



# Teräsbetonisen laattakehäsillan parametrinen mallinnus

Christian Kortesiemi

OPINNÄYTETYÖ  
Marraskuu 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma  
Talonrakennustekniikka

KORTESNIEMI, CHRISTIAN:  
Laattakehäsillan parametrinen mallinnus

Opinnäytetyö 36 sivua  
Marraskuu 2020

---

Työssä kehitettiin mallinnustyökalu tietomallinnuksen automatisointia varten Tekla Structures- ja Rhinoceros 6 -ohjelmilla. Automatisoinnilla haetaan mallinnusprosessin nopeuttamista ja helpommin muunneltavia tietomalleja. Työssä koottiin Grasshopper-koodi, joka mallintaa BLK 2 -suunnitteluohjeen mukaisen laattakehäsillan sille annettujen parametrien avulla. Ohjelmassa keskityttiin tie-suunnitelmavaiheen tarkkuustasoon, eli raudoituksia ei mallinneta.

Työssä käsitellään laattakehäsillan perusteita. Painopiste on tietomallinnuksessa ja visuaalisessa ohjelmoinnissa. Työssä käsitellään, mitä on parametrinen mallinnus ja sen periaatteita. Tuloksena saadaan Grasshopper-mallinnustyökalu, joka mallintaa laattakehäsillan lähtötietojen perusteella.

Ohjelman koonnissa päästiin tavoitteisiin. Jatkotoimenpiteitä ja ohjelman kehitysideoita huomattiin sitä kootessa, kuten raudoitusten ja piirustusten automaattinen luominen. Ohjelman ulkoasua ja selkeyttä muutetaan, jos käytössä selviää loogisempia ratkaisuja.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Building construction

KORTESNIEMI, CHRISTIAN:  
Parametric Modelling of a Reinforced Concrete Slab Bridge

Bachelor's thesis 36 pages  
November 2020

---

In this thesis, a Grasshopper modeling tool was developed for the automation of building information modeling. The programs used for the purpose were Tekla Structures 2018 and Rhinoceros 6. Automation seeks to speed up the modeling process and more easily modifiable BIM-models.

In this work, a piece of Grasshopper code was compiled for modeling slab ring bridges in accordance with the BLK 2 design guide, using the parameters given by the designer. The program focuses on the level of accuracy of the road design phase, i.e., reinforcements are not modeled.

The basics of the slab ring bridge are covered in the work. The focus is on data modeling and visual programming. The result is a Grasshopper modeling tool that models the slab ring bridge based on the input data.

The goals set for the program/tool were reached. Further steps and development ideas for the program were noted during its compilation, such as the automatic creation of reinforcements and drawings. The overall look and clarity of the program will be changed if more logical solutions emerge.

---

Key words: grasshopper, slab ring bridge, parametric modeling, BIM

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	Teoreettinen tausta .....	7
	2.1 Parametrinen mallinnus.....	7
	2.1.1 Tietomalli .....	7
	2.1.2 Algoritmipohjainen mallintaminen .....	9
	2.1.3 Parametri.....	10
	2.2 Ohjelmisto .....	11
	2.2.1 Tekla Structures .....	11
	2.2.2 Rhinoceros 3D.....	12
	2.2.3 Grasshopper.....	12
	2.2.4 Tietorakenne.....	13
	2.2.5 Yhteistoiminta.....	16
3	Laattakehäsilta.....	17
	3.1 Rakenteen kuvaus .....	18
	3.2 Mallin muunneltavuus .....	20
	3.3 Laattakehäsilan mallin aloitus.....	21
4	Tulokset .....	23
	4.1 Työn esittely .....	23
	4.2 Mitkä parametrisoitiin .....	24
5	POHDINTA .....	28
	LÄHTEET .....	29
6	LIITTEET .....	31
	6.1 Liite 1. Kansilaatan pituuden leveyden säätökytkin. Leveys: 16m	31
	6.2 Liite 2. Geometriamalli eri näkökulmista. Leveys: 16 m .....	31
	6.3 Liite 3. Kansilaatan pituuden leveyden säätökytkin. Leveys: 7,5m	32
	6.4 Liite 4. Geometriamalli eri näkökulmista. Leveys: 7,5 m .....	32
	6.5 Liite 5. Tiedon kulku visuaalisessa koodissa .....	33
	6.6 Liite 6. Kannen alapinnan taso .....	33
	6.7 Liite 7. Reunapalkki päätytaso .....	34
	6.8 Liite 8. Kehäjalka.....	34
	6.9 Liite 9. Siipimuuri.....	35
	6.10 Liite 10. Rakenneosien yhdistäminen .....	36

**Erytyissanasto**

<b>Rhinoceros 6</b>	3D NURBS pintamallinnusohjelma
<b>Grasshopper</b>	Rhinocerosin lisäosa, virtuaalinen koodausohjelma
<b>Tekla Structures</b>	tietomallinnusohjelma
<b>Tietomalli</b>	kokonaisvaltainen kuvaus rakenteen geometriasta im- materiaalitietoineen
<b>Mallinnus</b>	prosessi, jolla luodaan kolmiulotteinen tietomalli
<b>TSV</b>	väylän tasausviiva
<b>Parametri</b>	numeerinen muuttuva arvo, jonka perusteella ohjelma muuttaa tietomallin geometriaa
<b>Algoritmi</b>	lista sääntöjä, jotka ohjelma toteuttaa järjestyksessä
<b>IFC</b>	Industry Foundation Classes. Avoin ohjelmistosta riippu- maton standardi tietomallien kuvaukseen ja siirtoon eri ohjelmistojen välillä.
<b>Sisäkkäinen lista</b>	nested list, lista listan sisällä
<b>BIM</b>	Building Information Modeling. Tietomallintaminen, eli rakennusosien ja rakennusprosessin sisällyttäminen di- gitaaliseen suunnittelumalliin
<b>NURBS</b>	matemaattinen malli, jota käytetään täsmällisen käyrän kuvauksen määrittämiseen

## 1 JOHDANTO

Tietomallinnus osana rakennesuunnittelua on yleistynyt huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Teknologian kehittyessä tietomalleilta vaaditaan enemmän todenmukaisuutta ja tiedon varastointikykyä.

Tietomallin sisältäessä valtavat määrät dataa, se vie resursseja insinööritoimistoilta. Mallinnuksen ollessa suhteellisen uusi keksintö verrattuna rakennesuunnitteluun, päteviä tekijöitä on vähän. Suunnittelijat ei välttämättä ole saanut opinnoissaan nykytason tietoa mallinnuksesta, jolloin alkeiden opetus jää yrityksen vastuulle.

Mallinnuksen alkeiden opetus ja firman yhtenäinen toimintatapa vie usean kollegan resursseja työyhteisössä. Ei pelkästään suunnittelijan opettamiseen, vaan kokeneen suunnittelijan huomio viedään pois hänen projektistansa. Tämä on normaalia, mutta sen pitkittyessä kustannukset paisuvat kahdesta näkökulmasta. Jos opetusprosessia saadaan lyhennettyä ohjelmoitujen työkalujen avulla, onnistutaan supistamaan kustannuksia. Ei pelkästään uuden henkilön opettamisessa, vaan kokeneelta suunnittelijaltakin menee saman työn luomiseen vain osa ajasta.

Nykyteknologia on antanut lisää näkyvyyttä sovelluskehittäjille rakennusteknologian parissa. Kaikkien ei tarvitse osata mallintaa. Pitää vain osata kertoa ohjelmalle sen kysymä tieto, jolloin ohjelma mallintaa puolestasi. Mallinnusprosessi kaikessa monimuotoisuudessaan kulminoituu yksinkertaiseen muotoon: on jokin asia, lähtötieto ja siitä generoidaan haluttu lopputulos, tietomalli.

Tässä opinnäytetyössä tehdään Grasshopper-työkalu, joka mallintaa teräsbetoniset laattakehäsilat lähtötietojen pohjalta. Työssä keskitytään BLK 2 suunniteluohjeeseen, eli vinojalkaiseen laattakehäsiltaan. Opinnäytetyötä käytetään tiesuunnitelmavaiheessa, joten se rajattiin geometriamalliin, jolloin raudoituksia ei mallinnetta tai mallista luoda piirustuksia.

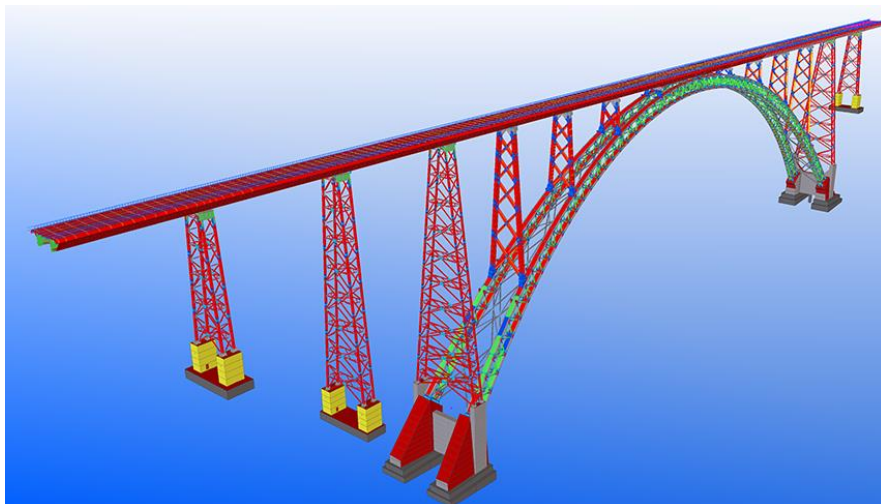
## 2 Teoreettinen tausta

### 2.1 Parametrinen mallinnus

Parametrisessa mallinnuksessa luodaan kolmiulotteinen tietomalli käyttäen algoritmipohjaista ohjelmaa. Algoritmipohjainen ohjelma automatisoi kokonaan tai osan mallinnusprosessista, jolloin mallinnus on tehokkaampaa. Parametrisella mallinnuksella rakennetaan riippuvuussuhteita eri geometrinen osien välille, jolloin objektien sijainti määräytyy implisiittisesti.

Parametrinen malli rakentuu linkitettyjen ohjelmakomponenttien muodostavan algoritmisen logiikan ja sille syötettyjen parametrien avulla. Parametrinen mallintaminen nopeuttaa huomattavasti suunnittelun variaatioiden ja vaihtoehtojen etsintää. (Tanska ja Österlund 2014, 13)

#### 2.1.1 Tietomalli

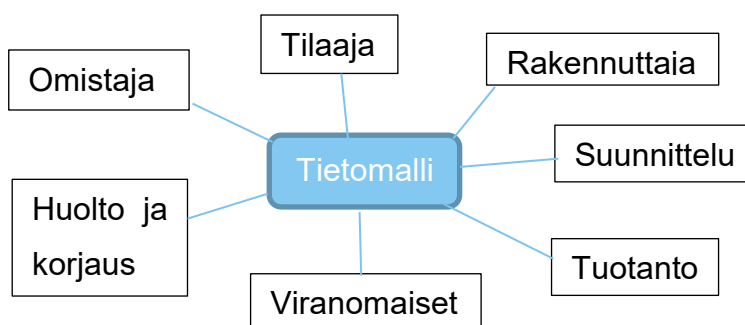


KUVA1. Chenab Bridge, Tekla BIM awards

Tietomalleilla hallinnoidaan rakennuksen koko elinkaarta. Tietomallilla tarkoitetaan digitaalisessa muodossa olevan rakennelman 3-ulotteista esittämistä ominaisuustietoineen. Siinä näkyy rakenne tilavuusobjekteina, tilavuusobjekteista selviää muun muassa materiaalitiedot, nimiö, hinta ja paino. Siltojen mallinnuksessa seurataan Väyläviraston tietomalliohjetta. (Väylävirasto, 2020)

Tietomalli on älykäs malliperusteinen prosessi, joka palvelee rakennusprojektia konseptista rakennusvaiheeseen, sekä tulevaisuuden ennustettavuuteen. Tietomalli mahdollistaa arkkitehtien, eri alojen suunnittelijoiden ja rakennuttajien tehokkaamman yhteistyön. Kolmiulotteisesta tietomallista huomaa paremmin esimerkiksi tietomallin objektien kokonaiskuvan ja mahdolliset päällekkäisyydet, joita perinteisistä kaksiulotteisista kuvista on haastavampi hahmottaa. Suunnittelijan nähdessä miten suunnitelmat integroituu kokonaisprojektiin, haastavilta kohdilta ja virheiltä vältytään jo suunnitteluvaiheessa, jolloin suunnitelmien yhtenäisyys ja toteutuskelpoisuus tehostuu. Tietomalli auttaa suunnittelijaa kehittämään tehokkaampia ratkaisuja realistisen visualisoinnin avulla. (Autodesk Building Solutions, 2020)

KUVIO 1. Havainnollistaa tietomallin asemaa rakennusprosessissa



Kun tietomalliin kootaan monen alan ammattilaisen suunnitelmat ja dokumentointi, estetään suunnitelmien päällekkäisyydet, vähennetään koordinoitongelmia ja muutostilauksia. Tietomalli parantaa rakennushankkeen kustannusarviota ja tarkentaa aikataulua muuttamalla sitä todennukaisemmaksi. (Autodesk Building Solutions, 2020) Tietomallien avulla saadaan myös minimoitua materiaalihukka ja vähennettyä virheitä. (Väylävirasto, 2020) Tietomallien avulla säävytetaan parempi ymmärrys rakennushankkeen tulevaisuuden käytettävyydestä ja huoltotarpeista.

Tietomallin ollessa kattava tietopankki omistajat voivat käyttää tietomallia ennaltaehkäisevään huoltoon, rakennuksen omaisuuserän seurantaan ja tilojen hallintaan. Kokonaisuudessaan tietomallilla saadaan pienennettyä rakennushankkeen riskejä, parannettua aikataulua ja kustannusarviota sekä tarkempi projektin lopputulos.



Pilvipalvelut avustavat tietomalleissa työskentelyä uudella tapaa. Yhdessä tietomallissa voi esimerkiksi työskennellä rakennesuunnittelija ja LVI-suunnittelija samanaikaisesti. (Tekla shared model, 2020) Tietomalleihin saadaan lisättyä todennukaisuutta laser skannauksien avulla ja reaaliaikaisuutta eri sensoreiden avulla. Mobiililaitteilla saadaan tietomalli avuksi rakennusvaiheen yksityiskohtiin.

Tietomallinnuksella on vielä paljon potentiaalia. Virtuaalisen todellisuuden tuomat ratkaisut mahdollistavat digitaalisen tietomallin integroimisen todellisuuteen muun muassa VR-lasien välityksellä. Tietomallit ei toimi vielä sillä tasolla mihin ne pystyvät. Motiivina on käyttää tietomalleja, jotta ne yleistyisivät ja kehittyisi nopeammin luoden uusia mahdollisuuksia rakennussektorille.

### **2.1.2 Algoritmipohjainen mallintaminen**

Algoritmi on joukko määrättyjä ohjeita, jotka tietokone lukee ja toteuttaa järjestyksessä. Toiminnot, josta ohje koostuu voi sisältää yksinkertaisesta numeroiden summaamisesta monimutkaiseen toimintoon kuten videon toisto. Algoritmit ovat aina yksiselitteisiä ja niitä käytetään suorittamaan laskentaa, datan prosessointia ja automatisoitua päätöksentekoa.

Vaikka rakennusprojektin suunnitelmat on tehty siihen pisteeseen asti, että voidaan koota tietomalli, niihin voi silti tulla muutoksia. Mallinnuksessakin voidaan huomata kohtia, joita ei voida toteuttaa. On siis tärkeää, että tietomallia saadaan muutettua ilman, että jokaista objektia pitää erikseen siirtää ja muokata.

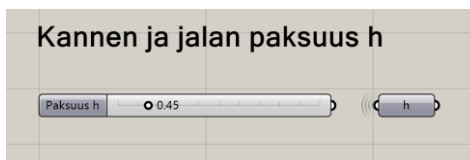
Tässä työssä käytetään algoritmeja geometrian luomiseen ja historiatiedon muuttamiseen. Historian muuttamisen perusajatus on datan yhteen nitominen riippuvuuksien avulla. Historian muuttaminen tulee ajankohtaiseksi, jos siltarakenteen suunnitelmia muutetaan. Tietomallin uudelleen kokoaminen saattaa olla erittäin aikaa vievä prosessi. Esimerkiksi jos kansirakenne levenee, suuri osa rakenteista muuttaa sijaintia tai geometriaa. Pahimmassa tapauksessa jokainen komponentti pitää erikseen siirtää paikalleen ja muuttaa geometriaa. Algoritmisellä mallintamisella tehostetaan tietomallinnusta rakenneosien automaattisen luonnin avulla.

### 2.1.3 Parametri

Parametri on lukuarvo, muuttuja tai määre, joka ohjaa ja informoi suunniteltavan algoritmisen prosessin osaa (Tanska ja Österlund 2014, 13). Esimerkiksi suorakulmion parametreina voisi olla leveys ja korkeus. Ohjelmalle kerrotaan parametrien avulla, että suorakulmiosta halutaan 3 metriä korkea ja 2 metriä leveä, jolloin ohjelma osaa mallintaa halutun suorakulmion.

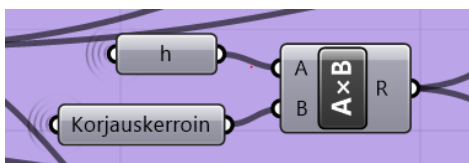
Parametreilla kerrotaan ohjelmalle sen tarvitsema tieto. Tässä työssä parametreilla säädetään sillan geometria. Tarkoituksena on parametrisoida sillan suunnittelun alkuvaiheessa saatu lähtötieto, josta saadaan generoitua tietomalli.

Työssä parametreja säädellään liukukytkimillä. Liukukytkimeen voidaan syöttää numeerisesti tarkka arvo tai säätää sitä liu'uttamalla kytkintä. Liukukytkintä säätäessä nähdään reaaliajassa parametrimuutoksen aiheuttama lopputulos. Esimerkiksi sillan kansilaatan paksuntuminen.



KUVA 2. Liukukytkin kansilaatan ja kehäjalan paksuudesta

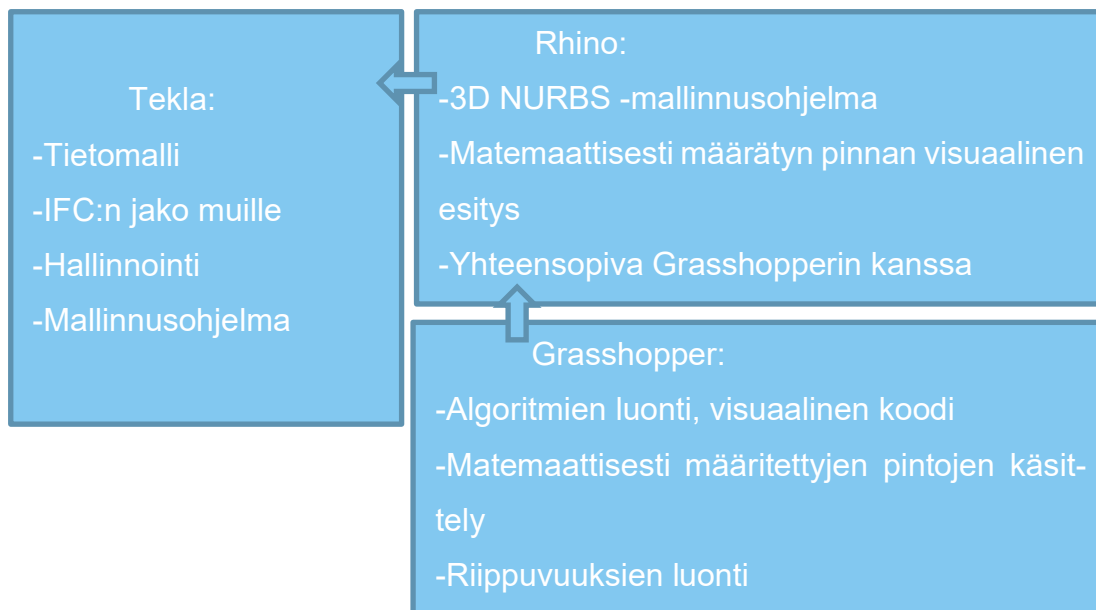
Parametrisoinnin havainnollistaminen ohjelmasta poimitun parametrisoinnin avulla: Kuvassa 2 on visuaalinen esitys liukukytkimestä. Kytkimelle voidaan määrittää rajat, jonka puitteissa sitä voidaan säädellä. Kytkin näyttää arvon 0.45, joka edustaa kansilaatan ja kehäjalan säädettyä paksuutta. Liukukytkin on yhteydessä koodilaatikkoon h, joka varastoi liukukytkimen antavan arvon. Jos liukukytkintä säädetään, jokainen koodilaatikko "h" muuttaa arvoaan algoritmossa. Sama algoritmi tapahtuu, mutta eri arvolla, jolloin lopputulos on erilainen.



KUVA 3. Koodilaatikko "h" käytössä muualla algoritmossa

## 2.2 Ohjelmisto

Tässä työssä ohjelmistona käytetään Tekla Structures 2018, Rhinoceros 6 ja Grasshopper-lisäosaa. Grasshopperin tietorakenteiden ymmärtäminen on avainasemassa ohjelman tehokkaaseen käyttöön.



KUVIO 2. Ohjelmien suhde toisiinsa

### 2.2.1 Tekla Structures

Trimble Solutions Oy on suomalainen ohjelmistoyritys, joka valmistaa mallipohjaiseen perustuvia suunnitteluohjelmistoja ja tietojärjestelmiä. (Tekla, 2020)

Tekla Structures on rakennesuunnitteluohjelmisto, jolla rakennetaan IFC standardin mukainen tietomalli. Teklalla voi luoda, yhdistellä, hallita ja jakaa kattavia tietomalleja, jotka mahdollistavat kaikkien materiaalien rakenteiden käytön. (Tekla, 2020)

Tietomallit tallennetaan IFC tallennusformaattiin, jotta projektin osapuolet saa tietomallin auki ohjelmistosta riippumatta. Tekla Structures mahdollistaa tiedon jakamisen sekä muokkaamisen projektin osapuolten välillä.

Tekla Model Sharing mahdollistaa usean suunnittelijan työskentelyn saman aikaisesti samassa mallissa. Tämä eliminoi sen, että tehdään samasta projektista useampi tietomalli, jolloin tietomalli on kattavampi. Model sharing mahdollistaa myös offline työskentelyn. (Tekla Model Sharing, 2020)

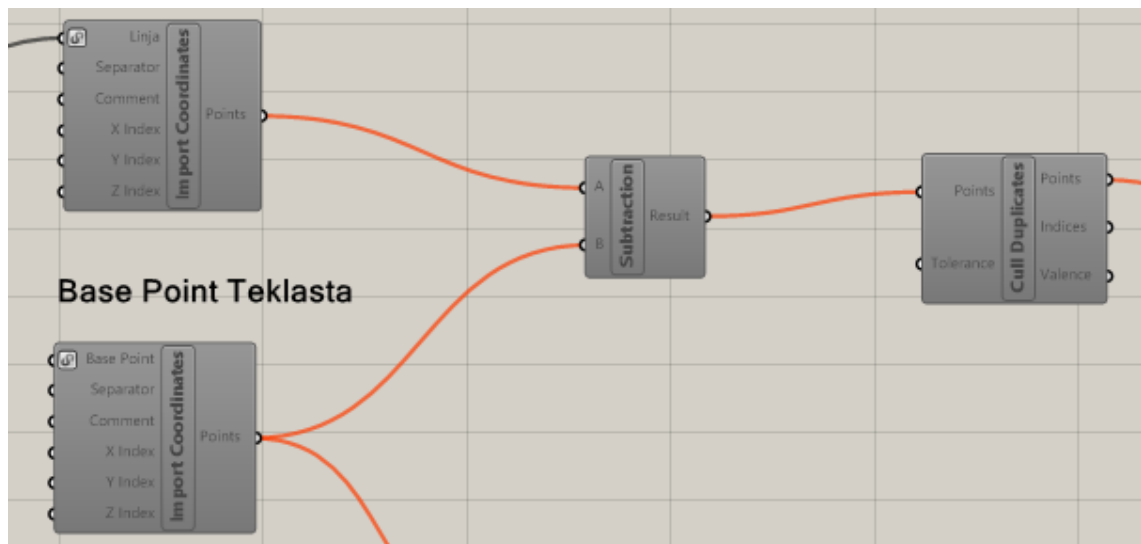
Teklalla voidaan kolmiulotteisesta mallista tulostaa vaadittavat tasokuvat, pituusleikkaukset ja poikkileikkaukset. Kun kaikki piirustukset perustuvat tietomalliin, mahdollisuus virheille on pienempi verrattuna siihen, jos jokainen kuva piirretään erikseen. Teklan tekemissä piirustuksissa muutos tietomalliin muuttaa automaattisesti jokaista piirustusta, jossa kyseinen rakenneosia näytetään. Teklan haasteena on muuttuvaa linjaa pitkin menevät rakenteet, esimerkiksi kaksoiskaarevat ja poikkileikkaukselta muuttuvat sillat. Tämä ongelma saadaan ratkaistua Rhino – Tekla live linkillä.

### **2.2.2 Rhinoceros 3D**

Rhinoceros on 3D NURBS -mallinnusohjelma. NURBS (Non-uniform rational basis spline) on matemaattinen malli, jota käytetään käyrien ja pintojen luomiseen ja esittämiseen tietokonegrafiikassa. NURBS käyrät pystyvät esittämään mitä tahansa luonnollista tai keinotekoisia pintaa. (Rhino3d, 2020) Rhino soveltuu käytettäväksi muiden suunnitteluohjelmien kanssa, kuten Teklan. Rhinocerosin toimintoja voi laajentaa eri lisäosilla, yksi niistä on Grasshopper.

### **2.2.3 Grasshopper**

Grasshopper on graafinen algoritmieditori, joka on kiinteästi integroitu Rhinon 3D-mallinnustyökaluihin. (Grasshopper3d) Siltamallinnuksessa Rhinon Grasshopper-ohjelmiston suurin hyöty koostuu hankalien poikkileikkausten, muuttuvien linjojen ja historian muuttamisen mahdollistamisena.



KUVA 4. Kahden koordinaattilistan erotus

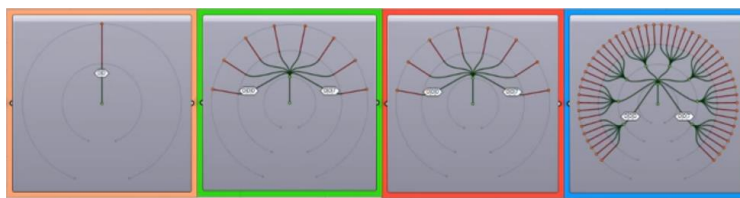
Kuvassa on osa Grasshopperin visuaalista koodia. Tausta on "Canvas", jolle visuaaliset koodipalikat voidaan lataa. Jokainen palikka edustaa omaa koodipätkää, mutta se on visuaalisessa muodossa. Koodipätkiä yhdistellään putkella, joka edustaa tiedonkulkua.

Kuvassa on koordinaattien erotus ja niiden luominen linjaksi. Tuodaan kaksi koordinaattilistaa, jotka vähennetään toisistaan. Jäljellä olevista koordinaateista luodaan mittalinja, jonka perusteella tiedetään tietomallissa, miten väylä kulkee. Väylän perusteella saadaan asetettua laattakehäsillan kansilaatan 4 kulmapistettä. Muut rakenteet liittyvät kansilaattaan ja näin päästään rakentamaan riippuvuuksien sarja, jotta rakenneosat ovat aina yhteydessä toisiin.

#### 2.2.4 Tietorakenne

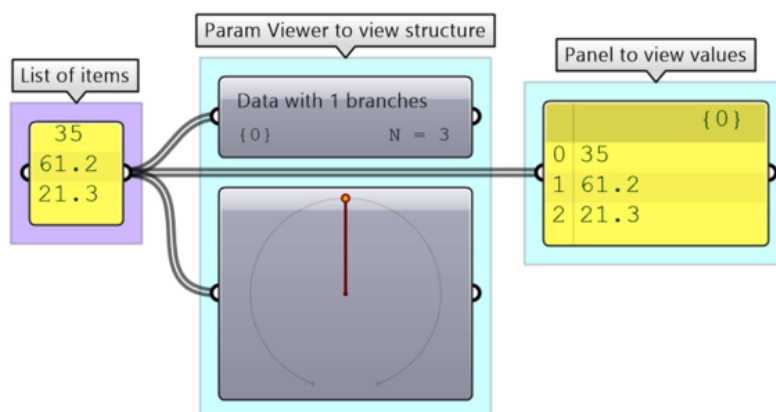
Tietorakenne tarkoittaa tapaa tallentaa ja siirtää tietokoneen käsittelemää dataa siten, että datan käyttö olisi mahdollisimman tehokasta. Grasshopper hyödyntää puumaista tietorakennetta, data tree.

Data tree on hierarkkinen rakenne, jossa varastoidaan tietoa sisäkkäisiin listoihin. Lista voi koostua listoista, jonka alkiona on useampi lista ja niin edelleen (Nested list). Listan avulla voidaan yhtä komponenttia käyttämällä laskea arvoja kaikille listan luvuille.



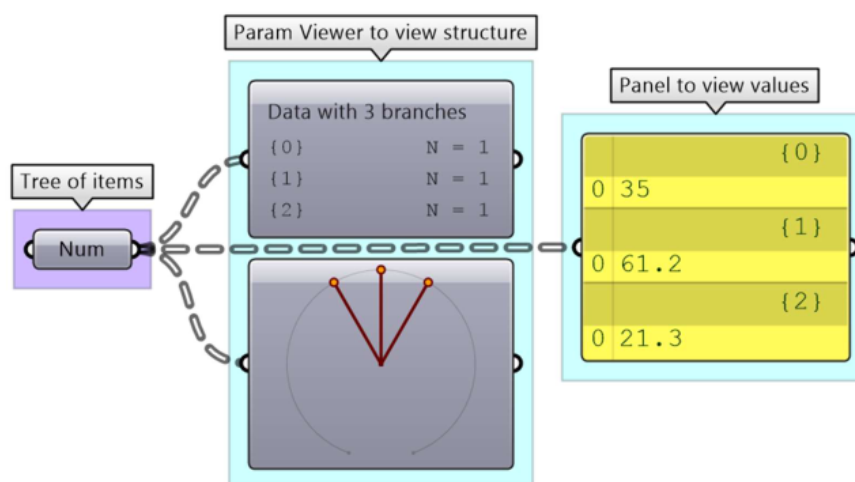
KUVA 5. Puumainen tietorakenne, data tree

Kuva 5 näyttää miten tietoa voidaan jäsenöidä ja miten se liikkuu ohjelman sisällä. (Essential Algorithms And Data Structures)



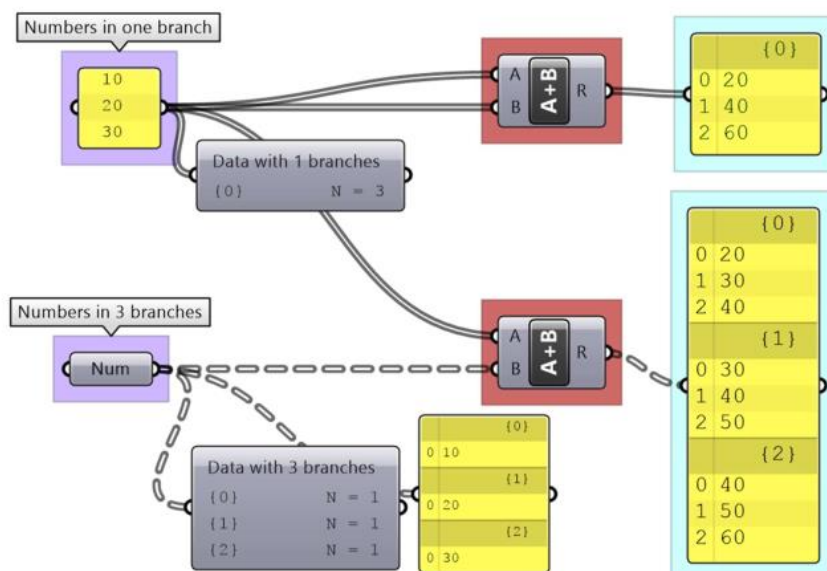
KUVA 6. Tiedon kulku yhdellä oksalla (branch)

Komponenteilla "panel" ja "param viewer" voidaan analysoida datarakennetta. "Paneelilla" nähdään, mitä saadaan tulokseksi. "Param viewer" näyttää kaksi näyttöä; yksi tekstillä ja toinen graafisesti. Kuvasta näkee, että kolme alkioita (N) varastoituu yhden oksan (branch) alle. Numero nolla (0) kertoo polun.



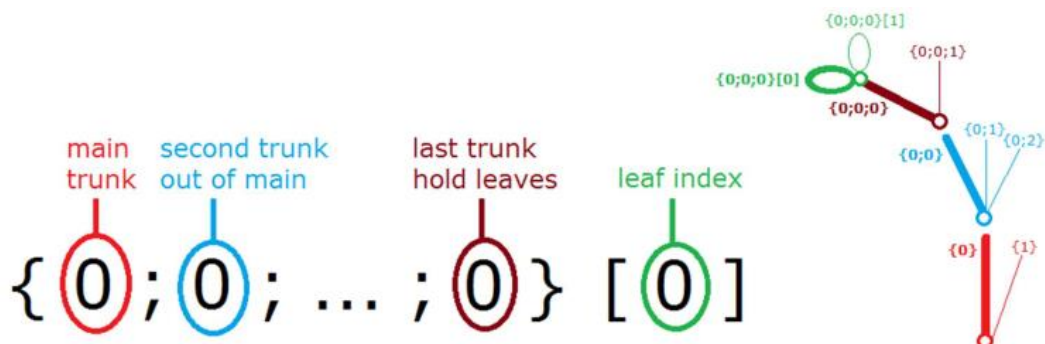
KUVA 7. Tiedon kulku kolmella oksalla

Tässä on samat alkion arvot varastoitu kolmeen haaraan, se muodostaa yhden listan sijasta kolme listaa.



KUVA 8. Yhden ja kolmen oksan eroavaisuus

Jos on yksi oksa, listat summataan sellaisinaan yhteen ja lopputuloksena on uusi lista. Kolmella oksalla tuotetaan kolme eri listaa: 0, 1 ja 2. Näihin summaataan polkujen 0, 1 ja 2 arvot, jolloin saadaan kuvan mukainen tulos. Vaikka yhden oksan ja kolmen oksan alkuarvot ovat sama, lopputulos on erilainen, erilaisessa tietorakenteessa.



KUVA 9. Tietohaarojen merkintätapa

Kuvassa näkyy oikealla puumainen tietorakenne, joka koostuu eri oksista. Osoite tai polku esitetään kokonaisluvuilla, jotka erotetaan toisistaan puolipisteillä ja ympäröidään aaltosulkumerkillä. Merkintätavan avulla saadaan haettua se tieto, mitä tarvitaan.

### 2.2.5 Yhteistoiminta

Teklassa esitetään tietomalli, näkymätön tieto eli immateriaalitieto ja kaikki siihen liittyvä dokumentointi. Teklan Model Sharing tila auttaa muita tarkastelemaan ja tekemään muutoksia rakennusprojektin tietomalliin.

Vaikka Tekla Structures on rakennessuunnittelun mallinnusohjelma, siltojen geometria tuo ongelman; sillat ovat usein kaksoiskaarevia tielinja voi kääntyä ja poikkileikkaus muuttua. Tämä on hankala mallintaa Teklalla, jolloin Rhinocerosella saadaan tehostettua mallinnusta.

Grasshopperilla saadaan prosessoitua matemaattiset tasausviivan koordinaattilistat ja luotua algoritmit, joka on automatisoinnin perusta. Grasshopperissa myös säädetään parametrit, jotka muuttavat laattakehäsillan tietomallin geometriaa. Kun Grasshopperissa muutetaan parametrin arvoja, nähdään geometrian muutokset reaaliaikaisesti Teklassa.



### 3 Laattakehäsilta

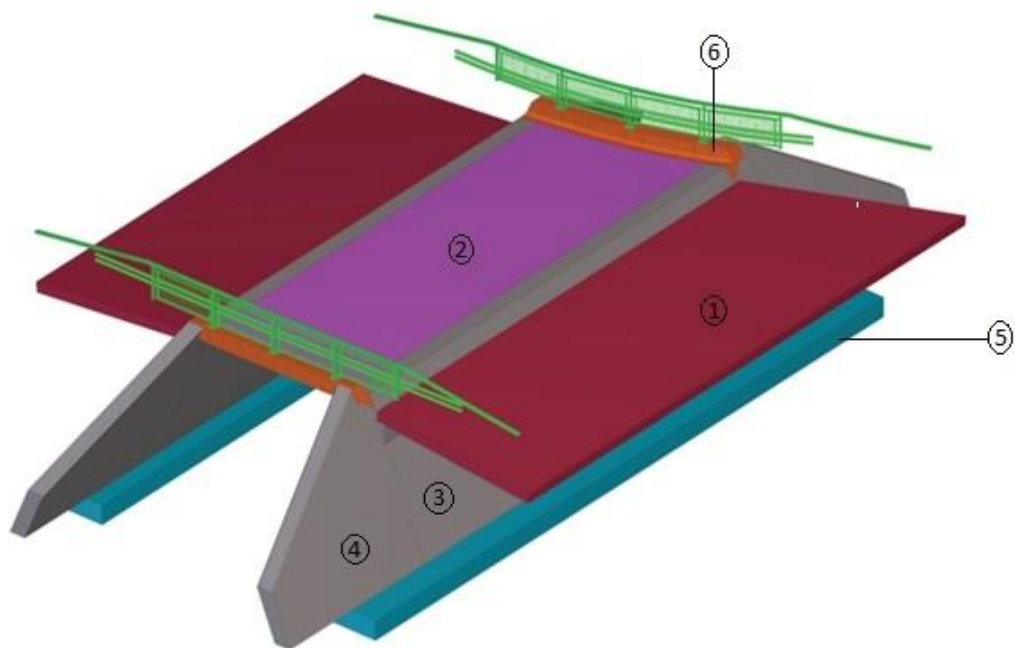


KUVA 10. Laattakehäsilta (Teräsbetoninen laattakehäsilta, 2017)

Vinojalkainen laattakehäsilta on yleinen siltatyyppejä kevyen liikenteen alikulukäytävänä. Laattakehäsilta on vakiorakenne, joten siitä löytyy tyyppiirustukset 4, 5 ja 6 metrin vapaalle aukolle. Vapaa-aukko mitataan kansilaatan ja jalan liittymäkohdasta. Sillan jalan korkeus voi vaihdella 3,5 metristä 6 metriin. Pienin hyödyllinen leveys on yksikaistaiselle 4,5 metriä ja kaksikaistaiselle 7,5 metriä. Suurinta hyödyllistä leveyttä ei ole määritetty. (Teräsbetoninen laattakehäsilta, 2017)

Laattakehäsiltoja suunnitellaan puolivalmiita tyyppiirustuksia käyttäen täysin valmiiksi. Siltakohteiden suunnitelmat koostuu siltakohtaisesti tehdyistä yleispiirustuksesta, kehän mittapiirustuksesta, peruslaatan, kehän ja siipimuurin raudoituspiirustuksista sekä siirtymälaatan ja kaiteen tyyppiirustuksista. (Teräsbetoninen laattakehäsilta, 2017)

### 3.1 Rakenteen kuvaus



KUVA 11. Laattakehäsillan rakenneosat

Kuvassa on numeroitu laattakehäsillan eri rakenneosat, jotka muodostavat rakennekokonaisuuden.

1. Siirtymälaatta
2. Kansilaatta
3. Kehäjalat
4. Siipimuurit
5. Peruslaatta
6. Reunapalkki

Laattakehäsillan kansilaatta ja kehäjalan rakennepaksuus  $h$  on 370 mm vapaa-aukolla 4 metriä ja 420 mm vapaa-aukolla 5 ja 6 metriä. Kehäjalan kaltevuus on aina 2,5:1, joihin yhdistyy siipimuurit samalla kaltevuudella. Siipimuurit ovat alitavan tien suuntaiset. Siirtymälaatat ovat yleensä 5 metriä pitkät. (Teräsbetoninen laattakehäsilta, 2017)

Rakenneos	Tunnus	Rasitusluokka.	Lujuusluokka	P-luku	Betonipeite [mm]	Suojaus
Reunapalkki	Ro22	XC4, XD3, XF4	C35/45	P50	45	kyllä
Kansilaatta	Ro20	XC3, XC4, XF2	C30/37	P30	40	
Seinät	Ro10	XC3, XC4, XF2	C30/37	P30	45	
Siipimuurit	Ro12	XC3, XC4, XD2, XF2	C30/37	P30	45	takap. etup.
Siirtymälaatat	Ro23	XC2, XD1, XF4	C30/37	P50	40	
Peruslaatat	Ro03	XC2	C30/37	-	50/100 <sup>1)</sup>	

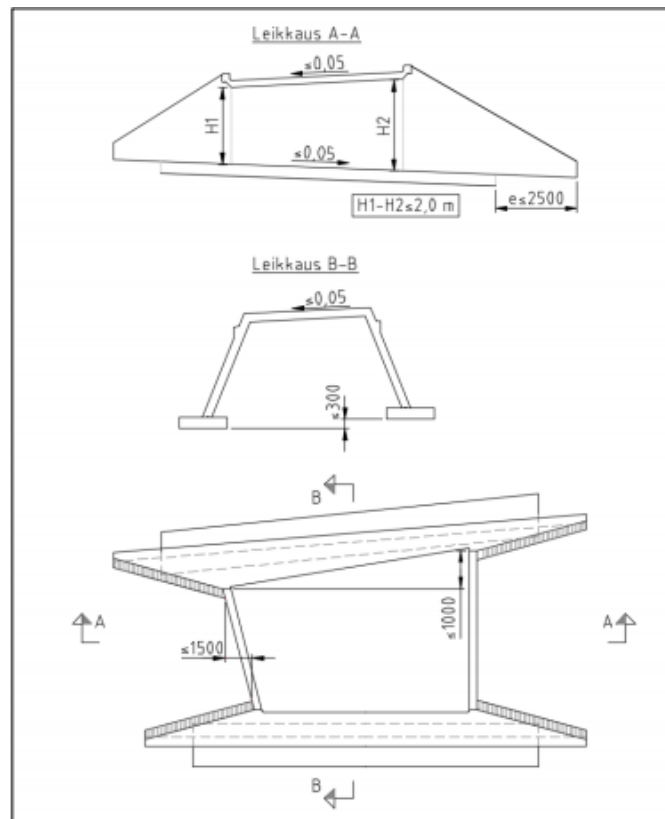
<sup>1)</sup> Maata vasten 100 mm

## TAULUKKO 1. Betonirakenteiden vähimmäisvaatimukset

Betonin lujuusluokan, rakenteen toteutusluokan minimivaatimukset, betonipeitteen nimellisarvon maksimi-arvot, rautamäärät, ja geometrian koko on myös määrätty etukäteen.

Laattakehäsilta suunnitellaan Eurokoodien mukaisesti soveltaen kuormakaavioita LM1, LM2 ja LM3. Väsymiskestävyys on varmistettu mitoittamalla silta käyttörajatilassa Eurokoodien mukaiselle ominaiskuormayhdistelmälle sallien teräkselle enintään 300 N/mm<sup>2</sup>:n jännityksen. (Teräsbetoninen laattakehäsilta, 2017)

### 3.2 Mallin muunneltavuus



KUVA 12. Laattakehäsillan maksimipoikkeamat

Laattakehäsilta ei aina ole symmetrinen. Muun muassa peruslaatta voi olla eri korossa, kansilaatan pääpisteet voi olla epäkeskiössä toisistaan, jolloin kehäjalat eivät ole yhdensuuntaiset, siipimuurien korkeus voi olla eri. (Teräsbetoninen laattakehäsilta, 2017)

Poikkeamat vaativat Grasshopper-työkalulta paljon, koska eri variaatioita on useita. Esimerkiksi kehäjalkojen korkeutta säädellään yhden liukukytkimen sijaan neljällä.

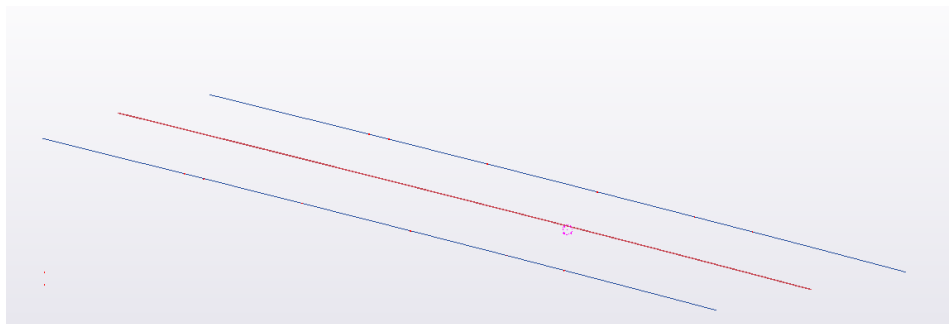
### 3.3 Laattakehäsillan mallin aloitus

Kun tietomalli on aloitettu, malliin viedään kulkevan väylän sijaintitiedot eli tasausviiva. Sijaintitiedot tulee olla listamuodossa, jotta Grasshopper osaa prosessoida koordinaattidataa.

File	Edit	Format	View	Help
7260.00,	6723574.826,	23474309.576,	51.657	
7261.00,	6723575.621,	23474310.183,	51.663	
7262.00,	6723576.416,	23474310.789,	51.668	
7263.00,	6723577.212,	23474311.395,	51.674	
7264.00,	6723578.008,	23474312.000,	51.680	
7265.00,	6723578.804,	23474312.605,	51.685	
7266.00,	6723579.600,	23474313.210,	51.691	
7267.00,	6723580.397,	23474313.814,	51.697	
7268.00,	6723581.194,	23474314.418,	51.702	
7269.00,	6723581.992,	23474315.021,	51.708	
7270.00,	6723582.789,	23474315.624,	51.713	
7271.00,	6723583.587,	23474316.227,	51.719	
7272.00,	6723584.385,	23474316.829,	51.725	
7273.00,	6723585.184,	23474317.431,	51.730	
7274.00,	6723585.983,	23474318.033,	51.736	
7275.00,	6723586.782,	23474318.634,	51.741	
7276.00,	6723587.581,	23474319.235,	51.747	
7277.00,	6723588.381,	23474319.835,	51.753	
7278.00,	6723589.181,	23474320.436,	51.758	

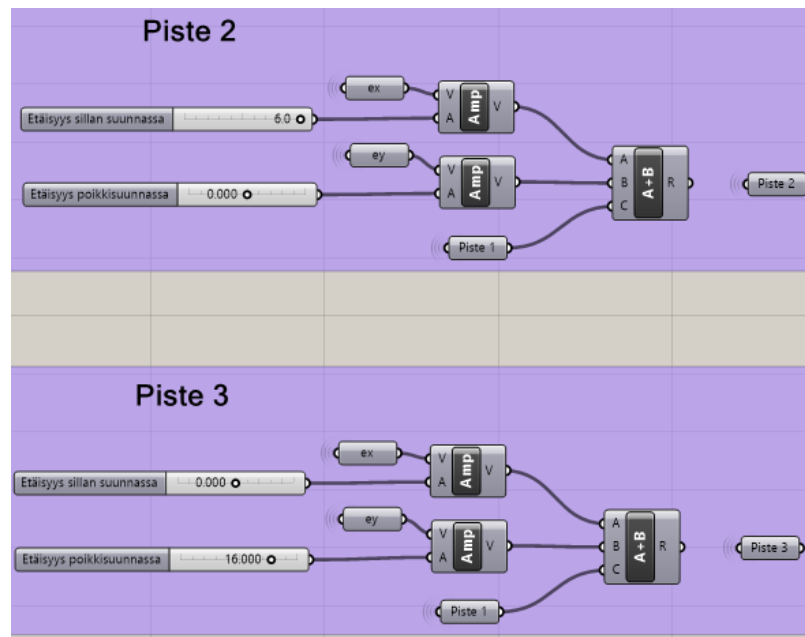
KUVA 13. Koordinaattitiedot, joista generoidaan tasausviiva

Kuvassa on esimerkki tasausviivasta. Ensimmäisessä sarakkeessa tulee olla paaluluku, toisessa X koordinaatti, kolmannessa Y koordinaatti ja neljännessä Z koordinaatti. Erittelyt tapahtuvat pilkulla, jolloin ohjelma ymmärtää, että numerosarja loppuu.



KUVA 14. Esimerkki mittalinjasta

Kuvasta näkee, millainen mittalinja on mallinnettuna. Tämän perusteella saadaan sillan kansi sijoitettua oikeaan sijaintiin.



KUVA 15. Liukukytkimet kannen säätämiseen

Kannen muut kulmapisteet säädetään liukukytkimien perusteella oikeaan sijaan. Kuvassa sillan kannesta tulisi 6 metriä pitkä ja 16 metriä leveä.

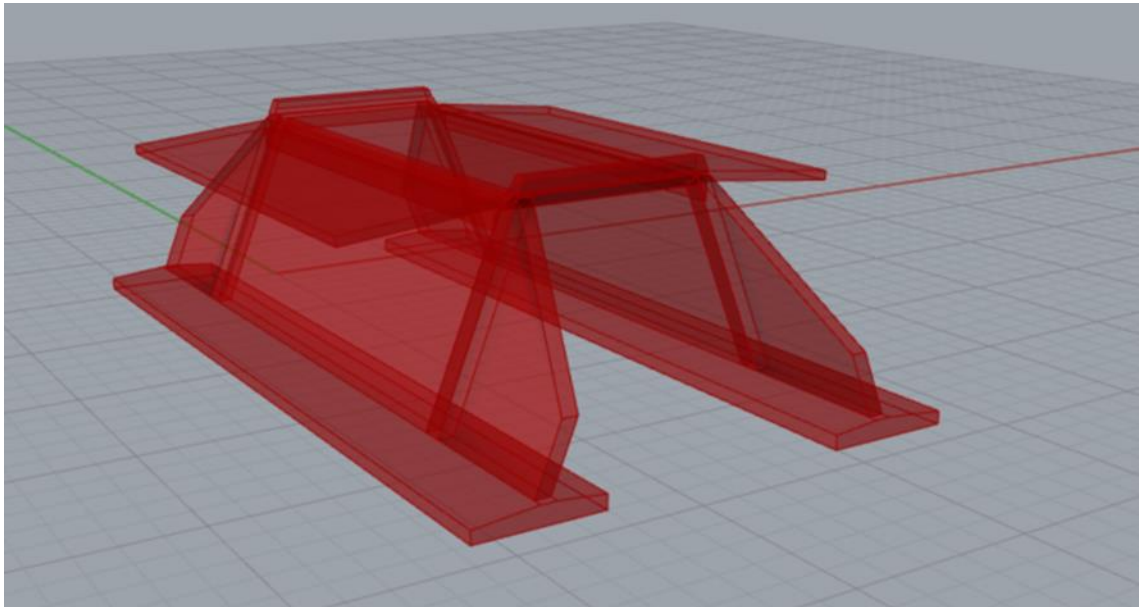


KUVA 16. Jalan korkeuksien liukukytkimet

Jalan jokaisen nurkan korkeudet määrätään erikseen. Vapaa-aukkoväli määrittää, kuinka korkeat sillan jaloista tulee. Näiden lähtötietoparametrien avulla saadaan mallin suuret linjat valmiiksi, sillan muut osat määritellään suunnittelijan suunnitelmien mukaan liukukytkimiä hyödyntäen.

## 4 Tulokset

### 4.1 Työn esittely



KUVA 17. Opinnäytetyön ohjelman generoima tietomalli

Työkalulla onnistuttiin mallintamaan vinojalkainen laattakehäsilta parametreja muuttamalla lähtötietojen mukaisiksi. Ohjelmalla saadaan generoitua kaikki vaihto-  
aatiot laattakehäsilan suunnitteluohjeen BLK2 mukaan. Huomattiin myös, että laattakehäsilan määrälaskenta saadaan lisättyä työkaluun.

## 4.2 Mitkä parametrisoitiin

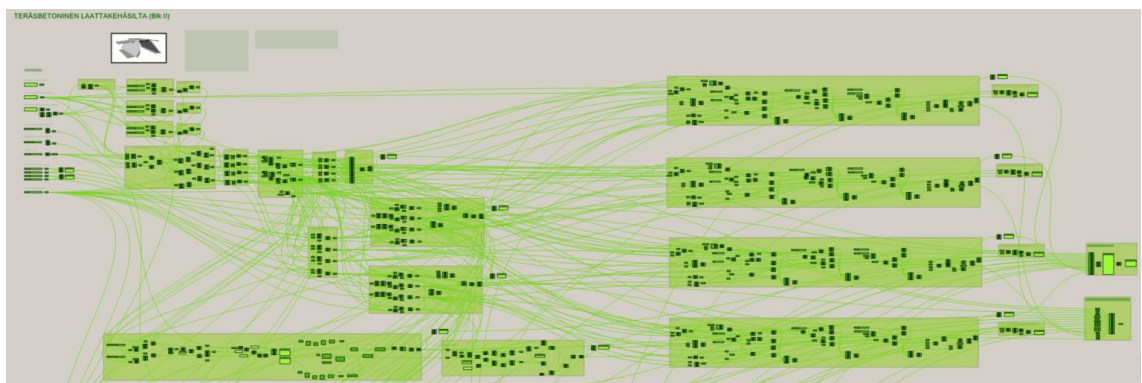
Ensimmäisenä parametrisoitiin kansilaatan reunapisteet ja annettiin paksuus. Laattakehäsillan kansi sijoitetaan malliin 4 pääpisteen avulla, joilla on omat X, Y, Z koordinaatit. Näistä muodostetaan taso, joka kuvastaa laattakehäsillan kansilaattaa. Jokaisen pisteen koordinaatteja voidaan muokata erikseen, jolloin kansilaatan geometriaa saadaan muutettua, kuin myös kallistumaan poikki- ja pituus-suunnassa.

Kehäjalan pituus riippuu, kuinka leveä kansilaatta on. Jos kansi levenee, kehäjalat muuttuvat saman mittaan. Kehäjälässä on kiinni siirtymälaatta ja konsoli, jotka seuraavat kehäjalan pituutta. Kehäjalan pystysuora korkeus määritetään suunnitteluohjeen mukaiseksi liukukytkimellä. Kaltevuus on aina 2,5:1 ja paksuus määräytyy kansilaatan paksuuden mukaan.

Peruslaatan paksuus, leveys ja yläpinnan kaato määritetään liukukytkimillä. Tässä ohjelmassa peruslaatta liittyy kehäjalan alapintaan ja sitä voidaan pidentää mielivaltaisella mitalla esimerkiksi siipimuurien verran.

Siipimuuuri alkaa siitä mihin kehäjalka loppuu. Kaltevuus on sama 2,5:1. Siipimuurin pituutta ja pystysuoran osuuden korkeus on parametrisoitu, jolloin ne voidaan säätää suunnitelmien mukaiseksi.

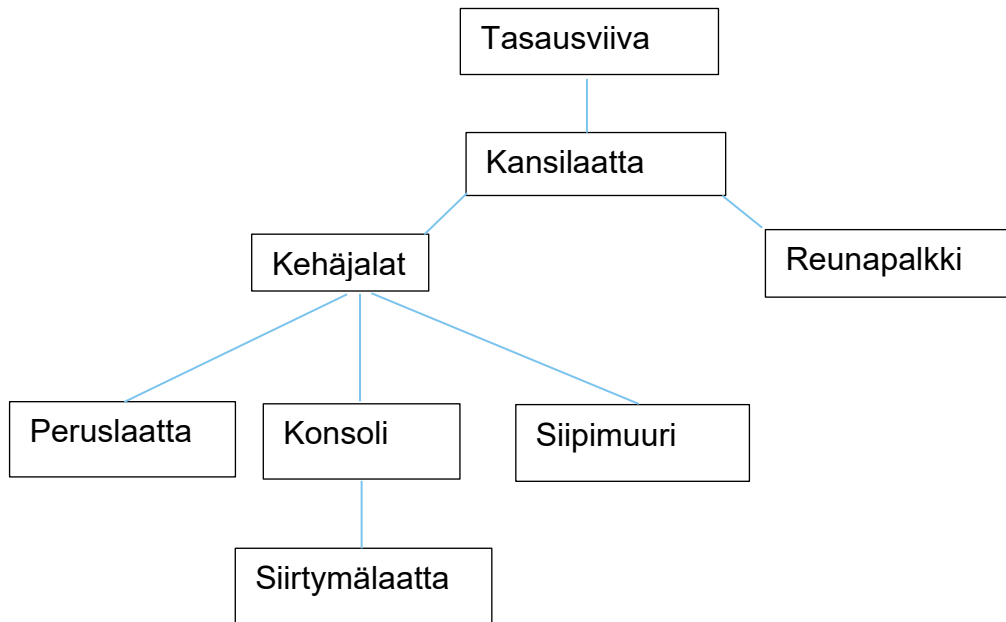
Ohjelmassa on myös tarkastuskohtia; siipimuuuri voi olla ulokkeellinen, jos mitta on alle 2,5 metriä (KUVA 12). Ohjelma kertoo, jos ulokkeen mitta on liian suuri.



KUVA 18. Ohjelman riippuvuudet



Kuvan langat kuvastavat riippuvuuksia, joiden perusteella mallinnustyökalu on rakennettu. Jos muuttaa kannen leveyttä, pitenee kehäjalka, konsoli ja siirtymälaatta. Myös siipimuuri liikkuu suhteessa jalkoihin, muttei muuta kokoa, ellei niin haluta.

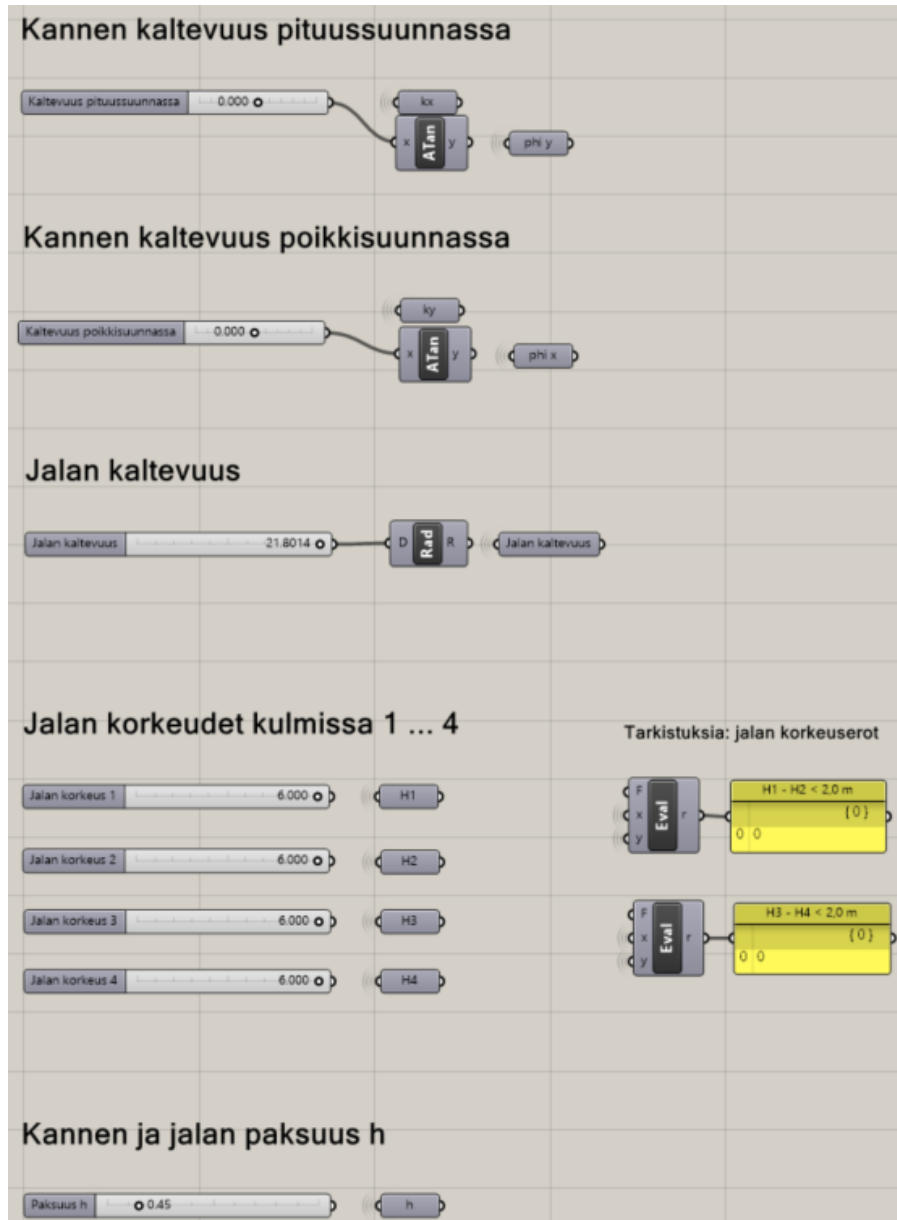


KUVIO 2. Kartta riippuvuuksista

Ohjelman riippuvuus seuraa ohessa olevaa kuviota. Jos tehdään muutoksia johonkin laatikkoon, muutoksia tulee myös kyseisen laatikon alla oleviin laatikkoihin. Esimerkiksi jos muutan kehäjalkoja, ohjelma muuttaa automaattisesti myös peruslaattaa, konsolia, jonka kautta siirtymälaattaa ja siipimuureja. Jos muutan siipimuureja, muut rakenneosat ei ole riippuvaisia siitä, joten muualle ohjelmaan ei tule automaattisesti muutoksia.

Tasausviiva kertoo, mihin silta tulee ja asettaa koordinaatit oikeaksi. Sen jälkeen asetetaan kansilaatan 4 koordinaattipistettä ja kerrotaan paksuus,  $h$ . Tämä luo neliskanttisen objektin, kansilaatan. Jos tasausviiva muutetaan, kansi liikkuu sen mukana, muttei muuta geometriaansa.

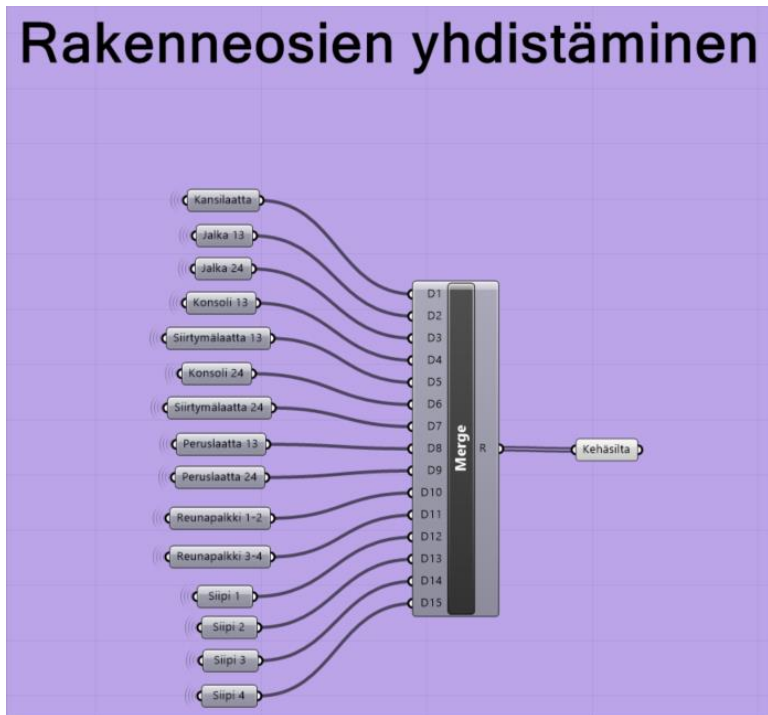
Kehäjalka ja reunapalkki yhdistyy kansilaattaan ja niiden geometria on riippuvaisia kansilaatan koosta. Jos kansilaatan nurkkapisteitä muutetaan tai laattaa kallistetaan, jalat ja reunapalkki kallistuu sen mukana. Näin rakenteet pysyvät aina oikeilla paikoilla.



KUVA 19. Yleiskatsaus osasta liukukytкимиä

Kytkimien avulla saadaan muutettua parametrisoituja pisteitä. Kytkimille on asetettu suunnitteluohjeen mukaiset raja-arvot, joiden puitteissa voidaan muokata rakennetta.

Kuvassa näkyy kahdeksan liukukytkimintä, joille voi syöttää arvoja tiettyjen rajojen puitteissa. Esimerkiksi kehäjalan korkeutta voidaan säätää suunnitteluohjeen mukaisesti sillan jokaisessa neljässä nurkassa välillä 4-6 metriä. Jalan korkeuserolle on oma maksimiarvo, jos se ylittyy, ohjelma palauttaa arvon kohtaan "tarkastuksia".



KUVA 20. Rakenneosien yhdistäminen

Lopussa kaikkien rakenneosien geometriat yhdistetään "merge" komponentilla, jolloin kehäsilta saadaan vietyä Teklaan.

## 5 POHDINTA

Tavoitteena oli luoda parametrisoitu mallinnustyökalu, jolla saataisiin automatisoitua vinojalkaisen laattakehäsillan tietomallinnusprosessia. Työkalu tulee Sitowise Oy:n suunnittelijoiden hyödynnettäväksi. Henkilökohtaisena tavoitteena oli oppia enemmän Grasshopper ohjelman käytöstä ja visuaalisesta koodista.

Tuloksena saatiin toimiva ja työkalu vinojalkaisen laattakehäsillan mallintamisen tehostamiseen. Henkilökohtainen oppimistavoite saavutettiin myös, vaikkakin opittavaa on vielä paljon. Työssä saavutettiin myös sille asetettu aikavoite.

Työkalusta saatiin tarpeeksi yksinkertainen, jolloin sen käyttöönotto on helpompaa. Työtä tehdessä ei noussut esiin kohtia, mitä olisi kannattanut tehdä toisin. Tarkennuksia tulee enemmän, kun ohjelmaa on käytetty ja saadaan palautetta.

Työssä käsitellään blk 2 suunnitteluohjeen mukaista siltaa, eli vinojalkaista laattakehäsiltaa, jossa siipimuurit ovat alittavan väylän suuntaiset. Työstä rajattiin pois raudoitusmallin teko ja piirustukset, jotta voitiin keskittyä pelkästään geometriamalliin ja visuaaliseen koodiin.

Jos insinööritoimistolla on resursseja, parametriseen mallinnukseen kannatta investoida. On huomattu tietomallien automatisoinnin parantavan laatua vähentämällä esimerkiksi huolimattomuusvihreitä ja nopeuttamalla mallinnusprosessia.

Työkalua tehdessä huomioitiin tarve muokata pohja jatkotoimenpiteille. Raudoitusmalli ja piirustuksien luonti oli alusta asti selkeitä jatkotutkimusaiheita. Kun ohjelmaa käytetään, kerätään sen käytettävyydestä ja toimivuudesta tietoa, jolloin voidaan räätälöidä ja muuttaa ohjelmapohjaa käyttäjäystävällisemmäksi. Jatkotoimenpiteitä voisi olla myös siipimuurien muokattavuus eri kulmiin, esimerkiksi 45 asteen kulmaan, jolloin näkyvyys on laajempi ja turvallisuustekijät paranevat.

## LÄHTEET

Autodesk Building Solutions. What is BIM (Building Information Modeling): Saatavissa: <https://www.youtube.com/watch?v=suNadRnHy-U> Viitattu: 7.11.2020

Issa R. ja McNeel R. (2020). Essential Algorithms and Data Structures First Edition. Viitattu: 15.10.2020

Lilja H., Tolla P., Lunabba T. ja Julku K. (2017). Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk II). Liikennevirasto. Saatavissa: [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2017-22\\_terasbetoninen\\_laattakehasilta\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-22_terasbetoninen_laattakehasilta_web.pdf) Viitattu: 1.10.2020

McNeel R. & Associates. (2020). Rhinoceros. What are NURBS? Saatavissa: <https://www.rhino3d.com/nurbs/> Viitattu: 9.11.2020

ModeLab. Education. Viitattu: 3.11.2020

Rutten D. About Grasshopper. Saatavissa: <https://www.grasshopper3d.com/> Viitattu: 8.11.2020

Tanska, T. ja Österlund, T. (2014). Algoritmit puurakenteissa. 1. painos. DigiWoodLab Oulun yliopisto, Arkkitehtuurin tiedekunta. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526204567.pdf> Viitattu: 2.11.2020

Tekla-Structures, Tuotteet. Saatavissa: <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures> Viitattu: 2.10.2016.

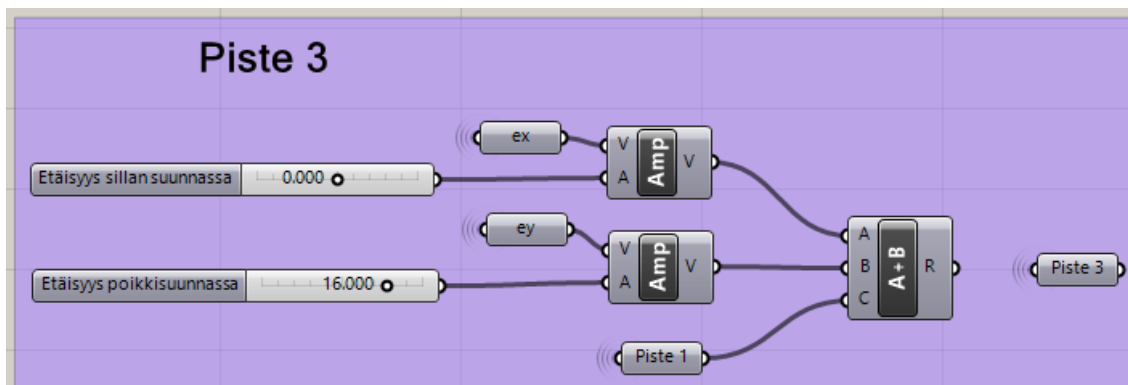
Tekla-Structures Support. What Is Tekla Model Sharing? (2019). Saatavissa: [https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/ms\\_what\\_is\\_model\\_sharing](https://teklastructures.support.tekla.com/2019/en/ms_what_is_model_sharing) Viitattu: 28.10.2020

Väylävirasto. Mikä on tietomalli. Saatavissa: <https://vayla.fi/palveluntuottajat/inf-ramallit/mika-on-tietomalli-> Viitattu: 2.10.2020

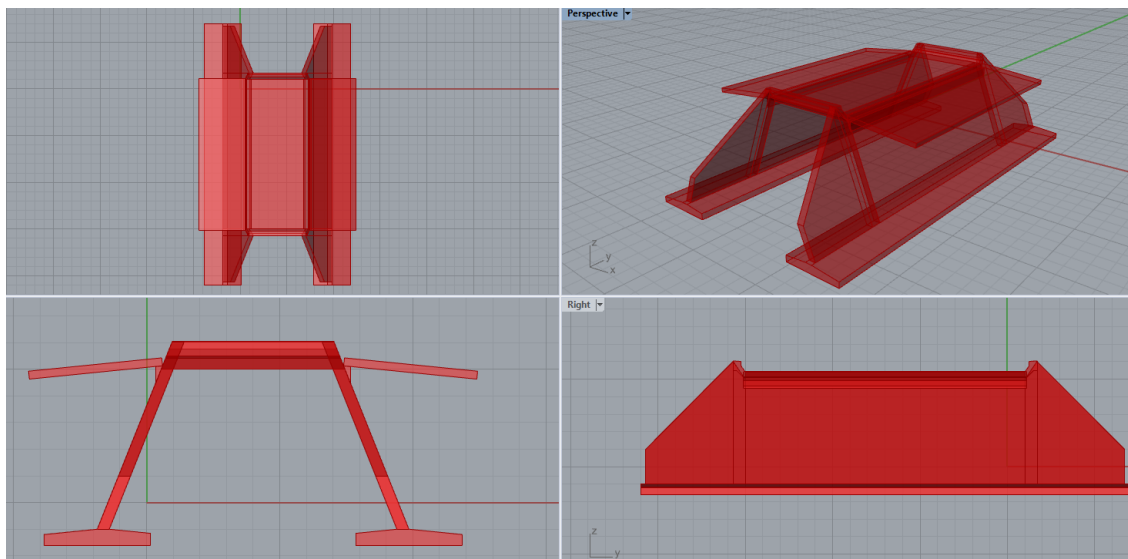
Väylävirasto. (2011) Teräsbetoninen laattakehäsilta (Blk 2). Piirrustukset. Saatavissa: <https://julkaisut.vayla.fi/sillat/tyyppiirustukset/blkii2011/blkii.htm> Viitattu 16.11.2020

## 6 LIITTEET

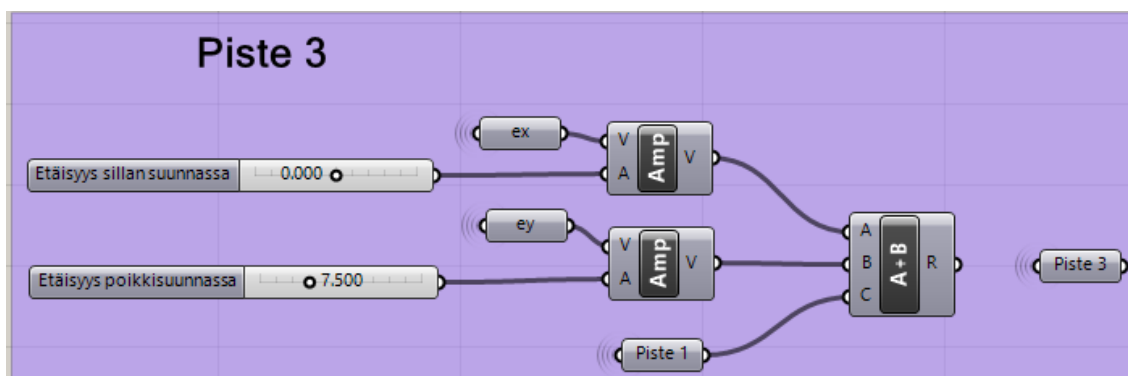
### 6.1 Liite 1. Kansilaatan pituuden leveyden säätökytkin. Leveys: 16m



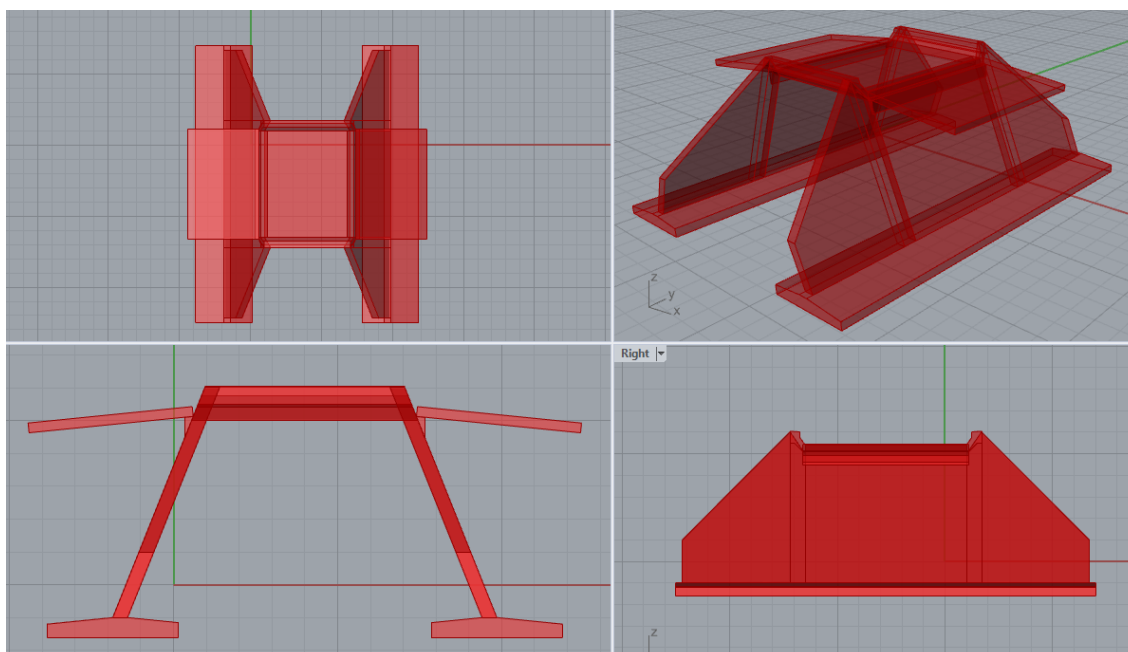
### 6.2 Liite 2. Geometriamalli eri näkökulmista. Leveys: 16 m



### 6.3 Liite 3. Kansilaatan pituuden leveyden säätökytkin. Leveys: 7,5m



### 6.4 Liite 4. Geometriamalli eri näkökulmista. Leveys: 7,5 m

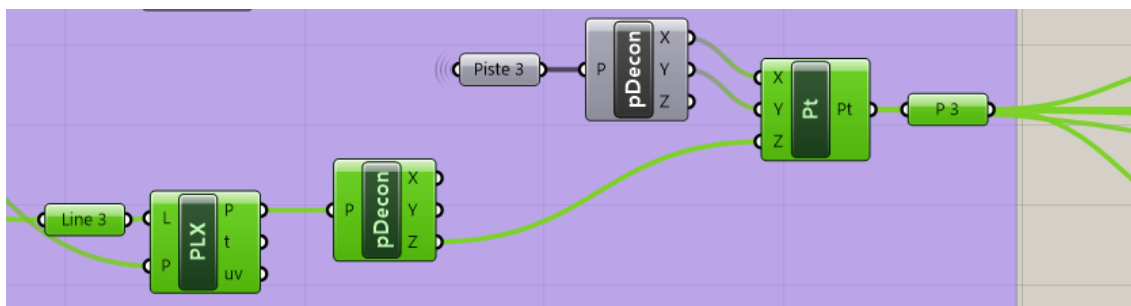




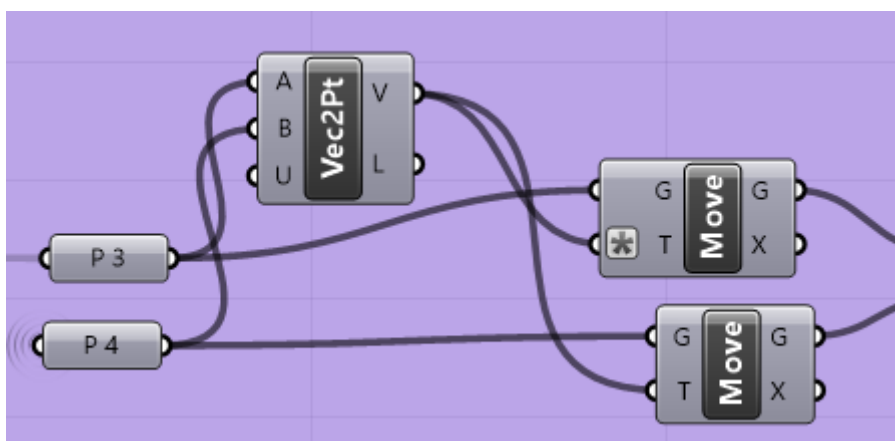
## 6.5 Liite 5. Tiedon kulku visuaalisessa koodissa



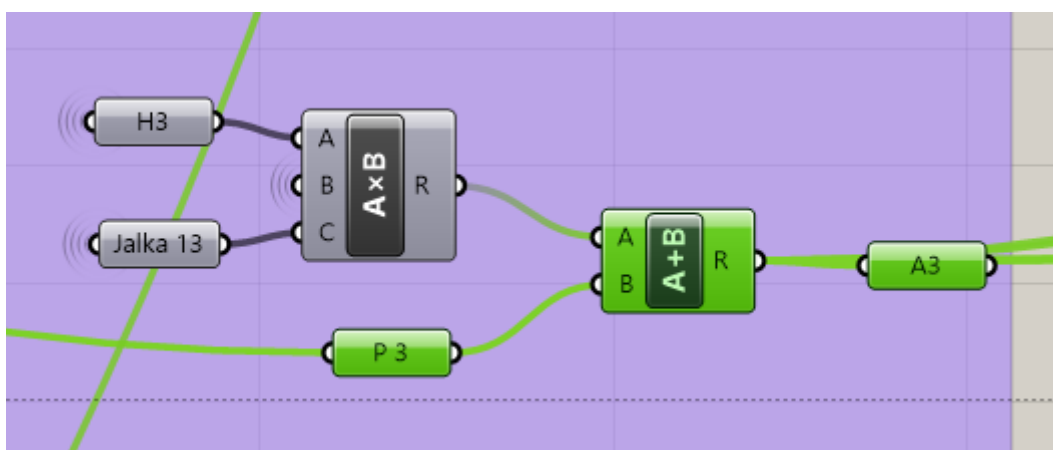
## 6.6 Liite 6. Kannen alapinnan taso



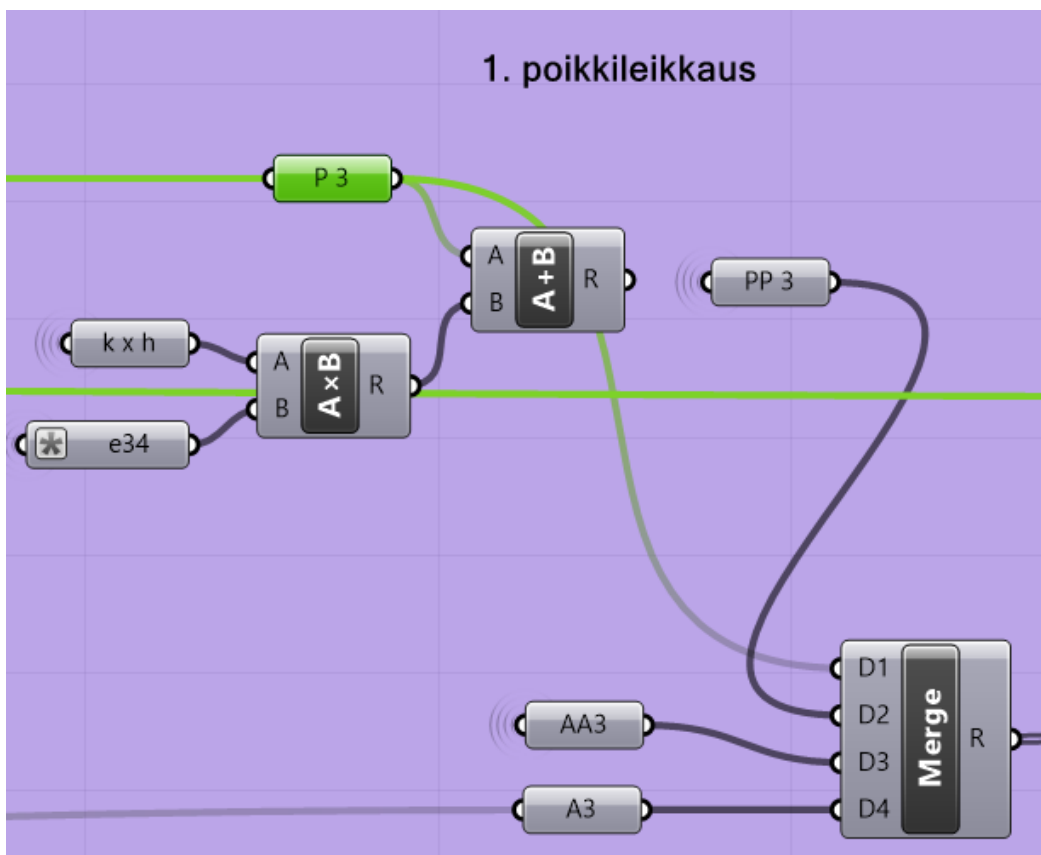
### 6.7 Liite 7. Reunapalkki päätytaso



### 6.8 Liite 8. Kehäjalka



## 6.9 Liite 9. Siipimuuri



## 6.10 Liite 10. Rakenneosien yhdistäminen

