



Heidi Hellgren

Siltavarusteiden algoritminen mallintaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

22.3.2025

Tiivistelmä

Tekijä:	Heidi Hellgren
Otsikko:	Siltavarusteiden algoritmisen mallintaminen
Sivumäärä:	68 sivua + 1 liitettä
Aika:	22.3.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine:	Rakennetekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Jenni Pellinen Nuorempi suunnittelija Tuomas Vuorentausta

Opinnäytetyö tutkii algoritmisen mallintamisen käyttöä siltavarusteiden mallintamisessa. Työssä hyödynnetään Rhino 3D-, Grasshopper- ja Tekla Structures -ohjelmia Grasshopper-Tekla Live Link -lisäosan välityksellä. Opinnäytetyön aikana on tuotettu visuaalisella koodauksella Grasshopper-pohja, jonka koodi mahdollistaa helpotetusti varusteiden mallintamisen siltahankkeen toteutusvaiheen inframalliin.

Pohjaan tehdyt varusteet ovat kannen salaojat, hulevesi- ja tippuputket, sekä H2-siltakaiteet. Tippuputket voi lisäksi varustaa suppiloilla ja ulosheittäjillä, ja H2-kaiteet voi varustaa tiheän kaiteen lisäjohteilla sekä verkko- ja säleikköelementeillä. Varusteet on mallinnettu Väyläviraston tyyppiirustuksien ja suunnitteluohjeiden mukaisesti.

Opinnäytetyöraportissa käydään läpi siltoihin, siltavarusteisiin ja mallinnusohjelmiin liittyvää yleistietoa, vedenohjauslaitteiden ja siltakaiteiden suunnitteluperiaatteita ja infra-alan tietomallien laatuvaatimuksia. Lisäksi raportissa esitellään laajasti Grasshopper-ohjelman toimintaa sekä työn aikana pohjan tekoon liittyviä haasteita ja näiden ratkaisuja. Opinnäytetyön aikana tuotettu pohja on tehty Destia Oy:n käyttöön mallinnustyön kehittämistä varten.

Avainsanat: mallintaminen, tietomalli, silta, siltakaiteet, siltavarusteet, vedenohjauslaitteet

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Heidi Hellgren
Title: Algorithmic Modelling of Bridge Accessories
Number of Pages: 68 pages + 1 appendices
Date: 22 March 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Civil Engineering
Professional Major: Structural Engineering
Supervisors: Jenni Pellinen, Senior Lecturer
Tuomas Vuorentausta, Junior Designer

This thesis examines the use of algorithmic modeling for bridge accessories using the following programs: Rhino 3D, Grasshopper and Tekla Structures. The programs were linked via the Grasshopper-Tekla Live Link plugin. Using Grasshopper's visual coding features, a Grasshopper template was created to facilitate the modelling of bridge accessories into the BIM of bridge projects. The template complies with Finnish requirements for BIMs for the pre-construction phase of design.

The accessories coded into the template include the bridge deck's storm water and drainages piping as well as the H2 bridge guard railings. The template includes the possibility to add a funnel and an extension to vertical drainage pipes and the possibility to add optional mid rails on the length of the bridge, as well as intermediate bar rails and netting components between the guard rails' support posts. The models are based on the type drawings and Finnish national standards for bridge designs published by the Finnish Transport Infrastructure Agency.

The thesis report includes information on the topics of bridges, bridge accessories and BIMs in the context of infrastructure projects. In addition, the report provides an in-depth review of the Grasshopper program and how to use it, as well as a recounting of problems and solutions encountered during the making of the template. The created template was conducted by commission of Destia Oy as an effort to develop the modelling framework of the company.

Keywords: BIM, bridge, bridge accessories, 3D modelling, bridge guard rails, drainage systems

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	2
2	Sillat	2
2.1	Siltojen nimitykset	3
2.2	Siltojen lyhyt historia	3
2.3	Siltatyypit	5
2.3.1	Putki- ja kehäsillat	6
2.3.2	Taivutetut sillat	6
2.3.3	Puristetut ja vedetyt siltatyypit	7
2.4	Sillan osat	9
2.4.1	Alusrakenne	9
2.4.2	Päällysrakenne	10
2.4.3	Varusteet ja laitteet	13
2.4.4	Siltapaikan varusteet	17
3	Mallintaminen siltasuunnittelussa	18
3.1	Siltamallien vaatimukset	18
3.2	Ohjelmat	22
3.2.1	AutoCAD	22
3.2.2	Tekla Structures	23
3.2.3	Rhino 3D	24
3.2.4	Grasshopper	25
3.3	Ohjelmien yhdistäminen	26
4	Työn lähtökohdat	28
4.1	Tavoitteet	29
4.2	Työn mallinnuskohteet	29
4.3	Laatuvaatimukset	30
5	Varusteiden mallinnus	31
5.1	Perustoiminnot	31
5.1.1	Koodin rakentaminen	31
5.1.2	Koordinaatisto	33

5.1.3	Viivat	34
5.1.4	Grasshopper-Tekla Live Link -toiminnot	35
5.1.5	Objektien leikkaustoiminnot	38
5.2	Varusteiden geometriamallit	40
5.2.1	Vedenohjauslaitteet	40
5.2.2	Parametriset säädöt	41
5.2.3	H2-siltakaiteet	43
6	Varusteiden sijoitus	45
6.1	Osien sijoituksessa käytettyjä toimintoja	45
6.1.1	Viivan parametri	45
6.1.2	Evaluate Length	46
6.1.3	Horizontal Frame	47
6.2	H2-kaiteiden linjat	48
6.2.1	Kaidepylväiden sijoitus	48
6.2.2	Verkko- ja säleikköelementit	49
6.3	Vedenohjauslaitteiden linjat	51
6.3.1	Salaojalinja	52
6.3.2	Tippuputkien linjat	53
6.3.3	Hulevesilinja	56
6.3.4	Alittava väylä	57
7	Pohjien viimeistely	58
7.1.1	Syötettävän tiedon muodot	58
7.1.2	Valintatoiminnot	58
7.1.3	Rakennneosien attribuuttitiedot	59
7.1.4	Kokoonpano	61
7.1.5	Klusteri	62
8	Tulokset	64
8.1	Työn ulkopuolelle jätetyt osat ja mahdolliset jatkokehityskohteet	65
8.1.1	Kaiteissa	65
8.1.2	Vedenohjauslaitteissa	66
9	Johtopäätökset ja pohdinnat	66
10	Yhteenveto	69

Lähteet	70
Kuvaluettelo	75
Liitteet	
Liite 1: Destian Oy:lle tuotetun ohjeen kansikuva	

Lyhenteet

- BIM:** Building Information Modeling, suomeksi tietomalli, on rakennus-alalla käytetty termi kolmiulotteisesta mallista, jonka rakenneosiin on sisällytetty rakennus-alalle olennaista tietoa. [1, 2]
- Brep:** Boundary representation on tapa muodostaa 3D-esine viivoista sekä pinta-aloista Rhino 3D -ohjelmassa [6].
- CAD:** Computer Aided Design eli tietokoneavusteinen suunnittelu käyttää digitaalisia tietokoneohjelmia, joista suunnitelmat tuotetaan tulosteina, tehostaen suunnitteluprosessia käsin tuotettuihin piirustuksiin verrattuna. [3]
- IFC:** Industry Foundation Class -tiedostotyyppi on BIMin käyttöä edistävän buildingSMART-yhteistyöverkoston kehitysohjelmaan kuuluva standardisoitu tietomallin tiedostomuoto [4]. IFC-tiedostotyyppi on tietomallin yleinen tiedonsiirtomuoto [1].
- NURBS:** Non-Uniform Rational Basis Spline on käyrä tai pinta, joka on matemaattisesti määritelty kontrollipisteiden avulla, jolloin sen muodon voi mallintaa äärettömän tarkasti [1].
- SDL:** Englanninkielisistä sanoista start, direction ja length. SDL on eräs ohjelmakomponentti, jolla voi muodostaa suoran viivan Grasshopper-ohjelmassa.
- TSV:** Tasausviiva. Väyläviraston ohjeistuksien mukaan: ”Tasauksella tarkoitetaan tien pinnan korkeusasemaa ja sen vaihtelua tien pituus-suunnassa. Tasausviiva on korkeusvaihtelua osoittava kuvaaja.” Tasausviivan sijoitus riippuu tien poikkileikkauksesta, mutta yleensä se sijoittuu sivukallistuksen harjaan tai kaistojen väliin. [5]

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoite on tutkia algoritmisen mallintamisen soveltuvuutta silta-suunnittelun mallintamiseen siltavarusteiden kautta. Algoritmisella mallintamisella tarkoitetaan koodin avulla mallintamista, joka mahdollistaa osittaisen automaation ja siten nopeuttaa suunnittelutyötä huomattavasti. Algoritminen mallintaminen on suhteellisen uutta teknologiaa rakennusalalla, ja sen kehityksellä on kova kysyntä. Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa Grasshopper-ohjelmalla mallintamiskoodi siltavarusteille kuten kaiteille ja vedenohjauslaitteille siten, että niitä voisi käyttää mahdollisimman laajasti seuraavissa mallinnuskohteissa. Opinnäytetyö keskittyy varusteisiin, jotka ovat usein toistuvia projektista toiseen ja joihin kohdistuu vähän muutoksia.

2 Sillat

Suomessa silta määritellään rakenteena, joka mahdollistaa esteen ylittämisen liikenteelle, yleisimmin henkilö-, ajoneuvo-, tai junaliikenteelle, ja jonka vapaa-aukko on vähintään kaksi metriä [7, 8]. Vapaa-aukko on etäisyys kahden sillan tuen välillä, kun se mitataan sillan keskilinjaa pitkin aukon kapeimmasta kohdasta [9]. Mikäli vapaa-aukko on alle kaksi metriä, rakenne luokitellaan rummuksi [10]. Jännemitta on vapaa-aukon kaltaisesti arvo, joka kuvaa kahden tuen välistä etäisyyttä, mutta jännemitta mitataan tuen keskilinjasta toiseen [8]. Sillan voi rakentaa ylittämään vesistön, liikenneväylän tai maaston muodostaman esteen kuten rotkon tai pehmeikön. Yksittäinen silta voi myös ylittää useita eri- tai samantyyppisiä esteitä.

Suomessa silloista vastaavista viranomaistahoista yksi merkittävimpiä on Väylävirasto, entiseltä nimeltään Liikennevirasto. Väylävirasto asettaa mm. tekniset toimintalinjat ja laatuvaatimukset, julkaisee sillan suunnittelu-, rakennus- ja korjausohjeet, toteuttaa tutkimus- ja kehitystyötä, ja ylläpitää taitorakennerekisteriä [11], joka on laaja omaisuudenhallintajärjestelmä taitorakenteista kuten sillat, merimerkit, liikennetunnelit ja rautatierummut [8]. Valtion omistamien siltojen tiedot ylläpidetään aina taitorakennerekisterissä, ja kunnille järjestelmän käyttö on

valinnaista [8]. Tämän opinnäytetyön kohdalla erityisesti merkittäviä ovat Väyläviraston julkaisemat ohjeet ja tyyppipiirustukset.

2.1 Siltojen nimitykset

Silloilla on eri nimitykset vaihtelevasti siltaa pitkin kulkevan liikenteen ja ylitettävän esteen mukaan. Tässä opinnäytetyössä käytetään Väyläviraston käyttämää termistöä julkaisussaan *Väyläviraston Sillat 31.12.2023* [7] sekä Suomen Rakennusinsinöörien Liiton teosta *RIL 179 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito* [8]. Ohessa on esitetty taulukko kuvaamaan termistöä:

Taulukko 1. Siltojen nimitykset

	Siltaa pitkin kulkeva liikenne:		
Ylitettävä este tai liikenne:	Rautatieliikenne	Ajoneuvoliikenne	Kevyt liikenne
Kaikki esteet ja liikenteet	Rautatiesilta	Tiesilta	Keuyen liikenteen silta
Vesistöt	Ratasilta	Vesistösilta	Raittisilta
Rautatieliikenne	Rautatieristeyssilta	Ylikulkusilta	Ylikäytäväsilta
Ajoneuvoliikenne	Alikulkusilta	Risteyssilta	Ylikulkukäytävä
Kevyt liikenne	Alikäytävä / Asema-tunneli	Alikulkukäytävä	-

Suurin osa Suomen silloista on ajoneuvoliikenteen ja keuyen liikenteen käytössä. Vuonna 2023 Väylävirasto raportoi *Väyläviraston sillat* -julkaisussaan tiesiltojen lukumäärän olevan 15 791, kun taas rautatiesiltoja oli 2 378. [7]

2.2 Siltojen lyhyt historia

Liikenne on olennainen osa yhteiskuntaa, ja kytköksiä löytyy niin taloudellisiin murroksiin, hallinnolliseen järjestäytymiseen kuin myös teknologiseen kehitykseen. Sillat, osana maaliikennettä, ovat sekä vaikuttaneet yhteiskunnallisiin muutoksiin että mukautuneet niihin, ja ovat siten merkittävä osa Suomen historiaa. [12]

Ennen 1800-luvun puoliväliä siltamateriaaleina Suomessa olivat pääosin kivi ja puu [8]. Suomessa sekä teräksen että betonin käyttö silloissa teki läpimurron rautatierakennuksien mukana 1800-luvun loppupuolella [12]. Samaan aikaan nähtiin myös rakennelaskennan kehityksen alku [8].

Betonin käytön alkuvaiheissa ei käytetty terästä, vaan betonia hyödynnettiin pääosin perustuksiin. [12] Teräsbetoni oli jo alusta lähtien erittäin edullinen vaihtoehto: esimerkiksi Helsingin Pitkänsillan tarjouksessa vuoden 1910 tienoilla teräsbetoni oli puolet halvempi kuin kivisilta, mutta toinen vaihtoehto kuitenkin valittiin teräsbetonin osaamisen alkeellisuuden takia [12]. Nykypäivänä valtaosa silloista on teräsbetonia hyödyntäviä siltoja [7, 10].

Toisen maailmansodan jälkeen pitkille silloille oli paljon tarvetta, mutta teräksen saanti oli vielä sodan jäljiltä hankalaa. Liikennekuormat kuitenkin kasvoivat, ja pääteiden rakennus aiheutti tarvetta uusille siltatyypeille, kuten pitkille jänneväleille matalissa siltapaikoissa. Nämä vaikuttivat sekä uusiin rakenneratkaisuihin että esijännitettyjen teräsbetonisiltojen kehittämiseen. Esijännitetty betoni säästi 30 % betonia ja 50 % terästä verrattuna perinteiseen teräsbetoniin. [12]

Nykypäivänä suuria yhteiskuntaan vaikuttavia voimia ovat mm. kaupungistuminen, teknologinen murros ja ilmastonmuutos. Siltojen suunnittelukäyttöikä on ajan myötä kasvanut ja on nykyään yleensä 100 vuotta [8]. Alalle on myös otettu käyttöön kestävän kehityksen teemoja [8]. Myös siltojen estetiikkaan ja ympäristöön sopivuuteen kiinnitetään enemmän huomiota [12], ja samanaikaisesti siltojen muodot ovat viimeisen 30 vuoden aikana vapautuneet huomattavasti [13]. Teknologisen murroksen myötä myös tietotekniikan ja tietohallinnan kehitys on ollut voimakasta, mikä on vaikuttanut mm. siltasuunnittelun prosesseihin [8]. Kuten ennenkin, siltojen piirteet määräytyvät nykyajan tarpeiden, työkalujen ja osaamisen mukaan.



Kuva 1. Tulevan Kruunuvuorensillan havainnekuva.

Erityisen hyvä esimerkki on kuvassa 1 esitetty Helsinkiin nouseva Kruunuvuorensilta. Sillasta tulee valmistuttuaan Suomen pisin silta, sen suunniteltu käyttöikä on 200 vuotta, ja sillan ylittävät väylät ovat kaikki julkiselle liikenteelle tarkoitettuja. Sillan rakennesuunnitelman tietomallin koko oli 4 500 000 kB ja suunnitteluasiakirjoja tuotettiin yli 900 kpl. [14]

2.3 Siltatyypit

Sillat jaetaan materiaalin ja rakenteen toiminnan mukaisesti siltatyyppeihin [8]. Opinnäytetyön laadinnan aikana Väyläviraston ohjeen mukaan materiaalit olivat teräsbetoni, jännitetty betoni, kivi, puu ja teräs, ja näiden alle jaoteltuja yksittäisiä siltatyypinimikkeitä oli 115 [15]. Seuraavassa osiossa on esittely siltatyypien keskeisistä piirteistä hyödyntäen Suomen Rakennusinsinöörien Liiton teoksen *RIL 179 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito* [8] sillan rakenneperiaatteen pohjautuvaa jaottelua.

2.3.1 Putki- ja kehäsillat

Putkisillat ovat vapaa-aukoltaan lyhyitä siltoja, joiden tunnusmerkki on maalla peitetty putki tai holvi [8]. Putken tai holvin materiaali on tavanomaisesti aalloitettu teräslevy, teräsnauha tai betoni [7], mutta muovi- ja komposiittiputkisillat ovat myös mahdollisia [16]. Vaikka näiden ulkonäkö koetaan usein vaatimattomaksi, putkisillat ovat hyvin yleisiä pienissä ylityksissä vesistöiltana tai alikulkukäytävänä niiden edullisuuden ja helppohoitoisuuden vuoksi [8]. Kehäsillat toimivat samalla periaatteella kuin putkisillat ja omaavat samoja ominaisuuksia, mutta teräsputken sijaan kantavana rakenteena on maaperän ympäröivä teräsbetoninen kehä. Rakenne on yleinen alikulku- ja alikäytävissä



Kuva 2. Vasemmalla: putkisilta, Korholansalmen silta. Oikealla: kehäsilta, Suppalan alikulkusilta.

2.3.2 Taivutetut sillat

Laattasilta on yleinen ja vanha rakenne, josta on ollut normaalipiirustukset jo 1930-luvulla [12]. Laattasilta on suosittu rakenne: Suomessa niitä on yli kolmannes tiesilloista, ja se on yleinen rautatiesiltana, alikulkukäytävänä ja risteyssiltana [8]. Yksi laattasiltojen etu on kapea kansirakenne [17]. Laattasilta on yleensä teräsbetoninen rakenne, mutta sen voi rakentaa myös jännitettynä [15].

Teräsbetonista palkkisiltaa käytetään keskimäärin laattasiltaa pidemmissä jännemitoissa, ja se on tämän tavoin yleinen tiesilta [8]. Tavanomaisin rakennusmateriaali on jännitetty teräsbetoni, mutta teräksinen variantti eli liittopalkkisilta on myös yleinen [8]. Kuvan 3 esimerkissä Vekaransalmen sillan mustat teräksiset palkit korostuvat vaaleampaa kantta vasten.

Kotelopalkkisilta on taivutetuista silloista pitkäjänteisin, tavanomaisesti yli 70 m [12]. Kotelopalkki on otettu Suomessa käyttöön käytännössä samaan aikaan kuin esijännitetty betoni, ja sillä on samat juuret [12]. Rakenne on hyödynnetty erittäin tehokkaasti, ja sillä on korkea vääntö- ja taivutuskestävyys [8]. Kotelopalkit ovat kuitenkin tyypillisesti hankalampia rakentaa, ja niiden valu joudutaan usein tekemään kahdessa osassa [8].

Ristikkopalkkisilta on yleensä teräksisestä ristikostaan tunnistettava. Sillä on pitkä historia rautatiesiltana, mutta sitä hyödynnetään myös kaupunkiympäristössä kevyen liikenteen silloissa. [8]



Kuva 3. Vasemmalla: teräksinen jatkuva liittopalkkisilta, Vekaransalmen silta. Keskellä ylhäällä: kehälaattasilta, Atlantinsilta. Keskellä alhaalla: kotelopalkkisilta, Kalixin silta. Oikealla: ristikkosilta, Korian silta.

2.3.3 Puristetut ja vedetyt siltatyypit

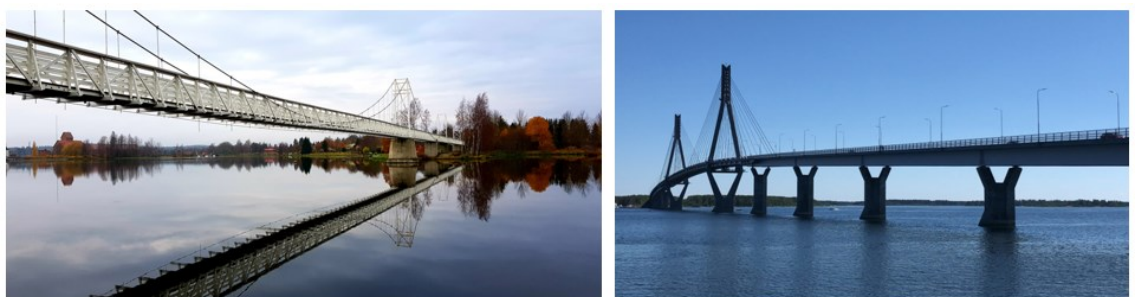
Kaari- ja holvisilta soveltuvat erityisesti paikkoihin, joissa on korkeat ja jyrkät rinteet sekä vahva maapohja [12]. Tällä hetkellä holvisilta on ainoa kivisen sillan siltatyyppejä [15].



Kuva 4. Vasemmalla: kaarisilta, Mähkönsilta. Oikealla: holvisilta, Aunessilta.

Riippu- ja vinoköysisillat muistuttavat ulkoisesti toisiaan siinä, että molemmissa päällysrakenteita ja näiden kuormia kannattavat köydet ja pyloni. Riippusillassa riippuköysiä ei ole suoraan yhdistetty päällysrakenteisiin, vaan ne on kiinnitetty joko pylonien väliin tai pylonista päätyankkuriin, ja päällysrakenteen kuormat siirretään riippuköysille vetotankojen avulla. Vinoköysisillassa sen sijaan köydet kulkevat suoraan pylonista päällysrakenteeseen muodostaen jäykän kokonaisuuden, jonka rakenne hyödyntää suurta aksiaalista puristusvoimaa. [8]

Vinoköysisillat ovat pylonien avulla näyttäviä ja niitä on usein käytetty maisemallisiin siltapaikkoihin. Vinoköysirakenne on erittäin kallis ja siten käytetty vain harkituissa kohteissa, joissa rakenteesta saadaan erityistä hyötyä. Vinoköysisilloja käytetään yleensä kahdessa tapauksessa: pitkissä vesistösilloissa, joissa on tarve erittäin suurille jänneväleille, yleensä yli 200 m, tai kaupunkiympäristön kevyen liikenteen silloissa. [8]



Kuva 5. Vasemmalla: riippusilta, Kekyllänsilta. Oikealla: vinoköysisilta, Raippaluodon silta.

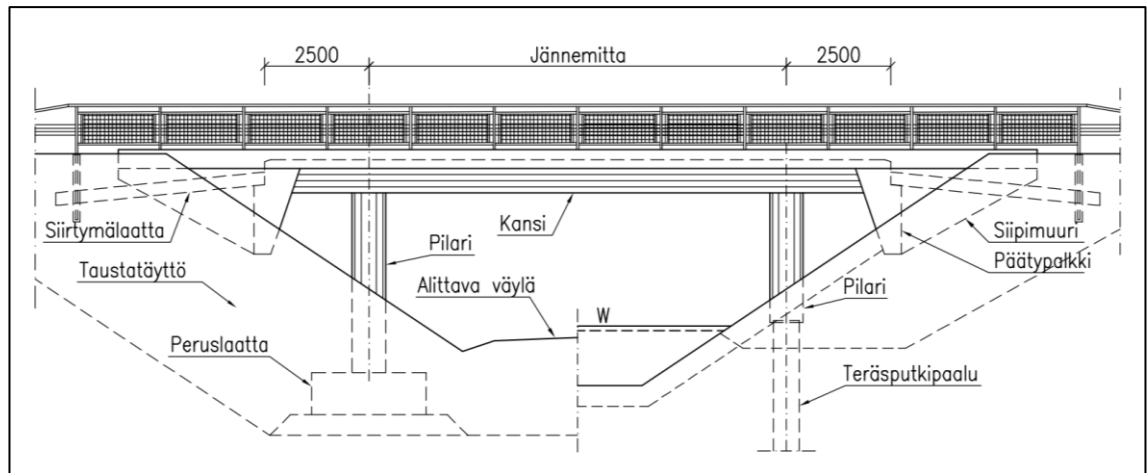
2.4 Sillan osat

Sillan osat jaetaan neljään pääosakokonaisuuteen toimintansa mukaisesti. Päällysrakenne on osa sillasta, joka ylittää esteen ja ottaa vastaan liikenteen kuormat. Alusrakenne toimii tukena päällysrakenteelle, ja tämän kautta päällysrakenteelta tulevat kuormat siirretään kantavaan maakerrokseen tai kallioon. Muut olennaiset, kuten turvallisuuden, kuivatuksen tai käyttöiän vuoksi tarpeelliset osat, jaetaan ”varusteisiin ja laitteisiin”, mikäli ne sijaitsevat pääosin sillalla, ja siltapaikan rakenteisiin, mikäli ne sijaitsevat pääosin sillan läheisyydessä. [8, 10]

2.4.1 Alusrakenne

Alusrakenteisiin kuuluu nimensä mukaisesti sillan alemmina sijaitsevia rakenneosia, kuten tuet ja perustukset. Perustuksien rakenteet riippuvat perustamisavasta. Silta voidaan perustaa laatta-, antura-, tai paaluperustuksella [8]. Perustuksiin lepäävät sillan tuet. Sillan mittalinjan ensimmäinen ja viimeinen tuki yhdistävät sillan sitä ylittävään väylään. Näitä kutsutaan päätytuiksi. Sillan päässä olevaa maata tuetaan yleensä etu- ja siipimuurilla, ja päätytuen ja väylän välille asennetaan siirtymälaatta. [8]

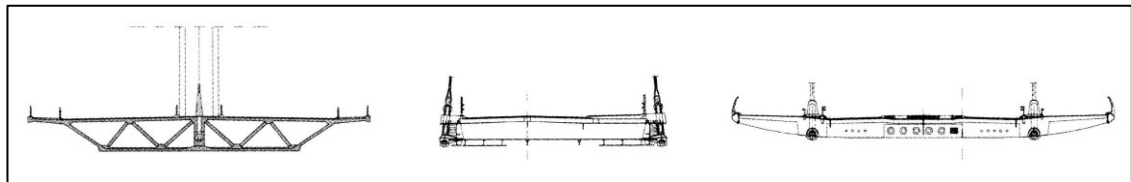
Välituet ovat tukirakenteita, jotka sijaitsevat päätytukien välillä sillan mittalinjaa pitkin katsottuna. Välitukien muodon ja rakenteen tulee sopia muille sillan osille. Välituet voivat olla yksittäisiä pilareita, pilarisarjoja tai seinämäisiä rakenteita, ja riippuvat sillan leveydestä. Edellä mainittujen lisäksi alusrakenteisiin voi kuulua eri siltatyypeille tyypillisiä rakenneosia, kuten köysisiltojen köysien ankkurointi tai kaarisiltojen kantamuurit. [8]



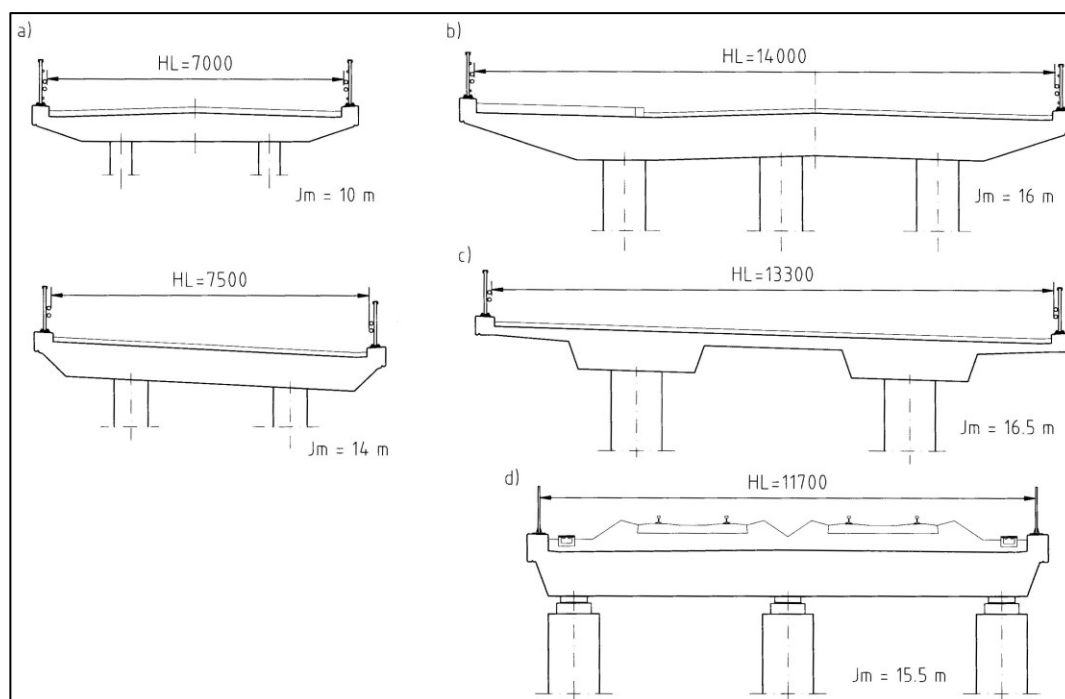
Kuva 6. Teräsbetonisen ulokelaattasilan pituusleikkaus. Kuvassa on esitetty alusrakenteita, mutta mainitut kansi ja taustatäyttö eivät kuulu alusrakenteisiin.

2.4.2 Päälysrakenne

Päälysrakenteet voivat vaihdella huomattavasti sekä siltatyyppien välillä että saman siltatyyppin eri toteutuksissa. [8] Seuraavissa esimerkissä on esitelty eri päälysrakenteiden poikkileikkauksia.



Kuva 7. Vinoköysisillan poikkileikkauksia.



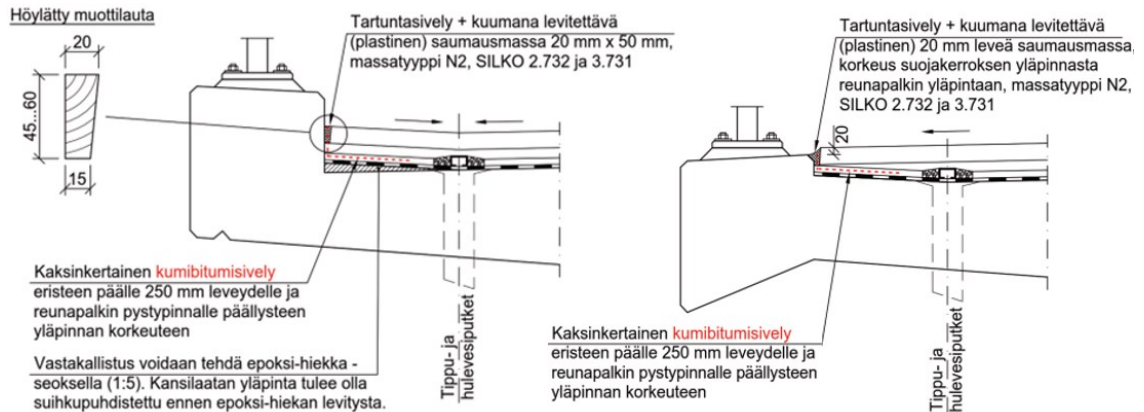
Kuva 8: Laattasillan poikkileikkauksia.

Tämän monimuotoisuuden vuoksi päällysrakenteiden kuvaaminen geneerisesti on haastavaa. Päällysrakenteista kantavaa osiota kutsutaan yleensä kanneksi. Kuten aiemmin todettiin, muoto muuttuu voimakkaasti siltatyyppin ja siltakohtaisten ratkaisujen mukaan [8]. Tavallisesti kannen pinta vedeneristetään sillan käyttöä pidentämistä varten. Käytetty materiaali vaihtelee mm. sillan käytön ja kannen materiaalin mukaan [8].

Vedeneristeen päälle rakennetaan päällystekerrokset, jotka yleensä muodostuvat sidekerroksesta ja kulutuskerroksesta [8]. Yleisimmin päällystemateriaali on asfalttibetonia [8]. Päällystekerros riippuu sillan käytöstä ja sijainnista, ja asfalttibetonin lisäksi sillalla voi olla sorapintainen, kivi- tai kivipäällysteinen tai jopa betoni- tai kivi- päällysteinen pinta [8]. Puusilloissa käytetään usein kulutuslankkuja, joita voidaan vahvistaa teräslevyillä [18].

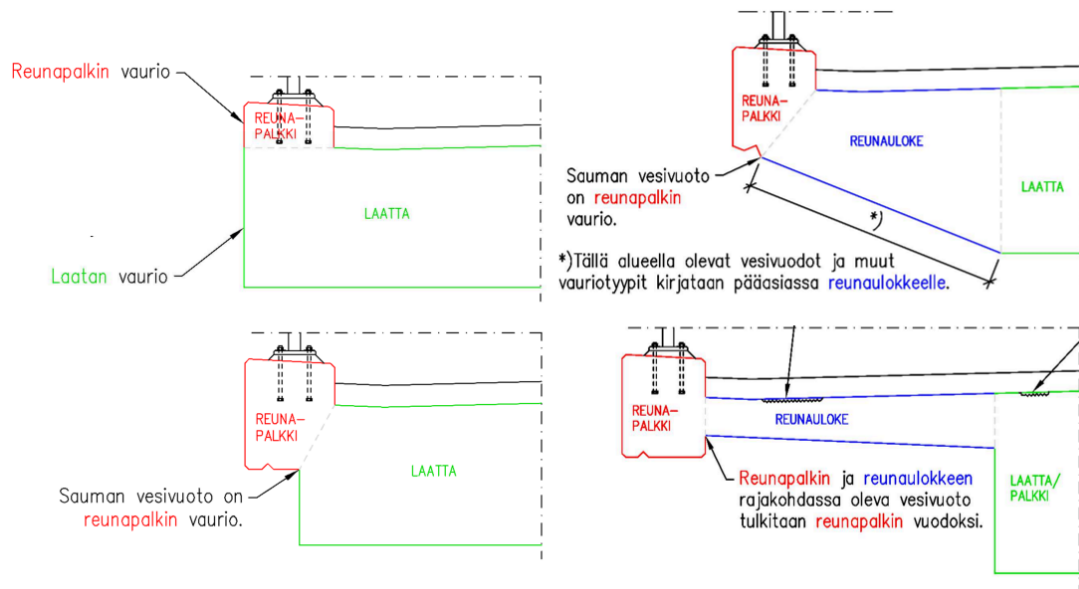
Kannen pituussuunnassa on kummallakin puolella reunapalkki, johon sillan kaiheet kiinnitetään. Reunapalkki ottaa vastaan itseensä kohdistuvan onnettomuuskuorman ja kaiheen onnettomuuskuorman [19]. Teräsbetonisia reunapalkkeja on tiesilloissa nykyään kahdenlaista: korkeaa ja matalaa [20]. Nykyään suositaan

korkeaa reunapalkkia, mutta tapauskohtaisesti voi vesistösilloille valita matalan version reunapalkista, jossa vedet ohjataan sillan pinnalta suoraan reunapalkin yli [21].



Kuva 9. Korkean ja matalan reunapalkin ja päällysteen väliset saumat.

Reunapalkit yhdistyvät joko suoraan laattaan tai reunaulokkeen kautta. Reunapalkin rajan hahmottaminen muihin rakenteisiin on ajoittain haastavaa. Ohessa on tarkastajan käsikirjasta poimittuja esimerkkikuvia alueiden rajaamisesta, kun vaurioita kirjataan taitorakennerekisteriin.



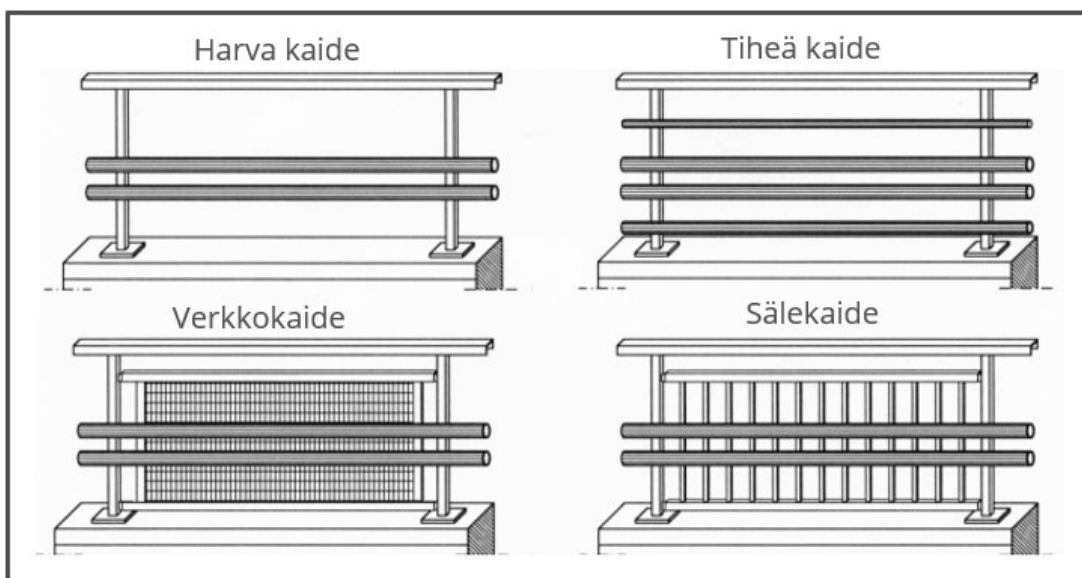
Kuva 10. Otoksia reunapalkin, reunaulokkeen ja laatan rajoista sillan vaurioiden merkinnässä taitorakennerekisteriin.

2.4.3 Varusteet ja laitteet

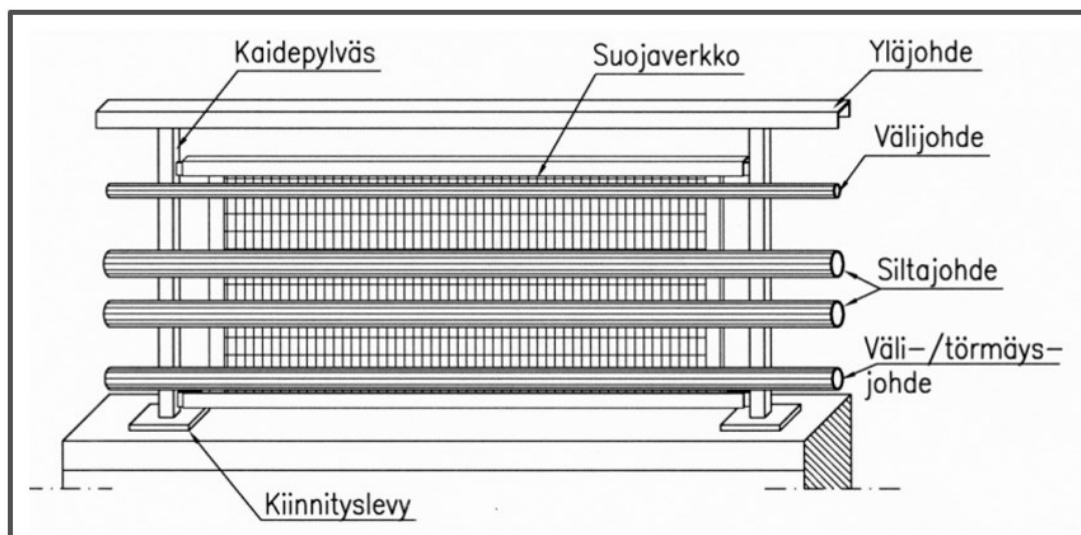
Varusteet auttavat sillan rakenteen teknisessä toiminnassa, voimien siirrossa, kunnostustöissä, turvallisuuden takaamisessa ja ylläpitotöissä [8]. Siltojen kaitteet ovat käyttäjien turvallisuutta edistäviä varusteita. Kaideratkaisut riippuvat erityisesti sillan käyttötarkoituksesta.

Tiesilloissa käytetään törmäystestattuja kaitteita, mikä tarkoittaa, että kaitteelle on tehty standardisoituja kokeita, joissa testataan kaitteiden kestävyttä ja kaitteen muodonmuutosta ajoneuvotörmäystilanteessa. Törmäystuloksien mukaan kaitteelle määritetään törmäyskestävyysluokka. Luokat ovat kasvavassa kestävyysjärjestyksessä N1...2, H1...4 ja L1...4. Tiekaiteelle on yleisimmin luokka N2, ja siltakaiteelle H2. [22, 8]

Kun siirrytään kaideluokasta toiseen, tulee kaitteiden väliin siirtymärakenne. Siltakaiteet tehdään tyypillisesti teräksestä joko harva- tai tiheäjohteisena, ja kaitteille voi lisätä suojaverkot, jotka suojaavat alittavia väyliä aurauslumelta, tai säleiköt, joita käytetään kevyttä liikennettä varten. Vaihtoehtoisesti kaitteet voi myös tehdä betonista. [22]



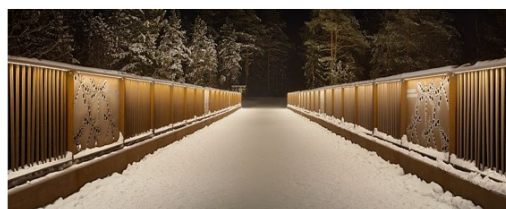
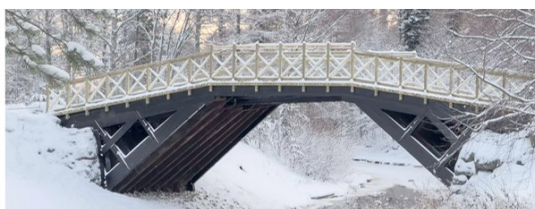
Kuva 11. Periaatteellisia esimerkkejä teräksisistä siltakaiteista eri varusteluilla.



Kuva 12. Kaiteen rakenneosien nimiä.

Kevyen liikenteen kaiteissa ei ole tiesillan tapaisia standardeja, mutta kaiteen tulee kestää sijainniltaan satunnainen 5 kN:n suuruinen pistekuorma, estää käyttäjän mahdollinen läpipääsy ja olla mahdollisimman vaikea ylittää mukaan lukien pyöräilijöille [8]. Kevyempien vaatimuksien takia eri kaideratkaisuja on enemmän, ja se antaa myös suunnittelijalle vapauksia tehdä ulkonäköä korostavia erikoisia ratkaisuja.

Siltakaiteita kevyen liikenteen silloista



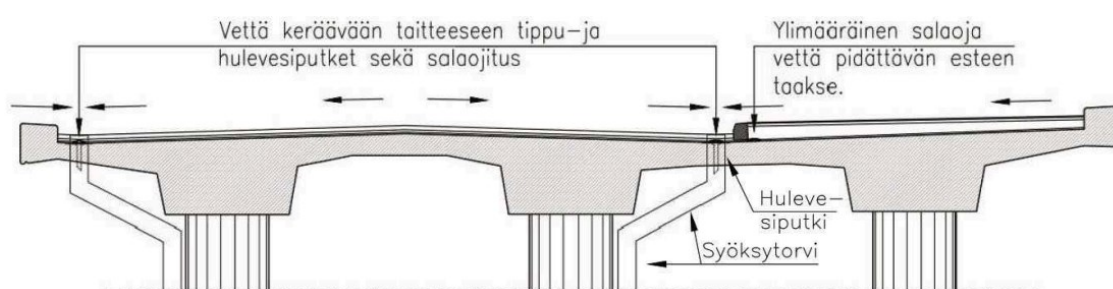
Siltakaiteita tiesilloista



Kuva 13. Vasemmalla ylhäällä: Punaisen sillan puukaiteet. Oikealla ylhäällä: Sudentassun sillan Corten-teräskaitteet. Oikealla alhaalla: puisen tiesillan tiheet H2-siltakaiteet. Vasemmalla alhaalla: betonisen tiesillan H2-siltakaiteet verkkoelementeillä varustettuina.

Sillan vedenohjauslaitteet ovat varusteita, jotka edistävät sillan kuivatusta. Vedenohjauksen tarkoitus on siirtää vesi pois sillasta hyödyntäen sillan muotoa, kuten sivu- ja pituuskaltevuuksia, tai sillan kuivatuslaitteilla. Hulevesiputki ohjaa nimensä mukaisesti hulevesiä, eli sateesta ja lumen sulamisesta sillan pinnalle kertyviä vesiä. Hulevesiputki asennetaan päällysteen pintaan ja putki johdetaan läpi rakenteen, ja tarvittaessa jatketaan syöksytorvella maastoon tai muuhun soveltuvaan paikkaan. [23]

Tippuputki on hulevesiputkea halkaisijaltaan pienempi putki, joka asennetaan tiheämmällä jaottelulla ja päällystekerroksen alle, vedeneristeen tasolle. Putki kerää päällysrakenteiden läpi menneen veden vedeneristeen pinnasta. Hulevesi- ja tippuputket asennetaan yleensä yhteiselle linjalle siten, että ne toimivat yhtenäisesti sillan kallistuksien kanssa (esitetty kuvassa 14). Tippuputkilinjalle asennetaan lisäksi salaojalinja, joka edistää veden kulkemista kohti putkia. [20]



Kuva 14. Vedenpoistolaitteiden sijoittelu sillan poikkileikkauksessa.

Vedenpoistolaitteita ei yleensä laiteta lyhyille silloille [20]. Silta varustetaan tippuputkilinjoilla siltakannen pituuden ylittäessä 10 metriä ja hulevesiputkilla sen ylittäessä 25 metriä [20]. Vesiä ei ikinä saa ohjata alla oleville väylille tai rakenteille [20]. Tämä rajoite saatetaan kiertää joko asentamalla putkiin tarpeeksi pitkät ulosheittäjät tai syöksytorvet tai jättämällä väylän tai rakenteen yläpuolelle alue, johon putkia ei asenneta.



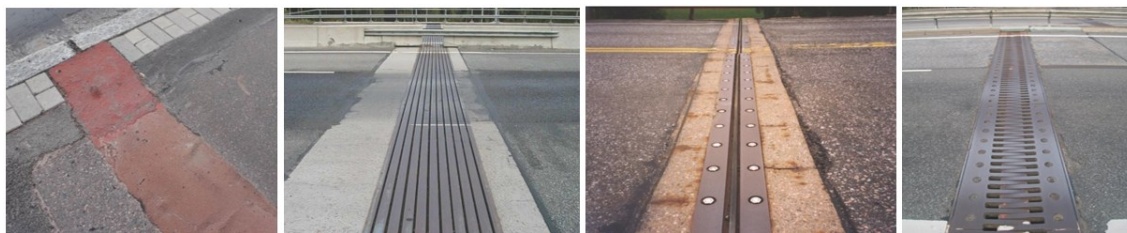
Kuva 15. Hulevesi- ja tippuputkilinja sillan pituussuunnassa.

Toimivan kuivatuksen merkityksellisyys on ajoittain helpompi hahmottaa, kun siinä esiintyy ongelmia. Veden kerääntyminen tai varusteiden virheellinen asennus voi vaurioittaa sillan rakenteita ja vaarantaa liikennettä [24]. Kuvassa 16 on esitetty esimerkkejä puutteellisesta tai viallisesta kuivattuksesta.



Kuva 16. Vasemmalla: kannen hulevesiputki puuttuu. Keskellä: tippuputkesta valunut vesi on vaurioittanut teräspalkin pintakäsittelyn. Oikealla: liian lyhyt tippuputki ja jatkamatta jäänyt syöksytorvi.

Kuivatuslaitteita asennetaan lisäksi liikuntasaumalinjojen läheisyyteen ja laakeritasoille [20]. Liikuntasaumot ja laakerit ovat kannen ja päätytuen rajaan asennettavia varusteita, jotka mahdollistavat rakenteelle liikkeen turvallisesti [20]. Liikuntasauma mahdollistaa sillan liikkeen rikkomatta päällysteen kerroksia, kun taas laakerit asennetaan kannen alle ja siirtävät tämän kuormat alusrakenteille [20]. Sillan pituus ja lämpölaajenemisen suuruus ovat suurimmat suunnittelutekijät [20]. Molemmat varusteet nostavat sillan ylläpitokustannuksia, ja siksi niitä käytetään vain tarpeen mukaan pidemmissä siltatyypeissä [8].



Kuva 17. Vasemmalla: pinnoitettu massaliikuntasauma. Keskellä, vasemmalla: monikuminen liikuntasaumalaite. Keskellä, oikealla: ruuvikiinnitteinen yksikuminen liikuntasaumalaite. Oikealla: sormiliikuntasaumalaite.



Kuva 18. Vasemmalla: kumilevyllaakeri. Keskellä: rullalaakeri. Oikealla: kalottilaakeri.

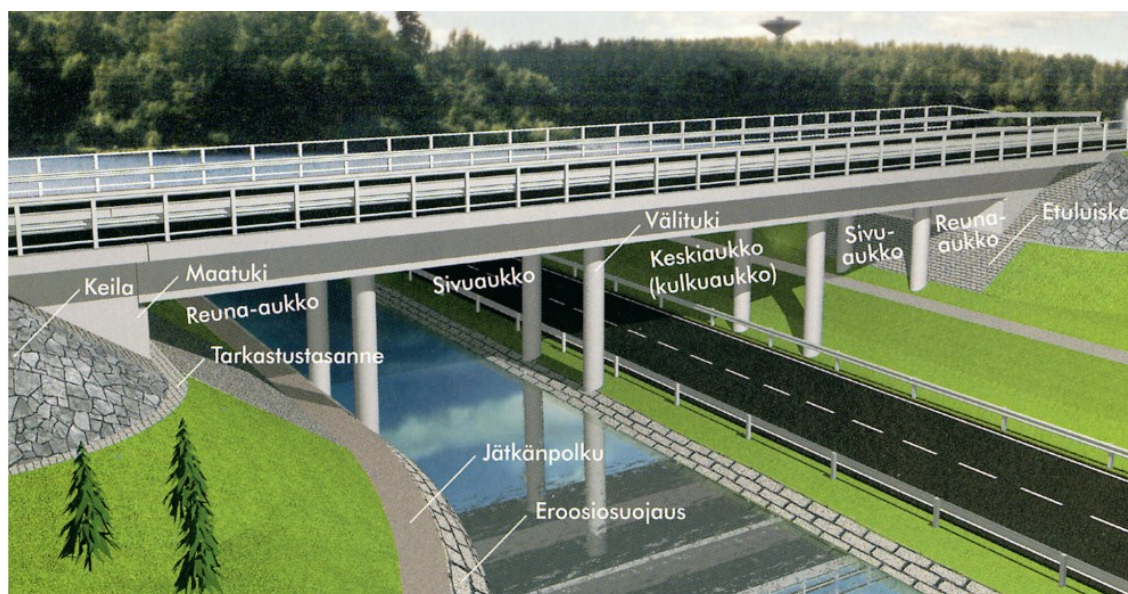
Siltakohtaisia varusteita on edellä mainittujen lisäksi lukuisia, esimerkiksi kontaktitapit, mittapisteeet, panostilat, nousu- ja kulkuesteet, sillan kautta kulkevat kaapeli- kaukolämpö- ja vesiputket ja putkien kiinnikkeet, näköala- ja levähdyspaikat, yms. [8].

2.4.4 Siltapaikan varusteet

Sillan ja siltapaikan varusteet omaavat samanlaisia piirteitä, ja niissä on paljon samoja toimintoja ja käyttötarkoituksia. Varusteet erotetaan keskenään riippuen niiden sijainnista: sillan varusteet sijaitsevat pääsoin sillalla, kun taas siltapaikan varusteet ovat sillan läheisyydessä sijaitsevat varusteet. [8]

Toinen huomattava ero on, että siltapaikan varusteisiin luokitellaan isojakin maa- ja verhousrakenteita kuten luiskat ja maatäytöt. Luiskat ovat kaltevia pintoja, jotka suojaavat niiden takana sijaitsevia massoja ja rakenteita [25]. Keilat ovat tiepenkerettä ja siltaa yhdistävä eroosiosuoja [25]. Siltapaikan varusteisiin kuuluu lisäksi monipuolisesti: kuivatuslaitteita, kuten hulevesikaivot, -kourut

ja -urat, erilaiset ojat, pumppaamot ja salaojat [23], siltapaikan kulkutiet, kuten portaat, hissit, tarkastustasanteet, jätkänpolut [8].



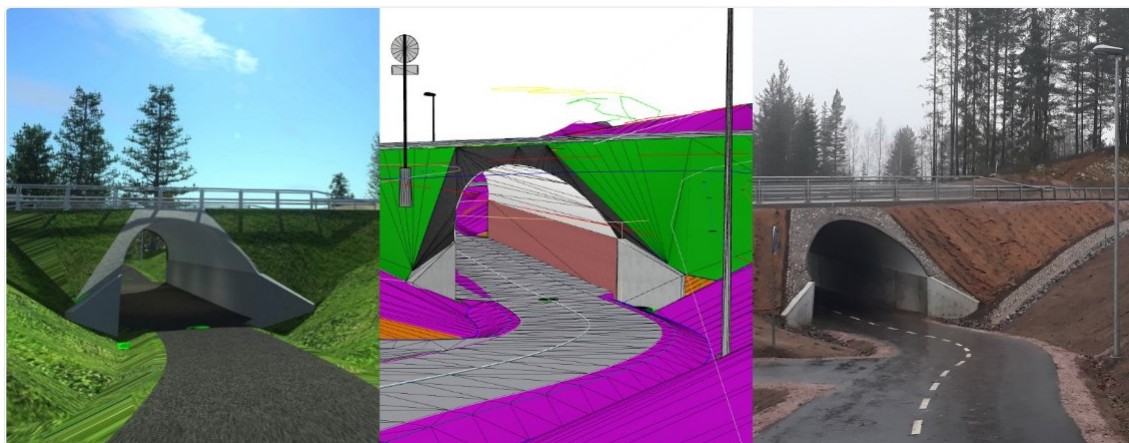
Kuva 19. Siltapaikan käsitteitä.

3 Mallintaminen siltasuunnittelussa

3.1 Siltamallien vaatimukset

Tietomallien käyttö on kasvanut infra-alalla, ja sitä kautta hankkeiden tilaajien tietoisuus ja vaativuus malleista on myös lisääntynyt [8]. Jotta toiminta alalla olisi yhtenäistä, Väylävirasto asettaa malleille tietyt vaatimukset, jotka on esitetty *Siltojen Inframalliohjeessa* [26].

Malleja kutsutaan eri nimillä riippuen niiden laadusta, käyttötarkoituksesta ja sisältävästä tiedosta. Väyläviraston ohjeistuksien mukaisesti sillan tietomallia kutsutaan sillan inframalliksi. Siltojen lisäksi inframalli voi olla väylä-, geo-, tai ympäristösuunnittelun tuottama malli. [26]



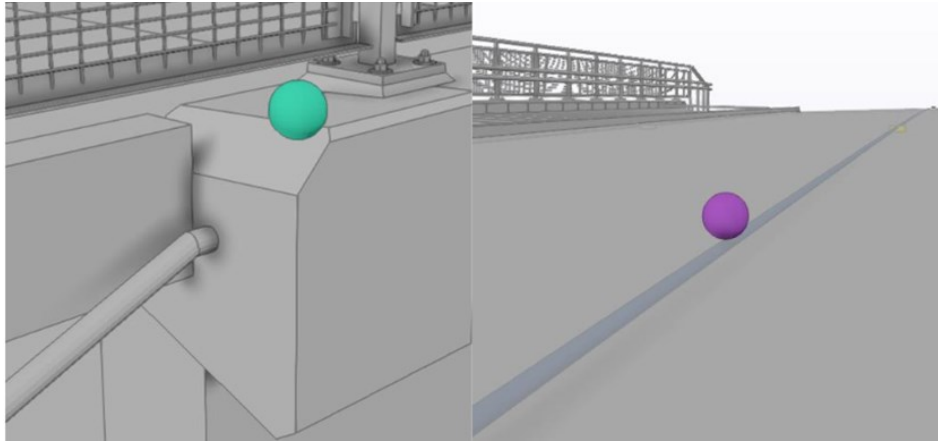
Kuva 20. Vasemmalta oikealle: havainnekuva, siltamalli, toteutunut silta.

Yksinkertaisimmillaan kolmiulotteinen malli sisältää jonkin rakenteen, esineen tai muun kohteen tietoa digitaalisessa tilassa. Luontaisesti yksi tieto, joka voidaan esittää, on kolmiulotteisen kohteen pinta ja muoto. Mikäli se ei sisällä muuta tietoa, tällaista mallia kutsutaan infra-alalla pintamalliksi. Pintamallia, joka esittää maaston pinnan muotoa, kutsutaan maastomalliksi. Mittaustuloksista voidaan esimerkiksi mallintaa nykytilamalli siltapaikan maaston muodosta. Tilavuustiedot ovat myös tavanomaisia malleissa. Näiden hyötykäyttö voi olla esimerkiksi määrä- ja kustannusluetteloiden laadinnassa. Pelkästään pinta- tai tilavuustietoja sisältävää mallia kutsutaan infra-alalla geometriamalliksi. [26]

Tietomalli tunnetaan myös englanninkielisellä termillä BIM eli Building Information Modelling. Yleinen käsitys vaikuttaa olevan, että perinteisestä kolmiulotteisesta mallista tulee tietomalli, kun malliin lisätään digitaalisesti rakentamista, osavalmistusta ja hankintaa tukevaa tietoa [1, 2]. Tätä tietotyyppiä kutsutaan tässä opinnäytetyössä attribuuttitiedoksi. On huomioitava, että edellä mainitut pintamallit ja geometriamallit eivät olisi tämän määritelmän mukaan tietomalleja, vaikka ovatkin inframalleja. Tietomallilla on myös eri tarkoitus rakennusalan ulkopuolella [27], ja käsitteellä on häilyvät rajat alan sisälläkin mukaan lukien inframalliohjeessa. Väylävirasto pyrkiikin ohittamaan epäselvyydet tietomallin terministössä inframalli-nimikkeellä [27].

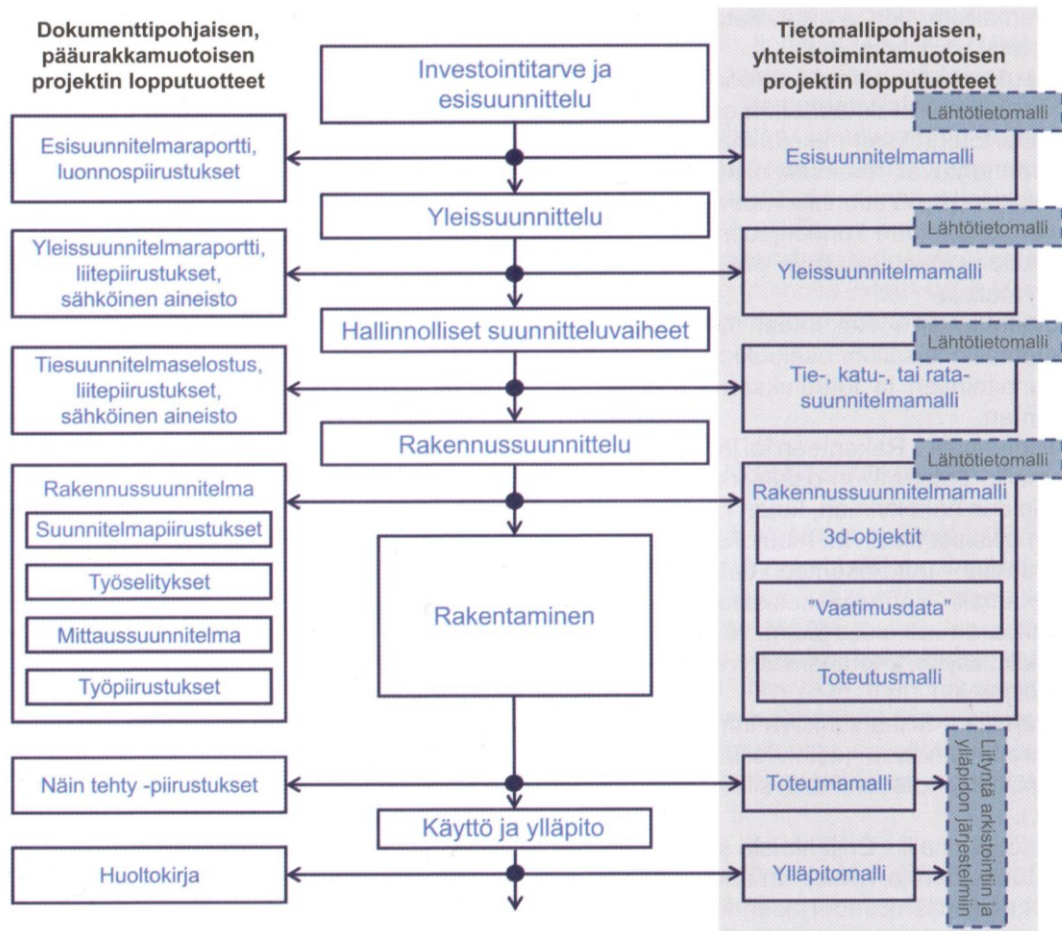
Rakennusosalalla attribuuttitieto voi olla mm. rakenneosan tai -osien materiaali-, profiilikoko-, pinnoitus-, koordinaatti-, jaottelu-, numerointi-, rakennusjärjestys-

tai rakennusaikataulutietoa [1, 2, 26], mutta se voi myös olla rakenteista riippumaton tieto. Jotta näitä immateriaalisia tietoja saadaan sisällytettyä inframalliin, se esitetään mallissa olevana objektina [26]. Sillan inframallissa immateriaaliobjekteja voivat olla esimerkiksi TSV (väylän tasausviiva), alittavan väylän vaatima tyhjä tila tai tärkeät geometriset pisteet kuten sillan risteys- tai pääty piste. [26]



Kuva 21. Mallinnettu pääpiste ja risteyskohta.

Aivan kaikkea tietoa ei laiteta kaikkiin inframalleihin, vaan tietoa valikoidaan ja muokataan käyttötarkoituksen tai suunnitteluvaiheen mukaisesti [26]. Inframallit alkavat yleensä lähtötietomallista, johon suunnitelmat pohjautuvat [8]. Inframallia muokataan projektin edetessä, ja vaiheesta toiseen yritetään säilyttää edellisen vaiheen malleja pohjina uusille, jotta vaiheiden välillä katoava tiedon määrä olisi mahdollisimman pieni [8]. Mallista voi tehdä erillisiä osia tiettyyn tarkoitukseen, esim. konepajamalli tai telinemalli [26]. Itse suunnitteluprosessin jälkeen siltojen inframallit tulee lisäksi päivittää taitorakennerekisteriin ylläpitoa varten [26].



Kuva 22. Dokumentti- ja mallipohjainen suunnittelu hankevaiheittain.

Sillan elinkaaren aikana tietomalleja käsittelevät lukuisat eri osapuolet. Jotta tietomallin siirto käyttäjältä toiselle olisi mahdollisimman ongelmaton, alalle on kehitetty IFC-tiedostomuoto (Industry Foundation Class). IFC on BIMin käyttöä edistävän buildingSMART-yhteistyöverkoston kehitysohjelman kuuluva standardisoitu tietomallin tiedostomuoto [4]. Koska standardi on avoimesti käytettävä, IFC-tiedostot ovat laajasti yhteensopivia alalla käytössä olevien ohjelmien kanssa, ja siitä on muodostunut yleinen tietomallien välittämistapa myös Suomessa [26]. Sillan inframalli toimitetaan aina IFC-mallina [26].

Kolmiulotteisissa malleissa olevien sijaintien määrittämiseen voi olla monia koordinaattijärjestelmiä, mutta kaksi hyödyllistä termiä ovat globaali koordinaatisto, johon sisältyy koko malli, ja paikallinen koordinaatisto, joka kattaa pienemmän osan mallista. [28]

Väyläviraston ohjeiden mukaisesti silta tulee mallintaa siten, että sen sijainti mallin globaalissa koordinaatissa on sama kuin sen todellinen sijainti hankkeen virallisessa koordinaatissa. Tämän tulee aina päteä mallista tuotettuun IFC-tiedostoon, mutta mallia pyöritettäessä mallinnusohjelmassa natiivina voidaan joutua käyttämään paikalliskoordinaattia. [26]

3.2 Ohjelmat

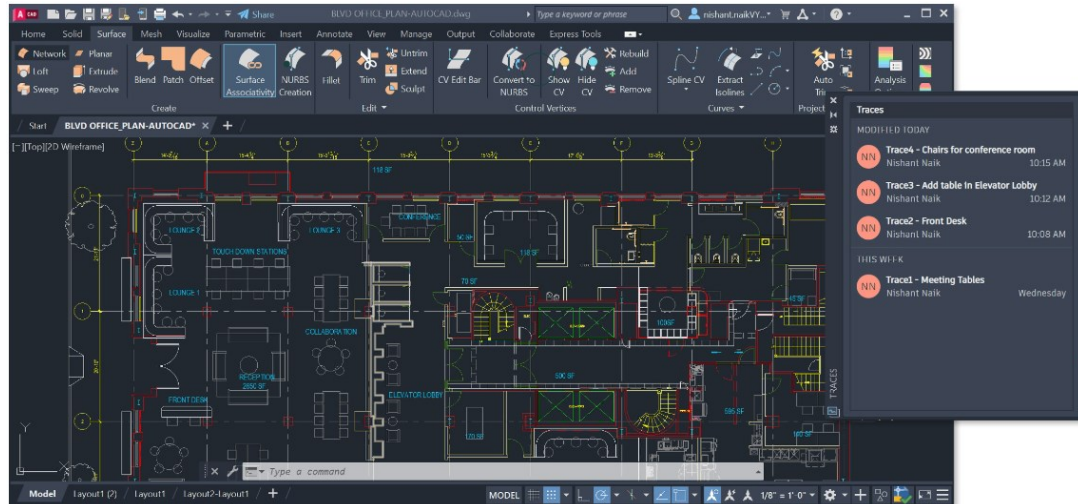
Tietomallien tekoa varten tarvitaan tietokoneohjelma tai -ohjelmia, joihin liittyvää sanastoa on hyödyllistä käydä läpi. Algoritmi on kuvattu Tuulikki Tanskan ja Toni Österlundin teoksessa *Algoritmit puurakenteissa* [1] seuraavasti: ”Algoritmi on sarja yksityiskohtaisesti määriteltyjä tehtäviä, jotka on luotu tietyn päämäärän saavuttamiseksi”. Teoksessa [1] annetussa esimerkissä algoritmia rinnastettiin reseptiin, joka lähtöaineksien ja prosessin pysyessä samana tuottaa aina saman tuloksen. Parametri on tieto, joka syötetään prosessiin ja aiheuttaa vaikutuksen tulokseen. [1] Aiempaan esimerkkiin voisi rinnastaa, että reseptille syötetty parametri voisi olla esimerkiksi annosmäärä. Algoritminen ja parametri- nen suunnittelu ovat samankaltaisia termejä, joita käytetään alalla monesti keskenään sekaisin.

3.2.1 AutoCAD

AutoCAD on Autodeskin lanseeraama luonnostus- ja piirustusohjelma. Nimi on yhdistelmä sanasta automatisoitu sekä lyhenteestä CAD (Computer Aided Design). CAD-ohjelmia on ollut markkinoilla jo vuosikymmeniä. Kuten CAD-ohjelmille on tyypillistä, AutoCAD oli alun perin lanseerattu yksinkertaisena 2D-piirustusohjelmana kynän ja paperin vaihtoehdoksi, ja kehittyi siitä lähtökohdasta laajemmin eri suunnittelun tarpeisiin. Ohjelma on tänä päivänä laajasti suosittu ympäri maailmaa lukuisien alojen keskuudessa ja on CAD-ohjelmien markkina-johtaja. [29]

Ohjelmassa on 2D-toimintojen lisäksi laajat ja monipuoliset 3D-toiminnot, mutta on olennaista muistaa, että nämä ovat lähtökohtaisesti ohjelman piirustus-,

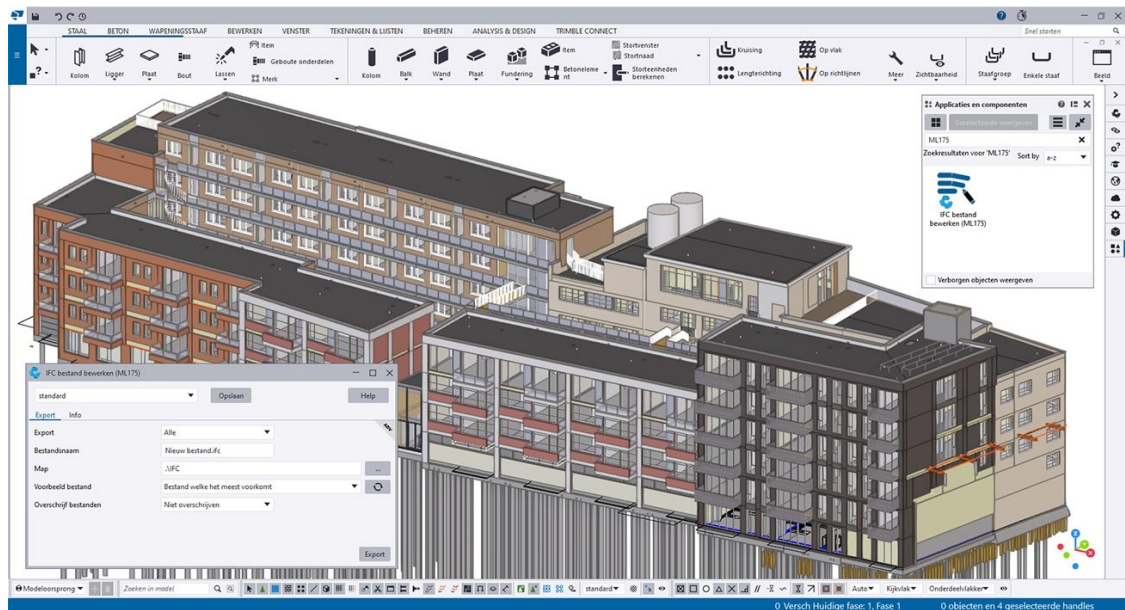
luonnostelu- ja visualisointitarkoituksia palvelevia [29]. AutoCAD ei esimerkiksi pysty analysoimaan rakenteiden kestävyyttä [29], ja rakennesiin saa vain rajatusti attribuuttitietoja [30].



Kuva 23. AutoCAD 2024:n käyttöliittymä.

3.2.2 Tekla Structures

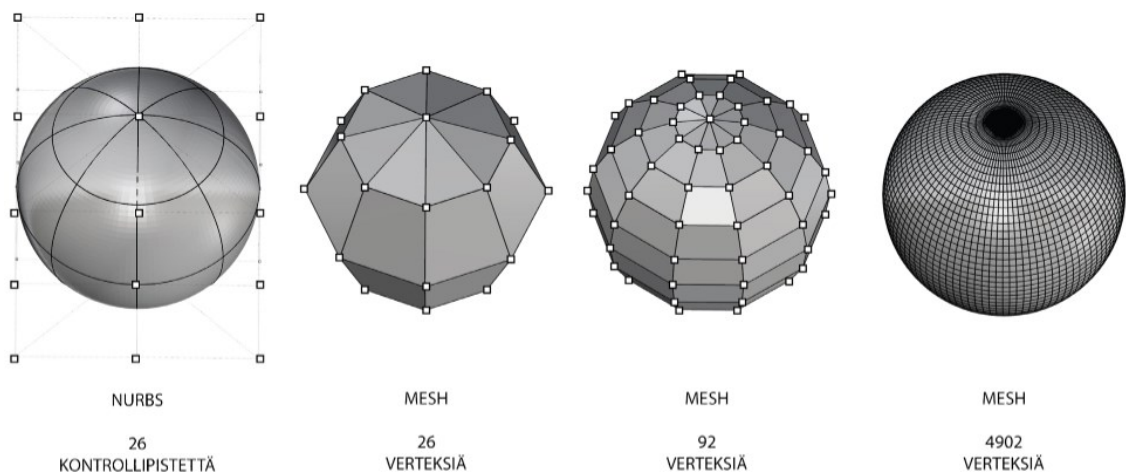
Tekla Structures, alun perin Helsingissä 1966 perustetun Teknillinen Laskenta Oy:n julkaisema [31] ja 2014 amerikkalaisen Trimble Solutions Ltd:n ostama ohjelma, on kansainvälisesti laajasti käytössä oleva rakennesuunnittelun tietomallinnusohjelma [32]. Ohjelma omaa laajat toiminnallisuudet rakennesuunnittelulle, erityisesti teräsrakenteille, joille ohjelma oli alun perin kehitetty [33], sekä betoni- ja teräsbetonirakenteille. Pienemmässä määrin ohjelma mahdollistaa lukuisien materiaalien kuten lasin, puun ja tiilen käytön [31]. Mallinnettavat kappaleet voivat olla monimutkaisia, yksityiskohtaisia tai lukuisia, esimerkiksi raudoituksia tai liitoksia mallintaessa [32]. Lisäksi Tekla Structuresilla on laajat ja kehittyneet yhteistyötä mahdollistavat työkalut, Trimble Connect [32]. Tässä opinnäytetyössä Tekla Structures on ohjelma, johon sillan lopullinen inframalli halutaan mallintaa.



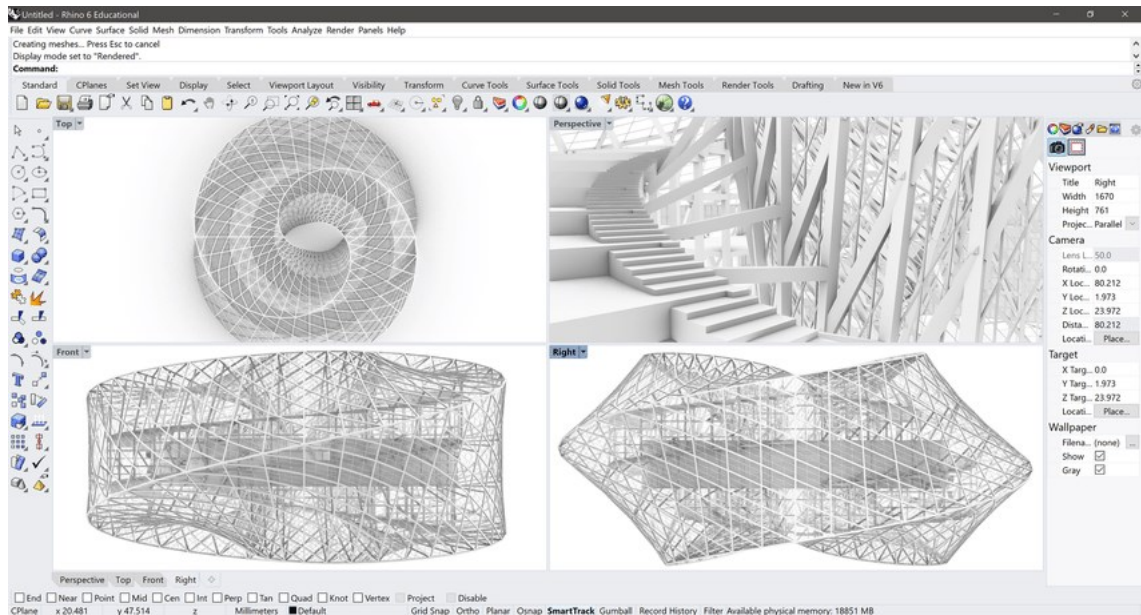
Kuva 24. Tekla Structures 2024:n käyttöliittymä.

3.2.3 Rhino 3D

Rhino 3D on Robert McNeel & Associates (TLM, inc.) julkaisema [34] kolmiulotteinen mallinnusohjelma. Rhino 3D omaa mesh-pintojen lisäksi kattavat työkalut NURBS-käyrille ja -pinnoille [1]. NURBS-käyrät ovat hyödyllisiä mallinnuksessa, koska ne säästävät tietokonetehoa, mutta ovat kuitenkin aina tarkkoja, toisin kuin perinteisemmät mesh-pinnat, joissa tarkkuus riippuu verteksien määrästä [1]. Tämän takia Rhino 3D on laajasti käytetty aloilla kuten arkkitehtuuri, laivasuunnittelu ja korusuunnittelu [35].



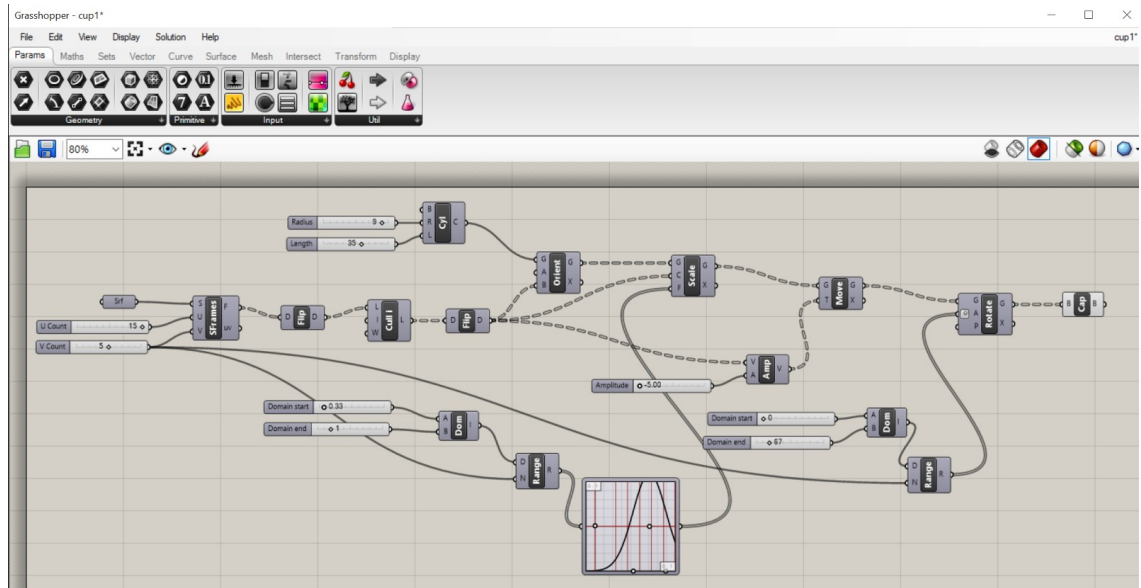
Kuva 25. NURBS- ja mesh-mallinnuksen ero.



Kuva 26. Rhino 3D:n käyttöliittymä.

3.2.4 Grasshopper

Grasshopper on visuaalisen algoritmin editointiohjelma, joka mahdollistaa algoritmien teon ilman kirjallisen koodauskielen osaamista [36]. Grasshopperin on Robert McNeel & Associates (TLM, inc.) julkaisema [37] ja ohjelman pääkehittäjä on David Rutten [36]. Grasshopper ei voi toimia yksinään, vain se on lisäohjelma Rhino 3D:lle [38]. Grasshopperissa koodi rakennetaan ohjelmakomponenteista, joita yhdistellen muodostuu tehtäväketju eli algoritmi [1].



Kuva 27. Esimerkki visuaalisesta koodauksesta Grasshopperissa.

Grasshopperiin voi ladata uusia toimintoja tarjoavia lisäosia McNeelin ylläpitäältä *food4Rhino*-sivustolta [39]. Lisäosia on suuri määrä, ja ne laajentavat huomattavasti Grasshopperin toimintakirjastoa [39]. Koska lisäosat ovat kolmannen osapuolen kehittäjien tuottamia, niissä voi kuitenkin esiintyä virheitä tai ne voivat jäädä vaille päivityksiä [39]. Liian suuri määrä asennettuja lisäosia voi myös hidastaa ohjelmaa, joten ne kannattaa valikoida ajatuksella [39]. Olennaisin lisäosa tämän opinnäytetyön kannalta on Trimble Solutions Ltd:n julkaisema Grasshopper-Tekla Live Link -lisäosa, jonka ohjelmakomponentit mahdollistavat tiedon siirron Grasshopperin ja Tekla Structuresin välillä [40].



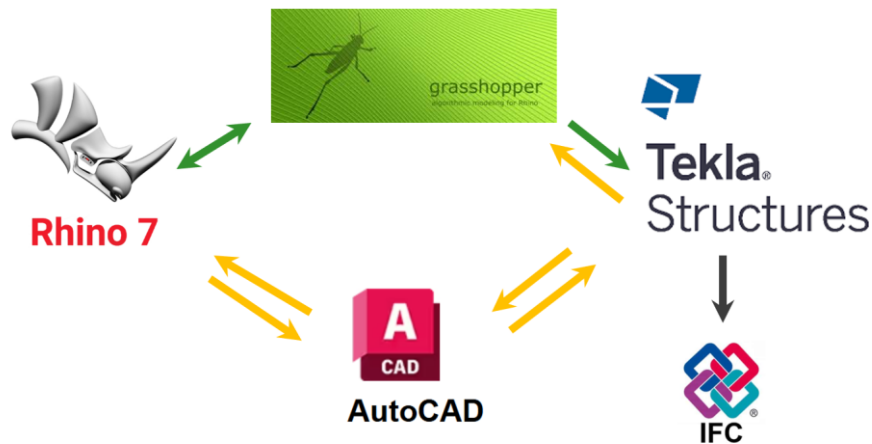
Kuva 28. Kuvakaappaus Grasshopper-Tekla Live Link -lisäosan lisäämstä toimintovalikosta.

3.3 Ohjelmien yhdistäminen

Mallinnusohjelmat eivät sovellu yhtä hyvin luonnosteluun kuin esim. CAD-pohjaiset ohjelmat, minkä takia kannen poikkileikkaus ja sillan suurpiirteiset mitat yleensä luonnostellaan ensin CAD:llä ennen kuin ne viedään

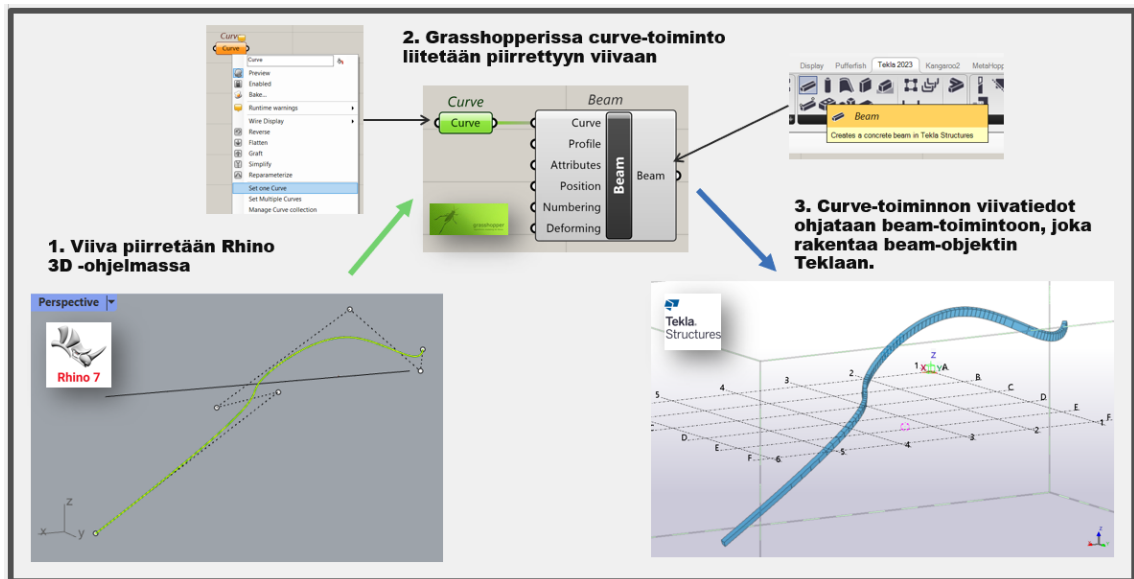
mallinnusohjelmaan [8]. Jotta tieto kulkee Rhino 3D-, Grasshopper- ja Tekla Structures -ohjelmien välillä, tulee kaikki kolme ohjelmaa olla auki samanaikaisesti. Ohjelmat tulee avata siten, että haluttu Tekla Structures on avattu, minkä jälkeen avataan Rhino 3D, minkä jälkeen avataan Grasshopper-tiedosto Rhino 3D:n sisältä. Jotta linkitys ei katoa kerrasta toiseen, tulisi ohjelmat sulkea käänteisessä järjestyksessä avaukseen nähden.

Tämän opinnäytetyön tavoitteleva/mahdollistama käyttöympäristö:



Kuva 29. Tälle opinnäytetyölle olennaiset yhteydet ohjelmistojen välillä. Vihreällä on kuvattu välittömät yhteydet.

Seuraavassa esimerkissä olen piirtänyt kolmeen ulottuvuuteen kaareutuvan NURBS-käyrän Rhino 3D -ohjelmaan ja sitten vienyt geometrian Teklaan Grasshopperin kautta.



Kuva 30. Esimerkki suunnittelussa tapahtuvasta tiedon kulusta ohjelmien välillä.

Näin monen ohjelman kanssa työskentely voi tuntua epäkäytännölliseltä, mutta asetelmalla on hyötynsä. Ohjelmat on tehty eri käyttötarkoitukseen, ja siten niiden toiminnallisuudet ovat erikoistuneet eri asioihin. Yhdistämällä ohjelmia suunnittelija voi hyödyntää jokaisen ohjelman tuomia etuja.

Useimman ohjelman käyttöön liittyy kuitenkin myös haasteita. Suunnittelijalla tulee olla sekä osaaminen että lisenssit kaikille ohjelmille. Lisäksi ylläpitotyö saattaa olla suurempi, kun päivityksien määrä kasvaa. Uudet päivitykset voivat myös haitata ongelmien yhteensopivuutta, kun ohjelmien julkaisijat ovat kokonaan eri yrityksiä.

4 Työn lähtökohdat

Tämän opinnäytetyön aikana on tuotettu Grasshopper-pohja eräiden siltavarusteiden mallintamiselle Teklaan. Tässä opinnäytetyöraportissa on kuvattu tuotettujen tulosten lisäksi pohjan teon aikana ilmenneitä ongelmia ja löydettyjä ratkaisuja sekä tälle opinnäytetyölle olennaiset ohjelmakomponentit. Komponentteja ja toimintoja on paljon enemmän kuin tässä opinnäytetyössä on esitetty, mutta ne on rajattu olennaisimpiin ja kiinnostavimpiin tapauksiin.

4.1 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on olla mahdollisimman joustava Grasshopper-pohja siltavarusteiden mallintamiseen erilaisille sillan mallinnusprojekteille. Koska tuotettava pohja on tarkoitettu lisäosaksi toiselle mallinnustyölle, työtä tehdessä pitää ottaa huomioon tuloksen lisäksi se, miten hypoteettisen sillan koodi tai malli on saatettu rakentaa. Pohjan pitää myös olla käyttäjäystävällinen ja ymmärrettävissä kyseiseen algoritmiseen koodiin perehtymättömälle.

Toinen tavoite on pohjan muutoskestävyys. Täydellisessä tilanteessa parametrien muuntelun tulisi johtaa ohjeiden mukaisiin muutoksiin kaikissa niistä riippuvissa rakenteissa. Tämän vaikutuksena on helpottaa mallinnustyötä ja vähentää muutosvirheiden määrää.

Pohjan teon lisäksi opinnäytetyössä oli tarkoitus tutkia Destian Grasshopper-aineistoa, ohjeita ja toimintatapoja. Tämä tavoite jäi valitettavasti vähemmälle huomiolle itse opinnäytetyön edetessä.

Opinnäytetyöllä on lisäksi tarkoitus kehittää osaamistani sekä siltasuunnittelijana että opinnäytetyössä hyödynnettävien ohjelmien käytössä. AutoCAD on yleisin ohjelma, jota työssäni tai opintojeni aikana olen käyttänyt. Kokemukseni Tekla Structuresin kanssa on melko vähäistä, ja Grasshopperin käyttö oli minulle uutta.

4.2 Työn mallinnuskohteet

Vaikka pohjan on tarkoitus olla mahdollisimman laajasti hyödynnettävissä, pohjan tekoon on rajalliset resurssit, joten on kuitenkin järkevintä keskittyä yleisimpiin tapauksiin, välttää liian rajoittavia ratkaisuja ja integroida harvinaisemmat vaihtoehdot mahdollisuuksien mukaan.

Suomessa yleisimpiä piirteitä silloille ovat materiaalina teräsbetoni, tyyppinä laattasilta ja käyttönä tiesilta [7]. Opinnäytetyön testikohteeksi soveltuu siis

hyvin Tuomas Vuorentaustan tekemän *Laattasiltojen algoritminen mallintaminen tiesuunnitelmavaiheessa* -opinnäytetyön [41] tuottama pohja.

Opinnäytetyön tehtävän suunnittelussa ei ollut tarkkaan määritelty, mitkä kaikki varusteet työn aikana mallinnetaan. Aiheen laajuus rajautui luonnollisesti opinnäytetyön aikana varusteista yleisimpiin ja ajan riittävyyden mukaisesti. Työn edetessä muodostui suhteellisen yhtenäiseksi kokonaisuudeksi H2-kaiteet ja sillan kannen hulevesijärjestelmät.

Destialla on jo kattava valikoima varusteita Tekla-komponenttikirjastossaan. Tekla-komponentilla tarkoitan rakennetta, joka koostuu useammasta osasta, jotka on tallennettu Teklan kirjastoon. Alussa tarkoitus oli hyödyntää näitä komponentteja Grasshopperin avulla, mutta Tekla-komponenttien käyttö on ajoittain rajallisempaa kuin kokonaan Grasshopperissa mallinnetuilla rakenteilla, ja niitä voi huonommin automatisoida, jonka takia päädyttiin mallintamaan rakenteet uudestaan. Näistä oli kuitenkin hyötyä, sillä ne toimivat hyvänä mallina sille, miten varusteet tulisi Teklassa olla mallinnettuna.

4.3 Laatuvaatimukset

Opinnäytetyön tuloksen tulee mahdollistaa Väyläviraston ohjeiden ja tyyppipiirustuksien mukainen suunnittelu. Pohja tehtiin toteutusvaiheelle, jolloin pohjan mallintaman tuloksen tulee lisäksi täyttää Väyläviraston Inframalli-ohjeen sillan toteutamalleille laatimat vaatimukset. Oli myös harkittava tarkkaan, missä tilanteissa pohja voi tuottaa ohjeiden vastaisia ratkaisuja, ja kuinka selvät nämä tapaukset ovat suunnittelijalle. Pohjan olisi samanaikaisesti oltava tarpeeksi joustava, että se ei häiritse suunnittelijan työtä. Näiden tasapainotteluun tuli kiinnittää huomiota läpi opinnäytetyön.

Väylävirasto on julkaissut tyyppipiirustukset tippuputkista, salaojista, hulevesiputkista ja H2-kaiteista. Tyyppipiirustuksien käyttö tekee kyseisistä varusteista erittäin sopivia automatisointiin, koska näiden ominaisuudet eivät muutu yhtä paljon projektista toiseen kuin monien muun varusteiden. Pohjaa tarvitsee

kuitenkin päivittää, jos tyyppiirustukset muuttuvat. Opinnäytetyössä käytettyjen tyyppiirustuksien versiot on esitetty Destia Oy:lle tehdyssä ohjeessa, jonka kansikuva on liitetty tähän raporttiin (Liite 1).

Tässä työn varusteet voidaan Väyläviraston ohjeiden mukaan mallintaa tilava-rauksellisina objekteina, kun ne ovat tyyppiirustuksia hyödyntäviä [26]. Hyvin mallinnetuilla varusteilla voi kuitenkin olla hyötyä esim. määrä- ja kustannuslueteloa laatiessa.

Opinnäytetyössä on käytetty Destian sisäisiä standardeja, pohjia ja muuta luotua materiaalia.

5 Varusteiden mallinnus

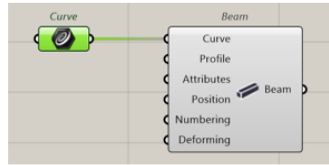
Ohessa on esitetty itse varusteiden geometrisien mallien tuottamiseen liittyviä komponentteja. Ohjelman oppimisen kannalta yksittäisen varusteen geometriamallit ovat hyvä lähtökohta, koska varusteet näkyvät Teklassa heti, kun muutos on tehty, sillä laskenta-aika on lyhyt, ja virheet ovat helppo tunnistaa. Geometristen muotojen mallintaminen on myös hyvä lähtökohta, koska siinä hyödynnetään ohjelman yksinkertaisimpia toimintoja, kuten eri viivakomponentteja.

5.1 Perustoiminnot

5.1.1 Koodin rakentaminen

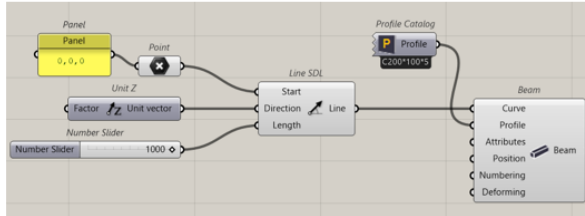
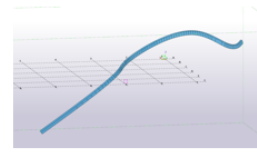
Grasshopperin jokaisella ohjelmakomponentilla on oma toimintansa, jonka se toteuttaa [1], ja ketjuttamista varten tarvittavat paikat joko vasemmalla tai oikealla puolella kappaletta. Koska koodi kulkee aina vasemmalta oikealle, vasemalle puolelle yhdistetään toiminnalle tarpeellinen tieto, eli input-tieto, ja oikealta saadaan toiminnan tuottama tulos, eli output-tieto.

Toiminnot järjestyksessä:



Curve
Tuo viivan Rhino 3D:stä

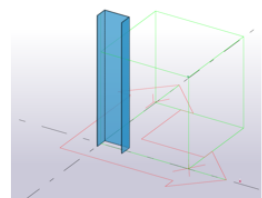
Tekla Concrete Beam
Mallintaa viivan Teklaan



Piste
Luo pisteen globaaliin koordinaatistoon

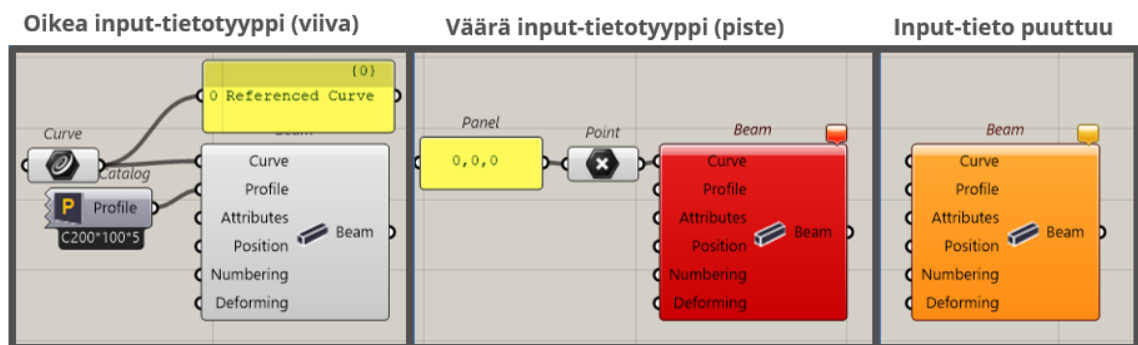
SDL
Luo 1000 mm viivan, pisteestä suuntaan Z

Tekla Concrete Beam
Mallintaa viivan Teklaan



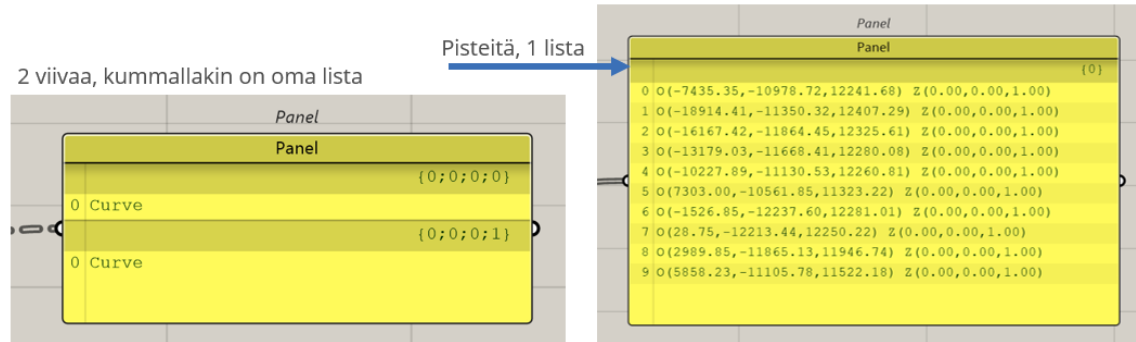
Kuva 31. Esimerkki kahdesta tavasta luoda palkki Tekla Structureen Grasshopperin avulla.

Ohjelmakomponenttien suuren määrän takia ohjelman oppiminen voi olla haasteellista ja käytössä korostuu ohjelman yleisten toimintaperiaatteiden ymmärtämisen tärkeys. Erityisesti komponentista toiseen kulkevan tiedon luonne on olennaista hahmottaa. Yhdistelypaikan kohdalla lukee tiedon tyyppi, jota komponentti tarvitsee toimiakseen. Tässä auttaa ohjelmakomponenttien värikoodi: mikäli tieto puuttuu, ohjelmakomponentti muuttuu oranssiksi, ja punaiseksi jos tiedon käsittelyssä on ongelmaa. Koodissa kulkevaa tietoa voi helposti tarkistaa kytkemällä siihen keltaisen *panel*-komponentin, joka lukee tietovirran. Panelilla voi myös kirjoittaa koodiin haluamansa lähtötiedon, kuten koordinaattitiedot pisteelle.



Kuva 32. Input-tiedon yhdistäminen palkkia luovaan ohjelmakomponenttiin.

Yhden komponentit kautta voi myös kulkea useita tietoja, jolloin tieto esitetään *panel*-komponentissa listana tai listoina. Tätä tiedon hierarkkista muodostelmaa kutsutaan datapuuksi. [42]



Kuva 33. Useamman tiedon kulkeminen yhden komponentin kautta.

5.1.2 Koordinaatisto

Siltamallin koordinaattien tulee täsmätä sillan todellisiin koordinaatteihin [26], mutta Tekla Structuresissa globaalissa koordinaatissa tulisi välttää mallin asettamista liian kauas origosta, koska ohjelman laskennat muuttuvat epätarkemmiksi etäisyyden origosta kasvaessa [28]. Tämän välttämiseksi käytetään *base point* -toiminnallisuutta, joka on suunnittelijan määrittelemä sijainti, jolla malli viedään IFC-malliin tai muuhun kohteeseen [28]. Mallinnettavan sillan asento koordinaatissa oletussijaintiin nähden luontaisesti vaihtelee projektista toiseen.

Koska tavoite on tehdä pohja, jonka pystyy lisäämään mahdollisimman moneen kohteeseen, kiinteän globaalien XY-koordinaatiston käyttö oli rajattua varusteiden sijaintien määrittelyssä. Sen sijaan käytettiin komponentteja, joissa hyödynnetään paikallisia tai suhteellisia koordinaatistoja. Tarkoitus oli, että varusteiden sijoitus siltaan ja globaaliin koordinaattiin nähden tapahtuu, kun suunnittelija yhdistää pohjaan tekemänsä siltamallin lähtötietoja, kuten esimerkiksi reunapalkin keskilinjan. Sijaintien määrittely tällä tavoin oli ajoittain haastavaa, erityisesti myöhemmässä osiossa linjoja asetellessa, mutta lopulta löydetty ratkaisut vaikuttavat toimivilta.

Ohjelman oppiminen aloitettiin mallintamalla varusteita harjoituksen vuoksi ensin globaalin koordinaatiston avulla, koska nämä toiminnot muistuttivat enemmän perinteisen mallinnusohjelman logiikkaa ja olivat siten helpompi lähtöpiste. Tämä oli lopulta yllättävän hyödyllistä, sillä työssä löytyi myöhemmin valittuja osia, jotka pystyttiin rakentamaan globaalin koordinaatiston origon ympärille siten, että pohja siirtää ne lopulta oikealle paikalleen syötetyn lähtötiedon mukaan.

5.1.3 Viivat

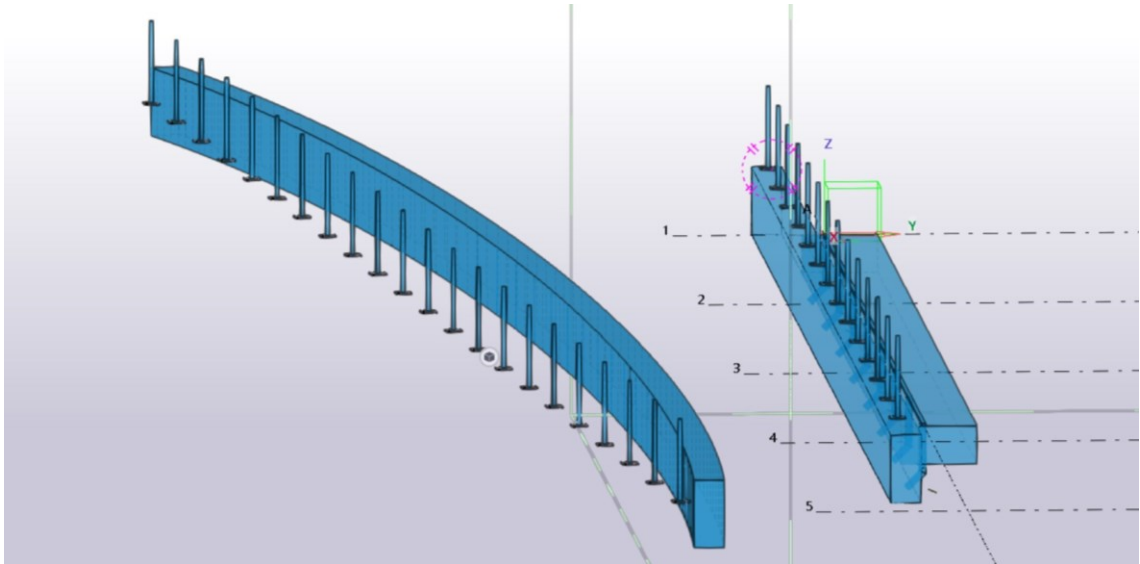
Rhino 3D:ssä viivalla on alku- ja loppupiste ja suunta [43]. Suorat viivat ovat Grasshopperissa nimellä *line* ja kaarevat nimellä *curve*. Viivan voin jakaa *segment*-osiin tai ne voi yhdistää *polyline*-viivasarjaksi. Viivoja yhdistämällä voi myös muodostaa pinta-aloja ja kolmiulotteisia esineitä [6]. Rhino 3D:ssä 3D-muotoja, jotka koostuvat sekä viivoista että pinta-aloista, kutsutaan *Brep*-esineiksi [6].

Viivan voi muodostaa monella tavalla. Sen voi määrittää mm. kahden pisteen välille täysin Grasshopperin puolella, piirtää Rhino 3D -työkaluilla, valita pinta-alan ääri viivoista tai tuoda sen toisesta ohjelmasta. Erittäin hyödyllinen viivakomponentti opinnäytetyössä oli SDL (start, direction, length) eli alku, suunta ja pituus -viiva. Kyseiset viivat tuottivat hyvin kätevästi luotettavaa tulosta, koska suunta on helppo tehdä suhteelliseksi.

Tämän opinnäytetyön näkökulmasta kaikki viivat sisältyvät kahteen kategoriaan: sillan muodon viivat ja varusteen omat viivat. Näitä viivoja kohdeltiin hyvin eri tavalla, mikä näkyy myös komponenttien valinnoissa. Hypoteettisen sillan muotoon liittyvät viivat ovat käytännössä samanaikaisesti sekä tuntemattomia että pohjaan kytkettäviä lähtötietoja. Tämä tarkoittaa sitä, että pohja pitää testata monella eri viivamuodolla.

Varusteiden omat viivat sen sijaan ovat pääosin pohjassa itsessään määriteltäviä viivoja. Niihin saattaa liittyä sillasta riippuvia muutoksia, mutta ne ovat kuitenkin

itse varusteelle ominaisia, ja siten niiden laadusta pystyy tekemään oletuksia. Esimerkiksi hulevesiputki on projektista toiseen kannen läpi pystysuunnassa kulkeva suora putki, ja vaikka sen kokonaispituus saattaa vaihdella, voi sen pystysuuntaista pituutta määriteltessä käyttää suoria viivoja tuottavia komponentteja ilman, että ne haittaisivat pohjan tulevia käyttömahdollisuuksia.



Kuva 34. Ensimmäisiä mallinnustuloksia. Suorien viivojen käyttö voi rajoittaa sitä, minkä muotoiseen siltaan pohjaa voi käyttää. Kaidepylväät oli lisäksi mallinnettu *global*-koordinaatin X suuntaisiksi eivätkä siten kääntyneet reunapalkin muodon mukaisiksi.

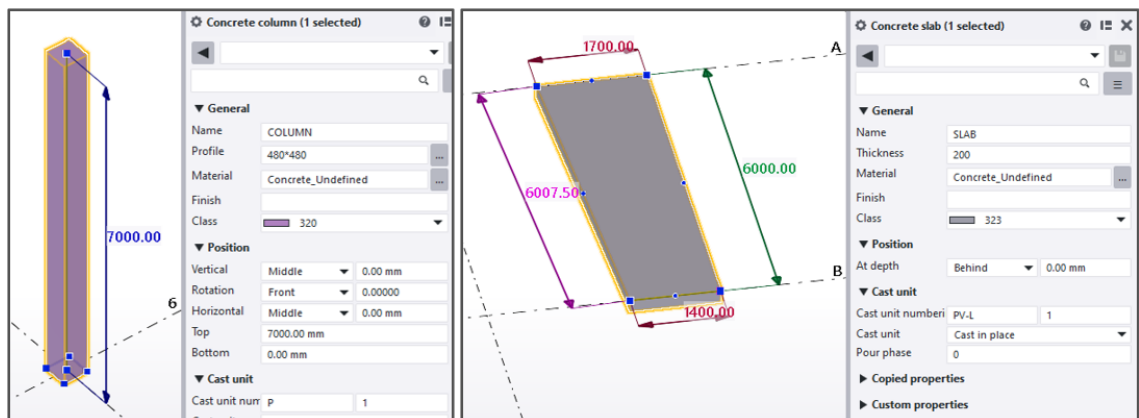
5.1.4 Grasshopper-Tekla Live Link -toiminnot

Aiemmin mainitussa esimerkeissä kuvissa 30, 31 ja 32 viivat on yhdistetty aina *Tekla Beam* -komponenttiin. Tämä johtuu siitä, että vaikka Grasshopperissa tehty koodi on suorassa yhteydessä Rhino 3D:hen ja päivittyy sinne aina välittömästi, mikään tieto ei välity Teklan puolelle ennen kuin se on siirretty sinne jonkin Grasshopper-Tekla Live Link -komponentin avulla.

Koska Tekla on rakennetekniikkaan erikoistunut ohjelma, sen mallinnuslogiikka on muotoutunut rakennetekniikan tarpeisiin. Teklassa ei yleensä mallinneta esi-neiden kaikkia ääriviivoja, vaan rakenteet muodostuvat malliin syötettyjen ja ominaisuusvalikkoon syötettyjen mittojen yhteisvaikutuksesta. Ominaisuuksien

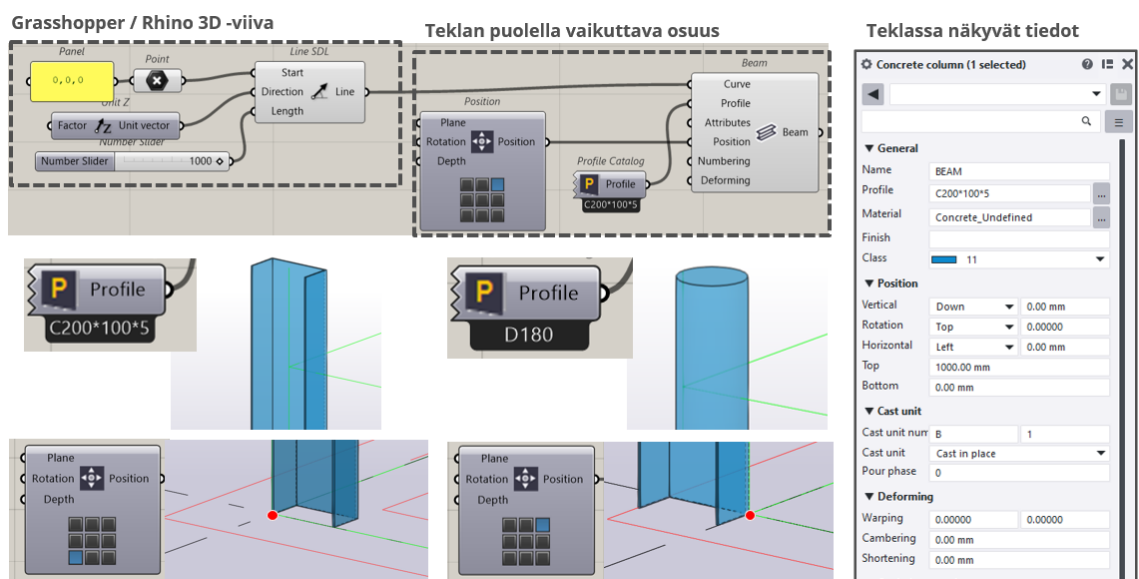
valikot muokkautuvat rakenneosasta ja materiaalista riippuen, ja niiden kautta on mahdollista yhdistää attribuuttitietoja rakenneosiin.

Esimerkiksi pilarille määritetään malliin sijainti ja korkeus, mutta poikkileikkaus valitaan ominaisuusvalikosta löytyvästä *profile*- eli poikkileikkausvalikosta. Tämän avulla, kun rakenteet ovat standardien mukaisia tai usein toistuvia, vältetään turhalta mallinnustyöltä ja muutoksien teko on nopeaa.



Kuva 35. Teklassa mallinnettu pilari ja laatta.

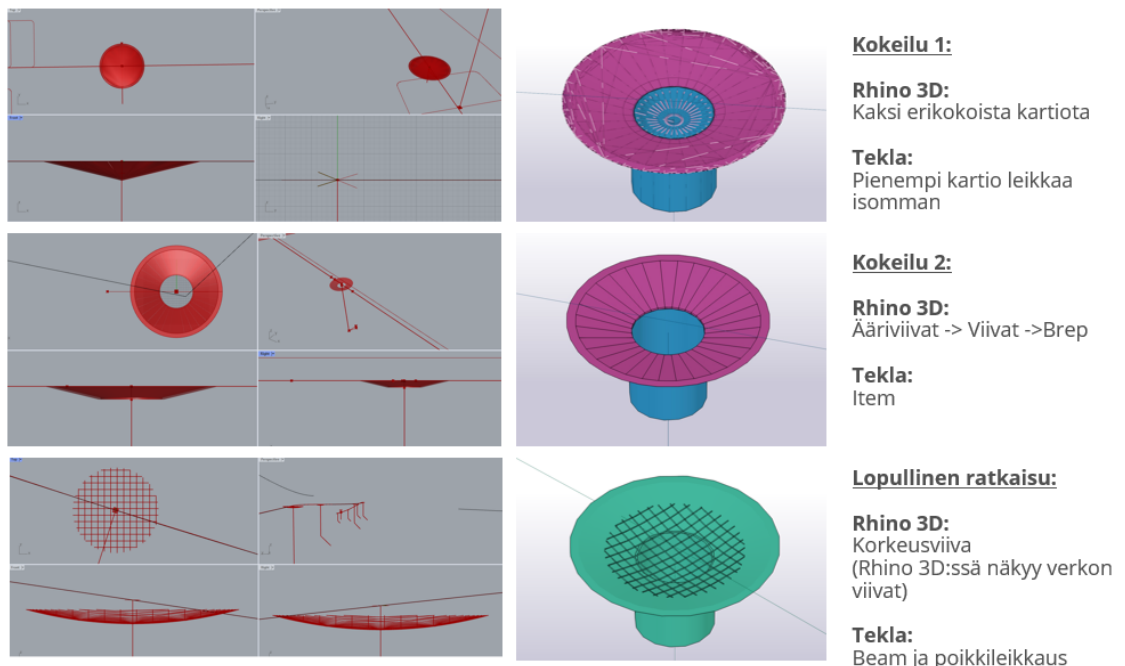
Tämä käyttölogiikka vaikuttaa luontaisesti siihen, miten Grasshopperin puolella koodi kannattaa rakentaa, jotta Teklasta saadaan mahdollisimman suuri hyöty irti.



Kuva 36. Grasshopper-Tekla Live Link -komponentteja.

Kuvassa 36 on esimerkki, jossa pilarin poikkileikkaus ja sijainti pituusviivaan nähden on muokattu käyttäen Grasshopperissa olevia ohjelmakomponentteja, jotka täsmäävät Teklan ominaisuusvalikossa olevien säätöjen kanssa.

Teklassa on kyllä mahdollista mallintaa pelkillä ääri viivoilla, esimerkiksi *item*-toiminnolla, mutta sitä on käytetty harvemmin varusteiden mallinnuksessa. Työn ohjeistuksessa mainittiin, että *item*-työkalulla tuotetuilla rakenneosilla ei aina ole kaikkia samoja valikkoja kuin muilla työkaluilla. Tämän lisäksi työn edetessä huomattiin, että kun käyttää näitä yleisempiä työkaluja, koodista tulee yleensä selkeämpää ja lyhyempää. Hyvä esimerkki tästä on alla oleva kokeilu tippuputkien ja salaojan risteyskohtaan tulevia suppiloita tehdessä.



Kuva 37. Suppilon eri mallinnustavat. Oikealla on selostettu, missä ohjelmassa mikäkin toiminta tapahtuu.

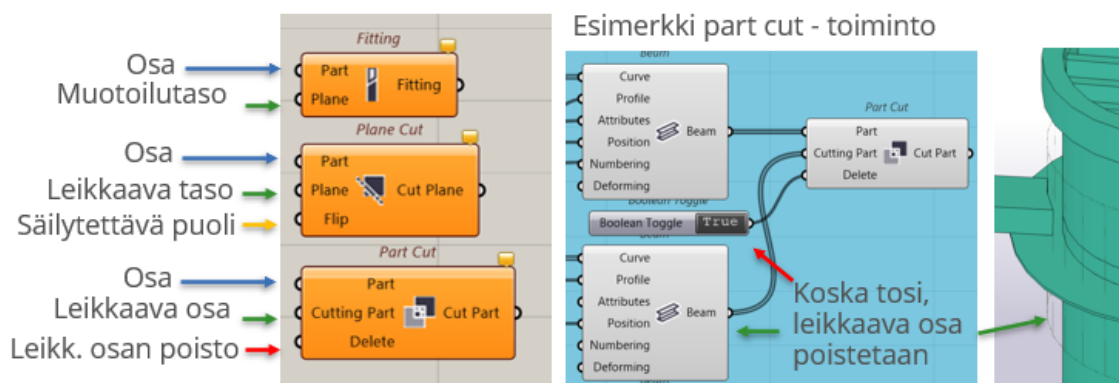
Suppilo rakennettiin ensin kahdesta sisäkkäisestä kartiosta, jonka pienempi leikkasi suuremman Teklan puolella, mutta koska leikkaus ei aina toteutunut oikein, koodi rakennettiin myöhemmin uudestaan Tekla-itemiksi koodaamalla Grasshopperilla suppilon kaikki ääri viivat ja muodostamalla siitä *Brep*-kappale.

Lopulta kuitenkin ilmeni, että alkuperäinen Tekla Structures -komponentti oli mallinnettu yksinkertaisena palkkina, jonka profiili oli suppilon muotoinen. Profiilia hyödyntäen suppilon voi mallintaa pelkillä sijainti-, viiva- ja profiilitiedoilla. Tämä vähensi ohjelmakomponenttien määrää huomattavasti, poisti turhia leikkauksia tai laskelmointeja pohjan puolella, ja mahdollisti helpomman muokkauksen myöhemmin.

5.1.5 Objektien leikkaustoiminnot

Koska rakenteen poikkileikkaus muodostuu vain Teklan puolella, poikkileikkaukseen vaikuttavat muutokset kuten viisteet voivat ajoittain olla haasteellista tehdä. Muuten kuin mallintamalla koko esinettä ensin Rhino 3D:n puolelle esimerkiksi *Brep*-muodossa, poikkileikkauksen muokkauksen vaihtoehtoina ovat vain kolme Grasshopper-Tekla Live Link -komponenttia: *fitting*-, *cut plane*-, ja *cut part* -komponentit.

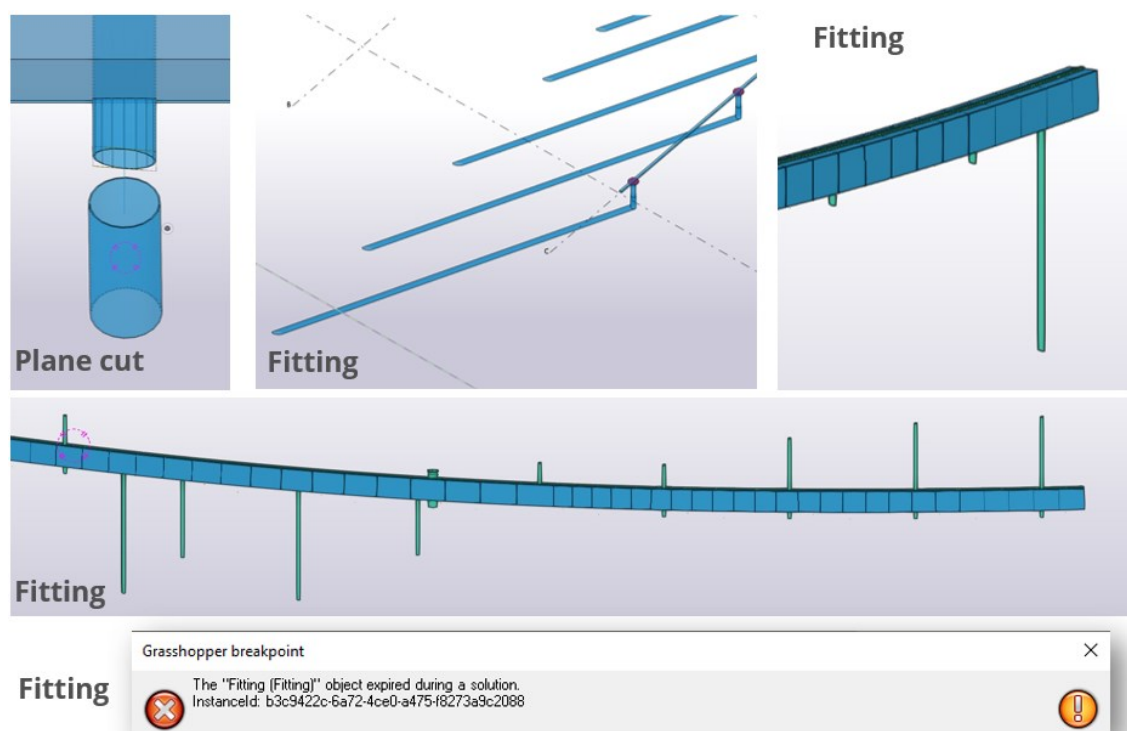
Cut part -komento on suoraviivaisin: yksi osa leikkaa toista osaa, ja vaihtoehtoisesti leikkaavan osan voi poistaa leikkauksen jälkeen. *Cut plane* - ja *fitting*-komennot toimivat molemmat tason avulla, mutta *cut plane* -komennolla voi valita minkä puolen haluaa säilyttää, ja mikäli taso ei koske muokattavaa osaa, *cut plane* -komennolla ei ole vaikutusta, kun taas *fitting* muokkaa tason suuntaista mittaa, kunnes osa osuu tasoon.



Kuva 38. Grasshopper-Tekla Live Link -muokkaustoiminnot.

Cut part -komponentti toimii parhaiten, kun haluaa leikata vain yhden osan toisella yksittäisellä osalla. Yksi ongelma on, että jos poistettavan osan laittaa leikkaamaan monta muuta osaa, osa saattaa joskus poistua ennen kuin kaikki leikkauskomennot ovat toteutuneet. Toiminto oli myös vaikea saada toimimaan tilanteissa, joissa leikattavien ja leikkaavien osien määrä ei ole identtinen, koska tieto pitää syöttää hyvin tarkasti, jotta komento ymmärtää mitä mitkäkin osat leikkaavat. Hyvä esimerkki näistä haasteista oli kaidetolppien pulttiryhvät. Oli haastavaa sekä saada yksi pultti leikkaamaan kaikki sen läpäisevät kerrokset että saada kaikki saman komennon kautta kulkevat pultit leikkaamaan yksittäisen kerroksen.

Ilmeni usein, että mikäli koodissa oli jotain vikaa, ongelmat usein esiintyivät muokkaustoiminnoissa, pahimmissa tapauksissa kaataen ohjelman. Opinnäytetyössä käytettiin *cut part* -komentoa tarvittaessa, mutta mieluiten *fitting*-komentoa, koska sen käyttöön liittyi muihin verrattuna vähemmän ongelmia.



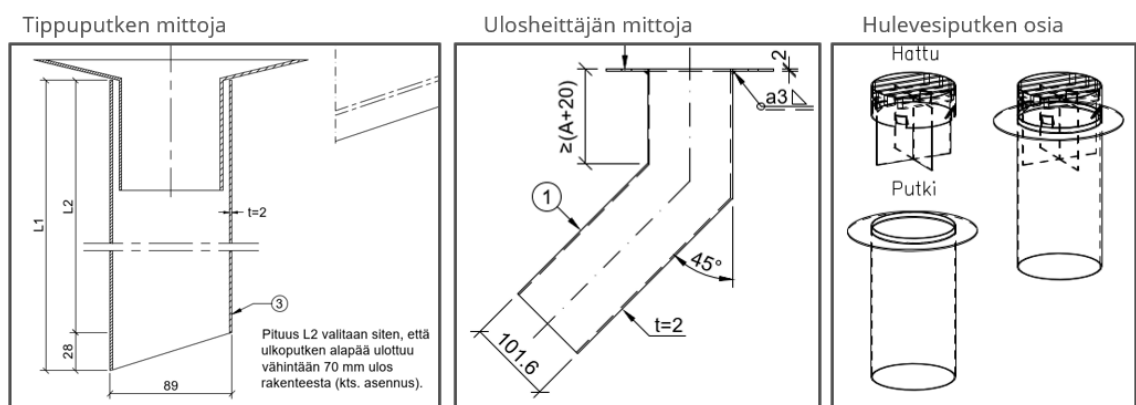
Kuva 39. Muokkaustoimintoihin liittyviä ongelmia.

Työn kannalta oli aina parempi, jos ei tarvinnut käyttää Teklan puolella tapahtuvia leikkauksia ollenkaan. Kuvassa 39 keskellä ylhäällä olevassa ulosheittäjän esimerkissä ratkaisu oli loppujen lopuksi, että putken pystyy tekemään yksinkertaisesti yhdistämällä kaksi viivaa *polyline*-komponentiksi, jolloin Tekla mallintaa kulman viisteen automaattisesti, mikä korjaa kyseisen virheen.

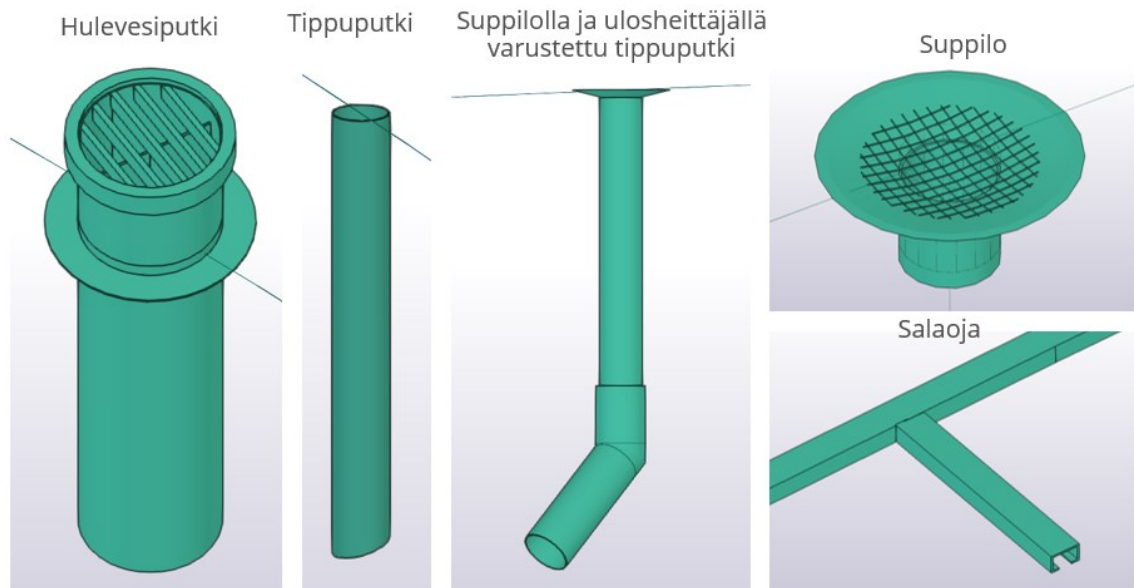
5.2 Varusteiden geometriamallit

5.2.1 Vedenohjauslaitteet

Pohjaan koodatut vedenohjauslaitteet ovat kannen salaojat, tippuputket ja hulevesiputket sekä tippuputkiin lisättävinä varusteina suppilot ja ulosheittäjät. Suppilot ja ulosheittäjät on jätetty vapaaehtoisiksi ja toisistaan riippumattomasti liisättäviksi, koska ulosheittäjiä käytetään vain tietyissä tilanteissa. Yleensä suppilo asennetaan aina kun salaoja risteää tippuputkeen, mutta suppilon kuuluvan verkon muodostamiseen on pohjassa käytetty lukuisia yksittäisiä palkkeja (esitetty kuvissa 37 ja 41), jolloin on käyttäjäystävällisempää, että suppilon voi tarvittaessa poistaa tietokonetehon säästämiseksi riippumatta siitä, risteääkö se salaojaan.



Kuva 40. Otoksia kuivatuslaitteiden tyyppiirustuksista.



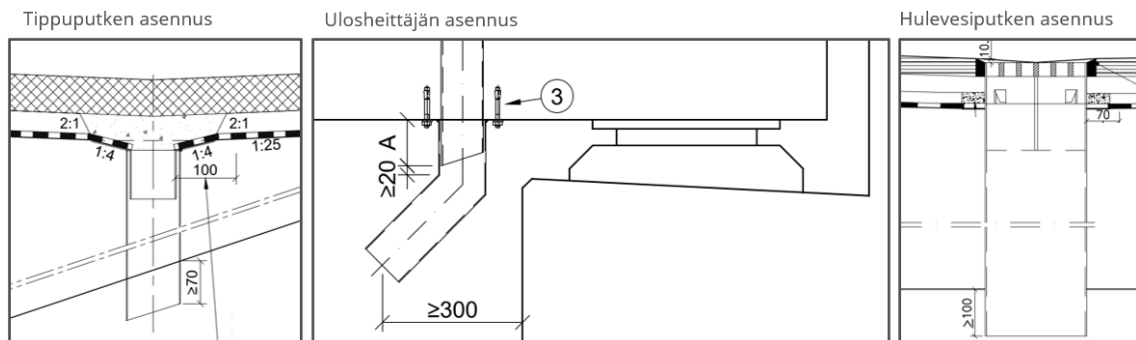
Kuva 41. Pohjan avulla mallinnetut yksittäiset vedenohjauslaitteet.

Opinnäytetyön ensimmäinen kohde olivat tippuputket ja sen varusteet. Alussa erityisesti ulosheittäjän pituuden, kulman ja viisteen mallintaminen olivat hyvin vaikeita saada toimimaan oikein. Näiden mallinnuskoodit kirjoitettiin myöhemmin uudestaan, jolloin osaamiseni kehitys korostui konkreettisesti, kun tuon kohdan koodaaminen yksinkertaisemmilla toiminnoilla sujui helposti ja järkevältä tuntuvalla tavalla.

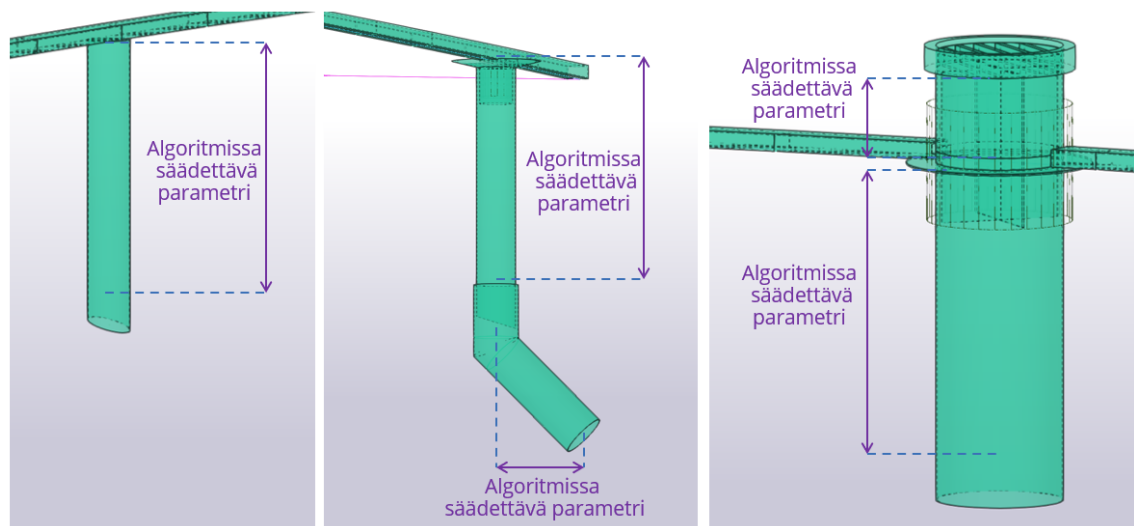
5.2.2 Parametriset säädöt

Vedenohjauslaitteisiin on valittu säädettäviä ominaisuuksia. Sekä hulevesiputkille että tippuputkille on koodattu parametrissa suunnittelua varten kokonaispituuden muuttomahdollisuus, joka säilyttää putken sijainnin kannen yläpinnassa paikallaan. Tämän parametrin on tarkoitettu olevan kannen paksuus, mutta joissain tapauksissa se voi olla myös pituus, jonka jälkeen putki on ohittanut kaikki päällysrakenteet, jotta vältetään esimerkiksi kuvan 16 keskimmaisessä rakenteessa esiintyneestä ongelmasta. Ulosheittäjä siirtyy kokonaisuudessaan saman verran alaspäin säilyttäen sijaintinsa tippuputken kärjessä. Kannen paksuuden voi syöttää suoraan lukuna, tai pohja voi laskea sen jokaiselle putkelle erikseen, jos pohjalle syöttää kannen alapinnan lähtötiedoksi. Koska

hulevesiputki yltää päällysteen pintaan asti, hulevesiputkelle on lisätty päällysteen paksuuden mukaan muutettava parametri.



Kuva 42. Otoksia kuivatuslaitteiden tyyppiirustuksista.

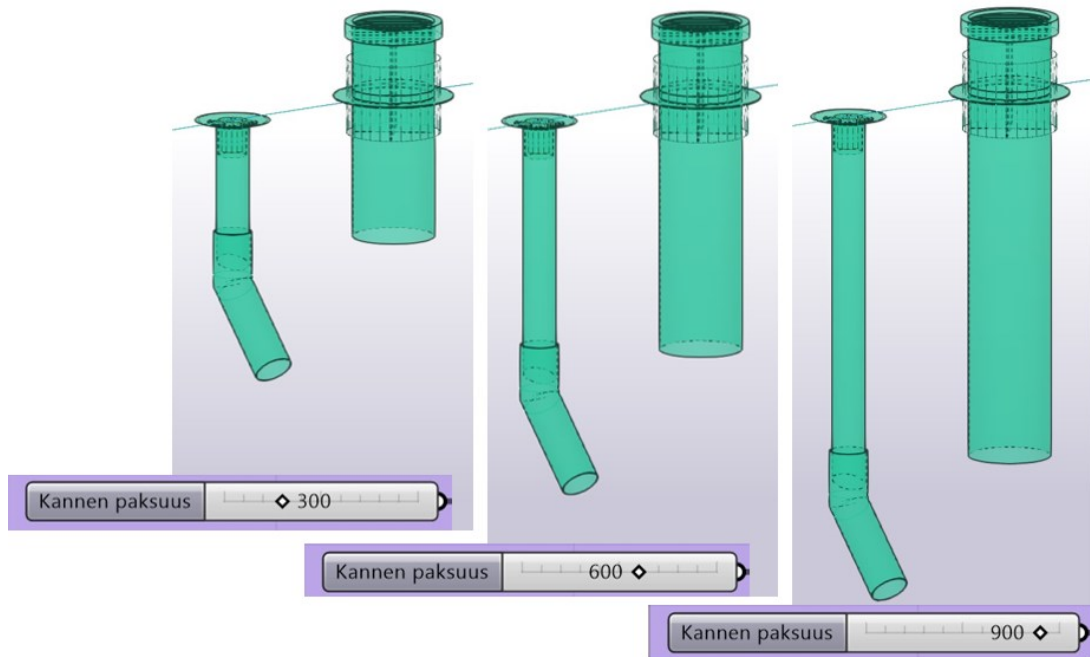


Kuva 43. Varusteihin koodatut parametriset säädöt.

Määritettävät parametrit on valittu ohjeissa olevien suunnittelua määrittävien arvojen pohjalta. Ulosheittäjän pituus valitaan antamalla pohjalle vaakasuuntainen pituus, koska ulosheittäjät määritetään niiden vaakasuuntaisen etäisyyden mukaan muihin rakenteisiin nähden.

Tippuputkien kokonaispituus muodostuu kannen paksuuden arvosta, 70 mm:n lisäpituudesta ja 28 mm:n viisteen korkeudesta. Toisin kuin ohjeessa, tippuputken lisäpituus on laskettu putken keskijonjalta, koska se oli helpompi koodata pohjaan ja se on helpompi hahmottaa pohjan käyttäjälle. Tippuputki on kuitenkin aina pidempi kuin ohjeen vähimmäisarvo, ja pituuden virhemarginaali jää

hyvin pieneksi. Hulevesiputken kohdalla on myös hyödynnetty putken keskilinjaa lisäpituuden määrittämiselle. Toisin kuin tippuputkissa, hulevesiputkelle 100 mm:n lisäpituus on määritetty tasaiseen kanteen nähden, jolloin kannen pinta ja hulevesiputken alapinna välinen etäisyys on vinossa kannessa liian lyhyt. Pohjaan on lisätty tälle lisäsäätö, jolla suunnittelija voi halutessaan erikseen kasvattaa hulevesiputken alapään pituutta.

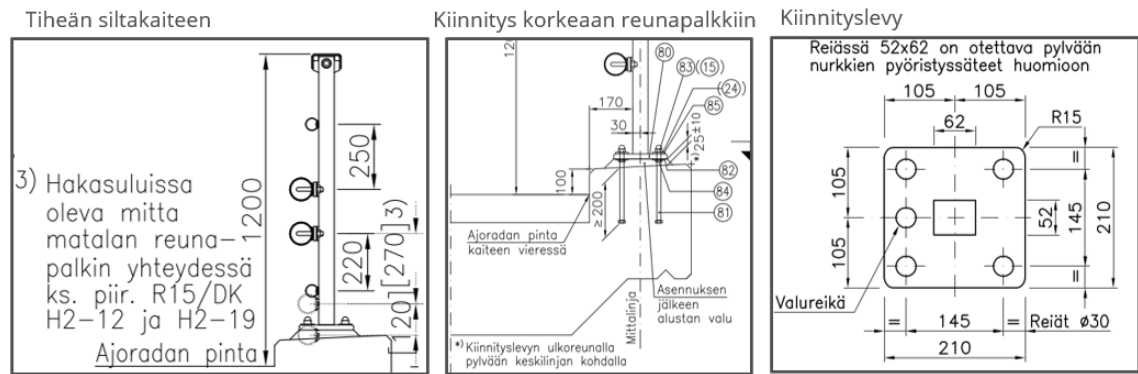


Kuva 44. Pohjan parametrin mallintamisen esittely.

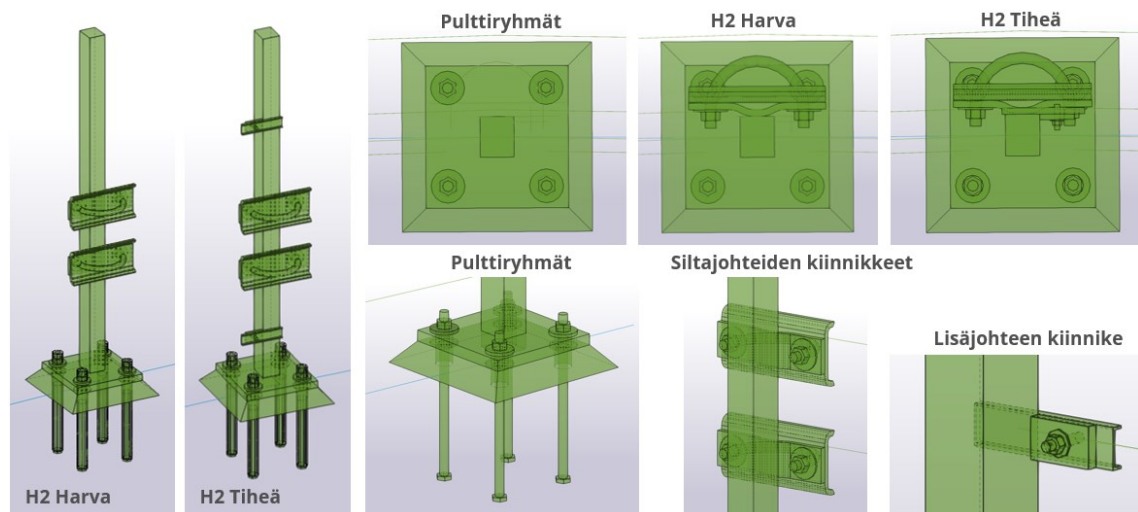
5.2.3 H2-siltakaiteet

Koodin tuottamat siltakaiteiden osat ovat kaidepylväät, kiinnityslevyt, alustavavälit, pulttiryhmät, kaiteiden siltajohteet, käsijohteet ja valinnaiset välijohteet sekä johteiden kiinnitykset. Lisäksi siltakaiteet voi varustaa teräsverkko- tai säleikköelementeillä. Johteet ja kaiteiden väliset varusteet on käsitelty H2-kaiteiden linjat -kappaleessa.

Pohjan tuottamat H2-siltakaiteet ovat pulttiryhmäkiinnityksellä varustettuja, koska tämä on yleisin tapa asentaa H2-siltakaiteet reunapalkkiin. Samasta syystä pohjaan koodatut kiinnityskorkeudet ovat korkean palkin mukaiset korkeudet.



Kuva 45. Otoksia H2-siltakaiteiden tyyppiirustuksista.



Kuva 46. Pohjan avulla mallinnetut H2-kaiteen osat.

Vaikka H2-siltakaiteista on olemassa tyyppiirustukset, niihin ei enää tehdä suoria viittauksia suunnitelmissa eikä tarkalleen tyyppiirustuksien mukaisia ratkaisuja vaadita, koska tyyppiirustukset rajoittavat tarpeettomasti kaidetoimittajien kilpailutusta ja tuotevalikoimaa. Sekä piirustuksiin että malleihin on esitettävä kaiteiden rakenteet jollain tavalla, ja piirustuksissa sekä työselosteissa esitetään sitten kirjallisesti tekniset vaatimukset, jotka siltakaiteiden tulee toteutuksessa täyttää. Opinnäytetyön aikana ohjeistettiin, että yksi tapa osoittaa, että mallissa esitetyt kaideratkaisut eivät ole kokonaisuudessaan velvoittavia, on mallintaa kiinnityksien osat kuten pultit ja prikat tavallisella palkkityökalulla sen sijaan, että käyttäisi Teklan tähän tarkoitukseen kehitettyjä pultti- ja liitostyökaluja.

6 Varusteiden sijoitus

Edellä esitettyjen yksittäisten varusteiden mallintaminen ei merkityksellisesti eroa jo tehtyjen Tekla-komponenttien hyödyntämisestä. Mikäli työ rajattaisiin vain pelkkien varusteiden tekoon Grasshopperin koodin avulla, olisi työ silti hyödyllinen tulevien algoritmisten suunnitteluprojektien kannalta, mutta opinnäyte-työ ei tutkisi algoritmisen suunnittelun aitoa etua jo olemassa oleviin mallinnusmenetelmiin verrattuna, ja siten työstä puuttuisi teknologian kiinnostavimmat puolet. Tämän takia oli tärkeä sisällyttää varusteiden mallinnukseen myös tietynlaista automatisaatiota. Luontainen kohde oli varusteiden sijainnin määrittäminen koodin avulla, sillä sekä tippuputkilla että kaiteilla on ohjeistetut sijainnit sillan linjoja pitkin.

6.1 Osien sijoituksessa käytettyjä toimintoja

6.1.1 Viivan parametri

Eri ohjelmakomponentit tarvitsevat eri input-tietotyyppisiä. Sillan geometrian suunnittelussa suunnitteluarvot ovat yleensä etäisyyksiä kuten metrejä ja millimetrejä, mutta monet komponentit eivät suoraan toimi näillä tietotyypeillä, vaan vaativat toimiakseen parametri-nimisen tietotyyppin.

Grasshopperin pääkehittäjän David Ruttenin kirjoittaman *Curve Parameter Space* -artikkelin [44] mukaan parametritietotyyppi kuvaa kyllä pisteen sijaintia viivan kokonaispituuteen nähden, mutta se on harvoin etäisyyteen verrannollinen. Sen sijaan parametritietotyyppi juontaa Rhino 3D:ssä käytettyjen NURBS-käyrien matemaattisesta luonteesta ja näiden kontrollipisteistä. Olennaista tähän opinnäytetyöhön on, että:

- viivan parametriarvon edistys tai pykällys ei välttämättä ole tasainen läpi viivan, [44]
- viivan muoto ei välttämättä muutu, vaikka viivan parametriarvot muuttuvat, [44]

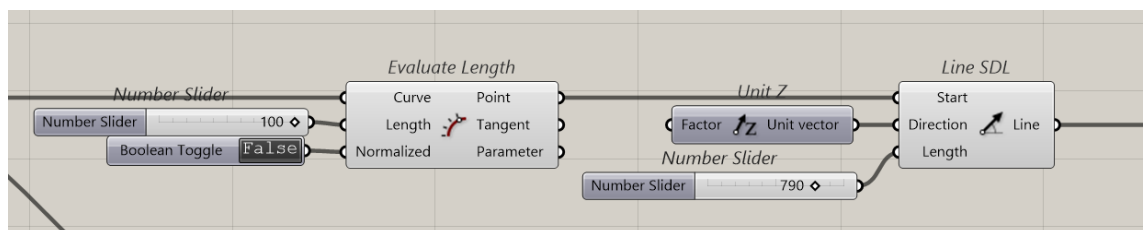
- ja viivan muoto voi muuttua ilman että viivan parametriarvot muuttuvat [44].

Tämä konsepti on erittäin kattavasti selostettu artikkelin jatko-osassa: *Curve parameters, an analogy* [45], jossa David Rutten käytti osuvasti vertauskuvana auton kulkeman matkan mittaamista etäisyytenä tai ajassa. Molemmilla arvoilla on eräänlainen suhteellinen yhteys, mutta pohjimmillaan mitataan aivan eri asioita. Analogia soveltuu erityisesti edellä mainittujen ehtojen ymmärtämiseen. Matkan viemä aika ja sen pituus ovat eri käsitteitä: matkan reitti voi muuttua, vaikka aikaa menee yhtä paljon, ja matkan pituus voi olla sama, vaikka matkaan menevä aika muuttuisi.

Viivan parametriarvon laskeminen monimutkaiselle käyrälle on matemaattisesti paljon helpompaa ja siten ohjelmalle ja tietokoneelle kevyempää kuin sen pituuden määrittäminen, minkä takia suurin osa Grasshopper-komponenteista käyttää viivan parametritietoja mieluummin kuin pituustietoja. [44]

6.1.2 Evaluate Length

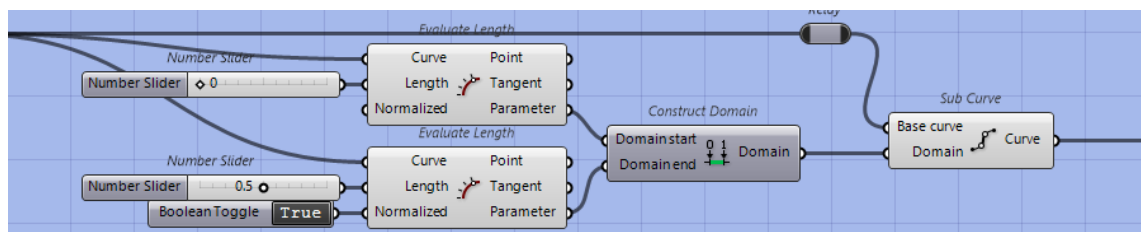
Jotta pystyttiin muuttamaan halutut pituusarvot parametriarvoiksi, käytettiin *evaluate length* -komponenttia, suomeksi käännettynä arvioi pituus -komponentti. Pituuden voi antaa suoraan millimetreinä tai suhteellisena arvona 0:n ja 1:n välillä koko viivan pituuden ollessa 1. Jälkimmäisestä arvosta käytetään Grasshopperissa nimeä *normalized* eli normalisoitu.



Kuva 47. *Evaluate length* -ohjelmakomponentti.

Kuvassa 47 esimerkin pystysuuntainen tolppa on asetettu alkamaan 100 mm:n päästä viivan alkupisteestä. Vaikka viivaa muutetaan, tolppa pysyy viivalla ja sen etäisyys linjan alkuun pysyy samana.

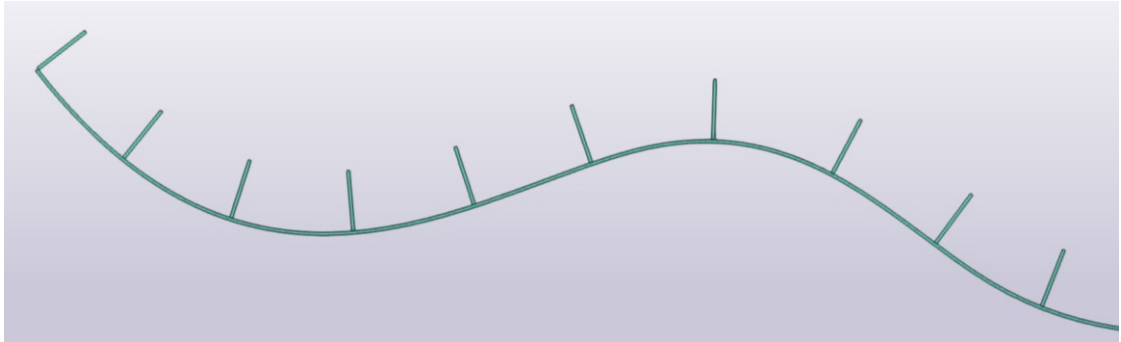
Evaluate length antaa vaihtoehtoisesti tuloksena pisteen *global*-koordinaatin tai viivan tangentin pisteen kohdalla. Monipuolisuutensa vuoksi se oli erittäin hyödyllinen muiden komponenttien ketjuttamiseen, esimerkiksi *domain*-komponenttiin. Grasshopperissa *domain*-käsitteellä tarkoitetaan rajattua numerosarjaa. *Domain*-komponentilla voidaan määrittää numeroryhmä, johon kuuluvat ylä- ja alaraja-arvot sekä näiden välillä olevat numerot, [46].



Kuva 48. Linjan rajaaminen *evaluate length*- ja *domain* -komponenteilla.

6.1.3 Horizontal Frame

Horizontal frame -komponentti muodostaa koordinaattitason viivalta valitun pisteen kohdalle. Taso koostuu valitusta pisteestä, pisteen tangentin suuntaisesta X-akselista ja sitä kohtisuoraan muodostuvasta Y-akselista. Muodostettu taso on vaakasuunnassa kallistumaton, sillä *horizontal frame* -komponentti säilyttää Z-akselin samana kuin globaalkoordinaatissa. Tämä tekee siitä hyödyllisen sillan varusteiden mallintamisessa, jossa monet putket ja kaidetolpat ovat pystysuuntaisia sillan muodosta riippumatta. Komento oli hyvin kätevä varusteiden osien suuntia asettaessa, sillä se sisältää sekä sijainti- että suuntatiedon, ja siten tasoista muodostui itse varustemallien tuottamien koodien yleisin päälähtötieto.



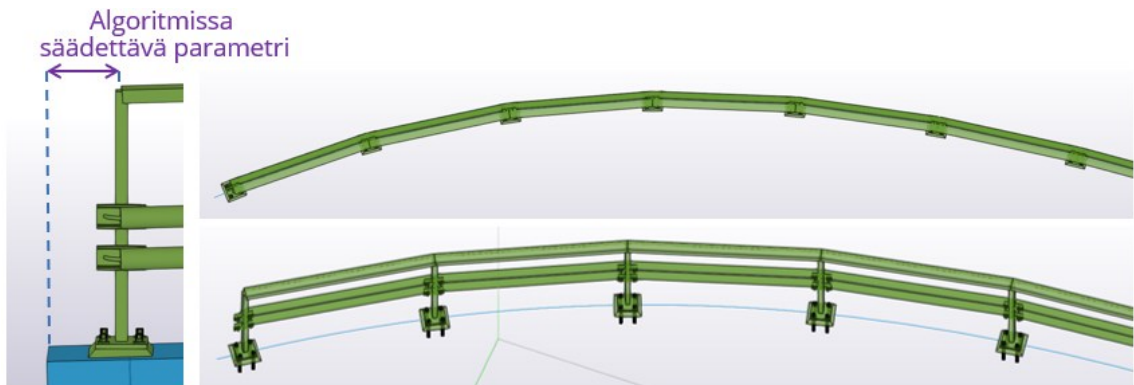
Kuva 49. Suunnan määrittäminen linjan mukaan. Poikittaiset viivat on määritelty *horizontal frame* -komennon koordinaattitasojen Y-akselin suuntaisiksi SDL-viivakomponentin avulla.

6.2 H2-kaiteiden linjat

6.2.1 Kaidepylväiden sijoitus

H2-siltakaiteiden pylväsväli on kaksi metriä [47] siten, että ensimmäinen ja viimeinen kaidepylväs ovat 300–600 mm:n päässä reunapalkin päädyistä [48]. Mikäli reunapalkin pituus ei sovi yhteen kaidepylväsjaon kanssa, kaidepylväsväliä ei muuteta, vaan siltakaide jatketaan yli reunapalkin pituuden, jolloin reunapalkin ulkopuolelle jäävät kaidepylväät perustaan penkereelle [48]. Uuskohteissa reunapalkit tehdään yleensä suoraan kaidetolppavälien kanssa yhteensopiviksi, mutta korjauskohteissa rakenteet on voitu suunnitella ennen kyseisen standardin olemassaoloa.

Grasshopper-pohjaan on siksi tehty säädöt, joilla voi vapaasti muuttaa reunapalkin ensimmäisen kaidepylvään sijaintia, mikä siirtää koko kaideriviä. Työpajalla käytyjen keskustelujen mukaan H2-kaiteille tehdään hyvin harvoin kaarevia osia, sillä erot ovat yleensä pieniä ja niistä aiheutuneet lisäkustannukset koetaan tarpeettomina. Näiden takia pohjassa kaidelinja on jaoteltu siten, että kahden kaidepylvään suora etäisyys on aina tasan kaksi metriä. Pylväät on asetettu siten, että ne osoittavat aina kohtisuoraan siltakaidelinjaan nähden. Pohjassa on myös säätö, jolla voi määrittää ensimmäisen kaidetolpan sijainnin reunapalkin pätyyn nähden.

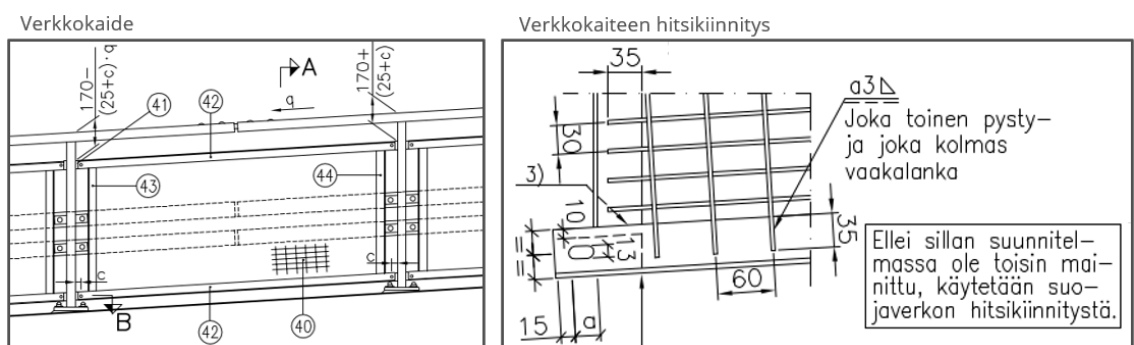


Kuva 50. Pohjan avulla mallinnettu H2-siltakaiteen linja.

Pohja mallintaa siltakaidelinjan kaikkiin kaideväleihin käsi- ja siltajohteet, jolloin siltakaide on harva, ja valinnan mukaisesti lisäksi välijohteet, jolloin siltakaide on tiheä. Johteet valitaan kaidelinjakohdaisesti.

6.2.2 Verkko- ja säleikköelementit

Toisin kuin siltajohteet, siltakaiteen teräsverkkoelementit voidaan vaihtoehtoisesti asentaa koko sillan pituuden sijaan pelkästään alittavan väylän alueelle. Verkkoelementit asennetaan aina kokonaisina kahden pylvään välille, jolloin kaiteen määrittelevä suunnittelu-arvo kannattaa koodata kaidepylväsvälien mukaan.

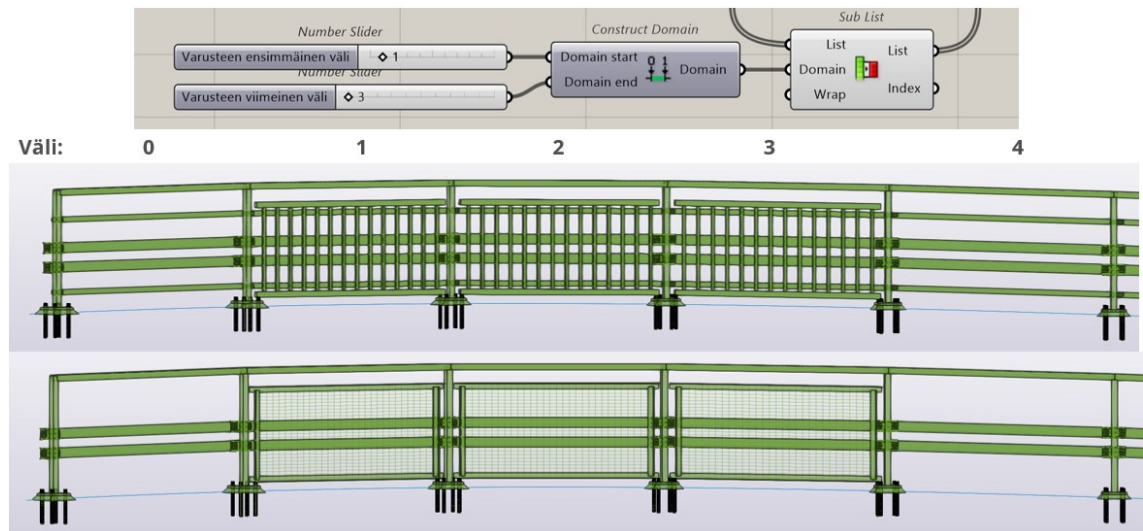


Kuva 51. Otoksia H2-siltakaiteen verkkoelementin tyyppi- ja hitsikiinnityksistä.

Pohjassa kaidepylvään välin valinta tapahtuu *domain*-komponenttia hyödyntäen. Kaidelinja on jaettu osiin pylväiden kohdalla siten, että jokainen osa on

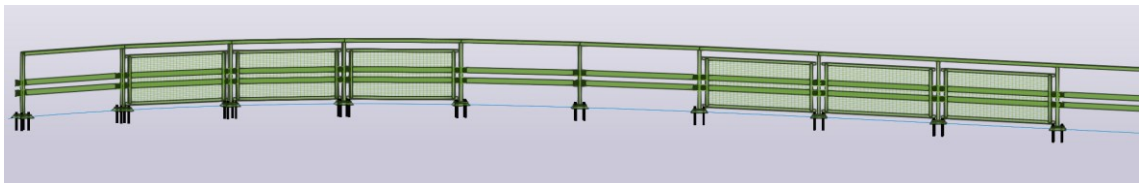
numeroitu ja haettavissa *domain*-komponentilla. Verkot ja säleiköt ovat pohjassa riippumattomia siitä, onko kaide harva vai tiheä.

Vaikka säleikkö yleensä asennetaan johteiden tapaan koko sillan pituudelle, toistettiin säleikön teossa sama koodi ja siten samat valinnat kuin verkolle. Valinnalla oli perusteluna, että lisävapaus sen suhteen ei ole haitaksi ja pohjan käyttö on helpompaa ja luontevampaa, kun molemmat varusteet toimivat samalla tavalla.



Kuva 52. Pohjan avulla mallinnetut kaiteiden lisävarusteet.

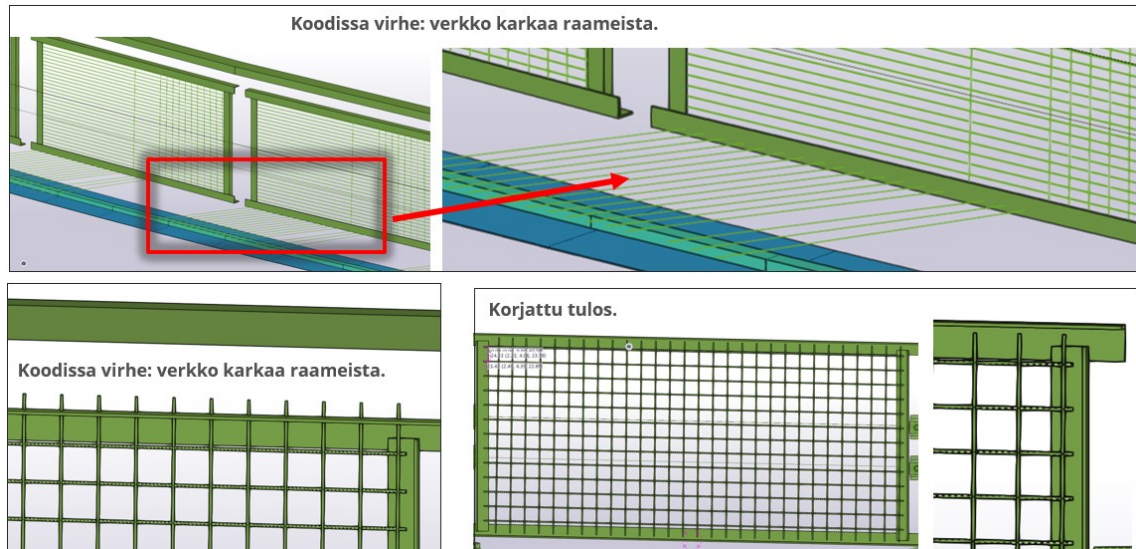
Koska alittavia väyliä voi olla useampia, on mahdollista, että verkko asennetaan monessa pätkässä. Pohja rakennettiin siten, että verkon mallinnuksen ja verkon sijainnin koodiosuudet ovat helposti erotettavissa toisistaan, kopioitavissa ja uudestaan yhdistettävissä siltakaiteen muuhun koodiin, mikä mahdollistaa verkkoelementtien lisäyksen useammassa pätkässä.



Kuva 53. Pohjan avulla mallinnetut verkkoelementit useammassa pätkässä.

Verkkokaiteen koodin teko oli yllättävän haastavaa. Kun kaidelinja oli sekä kalteva että kaareva, verkkoa oli vaikea saada pysymään raameissa. Ajoittain

kaikki suunnat määräytyivät ensimmäisen elementin suunnan mukaan, ja joskus yhden verkon rimat siirtyivät kaikkien siltakaidetolppa-arvojen mukaan. Näiden ongelmien juuri oli väärin rakentuva tietopuu.

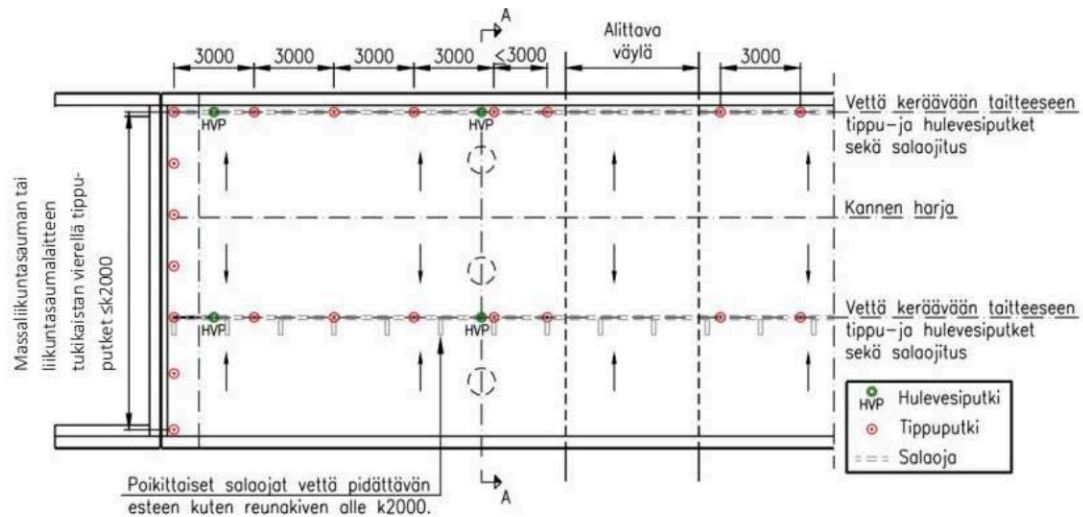


Kuva 54. Kaideverkon mallintamiseen liittyvät ongelmat ja lopullinen tulos.

Siltakaideverkkoja kokeiltiin koodata monella eri tavalla ennen kuin päädyttiin ratkaisuun, jossa L-teräksien linjoista muodostettiin pinta-ala, johon ruudukko asetettiin *surface grid* -komennolla.

6.3 Vedenohjauslaitteiden linjat

Tässä työssä mallinnetut varusteet sijoittuvat linjoille, erityisesti sillan pituus-suuntaan. Pohjaan on pyritty lisäämään automatisaatiota varusteiden asetteluun näitä linjoja pitkin siten, että ne noudattavat Väyläviraston ohjeistuksia.



Kuva 55. Vedenpoistolaitteiden sijoittelu sillan tasokuvassa.

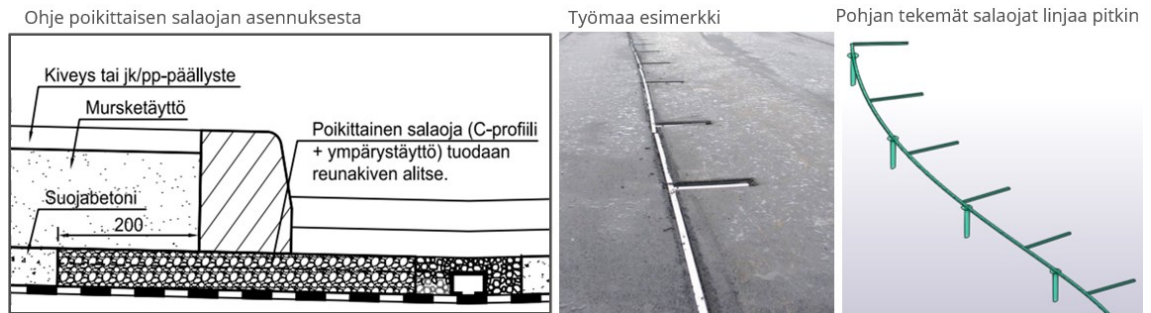
Pohjassa linjojen lähtötiedot tulevat jostain käyrästä tai viivasta, joka voi olla esimerkiksi väylän TSV, kannen kallistuksen taite tai reunapalkin geometrinen reuna. Koska lähtötietona käytettyä viivaa ei tiedetä, pohjaan on lisätty mahdollisuus lyhentää viivaa molemmista päistä tietyllä etäisyydellä, jotta linjojen alkua ja loppukohtat olisi helppo hallita.

Linjan säädön olisi voinut toteuttaa toisellakin tavalla, esimerkiksi syöttämällä kokonaispituuden, mutta pohjan teossa tavoiteltiin, että säätötapa olisi mahdollisimman lähellä suunnittelutapaa. Vaikka linjojen pituus on olennainen tieto saada mallista esimerkiksi määrälaskentaa tai rakennusvaihetta varten, itse linjat määräytyvät näiden alkua ja loppupisteen etäisyydestä muihin rakenteisiin nähden. Eri linjat voi säätää erikseen, sillä salaoja, tippuputki tai hulevesiputki alkavat harvemmin täysin samasta kohdasta. Pohjaan ei haluttu lisätä turhaan liikaa ylimääräisiä komponentteja, joilla lähtötietoviivaa voisi muokata, jonka takia pohjaan päädyttiin tekemään yksi helposti ymmärrettävä säätö, joka toistuu kaikissa varusteissa.

6.3.1 Salaojalinja

Lähtökohtaisesti salaojalinja viedään kannen päädystä toiseen. Tarkoitus olisi, että pohjasta valitaan kannen poikkileikkauksen taitekohta lähtötietolinjaksi.

Kuten kuvassa 55 on esitetty, mikäli sillalla on este kuten kevyen liikenteen väylän reunus, tulee esteen alle lisäksi asentaa poikkisuuntainen salaoja [20]. Pohjaan on lisätty mahdollisuus lisätä poikkisuuntaiset salaojat ja määrittää näiden vaakasuuntainen pituus. Pohja piirtää poikittaiset salaojat automaattisesti kohtisuoraan salaojalinjaan nähden.



Kuva 56. Vasemmallä: poikittaisen salaojan asennusohje. Keskellä: työmaakuva asennetusta salaojaputkesta ennen ympärystäyttöä. Oikealla: pohjan avulla mallinnettu poikittainen salaojalinja.

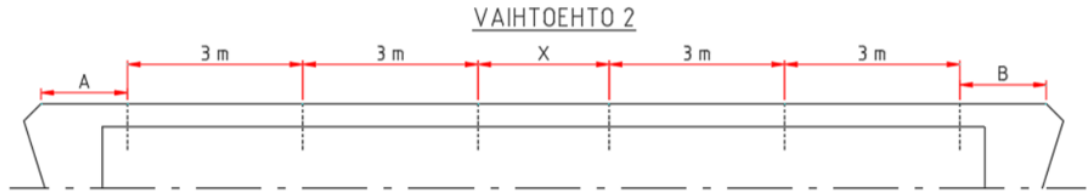
6.3.2 Tippuputkien linjat

Sillan pituussuunnassa tippuputket asennetaan kolmen metrin välein, ja poikkisuunnassa, esimerkiksi liikuntasauojen vieressä, tippuputket asennetaan kahden metrin välein [20]. Tippuputki- ja hulevesiputkilinjat sijoitetaan siten, ettei niistä pääse vettä alittavalle väylälle eikä vesi pääse vaurioittamaan alusrakenteita tai siltapaikan maamassoja. Tippuputkien kohdalla voi joskus joutua joustamaan, sillä kolmen metrin etäisyys on ohjeessa annettu sillan pituussuuntainen etäisyys, mutta etenkin korjauskohteissa kannen pituus ei aina täsmää kolmen metrin jakoon, ja suunnittelijan pitää päättää miten vajaa mitta jakautuu.

Pohjaan on tehty valmiiksi kuusi vaihtoehtoista tapaa jakaa tämä epätasainen mitta:



Tippuputket on keskitetty siten, että reunimmaiseta väliä ovat symmetrisesti lyhyemmät.



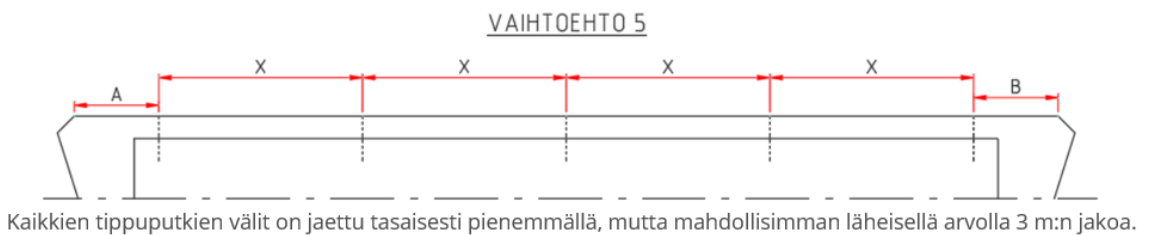
Tippuputket on keskitetty siten, että keskimäinen väli on symmetrisesti lyhyempi.



Tippuputkilinjan viimeinen väli on ainoa lyhyempi väli.



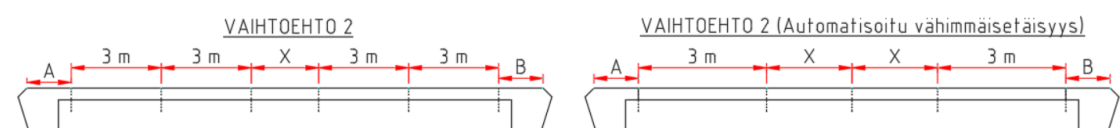
Tippuputkilinjan ensimmäinen väli on ainoa lyhyempi väli.



Kuva 57. Tippuputkien jaotteluvaihtoehtojen esittely, kun jakoarvo on kolme metriä. (Kuva ei mittakaavassa.)

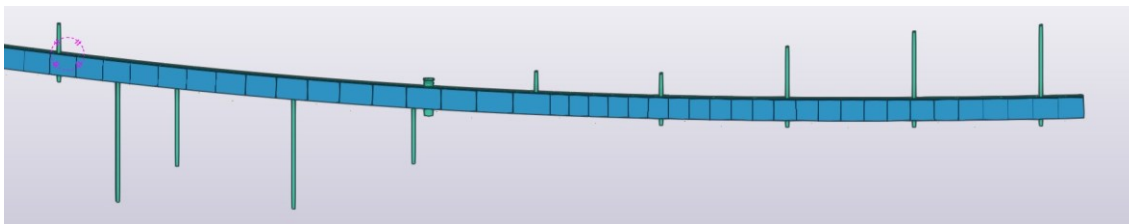
Vaihtoehtoihin 5 ja 6 on lisätty varoitus, sillä niillä tuotetut etäisyydet eivät välttämättä noudata ohjeistuksia. Ne on kuitenkin jätetty pohjaan, jotta suunnittelijalla on tarvittavat vaihtoehdot myös normaalista poikkeaviin tapauksiin ja jotta pohja ei olisi turhan rajoittava. Esimerkiksi vaihtoehto 6 voi olla hyödyllinen, mikäli ensimmäinen ja viimeinen tippuputki halutaan asettaa malliin käsin tai niihin on jo mallinnettu tippuputket esimerkiksi liikuntasauaman poikkileikkauslinjan yhteydessä.

Vaihtoehtoihin 2, 3 ja 4 on lisäksi lisätty automatisoitu pienin sallittu etäisyys. Näissä vaihtoehdoissa, kun kuvassa 57 esitetty lyhyempien välien arvo X on alle annetun arvon (oletuksena on yksi metri), pohja siirtää viereisen tai viereisiä tippuputkia automaattisesti kauemmas toisistaan. Siirretty tippuputki on koodattu muodostamaan tasajaon viereisten tippuputkien kanssa, jotta vältetään turhaan monen mittaisilta väleiltä. Vaihtoehto 2 koodattu siten, että se pysyy keskitettynä ja symmetrisenä.



Kuva 58. Periaatekuva tippuputkivälien automatisoidusta vähimmäisetäisyydestä linjaa pitkin vaihtoehdolla 2. (Kuva ei mittakaavassa.)

Tippuputkien asettaminen tietylle etäisyydelle linjalla ja vaihtelevalla jaolla koitui yllättävän monimutkaiseksi. Koska H2-siltakaiteiden välit ovat aina tasan kaksi metriä, sen parametrit oli helpompi valita ja itse koodi oli nopeampi kirjoittaa kuin tippuputkilinjojen koodi. Tippuputkien jaotteluvaihtoehtojen koodit sisältävät paljon linjan mitoista riippuvia ehtoja, ja usein linja jouduttiin jakamaan moneen pienempään osaan, jotta koodi osaisi valita halutut etäisyydet. Erityisesti tässä vaiheessa oli olennaista tutustua ja oppia hallinnoimaan tietopuita paremmin, sillä linjan eri osiin määrättyjen tippuputkien sijainnit eivät aina kulkeneet koodin läpi oikeassa järjestyksessä, ja jos komponentti käsittelee monta linjaa kerralla, tiedon järjestyksen tärkeys korostuu entisestään.



Kuva 59. Tietopuussa olevan virheen aiheuttama ongelma *fitting*-komponentissa.

Tässä osiossa korostui erityisesti pohjan testaamisen ja tarkistuksen tärkeys, ja korjattavia virheitä löytyi aivan loppumetreille asti. Tämä osio opinnäytetyöstä oli yksi suurimmista kokonaisuuksista ja vei huomattavan määrän aikaa.

6.3.3 Hulevesilinja

Hulevesiputkien välinen etäisyys on 15–25 metriä [20]. Hulevesiputket asennetaan yleensä salaojalinjalle, mutta tilaajan luvalla tästä voi poiketa [20]. Pohja olettaa lähtökohtaisesti, että hulevesiputket ovat salaojalinjalla. Mikäli ne ovat samassa tilassa, pohjan tekemät hulevesiputket katkaisevat automaattisesti niihin yhdistetyn salaojan 30 mm:n päähän hulevesiputkesta tyyppiirustuksen *R15/DS TIE-4a* mukaisesti, kuten on esitetty kuvassa 38.

Yleensä hulevesiputket asennetaan välitukien kohdille, jotta putken syöksytorvi saadaan kiinnitettyä tukeen ja vedet saadaan ohjattua kohtaan, jossa ne eivät aiheuta eroosiovaurioita [20] kuten maahan, kaivon tai kivisilmään asti. Jaotellun luonteen ollessa erilainen pohjassa on hulevesiputkille eri sijoitusvaihtoehdot kuin tippuputkille.

Pohjaan on annettu kolme vaihtoehtoa hulevesiputkien sijainnin määrittämiseen. Ensimmäinen on yksinkertainen tasajakoetäisyys linjaa pitkin. Mikäli viimeinen väli jää vajaaksi, pohjassa voi valita, mallinnetaanko linjan viimeinen hulevesiputki vai ei. Toinen vaihtoehto on antaa jokaisen putken etäisyys hulevesiputkilinjan alusta. Tämä on käsin työläämpi ja on tarkoitettu noin 25 metristä korkeintaan 100 metriä pitkillä silloille, joissa hulevesiputkien sijoitus ei välttämättä ole tasaisin välein. Viimeinen vaihtoehto on syöttää minkä tahansa

pisteen tai pisteiden *global*-koordinaattitiedot. Pohja rakentaa hulevesiputken tämä piste keskipisteenä. Kopioimalla hulevesiputkien sijaintia ohjavan koodin voi näitä kolmea vaihtoehtoja myös yhdistää.

6.3.4 Alittava väylä

Pohjaan on lisätty valinta, jolla hulevesi- tai tippuputkien sijoituksen koodi ottaisi huomioon siihen linkitetyn alittavan väylän jättämällä putkilinjaan raon kyseiselle alueelle. Alittavien väylien geometriset tiedot saadaan Rhino 3D:hen yleensä AutoCAD-tiedostoista, jotka toimivat lähtötietoina hankkeelle. Pohjassa on kaksi tapaa yhdistää alittavan väylän lähtötieto koodiin: TSV tai väylän reunat. Ensimmäisessä vaihtoehdossa TSV-linjan lisäksi pohjaan syötetään väylän leveys kumpaankin suuntaan TSV:stä, joka leikkaa hulevesi- tai tippuputkilinjasta risteyskohdalla muotonsa mukaisen kolon. On huomioitava, että tällä syöttötavalla saa laitettua vain pituussuunnassa tasapaksuisia väyliä.

Toinen tapa on syöttää pohjaan väylän reunojen linjat. Molemmissa tapauksissa tulee lähtötieto olla syötetty siten, että alittava väylä on myös mallissa alempana kuin vedenohjauslaitteet. Leikatut osat putkilinjasta toimivat itsenäisesti aivan kuin olisivat kokonaan eri linjoja. Tämä voi olla sekä hyöty että haitta, mutta mikäli käyttäjä haluaa erottaa tietyn segmentin, sen pitäisi onnistua suhteellisen yksinkertaisilla listakomponenteilla. Alittavan väylän koodin kirjoittamisessa tuli olla erittäin tarkka, sillä tietopuusta tulee nopeasti monimutkainen, ja mikäli jäsenyksessä oli virhe, jaottelu ei enää toiminut halutulla tavalla.



Kuva 60. Pohjan avulla mallinnettu raollinen tippuputkilinja alittavaa väylää varten.

7 Pohjien viimeistely

Pohjien viimeistely kuvaa vaihetta, kun graafinen koodi oli kirjoitettu ja pohja onnistuneesti mallintaa halutut varusteet, mutta työtä tuli vielä muokata, jotta lopullinen tulos olisi käyttäjäystävällinen ja täyttäisi tarvittavat vaatimukset.

7.1.1 Syötettävän tiedon muodot

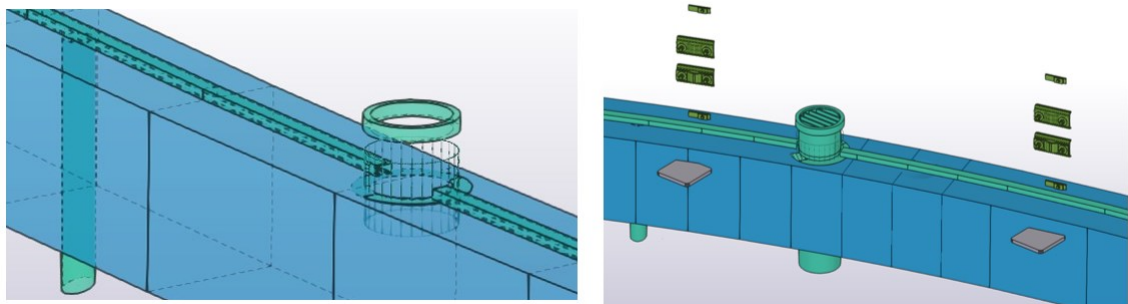
Pohjan tärkeimpänä lähtötietona toimii linja, jota pitkin varusteet mallinnetaan. Jotta pohja olisi monipuolisesti käytettävissä, pohjia on tehty kolme eri versiota, jossa tämä viiva syötetään eri muotona. Yksinkertaisimmassa versiossa on laitettu pelkkä *curve*-komponentti, johon käyttäjä voi liittää haluamansa Rhino 3D -viivan. Toisessa versiossa pohjaan liitetään *Brep*-”muoto”, josta poimitaan varusteille haluttu ääriviiva. Kolmannessa vaihtoehdossa on Grasshopper-Tekla Live Link -komponentteja, joilla tietoa voi tuoda suoraan Teklasta. Tämä versio on lisätty tapauksiin, joissa siltaa ei olla täysin tai ollenkaan mallinnettu Grasshopperissa, mutta halutaan silti hyödyntää pohjaa varusteiden osalta. Valitettavasti tämä vaihtoehto on rajallisempi kuin kaksi aiempaa, sillä *Tekla lines* -komponentti voi tuoda vain suoria viivoja.

7.1.2 Valintatoiminnot

Jotta vaihtoehtojen valinta olisi helppoa, pohjassa käytettiin usein *stream gate* ja *stream filter* -komponentteja. Nämä mahdollistavat valinnan teon käyttäjäystävällisesti katkaisemalla tai ohjaamalla tiedon tiettyyn osaan koodia pudotusvalikon avulla. Niillä on lisäksi se etu, ettei käyttäjän tarvitse itse yhdistää komponentteja, jolloin mahdollisuus virheille vähenee. *Stream gate* -komponentti liitetään kohtaan, jossa koodi haarautuu, kun taas *stream filter* -komponentti laiteetaan kohtaan, jossa halutaan valita yksi monesta tulolähteestä. Komponentit ovat suhteellisen samanlaiset, mutta opinnäytetyössä suositettiin *stream gate* -komponenttia, koska silloin ei-valittu koodi ei aktivoidu, jolloin säästytään turhalta tietokonetyöltä eikä Rhino 3D -malliin tule turhia rakenteita.

Lisäksi kaikille varusteille on lisätty ON/OFF-nappi pohjan vasempaan reunaan, jotta olisi helppoa ja nopeaa poistaa tai lisätä tiettyjä varusteita pelkällä tuplaklikkauksella.

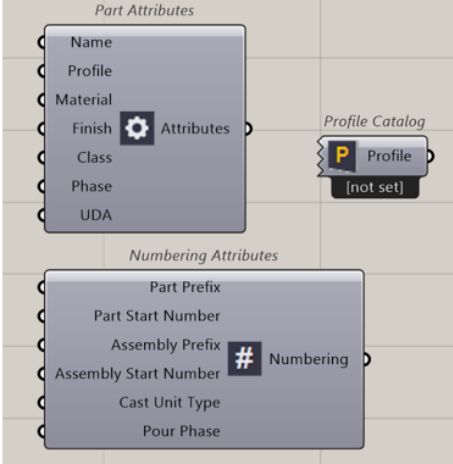
Kun jokin rakenne on siirretty Teklaan, oletusasetus on, että vaikka komponentti poistetaan Grasshopperissa käytöstä, rakennetta ei poisteta Teklasta. Tämä ominaisuus haittaa pohjan haluttua käyttöä, joten kaikissa komponenteissa on olennaista olla *delete when input is empty* -asetus, jotta malliin ei tule moneen otteeseen samoja varusteita.



Kuva 61. Hulevesiputkessa ja kaiteessa olevia osia, jotka eivät ole poistuneet Teklasta, kun varuste on poistettu tai siirretty Grasshopperin puolella.

7.1.3 Rakenneosien attribuuttitiedot

Sillan inframallin vaatimat attribuuttitiedot voi myös lisätä Grasshopperin kautta. Tietojen siirtyminen IFC:hen tapahtuu samalla tavalla kuin jos malli olisi tehty perinteisesti Tekla Structuresissa.



OSA	NIMI	MITAT - STANDARDI - TERÄSLAATU
1	Kaidepylväs	50x60 S 235 J2
2	Yläjohde	U-55/114/55x6 S 355 MC
3	Siltajohde	P88,9x4 S 355 J2H
4	Siltajohde	P88,9x4 S 355 J2H
5	Laatta	65x100x15 S 355 J2
6	Laatta	65x100x20 S 355 J2
7	Laatta	65x100x15 S 355 J2
8	Kuusioruuvi	M20x110-8,8 SFS-ISO 4014
9	Aluslaatta	20-140 HV SFS-ISO 7089
10	Kuusiomutteri	M20-8 SFS-ISO 4032
11	Laatta	55x205x10 S 355 J2
12	Aluslaatta	U-12/50/12x4 S 355 J2
13	Panta	M16 L=274 S 355 J2
14	Aluslaatta	16-140 HV SFS-ISO 7093
15	Kuusiomutteri	M16-8 SFS-ISO 4032

Teräsosien kuumasinkitys: osat 1-7, 11-12 InfraRYL 42050.4.2
muut SFS-EN ISO 1461
Hitsiluokka (osat 1-6, 11): B SFS-EN ISO 5817

Kuva 62. Vasemmalla: attribuuttitietojen syöttöön käytettyjä ohjelmakomponentteja Grasshopperissa. Oikealla: Esimerkki harvan H2 siltakaiteen tyyppiirustuksessa esitetyistä materiaalitiedoista, joita inframalliin voi sisällyttää.

Pohjaan on lisätty valmiiksi varusteiden attribuuttitietoja seuraavanlaisesti:

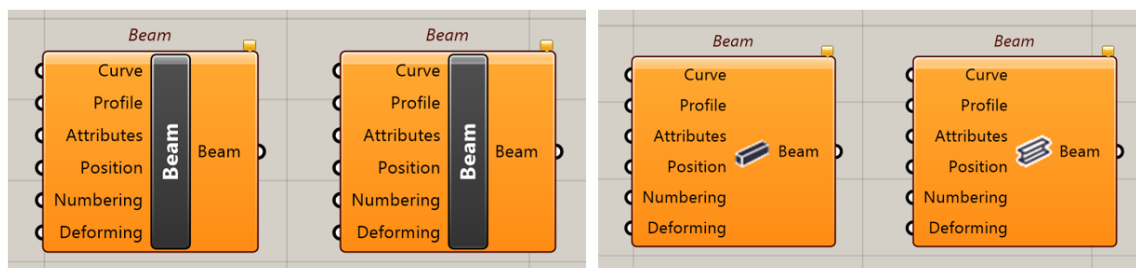
- Geometriset mitat: profiili sekä pituus-, korkeus- tai paksuusmitat rakenteen luonteen mukaisesti.
- Rakennusosan materiaali: materiaali tai materiaalin standardi. Suurimmalle osalle tehdyistä varusteista materiaalin laatu määräytyi tyyppiirustuksien mukaan.
- *Class*-tiedot: luku, jolla kategorisoidaan rakenteita. *Class*-kategoria on yhdistetty väriin, joka värjää rakenteen Teklassa. Väyläviraston inframalliohje ei velvoita *class*-luokitteluun [26], mutta Destialla on eri rakennusosille yrityksen sisäinen standardi, jota tässä opinnäytetyössä on noudatettu.
- Rakennusosan viimeistely: rakennusosan pintakäsittely tai muu lisähoito. Yleisin viimeistely mallinnetuissa varusteissa oli kuumasinkitys.
- Rakennusosan numerointi ja etuliitteet: nämä määräytyivät pääosin jo tehdyistä varusteiden Tekla-komponenteista.

Mikäli attribuuttitietoja ei ollut tyyppiirustuksissa tai ohjeissa määritelty, pyrittiin noudattamaan jo tehtyjen Tekla-komponenttien attribuuttitietoja.

7.1.4 Kokoonpano

Opinnäytetyön ohjeistukseen kuului, että mikäli mahdollista, jokainen yksittäinen varuste, ja sitten kaikki vedenohjauslaitteet ja kaiteet ominaan, olisi hyvä saada kokoonpanoihin. Valitettavasti yksittäisten varusteiden yhdistämistä ei ollut mahdollista toteuttaa tämän opinnäytetyön puitteissa, sillä kokoonpanon tekevän komponentin pystyy lisäämään vasta jo tehtyyn Tekla-objektiin, mikä tapahtuu vasta koodin lopussa. Esimerkiksi tippuputkilla on vain yksi *beam*-komponentti, jonka liittämällä esimerkiksi ulosheittäjän komponenttiin kaikki tippuputket ja ulosheittäjät ovat osana yhtä suurta kokoonpanoa. Kokoonpanot voisi mahdollisesti toteuttaa listojen avulla, mutta sitä ei ole tässä työssä tutkittu. Koska tälle ei löytynyt haluttua ratkaisua, kokoonpanot on jätetty pohjasta kokonaan pois.

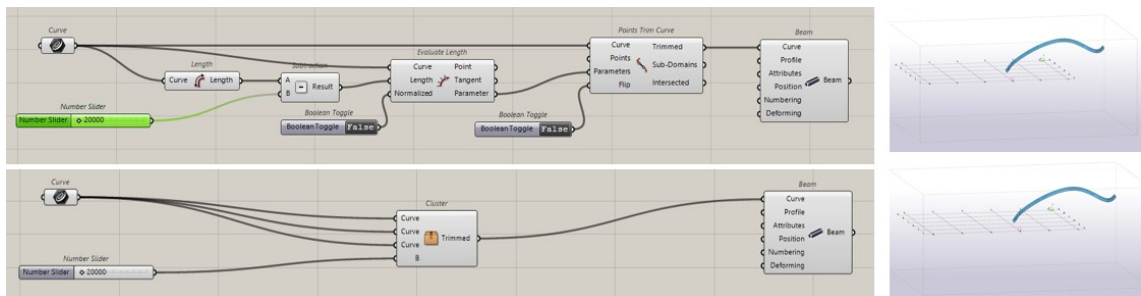
Kokoonpanoja tutkiessa ilmeni, että pohjassa oli vahingossa käytetty Teklan *concrete beam* ja Teklan *steel beam* -komponentteja sekaisin. Molemmat komponentit ovat samannäköiset, kun Grasshopperin esitystavassa käytetään pelkkiä komponenttien nimiä. Tämä ongelma poistuu, jos esitystavassa käytetään kuvakkeita. Kuvallinen esitystapa on myös laajasti käytetty internetistä löydettävissä ohjeissa ja tutoriaaleissa, minkä takia tätä kannattaa hyödyntää erityisesti oppimisvaiheessa.



Kuva 63. Tekla Beam -komponenttien esitystapojen ero.

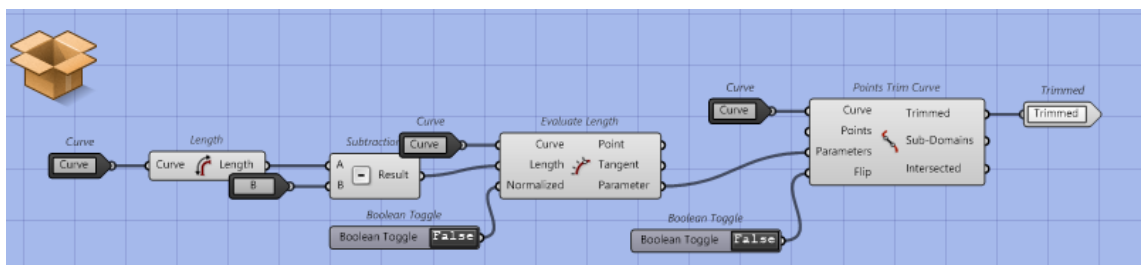
7.1.5 Klusteri

Työn edetessä algoritmista muodostui nopeasti pitkä, monimutkainen ja kehnosti ymmärrettävä. Pohjan luettavuutta edistettiin lisäämällä värejä, selostuksia ja paketoimalla koodin osia klusteriohjelmakomponentteihin. Klusteri säilyttää alkuperäisen koodin tavalla, jota rinnastaisin tiedostokansion tapaiseksi: itse tieto ei muutu, vain se on sisällytetty yksittäiseen esineeseen [49]. Alkuperäiseen pohjaan jää näkyviin klusteriin menevät kytkökset, jotka yhdistävät koodit keskenään [49]. Koska klusterissa oleva koodi on yksinkertaisesti varastoitu ja erotettu muusta pohjan sisällöstä, se on samalla helpompi kopioida samaan tai eri pohjaan [49]. Alla on esitetty esimerkki, jossa viivaa katkaiseva algoritmi on paketoitu yhteen kokonaisuuteen. Itse koodin toiminta ei ole muuttunut.



Kuva 64. Klusteritoiminnan esittely.

Klusteria klikatessa ohjelma avaa uuden Grasshopper-ikkunan, johon klusterin sisältämä koodi on esitetty. Koodi on esitetty samalla tavalla kuin alkuperäisessä pohjassa, ja sitä voi muokata samoilla tavoilla. [49]



Kuva 65. Klusterin avaama tila, sen sisältämä koodi ja yhteyksien ohjelmakomponentit alkuperäiseen pohjaan.

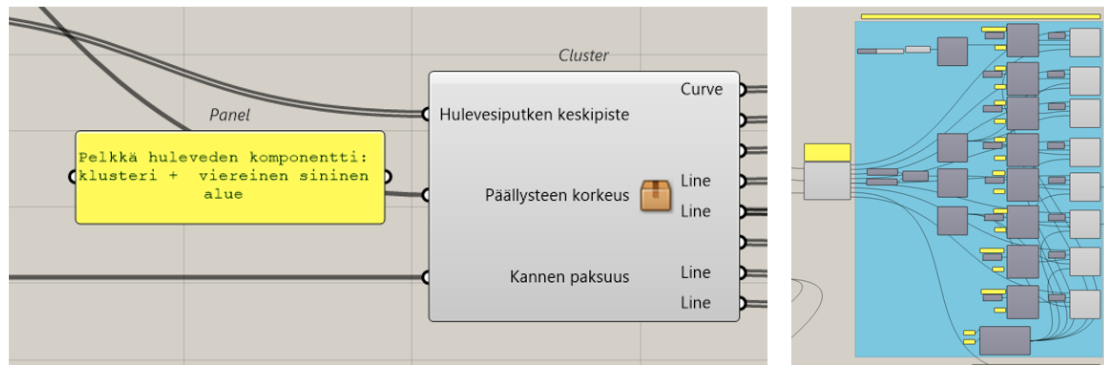
Koodin muokkaaminen klusterien sisällä oli lievästi vaikeampaa kuin alkuperäisessä pohjassa. Klusterissa muokatut yhteydet piti yhdistää keskenään molempien pohjien kautta, ja muokatessa pohja ei heti päivittänyt itseään, vaan klusterista piti poistua takaisin alkuperäiseen pohjaan, jotta muutokset välittyvät Teklaan asti.

Lisäksi klusterit ovat lähtökohtaisesti saman klusterin instansseja ja muokkaavat siis toinen toisiaan, jos niitä ei erikseen eroteta [49]. Tämä ominaisuus voi olla hyvin kätevä, esimerkiksi jos kaikki kaiteet päätetään korottaa 120 mm:n korkeudesta 140 mm:iin, mutta myös haitallinen, esimerkiksi jos yhteen tippuputkeen lisätty ulosheittäjä vahingossa lisää ulosheittäjän koko sillan kaikkiin tippuputkiin.

Näiden syiden takia klustereihin ei laitettu mitään, minkä tarkoitus on olla helposti käyttäjän muokattavissa, kuten suunnitteluparametreja tai valintanappeja. Tyyppiirustuksien määrittelemät vakioimitat klustereihin kuitenkin laitettiin, koska niiden voi olettaa pysyvän samoina kohteesta toiseen.

Huonosti klusterissa toimivia ja siten ulos jätettyjä olivat myös kaikki Tekla Structures -objektitoiminnot. Vaikka tähän ongelmaan olisi löytynyt ratkaisu, olisi ne todennäköisesti jätetty ulos kuitenkin, jotta attribuuttitietojen vaihto tai näiden jatkokäyttö, esim. *assembly*- tai leikkaustoiminnoilla, olisi mahdollisimman helppoa, ja siten ratkaisun etsintä kyseiselle ongelmalle jäi lyhyeen.

Klustereita tehdessä huomioitiin lisäksi, että tehtyä koodia saatetaan hyödyntää tapauskohtaisesti kokonaisuudessaan tai vain osittain. Koodi pyrittiin pilkkomaan siten, että tiettyjä osia kopioimalla saa itsenäisesti toimivia varusteiden malleja. Erityisesti pelkkien varusteiden mallinnuskoodin arvioitiin olevan olennaista saada eroteltua sijaintikoodista. Koska klusteri saatetaan liittää kokonaan uuteen koodiin, klustereihin liitettävän informaation on olennaista olla selvästi kirjattuna, jotta ne voi helposti yhdistää uuteen kontekstiin.



Kuva 66. Pohjassa oleva valmis huleveden komponenttikoodi.

Modulaarisuus ei ollut opinnäytetyön alkuperäisissä tavoitteissa, mutta sekä aihe että pohja sopivat siihen hyvin, ja todennäköisesti tämä lisää pohjan käytettävyyttä.

8 Tulokset

Opinnäytetyön aikana tuotettiin Grasshopper-pohja, jonka avulla voi helposti mallintaa sillalle H2-kaiteet, salaojat, tippuputket ja hulevesiputket. Pohjasta tehtiin kolme versiota, joissa sillan geometria voidaan kytkeä koodiin eri tavalla. Pohjasta on lisäksi laadittu lyhyt käyttäjäohje, jonka kansikuva on liitetty tähän opinnäytetyöhön (Liite 1), ja opinnäytetyön tuloksista pidetään esitelmä Destian siltasuunnittelu yksikön kesken.

Pohjassa voi valita H2-kaiteiden johteet joko harvana tai tiheänä ja kaiteille voi valita lisävarusteeksi säleikkö- tai verkkoelementit. Salaojille voi lisätä kynnyksen alle tulevat poikittaiset salaojat. Tippuputkille on mahdollista lisätä ulosheitäjät ja suppilot. Monelle varusteelle on lisäksi koodattu mittoja muuttavia arvoja, joita tässä opinnäytetyössä on kutsuttu parametreiksi.

Destian Grasshopper-käytäntöjen ja -toimintatapojen osalta ei valitettavasti saatu opinnäytetyön aikana tuotettua laadullista materiaalia. Yrityksessä tehdyn työn arviointi on haastavaa ja mahdollisesti harhaanjohtavaa vähäisellä työ- ja käyttäjäkokemuksella. Opinnäytetyössä tehty työ myös erosi yleisimmistä Grasshopper-tehtävistä. Opinnäytetyössä ei mallinnettu tiettyä kohdetta, vaan

tehtiin mahdollisimman monikäyttöinen pohja, joka julkaistaan muille käytettäväksi ja liitetään toiseen mallinnuskohteeseen. Tällöin koodin tarkoitus ja se, miten koodi alun perinkin muodostetaan, eroaa voimakkaasti koodista, jota hyödynnetään vain yhdessä kohteessa. Lisäksi itse siltarakenteiden mallinnus on ajoittain erilaista kuin varusteiden mallinnus. Verrattaessa opinnäytetyössä tehtyä pohjaa Tuomas Vuorentaustan tekemään laattasillan pohjaan [41] on havaittavissa, että käytetyt komponentit eroavat merkittävästi toisistaan.

8.1 Työn ulkopuolelle jätetyt osat ja mahdolliset jatkokehityskohteet

Työn ulkopuolelle jäi huomattava määrä sillan varusteita, esimerkiksi liikunta-saumot ja laakerit, joista olisi voinut hyvin tehdä Grasshopperissa valmiit pohjat.

Myös itse kaiteissa ja vedenohjauslaitteissa on jäänyt mahdollisia kohteita tekemättä. Koodia rakentaessa on pidetty mielessä mahdollisia jatkokohteita, ja koodi on pyritty tekemään siten, että selvät jatkokohteet olisivat tarvittaessa mahdollisimman helposti lisättävissä myöhemmin.

8.1.1 Kaiteissa

Opinnäytetyön aikana kokeiltiin muodostaa pengerperustetulle kaiteelle koodilisäosa, jotta kaide voitaisiin mallintaa tarvittaessa pidemmälle matkalle kuin vain reunapalkin pituudelle, mutta törmättiin ongelmaan, jossa oikeaa tapaa kytkeä kaidelinja toiseen ei löytynyt. Linjojen yhdistämisestä tuli kokeiluissa epäselvempi ja vaikeampi käyttää, ja koodissa oli enemmän virheitä. Lisäosa jätettiin lopulta pois, sillä siitä ei saatu käyttökelpoista. Lisäosa saattaa silti olla mahdollista tehdä, ja voisi olla tietyissä tapauksissa hyödyllinen.

Helppo lisäys, jota pohjaan ei vielä ole toteutettu, on matalan reunapalkin H2-kaiteet. Korkean ja matalan reunapalkin kaiteet poikkeavat toisistaan vain korkeusarvoistaan, ja siten koodista saisi muokattua sopivaksi yksinomaan vaihtamalla tarvittavat korkeusarvot, jolloin lisävalinnan teko olisi suhteellisen

helppoa. Samat periaatteet pätevät pyöräilijöitä varten suositulle 1,4 metrin korkeiselle H2-siltakaiteelle.

Harvemmin käytettyjä kaiteita tai kaiteen varusteita, joista voisi myös tehdä Grasshopper-komponentteja, voisivat olla betonikaiteet, meluesteet, vinopäätteet ja kosketussuojat. On kuitenkin hyvä pohtia, onko harvinaisemmissa varusteissa vähenevä hyöty olla valmiit pohjat.

8.1.2 Vedenohjauslaitteissa

Hulevesiputkien syöksytorvet ovat varusteosa, jolle löytyy Teklasta komponentti, mikä viittaa siihen, että sen käyttö on yleistä. Syöksytorven mallintaminen ei vaikuta monimutkaiselta, etenkin tavalla, jossa suunnittelija laittaisi käsin putken pituus- ja suunta-arvot. Syöksytorvilla on kuitenkin tarpeeksi yksinkertainen rakenne, että olisi kiinnostavampaa saada putket suoraan kiinnitettyä tiettyjen kulmaparametrien mukaisesti välitukien pintaan. Grasshopperissa on pintojen ja pisteiden lyhyimpiä etäisyyksiä etsiviä ohjelmakomponentteja, joita voisi hyödyntää itse radan piirtämisen automatisoinnissa, mikäli nämä voidaan säätää etsimään suorinta reittiä tietyssä kulmassa. Näiden koodaaminen olisi kuitenkin ollut liian suuritöistä jo tehtyjen varusteiden lisäksi, joten syöksytorvet jätettiin pohjasta kokonaan pois.

Pohjaan olisi ollut helppo lisätä halkaisijaltaan 50 mm:n tippuputki, sillä itse koodia ei olisi tarvinnut muuttaa, vaan olisi voinut vain muokata koodissa olevia arvoja. Se jätettiin pois, koska kyseistä kokoa ei enää suositella ja siten käyttötapaukset olisivat erittäin harvinaiset.

9 Johtopäätökset ja pohdinnat

Koska en ennestään ollut käyttänyt Grasshopperia, huomattava osuus opinnäytetyöhön käytetystä ajasta kului ohjelmaan tutustumiseen ja perusteiden oppimiseen. Esimerkiksi tietopuun hallinta ja leikkaustoiminnot olivat haastavia läpi opinnäytetyön. On myös kiinnostavaa huomata, että jouduin kirjoittamaan

suurimman osan koodista vähintään kahdesti, kun kattavampi osaaminen mahdollisti ongelmattomamman ratkaisun löytämisen tai koodiin lisätty uusi osa vaati muussa koodissa muutoksia toimiakseen. Raportissa esitetty suppilo on hyvä esimerkki siitä, miten jonkinlaisen koodin kirjoittaminen oli usein nopeaa, mutta oikeanlaisen koodin kirjoittamisessa meni usein paljon pidempään, ja helpoimman ratkaisun löytäminen saattaa olla yllättävän haastavaa. Vaikka aloitin pohjan teon hyvissä ajoin, jouduin lopussa jättämään ajan puutteen takia jo aloitettuja ominaisuuksia pohjasta pois.

Haasteita toi lisäksi työn luonne. Yksi tekijä oli pohjan tulevan käytön tavoiteltu monipuolisuus. Ajoittain sain koodin toimimaan hyvin, mutta jos esimerkiksi laitoin lievästi erilaisen viivan lähtötiedoksi, lopputulokseen saattoi ilmestyä virheitä. Koodin tapauskohtaisten virheiden korjaamisen saattoi mennä kauan ja se oli yllättävän merkittävä tekijä työssä. Myös itse pohjan testaus, jolloin varta vasten etsin koodista virheitä, oli yllättävän olennainen osio ja aiheutti korjaustoimenpiteitä opinnäytetyön loppumetreille asti.

Suosin koodissa varmempia ratkaisuja verrattuna epävarmempisiin mutta hienosäätisempiin toteutuksiin. Mielestäni jotta pohja on käyttökelpoinen, tulisi sen tuottamaan mallinnukseen pystyä luottamaan. Tämän takia poistin mieluummin keskeneräiset ominaisuudet kokonaan pois kuin jaan rikkinäisiksi kokemiani työkaluja.

Pohjan yksi tavoitteista oli mallin muutoskestävyys, eli tuotetun tuloksen tulisi muuttua oikealla tavalla, vaikka sillan muotoa muutettaisiin. Uskon, että onnistuin tässä suurimmilta osin erityisesti, jos sillan inframalli mallinnetaan Rhino 3D:ssä. Mikäli silta on mallinnettu Teklassa, ovat Grasshopperissa tapahtuvat muutokset vähäisempiä. Ajoittain laaja käyttökelpoisuus ja muutoskestävyys aiheuttivat vastakkaisia vaatimuksia pohjaan, ja pyrin hakemaan kompromisseja näiden välille antamalla suunnittelijalle valinnanvaraa. Esimerkiksi kannen paksuuden voi määritellä käsin syöttämällä mitan, tai pohja voi laskea sen automaattisesti, kun sille syötetään kannen alapinta. Jälkimmäinen vaihtoehto on ainoa, joka reagoi, mikäli kantta muutetaan, mutta ensimmäinen vaihtoehto on

laajemmin hyödynnettävä, helppokäyttöisempi ja yksiselitteisempi. Mikäli koko opinnäytetyö tehtäisiin esimerkiksi pelkkää *Brep*-kappaletta varten, olisi pohjan automatisointia voinut olla vielä vähän enemmän.

Edellä mainittujen tekijöiden lisäksi käyttäjäystävällisyys toi yllättävän paljon lisätyötä. Monia osioita ei olisi tarvinnut merkata tai jaotella yhtä tarkkaan, mikäli *olisin* tehnyt pohjan vain omaan käyttöön. Esimerkiksi klustereiden jaottelu, tietovirtauksien kirjaaminen, eri rakenneosien siisti järjestely jne. Lopullisen koodin päävaiheiden tulisi myös edetä loogisesti ja olla kutakuinkin ymmärrettävissä.

Pohjan tulevaa käyttöä rajoittavat mahdolliset muutokset ohjelmien päivityksissä sekä Väyläviraston ohjeistuksissa. Esimerkiksi tyyppiinrustuksia päivitetään ajoittain, ja voi olla haastavaa pysyä näiden mukana, jos niistä riippuvaista materiaalia on paljon. Destialla on osa Teklan komponenteista vanhentuneet ja odottamassa päivitystä, mutta kehitysaika on helposti kortilla. Monessa ohjelmassa oleva aineisto moninkertaistaa tämän päivitystyön. Lisäksi vaikka yritin tehdä pohjan mahdollisimman selväksi, toisen ihmisen tekemään koodiin tutustuminen ja sen ymmärtäminen voi olla aikaa vievää, ja siten Grasshopper-pohjan päivitys voi olla jopa työläämpää kuin esimerkiksi Teklassa.

Itse raportin kirjoittaminen oli yllättävän haastava. Yksi syy on tietotekniikassa oleva suuri määrä englanninkielistä sanastoa, jolle on ajoittain huonosti vastineita suomen kielessä. Tämän lisäksi teknologian uutuuden vuoksi jopa englanninkielisessä termistössä on reilusti häilyvyyttä. Aiheessa on lisäksi monesti toistuvia termejä, joita käytetään eri tarkoituksiin: tässä opinnäytetyössä erityisesti parametri (suunnittelun lähtöarvo tai viivan matemaattinen arvo) ja komponentti (Grasshopperin koodia tuottava ohjelmakomponentti tai Teklassa tallennetun 3D-kappaleen komponentti) tuottivat rasisitusta. Raportin kirjoittamisen oli kuitenkin olennainen osa työstä, ja tärkeä osa oppimiseni kannalta. Sen kautta pääsin esimerkiksi tutustumaan ohjelmien matemaattisiin ominaisuuksiin, kuten NURBS-käyriin ja näiden parametreihin, jotka koin erittäin kiinnostaviksi, ja joita en ehkä olisi oppinut, mikäli opinnäytetyö olisi sisältänyt pelkän konkreettisen osion työstä.

Huomasin kokemukseni siltasuunnittelussa olevan hyödyllistä, mutta puutteet Teklan käytöstä aidoissa siltahankkeissa olivat huomattavissa, erityisesti Teklan *bridge constructor* -lisäosan suhteen, jota yleensä käytetään Teklassa siltojen mallintamisessa. Kokemukseni korjaussuunnittelusta saattoi myös antaa minulle uusiokohteiden mallintamisesta väärät mielikuvat, ja on mahdollista, että pohjasta tuli liikaa korjaussuunnittelun rajatapauksia huomioiva.

Kohde oli erittäin kiinnostava oman ammattiosaamiseni näkökulmasta. Sain konkreettisen käytännön sekä opinnäytetyöraporttia varten tehdyn tutkimuksen kautta hyvän ymmärryksen Grasshopperin yleisperiaatteista. Uskon, että vaikka opinnäytetyö ei suoraan sisältänyt itse sillan mallinnusta, tähän perehtyminen on paljon nopeampaa nyt, kun hallitsen ohjelman pääkäsitteet. Koen, että opinnäytetyön oppimistavoitteet täyttyvät.

10 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa Grasshopper-pohja, joka mahdollistaa varusteiden mallintamisen Teklaan Rhino 3D:n avulla. Pohjan tavoitteisiin kuuluivat käyttäjäystävällisyys, muutoskestävyys ja laaja käyttömahdollisuus. Työn aikana aihe rajautui luontaisesti vedenohjauslaitteisiin sekä tiesiltojen H2-kaiteisiin. Pohjan teko on jaettu raportissa kahteen osioon, joista ensimmäisessä on esitelty varusteiden yksittäiseen mallintamiseen ja toisessa varusteiden sijoitukseen liittyvää koodia.

Opinnäytetyön tuloksena on toimiva Grasshopper-pohja, jota siltamalliin linkittämällä voidaan hyödyntää H2-kaiteiden, salaojien, tippuputkien, sekä hulevesiputkien mallintamisessa sillan kannen geometrian mukaisesti.

Lähteet

- 1 Tanska, Tuulikki & Österlund, Toni. 2014. Algoritmit puurakenteissa: menetelmät, mahdollisuudet ja tuotanto. Oulun yliopisto, arkkitehtuurin tiedekunta. DigiWoodLab. Verkkoaineisto: <<https://oulu-repo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/35656/isbn978-952-62-0456-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.
- 2 Tekla. Mitä on BIM? Trimble Inc. and affiliates. Verkkoaineisto: <<https://www.tekla.com/fi/ajankohtaista/artikkelit/mit%C3%A4-on-bim>>. Viitattu 2.3.2025.
- 3 Toim. Junnonen, Juha-Matti & al. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infra-suunnittelu. Rakennusteollisuuden kustannus RTK Oy. Helsinki.
- 4 BuildingSMART International. What We Do. BuildingSMART. Verkkoaineisto: <<https://www.buildingsmart.org/about/what-we-do/>>. Viitattu 2.3.2025.
- 5 Liikennevirasto. 2013. Tien suuntauksen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 30/2013. Helsinki. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2013-30_tien_suuntauksen_suunnittelu.pdf>.
- 6 Thomas Tait. 2023. What is a Brep in Grasshopper? A Comprehensive Guide. Hopific. Verkkoaineisto: <<https://hopific.com/brep-in-grasshopper/>>. Viitattu 2.3.2025.
- 7 Väylävirasto. 2024. Väyläviraston sillat 31.12.2023. Väyläviraston julkaisuja 67/2024. Verkkoaineisto: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/189869/vj_2024-67_978-952-405-215-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- 8 Toim. Pulkkinen, Pekka & al. 2018. RIL 179 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL ry. Helsinki.
- 9 Tiehallinto. 2005. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset: Yleinen osa – SYL 1. Helsinki. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/syl/syl1_2005v.pdf>.
- 10 Liikennevirasto. 2013. Taitorakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita 17/2023. Helsinki. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2013-17_taitorakenteiden_tarkastusohje_web.pdf>.

- 11 Väylävirasto. 2023. Taitorakenteet Väylävirastossa. Verkkoaineisto: <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat>>. Viitattu 2.3.2025.
- 12 Toim. Aitta, Seppo & al. Siltojemme historia. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Keuruu. 2004.
- 13 Liikennevirasto. 2013. Sillat ja ympäristö. Liikenneviraston oppaita 3/2013. Helsinki. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lop_2013-03_sillat_ymparisto_web.pdf>.
- 14 YIT. 2021. Kruunuvuorensilta, Helsingin uusi ikoni. YIT Oyj. Verkkoaineisto: <<https://www.yit.fi/ytimessa/kruunuvuorensilta>>.
- 15 Tielaitos. 2000. Siltojen suunnitelmat: Liite 5 siltatyypit ja tyyppilyhenteet. Tiehallinto. Helsinki. Verkkoaineisto: <<https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/silsuu00.pdf>>.
- 16 Väylävirasto. 2020. Muovi- ja komposiittiputkisillat, suunnitteluohje. Väyläviraston ohjeita 48/2020. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-48_muovi_komposiittiputkisillat_web.pdf>.
- 17 WSP. Atlantinsilta, Helsinki. Mitä teemme: Projektit. Verkkoaineisto: <<https://www.wsp.com/fi-fi/projects/atlantinsilta-helsinki>>.
- 18 Väylävirasto. 2021. Laakerit ja nivelet – Yleisohje. SILKO-ohje 1.352 3/2021. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1352_web.pdf>.
- 19 Liikennevirasto. 2017. Eurokoodin soveltamisohje: Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet NCCI 1. Liikenneviraston ohjeita 24/2017. Helsinki. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-24_ncci1_web.pdf>.
- 20 Väylävirasto. 2019. Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun. Väyläviraston ohjeita 4/2019. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-04_toss_web.pdf>.
- 21 Väylävirasto. 2022. Eurokoodin soveltamisohje: Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2. Väyläviraston ohjeita 5/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-5_NCCI_2_web.pdf>.
- 22 Väylävirasto. 2022. Siltakaiteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 9/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-9_siltakaiteiden_suunnittelu.pdf>.

- 23 Liikennevirasto. 2018. Sillan ja siltapaikan kuivatus. SILKO-ohje 1.601 3/2018. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1601_web.pdf>.
- 24 Väylävirasto. 2022. Kannen tippu- ja hulevesiputkien teko ja korjaus. SILKO-ohje 2.632 1/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2632_web.pdf>.
- 25 Liikennevirasto. 2015. Siltapaikan viimeistely. SILKO-ohje 1.901 6/2015. Verkkoaineisto: <<https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1901.pdf>>.
- 26 Väylävirasto. 2022. Siltojen inframalliohje. Väyläviraston ohjeita 41/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-41_siltojen_inframalliohje.pdf>.
- 27 Väylävirasto. 2020. Kuin kaksi marjaa (Tietomalli vs. tietomalli). Verkkoaineisto: <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/inframallit/kuin-kaksi-marjaa-tietomalli-vs.tietomalli->>. Viitattu 2.3.2025.
- 28 Tekla User Assistance. 2023. Tuoteoppaat: Coordinate system. Trimble Inc. and affiliates. Verkkoaineisto: <https://support.tekla.com/fi/doc/tekla-structures/2023/gen_coordinate_systems>. Viitattu 2.3.2025.
- 29 Gindis, Elliot J. & Kaebish, Robert C. 2023. Up and Running with AutoCAD 2023: 2D and 3D Drawing, Design and Modeling. Academic Press. London.
- 30 Treedee. 2022. BIM vs CAD – Mitä eroa niillä on? Treedee Oy. Verkkoaineisto: <<https://treedee.fi/fi/bim-vs-cad/>>. Viitattu 2.3.2025.
- 31 Reuters. 2012. Trimble Finland Has Acquired Title to All Shares in Tekla Corporation. Arkistoitu verkkoaineisto: <<https://web.archive.org/web/20150402091400/http://www.reuters.com/article/2012/02/10/idUS141869+10-Feb-2012+HUG20120210>>.
- 32 Tekla. 2025. Trimblen Tekla-ohjelmistot. Trimble Inc. and affiliates. Verkkoaineisto: <<https://www.tekla.com/fi/tietoa-meist%C3%A4/tekla-trimble>>. Viitattu 2.3.2025.
- 33 Tekla Oy. 2013. From Punch Cards to information rich 3D-modelling. Trimble/Structures Division. Slideshare. Verkkoaineisto: <<https://www.slideshare.net/Tekla/tekla-history>>.
- 34 Rhino. About McNeel. Robert McNeel & Associates. <<https://www.rhino3d.com/mcneel/about/>>. Viitattu 2.3.2025.

- 35 Rhino. Rhino 8: Charging forward. About McNeel. Robert McNeel & Associates. Verkkoaineisto: <<https://www.rhino3d.com/>>. Viitattu 2.3.2025.
- 36 Davidson, Scott. Grasshopper algorithmic modeling for Rhino. About Grasshopper. Verkkoaineisto: <<https://www.grasshopper3d.com/>>. Viitattu 28.2.2025.
- 37 Rhino. Features: Grasshopper. Robert McNeel & Associates. Verkkoaineisto: <<https://www.rhino3d.com/features/#grasshopper>>. Viitattu 2.3.2025
- 38 Rutten, David. 2018. What is a Grasshopper Component? Robert McNeel & Associates <<https://developer.rhino3d.com/guides/grasshopper/what-is-a-grasshopper-component/>>. Viitattu 28.2.2025.
- 39 Tait, Thomas. 2023. How to install Grasshopper Plugins – The Complete Guide. Hopific. Verkkoaineisto: <<https://hopific.com/how-to-install-grasshopper-plugins/>>. Viitattu 28.2.2025.
- 40 Tekla User Assistance. Grasshopper-Tekla Live Link. Trimble Inc. and affiliates. Verkkoaineisto: <<https://support.tekla.com/help/tekla-structures/not-version-specific/grasshopperteklalink#introduction>>. Viitattu 2.3.2025.
- 41 Vuorentausta, Tuomas. 2024. Laattasiltojen algoritminen mallintaminen tiesuunnitelmavaiheessa. Theseus-tietokanta. Verkkoaineisto: <<https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024051612581>>.
- 42 Tait, Thomas. 2023. Essential Grasshopper Terminology for Beginners and Rhino Users. Hopific. Verkkoaineisto: <<https://hopific.com/essential-grasshopper-terminology/#DataTerms>>.
- 43 Tait, Thomas. 2024. Curve Direction in Grasshopper: How to Align and Unify Curves. Hopific. Verkkoaineisto: <<https://hopific.com/curve-direction-grasshopper/>>. Viitattu 12.3.2025.
- 44 Rutten, David. 2013. Curve parameter Space. I Eat Bugs For Breakfast. Verkkoaineisto: <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2013/09/27/curve-parameter-space/>>. Viitattu 28.2.2025.
- 45 Rutten, David. 2013. Curve parameters, an analogy. I Eat Bugs For Breakfast. Verkkoaineisto: <<https://ieatbugsforbreakfast.wordpress.com/2013/09/28/curve-parameters-an-analogy/>>. Viitattu 28.2.2025.

- 46 Tait, Thomas. 2023. The Range Component in Grasshopper – A Beginner’s Guide. Hopific. Verkkoaineisto: <<https://hopific.com/range-in-grasshopper/>>.
- 47 A-Insinöörit. Siltatekniikka, Tiehallinto. 2004. Tyypipiirustus R15/DK H2-1: TIEH H2 Sillankaide, 2-putkijohde, harva kaide.
- 48 Insinööritoimisto PONVIA. Väylävirasto. 2023. Tyypipiirustusselostus R15/DK H2-0: TIEH H2 – Siltakaide, selitysosa.
- 49 Tait, Thomas. 2024. Grasshopper Clusters – How to Create Custom Components. Hopific. Verkkoaineisto: <<https://hopific.com/grasshopper-cluster/>>. Viitattu 2.3.2025.

Kuvaluettelo

Kuva 1. Tulevan Kruunuvuorensillan havainnekuva. WSP. Knight Architects. 2021. Kruunuvuorensilta, Helsingin uusi ikoni. Kruunusillat, Helsingin kaupunki. Verkkoaineisto: <<https://kruunusillat.fi/tiedotteet/kruunuvuorensilta-helsingin-uusi-ikoni/>>.

Kuva 2, vasemmalla. Putkisilta, Korholansalmen silta. Väylävirasto. 2024. Kaksi huonokuntoista putkisiltaa uusitaan Savitaipaleella ja Rautjärvellä. Etelä-Saimaa. Verkkoaineisto: <<https://www.esaimaa.fi/paikalliset/7943142>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 2, oikealla. Kehäsilta, Suppalan alikulkusilta. Siltarekisteri. 2004. Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk I). Tiehallinto. Verkkoaineisto: <<https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/blk12004.pdf>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 3, vasemmalla. Teräksinen jatkuva liittopalkkisilta, Vekaransalmen silta. Pauhu, Tuija. 2024. Oletko jo käynyt ajamassa täällä? Imatralaista betonia hurjat määrät niellyt Vekaransalmen jättiläinen kaartuu mykistäviin korkeuksiin. Uutisvuoksi. Verkkoaineisto: <<https://www.uutisvuoksi.fi/paikalliset/6893177>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 3, keskellä ylhäällä. Kehälaattasilta, Atlantinsilta. WSP. Atlantinsilta, Helsinki. Verkkoaineisto: <<https://www.wsp.com/fi-fi/projects/atlantinsilta-helsinki>>. Kuvaa on rajattu. Viitattu 11.3.2025.

Kuva 3, keskellä alhaalla. Kotelopalkkisilta, Kalixin silta. Kervola, Timo. 2023. Kalixin kotelopalkkisillan mittausmenetelmät ja siltarakenteen FEM-laskenta. Savonia-ammattikorkeakoulu. Verkkoaineisto: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/797143/Kervola_Timo.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 3, oikealla. Ristikkosilta, Korian silta. Koikkalainen, Sirpa. 2020. "Mainio rautasilta" yli Kymijoen täyttää 150 vuotta (Kaakkois-Suomi). Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Verkkoaineisto: <https://www.ely-keskus.fi/liikenne-/asset_publisher/NbhBaJGpdCvF/content/-mainio-rautasilta-yli-kymijoen-tayttaa-150-vuotta-kaakkois-suomi->. Kuvaa on rajattu.

Kuva 4, vasemmalla. Kaarisilta, Mähkönsilta. Hellgren, Heidi. 2023.

Kuva 4, oikealla. Holvisilta, Aunessilta. Honko, Toni. 2024. Aunessilta ylittää Pohjoismaiden pisimmän sisämaavuonon. Kohokohdat.fi. Verkkoaineisto: <<https://kohokohdat.fi/tampere/aunessilta-ylittaa-pohjoismaiden-pisimman-sisamaavuonon/>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 5, vasemmalla. Riippusilta, Kekyllä, Riippusilta. Pelttari, Päivi. Keikyässä juhlietaan riippusiltaa ja 100-vuotiaasta Äetsän voimalaitosta. Lautakylä. Verkkoaineisto: <<https://lauttakyla.fi/muut/menoksi/140e50b3-e38b-44e2-a72f-7d26f596ab02>>. Kuvaa on rajattu. Viitattu 21.3.2025.

Kuva 5, oikealla. Vinoköysisilta, Raippaluodon silta. Peni-Nyman, Anniina. 2023. Hyvät häviäjät. Helsingin kaupunki. Verkkoaineisto: <<https://kruunusillat.fi/kruunuvuorenranta/hyvat-haviajat/>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 6. Teräsbetonisen ulokelaattasilan pituusleikkaus. Liikennevirasto. 2017. Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul). Liikenneviraston ohjeita 32/2017. Helsinki. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2017-32_terasbetoninen_ulokelaattasilta_web.pdf>.

Kuva 7. Vinoköysisillan poikkileikkauksia. Toim. Pulkkinen, Pekka & al. 2018. RIL 179 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki.

Kuva 8. Laattasilan poikkileikkauksia. Toim. Pulkkinen, Pekka & al. 2018. RIL 179 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki.

Kuva 9. Korkean ja matalan reunapalkin ja päällysteen välisen saumat. Väylävirasto. 2019. Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun. Väyläviraston ohjeita 4/2019. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-04_toss_web.pdf>. Alkuperäisiä kuvia on muokattu.

Kuva 10. Otoksia reunapalkin, reunaulukkeen ja laatan rajoista sillan vaurioiden merkinnässä taitorakennerekisteriin. Väylävirasto. 2020. Sillantarkastuskäsikirja. Väyläviraston ohjeita 33/2020. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2020-33_sillantarkastuskasikirja_web.pdf>. Alkuperäisiä kuvia on muokattu.

Kuva 11. Periaatteellisia esimerkkejä teräksisistä siltakaiteista eri varusteluilla. Väylävirasto. 2022. Siltakaiteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 9/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-9_siltakaiteiden_suunnittelu.pdf>. Alkuperäisiä kuvia on muokattu.

Kuva 12. Kaiteen rakenneosien nimiä. Väylävirasto. 2022. Siltakaiteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 9/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-9_siltakaiteiden_suunnittelu.pdf>.

Kuva 13, vasemmalla ylhäällä. Sudentassun sillan Corten-teräskaiteet. Räsänen, Simo. 2021. Sudentassu bridge, Vantaa, Finland, January 2021. Wikimedia commons. Verkkoaineisto: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sudentassu_bridge,_Vantaa,_Finland,_January_2021.jpg>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 13, oikealla ylhäällä. Punaisen sillan puukaiteet. Kokkola Karleby. 2023. Punaisen sillan saneeraus valmistuu kuukauden etuajassa. Kokkolan kaupunki. Verkkoaineisto: <<https://www.kokkola.fi/tiedotteet/punaisen-sillan-saneeraus-valmistuu-kuukauden-etuajassa/>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 13, vasemmalla alhaalla. Puisen tiesillan tiheät H2-siltakaiteet. Puuinfo. 2020. Versowood Puusilta. Tuotteet: infrarakentaminen ja energia. Verkkoaineisto: <<https://puuinfo.fi/tuotteet/infrarakentaminen/versowood-puusilta/>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 13, oikealla alhaalla. Betonisen tiesillan H2-siltakaiteet verkkoelementeillä varustettuina. Heikkinen, Arvo. 2022. Siltakaiteiden suunnittelu. Väyläviraston ohjeita 9/2022. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-9_siltakaiteiden_suunnittelu.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 14. Vedenpoistolaitteiden sijoittelu sillan poikkileikkauksessa. Väylävirasto. 2019. Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun. Väyläviraston ohjeita 4/2019. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-04_toss_web.pdf>.

Kuva 15: Valmis hulevesi- ja tippuputkilinja sillan pituussuunnassa. Ramboll Finland Oy. 2018. Sillan ja siltapaikan kuivatus. SILKO-ohje 1.601 3/2018. Liikennevirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1601_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 16, vasemmalla. Kannen hulevesiputki puuttuu. Ramboll Finland Oy. 2022. Kannen tippu- ja hulevesiputkien teko ja korjaus. SILKO-ohje 2.632 1/2022. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio2/s2632_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 16, keskellä. Tippuputkesta valunut vesi on vaurioittanut teräspalkin pintakäsittelyn. Ramboll Finland Oy. 2018. Sillan ja siltapaikan kuivatus. SILKO-ohje 1.601 3/2018. Liikennevirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1601_web.pdf>. Alkuperäistä kuvaa on rajattu. Kuvaa on rajattu.

Kuva 16, oikealla. Liian lyhyt tippuputki ja jatkamatta jäänyt syöksytorvi. Ramboll Finland Oy. 2018. Sillan ja siltapaikan kuivatus. SILKO-ohje 1.601 3/2018. Liikennevirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1601_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 17, vasemmalla. Pinnoitettu massaliikuntasauva. Husso, Ari. 2024. Liikuntasauvojen korjaaminen. SILKO-ohje 1.701 51/2023. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-51_silko_1.701_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 17, keskellä, vasemmalla. Monikuminen liikuntasaumalaite. Rämets, Antti. 2024. Liikuntasauvojen korjaaminen. SILKO-ohje 1.701 51/2023. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-51_silko_1.701_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 17, keskellä, oikealla. Ruuvikiinnitteinen yksikuminen liikuntasaumalaite. Lampinen, Jorma. 2024. Liikuntasauvojen korjaaminen. SILKO-ohje 1.701 51/2023. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-51_silko_1.701_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 17, oikealla. Sormiliikuntasaumalaite. Reikko, Timo. 2024. Liikuntasauvojen korjaaminen. SILKO-ohje 1.701 51/2023. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-51_silko_1.701_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 18, vasemmalla. Kumilevyllaakeri. Salo, Ari. 2021. Laakerit ja nivelet – Yleisohje. SILKO-ohje 1.352 3/2021. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1352_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 18, keskellä. Rullallaakeri. Rytönen, Antti. 2021. Laakerit ja nivelet – Yleisohje. SILKO-ohje 1.352 3/2021. Väylävirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1352_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 18, oikealla. Kalottillaakeri. Leppäniemi, Nico. 2020. Mansikkakosken sillalla uusitaan tänä kesänä katkenneita laakereita. Destia Oy. Facebook-julkaisu. Verkkoaineisto: <<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=3220372848050261&id=880240272063542&set=a.920027971418105>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 19. Siltapaikan käsitteitä. Insinööritoimisto Jorma Huura Oy. 2015. Siltapaikan viimeistely – Yleisohje. SILKO-ohje 1.901 6/2015. Liikennevirasto. Verkkoaineisto: <<https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1901.pdf>>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 20. Vasemmalta oikealle: Havainnekuva, siltamalli, toteutunut silta. Uudenmaan ELY-keskus. 2019. Inframallin tilaaja vaatimus- ja käsiteviidakossa. Virkamiehen näkökulma. Verkkoaineisto: <<https://uudenmaanely.wordpress.com/2019/03/04/inframallin-tilaaja-vaatimus-ja-kasiteviidakossa/>>.

Kuva 21. Mallinnettu pääpiste ja risteyskohta. Väylävirasto. 2022. Siltojen inframalliohje. Väyläviraston ohjeita 41/2022. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-41_siltojen_inframalliohje.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 22. Dokumentti- ja mallipohjainen suunnittelu hankevaiheittain. BuildingSMART Finland. 2015. Yleiset inframallivaatimukset, Osa 1 tietomallipohjainen hanke. Toissijainen lähde: Toim. Pulkkinen, Pekka & al. 2018. RIL 179 Sillat – suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Helsinki.

Kuva 23. AutoCAD 2024 käyttöliittymä. Sadagh, Farid. 2022. AutoCAD 2024. Doctor Computer Graphic. Verkkoaineisto: <<https://www.drcg.net/autocad-2024/>>.

Kuva 24. Tekla Structure 2024 käyttöliittymä. Construsoft. 2024. Tekla Structures 2024 available from now on. Beton & Staalbouw. Verkkoaineisto: <<https://www.betonenstaalbouw.nl/en/software-automation/tekla-structures-2024-available-now/>>.

Kuva 25. NURBS ja mesh-mallinnuksen ero. Tanska, Tuulikki & Österlund, Toni. 2014. Algoritmit puurakenteissa: menetelmät, mahdollisuudet ja tuotanto. Oulun yliopisto, arkkitehtuurin tiedekunta. DigiWoodLab. Verkkoaineisto: <<https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/35656/isbn978-952-62-0456-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

Kuva 26. Rhino 3D:n käyttöliittymä. Castelo-Branco, Renata & Leitão, António M. 2022. Algorithmic Design in Virtual Reality. Instituto Superior Técnico, Lisbonin yliopisto. MDPI (Basel, Switzerland). Verkkoaineisto: <<https://www.mdpi.com/2673-8945/2/1/3>>.

Kuva 27. Esimerkki visuaalisesta koodauksesta Grasshopperissa. Hung, Lauren. 2017. Critique Journal: Grasshopper. Medium. Verkkoaineisto: <<https://medium.com/@laurenhung/critique-journal-grasshopper-d226669566ac>>.

Kuva 28. Kuvakaappaus Grasshopper-Tekla Live Link -lisäosan lisäämästä toimintovalikosta. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 29. Tälle opinnäytetyölle olennaiset yhteydet ohjelmistojen välillä. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 30. Esimerkki suunnittelussa tapahtuvasta tiedon kulusta ohjelmien välillä. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 31. Esimerkki kahdesta tavasta luoda palkki Tekla Structuresiin Grasshopperin avulla. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 32. Input-tiedon yhdistäminen palkkia luovaan ohjelmakomponenttiin. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 33. Useamman tiedon kulkeminen yhden komponentin kautta. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 34. Ensimmäisiä mallinnustuloksia. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 35. Teklassa mallinnettu pilari ja laatta. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 36. Grasshopper-Tekla Live Link -komponentteja. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 37. Suppilon eri mallinnustavat. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 38. Grasshopper-Tekla Live Link -muokkaustoiminnot. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 39. Muokkaustoimintoihin liittyviä ongelmia. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 40. Otoksia kuivatuslaitteiden tyyppipiirustuksista. Ramboll. A-Insinöörit Civil Oy. Väylävirasto. 2018–2020. Tyyppipiirustukset R15/DS TIE-1A, 6A ja 8. Alkuperäisiä piirustuksia on rajattu.

Kuva 41. Pohjan avulla mallinnetut yksittäiset vedenohjauslaitteet. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 42. Otoksia kuivatuslaitteiden tyyppipiirustuksista. Ramboll. A-Insinöörit Civil Oy. Väylävirasto. 2018–2020. Tyyppipiirustukset R15/DS TIE-1A, 6A ja 8. Alkuperäisiä piirustuksia on rajattu.

Kuva 43. Varusteihin koodatut parametriset säädöt. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 44. Pohjan parametrinen mallintamisen esittely. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 45. Otoksia H2-siltakaiteiden tyyppipiirustuksista. A-insinöörit. Siltatekniikka, Tiehallinto. 2004. Tyyppipiirustukset R15/DK H2-6, 11. Alkuperäisiä piirustuksia on rajattu.

Kuva 46. Pohjan avulla mallinnetut H2-kaiteen osat. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 47. *Evaluate length* -ohjelmakomponentti. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 48. Linjan rajaaminen *evaluate length*- ja *domain* -komponenteilla. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 49. Suunnan määrittäminen linjan mukaan. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 50. Pohjan avulla mallinnettu H2-siltakaiteen linja. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 51. Otoksia H2-siltakaiteen verkkoelementin tyyppiinirustuksista. Hellgren, Heidi. 2025. Alkuperäisiä piirustuksia on rajattu.

Kuva 52. Pohjan avulla mallinnetut kaiteiden lisävarusteet. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 53. Pohjan avulla mallinnetut verkkoelementit useammassa pätkässä. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 54. Kaideverkon mallintamiseen liittyvät ongelmat ja lopullinen tulos. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 55. Vedenpoistolaitteiden sijoittelu sillan tasokuvassa. Väylävirasto. 2019. Täydentäviä ohjeita siltojen suunnitteluun. Väyläviraston ohjeita 4/2019. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2019-04_toss_web.pdf>.

Kuva 56, vasemmalla. Poikittaisen salaojan asennusohje. Väylävirasto. 2023. Kannen salaojien teko. Väyläviraston ohjeita 17/2023. SILKO-ohje 2.613. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-17_s2613_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 56, keskellä. Työmaakuva asennetusta salaojaputkesta ennen ympäristäytystä. Ramboll Finland Oy. 2018. Sillan ja siltapaikan kuivatus. SILKO-ohje 1.601 3/2018. Liikennevirasto. Verkkoaineisto: <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/silko/kansio1/s1601_web.pdf>. Kuvaa on rajattu.

Kuva 56, oikealla. Pohjan avulla mallinnettu poikittainen salaojalinja. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 57. Tippuputkien jaotteluvaihtoehtojen esittely, kun jakoarvo on kolme metriä. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 58. Periaatekuva tippuputkivälien automatisoidusta vähimmäisetäisyydestä linjaa pitkin vaihtoehdolla 2. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 59. Tietopuussa olevan virheen aiheuttama ongelma *fitting*-komponentissa. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 60. Pohjan avulla mallinnettu raollinen tippuputkilinja alittavaa väylää varten. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 61. Hulevesiputkessa ja kaiteessa olevia osia, jotka eivät ole poistuneet Teklasta, kun varuste on poistettu tai siirretty Grasshopperin puolella. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 62, vasemmalla. Attribuuttitietojen syöttöön käytettyjä ohjelmakomponentteja Grasshopperissa. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 62, oikealla. Esimerkki harvan H2-siltakaiteen tyyppiirustuksessa esitetyistä materiaalitiedoista mitä inframalliin voi sisällyttää. A-Insinöörit. Siltatekniikka, Tiehallinto. 2004. TIEH H2 Sillankaide, 2-putkijohde, harva kaide. Tyypipiirustus R15/DK H2-1. Kuvaa on rajattu.

Kuva 63. Tekla Beam -komponenttien esitystapojen ero. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 64. Klusteritoiminnan esittely. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 65. Klusterin avaama tila, sen sisältämä koodi ja yhteyksien ohjelmakomponentit alkuperäiseen pohjaan. Hellgren, Heidi. 2025.

Kuva 66. Pohjassa oleva valmis huleveden komponenttikoodi. Hellgren, Heidi. 2025.

Liite 1: Destian Oy:lle tuotetun ohjeen kansikuva

Algoritmisen mallintamisen pohja: siltakaiteiden ja kannen vedenojauslaitteille.

Ohjeet

Pohjan muokkauslogi:

PVM	Muokkaaja	Muokkaus
	H.Hellgren	1 – versio: Julkaisu

Ohjelmaversiot:

- Rhino 3D 7
- Tekla Structure 2023

Tämä pohja noudattaa seuraavia ohjeita:

Ohjeet: Siltojen inframalliohje, Väylävirasto, VO 41/2022, 1.1.2023
TS_Silta_numerointiohje v04-2021, Destia Oy

Tyyppiirustukset: R15/DS Tie-1...8 Kuivatuslaitteet, Väylävirasto, 9.12.2020
R15/DK H2-0...20 Teräksinen sillankaide H2, Väylävirasto, 14.12.2023