

SAVONIA

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SILTOJEN MÄÄRÄ- JA ALUSTAVA KUSTANNUSARVIOLASKENTA PARAMETRISTA MALLINTAMISTA HYÖDYNTÄEN

TEKIJÄ Lari Kontio

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Tutkinto-ohjelma Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Lari Kontio			
Työn nimi Siltöjen määrä- ja alustava kustannusarviolaskenta parametrissa mallintamista hyödyntäen			
Päiväys	22.5.2024	Sivumäärä/Liitteet	35/17
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sweco Finland Oy			
Tiivistelmä Työn tavoitteena oli tuottaa tilaajalle parametriseen mallintamiseen perustuva työkalu, jonka avulla siltöjen esi-, yleis- ja siltasuunnitteluvaiheen tietomalleista saadaan laskettua rakennusosien materiaalmäärät ja työkaluun tuotujen hintatietojen avulla voidaan luoda reaaliaikainen alustava kustannusarvio sillan rakennusosille. Alustava kustannusarvio mahdollistaa kustannusvertailun eri siltaratkaisuiden välillä mahdollisimman vaivattomasti. Toisena tavoitteena oli saada vietyä ohjelmassa lasketut määrätiedot ulos määräluettelomuotoon. Lisäksi työkalun käytön helpottamiseksi luotiin käyttöohjeet, joissa kuvataan työkalun sisältöä ja lähtötietojen määrittämistä. Opinnäytetyön tilaajana toimi Sweco Finland Oy. Työssä käytetyt ohjelmat olivat Rhinoceros 3D-mallinnusohjelma sekä sen visuaalinen ohjelmointialusta lisäosa Grasshopper, joka mahdollistaa parametrisen suunnittelun käytön tietomallinnuksessa. Rakennusosien geometrioista laskettiin tarvittavat tilavuus- ja mittatiedot materiaalien määrälaskentaa varten. Alustavaa kustannusarviota varten tarvittavat hintatiedot tuotiin ohjelmaan Fore-kustannushallintajärjestelmästä. Tuloksena saatiin kehitettyä eri siltatyypeille toimiva määrälaskenta ja alustava kustannusarviotyökalu ja käyttöohjeet. Tarvittavat lähtötiedot saatuaan työkalu osaa itsenäisesti laskea rakennusosien materiaalmäärät, mikä nopeuttaa kustannusarvion määrittämistä huomattavasti verrattuna käsin suunnitelmista laskettuihin kustannusarvioihin. Kustannusarvio päivittyy automaattisesti, kun tietomallia päivitetään. Työkalusta saatua alustavaa kustannusarvioita vertailtiin saman sillan käsin laskettuihin materiaalmääriin ja kustannusarvioon. Vertailun tuloksista selvisi, että työkalu saa muodostettua tilaajan tarkkuuskriteerit täyttävän kustannusarvion.			
Avainsanat Silta, määrälaskenta, kustannuslaskenta, mallintaminen, parametrinen suunnittelu			

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Civil Engineering	
Author Lari Kontio	
Title of Thesis Utilization of Parametric Modelling for Quantity and Preliminary Cost Assessment of Bridges	
Date May 22, 2024	Pages/Appendices 35/17
Client Organisation /Partners Sweco Finland Oy	
<p>Abstract</p> <p>The objective of this thesis was to produce a parametric modeling-based tool for the principal that enables the calculation of material quantities for bridge components during the preliminary, general, and detailed design phases. By incorporating price information into the tool, it facilitates the creation of a real-time preliminary cost estimate for the bridge components. This preliminary cost estimate allows for an effortless cost comparison between different bridge solutions. A secondary goal was to export the calculated quantity data into a bill of quantities format. To simplify the use of the tool, user manuals were created to describe its content and the definition of input data. The commissioning party for the thesis was Sweco Finland Oy.</p> <p>The software utilized in this work were Rhinoceros 3D modeling program and its visual programming platform add-on Grasshopper, which enables the use of parametric design in information modeling. Necessary volume and dimension data for the calculation of material quantities were derived from the geometries of the construction components. Price data required for the preliminary cost estimation were imported into the program from the Fore cost management system.</p> <p>As a result, a functioning quantity calculation and preliminary cost estimation tool was developed for various bridge types, along with user manuals. Upon receiving the necessary input data, the tool can independently calculate the material quantities of the construction components, which significantly speeds up the determination of cost estimates compared to manually calculated estimates from designs. The cost estimate updates automatically when the information model is modified. Preliminary cost estimates produced by the tool were compared to manually calculated material quantities and cost estimates for the same bridge. The comparison results showed that the tool can produce a cost estimate that meets the accuracy criteria.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Bridge, quantity surveying, cost accounting, modelling, parametric design</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet	8
1.2	Rajaus.....	8
1.3	Tutkimusmenetelmät.....	9
1.4	Tilaaaja.....	9
2	SILTAKÄSITTEET	10
2.1	Tyypinimike	10
2.2	Vakioituneet päämitat	11
2.3	Sillan päärakenneosat	12
2.4	Suunnitteluvaiheet	13
3	SILTOJEN TIETOMALLINNUS.....	14
3.1	Inframallien tarkkuustaso eri suunnitelmavaiheissa	14
3.1.1	Esisuunnittelu.....	15
3.1.2	Yleissuunnittelu	16
3.1.3	Siltasuunnittelu.....	16
3.1.4	Rakentamissuunnittelu	17
3.2	Rhinoceros 3D ja Grasshopper	17
4	SILTOJEN MÄÄRÄ- JA KUSTANNUSLASKENTA.....	19
4.1	Siltojen määrälaskenta	20
4.2	Siltojen kustannuslaskenta.....	22
4.3	EG Fore-kustannuslaskentajärjestelmä	22
4.4	Infra 2015 rakennusosa- ja hankenimikkeistö	23
5	GRASSHOPPER MÄÄRÄLASKENTA JA KUSTANNUSVERTAILU	24
5.1	Hintatiedot	25
5.2	Lähtötiedot.....	25
5.3	Määrälaskenta rakennusosittain	27
5.4	Kustannusarvio	29
5.5	Määräluettelo.....	30
6	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	32
	LÄHTEET	34

KUVALUETTELO

Kuva 1. Siltatyypit. (Sillat: RIL 179-2018, 46).....	10
Kuva 2. Väyläviraston omistuksessa olevien siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin. (Väyläviraston sillat 31.12.2021, 34)	11
Kuva 3. Sillan pää rakenneosat esitettynä kuvassa. (Sillat: RIL 179-2018, 45).....	12
Kuva 4. Tiehankkeen toteutusvaiheet ja siltsuunnittelun eri vaiheet sen osana. (Sillat: RIL 179-2018, 67) 13	
Kuva 5. Yhdistelmämallin hyödyntäminen suunnittelun aikana. (Yleiset inframallivaatimukset, 17)	15
Kuva 6. Rhinoceros 3D-mallinnusohjelman käyttöliittymä.....	17
Kuva 7. Parametrisen suunnittelun avulla luotu monimuotoinen sillan päällysrakenne geometria Rhinoceros 3D-mallinnusohjelmassa.....	18
Kuva 8. Grasshopper ohjelmointialustassa luotu algoritmi, joka luo kolmiulotteisen geometrian.....	18
Kuva 9. Klusteri ulkopuolelta katsottuna	19
Kuva 10. Klusteri avattuna sisältää parametreja ja komponentteja, jotka suorittavat algoritmia.....	19
Kuva 11. Kaivuiden ja täyttöjen erittely väylä- ja siltsuunnitelman välillä risteyssiltojen osalta. (Sillan määräluettelo 2008, 47).....	20
Kuva 12. Paikalla valetun betonirakenteisen maatuen muottipinta-alat esitettynä tummemmalla värillä. (Sillan määräluettelo, 50)	21
Kuva 13. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen eri suunnitteluvaiheissa. (RIL 179-2018, 115)	22
Kuva 14. Perusosittelun avulla toteutettu hankkeen osittelu. (RT-10-11193)	23
Kuva 15. Esimerkki siltahankkeen nimikkeistön muodostumisesta. (RT-10-11193).....	23
Kuva 16. Työkalun karkea rakenne.....	24
Kuva 17. Hintatieto-algoritmi	25
Kuva 18. Hintatieto-algoritmi lopputulos	25
Kuva 19. Peruslaatan määrälaskentaan tarvittavat parametrit.	26
Kuva 20. Kuvassa algoritmi, joka hakee rakennusosan objektin sille määrätyn tason nimen perusteella.	26
Kuva 21. Paalurakenteet-klusterin sisältö	27
Kuva 22. Peruslaattojen määrälaskenta algoritmi.	27
Kuva 23. Peruslaatan objektin pinnat numeroituna.	28
Kuva 24. Peruslaatan muottipinnat manuaalisesti valittuna numeroinnin perusteella.	28
Kuva 25. Tiesillan pintarakenteet työkalussa.	29
Kuva 26. Kustannusarvio-näkymä.....	29
Kuva 27. Sillan peruslaatan teline- ja muottityöt kustannusarvio.	29
Kuva 28. Peruslaattojen määrätiedon koonti määräluettelo varten.	30
Kuva 29. Määräluettelon luonti algoritmi.	30
Kuva 30. Työkalusta saatava määräluettelo, joka on yhteensopiva Fore-kustannuslaskentajärjestelmän kanssa.	31

Kuva 31. Määrälaskenta ja alustava kustannusarviotyökalu kokonaisuudessaan.	33
----------------------------------------------------------------------------------	----

Käsitteitä

Algoritmi	yksityiskohtainen kuvaus tai ohje, jota seuraamalla tehtävä prosessi tai ongelmanratkaisu suoritetaan.
Attribuutti	tietoa, jolla kuvataan rakennusosa-objektien ominaisuuksia.
IFC	Industry Foundation Classes on yleinen kansainvälinen tiedostomuoto, jota käytetään rakennustietomallintamisen ohjelmissa mahdollistaen tietomallien yhteensopivuuden eri ohjelmistoissa.
Komponentti	Grasshopperissa, visuaalisessa ohjelmointialustassa olevia perusosia, jotka suorittavat jonkin yksittäisen toiminnon.
Parametrinen mallinnus	algoritmiavusteinen tietomallintaminen.
Rakennusosa	rakennuksen tai rakennelman aineellinen osa, jota voidaan pitää käsitteellisesti itsenäisenä.
Tietomalli	3-ulotteinen digitaalinen malli rakennelmasta, jossa esitetään myös rakenteiden ominaisuustietoja.

1 JOHDANTO

Parametrinen suunnittelu eli algoritmiavusteinen suunnittelu tarkoittaa ohjelmoinnin tuomista osaksi suunnitteluprosessia. Parametrien avulla luodut algoritmit automatisoivat ja nopeuttavat suunnittelu-työtä ja se onkin tullut osaksi modernia suunnittelua. Erityisesti rakenteiden tietomallintamisessa apuna käytetty parametrinen suunnittelu poistaa mallintamistyön rutiinomaisia tehtäviä, joka nopeuttaa esimerkiksi vaihtoehtoratkaisuiden suunnittelua, jolloin suunniteltavaa kohdetta voidaan muokata muuttamalla parametreja eikä kaikkia suunnittelun työvaiheita tarvitse tehdä uudelleen. Parametrinen suunnittelu mallintamisen apuna mahdollistaa vaativien geometristen muotojen luomisen, esimerkiksi siltarakenteet ovat keskeisiä käyttökohteita parametrille mallintamiselle, koska niissä esiintyy geometrian monimuotoisuus sekä samanlaisten rakennusosien toistuvuus.

Parametrisella suunnittelun avulla tietomalleista voidaan hyödyntää erinäisiä tietoja kuten rakennusosien mittatietoja määrälaskennan automatisointia varten. Tämän työn aiheen taustana on tilaajan tarve laajentaa parametrisen suunnittelun työkalukirjastoa rakennusosien määrä- ja kustannuslaskentaan sekä kustannusvertailuun liittyen.

1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää tilaajalle parametrilla 3D-mallintamista hyödyntävä työkalu siltasuunnittelun määrä- ja kustannuslaskentaan sekä kustannusvertailuun. Työkalun avulla tietomallinnetuista rakenteista saadaan automaattisesti haettua rakennusosien määrä- ja kustannustietojen määrittämiseen tarvittavia mittatietoja, joiden avulla voidaan tuottaa reaaliaikainen alustava kustannusarvio mallinnetusta siltaratkaisusta kustannuslaskentaohjelmasta tuotujen hintatietojen avulla. Tämä helpottaa eri siltaratkaisuiden kustannusvertailua siltojen suunnitteluvaiheessa ja tukee suunnittelijaa siltaratkaisun valinnassa kustannuksien näkökulmasta.

Toisena tavoitteena oli lisätä työkaluun toiminto, joka kokoaa määrätiedot kustannuslaskentaohjelman kanssa yhteensopivaksi määräluetteloksi. Tämä helpottaa suunnittelijan rutiinityötä määrätietojen kirjaamisessa ja parantaa työn tehokkuutta.

Opinnäytetyössä kehitetty parametrinen suunnittelutyökalu sekä sen käytön ohjeistukseen luotu käyttöohje on tehty vain tilaajan käyttöön eivätkä näin ollen ole jaettavaa materiaalia. Sen vuoksi tässä raportissa niitä ei kokonaisuudessaan esitetä.

1.2 Rajaus

Lopputuotoksen kehittämisessä on hyödynnetty Rhinoceros 3D -mallinnusohjelmaa sekä siihen kehitettyä Grasshopper-visuaalista ohjelmointialustaa, joka mahdollistaa algoritmien luomisen. Lopputuotoksen määrä- ja kustannusarviolaskenta on rajattu koskemaan siltojen esi-, yleis- ja siltasuunnitelmavaiheiden inframalleja. Rakentamissuunnitelmavaiheen määrälaskenta ja kustannusarvio vaativat tarkempaa tarkastelua, kuin mitä tämän opinnäytetyön aikataulu olisi sallinut työkalun kehittämi-

seen. Työkalun kehitystyössä keskitytään teräsbetonisiin siltoihin, koska teräs-, puu- ja kivirakenteiset sillat ovat harvinaisempia eikä niiden kustannusarvionlaskennan automatisoinnille nähty tällä hetkellä tarvetta. Työ on kehitetty siten, että kustannuslaskennassa tarvittavat hintatiedot sekä työkalulla luotava määräluettelo ovat yhteensopivia Fore-kustannuslaskentajärjestelmän kanssa.

1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssä tutkitaan siltojen suunnitteluohjeita sekä kirjallisuutta erityisesti siltojen tietomallintamisen ja määrä- sekä kustannuslaskentaan liittyen. Grasshopper-visuaalisen ohjelmointialustan toimintaa algoritmien luomisessa tutkitaan, jotta algoritmeista saataisiin mahdollisimman varmatoimisia. Fore-kustannuslaskentajärjestelmän rakennusosalaskenta osion toimintaan ja käyttöön perehdytään erityisesti rakennusosa hintatietojen sekä määrätietojen raportoinnin osalta.

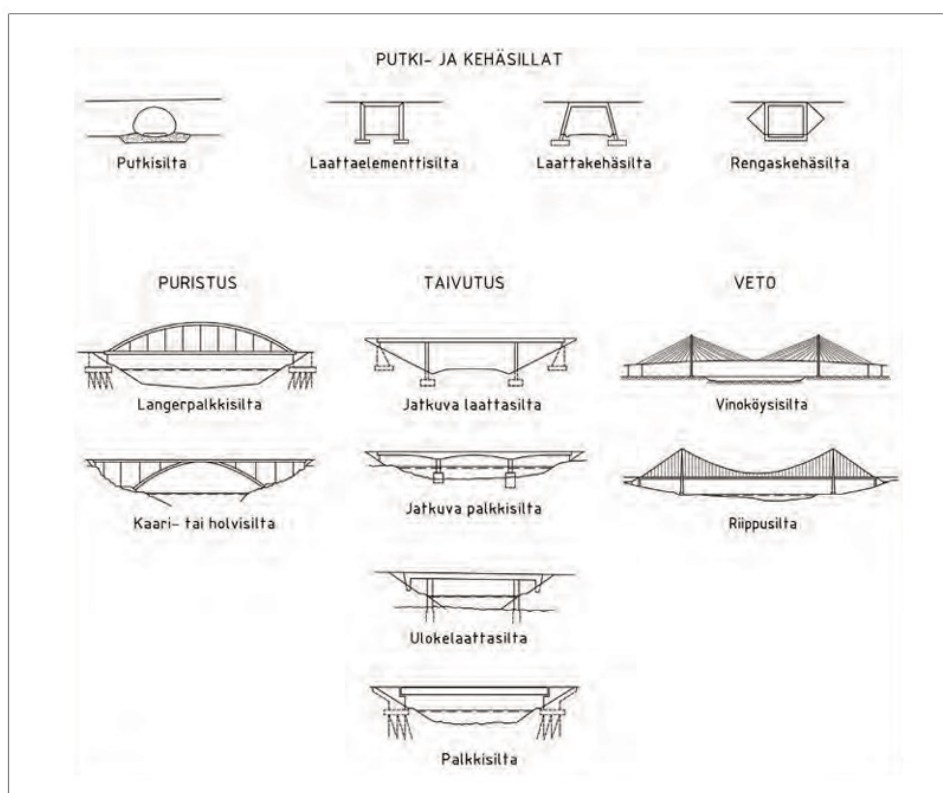
1.4 Tilaaja

Työn tilaajana toimii Sweco Finland Oy. Yritys tuottaa rakennetun ympäristön ja teollisuuden asiantuntijapalveluita useilla eri aloilla mukaan lukien Infra ja liikenne -toimiala, jonka alaisuudessa toimivalle Sillat ja taitorakenteet -yksikölle opinnäytetyö tehdään. Asiantuntijoita Swecolla on tällä hetkellä yhteensä noin 22000 joista noin 3000 työskentelee Suomessa. (Sweco 2024.)

2 SILTAKÄSITTEET

Silta on taitorakenne, joka johtaa ajoneuvo-, juna-, henkilö- tai muun liikenteen esteen yli. Sillaksi kutsutaan rakennetta, jonka vapaa-aukko on vähintään 2 metriä. Rinnakkaiset rakenteet katsotaan yhdeksi sillaksi, jos niillä ei ole ajoratojen keskellä omia reunapalkkeja. Kahdella eri sillalla voi olla yhteiset maa- ja välituet.

Taitorakenteeksi luokitellaan rakenteet, joiden rakenteellinen vaurioituminen saattaa aiheuttaa vaaraa ihmisille, liikennejärjestelmälle tai aiheuttaa merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai sen välittömälle ympäristölle. Siltarakenteet jaotellaan eri siltatyyppeihin sen kantavan rakenteen ja staattisen toimintatavan perusteella. Käytetyt siltatyypit esitetty alla olevassa kuvassa (kuva 1). (Sillat: RIL 179-2018, 39)



Kuva 1. Siltatyypit. (Sillat: RIL 179-2018, 46)

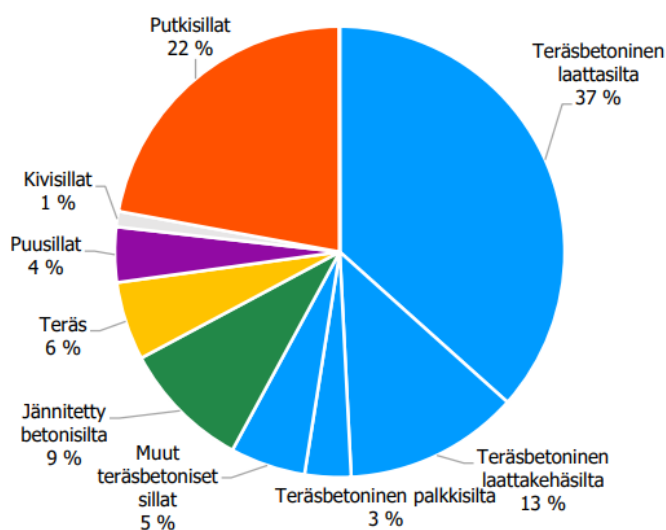
2.1 Tyypinimike

Siltatyyppeihin jaottelun lisäksi silloille nimetään tyypinimike, jolla kuvataan pääsääntöisesti sillan pääkannattimen rakennusainetta, staattista toimintaa, pääkannattimen tyyppiä tai muuta siltaa kuvaavaa määritettä. Tyypinimikkeet jaetaan rakennusaineiden mukaan teräsbetoniin, jännitettyyn betoniin, teräkseen, puuhun sekä kiveen. Tyypinimikkeille on annettu myös kirjainlyhenteet. (Sillat: RIL 179-2018, 40)

Esimerkkejä sillan tyyppinimikkeistä ja niiden lyhenteistä:

- Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul)
- Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk)
- Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta (jBjp)
- Teräksinen putkisilta (Tputki)

Yleisin pääkannattimien rakennusaine Suomessa on betoni. Väyläviraston omistuksessa olevista silloista noin 65 % on betonirakenteisia vuoden 2021 tilastojen mukaan. (Väyläviraston sillat 31.12.2021, 34)



Kuva 2. Väyläviraston omistuksessa olevien siltojen lukumäärien jakauma siltatyypeittäin. (Väyläviraston sillat 31.12.2021, 34)

2.2 Vakioituneet päämitat

Siltojen suunnittelussa käytetään vakioituneita mittakäsitteitä, joita voidaan kutsua sillan päämittoiksi. Näihin mittoihin kuuluu muun muassa kokonaismittoja, liikenneteknisiä mittoja, korkeuksia, kulmia ja etäisyyksiä. Alla esitetty sillan päämittojen mittakäsitteitä, joita käytetään määrälaskennan parissa.

Sillan hyödyllinen leveys (HI) on sillan kaiteiden pienin mitattu väli, yleensä kaidejohteesta toisen puolen kaidejohteeseen.

Jännemitta on sillan keskilinjaa pitkin mitattu kahden peräkkäisen tukilinjan välinen etäisyys.

Sillan rakennekorkeudella tarkoitetaan tasausviivan (Tsv) ja kantavan rakenteen alapinnan välistä korkeuseroa.

Sillan kokonaispituus (L) on siipimuurien äärimmäisten päiden välinen etäisyys. Etäisyyden ollessa eripituinen sillan kulkusuunnan eri puolilla kokonaispituudeksi määritellään edellä mainittujen etäisyyksien keskiarvo. (Sillat: RIL 179-2018, 40)

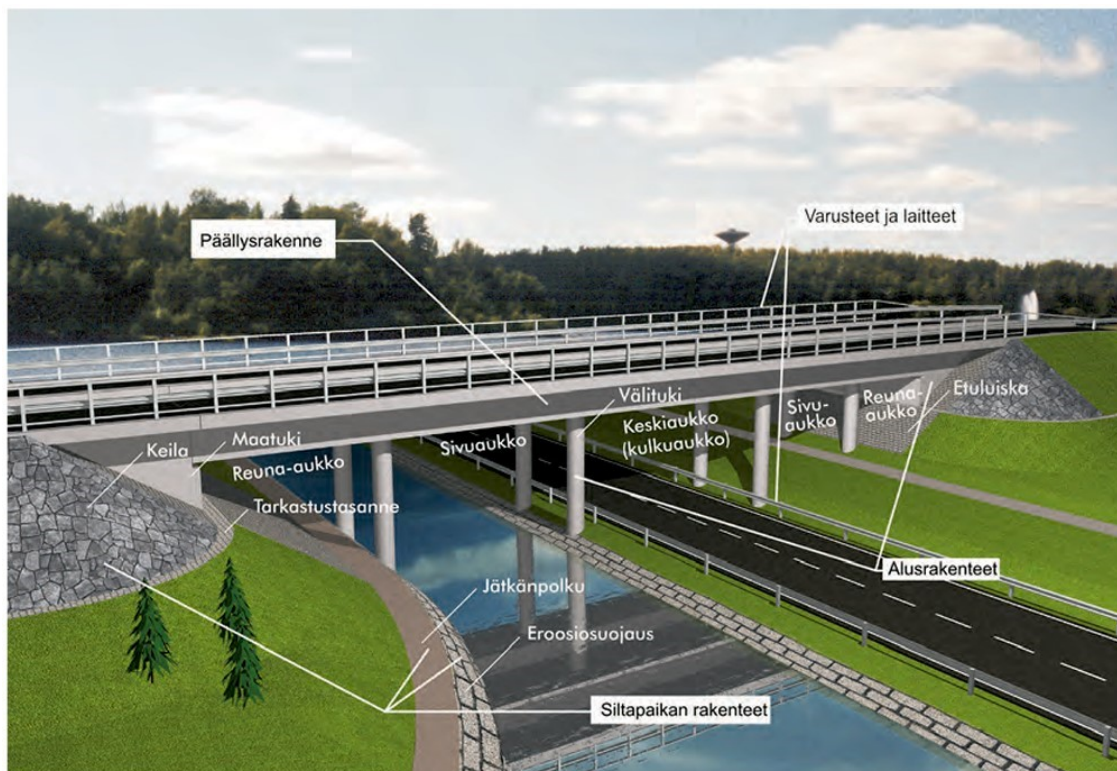
2.3 Sillan pääraakenneosat

Sillan rakenneosat ovat jaettu seuraaviin pääraakenneosiin:

- Alusrakenne
- Päällysrakenne
- Varusteet ja laitteet
- Siltapaikan rakenteet

Alusrakenne siirtää sillalle kohdistuvat kuormat maakerrokseen tai kallioon. Alusrakenteisiin luokitellaan sillan rakenteet, jotka kannattelevat päällysrakennetta. Alusrakenteisiin kuuluvat yleisesti tukirakenteet, joita ovat maa- sekä välituet. Myös perustuksiin kuuluvat paalut, tukiseinät ja muurit kuuluvat alusrakenteisiin. Päällysrakenne on sillan rakenne, joka siirtää sille kohdistuvat liikennekuormat sekä rakenteen omapainon alusrakenteille. Päällysrakenteiksi lasketaan sillan pääkannatin ja pintarakenteet. (Sillat: RIL 179-2018, 44)

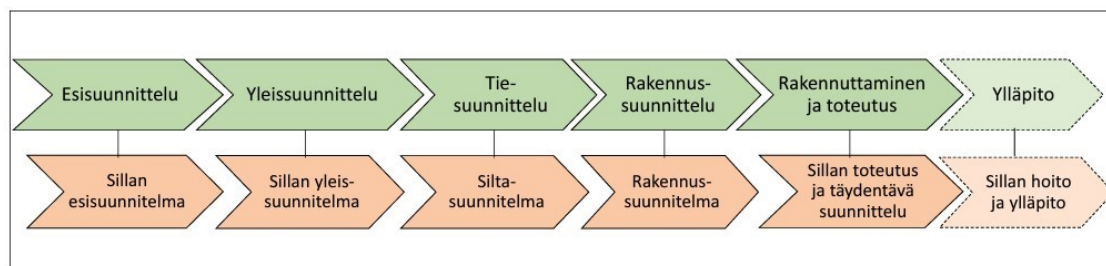
Varusteet ja laitteet -osioon kuuluvat rakenteet, jotka ovat yleensä kiinteästi siltarakenteissa ja vaikuttavat sillan toimintaan, turvallisuuteen tai käyttöikään. Siirtymälaatat, kaiteet, kosketus-suojaseinät, laakerit, liikuntasaumalaitteet sekä valaisimet ovat yleisiä rakenteita, jotka luokitellaan varusteet ja laitteet -osioon. Siltapaikan rakenteet koostuvat rakenteista, jotka ovat siltapaikan läheisyydessä ja vaikuttaa siltapaikan kuivatukseen, turvallisuuteen ja käyttöikään. Esimerkkinä rakenteet kuten luiskat, sadevesikourut, kaivot, pengerkaiteet sekä portaat. (Sillat: RIL 179-2018, 44)



Kuva 3. Sillan pääraakenneosat esitettynä kuvassa. (Sillat: RIL 179-2018, 45)

2.4 Suunnitteluvaiheet

Siltasuunnittelu jaetaan päävaiheisiin, jotka ovat esisuunnittelu, yleissuunnittelu, siltasuunnitelma ja rakentamissuunnittelu. (Siltojen suunnitelmat 2000, 9)



Kuva 4. Tiehankkeen toteutusvaiheet ja siltasuunnittelun eri vaiheet sen osana. (Sillat: RIL 179-2018, 67)

Esisuunnitteluvaiheessa hankkeen lähtökohdat ja viranomaistiedot inventoidaan. Selvitetään väylien linjausvaihtoehtojen kannattavuus ja siltayhteysvaihtoehdot, toteutusmahdollisuudet ja niiden vaikutukset selvitetään likimääräisesti sekä kustannusvaikutukset arvioidaan. (Sillat: RIL 179-2018, 68; Siltojen suunnitelmat 2000, 10)

Yleissuunnitteluvaiheessa tutkitaan sopivia siltavaihtoehtoja esisuunnittelussa tehtyjen lähtötietojen pohjalta merkittävässä kohteissa. Edellä mainittujen siltavaihtoehtojen alustavat perustamistavat määritellään alustavien pohjatutkimuksien tulosten perusteella. Hankkeen siltojen osalta tehdään ympäristö-, maisema-, kulttuuri- ja suojeluarvojen määritykset. Suunnitteluvaiheen tuloksista laaditaan alustavat pääpiirustukset, suunnitelmaselostus, alustavat kustannusarviot sekä suositus jatko-suunnittelusta. (Sillat: RIL 179-2018, 68; Siltojen suunnitelmat 2000, 11)

Siltasuunnitelma laaditaan tie-, katu- tai ratasuunnitelmavaiheen yhteydessä. Silloille haetaan tässä vaiheessa vesilain mukainen lupa ja asianomaisen kunnan hyväksyntä. Aikaisemmissa vaiheissa tutkituista vaihtoehdoista valitaan yksi suunnitelma, joka antaa parhaat edellytykset liikenteen ja vesistön vaatimuksille. Kokonaistaloudellisin vaihtoehto, joka ottaa huomioon hankkeen ominaispiirteet. Vaihtoehtovertailu toteutetaan vertailemalla sillan pituutta ja jänneväliä sekä siltatyyppejä luonnosmalleja sekä -piirustuksia apuna käyttäen. Vaihtoehtovalinnassa tehdään myös kustannusvertailua vaihtoehtojen välillä. Valitun suunnitelmavaihtoehdon rakenteista tehdään alustavat rakennelaskelmat, jotta jatkosuunnittelussa sillan kustannuksiin ei tule merkittäviä muutoksia rakenteiden päämittojen osalta. Sillan perustamisratkaisusta tehdään alustavat mitoitus ja ne määritellään siten, että ne ovat toteuttamiskelpoiset ja taloudelliset. (Siltojen suunnitelmat 2000, 12)

Suunnitteluvaiheen tuloksista laaditaan pääpiirustus, joka vaaditaan vesilain mukaista lupaa tai tie-, katu- tai ratasuunnitelmaa varten. Siltarakenteista laaditaan määräluettelo, jonka perusteella tehdään kustannusarvio. (Siltojen suunnitelmat 2000, 12)

Rakentamissuunnitteluvaiheessa siltarakenteesta tehdään lopulliset suunnitelmat, joiden perusteella silta voidaan rakentaa siltapaikalle. Sillan rakentamissuunnittelusta laaditaan yleispiirustus, rakennepiirustukset, siltakohtaiset laatuvaatimukset, määräluettelo, kustannusarvio, työtapahdotukset, erityisrakenteiden suunnitelmat sekä riskitarkastus. (Sillat: RIL 179-2018, 71)

3 SILTOJEN TIETOMALLINNUS

Tietomalli eli BIM (Building Information Modeling) on digitaalinen kolmiulotteinen suunnitelma rakennelmasta, johon voidaan sisällyttää ominaisuustietoja. Tietomallien avulla voidaan parantaa suunnitteluhankkeiden sisäistä tiedonsiirtoa esimerkiksi hankkeen eri suunnittelualojen tuotoksien yhteensopivuutta törmäystarkastelun muodossa. Etuna tietomalleissa on myös muun muassa materiaalimenekkien tarkentuminen 2d-suunnitelmista laskettujen materiaalimenekkeihin verrattuna, jonka avulla voidaan saavuttaa säästöjä hankkeen kustannuksissa. Nykyaikana siltojen suunnittelussa lähtökohtana on, että suunnittelu toteutetaan mallipohjaisesti. (Väylävirasto 2020)

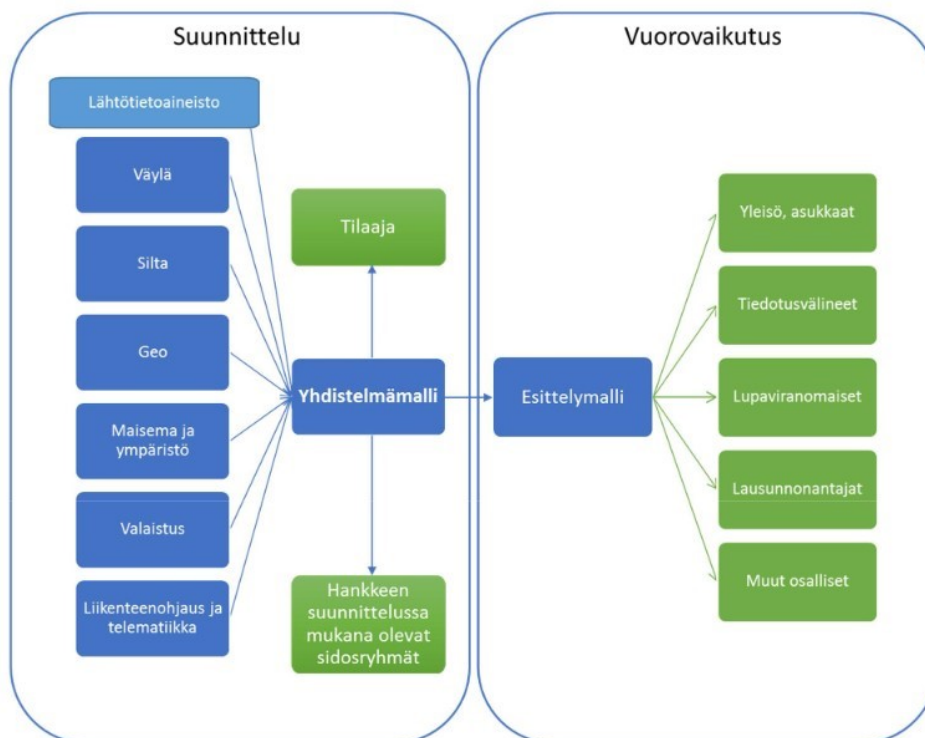
Parametrinen mallinnus tarkoittaa kolmiulotteista mallintamista, jossa käytetään apuna visuaalista ohjelmointiympäristöä, joka on yhdistetty mallinnusohjelmaan. Visuaalisessa ohjelmointiympäristössä ohjelmointiin tarvittavia komentoja ei tarvitse tuottaa tekstillä, vaan ympäristöön on luotu komponentteja, jotka suorittavat tietyn toiminnon. Tämän avulla ohjelmointi on helpommin opeteltavissa sekä ymmärrettävissä.

Infran uudiskohteiden suunnittelussa tietomallintaminen on vakiintunut suunnittelutapa. Sillan suunnittelussa tuotetusta tietomallista puhutaan nimellä sillan inframalli. Siltapaikan inframalli nimityksellä tarkoitetaan tietomallipohjaista kokonaisuutta siltapaikkaan sisältyvistä suunnitelmista, johon sisältyy tarvittava lähtötietoaineisto sekä siltapaikkaan liittyvät inframallit. Sillan inframallien tuottamisessa on määritetty Väyläviraston toimesta vaatimukset tietomalliin sisällytettävästä suunnitelmatiedosta eri suunnitteluvaiheissa. Sillan inframalleja voidaan hyödyntää hankkeen eri osapuolien tarpeiden mukaisesti esimerkiksi työpiirustuksiin ja visualisointeihin. Tarvittaessa inframallista saadaan tuotettua dokumentteja kuten piirustuksia, luetteloita sekä raportteja. (Siltojen inframalliohje, 14)

3.1 Inframallien tarkkuustaso eri suunnitelmavaiheissa

Inframalleihin sisältyvissä tiedoissa on eri vaatimukset riippuen suunnitelmavaiheesta, kuitenkin kaikissa suunnitelmavaiheiden malleissa rakenneosien nimeäminen tulee olla taitorakennerekisterin mukainen. Rakenneosien tieto tulee olla selkeästi eroteltu omiksi kokonaisuuksiksi. Rakenneosien tiedot lisätään IFC-tiedostoihin attribuuttitietona. Lisättävät rakenneosien tiedot ovat yleisesti rakenteen osan nimi-, materiaali- sekä mittatietoja. (Siltojen inframalliohje, 27)

Jokaisessa suunnitteluvaiheessa mallinnetuista rakenteista tuotetaan yhdistelmämalli, jossa suunnitteluratkaisuja voidaan tarkastella laajemmasta näkökulmasta. Minimivaatimus siltojen osalta on siltapaikan laajuus. Hankkeissa siltojen inframallit voidaan yhdistää muiden suunnittelualojen suunnitelmien kanssa, jolloin ne ovat osa laajempaa kokonaisuutta. (Siltojen inframalliohje, 26)



Kuva 5. Yhdistelmämallin hyödyntäminen suunnittelun aikana. (Yleiset inframallivaatimukset, 17)

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheen vaaditaan vähintään maasto-, väylän pinta-, sillan pinta- sekä yhdistelmämalli. Siltasuunnittelussa vaadittavat mallit ovat nykytila-aineisto, edellisen suunnitteluvaiheen mallit, liittyvien tekniikalajien mallit, sillan inframalli sekä yhdistelmämalli. Rakentamissuunnitteluvaiheessa vaaditaan siltasuunnittelussa vaadittujen mallien lisäksi sillan siirtomalli. (Siltojen inframalliohje, 32)

3.1.1 Esisuunnittelu

Esisuunnitteluvaiheessa mallien käyttötarkoituksena on tehdä luonnostelua rakenteista, jolla voidaan vertailla rakenteiden sopivuutta ympäristöön, liikenneväyläehtoihin sekä olemassa oleviin rakennuksiin. Riittävä tarkkuus siltapaikan osalta on rakennusosien näkyvät pinnat. (Siltojen inframalliohje, 27).

Sillan inframalliin sisältövaatimukset esisuunnitteluvaiheessa:

- Hanke-, kohde- ja suunnittelijatiedot.
- Rakennusosien materiaalitieto.
- Vaaditut immateriaalitiedot ovat tukilinjat, hyödyllinen leveys ja aukko vaatimukset.
- Alus- ja päällysrakenteet näkyvät pinnat.
- Pintarakenteesta ylimmän pinnan mukaisesti.
- Varusteista ja laitteista vain kaiteet.
- Siltapaikan rakenteista maastorakenteet näkyviltä osin (luiskat, keilat ja siltaan liittyvät väylät ja niiden luiskat).

3.1.2 Yleissuunnittelu

Yleissuunnitelmavaiheessa mallia hyödynnetään suunnitelmien ymmärrettävyyden lisäämiseksi. Vaiheessa käydään vuorovaikutusta hankkeen eri osapuolten kanssa ja tarkastellaan suunnitelmien sopivuutta eri suunnittelualojen suunnitelmien kanssa, jotta hankkeelle saataisiin laaja yleinen hyväksyttävyys. Suunnitteluvaihtoehdoista tehdään tarkastelua olemassa oleviin rakenteisiin ja muiden tekniikkalajien suunnitelmiin mallin avulla. (Väyläviraston inframallivaatimukset, 32; Siltojen inframalliohje, 29)

Inframallin sisältövaatimukset yleissuunnitteluvaiheessa:

- Hanke-, kohde- ja suunnittelijatiedot.
- Rakenneosien materiaalitiedot.
- Vaaditut immateriaalitiedot ovat liikennetekniset mitat, aukko vaatimukset, väyliä mittalinjat, tukilinjat sekä pääpisteet.
- Alus- ja päällysrakenteista mallinnetaan näkyvät pinnat.
- Pintarakenteet ylimmän pinnan tai kokonaispaksuuden mukaan.
- Varusteista ja laitteista vain kaiteet.
- Siltapaikan rakenteista näkyvät maastorakenteet (luiskat, keilat ja siltaan liittyvät väylät ja niiden luiskat).

3.1.3 Siltasuunnittelu

Siltasuunnitteluvaiheessa perinteisesti laaditaan pääpiirustukset suunnitelmista, joten myös sillan inframalli sisältövaatimukset vastaavat pääpiirustuksien sisältövaatimuksia. Pääpiirustuksissa esitetään sillan ulkonäkö, rakenteet, päämitat ja siltarakenteiden sovittaminen ympäristöön. (Siltojen inframalliohje, 30)

Inframallin sisältövaatimukset siltasuunnitteluvaiheessa:

- Hanke- kohde- ja suunnittelijatiedot.
- Rakenneosien materiaali sekä tilavuustiedot.
- Raudoituksien arvioitu määrätieto (raudoitus-kg/m³).
- Jänteiden arvioitu määrätieto (raudoitus-kg/m³).
- Rakenteiden pintamateriaali attribuuttitietona.
- Alus- ja päällysrakenteet kokonaisuudessaan.
- Pintarakenteet ylimmän pinnan tai kokonaispaksuuden mukaan.
- Varusteista ja laitteista merkittävimmät varusteet.
- Siltapaikan rakenteista maastorakenteet näkyvin osin (luiskat, keilat ja siltaan liittyvät väylät ja niiden luiskat) sekä merkittävimmät pinnan alle jäävät rakenteet.

3.1.4 Rakentamissuunnittelu

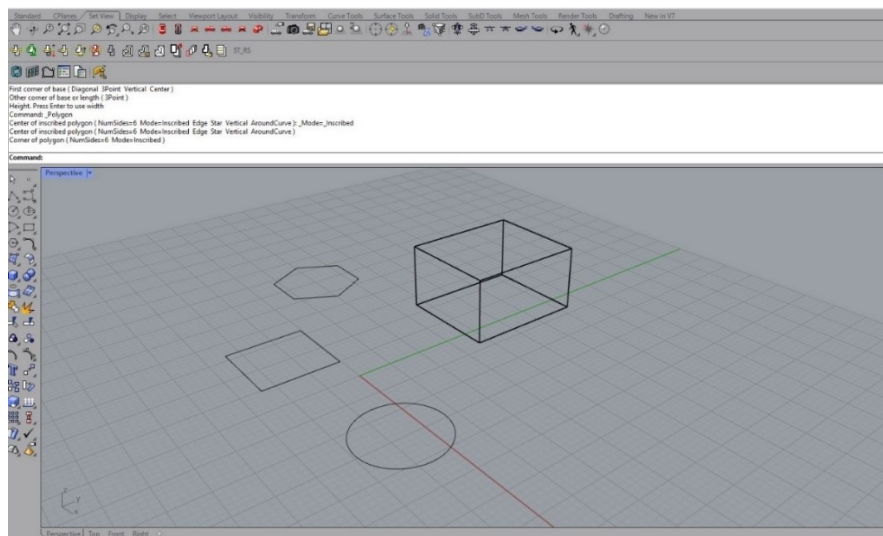
Rakentamissuunnitteluvaiheessa silta mallinetaan kokonaisuudessaan ja mallin tulee olla mittatarkka. Sillan inframallin lisäksi tilaajalle laaditaan siirtomalli. Hankkeiden tarpeen vaatiessa edellä mainittujen mallien lisäksi voidaan tuottaa toteutusta varten malleja kuten konepaja-, raudoite sekä mittamalli. (Siltojen inframalliohje, 32)

Inframallin sisältövaatimukset rakentamissuunnitteluvaiheessa:

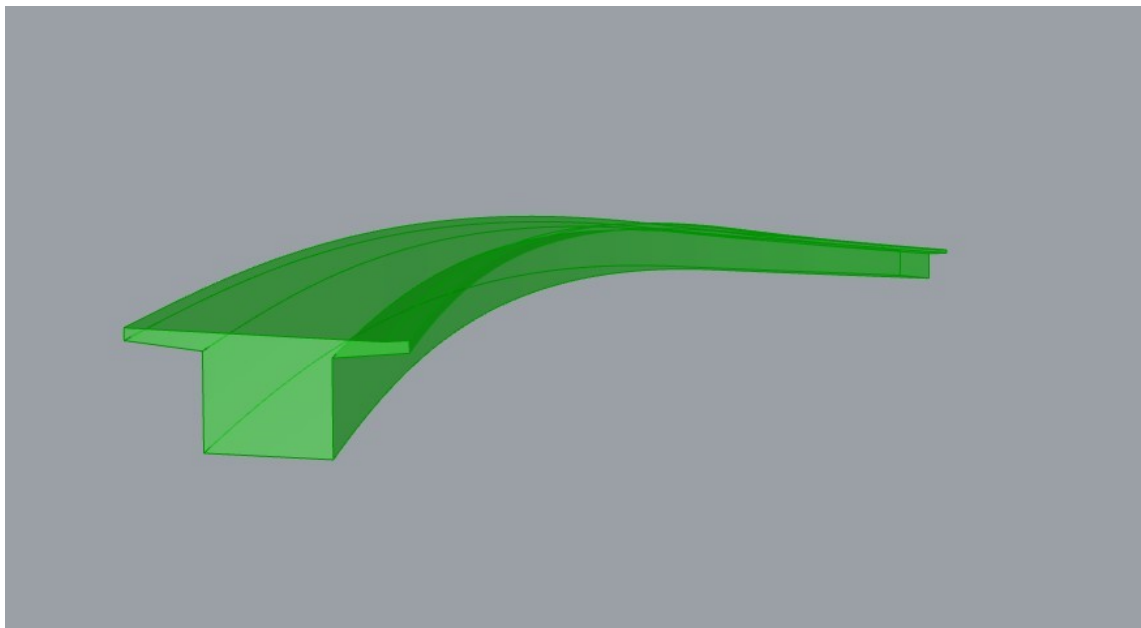
- Perustiedot lisätään Taitorakennerekisterin vaatimusten mukaisesti.
- Rakenneosien kaikki Taitorakennerekisterin vaatimusten mukaiset tiedot.
- Raudoitukset mallinetaan kokonaisuudessaan.
- Jänteistä mallinetaan suojaputket, jänneteräkset, jännemenetelmän mukaiset lisäraudoitukset sekä ankkurikappaleet.
- Immateriaalitiedot mallinetaan kokonaisuudessaan.
- Pintojen maalaus ja suojaustiedot lisätään rakenneosille attribuuttitietona.
- Alus-, päällyys- ja pintarakenteet mallinetaan kokonaisuudessaan.
- Varusteet ja laitteet sekä siltapaikan rakenteet mallinetaan kokonaisuudessaan.
- Myös osat, jotka eivät kuulu oletusrakenneosaryhmään mallinetaan kokonaisuudessaan.

3.2 Rhinoceros 3D ja Grasshopper

Rhinoceros 3D puhekielessä Rhino on Robert McNeel & Associates -yrityksen luoma 3D-mallinnusohjelma. NURBS (Non-Uniform Rational Basis Splines) -pintamallinnustekniikkaa käyttävällä ohjelmalla voidaan luoda vapaamuotoisia kolmiulotteisia geometrioita. Ohjelma on yhteensopiva monen mallinnusohjelmiston kanssa sekä siihen on saatavilla laaja valikoima lisäosia. Yksi lisäosista on Grasshopper, jonka avulla Rhino-ohjelmistolla voidaan tuottaa malleja parametrasta suunnittelua apuna käyttäen. Toisena esimerkkinä VisualARQ-niminen BIM-ohjelmisto, jolla voidaan esimerkiksi tuottaa IFC-malleja Rhino-ohjelmiston malleista. (Sawant 2021)

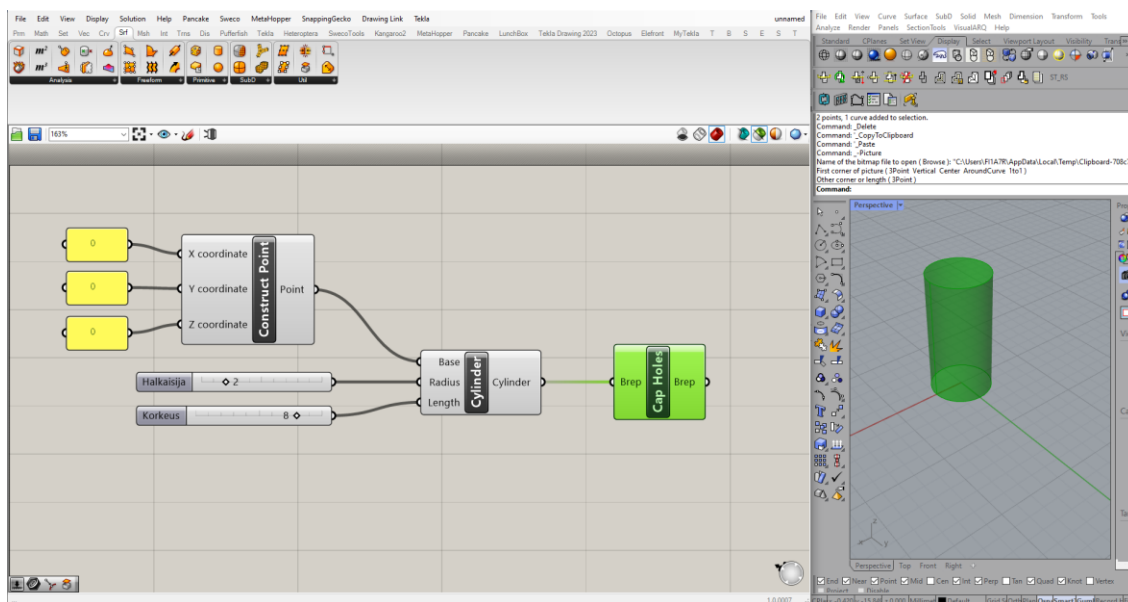


Kuva 6. Rhinoceros 3D-mallinnusohjelman käyttöliittymä



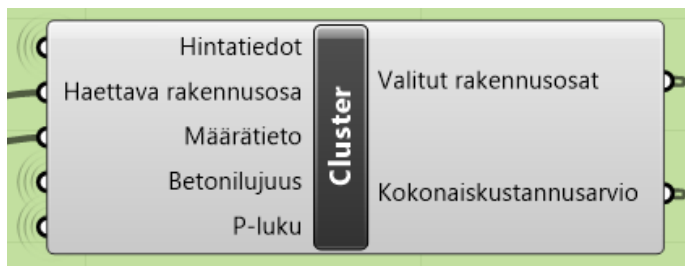
Kuva 7. Parametrisen suunnittelun avulla luotu monimuotoinen sillan päällysrakenne geometria Rhinoceros 3D-mallinnusohjelmassa.

Grasshopper on Rhinoceros 3D ohjelmiston visuaalinen ohjelmointialusta lisäosa. Lisäosalla mahdollistetaan parametrinen suunnittelu kolmiulotteisessa mallintamisessa. Alustassa suoritetaan algoritmeja parametrien sekä erilaisten komponenttien avulla.

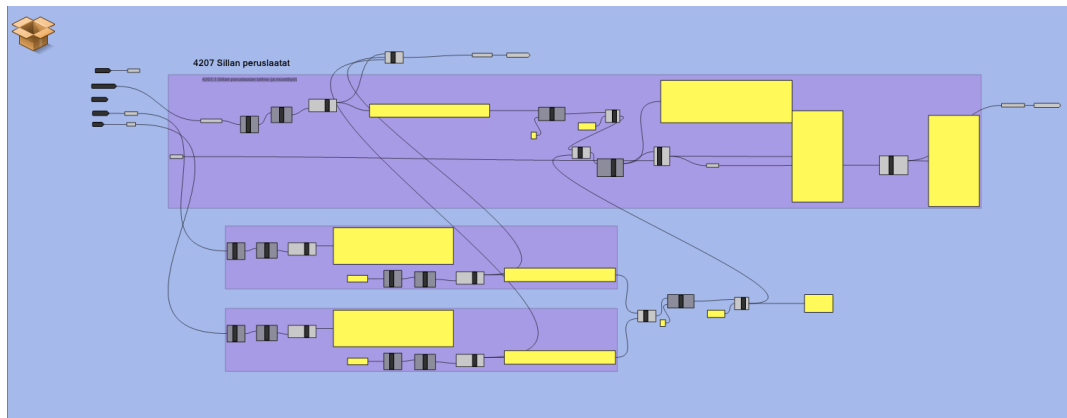


Kuva 8. Grasshopper ohjelmointialustassa luotu algoritmi, joka luo kolmiulotteisen geometrian.

Alustassa algoritmit voi myös pakata kansioihin, joita kutsutaan nimellä klusteri. Tässä työssä klustereita on käytetty ulkonäön ja ymmärrettävyyden parantamiseksi. Klustereita voidaan myös kopioida ja ne voivat linkittyä toisiinsa, jolloin yhden klusterin sisällön muokkaaminen päivittää kaikki yhdistetyt klusterit.



Kuva 9. Klusteri ulkopuolelta katsottuna



Kuva 10. Klusteri avattuna sisältää parametreja ja komponentteja, jotka suorittavat algoritmia.

Grasshopper on myös mahdollista yhdistää muihin tietomallintamishjelmiin. Esimerkiksi Trimblen kehittämään Tekla Structures 3D-tietomallinnusohjelmaan on saatavilla lisäosa, jolla ohjelmat saadaan linkitettyä toimimaan yhdessä.

4 SILTOJEN MÄÄRÄ- JA KUSTANNUSLASKENTA

Siltojen jokaisessa suunnitteluvaiheessa tehdään määrä- sekä kustannuslaskentaa hankkeen kustannusarvion selvittämiseksi. Kustannusarviolla on ohjaava vaikutus suunnitteluratkaisuiden valintaan. Siltapaikalle määriteltävän siltatyypin valinta perustuu yleensä sillan ja väylän kokonaisrakennuskustannusten optimointiin. Erilaisten siltaratkaisuiden kantavien rakenteiden rakenteellista tehokkuutta vertailemalla ja niiden vaikutusta väylien rakennuskustannuksiin vertailemalla, saadaan kustannusten optimointi toteutettua. Perustamistapa, joka valitaan perustamisolosuhteisiin sopivaksi voi vaikuttaa merkittävästi rakennuskustannuksiin. Poikkeuksellinen geometria sillassa tuo lisäkustannuksia vaikean rakennettavuuden vuoksi. Sillan ylläpitokustannukset voivat tuoda lisäkustannuksia muun muassa liikuntasauvojen ja laakereiden huoltotoimenpiteillä. (Sillat: RIL 179-2018, 46)

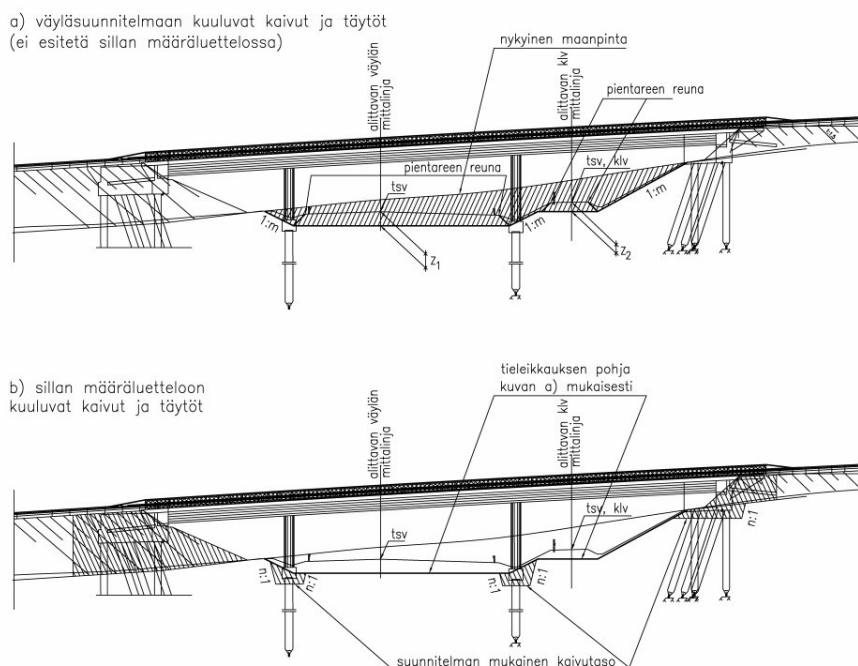
4.1 Siltojen määrälaskenta

Siltojen määrälaskennassa lasketaan suunnitelmissa esitettyjen rakennusosien teoreettiset materiaalmäärät, joiden perusteella sillan kustannusarvio määräytyy. Nykyään määrälaskenta perustuu pääasiassa tietomalliaineistosta laskettuihin määrätietoihin, sillä tietomallista saatavat määrätiedot ovat tarkempia kuin suunnitelmadokumenteista manuaalisesti lasketut määrätiedot.

Siltojen määräluettelossa esitetään sillan rakennusosiin kuuluvat varsinaiset rakenteet, peruskuoppien kaivut ja täytöt, perustusten paalutukset sekä siltaan liittyvät sähkö- ja konetekniset työt. Sillan rakenteisiin luokitellaan siltaa varten suunnitellut tai kiinteästi sillan rakenteissa olevat varusteet ja laitteet. Muut rakennusosien määrät siltapaikan ulkopuolella tai läheisyydessä, kuten penkereet, lasketaan erillisten sääntöjen mukaan. Määräluettelon laadinnassa käytettävät määramittauksen periaatteet ovat sovittava muiden suunnittelijoiden kanssa yhteisesti, mikäli tapaukset ovat epäselviä. Sillan- ja väylärakenteiden määrälaskenta erotetaan yleisesti piirtämällä viiva sillan mittalinjaa kohtisuoraan siltarakenteiden ulommaisien päiden tai kaivun kohdalle, tyypillisimmin siirtymälaatan tai reunapalkin kulmaan. (Sillan määräluettelo 2008, 14–46)

Sillan päätyjen penkereet ja verhousket sekä siltarakenteilla sijaitsevat väylän päällyste ja päällysrakenteen kerrokset kuuluvat sillan määräluetteloon. Siltojen alapuoliset väylään liittyvät rakenneosat kuuluvat väylärakenteiden määräluetteloon. Tilanne, jossa silta rakennetaan olemassa olevan väylän yli ja väylän rakenneseen tulee muutoksia rakennustöiden vuoksi, kuuluu rakenneseosien palauttaminen alkuperäiseen tilaan sillan määräluetteloon. (Sillan määräluettelo 2008, 47)

Sillan määräluetteloon kuuluvilla kaivuiden ja täyttöjen määrällä tarkoitetaan maa-aineksen teoreettista tilavuutta.

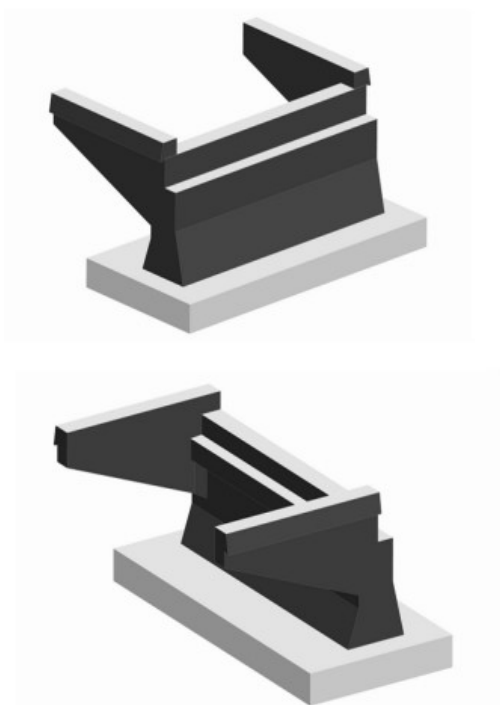


Kuva 11. Kaivuiden ja täyttöjen erittely väylä- ja siltasuunnitelman välillä risteyssiltojen osalta. (Sillan määräluettelo 2008, 47)

Sillan tuki- ja päällysrakenteet voidaan tehdä paikalla rakennettuna tai elementtirakenteisina. Näiden määrätietoja ovat niihin kuuluvat materiaalihankinnat sekä työt.

Sillan tuki- ja päällysrakenteisiin kuuluvat nimikkeet ja niillä tarkoitettava määrä:

- Muotit ja telineet (muottipinta-ala neliömetrit)
- Raudoitteet (rakenteen betoniraudoitteiden teoreettinen määrä ilman työraudoitteita)
- Jänneraudoitteet (jänneraudoitteiden teoreettinen määrä ilman ankkureita ja suojauputkia)
- Betoni (teoreettinen betoninen menekki)
- Betonielementit (elementtirakenteen betonikuutiomäärä)
- Kivirakenteet (teoreettinen kivirakenteen tilavuus)
- Teräsrakenteet (teräsrakenteen kg-määrä)
- Puurakenteet (teoreettinen puurakenteen tilavuus)

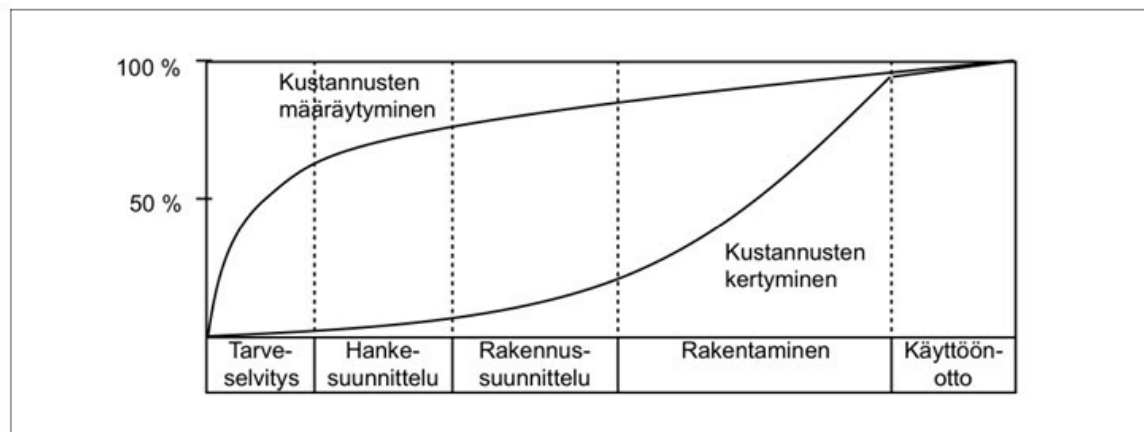


Kuva 12. Paikalla valetun betonirakenteisen maatuen muottipinta-alat esitettynä tummemmalla väriellä. (Sillan määräluettelo, 50)

Alusrakenteisiin kuuluvilla paalurakenteiden määrällä tarkoitetaan paalujen yhteismetrimäärää. Paalujen osat, kuten kalliokärjet sekä jatkokset, ilmoitetaan kappalemääränä. Sillan tukirakenteet eli maa- ja välituet kuuluvat myös alusrakenteisiin. Sillan päällysrakenteella tarkoitetaan kantavia rakenteita, jotka ovat maa- ja välitukien varassa. Myös sillan pintarakenteet kuuluvat päällysrakenteisiin. Pintarakenteella tarkoitetaan sillan kannen eristys, eristyksen suojaus sekä sillan päällystymateriaaleja, joiden määrät ilmoitetaan kansineliöinä (hyödyllinen leveys kerrottuna jännemittojen summalla), teoreettisena neliömääränä tai metrimääränä. Varusteiden ja laitteiden määrillä tarkoitetaan niiden luku- tai metrimäärää varuste- tai laitetyypeittäin eriteltynä. Paikalla valettujen siirtymäläattojen määräksi ilmoitetaan betonin teoreettinen menekki. (Sillan määräluettelo 2008, 33)

4.2 Siltojen kustannuslaskenta

Sillan kustannuksista noin 90 % määräytyy sillan suunnitteluvaiheessa. Kustannuksista noin 50–65 % määräytyy tarveselvitysvaiheessa. Yleissuunnittelu ja rakentamissuunnitteluvaiheessa kustannuksista määräytyy noin 35 % sillan kokonaiskustannuksista. (RIL 179-2018, 115)



Kuva 13. Kustannusten määräytyminen ja kertyminen eri suunnitteluvaiheissa. (RIL 179-2018, 115)

Infrarakentamisen kustannusarviolaskentaan on tarjolla palveluita, jotka keräävät hinnasto ja tietoaineistoa. Palveluita ovat muun muassa EG Fore-kustannuslaskentajärjestelmä sekä Ihku-kustannuslaskentajärjestelmä ja -palveluallianssi.

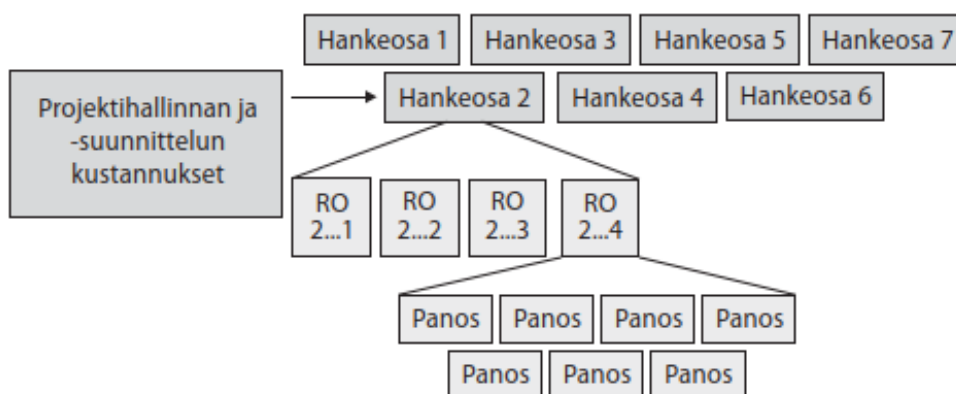
4.3 EG Fore-kustannuslaskentajärjestelmä

Fore Project on EG Finland Oy aiemmin Rapal Oy:n kehittämä verkkoselainpohjainen infra- ja talorakentamiseen tarkoitettu kustannushallintapalvelu, johon sisältyy hankkeen ohjelmointi (Scope), hankeosalaskenta (HOLA), rakennusosalaskenta (ROLA) sekä hankkeiden kustannusten ja määrien raportointi (ARENA). Palvelussa käytetyt hinnastot ja tietoaineistot perustuvat mallinnettuihin panorakenteisiin. Sen aineistojen mallinnuksen toteutukseen on käytetty mitoitus-, olosuhde-, ja laatusotekijöitä infrarakentamisen laatuvaatimusten ja yleisten ohjeiden mukaisesti. Fore Projectin hinnasto päivittyy kahdesti vuodessa, jolloin julkaistaan uusi hinnasto sekä rakennusosat ja hankeosamallit päivitetään. Kustannuslaskennan lisäksi EG Fore mahdollistaa myös CO₂-päästöjen laskennan. (EG Fore 2024)

Hinnasto päivittyy kaksi kertaa vuodessa perustuen huhti- tai lokakuun maanrakennusindeksiin. Hinnastot luodaan määritettyyn perusvuoteen, joka on nykyisellä hetkellä 2020=100. Perusvuoden jälkeinen tuleva luku tarkoittaa kustannusindeksiä, jolla määritetty hinnasto kerrotaan. Kustannusindeksiä on mahdollista muokata myös itse projektikohtaisesti.

4.4 Infra 2015 rakennusosa- ja hankenimikkeistö

Infra-nimikkeistöjärjestelmän tavoitteena on saada yleisesti hyväksyttävissä oleva nimikkeistö, joka kattaa infrarakentamisen kaikki keskeiset lopputuotteet sekä on yhteensopiva muiden infrarakentamiseen liittyvien nimikkeistöjen kanssa. Nimikkeistöjärjestelmiä käytetään kuvaamaan suunnitelmia hanke- tai rakennusosina ja mallinnetaan osia koskevilla määrä- ja vaatimustiedoilla. Nimikkeistön avulla kustannuksiltaan ja laatuvaatimuksiltaan erilaiset rakennusosat voidaan eritellä toisistaan. (RT-10-11193)



Kuva 14. Perusosittelun avulla toteutettu hankkeen osittelu. (RT-10-11193)

Rakennusosien pääryhmät on jaoteltu seuraavasti:

- 1000 maa-, pohja- ja kalliorakenteet
- 2000 päällyys- ja pintarakenteet
- 3000 järjestelmät
- 4000 rakennustekniset rakennusosat (RT-10-11193)

SILTA	
Perustukset	
1310	Maanvaraiset perustukset
1320	Paaluperustukset
1323	Paaluhatut
Perustuksen yläpuoliset rakenteet	
Tukirakenteet	
4211	Päätytuet
4212	Välituet
	4212.1 Muottityö, välituki 1
	4212.2 Raudoitus, välituki 1
	4212.3 Betonointi, välituki 1
4213	Sillan tukirakenteiden eristykset
Sillan varusteet ja laitteet	
4241	Liikuntasaumat
4243	Koneistot ja ohjaamot
4245	Suojalaitteet
4248	Kuivatuslaitteet

Kuva 15. Esimerkki siltahankkeen nimikkeistön muodostumisesta. (RT-10-11193)

5 GRASSHOPPER MÄÄRÄLASKENTA JA KUSTANNUSVERTAILU

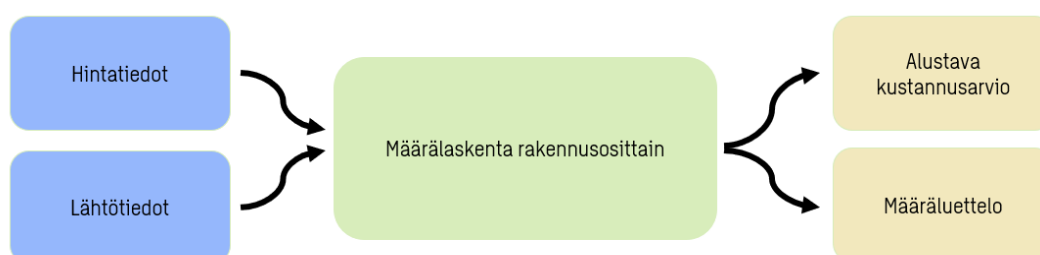
Tässä luvussa kerron kehitetyn määrälaskenta ja kustannusvertailu työkalun kehityksestä ja rakenteesta vaiheittain. Työkalun kehitystyössä sekä toimivuuden tarkastelussa käytettiin projektityössä tehtyjä siltojen inframalleja sekä työkalun laskemia kustannusarvioita vertailtiin kohteiden käsin laskettujen kustannusarvioiden kanssa.

Valittujen inframallien joukossa oli muun muassa seuraavanlaisia siltatyyppejä:

- Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II)
- Jännitetty betoninen jatkuva ulokepalkkisilta (jBjup)
- Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta (jBjp)
- Jännitetty betoninen ulokelaattasilta (jBul)

Valittuihin inframalleihin haluttiin mahdollisimman erilaisia siltarakenteita työkalun eri osa-alueiden toimivuuden tarkastelua varten. Päälysrakenteiden osalta haluttiin jännitettyjä betonirakenteita sekä teräsbetonisia rakenteita. Alusrakenteiden osalta haluttiin siltoja, jotka ovat paaluille perustettuja sekä maanvaraisesti peruslaatoille perustettuja.

Työkalussa määrälaskentaan sisältyvät rakennusosat ovat paaluperustukset, peruslaatat, välituet, kansi, reunapalkit, maatuet/päätypalkit, siipimuurit, pintarakenteet -osio, jossa määritettiin automaattiset tyypipiratkaisut sillan käyttötarkoituksen mukaan sekä varusteista ja laitteista laakerit, siirtymälaatat ja kaiteet. Sillan rakennusosat, jotka eivät muuta kokonaiskustannusta merkittävästi on jätetty työkalusta pois, ja korvattu prosenttimäärällä kokonaiskustannuksesta, joka on määritetty tutkimalla useiden siltojen kustannusarvioita sekä jakamalla kustannukset rakennusosittain. Näin saadaan säädettäviä parametreja vähemmälle, jolloin työkalun käyttö pysyy yksinkertaisena sekä helppokäyttöisenä. Myös alustava kustannusarvio pysyy halutussa tarkkuudessa.

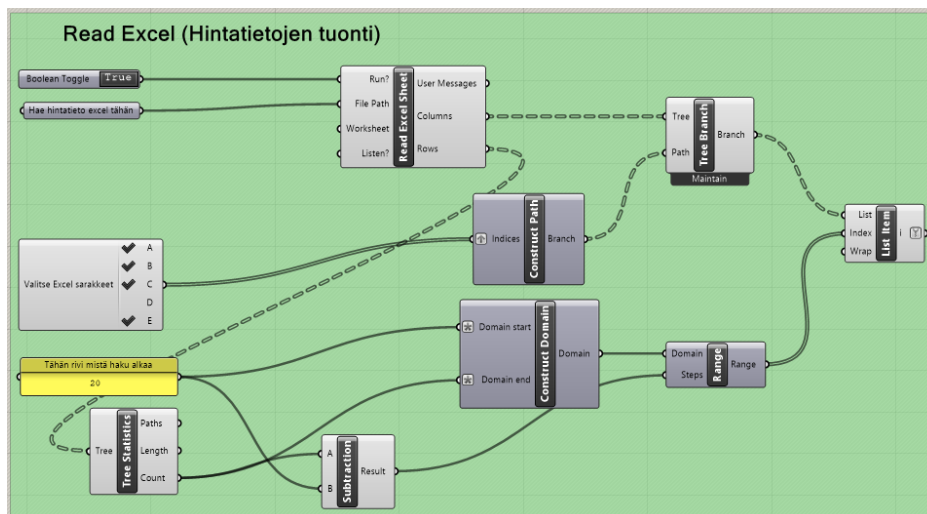


Kuva 16. Työkalun karkea rakenne

Työkalun yhdistäminen haluttuun tietomalliin tapahtuu yhdistämällä gh-tiedostomuotoa oleva määrä- ja kustannusarviotyökalu 3dm-tiedostomuotoa olevaan sillan tietomalliin Rhinossa. Työkalu osaa itsenäisesti etsiä tietomallin objektit eli sillan rakennusosat, mikäli ne ovat oikein nimettyjen tasojen alla eriteltynä toisistaan.

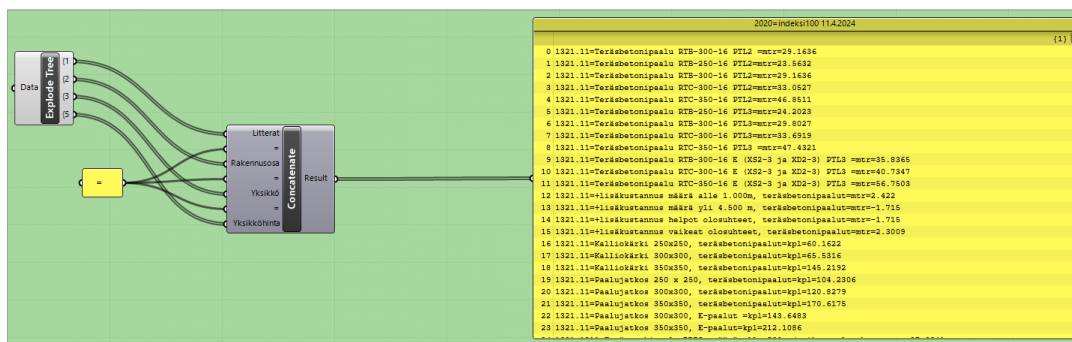
5.1 Hintatiedot

Alustavan kustannusarvion saamiseksi ohjelma tarvitsee hintatietoa rakennusosista. Tarvittavat hintatiedot tuotiin Fore-kustannuslaskentajärjestelmästä. Hintatietojen saaminen kustannuslaskentajärjestelmästä tapahtui luomalla Fore Project palvelussa Rola eli rakennusosalaskenta -osioon laskelma halutuista rakennusosien hintatiedoista ilman määrätietoja. Laskelman hintatasona käytettiin 2020=100, jolloin kustannusindeksiä on mahdollista muuttaa työkalussa. Laskelmasta ladattiin Excel-pohjainen yksikköhintaluettelo, joka syötettiin parametriksi alla olevan (kuva 17) algoritmiin. Muita parametreja algoritmissa ovat Excel taulukon tarvittavien sarakkeiden ja rivien valinta.



Kuva 17. Hintatieto-algoritmi

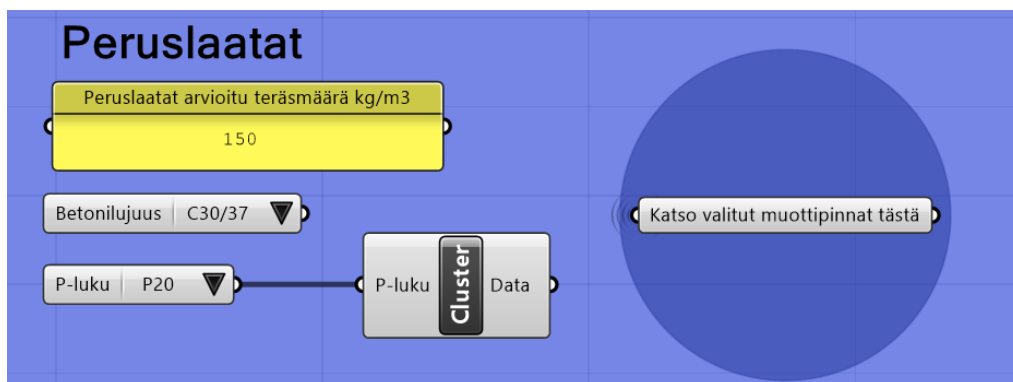
Algoritmin lopputuloksena saadaan (kuva 18) mukainen taulukko, jossa litterat, rakennusosat, yksiköt sekä yksikköhinta yhdistetään samalle riville.



Kuva 18. Hintatieto-algoritmi lopputulos

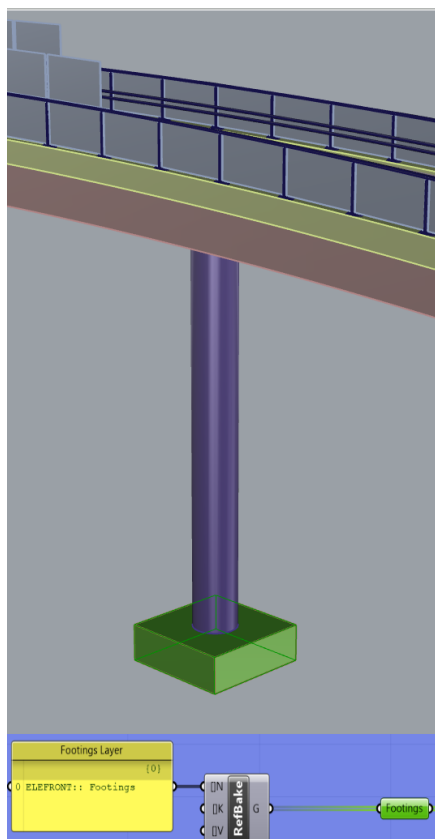
5.2 Lähtötiedot

Lähtötiedot eli parametrit määrälaskennan ja kustannusarvion määrittämiseen syötetään työkalussa ensimmäisenä. Parametrien määrittäminen tapahtuu Panel ja Value list -komponenteilla, joihin voidaan syöttää parametri tekstinä tai valitsemalla parametri luodusta listasta. Lähtötieto osiossa voi myös tarkastella valitut rakennusosan muottipinnat.



Kuva 19. Peruslaatan määrälaskentaan tarvittavat parametrit.

Tietomallien rakennusosat tulostetaan Rhinossa omille tasoille ryhmittelyn ja ymmärrettävyyden parantamiseksi. Tilaajan puolella tasojen nimeäminen on yleisesti samanlainen jokaisessa mallissa. Työkalussa tietomallin rakennusosat saadaan haettua automaattisesti tasojen nimien perusteella.

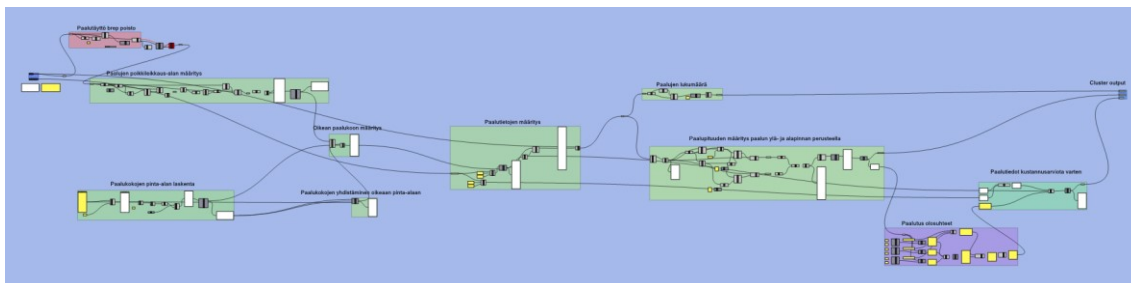


Kuva 20. Kuvassa algoritmi, joka hakee rakennusosan objektin sille määrätyn tason nimen perusteella.

5.3 Määrälaskenta rakennusosittain

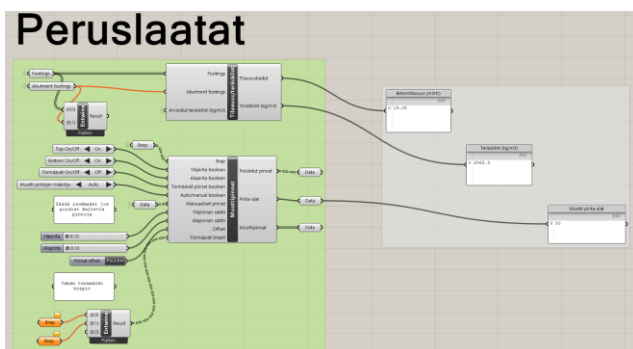
Työkalussa määrälaskenta on eritelty rakennusosittain erilleen helppokäyttöisyyden vuoksi. Jokaista rakennusosaa voi erikseen muokata sekä tehdä tarvittavia muutoksia. Sillan päällys- ja osa alusrakenteiden määrälaskennasta on algoritmiltaan samanlainen, jossa lasketaan geometrian tilavuus, arvioidut teräs- ja jännekiilot lähtötietojen sekä tilavuuden mukaan. Muottipinta-aloihin laskettavat pinnat määritetään ensisijaisesti automaattisesti mutta on myös mahdollista määrittää manuaalisesti. Päällysrakenteisiin laskettavat rakennusosat yhdistetään määrälaskennan jälkeen, jolloin niille saadaan oikea hintatieto.

Paalurakenteissa tarvittavat määrätiedot ovat paalujen metrimäärä sekä rakennusosatieoista paalutyyppi, koko ja paalutusolosuhteet oikeaa hintatietoa sekä määräluettelo varten. Paalujen metrimäärä saadaan työkalussa hakemalla paalugeometrioiden ylä- ja alapinta. Pinnosta haetaan keskipiste, joiden välille luodaan viiva pituuden määrittämiseksi. Paalutyyppi määritetään lähtötieto-osiossa manuaalisesti. Paalukoon määrittäminen tapahtuu automaattisesti laskemalla paalugeometrian poikkileikkauspinta-ala ja vertailemalla sitä työkaluun syötettyihin paalukokojen poikkileikkauspinta-aloihin. Paalutusolosuhteet määräytyvät paalukoon yhteismetrimäärän mukaisesti. Paalujen hintatiedot haettaessa tulee olla selvillä paalutyyppi, paalukoko sekä paalutusolosuhteet, esimerkkinä ”Pora-paalu RD800 mm, määrä alle 50 m/vaikeat olosuhteet”. Teräspaaluille lasketaan itse paalurakenteen lisäksi myös lisäkustannukset paalun raudoituksesta sekä betonoinnista.



Kuva 21. Paalurakenteet-klusterin sisältö

Sillan paikalla valetuista betonirakenteista geometrian tilavuus saadaan volume -komponentin avulla. Arvioidut teräskilot saadaan kertomalla syötetty arvioitu kilomäärä (kg/m³) tilavuudella. Alla olevassa kuvassa (kuva 22) nähdään rakennusosien määrälaskenta algoritmi ulkopuolelta.

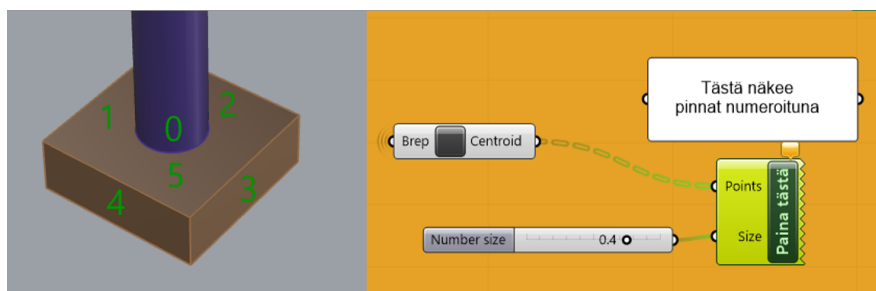


Kuva 22. Peruslaattojen määrälaskenta algoritmi.

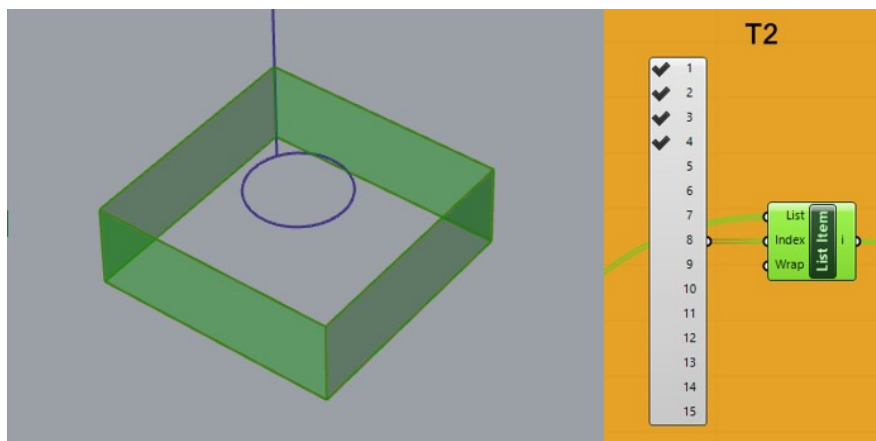
Muottipinta-alojen määrittäminen voidaan toteuttaa automaattisesti tai manuaalisesti rakennusosittain. Pinta-alojen laskenta tapahtuu purkamalla yhdistetyn geometrian pinnat erillisiksi toisistaan ja poistamalla pinnat, joita ei haluta pinta-ala laskentaan mukaan. Lopuksi valitut pinnat yhdistetään ja niistä lasketaan pinta-ala.

Automaattinen muottipintojen valinta säädetään klusterin parametreilla. Parametreilla on mahdollista poistaa geometrian z-akselin suuntaiset pinnat eli yleisesti geometrian ylin ja alin pinta. Algoritmilla on mahdollista poistaa myös kaltevia pintoja, mikäli parametreissa olevaa pintojen poiston herkkyyttä säädetään. Parametreiksi voidaan myös yhdistää vierekkäisten rakennusosien geometrioita, jolloin niiden törmäävät pinnat poistetaan pinta-ala laskennasta. Algoritmista saadaan ulos valitut muottipinnat, joita voidaan tarkastella lähtötiedot -osiossa olevasta komponentista. Tämä mahdollistaa, että kaikkien rakennusosien määrälaskenta parametreja ei tarvitse yksitellen käydä läpi, mikäli pinnat ovat oikein.

Manuaalinen geometrioiden pintojen valinta tapahtuu räjäyttämällä geometrian pinnat erilleen, jolloin jokaisen pinnan keskipiste saadaan selville. Point list-komponentin avulla pinnat saadaan numerojärjestykseen, jonka jälkeen voidaan valita oikeat pinnat valitsemalla haluttu numero list item-komponenttiin.

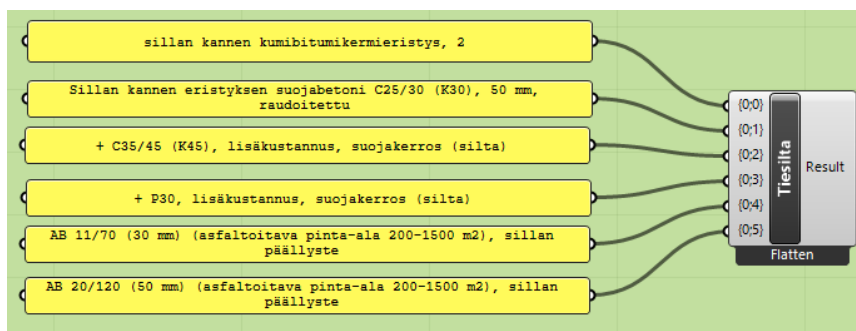


Kuva 23. Peruslaatan objektin pinnat numeroituna.



Kuva 24. Peruslaatan muottipinnat manuaalisesti valittuna numeroinnin perusteella.

Pintarakenteiden määrälaskenta tapahtuu työkalussa valitsemalla lähtötiedoissa sillan käyttötarkoitus (tie-, rata- tai kevyen liikenteen silta). Työkaluun on valmiiksi määritetty yleisin käytettävä pintarakenne sillan käyttötarkoituksen mukaan. Yleisimmät pintarakenteet silloille löytyvät VO 4/2019 Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun -ohjeesta.



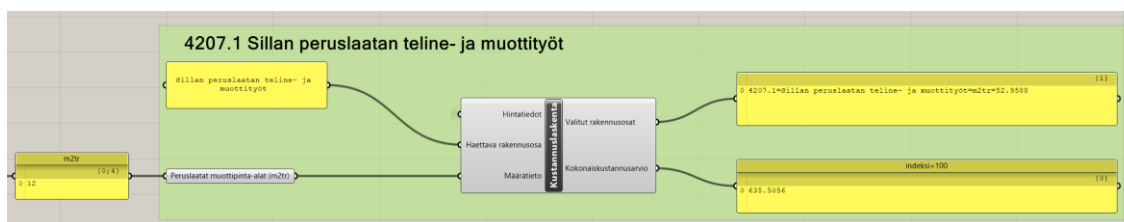
Kuva 25. Tiesillan pintarakenteet työkalussa.

5.4 Kustannusarvio

Kustannusarviota käsittelevässä osiossa jokaiselle rakennusosalle lasketaan erikseen kustannusarvio oikean hintatiedon mukaan. Lopuksi rakennusosien kustannusarviot yhdistetään ja kustannusarvioon lisätään lähtötiedoissa määritetty kustannusindeksi ja työmaa- sekä tilaajatehtävien osuus kokonaiskustannuksista. Lopputuloksena saadaan kolme erillistä kustannusarviota (kuva 26).



Kuva 26. Kustannusarvio-näkymä

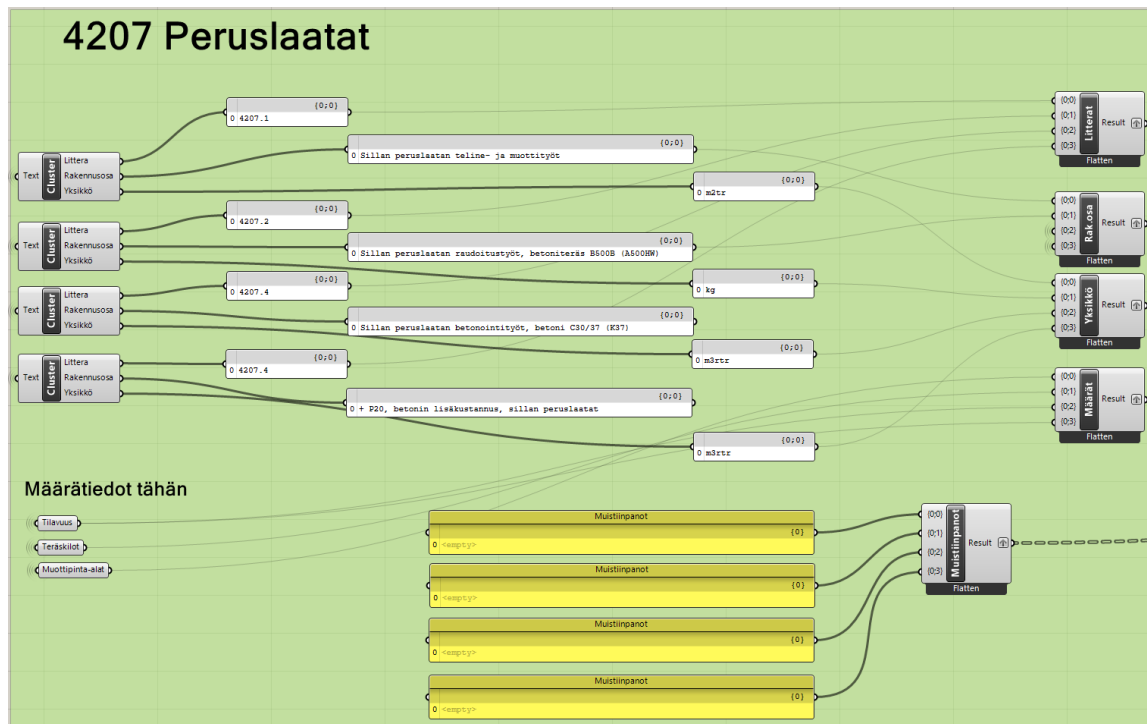


Kuva 27. Sillan peruslaatan teline- ja muottityöt kustannusarvio.

Klusterin sisällä rakennusosalle haetaan oikea hintatieto lähtötietona tuodusta hintatietoluettelosta etsimällä oikea rivi parametrina syötetyn rakennusosan nimen perusteella. Oikean rivin löydyttyä teksti jaetaan osiin yhtä suuri -merkkien kohdalta, jolloin tekstistä saadaan haettua vain yksikköhinta. Yksikköhinnan sekä määrätiedon perusteella saadaan luotua kustannusarvio rakennusosalle.

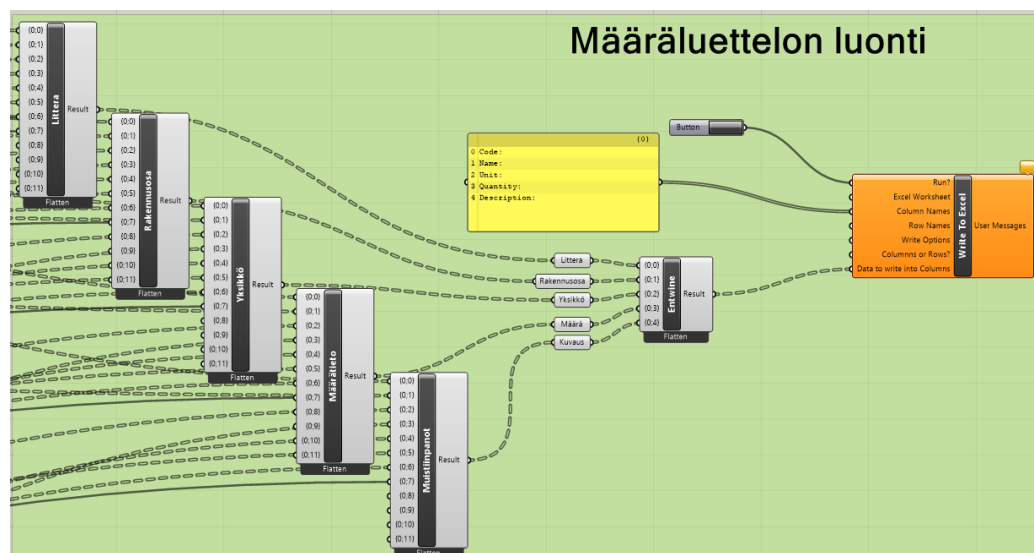
5.5 Määräluettelo

Määrätiedot kootaan ja järjestellään oikeaan muotoon rakennusosittain. Määräluetteloon tarvittavat littera, rakennusosan nimi sekä yksikkö saadaan tuotua edellisestä kustannusarvion laadinta -osista, joiden lisäksi tuodaan rakennusosan määrätieto. Halutessaan rakennusosan määrätiedolle voi myös kirjata muistiinpanoja.



Kuva 28. Peruslaattojen määrätiedon koonti määräluetteloa varten.

Rakennusosittain määritetyt sekä järjestetyt määrätiedot kootaan yhteen ja syötetään write to excel-komponenttiin (kuva 29), joka vie tiedot uuteen Excel-tiedostoon. Määrätietojen järjestys luettelossa on tehty yhteensopivaksi Fore-kustannuslaskentajärjestelmän kanssa, jotta määrätietoluettelo voidaan suoraan viedä kustannuslaskentajärjestelmään.



Kuva 29. Määräluettelon luonti algoritmi.

Code:	Name:	Unit:	Quantity:	Description:
1321.121	Teräsputkipaalu RR600, määrä alle 50 m/vaikeat olosuhteet	mtr	19	
1321.121	+betonoinnin lisäkustannus RR600, teräsputkipaalut	mtr	19	
1321.121	+raudoituksen lisäkustannus RR600, teräsputkipaalut	mtr	19	
4207.1	Sillan peruslaatan teline- ja muottityöt	m2tr	30	
4207.2	Sillan peruslaatan raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	kg	2862	
4207.4	Sillan peruslaatan betonointityöt, betoni C30/37 (K37)	m3rtr	19	
4207.4	+ P20, betonin lisäkustannus, sillan peruslaatat	m3rtr	19	
4211.11	Sillan maa-/päätytukien teline- ja muottityöt	m2	0	
4211.12	Sillan maa-/päätytukien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	kg	0	
4211.14	Sillan maa-/päätytukien betonointityöt, valmisbetoni C35/45 (K45)	m3rtr	0	
4211.14	+ P30, lisäkustannus, sillan maa-/päätytuet	m3rtr	0	
4212.11	Sillan välitukien teline- ja muottityöt	m2	34	
4212.12	Sillan välitukien raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	kg	6073	
4212.14	Sillan välitukien betonointityöt, valmisbetoni C35/45 (K45)	m3rtr	28	
4212.14	+ P30, lisäkustannus, sillan välituet	m3rtr	28	
4221.1	Paikalla valettavan betonisillan päällysrakenteen muottityöt, maasilta	m2	990	
4221.11	Telineiden pystytys ja purkaminen, maasilta	m2	102	
4221.2	Sillan päällysrakenteen raudoitustyöt, betoniteräs B500B (A500HW)	kg	69900	
4221.3	Sillan päällysrakenteen jännittämistyöt (Jänneteräs St 1570/1770)	kg	11650	
4221.4	Sillan päällysrakenteen betonointityöt valmisbetoni C35/45 (K45)	m3rtr	466	
4221.4	+ P30, lisäkustannus, sillan päällysrakenne ja kehäsillan jalka ja siipimuuri	m3rtr	466	
4231.8	Sääsuoja sillan kannen eristämistä varten	m2tr	102	
4231.1	Sillan kannen eristysalustan hiekkapuhallus	m2tr	102	
4231.3	Sillan kannen kumibitumikermieristys, 2-kert.	m2tr	102	
4232.3	Sillan kannen eristyksen suojabetoni C25/30 (K30), 50 mm, raudoitettu	m2	102	
4232.3	+ C35/45 (K45), lisäkustannus, suojakerros (silta)	m2	102	
4232.3	+ P30, lisäkustannus, suojakerros (silta)	m2	102	
4233.11	AB 11/70 (30 mm) (asfaltoitava pinta-ala 200-1500 m2), sillan päällyste	m2tr	102	
4233.11	AB 20/120 (50 mm) (asfaltoitava pinta-ala 200-1500 m2), sillan päällyste	m2tr	102	
2411.2	Tukikerros, uusi (sepeliraide)	m3rtr	0	
4242.13	Kalottilaakeri, kiinteä 9 MN	kpl	2	
4241.1	Patentoitu liikuntasaumalaite, liikuntavara 60-100 mm	mtr	12	
4244.1	Sillan siirtymälaatat, valmisbetoni C25/30 (K30)	m3	10	
4244.1	+ C35/45 (K45), betonin lisäkustannus, sillan siirtymälaatat	m3	10	
4244.1	+ P30, betonin lisäkustannus, sillan siirtymälaatat	m3	10	
4245.12	Sillan harva kaide, korkea (H2)	mtr	190	
4245.12	Siltakaiteen korkea suojaverkko (H2)	mtr	190	
4219	Sillan tunkkaus, maanvarainen siirtorata	kpl	0	

Kuva 30. Työkälistä saatava määräluettelo, joka on yhteensopiva Fore-kustannuslaskentajärjestelmän kanssa.

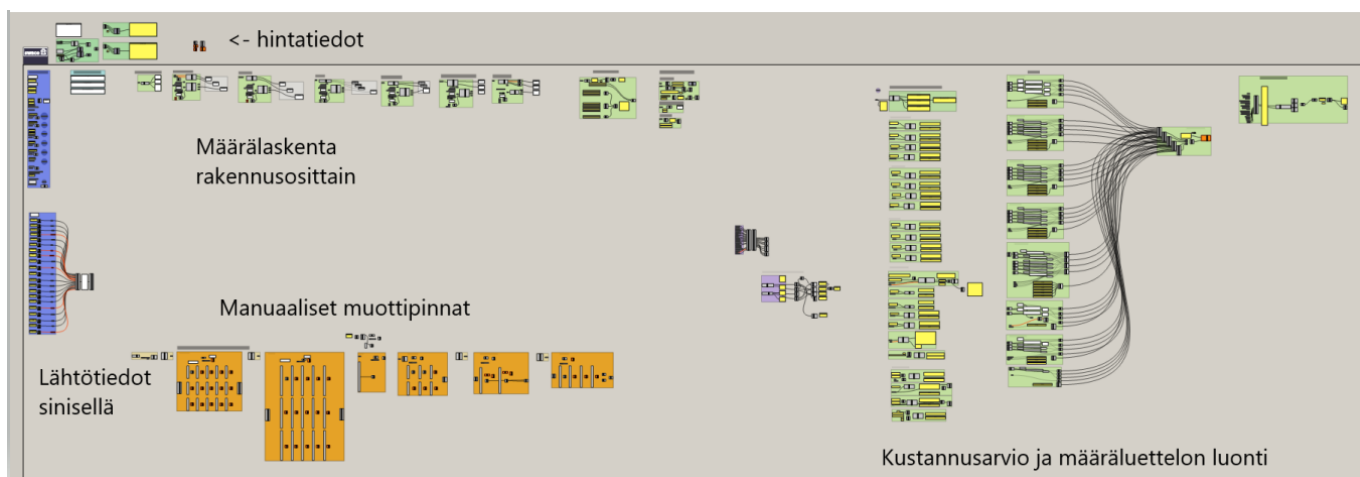
6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteet mielestäni saavutettiin ja lopputuloksena saatiin toimiva kokonaisuus, jota on hyvä kehittää ajan myötä. Työn tekemisen aikana itseni yllätti määrälaskennan laajuus ja se tuotti hieman vaikeuksia työkalun rajaamisessa ja kehitystyössä oli paljon huomioitavia asioita. Ammatillisen kasvun osalta opinnäytetyön tekeminen opetti minulle paljon määrälaskennasta sekä parametrisesta suunnittelusta.

Osa-alueet, jotka aiheuttivat eniten työtä kehitystyössä, olivat hintatietojen tuonti sekä betonirakenteiden muottipinta-alojen laskentaan valittavien geometrioiden automaattinen pintojen määrittäminen mahdollisimman yksinkertaiseksi ja varmatoimiseksi. Hintatiedon tuonti työkaluun saatiin mielestäni mahdollisimman yksinkertaiseksi, mutta kyseinen tapa aiheuttaa hieman manuaalista työtä, kun hintatieto päivittyy ja uusi yksikköhintaluettelo tulee luoda kustannuslaskentaohjelman puolella. Muottipintojen automaattisessa määrittämisessä onnistuin mielestäni hyvin käytettyyn aikaan nähden. Ongelmana oli saada algoritmista varmatoiminen monimuotoistenkin rakenteiden kohdalla. Automaattisesta määrittämisestä ei ollut työssä mahdollista saada tässä ajassa täysin varmatoimista erilaisien geometrioiden mallinnustapojen vuoksi, jonka toimesta myös manuaalinen muottipintojen määrittäminen jätettiin vaihtoehdoksi.

Sillan määräluetteloon kuuluvat kaivut ja täytöt olivat myös ajatuksena aluksi tuoda mukaan määrälaskentaan. Loppuvaiheessa ne kuitenkin jätettiin pois ja korvattiin arvioidulla prosenttimäärällä kokonaiskustannuksesta. Kaivuiden ja täyttöjen mallintaminen ja sen algoritmin luominen ja saaminen varmatoimiseksi olisi vaatinut enemmän aikaa kuin mitä opinnäytetyöhön käytettävä aika olisi sallinut.

Jatkokehityksen kannalta työkalu on mielestäni erittäin hyvä aihio, jota voi viedä moneen suuntaan. Esimerkiksi Fore-kustannuslaskentajärjestelmän avulla olisi mahdollista myös laskea hankkeen CO₂-päästöt, jota tämän työkalun avulla voisi olla mahdollista automatisoida. Tarpeen tullessa myös työkalun kehitys teräs- ja puurakenteisille silloille voisi olla hyvä jatkokehitystoimenpide. Parametrisen mallinnuksen kehittyessä voisi olla tulevaisuudessa myös mahdollista laajentaa työkalua rakentamissuunnitteluvaiheen inframalleihin toimivaksi ainakin määrälaskennan osalta. Kustannuslaskentaohjelman yhteensopivuuden kannalta yksi kehitysidea voisi olla kehittää työkalu Ihku-kustannuslaskentapalvelun kanssa yhteensopivaksi.



Kuva 31. Määrälaskenta ja alustava kustannusarviotyökalu kokonaisuudessaan.

LÄHTEET

RIL 179-2018. Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito 2018. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL ry.

RT-10-11193. Infra 2015 rakennusosa- ja hankenimikkeistö määrittämissuositus. 2015. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2010-11193>. Viitattu 15.4.2024

Sawant, Sairi 2021. What is Rhinoceros 3D? A 3D Modeling Software Based on NURBS Geometry. Parametric architecture. <https://parametric-architecture.com/what-is-rhinoceros-3d-a-3d-modeling-software-based-on-nurbs-geometry/>). Viitattu 12.4.2024.

Sillan määräluettelo 2008. Tiehallinto. Pdf-tiedosto. Julkaistu 10.10.2008. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/maaraluettelo_2008.pdf. Viitattu 19.3.2024.

Siltojen inframalliohje. Väylävirasto. Pdf-tiedosto. Julkaistu 14.11.2022. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-41_siltojen_inframalliohje.pdf. Viitattu 19.3.2024.

Siltojen suunnitelmat 2000. Tiehallinto. Pdf-tiedosto. Julkaistu 5.4.2000. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/silsuu00.pdf>. Viitattu 21.3.2024.

Väylävirasto 2020. Mikä on tietomalli? Verkkojulkaisu. Päivitetty 12.11.2020. <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/mika-on-tietomalli->. Viitattu 20.3.2024.

Väyläviraston inframallivaatimukset. Väylävirasto. Pdf-tiedosto. Julkaistu 18.11.2022. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-32_inframallivaatimukset.pdf. Viitattu 7.4.2024.

Väyläviraston sillat. Väylävirasto. Pdf-tiedosto. Julkaistu 31.12.2021. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185731/vj_2022-53_978-952-317-991-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Viitattu 6.4.2024.

LIITE 1. Määrä- ja kustannuslaskenta sekä kustannusvertailutyökalun käyttöohje (Salattu)