liittopalkkisilta	2000	2500
	Vinoköysisilta, kaarisilta vesistösiltaan	5000	7000

Väyläsuunnittelupuolella voidaan käyttää Holaa apuna siltojen alustavien kustannusarvioiden laatimisessa. Holan käyttö vaatii käyttäjältä arvion siltatyypistä sekä muista lähtötiedoista, joita tiesuunnittelija ei välttämättä osaa määrittää. Tämä lisää alustavan kustannusarvion epävarmuutta. Holaa hyödynnetään enemmänkin kustannustason arvioimiseen. Mieluiten siltojen kustannuksien arvioimiseen käytetään siltasuunnittelijaa. Siltasuunnittelija määrittää siltatyypin ja laskee kustannukset yleensä kansineliöiden pohjalta. Viimeistään yleissuunnitteluvaiheessa pyritään saamaan siltasuunnittelija mukaan kustannusten arvioimiseen. (S. Kirvesniemi, henkilökohtainen tiedonanto, 29.4.2022)

Esisuunnitteluvaiheessa vertaillaan erilaisia linjauksia ja tehdään muun muassa ympäristövaikutusten arviointia. Ympäristövaikutukset voivat vaikuttaa esimerkiksi siihen, että joitain alueita joudutaan kiertämään tai ainakin huomioimaan osana suunnittelua. Yleissuunnitteluvaiheessa suunnittelun taso on yleensä jo hieman tarkempaa ja voidaan karkeasti käydä läpi alittavia linjoja. Esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa sillan kustannukset arvioidaan yleensä kansineliöperusteisesti. Siltasuunnittelija määrittelee siltatyypin ja

sen päämitat ylittävän väylän sekä ylitettävän väylän tai esteen perusteella. Siltatyypin valintaan vaikuttavat myös useat muut tekijät. Esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa siis määritetään sillan kannen pinta-ala sekä siltatyyppi ja sen perusteella muodostetaan kustannusarvio. Vaihtoehtoja voi olla useita ja rakennuttaja valitsee käytettävän vaihtoehdon. Tiesuunnitelmavaiheessa voidaan käyttää kansineliöhintoja eri vaihtoehtojen vertailuun, mutta lopullisessa tiesuunnitelmassa käytetään arvioituun materiaalimenekkiin perustuva kustannusarviota. Tiesuunnitelmavaiheen aikana sillasta tehdään pääpiirustus, jonka perusteella kustannukset lasketaan ja päätetään toteutettava siltavaihtoehto. Tiesuunnitelman hyväksynnällä saadaan lupa hankkeen toteuttamiseksi. (I. Vilonen, henkilökohtainen tiedonanto, 28.4.2022)

3 LÄHTÖTIETOJEN SELVITYS

3.1 Lähtötietojen optimointi yleissuunnitteluvaiheeseen soveltuvaksi

Määräluettelo perustuu rakenteen päämittoihin, jotka määritetään alustavilla rakennelaskelmilla. Mittojen tarkkuuden tulisi olla sellainen, ettei tulevaisuudessa tehtävät muutokset vaikuta merkittävästi kustannuksiin. (Siltojen suunnitelmat 2000)

Ohjelma on tarkoitettu käytettäväksi esi- ja yleissuunnitteluvaiheeseen, mutta tarkoituksena on luoda määräluettelo ja siksi ohjelman vaatimat lähtötiedot ovat osittain samat kuin siltasuunnitelmassa.

Siltasuunnitelmaa tehtäessä oleellisia lähtötietoja ovat sillan rakenne ja päämitat. Näihin tietoihin kuuluvat sillan tyyppi, rakennusaine, hyödyllinen leveys, jännemitat sekä kulkuaukon vapaa korkeus ja leveys. (Sillansuunnittelun lähtötiedot 2005)

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa tiedossa olevien lähtötietojen määrä on rajallista ja silta voi olla vasta viiva kartassa. Jotta ohjelma on käytettävissä myös muille kuin siltateknistä osaamista omaaville henkilöille, tulee vaadittavat lähtötiedot rajata mahdollisimman vähäisiksi ja laskentaa automatisoida. Tutkimusten pohjalta vaadittavia lähtötietoja ovat sillan käyttötarkoitus, rakennusmateriaali, siltatyyppi, sillan pituus, hyötyleveys, perustamistapa, välitukien määrä ja suurin jännemitta. Sillan pituudella tarkoitetaan jännemittojen summaa eikä sillan kokonaispituutta.

Koska tavoitteena oli luoda ohjelma, joka ei vaadi siltateknistä osaamista, muodostuivat käyttäjän syötettäväksi tiedoiksi sillan käyttötarkoitus, rakennusmateriaali, sillan pituus, hyötyleveys ja perustamistapa. Näiden lähtötietojen pohjalta ohjelma osaa suositella välitukien määrää ja sitä kautta suurinta jännemittaa.

Siltatyyppin valinta perustuu pääsääntöisesti kokonaisrakennuskustannusten optimointiin. Eri siltatyypeille löytyy tyypilliset jännemitta-alueet, joita noudattamalla siltatyyppin valinta pysyy taloudellisesti kannattavana. (RIL 179-2018, 46.) Näiden jännemittasuositusten pohjalta ohjelma osaa suositella pisimmän jännemittan perusteella sopivaa siltatyyppiä. Näin ollen siltoihin perehtymätön henkilö pystyy valitsemaan järkevän siltatyyppin tarvitsemaansa siltapaikkaan.

Silta alistuu alittavan väylän geometrialle ja sen rakenteet ovat herkkiä väylän geometrian muutoksille. (RIL 179-2018, 135.) Välitukien sijoittelulla pystytään reagoimaan alittavan väylän tarpeisiin. Välitukien sijoittelu vaikuttaa sillan pisimmän jännemitan pituuteen ja sitä myötä merkittävästi sillan poikkileikkaukseen. Jännejaossa pyritään mahdollisimman staattisesti tasapainoiseen ratkaisuun ottaen huomioon siltapaikan vaatimukset. Tällä pyritään välttämään rakenteen muuttuminen tehottomaksi ja sen myötä rakenekorkeuden ja raudoituksen määrän kasvaminen. (RIL 179-2018, 137.) Staattisesti tasapainoinen silta on usein myös taloudellisin ratkaisu. Ohjelma luodaan laskemaan välitukien määrä ja sitä kautta suurin jännemitta pyrkien staattisesti tasapainoiseen ratkaisuun. Välitukien sijoitteluun vaikuttavat siltapaikan vaatimukset vaihtelevat eikä ohjelma pysty niitä ennakoimaan.

Sillan pisimmällä jännemitalla ja välitukien lukumäärällä on huomattava vaikutus sillan rakennusainemääriin, ja siksi käyttäjällä tulee olla mahdollisuus muokata näitä lähtötietoja, vaikka ohjelma ehdottaakin yhtä vaihtoehtoa. Käyttäjän muokatessa pelkkää välitukien määrää, laskee ohjelma sillalle uuden pisimmän jännemitan ja ehdottaa mahdollisesti eri siltatyyppejä. Tällä automatisoinnilla ohjelmasta saadaan helppokäyttöisempi käyttäjän tietämyksestä riippumatta.

3.2 Muuttujat ja riskit

Anssi Laaksosen sanoin ”lähes jokainen silta on erilainen” (RIL 179-2018, Laaksonen, 2018, 125.). Tämä lause kiteyttääkin sillan hankeosan mallinnuksessa muodostuvat haasteet ja riskit. Sillassa muuttujia ja erilaisia vaihtoehtoja on lukuisia määriä ja ohjelmaan muuttujat tuleekin saada rajattua mahdollisimman pieneksi ilman, että tehdyillä rajauksilla on liiallista vaikutusta lopullisiin määriin, joista kustannukset muodostuvat.

Sillan päärakenteosot jaetaan neljään ryhmään niiden toiminnan perusteella. Näitä ryhmiä ovat päällysrakenne, alusrakenne, varusteet ja laitteet sekä siltapaikan rakenteet. Päällysrakenteisiin kuuluu pääkannatin, pintarakenteet ja rautatiesilloissa kiskot, tukikerrokset ja ratapölkkyt. Alusrakenteisiin lasketaan päätyrakenteet, välituet, perustukset ja niihin kuuluvat paalut, tukiseinät ja muurit. Varusteisiin kuuluvia rakenteita ovat muun muassa laakerit, liikuntasaumalaitteet, kaiteet, kosketussuojaseinät, valaisimet ja hoitosillat. Siltapaikan rakenteita ovat esimerkiksi luiskat ja niiden verhoilut, sadevesikourut, kaivot, pengerkaitteet ja portaat. (RIL 179-2018, 45.)

Kun mietitään edellä lueteltuja rakenteita ja ajatellaan, että lähes jokaisessa niissä on vähintään yksi tai useampi mahdollinen vaihtoehto, voidaan ymmärtää, miten vaikeaa on luoda yksi rakenne, joka vastaisi suurinta osaa tavanomaisista silloista. Jo pelkästään päätyrakenteita tutkittaessa harvemmin löytyy kahta täsmälleen identtistä rakennetta. Toisaalta jos käyttäjän tulisi itse tehdä valinnat jokaisen rakenneosan kohdalla, ei ohjelma olisi enää helppokäyttöinen ja se vastaisi enemmänkin rakennusosalaskentaa. Näitä sillan hankeosan vaatimia tietoja ei ole yleensä käytettävissä suunnitteluvaiheissa, johon ohjelma on tarkoitettu. Tästä syystä ohjelmaan täytyy tehdä huomattavan paljon oletuksia esimerkiksi rakennusosien mitoille, jotka perustuvat yleisiin suunnitteluohjeisiin ja asiantuntijoiden tietoihin. Samalla kun nämä oletukset kontrolloivat muuttujien määrää, ne myös aiheuttavat riskin rakennusainemäärien väärään lopputulokseen.

3.3 Mitoittavat tekijät ja ohjelman automatisointi

Ohjelman kasaaminen lähtötietojen optimoinnin jälkeen jatkuu mitoittavien tekijöiden määrittämisellä. Mitoittavat tekijät tulevat osittain suoraan lähtötiedoista ja osittain kaa-voista ja oletuksista. Tässä yhteydessä mitoittavilla tekijöillä tarkoitetaan sillan rakenteellisia mittoja tai tietoja, joiden avulla saadaan laskettua tai määritettyä sillan eri rakenneosien geometrisia mittoja tai siltaan kuuluvien osien tarvetta. Lähtötiedoista periytyviä mitoittavia tekijöitä ovat sillan pituus, pisin jännemitta, hyötyleveys ja välitukien määrä. Muita tarvittavia tietoja ovat paalun pituus, välitukien määrä poikkisuunnassa, kansirakenteen rakennepaksuus ja alikulkukorkeus. Paalujen laskentalogiikoiden esittely on jätetty tämän opinnäytetyön ulkopuolelle.

Välitukien määrä poikkisuunnassa saadaan laskettua hyötyleveyden kautta. Pilareiden keskinäinen etäisyys vaihtelee 4–6 metrin välillä. (RIL 179-2018, 50.) Asiantuntijan avustuksella päädyttiin sijoittelemaan pilarit 5 metrin keskiöetäisyydellä. Pilareiden määrä poikkisuunnassa saadaan jakamalla sillan hyötyleveys 5 metrillä. Välitukien lukumäärä ja lukumäärä poikkisuunnassa vaikuttaa suoraan välitukien betoni-, muotti- ja raudoitusmääriin.

Alikulkukorkeus määritellään sillan käyttötarkoituksen mukaan. Silloille, joiden alapuolella kulkevat ajoneuvot, käytetään alikulkukorkeutena 5,2 metriä. Pelkästään kevyen liikenteen alitettaviksi tarkoitetuilla silloilla käytetään 3,2 metriä. Siltojen, joiden alta kulkee rautatie, alikulkukorkeutena käytetään 7,2 metriä. Vesistön ylittävillä silloille ei pysty määrittämään yhtä tiettyä alikulkukorkeutta. (H. Koskinen, henkilökohtainen tiedonanto,

6.1.2022) Vesistösiltojen suositellut alikulkukorkeudet vaihtelevat 3,5 metristä 24,5 metriin. Suurin määrittävä tekijä alikulkukorkeudelle on alittavan väylän käyttötarkoitus ja sijaitseeko silta sisävesillä vai rannikolla. (RIL 179-2018, 43.) Tapauskohtaisten suurien vaihteluiden vuoksi vesistösiltojen alikulkukorkeus jää käyttäjän itse tarkennettavaksi.

Silloissa yksi hyvän muodon tunnusmerkeistä on hoikkuus. Hoikkuusluku kertoo sillan hoikkuudesta sivuprojektiossa. Sillan hoikkuus ilmaistaan yleensä tehollisena hoikkuusluvuna, joka on jännevälin ja kansirakenteen paksuuden suhde. Tehollisen hoikkuusluvun kaava on L/H . (Sillat ja ympäristö 2013) Hoikkuusluvun kautta pystytään laskemaan sillan rakennepaksuus jakamalla pisin jänneväli hoikkuusluvulla.

Vuosina 2003–2016 valmistuneiden tiesiltojen tilastotietojen mukaan laattasiltojen tilastollinen hoikkuus vaihtelee välillä 17–22. Palkkisilloilla palkin tilastollinen hoikkuus vaihtelee 18–25 välillä. (RIL 179-2018, 147–148.) Palkkisilloissa tasakorkean jatkuvan palkin hoikkuus on yleensä välillä 20–22. Viistetyillä rakenteilla hoikkuus tuella on usein 25 ja kentässä 35. (RIL 179-2018, 207.) Rautatiesilloissa hoikkuus on pienempi kuin tiesilloissa. Rautatiesilloilla hoikkuusluku on tavallisesti 10–15 ja jatkuvilla rakenteilla se voi olla jopa 18. (Sillat ja ympäristö 2013)

Tiesiltäkäytössä olevan teräsbetonisen laattasillan hoikkuusluvuna ohjelmassa käytetään 18. (RIL 179-2018, 199.) Ohjelmaan oletetaan rakenne palkkisilloilla tasakorkeaksi turvallisella puolella olevana yksinkertaistuksena. Hoikkuusluvuna palkkisilloilla, jotka eivät ole rautatiekäytössä, käytetään 20. Rautatiesilloille hoikkuutena käytetään ohjelmassa 15. Kevyen liikenteen silloille käytetään hoikkuutta 20. (H. Koskinen, henkilökohtainen tiedonanto, 6.1.2022)

4 LASKENTAPERIAATTEET

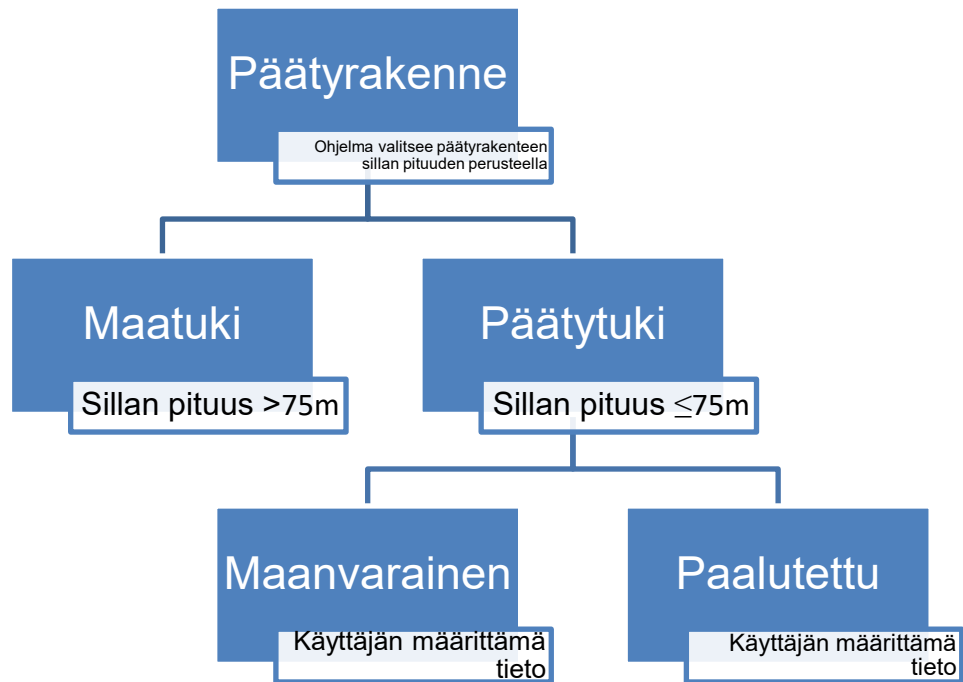
4.1 Alusrakenne

Sillan pää rakenneosia ovat kansirakenne, päätytuet ja välituet. Näiden lisäksi sillan osiin kuuluu pintarakenteet sekä varusteet ja laitteet. (RIL 179-2018, 45.) Kansirakenteet vaihtelevat siltyyppikohtaisesti, mutta alusrakenne voidaan mallintaa silloille yhtenäisesti, pois lukien laattakehäsilta.

Sillan päätyrakenne jakautuu maatukiin ja päätytukiin. Maatukea käytetään yleensä, jos sillan pituus tai vinous estää sillan rakentamisen liikuntasaumattomana tai sillan päällysrakenteen tukeutuminen alusrakenteeseen edellyttää laakeroitua tuentaa ja liikuntasaumalaitetta maatuen ja päällysrakenteen väliin. Maatukea hyödynnetään yleensä myös silloin, jos tilanpuute aiheuttaa rajoitteita tulopenkereen luiskalle. (Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu 2021)

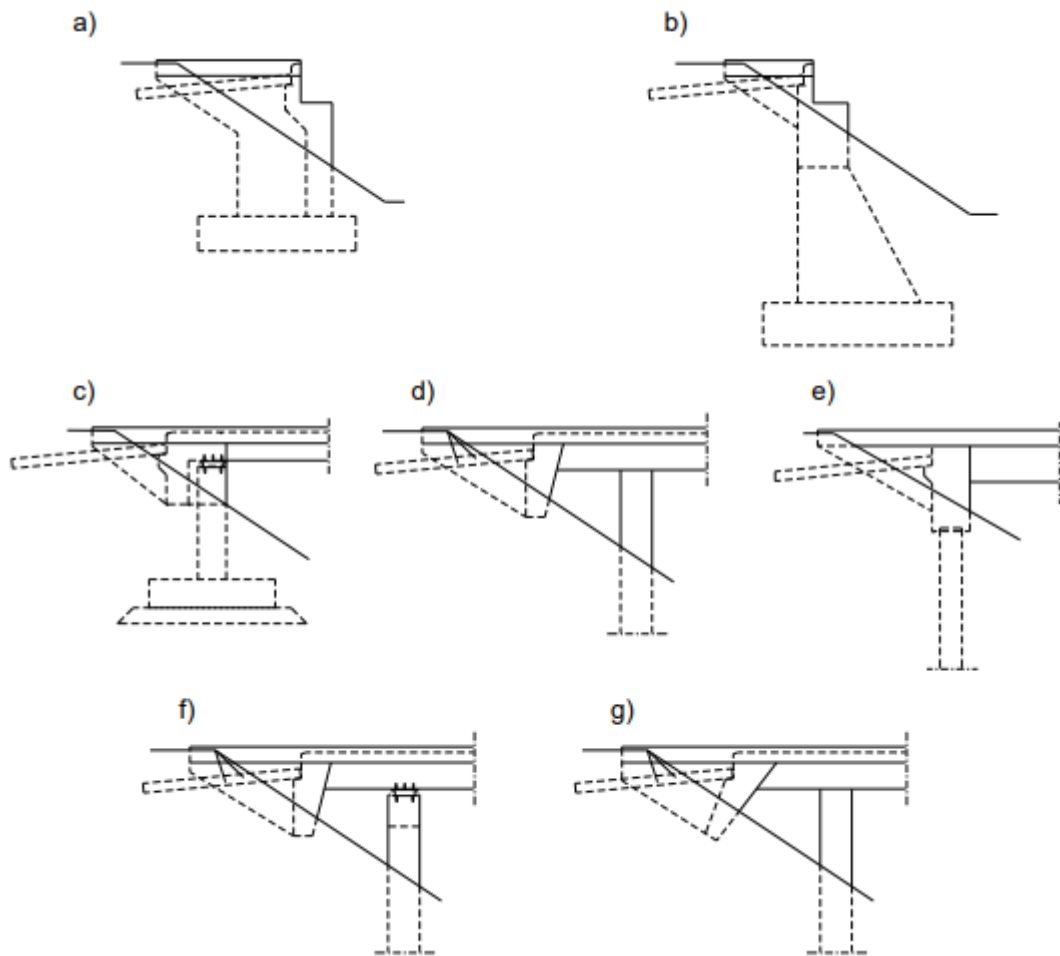
Silta pystytään toteuttamaan liikuntasaumattomana 90 metriin saakka, mutta tällöin sillan tulee olla lähes suora. Tällä pituudella sillan päätytuen vinous saa olla maksimissaan 5 astetta. 75 metriä pitkällä liikuntasaumattomalla sillalla saa olla vinoutta 20 astetta ja 60 metristä alaspäin olevilla sillan pituuksilla vinoutta saa olla 30 astetta. (Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu 2021, taulukko 6) Ohjelmaan liikuntasauaman ja samalla maatuen rajaksi asetetaan sillan pituudelle 75 metriä. Tällöin sillalla on vielä mahdollisuus vinouteen, jota ohjelma ei osaa huomioida.

Kuviossa 1 esitellään päätyrakenteiden valikoitumislogiikka ohjelmassa.



Kuvio 1. Päätyrakenne vaihtoehdot ohjelmassa

Kuvassa 1 esitellään erilaisia päätyrakenne vaihtoehtoja. Kuvan tuki a) on massiivinen maatuki ja b) jalallinen maatuki. Massiivinen maatuki on tyypillisin tapaus. Tapaukset d) ja g) ovat ulokkeellisia päätytukia ilman laakereita. Tuentavaihtoehto f) on ulokkeellinen päätytuki laakeroituna ja e) ulokkeeton päätytuki. Päätytuot perustetaan yleensä paalujen varaan, mutta tapaus c) on esimerkki maanvaraisesta päätytuesta. (Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu 2021) Ohjelmassa käytetään liikuntasaumallisilla silloilla massiivista maatukea eli tukimallia a). Liikuntasaumattomilla silloilla ohjelmassa on vaihtoehtona tukimallit c) ja e), riippuen perustustavasta. Lisäksi vaihtoehtona on ulokkeellinen tuentatapa ulokelaattasilloilla, joissa on päätytuki kahden ja puolen metrin ulokkeiden päässä pilareista. Myös määräluettelon kannalta päätyrakenteissa on eroa. Päätytuot lasketaan osaksi päällysrakennetta ja maatuet tukirakenteisiin ja peruslaattoihin. Maanvaraisen päätytuen osalta päätypalkki ja siipimuurit lasketaan osaksi päällysrakennetta ja loppu tukirakenteisiin ja peruslaattoihin. Ulokelaattasiltojen osalta määrien jakautuminen määräluetteloon toimii samalla tavalla.



Kuva 1. Siltojen päätytukia (Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu 2021)

Alusrakenteiden osalta mitat pitkälti vakioidaan ohjelman yksinkertaisen käytön mahdollistamiseksi. Päätypalkki oletetaan ohjelmaan tasapaksuna ja sen paksuudeksi oletetaan tasapaksun palkin minimipaksuus eli 0,6 m. (Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu 2021) Päätypalkin korkeus sidotaan päällysrakenteen rakennepaksuuteen kaavalla 1. Päätypalkin leveys periytyy lähtötietona syötettävästä hyötyleveydestä. Siipimuurin korkeus on sama kuin päätypalkin korkeus. Siipimuurille annetaan pituudeksi vakioarvo 4 metriä. (H. Koskinen, henkilökohtainen tiedonanto, 6.1.2022) Siipimuurin paksuus lasketaan kaavalla 2. (I. Vilonen, henkilökohtainen tiedonanto, 11.1.2022)

$$\text{Päätyp. korkeus} = \text{rak. korkeus} + 1,5\text{m}$$

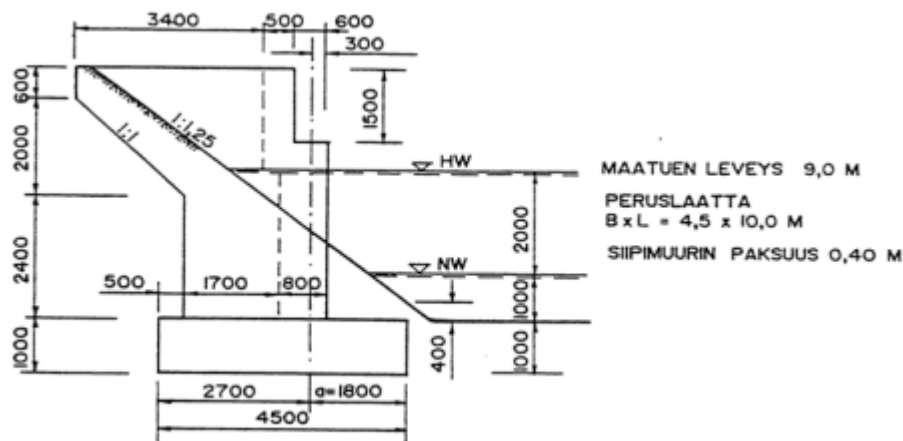
Kaava 1

$$\text{Siipim. paksuus} = \max(0,9 * (\text{siipim. pituus})/10; 0,4\text{m}) \quad \text{Kaava 2}$$

Maatuen mitat perustuvat pitkälti kuvan 2 maatuen mittoihin. Peruslaatan leveys ohjelmassa on kuvasta poiketen 5 metriä, johon päädyttiin asiantuntijan avustuksella. Maatuen leveys on päätypalkin tavoin sillan hyötyleveys ja peruslaatta tulee molemmin puolin puoli metriä maatuen yli ja laskenta esitetään kaavassa 3.

$$\text{Perusl. leveys} = \text{hyötyleveys} + 1\text{ m}$$

Kaava 3



Kuva 2. Maatuen mitat (Sillan geotekninen suunnittelu 2007)

Maanvaraisen päätytuen mitat vastaavat päätypalkin ja siipimuurien osalta paalutetun päätytuen mittoja. Peruslaatan ja seinän osalta arvot on saatu asiantuntijalta. Peruslaatan leveyden ja korkeuden laskenta on esitetty kaavoissa 4 ja 5. Peruslaatan pituutta lasketaan kaavalla 3. Seinän paksuus on vakioitu metriin ja pituus on sillan hyötyleveys. Seinän korkeus lasketaan kaavalla 6. Maanvaraisen päätytuen osat ovat yleensä massiivisia, mutta muotoilemalla päätytuki joustavaksi voidaan välttää laakereiden tarve. Tarvittaessa voidaan lopullisessa suunnitelmassa käyttää kumilevylaakereita. Kustannusero ei ole merkittävä. (I. Vilonen, henkilökohtainen tiedonanto, 11.1.2022)

$$\text{Perusl. pituus. leveys} = (\text{alík. korkeus}) * 0,7 \quad \text{Kaava 4}$$

$$\text{Perusl. korkeus} = (\text{perusl. leveys})/4 \quad \text{Kaava 5}$$

$$\text{Seinän. korkeus} = (\text{alík. korkeus} + 1,5\text{m}) - \text{perusl. korkeus} \quad \text{Kaava 6}$$

Välituen muodoksi ohjelmaan oletetaan pyöreä pilari. Pilareiden korkeus tulee sillan alikulkukorkeuden kautta ja sen kaava esitetään kaavassa 8. Pilarin halkaisijan laskenta esitetään kaavassa 7. Pitkillä jännemitoilla pilarin halkaisija muodostuu suurehkoksi, mutta se antaa hieman muotoiluvaraa pilarille seuraavaan suunnitteluvaiheeseen. (I. Vilonen, henkilökohtainen tiedonanto, 11.1.2022) Välituet perustetaan anturan päälle, jonka koko on vakioitu. Anturan leveys kumpaankin suuntaan on kolme metriä ja paksuus metrin verran. (H. Koskinen, henkilökohtainen tiedonanto, 6.1.2022)

$$\text{Pilarin halkaisija} = 0,9 * ((\text{max. jm})/\text{hoikkuus}) \quad \text{Kaava 7}$$

$$\text{Pilarin korkeus} = (\text{alikulukukorkeus} + 1,5\text{m}) - \text{perusl.paksuus} \quad \text{Kaava 8}$$

4.2 Päälysrakenne

Sillan päälysrakenteeseen kuuluu reunapalkki ja kansirakenne. Reunapalkki oletetaan ohjelmassa kaikilla silloilla saman muotoiseksi ja kokoiseksi. Reunapalkin mitat määräytyvät ajoneuvoliikenteisen sillan reunapalkin mukaan. Reunapalkin korkeutena käytetään 450 millimetriä ja leveytenä 400 millimetriä. (NCCI 2 2017)

Laattasillan kansirakenne on tasomainen laatta, jonka paksuus määritellään kaavalla 9. Hoikkuusluku riippuu sillan käyttötarkoituksesta ja käytössä olevat hoikkuusluvut on esitetty kappaleessa 3.3. Kansilaatan leveytenä käytetään hyötyleveyttä. Palkkisillan palkin korkeus määritetään kaavalla 9. Laattaosuuden korkeus palkkien välissä ja reunoilla on vakioitu paksuuteen 350 millimetriä. RIL Sillat -kirjassa laattaosuuden paksuudeksi on annettu haarukka 320 – 450 mm. Asiantuntijan avustuksella käytettäväksi arvoksi valikoitui 350 mm. Palkkien määrä määräytyy välitukien poikkisuuntaisen määrän mukaan. Palkin leveyden määräytyminen on esitetty kaavassa 10 ja kaava on peräisin asiantuntijalta. (I. Vilonen, henkilökohtainen tiedonanto, 11.1.2022)

$$\text{Kansil.paksuus} = (\text{max. jm})/\text{hoikkuusluku} \quad \text{Kaava 9}$$

$$\text{Kansil.palkin leveys} = \min(\text{kansil.palkin korkeus}; \text{pilarin leveys} + 1\text{m}) \quad \text{Kaava 10}$$

Laattakehäsilta eroaa muista siltatyypeistä huomattavasti. Kansilaatta ja kehäjalat muodostavat yhtenäisen kehän. Muita laattakehäsiltaan kuuluvia osia ovat reunapalkki, peruslaatta ja siipimuurit. Peruslaatat kuuluvat alusrakenteisiin, mutta sillan muut osat kuuluvat määräluettelossa päälysrakenteeseen. Laattakehäsiltille on ohjelmassa kolme

käyttövaihtoehtoa, alikulkukäytävä, risteyssilta ja ylikulkukäytävä. Rakennepaksuudet valitaan yli neljän metrin vapaa-aukkoisen sillan mukaan. Optimikäyttöalue tälle siltatyypille on vapaa-aukoltaan 5 – 6 metrinen silta. Pienemmällä vapaa-aukolla rakennepaksuudet ovat hieman pienempiä kuin ohjelmaan vakioidut arvot. Risteyssillan kohdalla jalan suorana korkeutena käytetään kuutta metriä ja alikulkukäytävällä neljää metriä.

Kehäjalan kaltevuus on 2,5:1 ja sen paksuutena käytetään uritetun jalan paksuutta eli 445 millimetriä. Kannen paksuus on 420 millimetriä. Reunapalkin mitat ja muotoilu ovat samat kuin muillakin siltatyypeillä. Peruslaatan paksuus on vakioarvo 0,6 m ja leveys riippuu sillan korkeudesta. Alikulkukäytävälle leveydeksi valikoitui asiantuntija avustuksella 2,5 m ja risteyssillalle 3 m. Siipimuurin yläpinta on reunapalkin yläpinnan tasossa ja sen paksuun on sama kuin kehäjälalla. Siipimuurin yläpinnan kaltevuus on 1:1,5 ja siipimuurin päädyn korkeus saa vaihdella välillä 0,5 – 2,0m. Siipimuurin päätyulokkeen pituus saa olla enintään 2,5 metriä. (Teräsbetoninen laattakehäsilta 2017) Näillä tiedoilla siipimuurin pituus saadaan laskettua kaavalla 11 ja peruslaatan pituus kaavalla 12.

$$\text{Siipim. pituus} = (\text{siipim. korkeus} - 1\text{m}) * 1,5 \quad \text{Kaava 11}$$

$$\text{Perusl. pituus} = \text{kehäjalan. pituus} + (\text{siipim. pituus} - 2,5\text{m}) * 2 \quad \text{Kaava 12}$$

4.3 Varusteet ja laitteet

Ohjelmaan sillan varusteisiin ja laitteisiin tehdään tiettyjä yleisiä oletuksia. Pitkillä silloilla määräluetteloon tulee liikuntasaumalaite sekä kumilevyllaakerit. Rautatiesilloilla tulee maadoitus. Kaikilla siltatyypeillä pituudesta riippumatta määräluetteloon sisältyy siirtymäläaumat, teräskaide, kontaktitapit, tarkkailutapit, panostilat ja sähköistyksen putkitukset. Sillan kuivatukseen liittyviä varusteita ovat tippuputket, kannen pintavesiputket, pitkät pintavesiputket, kannen salaoja ja pintavesien viemäröinti kaivolla ja putkella. Näiden lisäksi määräluettelossa on sillan päällysrakenteen telineet. Siirtymäläaattojen mitat ovat tiesilloilla tyyppipiirustuksen R15/DL TIE-2 mukaiset ja rautatiesilloilla tyyppipiirustuksen R15/DL RATA-1 mukaiset. Taulukossa 2 esitetään määräluetteloon tulevien varusteiden ja laitteiden kaavat. Kaavoissa voi olla pieniä eroja siltatyyppien välillä ja taulukon kaavat ovat laattasillan kaavoja. Laattakehäsilan varusteet tulevat BIKII -suunnitteluohjeen mukaisesti.

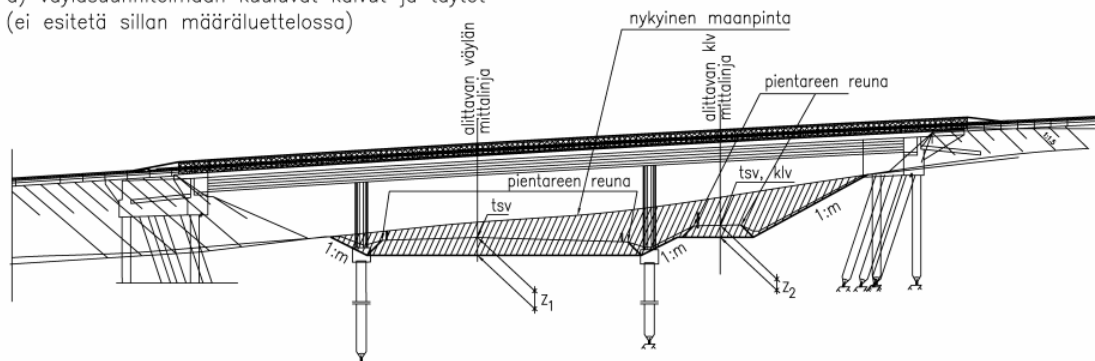
Taulukko 2. Varusteet ja laitteet määräluettelossa

Osa	Kaava	Lähde
Teräskaide	$(\text{jännemitto- jen_summa}+8\text{m})^*2$	Siltojen kaiteet 2012
Tippuputket	Kaksipuolinen kaato: $(\text{jännemitto- jen_summa}/3)^*2+(\text{hyötyleveys}/3)^*2$	SILKO 2.611 Tippuputkien teko päällysrakenteeseen 2010
Kannen pintavesiputket	$\text{välitukien_lkm}^*2+2^*2$	RIL 179-2018, 283.
Pitkät pintavesiputket	$\text{välitukien_lkm}^*2+2^*2$	RIL 179-2018, 283.
Kannen salaoja	$\text{jännemittojensumma}^*2$	RIL 179-2018, 283.
Pintavesien viemärointi kaivolla ja putkella	4 kpl	SILKO 2.651 Siltapaikan kuivatuslaitteiden teko
Kontaktitapit	$2^*2+2^*\text{välitukien_lkm}^*\text{tuet_väli- tuella}+\text{sillan_pituus}/30$	NCCI 2 2017
Tarkkailutapit	$4^*2+2^*\text{välit_lkm}+2^*(\text{välitukien_lkm}+1)$	InfraRYL 42001.5.3
Sähköistytksen putkitukset	5^*sillan_pituus (arvio, putkien määrän mahdollisuus on laaja)	(H. Koskinen, henkilökoh- tainen tiedonanto, 6.1.2022)

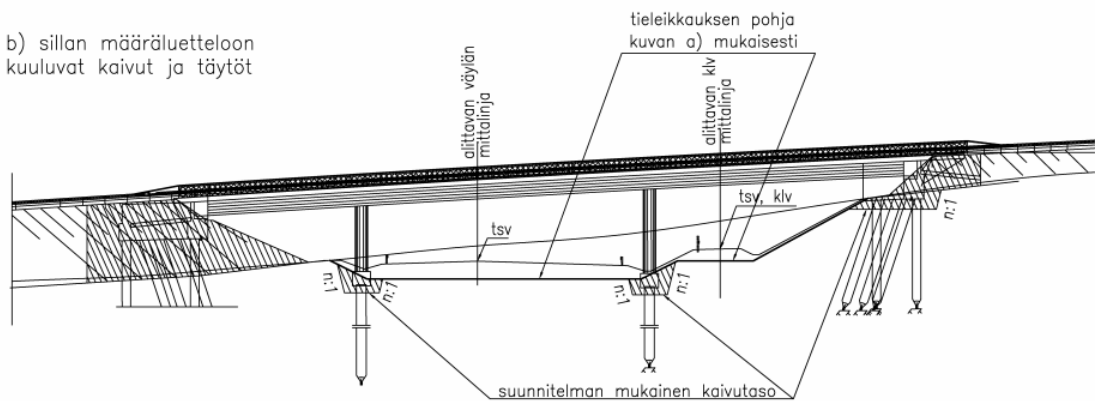
4.4 Kaivannot ja ympärystätöt

Sillan kaivantojen määrittäksessä tulee ajatella alittavan väylän leikkaukset tehtäväksi ensin riippumatta todellisesta rakennusjärjestyksestä. Sillan määräluetteloon kuuluvat ainoastaan kaivut, jotka tulevat väylän kaivujen lisäksi. Väylän kaivujen kaltevuutena käytetään 1:2 ja siltojen kaivannoissa 1:1, jos tarkempaa tietoa ei ole. Kuvassa 3 on havainnekuva kaivantojen määräytymisestä väylän ja sillan osalta. (Sillan määräluettelo 2008)

a) väyläsuunnitelmaan kuuluvat kaivut ja täytöt
(ei esitetä sillan määräluettelossa)



b) sillan määräluetteloon
kuuluvat kaivut ja täytöt



Kuva 3. Kaivantojen määräytyminen väylän ja sillan määräluetteloon (Sillan määräluetelo 2008)

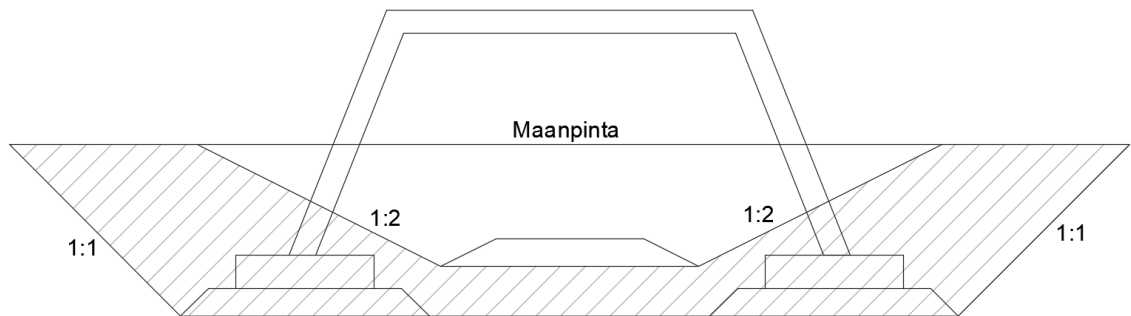
Kaivantojen ja täyttöjen ohjelmaan määrittämisen vaikeus on siinä, ettei ole tiedossa millä tasolla maanpinta on nykyisellään ja miten silta sijoittuu maanpintaan nähden. Tästä syystä valitaan niin sanottu kultainen keskitie ja ajatellaan nykyinen maanpinta päätyrakenteen puoleen väliin. Välitukien kaivannot rajataan peruslaatan yläpintaan. Ympäristäytöt tehdään rakenteen yläpintaan saakka, mutta luiskauksen vaikutuksen huomioiminen mahdollistaa sen, että voidaan ympäristäytön funktio rakentaa kaavan 15 mukaisesti. Perustusten alustäytöt ajatellaan 0,5 m paksuiksi ja ne tulevat rakenteesta yli 0,5 m joka suuntaan. Nekin luiskataan 1:1.

$$\text{Ympäristäyttö} = \frac{\text{kaivu} - \text{perulaatan.tilavuus} - \text{perustusten.alustäytön.tilavuus} - \text{päätyrakenteen.tilavuus}}{2}$$

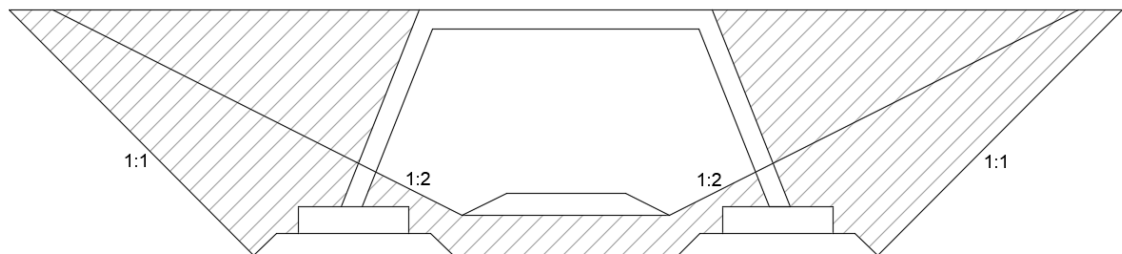
Kaava 13

Laattakehäsillan osalta kaivannot ja ympäristäytöt ajatellaan hieman eri tavalla. Kuvassa 4 ja 5 esitetään periaatteet, joiden perusteella kaivut ja ympäristäytöt lasketaan ohjelman määräluetteloon. Kaivettava osa ja ympäristäyttö on merkitty vinoviivoilla.

Nykyisen maanpinnan taso ajatellaan rakenteen puoliväliin edellä mainitun tavoin ja täyttö tehdään rakenteen yläpintaan.



Kuva 4. Laattakehäsilän kaivu



Kuva 5. Laattakehäsilän ympärystäyttö

5 SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN

5.1 Ohjelman testaaminen toteutuneilla kohteilla

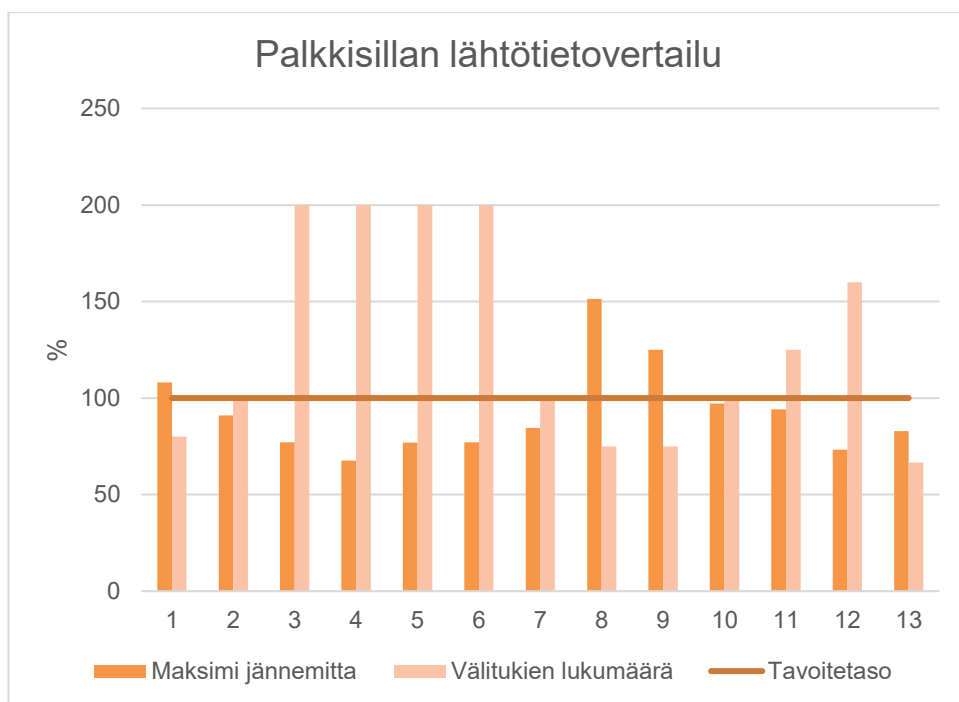
Ohjelman testaus suoritetaan useammalla tavalla. Ensin testataan ohjelman lähtötietoja ehdottavan laskentalogiikan toimivuutta. Tämä saadaan testattua syöttämällä erilaisten toteutuneiden siltojen pituus ohjelmaan ja vertaamalla ohjelman ehdottamaa välitukien määrää, maksimi jännemittaa ja siltatyyppejä todellisiin tietoihin. Tämän jälkeen tutkitaan määrälaskentakaavojen toimivuutta syöttämällä toteutuneiden kohteiden kaikki lähtötiedot ohjelmaan ja vertailemalla ohjelman luomaa määräluetteloa sillan määräluetteloon. Vielä viimeisenä tutkitaan mikä vaikutus sillä on määräluettelon määriin, että käyttäjä ei itse syötä välitukien määrää eikä maksimi jännemittaa, vaan ohjelma laskee ne. Näitä määriä verrataan sillan todellisiin määriin. Liitteissä 2 – 6 esitetään ohjelman luomat siltatyypikohtaiset määräluettelot esimerkkisillan määrillä.

Vertailua suoritetaan kaikkien rakennusosien kohdalla, mutta tässä työssä käydään ai-noastaan sillan betonirakenteiden vertailutulokset läpi tarkemmin, sillä ne ovat merkittävin kustannustekijä. Liitteessä 1 esitetään palkkisiltojen osalta muidenkin rakenneosien vertailutulokset. Iteraatiokierroksia on suoritettu jo aiemmin, mutta nyt esitetään tulokset viimeisimmän testauksen jälkeen. Iteraatiokierrosten aikana on jo aiemmin korjattu kaavoista löytyneitä virheitä sekä etsitty sopivaa raudoitekilomäärää palkkisillalle. Lisäksi varusteissa ja pintarakenteissa, joissa määrät ovat olleet systemaattisesti ylä- tai alapuolella, on kaavoihin tehty parannuksia. Kappaleessa 4 esitetyt kaavat ovat ajantasaiset.

5.1.1 Välitukien määrän ja maksimijännemitan laskentalogiikka

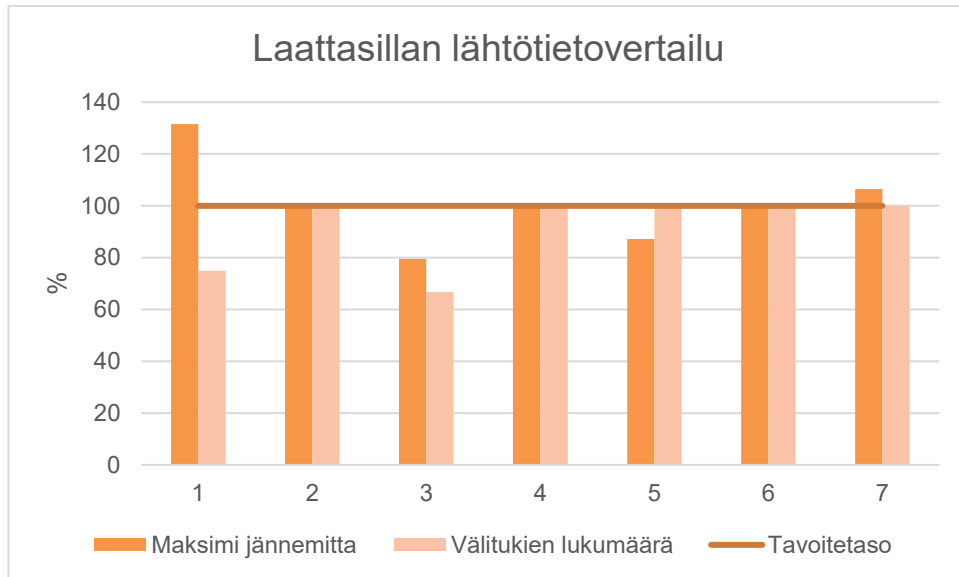
Sillan lähtötietoehdotuksien laskentalogiikan testausta suoritettiin erilaisilla laatta- ja palkkisilloilla. Kuvioissa 2 ja 3 on esitetty prosentteina, kuinka paljon ohjelman ehdottamat arvot eroavat todellisesta tilanteesta. Tavoitetaso on sata prosenttia eli tällöin ohjelma ehdottaa täysin samoja arvoja, mitkä sillassa todellisuudessa on. Kuvioista on selvästi huomattavissa, miten välitukien lukumäärä ja maksimi jännemitta keskustelevat keskenään. Kuviossa 2 eniten huomiota herättää välitukien lukumäärän suuret poikkeamat tavoitetasosta, mutta näissä kohteissa on ollut vain yksi välituki ja ohjelma on

ehdottanut kahta välitukea. Tästä syystä ohjelman ehdottamat välitukien määrät ovat heti kaksi kertaa suuremmat. Kuvioista on selkeä kaava huomattavissa. Ohjelman arvioidessa välitukien lukumäärän liian suureksi, jää ohjelman ehdottama maksimi jännemitta liian lyhyeksi. Tämä onkin varsin loogista, kun miettii sillan rakenteen toimintaa. Palkkisiltojen osalta jännitetyt ulokepalkkisillat ja jatkuvat ulokepalkkisillat sotkevat ohjelman laskentalogiikkaa, sillä tällaista siltatyyppiä ei ole ohjelmaan rakennettu sisään. Tästä esimerkkinä silta numero kolmetoista kuviossa 2. Siinä huomataan, että ohjelma jakaa tuet tasaisemmin sillasta poiketen. Tämän seurauksena sekä maksimi jännemitta että välitukien lukumäärä jäävät alle tavoitetason.



Kuvio 2. Palkkisillan lähtötietoverailun tulokset

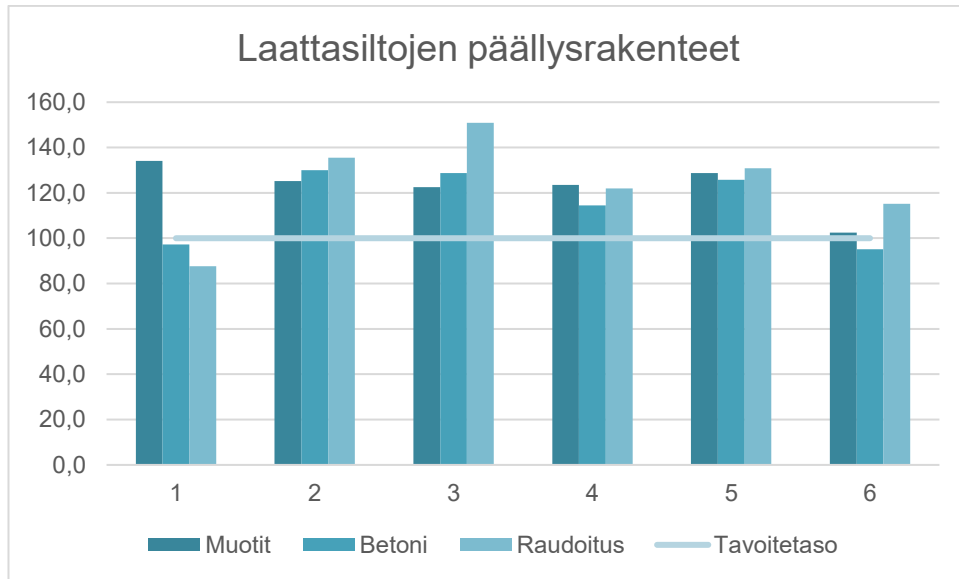
Laattasillan osalta tulokset ovat tasaisempia. Osittain johtuen siitä, että suuri osa testisilloista oli ulokelaattasiltoja ja tämä siltatyyppi on rakennettu ohjelmaan kyseisen siltatyyppin suunnitteluohjeen mukaisilla mitoilla. Muille tarkastelussa oleville siltatyypeille näin tarkkaa ohjetta ei ole. Ulokelaattasiltoja voivat olla myös jatkuvia kuten kuviossa 3 silta numero 3. Tässä voidaan huomata sama ilmiö, mikä näkyi palkkisilloissa, kun ohjelmassa ei ole juuri kyseistä siltatyyppiä.



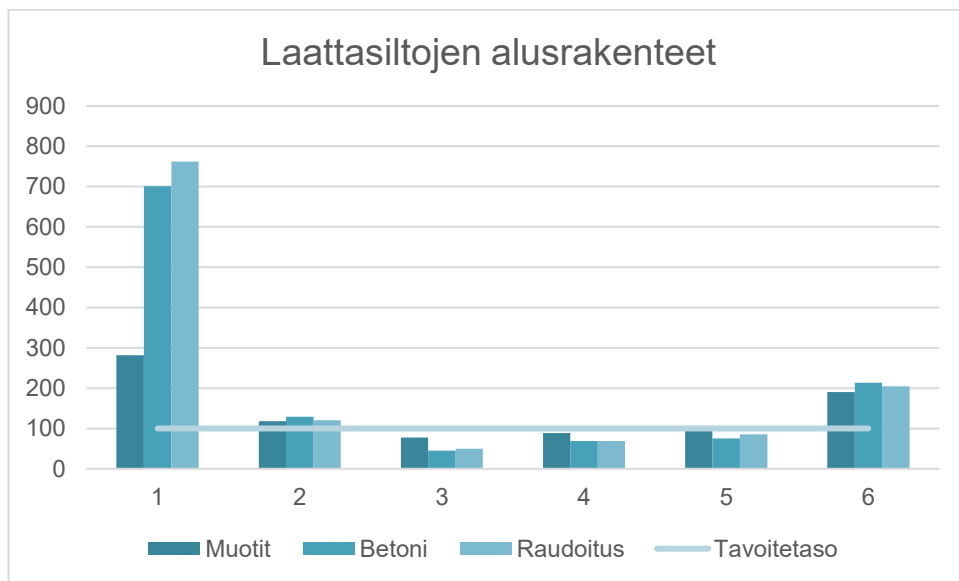
Kuvio 3. Laattasillan lähtötietoverailun tulokset

5.1.2 Määrälaskentakaavojen laskentalogiikka

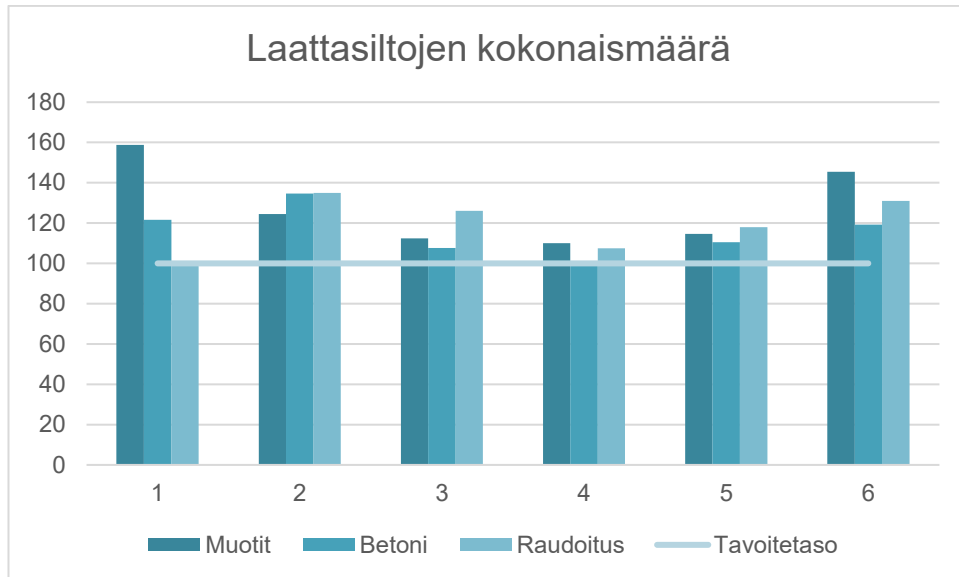
Määrälaskentakaavojen vertailu suoritetaan siltatyypeittäin. Vertailutulokset esitetään prosentteina ja tavoitetaso on sata prosenttia eli silloin ohjelman antamat määrät täsmäivät toteutuneisiin määrätietoihin. Laattasilltojen osalta silta numero yksi on pitkä paa-lutettu laattasilta, sillat 2 – 5 ovat ulokelaattasilloja ja silta numero kuusi on jatkuva ulokelaattasilta. Kuviossa 4 esitetään laattasillan päällysrakenteen vertailutulokset ja kuviossa 5 alusrakenteen vertailutulokset. Kuviossa 6 on päällysrakenteen ja alusrakenteen yhteismäärän vertailutulokset. Päällysrakenteen osalta on huomattavissa, että kaikki arvot ovat tavoitetason yläpuolella kahta siltaa lukuun ottamatta. Sillassa numero yksi pääty-palkki ja siipimuurit on poikkeuksellisesti laskettu alusrakenteeseen mukaan eli todelli-suudessa päällysrakenteen määrä jää enemmänkin alle. Silta on tavanomaista hoikempi eikä siis ihanteellinen vertailukohde. Laattasillassa ei ole ohjelmaan mallinnettu viisteitä, jotka kuitenkin jossain muodossa sillassa yleensä ovat. Tämä varmasti vaikuttaa päällysrakenteen lievästi reiluihin määriin. Alusrakenteen osalta ulokelaattasilloista kolme neljästä vertailukohteesta jäi tavoitetason alle. Ensimmäisen sillan osalta määrät ylittyvät reilusti ja tämä selittyy sillä, että ohjelma olettaa siltaan maatuena sillassa ollessa pääty-tukirakenne. Myös kuudennen sillan osalta päätyrakenne on väärä, koska ohjelmasta uupuu jatkuvan ulokelaattasillan siltatyyppi, on päätyrakenne ohjelmassa seinämäinen pilareiden sijaan. Yhteismääriltään laattasillan osalta ollaan tavoitetason yläpuolella.



Kuvio 4. Laattasiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset



Kuvio 5. Laattasiltojen alusrakenteiden vertailutulokset



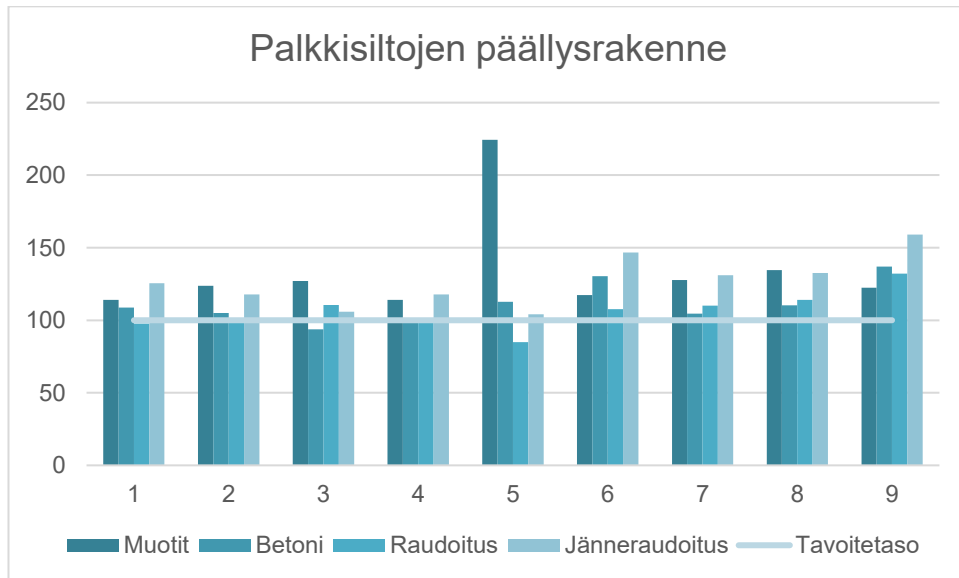
Kuvio 6. Laattasiltojen alus- ja päällysrakenteen yhteismäärien vertailutulokset

Palkkisirtojen päällysrakenteen määrävertailutulokset ovat esitetty kuvioissa 7, 8 ja 9. Sillat ovat numeroita 4 ja 9 lukuun ottamatta alle sadan metrin pituisia palkkisirtoja. Päällysrakenne on siltoja numero 3 ja 5 pois lukien tavoitetasossa tai hieman yläpuolella. Silta numero 5 on tavanomaista hoikempi silta, mikä selittää suuremman betonimäärän ja alhaisen raudoituksen. Sen lisäksi sillassa on suuret viisteet kentässä, mikä selittää muottimäärän suuren piikin. Tasakorkeilla palkeilla muottimäärä tulee suureksi verrattuna viistettyihin. Silta numero 9 kohdalla ohjelma olettaa poikkileikkaussuunnassa ylimääräisen tuen ja samalla ylimääräisen palkin päällysrakenteeseen. Näin pitkällä sillalla ylimääräisen palkin vaikutus muodostuu suuremmaksi kuin lyhyemmillä silloilla kuten ensimmäisessä sillassa, jossa on sama tilanne.

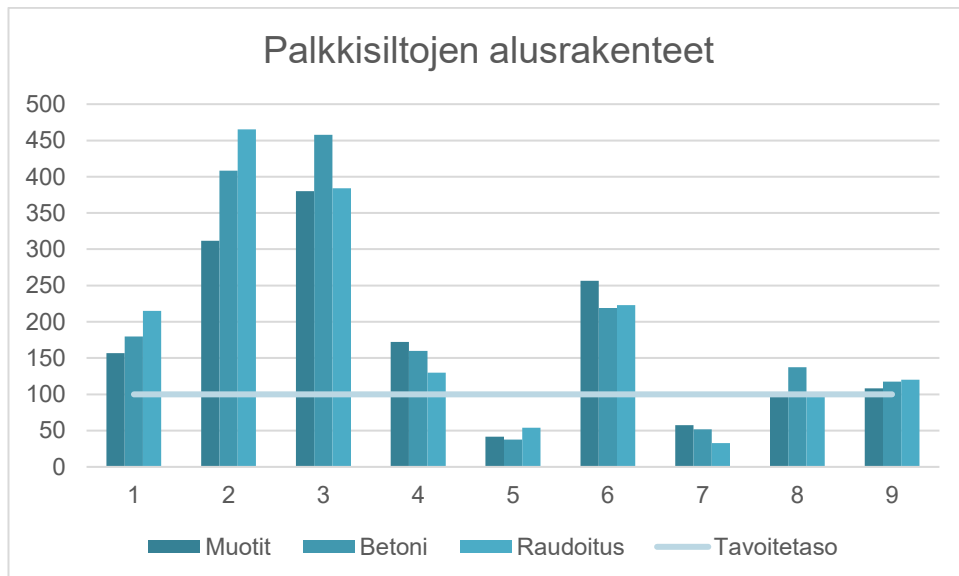
Alusrakenteen osalta tuloksissa on nähtävissä huomattavasti suurempaa vaihtelua. Myös siltojen alusrakenteita tarkastellessa on eri siltojen välillä paljon eri ratkaisuja. Siltojen numero 1, 2 ja 3 merkittävän suurille prosentteille löytyy selkeä syy. Sillat ovat laakeroituja lyhyistä pituuksistaan huolimatta ja tämän ansiosta on päätyrakenteista saatu suunniteltua pienempiä. Silta numero 4 on pitkä ja paalutettu, mutta tuilla on erinäköisiä useita ratkaisuja. Ohjelman määrät kasvavat hieman suureksi, mutta ohjelma ei pysty vastaamaan näin vaihteleviin tukirakenteisiin. Myös sillan 6 ohjelman antamille reiluille määrille on selitys. Silta numero 6 on jatkuva ulokepalkkisilta eikä ohjelmaan ole mallinnettu tällaista siltatyyppiä. Ohjelma olettaa seinämäisen päätyrakenteen, kun sillassa on lyhyet pilarit. Silta numero 7 on jatkuva ulokepalkkisilta, jonka päätyrakenne koostuu lyhyistä pilareista, pienistä anturoista ja paaluista. Välituki on normaali maanvarainen

pilari-antura-ratkaisu. Ohjelma olettaa valitun perustamistavan kaikille tuille, jolloin alusrakenteen määrät jäävät alhaisiksi.

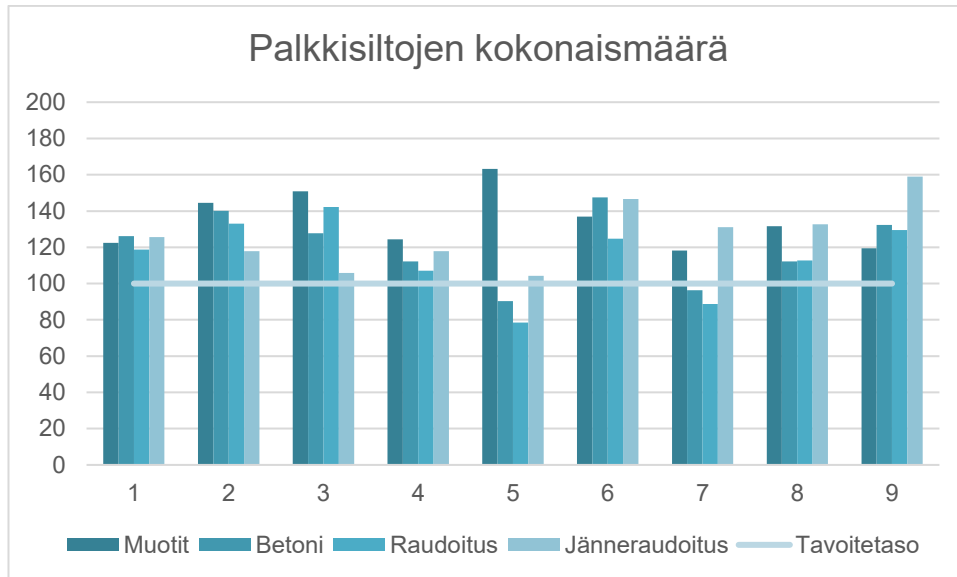
Kuviossa 9 esitetyt yhteismäärät nousevat useiden kohteiden osalta toivottua suuremmiksi. Useimpien siltojen osalta tämä johtuu alusrakenteiden suurista määristä, jotka on selitetty edellisessä kappaleessa.



Kuvio 7. Palkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset



Kuvio 8. Palkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset

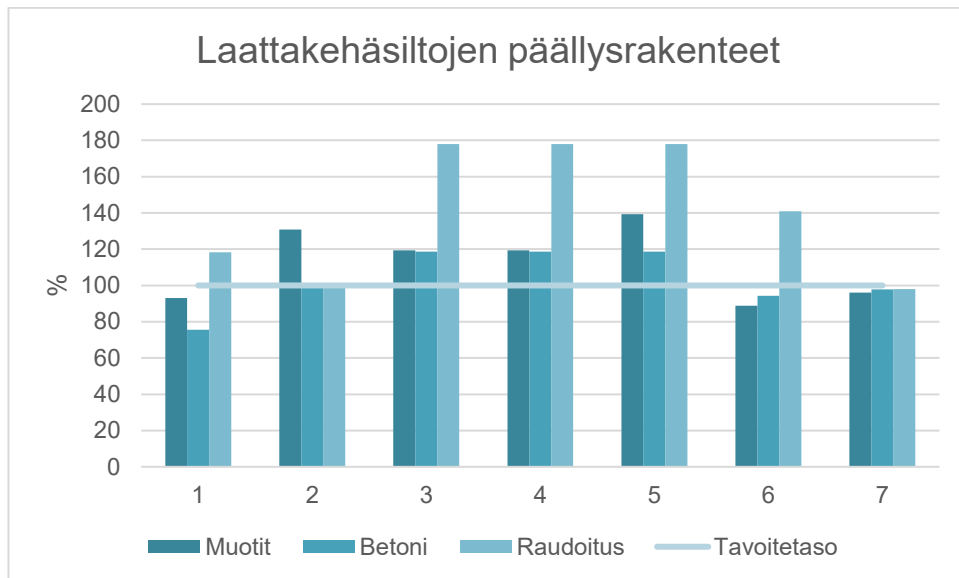


Kuvio 9. Palkkisiltojen alus- ja päällysrakenteen yhteismäärien vertailutulokset

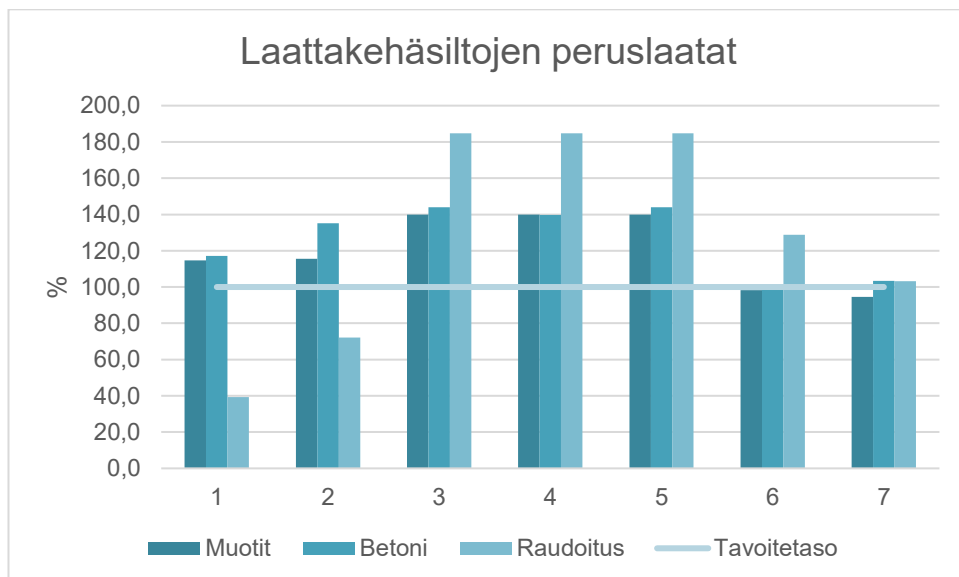
Kuvioissa 10 ja 11 on laattakehäsilan osalta vertailutulokset. Päällysrakenteen osalta vaihtelua on sekä tavoitetason ylä- että alapuolella. Silta numero 1 on alikulkukäytävä, jonka siivet ovat ylittävän tien suuntaiset. Päällysrakenteen määrät ei kuitenkaan kuuluisi olla noin paljon pienemmät, sillä sillan päällysrakenteen mitat täsmäivät ohjelman olettamiin mittoihin. Käsin laskettuna sillan päällysrakenteen määrät ovat lähellä ohjelman antamia määriä ja voidaan olettaa, että sillan määräluettelossa on virhe. Toinen silta on alikulkusilta ja sen osalta määrät täsmäivät hyvin, ainoastaan muottimäärä on korkea, mutta sille ei löydy rakenteesta selkeää selitystä. Sillat 3 – 5 ovat risteyssilloja ja niiden osalta päällysrakenteen määrät ovat reilummat. Siltojen toisen puolen siipimuurit ovat katkaistut, ja tämä selittää ylimääräiset betoni ja muottimäärät. Silta numero on 6 tavallinen alikulkukäytävä, mutta sen kehäjalat ovat puoli metriä korkeammat, mitä ohjelmaan on oletettu. Tämän vuoksi kehäjalasta ja siipimuureista betoni- ja muottimäärä jää hieman vähäiseksi. Seitsemäs silta on kannen paksuutta lukuun ottamatta täysin ohjelman laattakehäsilan mittoihin täsmäivä risteyssilta. Sillan rauditusmäärä on ollut pelkkä arvio eikä siksi ole vertailukelpoinen, mutta betoni- ja muottimäärien osalta soveltuu hyvin kaavojen tarkastamiseen. Kuten huomataan, määrät ovat hyvin lähellä, mikä puoltaa kaavojen toimivuutta.

Peruslaatan osalta betoni- ja muottimäärät ovat tavoitetasossa tai hieman yli. Siltojen 3 – 5 osalta korkeampi prosenttimäärä selittyy katkaistuilla siipimuureilla, jonka seurauksena peruslaatatkin ovat lyhyemmät. Siltojen 1 ja 2 osalta siipimuurit eivät ole allittavan

väylän suuntaiset ja tästä syystä peruslaatatkin jäävät lyhyemmiksi, mitä ohjelmaan on mallinnettu.



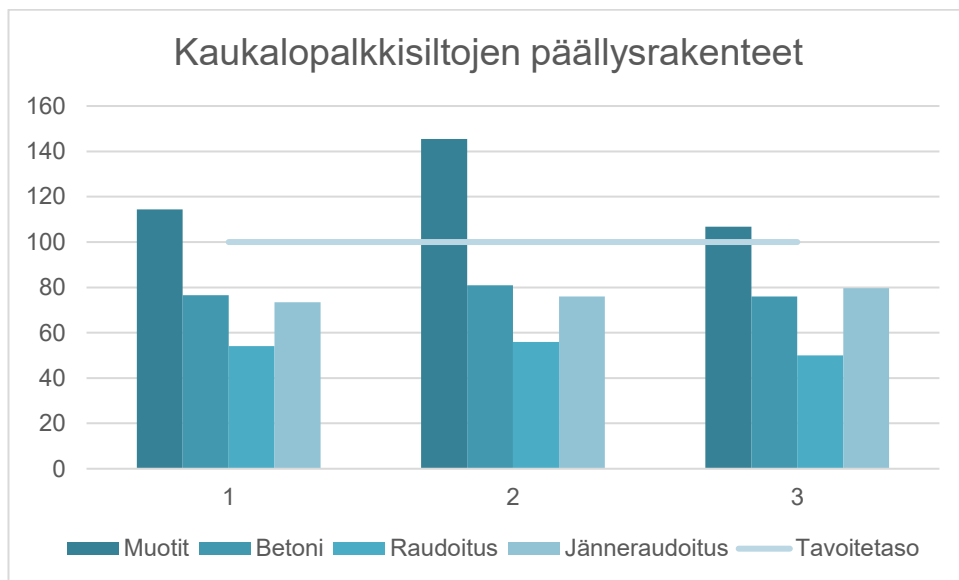
Kuvio 10. Laattakehäsiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset



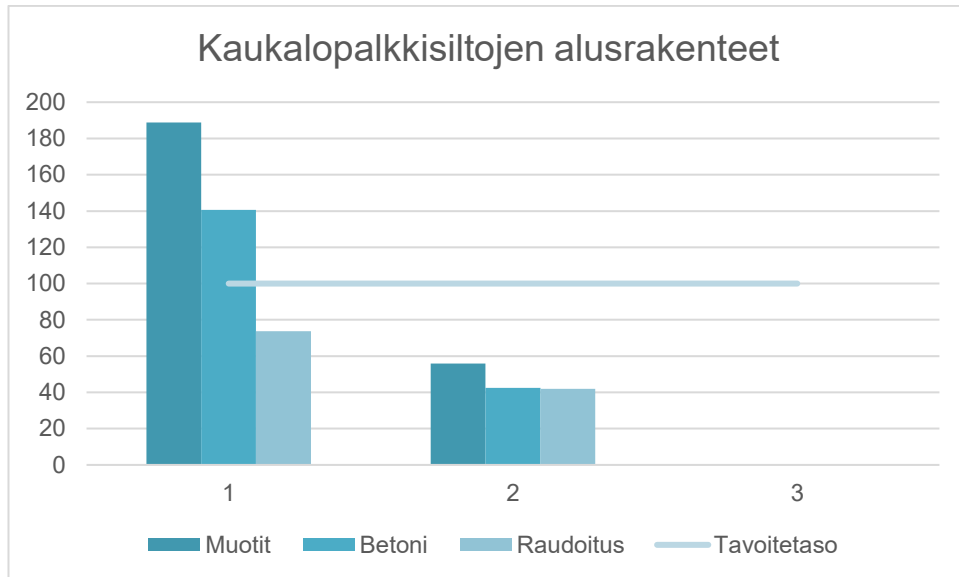
Kuvio 11. Laattakehäsiltojen peruslaattojen vertailutulokset

Kaukalopalkkisilta on rautatiesilloilla käytössä oleva siltatyyppi. Ohjelmassa ei kuitenkaan ole sille omaa laskentapohjaa. Kuvioissa 12, 13 ja 14 esitetään tulokset testauksesta, jossa sillalle käytetään palkkisillan laskentapohjaa. Selkeästi on nähtävissä, että määrät jäävät vähäisiksi niin päällysrakenteen kuin osittain alusrakenteenkin osalta.

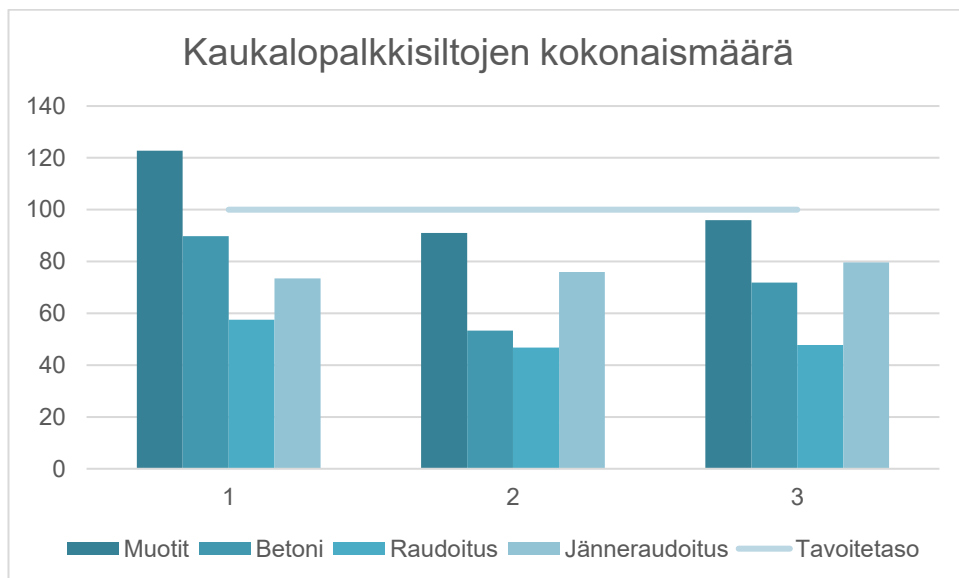
Päällysrakenteen selittävä tekijä on kannen paksuus. Palkkien kohdalta paksuus on lähellä samaa, mutta palkkien välillä kaukalopalkkisilta on palkkisilta paksumpi rakenteeltaan. Alusrakenteen osalta ensimmäisen sillan kohdalla alusrakenteen määrät ovat hie- man korkeat. Peruslaatan määrä on lähes sama, mutta päätyrakenteen osalta määrä on korkea, sillä sillassa on päädyssä lyhyet pilarit ulokkeellisina ja ohjelmassa seinämäinen rakenne. Toisessa sillassa on erittäin massiiviset päätytuet eivätkä ohjelman antamat määrät näin ollen riittä. Kolmannen sillan kohdalle sen sijaan on paalutettu ulokerakenne ja näin ollen ohjelma ei täysin ymmärrä rakennetta. Määrällisesti tästä kuitenkin aiheutuu alusrakenteen osalta vain kolmen kuution betonimäärän heitto. Ei siis kokonaismäärissä merkittävä.



Kuvio 12. Kaukalopalkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset



Kuvio 13. Kaukalopalkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset

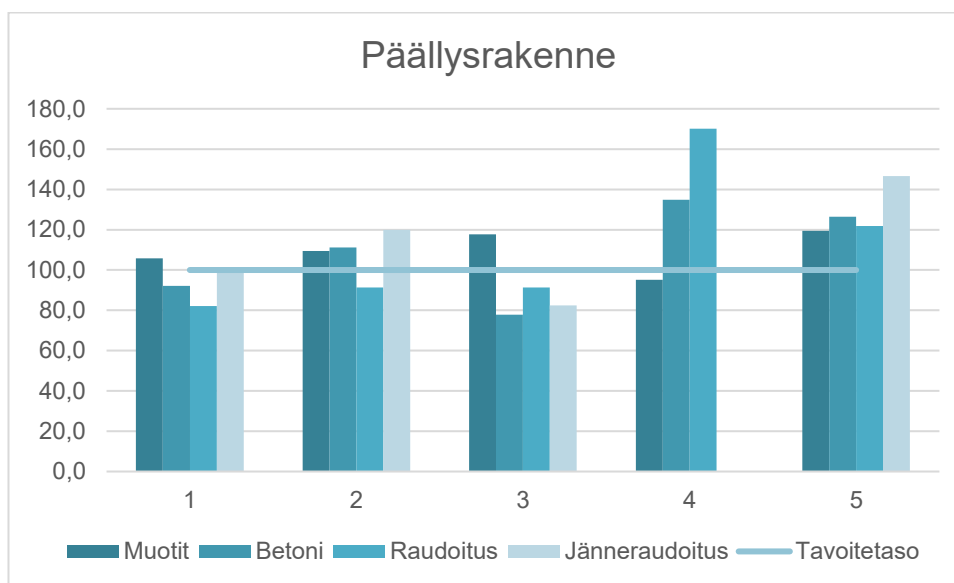


Kuvio 14. Kaukalopalkkisiltojen alus- ja päällysrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset

5.2 Ohjelman ehdottamien arvojen käyttämisen vaikutus määräluetteloon

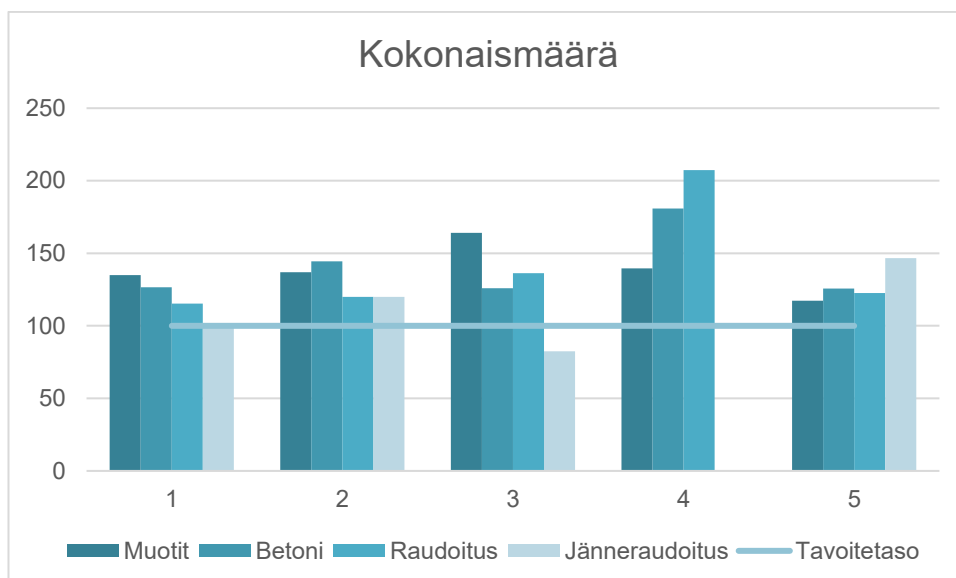
Ohjelman kokonaistoiminnan testauksessa tutkitaan miten sillan rakennusainemääriin vaikuttaa se, että antaa sovelluksen arvioida välitukien lukumäärän sekä pisimmän

jännemitan. Kuten kuviossa 15 on nähtävissä päällysrakenteen määrät jäävät suurelta osin hieman alapuolelle. Tämä korreloi kuvioissa 2 ja 3 huomatuksi ilmiön kanssa eli välitukien arvion ollessa liian suuri, jää pisin jännemitta liian lyhyeksi. Tämä vaikuttaa suoraan rakennepaksuuteen ja sitä kautta päällysrakenteen rakennusainemääriin. Sillan numero 4 kohdalla ohjelma olettaa siltatyyppiä laattasillan, vaikka silta on todellisuudessa palkkisilta. Tämä selittää päällysrakenteen vähäiseksi jäävän muottimäärän ja korkeat betoni- ja raudoitusmäärät. Ohjelman laskennasta puuttuu myös jännerauditus tämän myötä.



Kuvio 15. Päällysrakenteiden vertailun tulokset ohjelman määrittäessä välitukien määrän ja maksimijännemitan

Ohjelman kokonaistoiminnan kannalta kiinnostavampi vertailukohde on sillan kokonaismäärien toimivuus. Kuviossa 16 on esitetty alusrakenteen ja päällysrakenteen yhteismäärät. Alusrakenteen osalta ohjelman antamat rakennusainemäärät ovat reilusti suuremmat kuin sillassa todellisuudessa, ja tämä tasapainottaa päällysrakenteen suhteessa pieneksi jääviä määriä. Alusrakenteen suuret määrät aiheutuvat väärästä välitukien lukumäärän arviosta ja todellisen päätyrakenteen eroamisesta ohjelmaan oletetusta päätyrakenteesta. Kokonaisuudessaan rakennusainemäärät ovat tavoitellun sadan prosentin yläpuolella, mutta näin vähäisillä lähtötiedoilla on vaikeaa päästä lähemmäksi.



Kuvio 16. Päällys- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset ohjelman määrittäessä välitukien määrän ja maksimijännemitan

5.3 Käyttökohdealue

Ohjelma soveltuu käytettäväksi tavanomaisille ja hyviä rakentamisperiaatteita noudattaville silloille. Laattakehäsillan kohdalla määrissä päästään hyvinkin lähellä tyyppisuunnitelman mukaisten siltojen kohdalla, mutta ei myöskään mennä kovin kauas erikoisemmillä ratkaisuilla, kuten ylittävän tien suuntaisilla siipimuureilla. Laatta- ja palkkisilloilla ohjelma on käytettävissä useammillakin ratkaisuvaihtoehdoilla. Massiivisemmat päätyrakenteet antavat kustannuksien kannalta varaa suunnitteluun miettiä mahdollisia laakerointeja lyhyemmillekin silloille. Tavanomaista hoikemmilla silloilla päällysrakenteen määrät voivat betonin osalta olla hieman korkeat ja raudoituksen osalta hieman matalat, mutta ei niin paljo, että siitä muodostuisi suuri riski kustannusten kannalta. Pitkien siltojen kohdalla pienet erot rakenteessa voivat muodostua suuremmiksi määräeroiksi kokonaisuudessa ja tällaisten siltojen kohdalla on varmasti hyvä tarkastella määriä tarkemmin. Kokonaisuudessaan ohjelma toimii melko hyvin perusratkaisuissa ja erikoisempien siltojen kohdalla on suositeltavaa tarkastaa määrät toisellakin tapaa. Usein erikoisten siltojen kohdalla onkin käytössä suunnittelukilpailu, eikä silloin kustannuksia lasketa hankeosalaskennalla.

6 TULOSTEN ANALYSOINTI JA JATKOTOIMENPITEET

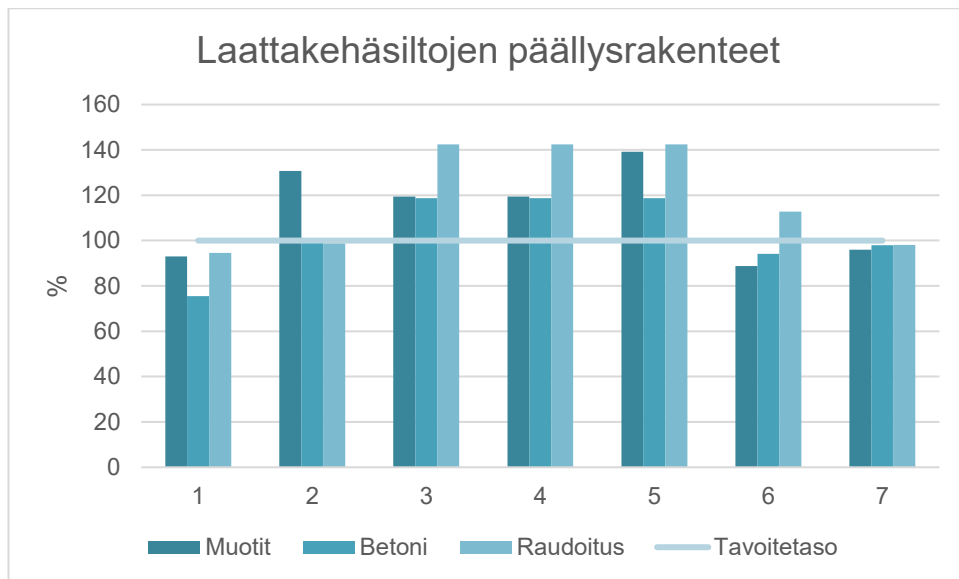
6.1 Laattakehäsilta

Laattakehäsilan osalta betoni- ja muottimäärät ovat hyvin lähellä tavanomaisilla suunnitteluohjeen mukaisilla silloilla. Kuitenkin raudoitusmäärissä on aika paljon heittoa kumpaankin suuntaan. Päälysrakenteen osalta tiesilloilla raudoitus on selkeästi yläkantissa, mutta rautatiesillan eli sillan numero 2 osalta raudoitusmäärä on hyvä. Päälysrakenteen osalta raudoitusmääräksi on tällä hetkellä asetettu 150 kg/m³. Tämän havainnon perusteella luodaan kaava, joka määrittää eri raudoitusmäärät rautatie- ja tiesilloille. Samalla sillan käyttötarkoituksiin tulee lisäksi alikäytävä, alikulkusilta. Rautatiesiltojen raudoitusmääräksi jätetään 150 kg/m³ ja tiesiltojen määräksi muutetaan 120 kg/m³.

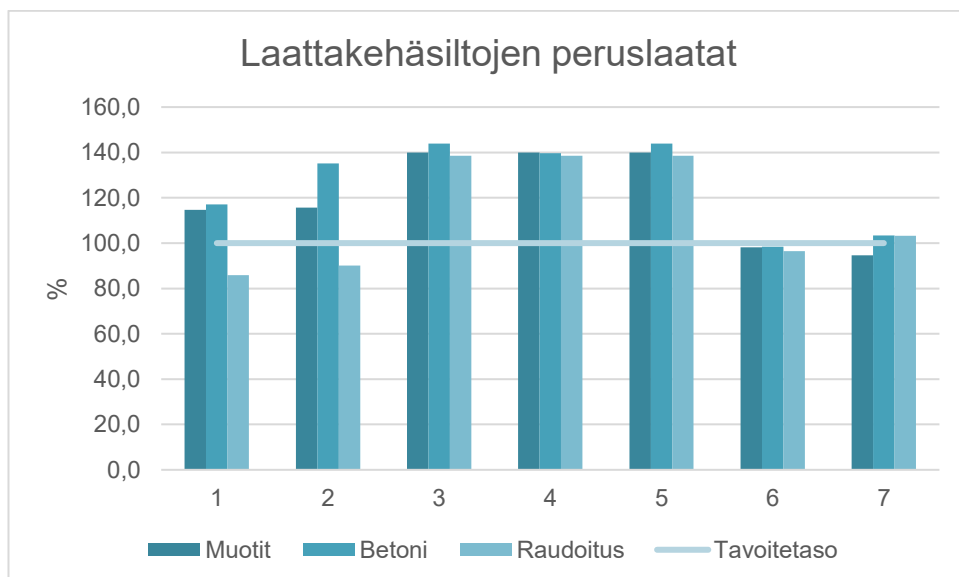
Peruslaatan osalta raudoituksessa on huomattavissa muutamakin seikka. Rautatiesillan osalta raudoitusmäärä jää liian pieneksi. Myös paalutetun perustuksen eli ensimmäisen sillan osalta raudoitusmäärä on selkeästi liian pieni. Sen sijaan maanvaraisten tiesiltojen peruslaatan raudoitusmäärät ovat kauttaaltaan hieman suuret. Nykyisellään raudoitusmäärä peruslaataksa on 80 kg/m³, mutta muutoksia on selkeästi tehtävä. Maanvaraisten tiesiltojen peruslaatan raudoitusmäärä pienennetään 60 kg/m³. Rautatiesiltojen osalta peruslaatan raudoitusmäärä nostetaan 100 kg/m³. Paalutus aiheuttaa lisäraudoituksen tarpeen peruslaataan ja se ei ole sidottuna käyttötarkoitukseen. Tämän vuoksi paalutetuille laattakehäsilloille asetetaan 2,5 lisäkerroin raudoitusmäärään.

Näiden muutosten vaikutukset esitetään kuvioissa 17 ja 18. Kuviossa 19 esitetään peruslaatan ja päälysrakenteen yhteismäärät. Päälysrakenteen osalta päästään paljon lähemmäs tavoitetasoa. Siltojen 3 – 5 osalta raudoitusmäärät ovat edelleen korkeat, mutta nämä sillat eivät ole täysin tavanomaisia laattakehäsiltoja. Keskimäärin raudoituksen taso on kuitenkin riittävän lähellä tavoitetta eikä kannata tehdä muutoksia ennen lisäkohteiden tutkimista. Peruslaatan osalta paalutetun peruslaatan sekä rautatiesillan peruslaatan määrissä päästään jo huomattavasti lähemmäs tavoitetta, vaikka edelleen määrät ovat hieman alakantissa. Tavallisten maanvaraisten tiesiltojen osalta peruslaatan raudoitusmäärät ovat jo huomattavasti maltillisemmat. Siltojen numero 3 - 5 osalta raudoitusmäärä on edelleen 40 % liian suuri, mutta määrällisesti tämä tarkoittaa enää 1500 kg, joka ei kokonaismäärään verrattuna ole kovin suuri määrä. Näissä silloissa oli myös lyhyemmät peruslaatat ja tämän myötä ohjelman betonimääräkin on korkeampi, mikä

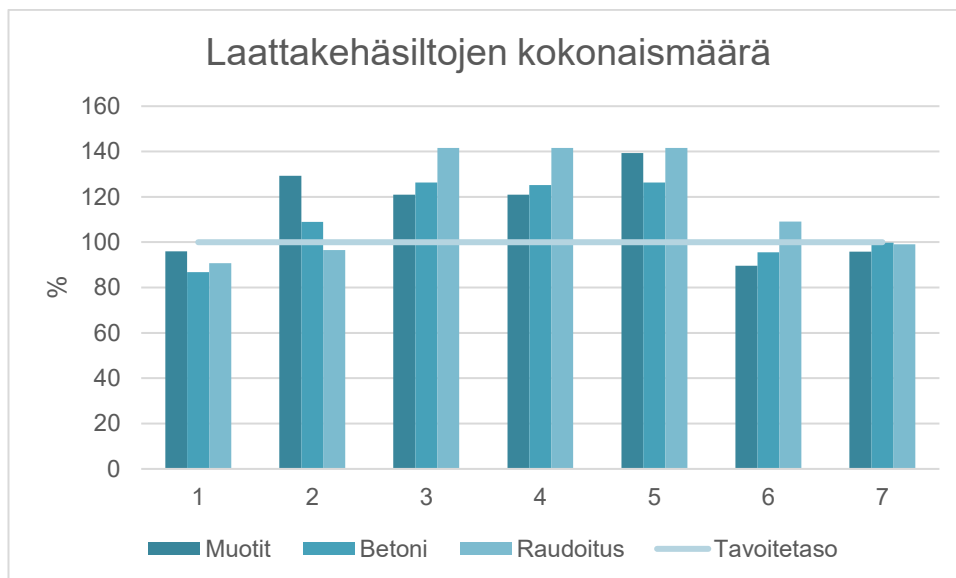
vaikuttaa suoraan raudoitusmäärän. Myös peruslaatan osalta tulokset ovat keskimäärin riittävän hyviä eikä muutoksia kannata tehdä tutkimatta lisää rautatiesiltoja, paalutettuja kohteita sekä tyyppisuunnitelmien mukaisia siltoja. Myös kokonaismääriltään erot ovat kohtuulliset. Tarkoituksena on saada luotettavaa määrätietoa tavanomaisista silta-tyypeistä, joka laattakehäsillan kohdalla tarkoittaa tyyppisuunnitelman mukaisia siltoja. Erikoistapauksia laskennassa ei pysty huomioimaan.



Kuvio 17. Laattakehäsiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen



Kuvio 18. Laattakehäsiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen



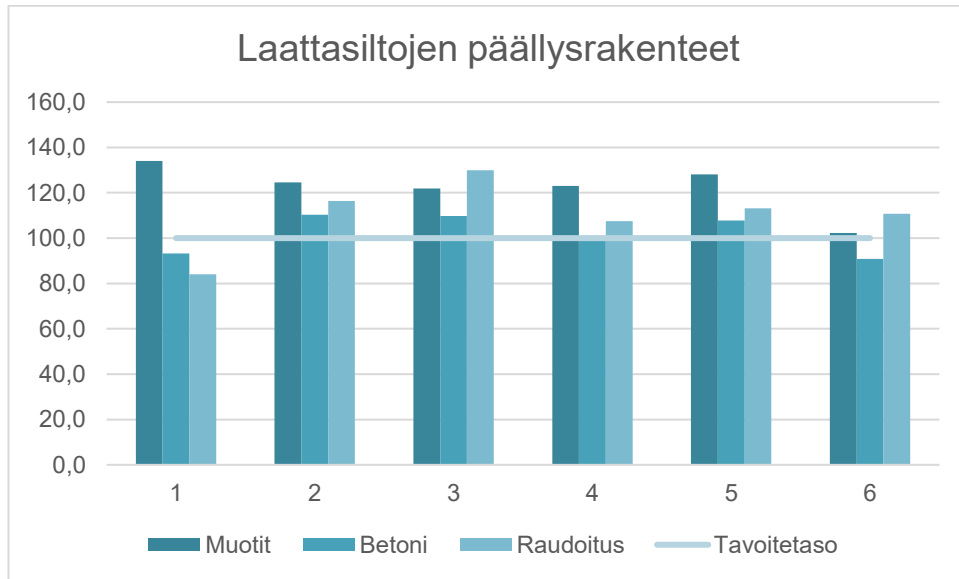
Kuvio 19. Laattakehäsiltojen päällys- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen

6.2 Laattasilta

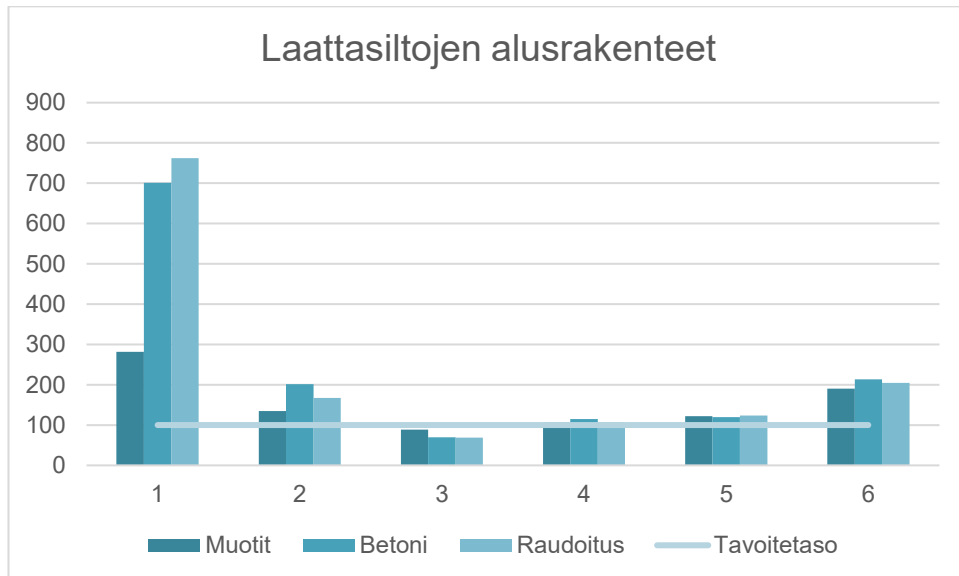
Laattasilan osalta päällysrakenteen määrät ovat suurelta osin hieman tavoitetason yläpuolella. Ylimääräinen betonimäärä johtuu osittain varmasti viisteiden puutteesta ohjelmasta, sillä rakennepaksuudet olivat aika lähellä ensimmäistä siltaa lukuun ottamatta. Päällysrakenteen osalta korjausta saadaan mallintamalla viisteet laattasiltaan. Viisteitä on useita erilaisia, mutta ajatellaan tässä tapauksessa viisteet kumpaankin reunaan puolentoista metrin matkalle ja viisteen paksuudeksi puolet rakennepaksuudesta. Alusrakenteen osalta ensimmäisen sillan tulosten perusteella ei ole syytä ryhtyä toimenpiteisiin, sillä silta on tavallista pidempi liikuntasaumaton silta, minkä vuoksi päätyrakenne on väärä. Ulokelaattasilan kohdalla alusrakenteen määrät jäävät vähäisiksi, mikä johtuu suurelta osin liian pienestä peruslaatasta. Siltaa numero 2 lukuun ottamatta peruslaatat ovat pienemmät ohjelmassa. Kasvattamalla peruslaatan kokoa päästään määrissä lähemmäs tavoitetasoa. Aloitetaan kokeilemalla kasvattaa peruslaatan leveys neljään metriin kummaltakin sivulta.

Kuvioissa 20 on nähtävissä viisteiden vaikutus päällysrakenteen määriin. Nyt määrät ovat lähellä tavoitetasoa kahta siltaa lukuun ottamatta. Kuvioista 21 esitetään muutosten vaikutukset alusrakenteen osalta. Alusrakenteen osalta ulokelaattasiltojen prosenttimäärät ovat nyt tavoitetason yläpuolella kaikkien paitsi sillan numero 3 kohdalla. Tässä vaiheessa alusrakenteen osalta voidaan olla tyytyväisin tulosten tasoon. Kuviossa 22

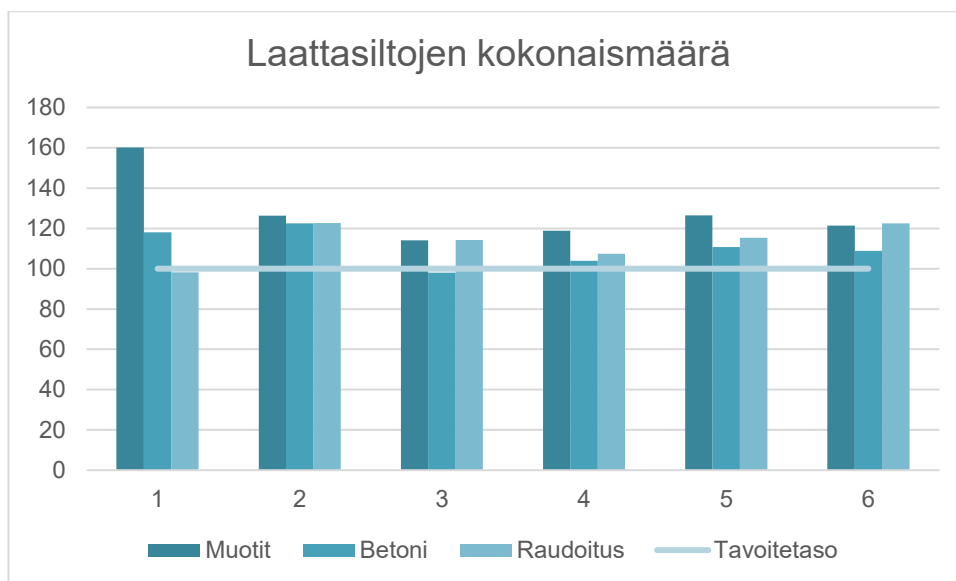
esitetään alus- ja päällysrakenteen yhteismäärät muutoksilla. Kokonaisuudessaan tulokset ovat tavoitetasossa tai hieman sen yläpuolella ja tuloksiin voidaan olla tyytyväisiä.



Kuvio 20. Laattasiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen



Kuvio 21. Laattasiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen

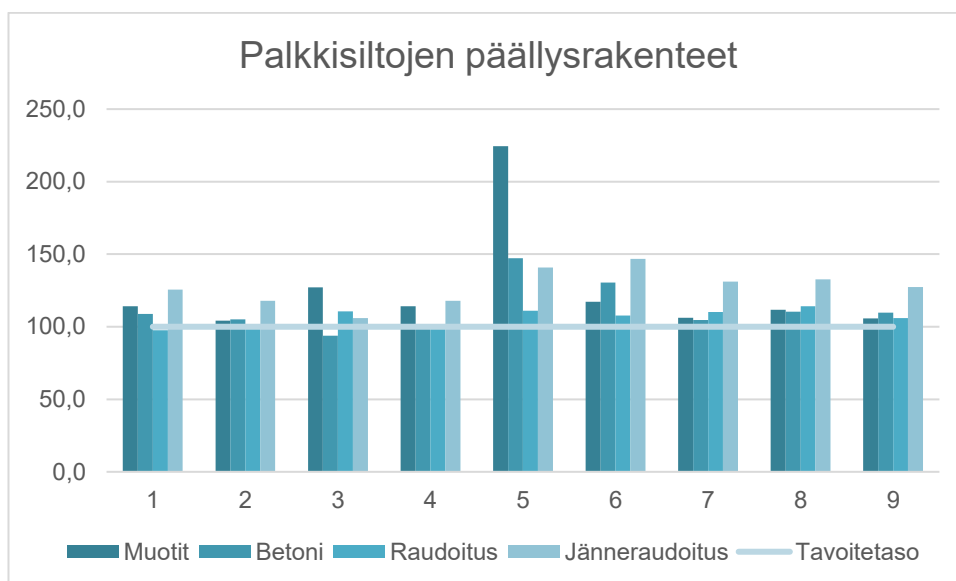


Kuvio 22. Laattasiltojen päällys- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen

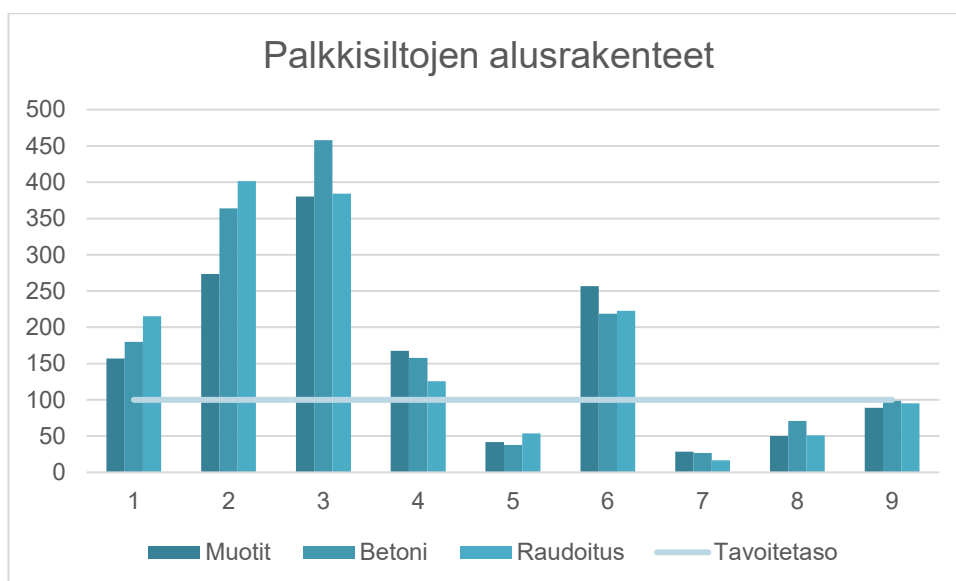
6.3 Palkkisilta

Palkkisillan osalta päällysrakenne on keskimäärin riittävän tarkalla tasolla. Poikkisuunnassa välitukien ja sitä kautta palkkien määrään pitäisi saada tarkennettua kaavaa, sillä joidenkin siltojen kohdalla ohjelmaan tulee palkkeja yksi liikaa. Tällä hetkellä kaavaan on kirjoitettu pilareiden lukumäärän pyöristys ylöspäin seuraavaan tasalukuun, mutta muuttamalla kaavan pyöristys tavallisten pyöristyssääntöjen mukaisesti tasalukuun, saadaan ainakin nyt tarkasteltujen siltojen osalta palkkien määrä oikeaksi. Tällä korjauksella on pidempiin siltoihin merkittävä vaikutus. Tämän lisäksi oli huomattavissa, että yksi palkkisten siltojen kohdalla nykyisen kaavan mukainen palkin leveys ei riitä. Useampi palkkisilla silloilla kaavat toimivat hyvin. Kun yksipalkkisten siltojen palkin leveys kaksinkertaistetaan, päästään lähelle palkkien oikeita leveyksiä. Alusrakenteen osalta tulokset vaihtelevat paljon, mutta tällä hetkellä suurimmat muutokset ovat jatkuvien ulokepalkkisiltojen ja laakeroitujen lyhyiden siltojen kohdalla. Kustannuksellisesti ero ei välttämättä ole suuri laakeroinnin ja päätyrakenteissa olevan ylimääräisen betonin välillä. Sillat, joissa erot ovat suuria, eivät varsinaisesti ole tavanomaisia ratkaisuja ja siitä syystä niiden perusteella ei pitäisi lähteä rakennetta muokkaamaan. Kuvioissa 23, 24 ja 25 esitetään vertailutulokset muutosten jälkeen. Päällysrakenteen osalta tulokset ovat viidettä siltaa lukuun ottamatta lähellä tavoitetasoa. Kokonaismäärien osalta tulokset ovat yksi

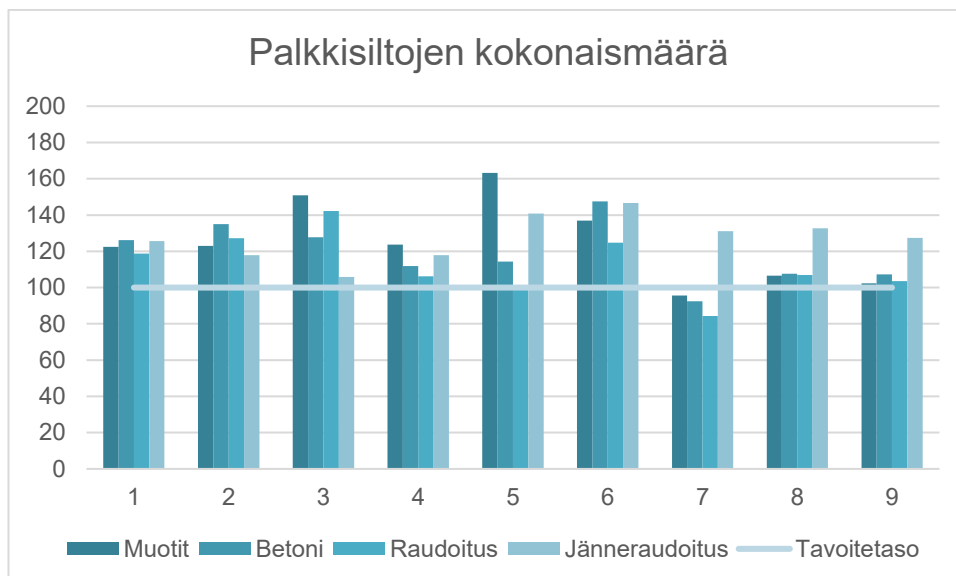
silta pois lukien tavoitetason yläpuolella. Suurelta osin päästään noin kahdenkymmenen prosentin tarkkuuteen, joka on hyväksyttävä taso.



Kuvio 23. Palkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen



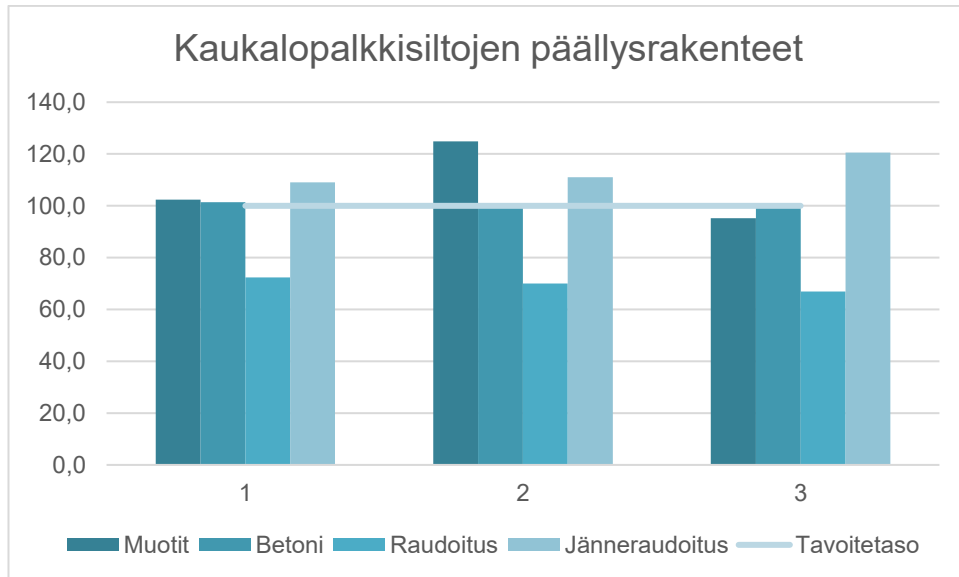
Kuvio 24. Palkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen



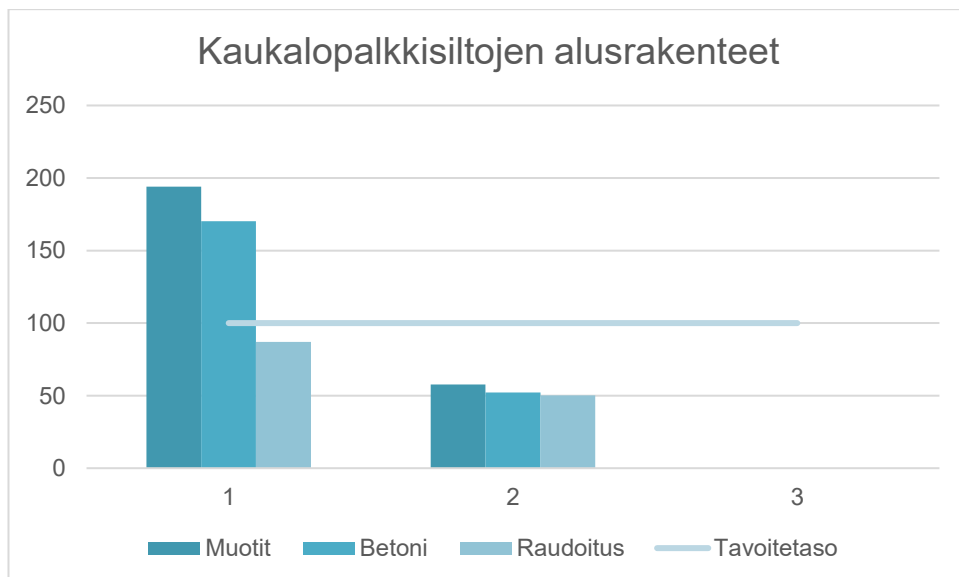
Kuvio 25. Palkkisiltojen päällys- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen

6.4 Kaukalopalkkisilta

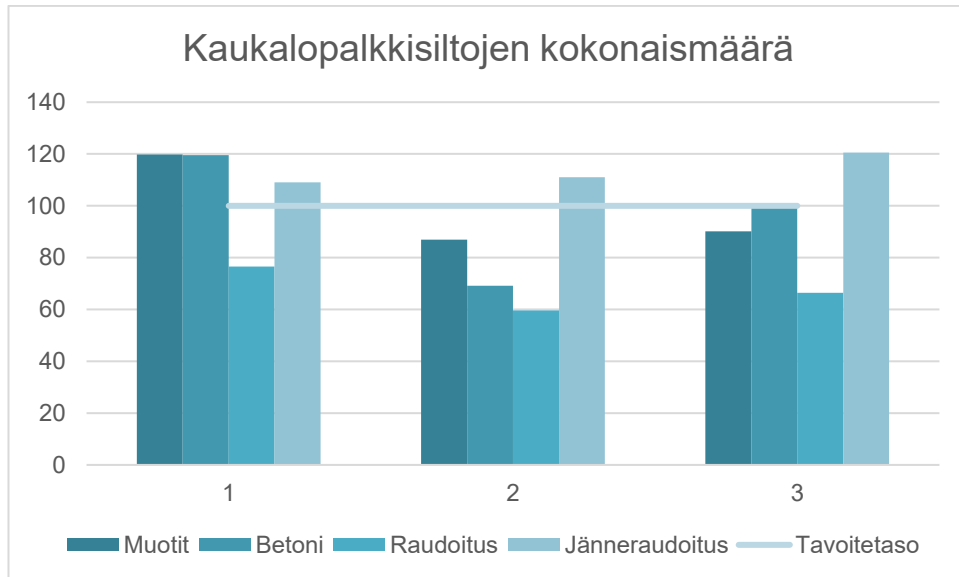
Kaukalopalkkisiltojen osalta tarkastelu paljasti tarpeen uudelle siltatyypille. Palkkisillan laskentapohjaa ei päällysrakenteen osalta voi kaukalopalkkisillan kohdalla hyödyntää. Kaukalopalkkisilta on kuitenkin sen verran yleinen siltatyyppi rautatiesiltojen keskuudessa, että sille tulee rakentaa oma laskentapohja. Alusrakenteen osalta voidaan hyödyntää palkkisillan alusrakenteen laskentalogiikkaa ja kaavoja, mutta päällysrakenteelle tulee rakentaa omat kaavat. Kaukalopalkkisillan kansilaattaan tulee sivuille ylöspäin nousevat palkit, joiden paksuus noudattaa rakennepaksuuden laskentakaavaa $L/15$ ja palkkien väliin jäävän laatan paksuudeksi asetetaan 600 mm. Kuvioissa 26, 27 ja 28 nähdään vertailutulokset uudella laskentapohjalla. Päällysrakenteen osalta päästään hyvin lähelle tavoitetasoa muiden kuin perusraudoituksen osalta. Kokonaismäärältään ollaan raudoituksia lukuun ottamatta kahden sillan kohdalla lähellä tavoitetasoa. Sillan numero 2 kohdalla alusrakenteiden vuoksi kokonaismäärä liian alhaiseksi. Kuitenkin sillan alusrakenne on sen verran erikoisempi, että ohjelman ei voi olettaa pääsevän alusrakenteen määrissä kovin lähelle todellista arvoa.



Kuvio 26. Kaukalopalkkisiltojen päällysrakenteiden vertailutulokset uudella laskentapohjalla



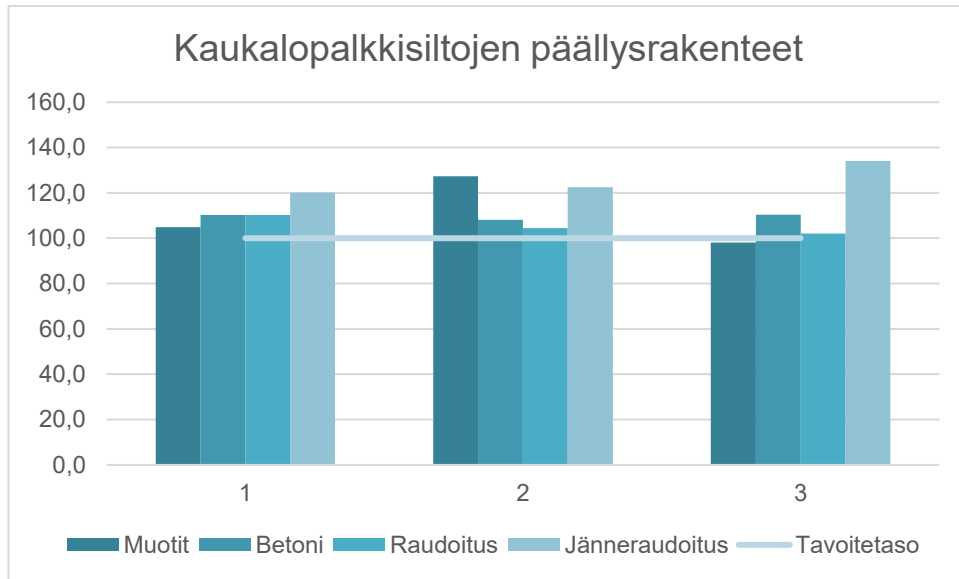
Kuvio 27. Kaukalopalkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset uudella laskentapohjalla



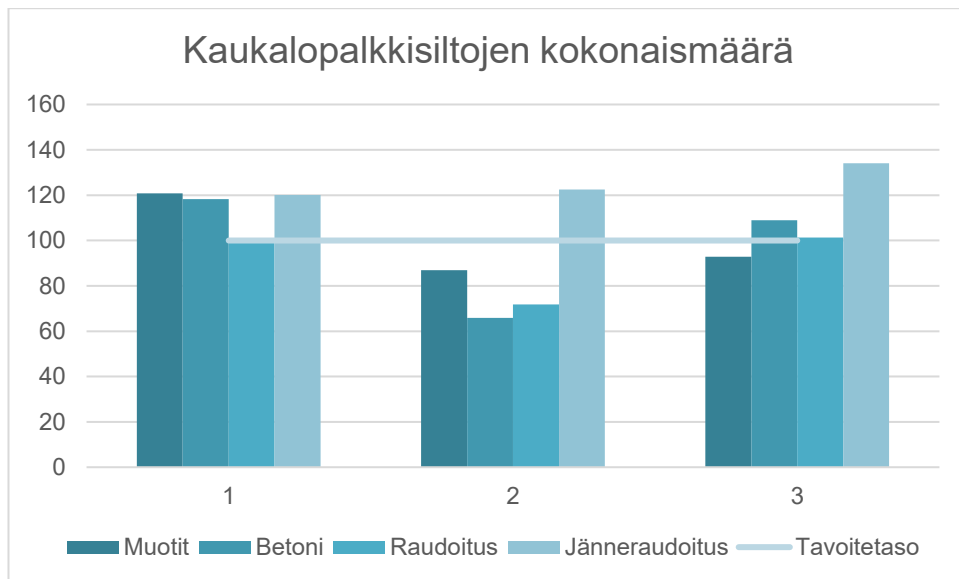
Kuvio 28. Kaukalopalkkisiltojen päällys- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset uudella laskentapohjalla

Kaukalopalkkisillan kohdalla betonimäärät ovat päällysrakenteessa tavoitetasossa. Suunnitteluvaiheen huomioon ottaen olisi kuitenkin parempi päästä hiukan yli tavoitetason. Jatkotoimenpiteenä kasvatetaan välilaatan korkeutta 650 millimetriin ja lisätään palkkien korkeuteen 100 millimetriä. Tavoitteena olisi päästä noin 105 prosenttiin. Raudoitusta tulee myös kasvattaa nykyisestä 110 kg/m³:ta. Sopiva määrä saatiin testamalla eri kg/m³ määrillä ja käyttöön valikoitui 160 kg/m³.

Kuvioissa 29 ja 30 esitetään päällysrakenteeseen tehtyjen muutosten vaikutus tuloksiin. Päällysrakenteen osalta ollaan hyvällä tasolla. Kokonaismäärissäkin päästiin kahden sillan osalta lähelle tavoitetasoa tai jopa hieman yli. Toisen sillan osalta jäädyttiin alle tavoitetason edelleen alusrakenteiden vuoksi. Tarvittaisiin lisäkohteita tutkittavaksi ennen kuin alusrakenteita kannattaa lähteä korjaamaan,



Kuvio 29. Kaukalopalkkisiltojen alusrakenteiden vertailutulokset muutosten jälkeen



Kuvio 30. Kaukalopalkkisiltojen päälly- ja alusrakenteiden yhteismäärien vertailutulokset muutosten jälkeen.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ohjelmaa on nyt rakennettu ja testattu määrien kautta, mutta se ei takaa toimivuutta kustannuslaskennassa. Kustannuksiin vaikuttaa rakennusainemenekin lisäksi myös moni muu tekijä, kuten esimerkiksi sijainti. Kaupunkirakentamisessa puolestaan rakennuskohteen tilanpuute aiheuttaa rakentamiseen usein haasteita ja samalla lisää kustannuksia. Kohde voi myös sijaita esimerkiksi saarella, jolloin materiaalien kuljetus nostaa hintaa, vaikka materiaalimenekki olisikin sama sijainnista riippumatta. Sijainnin vaikutus kustannuksiin voitaisiin ottaa huomioon esimerkiksi kertoimilla. Käyttäjälle voisi antaa mahdollisuuden valita eri vaatavuustasot tai ominaisuudet rakennuspaikalle, jotka määrittäisivät kustannuksiin käytetyn kertoimen. Sopivien kertoimien määrittäminen onnistuisi asiantuntijoiden kokemuksen ja referenssikohteiden avulla.

Erikoissillat ja erikoisemmat rakenneratkaisut voivat aiheuttaa suuria kustannuseroja. Esimerkiksi erikoiskaiteiden vaikutus kustannuksiin voi olla merkittävän suuri pidemmällä silloilla. Ohjelma laatii määräluettelon, jonka määrät vastaavat melko hyvin tavanomaisia ratkaisuja noudattavilla rakenteilla. Määräluettelon määrät sidotaan rakennusosakirjaston rakennusosiin, joiden voidaan ajatella olevan tavanomaisesti käytettyjä. Tämä ei siis kata esimerkiksi erikoiskaiteita. Käyttäjälle tulisi siis suoda mahdollisuus vaihtaa laskennassa käytettyjä rakennusosia tai määriä. Ihku-laskentapalvelussa tämän pitäisikin olla mahdollista siirtämällä laskelma rakennusosalaskelmaksi.

Laskentapalvelun hankeosalaskennan käyttöönoton jälkeen olisi varmasti hyödyllistä seurata jatkossa kustannuksia sekä määriä verrattuna toteutuviin kustannuksiin ja määriin. Sovelluksen toiminnan kannalta tulisi pystyä seuraamaan nimenomaan sillan osalta kustannusten kehittymistä hankkeen eri vaiheissa. Kuitenkin on paljon rakenteita, kuten tukimuureja, jotka voivat olla siltaan liittyviä ja kustannuksia nostavia, mutta niiden aiheuttamat kustannusnousut eivät ole verrannollisia sillan hankeosalaskennan toimintaan. Tämän seurannan avulla pystyttäisiin selvittämään sovelluksesta mahdollisesti löytyvät epäkohdat sekä korjaamaan niitä.

Vertailutulokset osoittivat ohjelman toimivan erityisesti tavanomaisissa rakenneratkaisussa. Vaikka silloissa on paljon erilaisia ratkaisuja varsinkin päätytukien osalta, toimii ohjelma melko hyvin kokonaistilannetta tarkastellessa. Kokonaismäärät ovat enimmäkseen hieman sadan prosentin yläpuolella, mikä ei varsinaisesti ole huono asia.

Kustannukset tarkentuvat myöhemmissä suunnitteluvaiheissa ja on parempi, jos kustannukset ennemmin pienenevät kuin suurenevat suunnitelmien tarkentuessa.

Liitteessä 1 esitetyistä muiden sillan rakenneosien vertailutuloksista on nähtävissä suuriakin eroja. Hankaluuksia sillan hankeosan mallintamiselle alusrakenteiden lisäksi aiheuttaa kaivannot ja täytöt. Kuten kappaleessa 4.4 mainittiin, ei sillan sijoittumista maastoon pystytä arvioimaan erityisen tarkasti. Tästä syystä tulokset vaihtelevat tavoitetason ylä- sekä alapuolella. Myös kuivatuslaitteiden määrässä on eroja, mutta ne selittyvät osittain sillä, että ohjelmaan on silloille valittu kaksipuolinen kallistus. Tapauksissa, joissa silloissa on kallistus yhteen suuntaan, kuivatuslaitteiden määrä vähintäänkin kaksinkertaistuu. Kallistukselle on kuitenkin vaikea rakentaa parempaa ratkaisua, sillä se ole sidosissa sillan leveyteen tai muihinkaan käyttäjältä kysytyihin ominaisuuksiin. Lisäksi tippuputkien sijoitteluun vaikuttavat alittavat väylät eikä näitäkään pystytä ohjelmaan huomioimaan.

Ohjelman välitukien määrän ja pisimmän jännemitan laskentalogiikka ei toimi täydellisesti kaikilla kohteilla, mutta silloin kun ulkopuoliset tekijät eivät vaikuta välitukien sijoitteluun, päästään tuloksissa hyvin lähellä toteutuneita arvoja. Määrälaskenta toimii myös ohjelman antamia arvoja käyttämällä, mutta laskenta luonnollisesti tarkentuu tarkempia arvoja käyttämällä. Voidaan siis todeta, että käyttäjän kannattaa syöttää pisin jännemitta ja välitukien määrä, jos tällaisia tietoja on käytettävissä. Kuitenkin varsin hyvän suuntaa antavan arvion määristä saa myös ilman näitä tietoja.

Ohjelmaa ei ole järkevää tai kovin realististakaan saada kattamaan kaikkia mahdollisia siltoja ja siltatyyppejä, mutta lisäämällä joitain siltatyyppejä voitaisiin ohjelma saada toimimaan vielä paremmin erilaisilla silloilla. Esimerkiksi jatkuvan ulokelaattasillan sekä palkkisillan osalta ulokepalkkisillan ja jatkuvan ulokepalkkisillan siltatyyppin mallintaminen parantaisi tällaisten siltojen osalta määrälaskennan tarkkuutta erityisesti päätyrakenteen osalta. Tietysti näiden siltojen osalta tulee vaikeuksia saada välitukien määrän sekä pisimmän jännemitan laskentalogiikka toimimaan tällaisille siltatyypeille.

Putkisiltoja on 21 prosenttia kaikista tiesilloista. (RIL 2018, 24.) Tällainen siltatyyppi tulisi siis ehdottomasti mallintaa. Muuten ohjelma kattaa jo pitkälti yleisimmät siltatyyppit, sillä tämän opinnäytetyön ulkopuolelle jäänyt liittopalkkisilta on mallinnettu valmiiksi. Puusillat ovat ehkä enemmän yksityisteiden siltoja, mutta myöhemmässä vaiheessa on varmasti hyvä harkita myös ainakin jonkun puusiltatyyppin mallinnusta.

Siltojen korjaus, vahventaminen ja leventäminen ovat ominaisuuksia, joiden tarpeellisuutta hankeosalaskentasovelluksessa olisi varmasti hyvä pohtia. Siltojen korjaus voi olla vaikeaa hankeosalaskentaan saada, sillä on hyvin siltakohtaista, mitä korjaustoimenpiteitä tarvitaan. Sillan leventämiseen pystyisi ehkä hyödyntämään tätä määrälaskentapohjaa muunneltuna. Kuitenkin leventämistä suunnitellessa tiedetään yleensä hyvinkin tarkasti sillan pituus, välitukien sijoittelu sekä muut tarvittavat tiedot.

LÄHTEET

Ihku-allianssi 2021. Hankeosalaskenta Ihku-laskentapalvelussa. Julkaistu 7.9.2021. Viitattu 10.4.2022. YouTube-video: <https://www.youtube.com/watch?v=gcVnljony8g>

Ihku-allianssi 2022. Viitattu 10.4.2022. <https://ihkuallianssi.fi/>

InfraRYL 42001.5.3. Tarkkailutapit ja niiden sijaintimittaukset. Rakennustieto Oy 2021. Viitattu 15.3.2022. <https://www.rakennustieto.fi/palvelut/tietoa-rakentamiseen/ryl/infraryl>

Liikennevirasto 2010. SILKO-ohje 2.611. Kuivatuslaitteet, Tippuputken teko päällysrakenteeseen. Viitattu 15.3.2022. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2611.pdf>.

Liikennevirasto 2012. Siltojen kaiteet. Viitattu 13.1.2022. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2012-25_siltojen_kaiteet_web.pdf.

Liikennevirasto 2013. Sillat ja ympäristö. Viitattu 26.1.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lop_2013-03_sillat_ymparisto_web.pdf.

Liikennevirasto 2017a. Eurokoodin soveltamisohje, Betonirakenteiden suunnittelu NCCI2. Viitattu 13.1.2022. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-31_ncci2_web.pdf.

Liikennevirasto 2017b. Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II), Suunnitteluohje. Viitattu 10.2.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-22_terasbetoninen_laattakehasilta_web.pdf.

Rapal Oy 2011. Infrarakentamisen kustannushallinnan ohje Helsingin kaupungille. Tiivistelmä konsulttien käyttöön aluesuunnitelmien laadinnassa. Viitattu 3.3.2022. https://www.hel.fi/hel2/hkr/julkaisut/ohjeet/aluesuunnitelman_lahtoaineisto/raportti_%20kustannushallintaohje_tiivis%20.pdf.

Rapal Oy 2022. Viitattu 27.2.2022. <https://www.rapal.com/fi/infra-ja-talorakentamisen-kustannushallinnan-ohjelmisto>.

RIL 231-1-2006. Infrarakentamisen kustannushallinta. Tekstiosa. Suomen rakennusinsinööriliitto RIL ry.

RIL 179-2018. Sillat - Suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki 2018, Suomen rakennusinsinööriliitto RIL ry.

Tiehallinto 2005. Sillansuunnittelun lähtötiedot. Viitattu 12.1.2022. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sillansuunnittelunlahtotiedot2005.pdf>.

Tiehallinto 2007. Sillan geotekniset suunnitteluperusteet. Viitattu 9.2.2022. https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2100053-v-07sillan_geotekn_suunn.pdf.

Tiehallinto 2008. Sillan määräluettelo. Viitattu 8.4.2022. https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/maaraluettelo_2008.pdf.

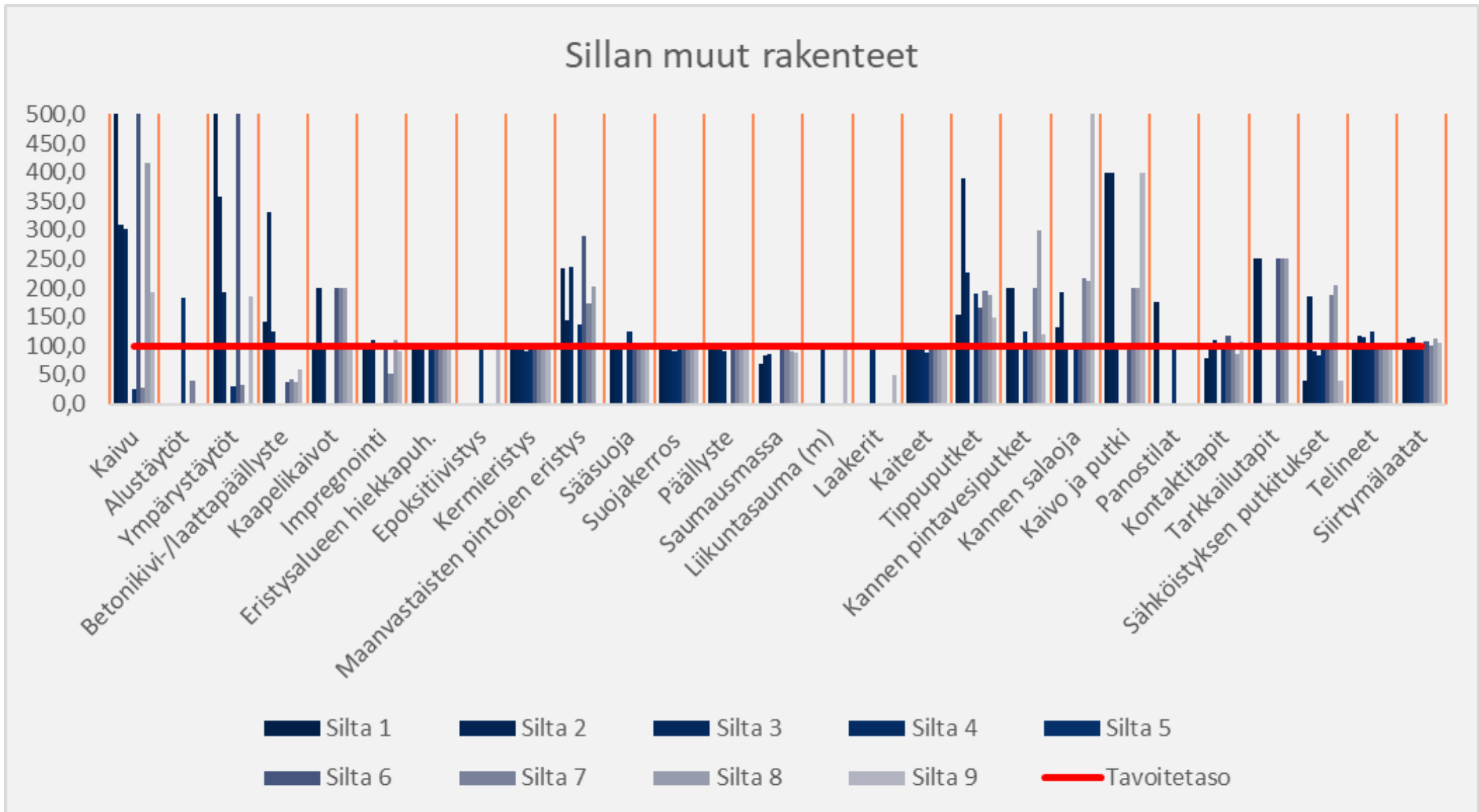
Tielaitos 2000. Siltojen suunnitelmat. Viitattu 12.1.2022. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/sil-suu00.pdf>.

Väylävirasto 2019a. SILKO-ohje 2.651. Kuivatuslaitteet, Siltapaikan kuivatuslaitteiden teko. Viitattu 15.3.2022. <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/silko/kansio2/s2651.pdf>.

Väylävirasto 2019b. Väylähankkeiden kustannushallinta. Viitattu 7.4.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-39_vaylahankkeiden_kustannushallinta_web.pdf.

Väylävirasto 2021. Liikuntasaumattoman sillan suunnittelu. Viitattu 9.2.2022. https://julkaisut.vayla.fi/pdf11/vo_2021-09_liikuntasaumattoman_sillan_web.pdf.

Sillan muiden rakenneosien vertailutulokset



Laattasillan määräluettelo esimerkki sillalla

Infra 2015 pääryhmä	Infra-koodi	Rakennusosakirjaston rakennusosa	Määrä	Yksikkö
1300 Perustusrakenteet	1320	PAALUPERUSTUKSET		
		Paalut		mtr
		Kalliokärjet		kpl
		Paalujatkokset		kpl
1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot	1620	MAAKAIVANNOT		
	1624:1	Kaivu ilman tuentaa	3293	m3ktr
1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit	1730	KALLIOON LOUHITTAVAT RAKENNUS- JA SILTAKAIVANNOT		
	1732:1	Pintalouhinta		m2tr
	1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT		
	1834	Perustusten alustäytöt	178	m3rtr
	1835	Rakenteiden ympäristäytöt	2691,0	m3rtr
2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset	2140	PÄÄLLYSTEET JA PINTARAKENTEET		
	2143.1	Betonikivi- ja laattapäällysteet	125	m2tr
3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät	3320	KAAPLEIDEN VARUSTEET JA SUOJARAKENTEET		
	3323	Kaapelikaivot	4	kpl
4200 Sillat	4207	SILLAN PERUSLAATAT		
	4207:1	Muotit ja telineet	290	m2tr
	4207:2	Raudoitteet	340	kg
	4207:4	Betoni	27200	m3rtr
	4211.1	BETONIRAKENTEET MAATUISSA		
	4211.1:1	Muotit ja telineet	461,0	m2tr
	4211.1:2	Raudoitteet	13329	kg
	4211.1:4	Betoni	167,0	m3rtr
	4212.1	BETONIRAKENTEET VÄLITUISSA		
	4212.1:1	Muotit ja telineet	186,0	m2tr
	4212.1:2	Raudoitteet	9300	kg
	4212.1:4	Betoni	47,0	m3rtr
	4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE		
	4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa		

	4221:1	Muotit	2078	m2tr
	4221:2	Raudoitteet	259163	kg
	4221:4	Betoni	1728,0	m3trtr
	4226	Päälysrakenteen pintojen verhouk		
	4226.5	Betonipintojen impregnointi	184	m2tr
	4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET		
	4231.1	Eristysalustan hiekkapuhallus	1674,0	kan-m2
	4231.2	Epoksiivistitys	1674,0	m2tr
	4231.3	Kermieristys	1695	kan-m2
	4231.6	Maanvastaisten pintojen eristys (2-kert.)	231	m2tr
	4231.8	Sääsuoja eristämistä varten	1784	m2tr
	4232	Eristyksen suojaus		
	4232.3	Suojakerros betonista	1674	kan-m2
	4233	Sillan päällyste		
	4233.11	Asfalttibetoni		m2tr
		AB 11/70	1674	m2tr
		AB 16/120	1674	m2tr
	4233.4	PÄÄLLYSTEEN SAUMAT		
	4233.41	Asfaltti ja valuasfalttipäällysteen saumat	180	mtr
	4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET		
	4244	Siirtymälaatat		
	4241	Liikuntasaumat		
	4241.1	Liikuntasaumalaitteet	37	mtr
	4242	Laakerit ja nivelet		
	4242.11	Kumilevyllaakerit	6	kpl
	4244	Siirtymälaatat		
	4244.1	Paikalla valetut siirtymälaatat	65	m3trtr
	4245	Suojalaitteet		
	4245.12	Teräskaitteet	196	mtr
	4246	Sillan maadoitus		kpl
	4248	Kuivatuslaitteet		
	4248.1	Tippuputket	73	kpl
	4248.2	PINTAVESIPUTKET		kpl

	4248.21	Kannen pintavesiputket	12	kpl
	4248.22	Pitkät pintavesiputket	12	mtr
	4248.4	Kannen salaoja	180	mtr
	4248.5	PINTAVESIEN VIEMÄRÖINTI		
	4248.52	Pintavesien viemäröinti kaivolla ja putkella	4	kpl
	4249	Muut sillan varusteet ja laitteet		
	4249.1	Panostilat, -putket ja -kiinnikkeet	20	kpl
	4249.2	Kontaktitapit	47	kpl
	4249.22	Tarkkailutapit	22	kpl
	4249.4	Sähköistyksen putkitukset	450	mtr
5500 Työmaan kalusto	5520	TELINEET		
	5520:3	Sillan päällysrakenteen telineet	1784	kan-m2

Ulokelaattasillan määräluettelo esimerkki sillalla

Infra 2015 pääryhmä	Infra-koodi	Rakennusosakirjaston rakennusosa	Määrä	Yksikkö
1300 Perustusrakenteet	1320	PAALUPERUSTUKSET		
		Paalut		mtr
		Kalliokärjet		kpl
		Paalujatkokset		kpl
1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot	1620	MAAKAIVANNOT		
	1624:1	Kaivu ilman tuentaa	579	m3ktr
1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit	1730	KALLIOON LOUHITTAVAT RAKENNUS- JA SILTAKAIVANNOT		
	1732:1	Pintalouhinta		m2tr
	1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT		
	1834	Perustusten alustäytöt	69	m3rtr
	1835	Rakenteiden ympärystäytöt	450	m3rtr
2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset	2140	PÄÄLLYSTEET JA PINTARAKENTEET		
	2143.1	Betonikivi- ja laattapäällysteet	138	m2tr
3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät	3320	KAAPELEIDEN VARUSTEET JA SUOJARAKENTEET		
	3323	Kaapelikaivot	4	kpl
4200 Sillat	4207	SILLAN PERUSLAATAT		
	4207:1	Muotit ja telineet	64	m2tr
	4207:2	Raudoitteet	5120	kg
	4207:4	Betoni	64	m3rtr
	4211.1	BETONIRAKENTEET MAATUISSA		
	4211.1:1	Muotit ja telineet	65	m2tr
	4211.1:2	Raudoitteet	2901	kg
	4211.1:4	Betoni	15	m3rtr
	4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE		
	4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa		
	4221:1	Muotit	585	m2tr
	4221:2	Raudoitteet	305	kg
	4221:4	Betoni	43397	m3rtr
	4226	Päällysrakenteen pintojen verhous		

	4226.5	Betonipintojen impregnointi	59	m2tr
	4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET		
	4231	Eristys		
	4231.1	Eristysalustan hiekkapuhallus	282,0	kan-m2
	4231.2	Epoksiitiivistys	282	m2tr
	4231.3	Kermieristys	294	kan-m2
	4231.6	Maanvastaisten pintojen eristys (2-kert.)	93	m2tr
	4231.8	Sääsuoja eristämistä varten	318	m2tr
	4232	Eristyksen suojaus		
	4232.3	Suojakerros betonista	282	kan-m2
	4233	Sillan päällyste		
	4233.11	Asfalttibetoni		m2tr
		AB 11/70	282	m2tr
		AB 16/120	282	m2tr
	4233.4	PÄÄLLYSTEEN SAUMAT		
	4233.41	Asfaltti ja valuasfalttipäällysteen saumat	71	mtr
	4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET		
	4241	Liikuntasaumot		
	4241.1	Liikuntasaumalaitteet		mtr
	4242	Laakerit ja nivelet		
	4242.11	Kumilevylaakerit		kpl
	4244	Siirtymälaatat		
	4244.1	Paikalla valetut siirtymälaatat	37	m3trr
	4245	Suojalaitteet		
	4245.12	Teräskaitteet	62	mtr
	4246	Sillan maadoitus		kpl
	4248	Kuivatuslaitteet		
	4248.1	Tippuputket	24	kpl
	4248.2	PINTAVESIPUTKET		kpl
	4248.21	Kannen pintavesiputket	8	kpl
	4248.22	Pitkät pintavesiputket	8	mtr
	4248.4	Kannen salaoja	46	mtr
	4248.5	PINTAVESIEN VIEMÄRÖINTI		

	4248.52	Pintavesien viemärointi kaivolla ja putkella	4	kpl
	4249	Muut sillan varusteet ja laitteet		
	4249.1	Panostilat, -putket ja -kiinnikkeet	10	kpl
	4249.2	Kontaktitapit	25	kpl
	4249.22	Tarkkailutapit	18	kpl
	4249.4	Sähköistyksen putkitukset	115	mtr
5500 Työmaan kalusto	5520	TELINEET		
	5520:3	Sillan päällysrakenteen telineet	318	kan-m2

Laattakehäsillan määräluettelo esimerkki sillalla

Infra 2015 pääryhmä	Infra-koodi	Rakennusosakirjaston rakennusosa	Määrä	Yksikkö
1300 Perustusrakenteet	1320	PAALUPERUSTUKSET		
	1321.1	BETONIPAALUT		
	1321.1:1	Paalut	640	mtr
	1321.1:2	Kalliokärjet	72	kpl
	1321.1:4	Paalujatkokset		kpl
1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot	1620	MAAKAIVANNOT		
	1624:1	Kaivu ilman tuentaa	1153	m3ktr
1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit	1730	KALLIOON LOUHITTAVAT RAKENNUS- JA SILTAKAIVANNOT		
	1732:1	Pintalouhinta		m2tr
	1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT		
	1834	Perustusten alustäytöt	99	m3rtr
	1835	Rakenteiden ympärystäytöt	1622	m3rtr
3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät	3320	KAPELEIDEN VARUSTEET JA SUOJARAKENTEET		
	3323	Kaapelikaivot	4	kpl
4200 Sillat	4207	SILLAN PERUSLAATAT		
	4207:1	Muotit ja telineet	109	m2tr
	4207:2	Raudoitteet	12246	kg
	4207:4	Betoni	82	m3rtr
	4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE		
	4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa		
	4221:1	Muotit	558	m2tr
	4221:2	Raudoitteet	17047	kg
	4221:4	Betoni	142	m3rtr
	4226	Päällysrakenteen pintojen verhous		
	4226.5	Betonipintojen impregnointi	40	m2tr
	4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET		
	4231.1	Eristysalustan hiekkapuhallus	103	kan-m2
	4231.2	Epoksitiivistys	103	m2tr
	4231.3	Kermieristys	119	kan-m2
	4231.6	Maanvastaisten pintojen eristys (2-kert.)	228	m2tr

	4231.8	Sääsuoja eristämistä varten	127	m2tr
	4232	Eristyksen suojaus		
	4232.4	Suojakerros kuitukankaasta ja hiekasta	103	kan-m2
	4233	Sillan päällyste		
	4233.11	Asfalttibetoni		m2tr
		AB 11/70	103	m2tr
		AB 16/120	103	m2tr
	4233.4	PÄÄLLYSTEEN SAUMAT		
	4233.41	Asfaltti ja valuasfalttipäällysteen saumat	45	mtr
	4233.9	MUUT SILLAN PINTARAKENTEET		
	4239.12	Täytekerros murskeesta	27	m3tr
	4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET		
	4241	Liikuntasaumot		
	4241.3	Saumanauhat	30	mtr
	4244	Siirtymälaatat		
	4244.1	Paikalla valetut siirtymälaatat	55	m3tr
	4245	Suojalaitteet		
	4245.12	Teräskaitteet	36	mtr
	4246	Sillan maadoitus		kpl
	4248	Kuivatuslaitteet		
	4248.5	PINTAVESIEN VIEMÄRÖINTI		
	4248.52	Pintavesien viemäröinti kaivolla ja putkella	2	kpl
	4249	Muut sillan varusteet ja laitteet		
	4249.1	Panostilat, -putket ja -kiinnikkeet		kpl
	4249.2	Kontaktitapit	14	kpl
	4249.22	Tarkkailutapit	12	kpl
	4249.4	Sähköistyksen putkitukset	12	mtr
5500 Työmaan kalusto	5520	TELINEET		
	5520:3	Sillan päällysrakenteen telineet	117	kan-m2

Palkkisillan määräluettelo esimerkki sillalla

Infra 2015 pääryhmä	Infra-koodi	Rakennusosakirjaston rakennusosa	Määrä	Yksikkö
1300 Perustusrakenteet	1320	PAALUPERUSTUKSET		
		Paalut		mtr
		Kalliokärjet		kpl
		Paalujatkokset		kpl
1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot	1620	MAAKAIVANNOT		
	1624	Rakennus- ja siltakaivannot		
	1624:1	Kaivu ilman tuentaa	1950	m3ktr
1700 Kalliroleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit	1730	KALLIOON LOUHITTAVAT RAKENNUS- JA SILTAKAIVANNOT		
	1732:1	Pintalouhinta		m2tr
	1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT		
	1834	Perustusten alustäytöt	176	m3rtr
	1835	Rakenteiden ympärystäytöt	1511	m3rtr
2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset	2140	PÄÄLLYSTEET JA PINTARAKENTEET		
	2143.1	Betonikivi- ja laattapäällysteet	138	m2tr
3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät	3320	KAPELEIDEN VARUSTEET JA SUOJARAKENTEET		
	3323	Kaapelikaivot	4	kpl
4200 Sillat	4207	SILLAN PERUSLAATAT		
	4207:1	Muotit ja telineet	169	m2tr
	4207:2	Raudoitteet	16360	kg
	4207:4	Betoni	205	m3rtr
	4211.1	BETONIRAKENTEET MAATUISSA		
	4211.1:1	Muotit ja telineet	334	m2tr
	4211.1:2	Raudoitteet	9265	kg
	4211.1:4	Betoni	116	m3rtr
	4212.1	BETONIRAKENTEET VÄLITUISSA		
	4212.1:1	Muotit ja telineet	215	m2tr
	4212.1:2	Raudoitteet	16117	kg
	4212.1:4	Betoni	81	m3rtr
	4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE		

	4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa		
	4221.1	Muotit	3375	m2tr
	4221.2	Raudoitteet	158785	kg
	4221.3	Jänneraudoitteet	43305	kg
	4221.4	Betoni	1444	m3rtr
	4226	Päällysrakenteen pintojen verhous		
	4226.5	Betonipintojen impregnointi	309	m2tr
	4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET		
	4231	Eristys		
	4231.1	Eristysalustan hiekkapuhallus	1911,0	kan-m2
	4231.2	Epoksiivistitys	1911	m2tr
	4231.3	Kermieristys	1923	kan-m2
	4231.6	Maanvastaisten pintojen eristys (2-kert.)	143	m2tr
	4231.8	Sääsuoja eristämistä varten	2080	m2tr
	4232	Eristyksen suojaus		
	4232.3	Suojakerros betonista	1911	kan-m2
	4233	Sillan päällyste		
	4233.11	Asfalttibetoni		m2tr
		AB 11/70	1911	m2tr
		AB 16/120	1911	m2tr
	4233.4	PÄÄLLYSTEEN SAUMAT		
	4233.41	Asfaltti ja valuasfalttipäällysteen saumat	312	mtr
	4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET		
	4241	Liikuntasaumat		
	4241.1	Liikuntasaumalaitteet	25	mtr
	4242	Laakerit ja nivelet		
	4242.11	Kumilevylaakerit	4	kpl
	4244	Siirtymälaatat		
	4244.1	Paikalla valetut siirtymälaatat	37	m3rtr
	4245	Suojalaitteet		
	4245.12	Teräskaitteet	328	mtr
	4246	Sillan maadoitus		kpl
	4248	Kuivatuslaitteet		

	4248.1	Tippuputket	113	kpl
	4248.2	PINTAVESIPUTKET		kpl
	4248.21	Kannen pintavesiputket	12	kpl
	4248.22	Pitkät pintavesiputket	12	kpl
	4248.4	Kannen salaoja	312	mtr
	4248.5	PINTAVESIEN VIEMÄRÖINTI		
	4248.52	Pintavesien viemäröinti kaivolla ja putkella	4	kpl
	4249	Muut sillan varusteet ja laitteet		
	4249.1	Panostilat, -putket ja -kiinnikkeet	12	kpl
	4249.2	Kontaktitapit	39	kpl
	4249.22	Tarkkailutapit	22	kpl
	4249.4	Sähköistyksen putkitukset	780	mtr
5500 Työmaan kalusto	5520	TELINEET		
	5520:3	Sillan päällysrakenteen telineet	2080	kan-m2

Kaukalopalkkisillan määräluettelo esimerkki sillalla

Infra 2015 pääryhmä	Infra-koodi	Rakennusosakirjaston rakennusosa	Määrä	Yksikkö
1300 Perustusrakenteet	1320	PAALUPERUSTUKSET		
		Paalut		mtr
		Kalliokärjet		kpl
		Paalujatkokset		kpl
1600 Maaleikkaukset ja -kaivannot	1620	MAAKAIVANNOT		
	1624	Rakennus- ja siltakaivannot		
	1624:1	Kaivu ilman tuentaa	819	m3ktr
1700 Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit	1730	KALLIOON LOUHITTAVAT RAKENNUS- JA SILTAKAIVANNOT		
	1732:1	Pintalouhinta		m2tr
	1830	KAIVANTOJEN TÄYTÖT		
	1834	Perustusten alustäytöt	61	m3rtr
	1835	Rakenteiden ympärystäytöt	647	m3rtr
2100 Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset	2140	PÄÄLLYSTEET JA PINTARAKENTEET		
	2143.1	Betonikivi- ja laattapäällysteet	86	m2tr
3300 Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät	3320	KAAPLEIDEN VARUSTEET JA SUOJARAKENTEET		
	3323	Kaapelikaivot	4	kpl
4200 Sillat	4207	SILLAN PERUSLAATAT		
	4207:1	Muotit ja telineet	43	m2tr
	4207:2	Raudoitteet	4452	kg
	4207:4	Betoni	56	m3rtr
	4211.1	BETONIRAKENTEET MAATUISSA		
	4211.1:1	Muotit ja telineet	195	m2tr
	4211.1:2	Raudoitteet	8569	kg
	4211.1:4	Betoni	86	m3rtr
	4212.1	BETONIRAKENTEET VÄLITUISSA		
	4212.1:1	Muotit ja telineet		m2tr
	4212.1:2	Raudoitteet		kg
	4212.1:4	Betoni		m3rtr
	4220	SILLAN PÄÄLLYSRAKENNE		

	4221	Betonirakenteet päällysrakenteessa		
	4221.1	Muotit	563	m2tr
	4221.2	Raudoitteet	47329	kg
	4221.3	Jänneraudoitteet	8097	kg
	4221.4	Betoni	311	m3trr
	4226	Päällysrakenteen pintojen verhous		
	4226.5	Betonipintojen impregnointi	271	m2tr
	4230	SILLAN KANNEN PINTARAKENTEET		
	4231	Eristys		
	4231.1	Eristysalustan hiekkapuhallus	116,0	kan-m2
	4231.2	Epoksitiivistys	116	m2tr
	4231.3	Kermieristys	132	kan-m2
	4231.6	Maanvastaisten pintojen eristys (2-kert.)	174	m2tr
	4231.8	Sääsuoja eristämistä varten	256	m2tr
	4232	Eristyksen suojaus		
	4232.3	Suojakerros betonista	116	kan-m2
	4240	SILLAN VARUSTEET JA LAITTEET		
	4241	Liikuntasaumat		
	4241.1	Liikuntasaumalaitteet		mtr
	4242	Laakerit ja nivelet		
	4242.11	Kumilevylaakerit		kpl
	4244	Siirtymälaatat		
	4244.1	Paikalla valetut siirtymälaatat	26	m3trr
	4245	Suojalaitteet		
	4245.12	Teräskaitteet	75	mtr
	4246	Sillan maadoitus	1	kpl
	4248	Kuivatuslaitteet		
	4248.1	Tippuputket	25	kpl
	4248.2	PINTAVESIPUTKET		kpl
	4248.21	Kannen pintavesiputket	4	kpl
	4248.22	Pitkät pintavesiputket	4	kpl
	4248.4	Kannen salaoja	59	mtr
	4248.5	PINTAVESIEN VIEMÄRÖINTI		

	4248.52	Pintavesien viemäröinti kaivolla ja putkella	4	kpl
	4249	Muut sillan varusteet ja laitteet		
	4249.1	Panostilat, -putket ja -kiinnikkeet	4	kpl
	4249.2	Kontaktitapit	14	kpl
	4249.22	Tarkkailutapit	6	kpl
	4249.4	Sähköistyksen putkitukset	148	mtr
5500 Työmaan kalusto	5520	TELINEET		
	5520:3	Sillan päällysrakenteen telineet	253	kan-m2