

# Teräsbetonisen ulokelaattasillan kannen raudoituksen parametrisen mallintaminen

Elisa Lämsä

OPINNÄYTETYÖ

Joulukuu 2025

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Talorakennustekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma  
Talonrakennustekniikka

LÄMSÄ, ELISA:

Teräsbetonisen ulokelaattasillan kannen raudoituksen parametrinen mallintaminen

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 6 sivua  
Joulukuu 2025

---

Opinnäytetyön mallinnettiin parametrisesti teräsbetonisen ulokelaattasillan kansirakenteen raudoitus. Kannen raudoituksen parametrinen mallinnus tehtiin BUL-ohjeen eli Teräsbetonisen ulokelaattasillan suunnitteluohjeen mukaisesti. Raudoitus- ja geometriatieto ovat koottuna Excel-tiedostoon, jota hyödynnettiin osana Grasshopper-ohjelmiston tietokantaa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Ramboll Finland Oy. Opinnäytetyössä kehitettiin työkalua, jolla ulokelaattasillan kannen raudoitus voitaisiin mallintaa parametrisesti ohjeessa valmiiksi taulukoitujen lähtötietojen sekä suunnitteluohjeen perusteella. Parametrisen mallintamisen työkalu toteutettiin käyttämällä Tekla Structures -ohjelmistoa, johon luotiin tietomalli käyttämällä Rhinoceros 3D-pintamallinnusohjelman lisäosaa Grasshopperia. Opinnäytetyö sisältää luottamuksellista tietoa, joten parametrisen mallinnuksen rakenne on esitetty vain osin tässä työssä.

Työssä tarkastellaan mahdollisuuksia hyödyntää parametrista mallintamista raudoituksen luontiin ja kehittää työkalua raudoituksen parametrisointiin, jotta suunnittelijan manuaalinen raudoitustyö vähenisi mallinnusvaiheessa. Työn laajuuden vuoksi työkalu ei käsittele kaikkia BUL-ohjeen kansirakenteita, mutta opinnäytetyön tuloksena onnistuttiin luomaan pohjaa kansirakenteen parametrille raudoitukselle. Jatkokehityksenä opinnäytetyötä voisi laajentaa käsittelemään kaikkia BUL-ohjeen kansirakenteita. Lisäksi työkaluun voisi sisällyttää alusrakenteista myös reunapalkit, siipimuurit sekä päätypalkit.

---

Asiasanat: parametrinen raudoitusten mallinnus, grasshopper, teräsbetoninen ulokelaattasilta

## ABSTRACT

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

LÄMSÄ, ELISA:

Parametric Modelling of the Reinforcement of a Concrete Cantilever slab Bridge deck

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 6 pages  
December 2025

---

The purpose of this thesis was to model the reinforcement of a reinforced concrete cantilever slab bridge deck structure using parametric modelling. The aim was to develop a tool for parametric modelling of the reinforcement of a cantilever bridge deck and to reduce the designer's manual reinforcement work during the modelling phase. The thesis contains confidential information. Therefore, more detailed information about the parametric modelling structure has been omitted from this work.

The thesis was commissioned by Ramboll Finland Oy. The modelling was based on the initial data of the BUL-guideline tables. The parametric modelling of the deck reinforcement was completed in accordance with the *Reinforced concrete cantilever slab bridges* (BUL) design guideline. The reinforcement data and geometry data were compiled in an Excel file, which was used as part of the Grasshopper software database. The parametric modelling tool was implemented using Grasshoppers software, an add-on off Rhino program. The reinforcement was modelled using Tekla Live Link integration from Grasshopper software to Tekla Structures software.

As a result of the thesis, the workable initial version was successfully created for the parametric reinforcement of deck structures. Due to the extensive nature of the work, the tool does not cover all deck structures of the BUL-guideline. As further development, the thesis could be expanded to cover all deck structures of the BUL-guideline. In addition, the tool could also include edge beams, wing walls and end beams from the substructures.

---

Key words: parametric reinforcement modelling, grasshopper, reinforced concrete cantilever slab bridge

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TERÄSBETONINEN ULOKELAATTASILTA (BUL) .....	7
	2.1 Teräsbetonisen ulokelaattasilan kansirakenne .....	8
	2.2 Teräsbetonin rakenteellinen toiminta .....	9
	2.3 Terästen ankkurointi ja limijatkokset .....	11
3	PARAMETRINEN MALLINNUS .....	15
	3.1 Parametrisessa mallinnuksessa käytetyt ohjelmat .....	15
	3.1.1 Rhinoceros 3D .....	15
	3.1.2 Grasshopper .....	16
	3.1.3 Tekla Structures ja Tekla Live Link .....	21
	3.2 Parametrisen mallintamisen lähtökohdat .....	22
	3.3 Parametrisen mallintamisen rakenne .....	23
	3.4 Raudoituksen parametrisointi .....	24
	3.4.1 Hakojen parametrisointi .....	27
4	TULOKSET .....	30
	4.1 Työn rajaaminen .....	30
	4.2 Parametrisen pohjan toimivuus .....	30
	4.3 Haasteet .....	31
5	POHDINTA .....	32
	LÄHTEET .....	34
	LIITTEET .....	36
	Liite 1. Kannen raudoitustaulukot, vinous 0 gon .....	36
	Liite 2. Kannen raudoitustaulukot Excel-taulukossa .....	41

**ERITYISSANASTO**

Rhino	Rhinoceros 3D -mallinnusohjelmisto
Grasshopper	Rhinoceros 3D -ohjelmiston lisäosa
Tekla Structures	Rakennusalan 3D-tietomallinnusohjelmisto
Tekla Live Link	Lisäosa, joka yhdistää Grasshopper ja Tekla Structures- ohjelmistot
Parametri	Suunnittelun lähtöarvo tai muuttuja
Parametrinen malli	Malli, jonka muoto tai rakenne määräytyy säädettävien parametrien mukaan
TSV	Tien tasausviiva, jonka tiedot tulevat Väylältä
BIM	"Building Information Modeling" eli rakennuksen tietomalli
Algoritmi	Yksityiskohtainen kuvaus siitä, miten prosessi suoritetaan
Komponentti	Yksittäinen osa, joka toteuttaa yhden selkeän toiminnon
Kangas	Grasshopperin työympäristö, jossa rakennetaan määrittely ja algoritmit

## 1 JOHDANTO

Infrastruktuurin kunnossapidon ja kehittämisen kannalta sillat ovat keskeinen osa liikenneverkostoa. Siltarakenteiden suunnittelu ja toteutus edellyttävät luotettavaa rakenteellista mallinnusta sekä tarkkaa mitoitusta turvallisen ja taloudellisen lopputuloksen kannalta. Teräsbetoniset ulokelaattasillat ovat yleisesti käytetty siltatyyppi, jossa merkittäviä etuja ovat rakenteen yksinkertaisuus, helppo toteutettavuus ja kustannustehokkuus. Kannen raudoituksen suunnittelu on siltarakenteen toimivuuden kannalta kriittinen osa, sillä se vaikuttaa suoraan rakenteen kestävyteen, halkeilukäyttäytymiseen sekä pitkäaikaisiin käyttöominaisuuksiin.

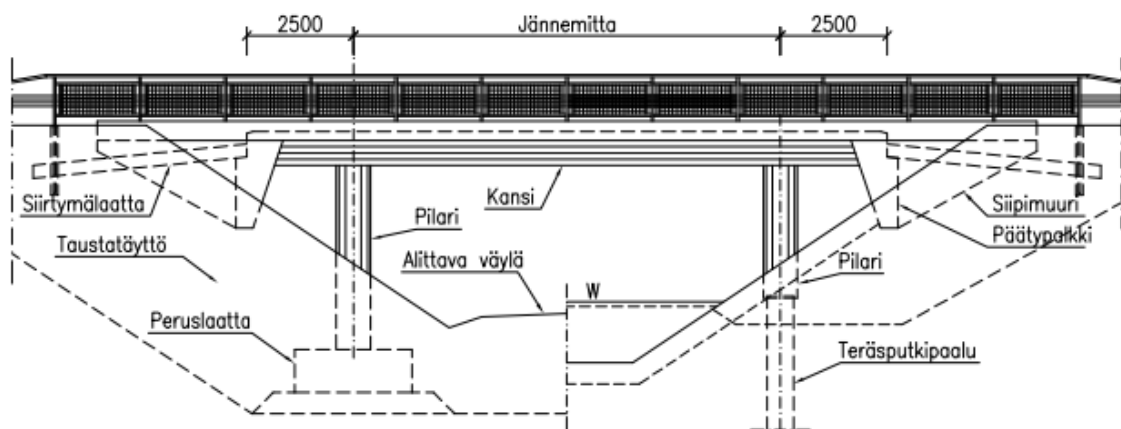
Perinteisesti siltarakenteiden raudoitussuunnittelu tehdään Teklassa raudoitusryhmä kerrallaan mallintamalla ja manuaalisesti laskemalla, mikä tekee suunnitteluprosessista työläään ja virheherkän. Suunnittelualalla on kuitenkin digitalisaation ja tietomallintamisen (BIM, "Building Information Modeling") kehityksen myötä siirrytty yhä enemmän kohti automatisoituja ja parametrisia mallinnusmenetelmiä. Parametrisen mallintamisen käyttö suunnittelussa mahdollistaa rakenteiden joustavan muokkaamisen sekä tehokkaamman suunnittelun hallinnan erityisesti monimutkaisissa geometrioissa ja toistuvissa rakenteissa, kuten silloissa.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää pohjaa työkalulle, jolla teräsbetonisen ulokelaattasillan kannen raudoitus saataisiin parametrisesti mallinnettua. Työkalulla voitaisiin tehostaa suunnitteluprosessia, sekä vähentää virheiden mahdollisuutta verrattuna perinteisiin menetelmiin.

Raudoituksen parametrisoinnin työkalun kehittämisessä on otettava huomioon se, että suunnittelijan ei itse tarvitsisi ymmärtää parametrisen mallin rakennetta, vaan riittää, että suunnittelija valitsee muuttuvat arvot valikosta, jolloin pohja luo raudoituksen annettujen arvojen mukaisesti. Käyttäjystävällisyyden kannalta työkalun tulee olla helppokäyttöinen ja selkeä.

## 2 TERÄSBETONINEN ULOKELAATTASILTA (BUL)

Teräsbetoninen ulokelaattasilta on tyypillisin laattasilloista. Yleisesti ottaen teräsbetoninen laattasilta on tasomainen ja suhteellisen hoikka rakenne. (Pulkkinen (toim.) 2018, 199.) Sillan rakennetta havainnollistaa kuva 1. Rakenteen hoikkuedesta ja selkeästä rakentamistavasta johtuen laattasilta on edullista rakentaa (Pulkkinen (toim.) 2018, 199). Teräsbetonisen ulokelaattasilan yleisin käyttötarkoitus on risteyssiltana, alikulkukäytävänä tai risteyssiltana (Liikennevirasto 2017, 7).



KUVA 1. Teräsbetoninen ulokelaattasilta. (Liikennevirasto 2017, 7)

Teräsbetonisesta ulokelaattasilasta on laadittu suunnitteluohje, jonka mukaan rakennussuunnitelma on kansirakenteen osilta laadittavissa ilman lujuuslaskentaa. Tällöin tulee kuitenkin käyttää ohjeessa esitettyjä sillan päämittoja ja rakenneratkaisuja, sekä taulukoituja kannen materiaali-, mitta- ja raudoitustietoja. Lisäksi siltapaikalle on tehtävä Liikenneviraston ohjeiden mukaiset pohjatutkimukset, joiden pohjalta laaditaan sillan geotekninen suunnitelma. Laakeroidun ulokelaattasilan suunnitteluun ohje ei sovellu. (Liikennevirasto 2017, 8.)

Teräsbetonisen ulokelaattasilan suunnittelussa on käytetty Liikenneviraston ohjeen *Betonirakenteiden suunnittelu – NCCI 2/2* mukaisia rasitusluokkaryhmiä R1-R4. Rakennetta suunniteltaessa tulee rasitusluokat, betonin lujuusluokka, betonipeitteen nimellisarvo, rakenteen toteutusluokka, suunnittelukäyttöikä, P-lukuvaatimukset sekä betonipintojen suojaus valita em. soveltamisohjeen kappaleen 4 mukaisesti. Taulukossa 1 on esitetty mm. betonin lujuusluokan ja rakenteen

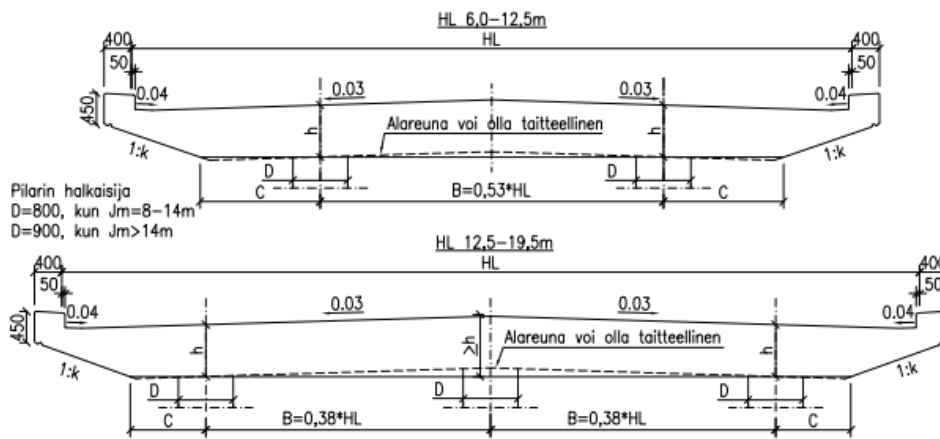
toteutusluokan arvoja, joita ei saa alittaa. Taulukossa 1 esitetty betonipeitteen arvo taas on suurin sallittu arvo. Kansilaatan mitoituksessa on käytetty suolasumurasitetun pinnan betonipeitettä 45 mm. (Liikennevirasto 2017, 10.)

TAULUKKO 1. Betonin lujuusluokan ja rakenteen toteutusluokan minimivaatimukset ja betonipeitteen nimellisarvon maksimi-arvo. (Liikennevirasto, 2017. Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul), 10)

Rakenneosa	Betonin lujuusluokka	Toteutusluokka	Betonipeitteen nimellisarvo, c [mm]
Paalujen betoni	C25/30	3	40
Peruslaatat	C25/30	2	50/100 1)
Pilarit	C30/37	3	45
Siipimuurit	C35/45	3	45
Kansilaatta	C35/45	3	45
Reunapalkki	C35/45	3	45
Siirtymälaatat	C30/37	2	40/50 2)
1) Maata/kalliota vasten 100 mm			
2) Alapinnassa 50 mm			

## 2.1 Teräsbetonisen ulokelaattasilan kansirakenne

Tyypisillan mitta-alue on 6,0–19,5 metriä, jonka sisälle hyötyleveydet sijoittuvat. Mitta-alue jaetaan kahteen osa-alueeseen, jossa hyötyleveysvälillä 6,0–12,5 m sillan tukilinjalla käytetään kahta pilaria. Kun hyötyleveys on 12,5–19,5 metrin välillä, käytetään sillan tukilinjalla kolmea tukipilaria. Hyötyleveyden ollessa 12,5 metriä, voidaan käyttää joko kolmea tai kahta tukipilaria. Kolmea tukipilaria käytettäessä kannen rakennekorkeus on pienempi. Pilarit sijaitsevat sillan keskiakselin suhteen symmetrisesti. Kuvassa 2 esitetään sillan poikkileikkaukset ja pilareiden väliset etäisyydet eri hyötyleveysalueilla. (Liikennevirasto 2017, 20.)



KUVA 2. Kannen poikkileikkaukset. (Liikennevirasto 2017, 20)

Sillassa reunapalkki voi olla korkea tai matala ja reunapalkin muotoilussa noudatetaan NCCI 2 liitteen 4 ohjeita. Normaali kaltevuus sillan reunaviisteessä on 1:3. Mikäli pilarin keskikohdan ja reunaviisteen nurkan välinen etäisyys  $C$  on pienempi kuin  $400\text{ mm}+0,75*h$ , missä  $h$  on kannen rakennekorkeus reunapilarin kohdalla, reunaviisteen kaltevuutta tulee jyrkentää. Kaltevuuskulmavaihtoehdot reunaviisteelle ovat 1:3, 1:2,5, 1:2, 1:1,5 ja 1:1. (Liikennevirasto 2017, 20.)

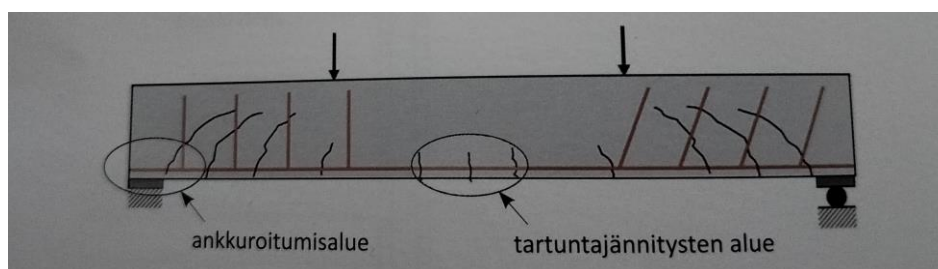
Kuvassa 2 kannen poikkileikkauksen sivukallistus on 0,03. Tämä on sivukallistuksen oletusarvo, mutta myös muita arvoja sivukallistukselle voidaan käyttää, kun varmistetaan, ettei kannen keskikohdan rakennekorkeus kasva suuremmaksi kuin oletusarvolla 0,03 olevalla poikkileikkauksella. Reunapilarin kohdalla olevan rakennekorkeusmitan perusteella määräytyy kansilaatan rakennekorkeus. (Liikennevirasto 2017, 20.)

## 2.2 Teräsbetonin rakenteellinen toiminta

Teräsbetonirakenteessa betoni ja rauditus toimivat yhdessä rakenteena. Betoni antaa rakenteelle hyvän puristuskestävyyden, sekä suojaa rauditusta korroosiolta ja tulipalotilanteessa hidastaa raudituksen lämpenemistä ja pehmenemistä. Rauditus hoitaa teräsbetonirakenteen veto- ja taivutuskestävyyden. Jotta yhteistoiminta onnistuu, vaatii raudituksen ja betonin välinen tartunta eli kontakti muodonmuutosten ja jännitysten siirtymisen vastavuoroisesti. Betonin ja teräksen lämpötilakertoimet ovat lähes samansuuruiset, jolloin materiaalien välille ei

aiheudu muodonmuutoseroja tai ylimääräisiä rasituksia suurillakaan lämpötilamuutoksilla. Betonissa rauditus asetetaan alueille, joihin odotetaan syntyvän vetorasituksia. (By 201 2018, 263.)

Betonin vetolujuuden ylittyessä rakenne halkeaa, jolloin rauditus siirtää voimat halkeaman yli. Tämä onnistuu, mikäli raudituksen ankkuroituminen on kunnossa eli rauditus pystyy ankkuroitumaan halkeaman molemmin puolin. Tavanomaisin ankkurointi tapahtuu terästangon ja betonin välisen tartunnan välityksellä. Ankkurointi- ja tartuntatilanteita on periaatteeltaan kahdenlaisia, tapauksia on havainnollistettu kuvassa 3. Ensimmäisessä rakenteen keskialueella rauditus jatkuu usean halkeaman yli, jolloin raudituksen voima vierekkäisissä halkeamissa on lähes yhtä suuri. Tämän mahdollistaa rauditusmäärän pysyminen vakiona sekä taivutusmomentin hyvin vähäinen muuttuminen. Toisessa tapauksessa rauditukset päättyvät rakenteiden tukialueella halkeamattomaan betoniin. Tällöin raudituksen, joka päättyy tukialueelle, pitää pystyä ankkuroimaan täysin viimeisen halkeaman kohdalla rauditukseen vaikuttava voima. Ankkuroituminen voi tapahtua joko tankoon taivutetun koukun avulla, suoran tangon tartunnalla tai jonkin muun ankkurointielimen avulla. Rakenteen kuormankantokyvyn kannalta ankkuroituminen on todella tärkeää. (By 201 2018, 266.)



KUVA 3. Tartunta ja ankkuroituminen palkkirakenteessa. (By 201, 2018. Betonitekniikan oppikirja, 266)

Betonin ja raudituksen välisen tartunnan muodostumiseen vaikuttaa rauditustangon pinnan muoto, jonka harjat estävät tai rajoittavat vaarnamaisella muodollaan tangon ja betonin välistä liukumista. Samalla tanko siirtää voimia betonille. Vaarnavaikutus aiheuttaa sekä tangon suuntaisia, että tankoa kohtisuoraan vaikuttavia voimia, jolloin tankoa suojaava betonipeite voi lohjeta. Riittävän paksu betonipeite raudituksen päällä estää betonipeitteen halkeamisen sekä varmistaa betonin ja raudituksen välisen yhteistoiminnan. Raudoitustangoilla pitää

myös rakenteen sisällä olla riittävät välit, jotta betonin tiivistyminen ja halkaisuvoimien rajoittaminen varmistuu. (By 201 2018, 266.)

Tartuntaan ja tartuntajännityksiin raudoituksen suunnittelussa ja asentamisessa vaikuttavat määräävästi ankkurointi, jatkokset ja tankoväli. Jotta jännitykset pääsevät siirtymään betonille vahinkoa aiheuttamatta, on tanko ankkuroitava riittävän pitkälle ohi sen pisteen, jossa se käy tarpeettomaksi. Mikäli tanko ei ole riittävän pitkä ja sitä on jatkettava toisella tangolla, betonin halkeilun estämiseksi jatkoksissa tangot on vietävä riittävän paljon limittäin, jolloin jännitykset ehtivät siirtyä tangosta betonille ja betonilta toiseen tankoon. Betonoidessa tankoväleihin vaikuttaa tartunnan lisäksi valutyö, miten se suoritetaan. Betonin tulee ympäröidä tangot joka puolelta tiiviisti. Tiheästi raudoitetussa rakenteessa tankoja niputtamalla rakenteeseen saadaan betonia varten aukkoja. Tartuntavaatimuksen mukaan betonipeitteen vähimmäisarvo on: erillisillä tangoilla, tangon halkaisija  $\varnothing = c_{\min,b}$  (mm) ja tankonipuilla, tangon ekvivalenttihalkaisija  $\varnothing_n = c_{\min,b}$  (mm). (By 201 2018, 267.)

Jos kiviaineksen maksimirakoko on suurempi kuin 32 mm, tankopaksuuden mukaan määrättyyn betonipeitepaksuuteen lisätään 5 mm. Tankonipussa raudoitustankoja voi olla enintään kolme. Betonipeitteen, tankovälien ja ankkuroinnin mitoituksessa tankonippua käsitellään kuten poikkileikkausaltaan samansuuruista yksittäistä tankoa. Tankonipun ekvivalenttihalkaisija saa enintään olla 55 mm. (By 201 2018, 267.)

Rakennetta raudoitettaessa tulee samansuuntaisten tankojen vapaan välin kaikkialla, myös jatkosten kohdalla, oltava vähintään suurin seuraavista kolmesta arvoista: kiviaineksen suurin rakoko +3 mm, betoniterästangon tai -tankonipun ekvivalenttihalkaisija tai 25 mm. Limijatkosten ollessa vierekkäin, jatkoksiin kuuluvien tankojen välinen vapaa tila tulee olla vähintään  $2\varnothing$ . (Liikennevirasto 2017, 73.)

### 2.3 Terästen ankkurointi ja limijatkokset

Pääraudoituksessa harjatankojen ankkurointipituuden mitoitusarvo  $l_{bd}$  on

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

missä

$$l_{b,min} = \left(\frac{\phi_n}{4}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{sd}}{\eta_1 \eta_2 2,25 f_{ctd}}\right) \quad (2.1)$$

$\sigma_{sd}$  on tangon mitoitusjännitys

$\eta_1$  1,0; hyvät tartuntaolosuhteet

0,7 muissa tapauksissa

$f_{ctd}$  on betonin vetolujuus, jonka laskennassa käytetään korkeintaan lujuusluokkaa C50/60

$$\eta_2 = \frac{132 - \phi_n}{100} \leq 1$$

(Väylävirasto 2022, 72.)

Ankkurointipituuden vähimmäisarvo  $l_{b,min}$ :

vedolle:

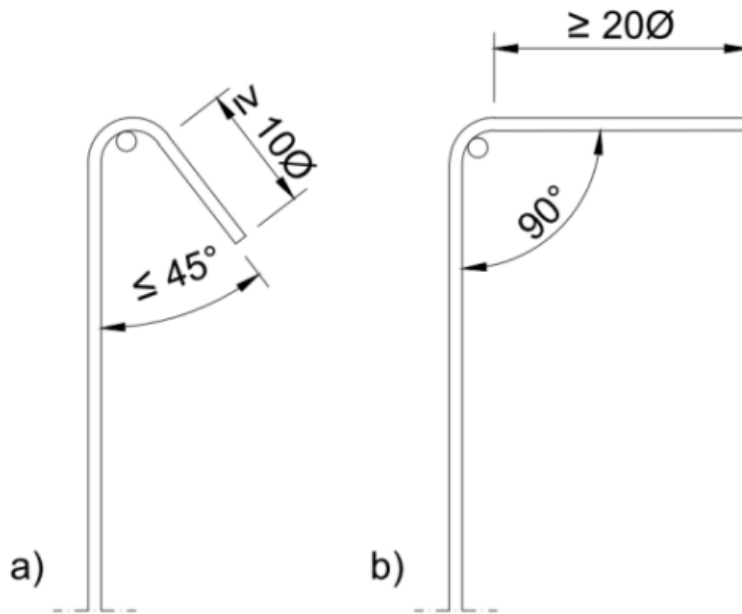
$$l_{b,min} = \max\{0,3l_{b,rqd}; 10\phi_n; 100mm\} \quad (2.2)$$

puristukselle:

$$l_{b,min} = \max\{0,6l_{b,rqd}; 10\phi_n; 100mm\} \quad (2.3)$$

Raudoitustangon keskiviivaa pitkin mitataan ankkurointipituus. Ankkurointipituuden matkalla voidaan ankkurointikestävyyden otaksua kehittyvän lineaarisesti. Koukun tai taivutuksen osuutta ei saa hyödyntää ankkuroinnissa, mikäli taivutuksen jälkeisen suoran osuuden pituus on alle  $5\phi_n$ , sillä taivutukset ja koukut eivät paranna puristusvoiman ankkurointia. Leikkeissä vaikuttavien voimien yhteismäärästä otaksutaan 25 % lenkin aiheuttamaksi halkaisuvoimaksi. (Väylävirasto 2022, 73.)

Kun leikkausraudoituksen ankkurointiin käytetään alla olevan kuvan 4 mukaisia B500B raudoitetangosta tehtyjä koukkuja, voidaan ankkuroinnin otaksua olevan riittävä. Poikittaistangon, jonka on oltava jokaisen koukun sisäreunassa, halkaisijan on oltava vähintään yhtä tankokokoa suurempi kuin ankkuroitava haka. Leikkaushaka pyritään aina tekemään jatkamatta. Mikäli hakaraudoitusta on jatkettava, limijatkettavat raudoitetangot sidotaan toisiinsa sidelangalla jatkoksen päissä. (Väylävirasto 2022, 73.)



KUVA 4. Hakarautoituksen ankkurointi (Väylävirasto 2022, 73).

Limijatkosten sijoittamista on vältettävä kohtiin, joissa rautoituksen jännitystila on korkea. Vedetyistä tangoista korkeintaan 50 % voidaan jatkaa samassa poikkileikkauksessa. Puristus- ja jakorautoituksen kohdalla rautoitusta voidaan jatkaa limijatkoksien, mikäli vapaiden välien vaatimukset jatkosten kohdalla täyttyvät. Jatkospituuden mitoitusarvo  $l_0$  on

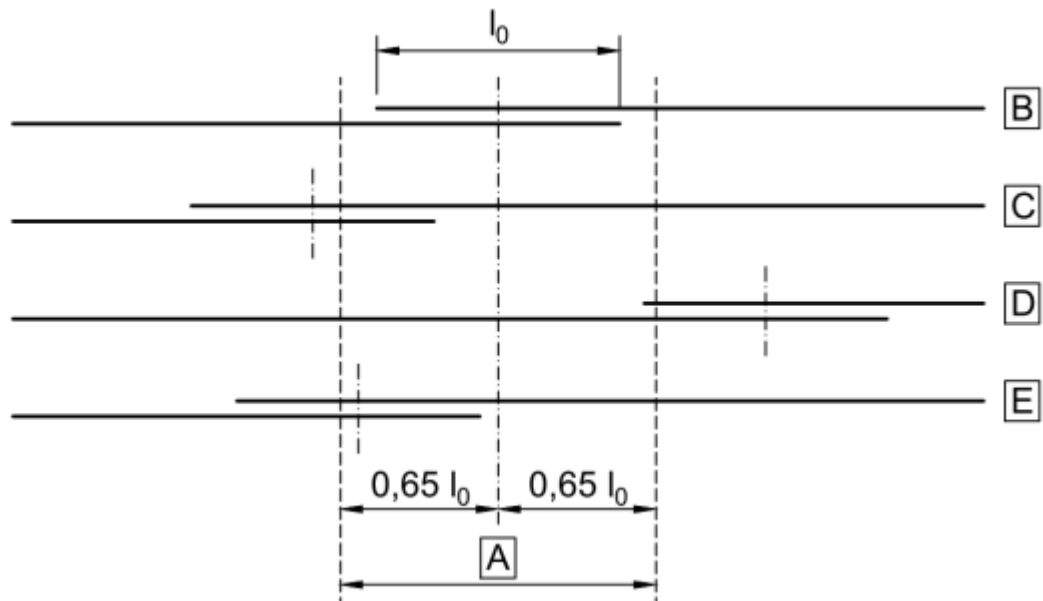
$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,rqd} \geq l_{0,min} \quad (2.4)$$

missä

$$\alpha_6 = \sqrt{\frac{\rho_1}{25}} \geq 1$$

$$l_{0,min} = \max\{0,3\alpha_6 l_{0,min} l_{b,rqd}; 15\phi_n; 200\text{mm}\}$$

$\rho_1$  on jatkettun rautoituksen prosenttiosuus samassa leikkauksessa. Kuvassa 4 esitettynä periaate prosenttiosuuden laskemiselle. (Väylävirasto 2022, 74.)



KUVA 5. Raudoitetankojen jatkokset (Väylävirasto 2022, 75).

Kuvan 5 esimerkissä katsotaan raudoitetankojen B ja E olevan samassa poikkileikkauksessa A, jolloin prosenttiosuus on 50 % ja  $\alpha_6 \approx 1,41$  (Väylävirasto 2022, 75).

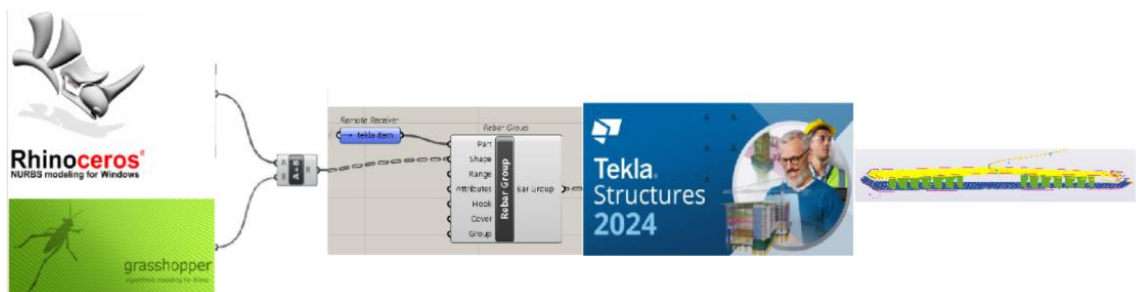
Kun määritetään samassa poikkileikkauksessa jatkettavien raudoitetankojen osuutta, voidaan jatkospituutta  $l_0$  käyttää arvona ilman termiä  $\alpha_6$ . Limijatsettavien tankojen, joiden välissä on vapaata tilaa, tartuntapituutta  $l_0$  pitää kasvattaa 1,5 kertaa vapaan välin verran. (Väylävirasto 2022, 75.)

### 3 PARAMETRINEN MALLINNUS

Parametrisella mallinnuksella luodaan kolmiulotteisia pintamalleja käyttämällä parametrejä, suhteita ja rajoitteita. Parametrilla kuvataan kulmia, ulottuvuuksia ja muita suunnitteluominaisuuksia. Parametreja ovat esimerkiksi objektin pituus, leveys, korkeus ja erilaiset kulmat. Näiden välille voidaan määrittää keskinäisiä suhteita tai erikseen määrittää kullekin parametrille arvoja ja kaavoja. (Adobe 2025.)

Mallin osien liittymistä toisiinsa määritetään rajoitteilla, jotka ovat sääntöjä tai suhteita, kuten geometria, kokoonpanorajoitteet sekä ulottuvuudet. Rajoitteiden avulla malli säilyttää muotonsa ja suhteensa muuttuvista osatekijöistä huolimatta. Esimerkiksi parametrisen mallin leveyttä muutettaessa myös korkeus muuttuu automaattisesti sille asetetussa suhteessa. (Adobe 2025.)

Kuvassa 6 on havainnollistettu polkua, miten parametrisessa mallintamisessa käytetyt ohjelmat linkittyvät toisiinsa ja muodostavat lopulta Teklaan raudoitettun sillan kansirakenteen.



KUVA 6. Ohjelmat parametrisessa mallintamisessa.

#### 3.1 Parametrisessa mallinnuksessa käytetyt ohjelmat

##### 3.1.1 Rhinoceros 3D

Rhinoceros, käytetään nimeä Rhino, on 3D NURBS- pintamallinnusohjelma (Nordic BIM Group n.d). NURBS tulee sanoista ”Non-Uniform Rational B-Splines” ja tarkoittaa matemaattista mallia, jota käytetään monimutkaisten kaarien ja pintojen mallintamiseen (Autodesk 2016). Rhinocerosista eli Rhinoa käytetään tarkkaan

kolmiulotteiseen mallintamiseen, mallin fyysisellä koolla tai monimutkaisuudella ei ole merkitystä (Nordic BIM Group n.d).

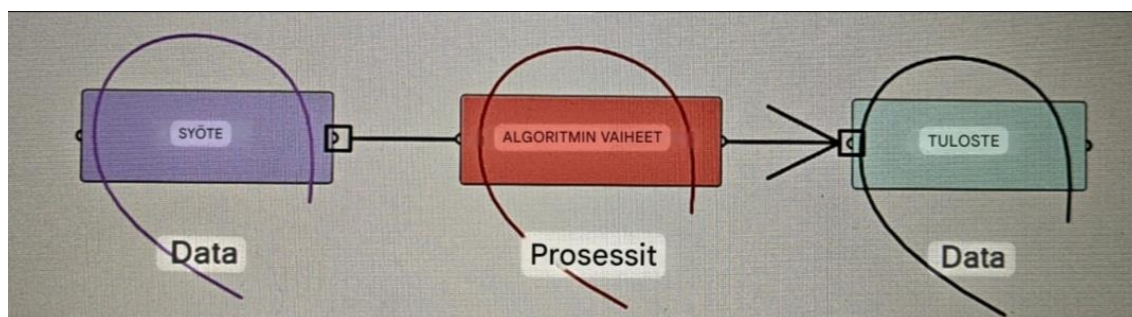
Rhino ohjelmistona tukee laajasti eri tiedostomuotoja yhteensopivuuslaajennusten kautta ja ohjelmistoa voidaan käyttää muiden BIM-, CAD-, CAM- ja visualisointiohjelmien kanssa. Ohjelmiston monipuolisuus ja tarkkuus mahdollistaa suunnittelun, mallintamisen, analysoinnin sekä valmistuksen. (Rhinceros n.d)

Rhinoa käyttävät 3D-mallinnukseen mm. arkkitehdit ja insinöörit, merisuunnittelijat, korusuunnittelijat, maisemasuunnittelijat sekä opettajat (Who uses Rhino? n.d).

### **3.1.2 Grasshopper**

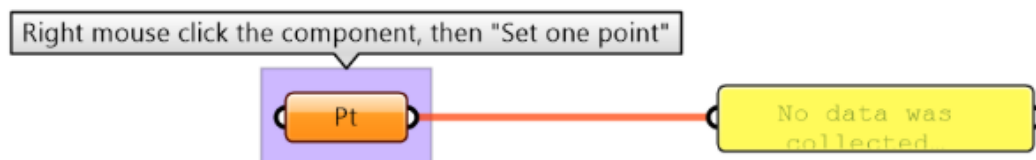
Grasshopper toimii osana Rhino-ohjelmistoa ja on graafinen algoritmieditori (Davidson n.d.). Grasshopperin käyttö ei vaadi ohjelmointitaitoja, koska ohjelmointikieli luodaan lisäämällä komponentteja kankaalle ja yhdistelemällä komponentteja algoritmeiksi. Grasshopperilla suunnittelijat voivat rakentaa generatiivisia muotoja yksinkertaisista vaikuttaviin muotoihin. Ohjelma sisältää laajan lisäosakirjaston. (Who uses Rhino? n.d.)

Algoritmisen suunnittelun voi määritellä suunnittelumenetelmäksi, jossa tulos saavutetaan hyvin määritelyjen vaiheiden kautta. Algoritmi muodostuu aina kolmesta vaiheesta: syöte, avainprosessi ja tuloste. Yksinkertaistettuna algoritmi on sarja eri toimintoja, jotka yhdessä luovat algoritmin. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 7. Ohjelmistossa algoritmi etenee vasemmalta oikealle. Vasemmalta aloitettaessa ensin ovat lähtötiedot, syötteet ja parametrit, oikealle rakentuu tulos. Välivaiheessa tapahtuu yksi tai useampi keskeinen prosessi, joskus myös välituloksia. Algoritmia rakennettaessa on erityisen tärkeää nimetä ja järjestää selkeästi jokainen vaihe niin, että muodostuva työkalu on ymmärrettävä ja helposti muidenkin käytettävissä. (Issa, R. 2024.)



KUVA 7. Algoritmisen ratkaisun tekijät (Who uses Rhino? n.d).

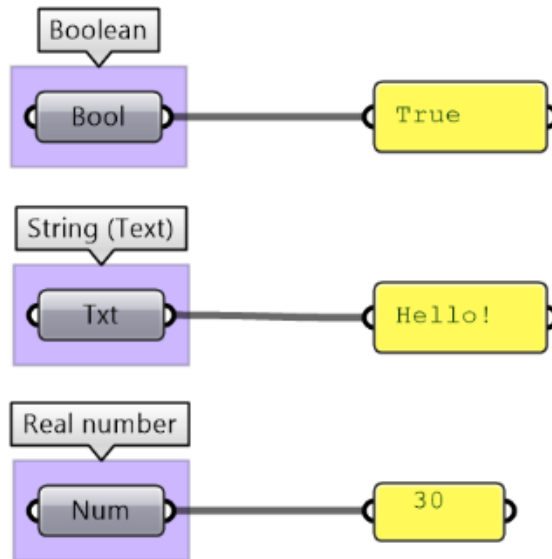
Grasshopperissa on kolme päätapaa välittää dataa komponenteille: sisäinen, referoitu ja ulkoinen. Sisäisesti asetettu data voidaan lisätä komponentin sisälle, jolloin se pysyy vakiona, ellei sitä muuteta manuaalisesti tai korvata ulkoisella syötteellä. Referoidussa datassa tieto tuodaan ulkoisesti. (Issa, R. 2024.) Esimerkiksi Rhinossa oleva piste tuodaan *Pt*-komponentin avulla Grasshopperiin. Kun Rhinossa olevaa pistettä siirretään, päivittyy Grasshopperissa olevan komponentin tieto. Jotta tieto säilyy, on pistetiedot sisältävä Rhino-tiedosto tallennettava ja toimitettava muun tiedon mukana. Kuvassa 8 on havainnollistettu, miten tieto sisällytetään komponenttiin.



KUVA 8. Referoidun datan lisääminen Grasshopper-komponenttiin. (Issa, R. 2024.)

Kolmannessa eli ulkoisesti syötetyssä datassa tiedot voidaan syöttää aiemmista prosesseista. Tämä menetelmä sopii parhaiten dynaamiselle datalle eli parametrisesti ohjatulle datalle. (Issa, R. 2024.) Opinnäytetyössä on käytetty pääasiassa ulkoisesti syötettyä dataa, mutta joissakin tapauksissa myös sisäisesti syötettyä dataa. Ulkoisesti syötetty data luo selkeän ja helposti luettavan rakenteen.

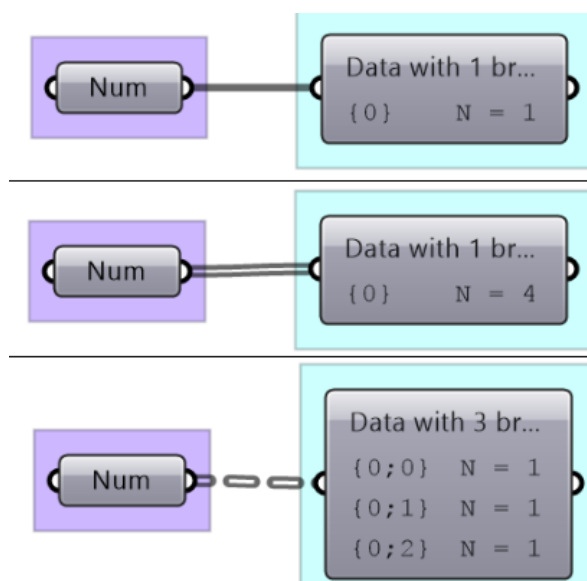
Datan tyyppi muodostuu sen perusteella, millaisia arvoja datalle voidaan antaa sekä mihin operaatioihin ja prosesseihin se voi osallistua. Yleisiä datatyyppejä ovat kokonaisluku, numero, teksti ja totuusarvo. (Issa, R. 2024.) Kuvassa 9 on esimerkkinä totuusarvo, teksti ja numero.



KUVA 9. Esimerkki eri datatyypeistä. (Issa, R. 2024.)

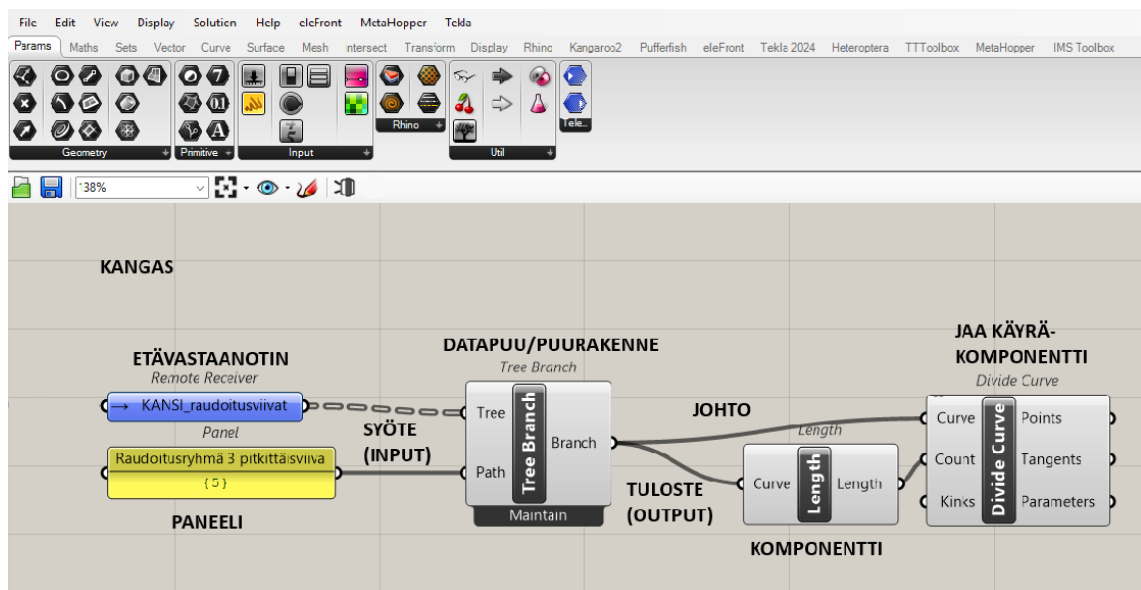
Grasshopper tukee geometriatyyppejä, jotka ovat hyödyllisiä 3D-mallinnuksen yhteydessä. Näitä ovat esimerkiksi pisteet, jotka sijoittuvat x,y,z-koordinaatistoon, sekä viiva, joka rakentuu kahden pisteen välille. (Issa, R. 2024.)

Johdot välittävät tietoa komponenttien välillä. Johdon rakenteesta näkee, millaista tietoa komponenttien välillä on ja nopeuttaa datan rakenteen tunnistamista. Yksittäisen kohteen johto on yksinkertainen viiva ja luetteloa välittävä johto piiryy kaksoisviivana. Kolmas johtotyyppi on katkoviiva, joka lähtee yleensä puurakenteesta. (Issa, R. 2024.) Kuvassa 10 on havainnollistettu johtojen rakennetta.



KUVA 10. Esimerkki johtojen erilaisista rakenteista. (Issa, R. 2024.)

Työskentelyalustana Grasshopperia havainnollistaa alla oleva kuva 11, jossa on esiteltyinä muutamia komponentteja ja toimintoja sekä ylävalikot. Kangas toimii työskentelyalustana, jolle tuodaan valmiin ohjelmoinnin sisältäviä komponentteja, ryhmitellään niitä sekä luodaan ohjelmointikokonaisuuksia. Alla oleva sarja eri toimintoja eli algoritmi on osa kokonaisuutta, jonka avulla luodaan valmiin kansirakenteen pitkittäisviivoja hyödyntäen alueita raudoitusta varten. Jokaisen komponentin syöte kertoo, mitä tietoa kyseinen komponentti tarvitsee toimiakseen. Samoin tuloste kertoo, minkälaista tietoa kyseinen komponentti tuottaa.



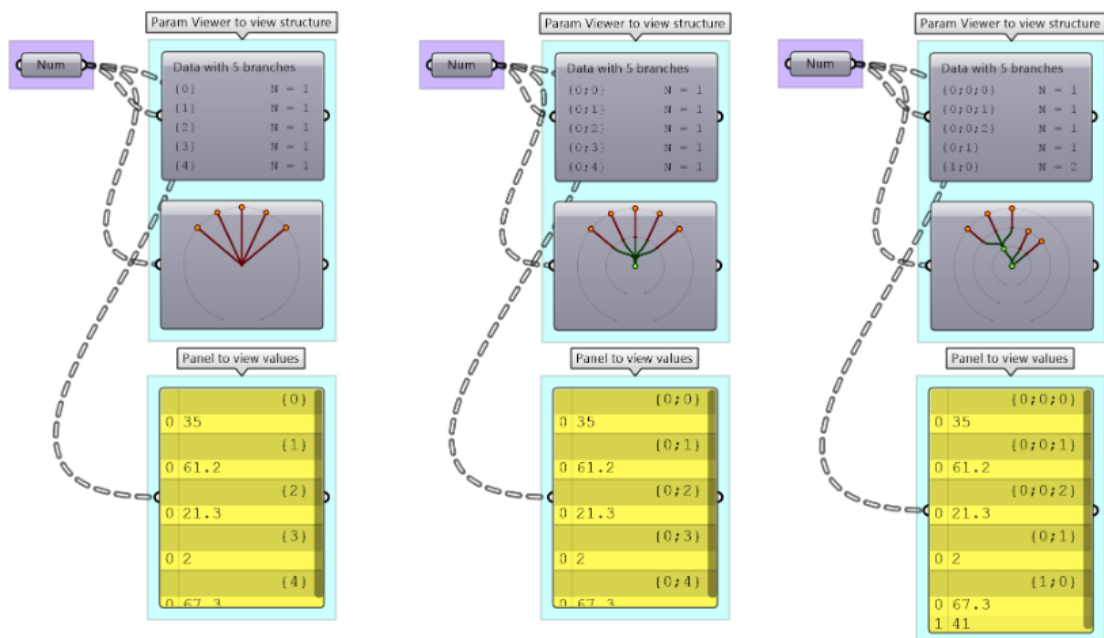
KUVA 11. Grasshopperin työskentelyalusta

Paneelit toimivat sekä tiedon vastaanottavana komponenttina tai paneelin avulla voidaan syöttää jokin arvo komponenttiin. Esimerkiksi paneelin avulla voidaan lukea jonkin tietyn komponentin sisältämä tieto, jos komponentista tuodaan johto paneelin syötteeseen. Kyseisessä esimerkissä paneelia hyödynnetään valitsemalla datapuusta paneelin sisältämän tiedon avulla tietty oksa, jonka tietoa hyödynnetään seuraavassa komponentissa. Johdon avulla siirretään tietoa komponentista toiseen.

Etävastaanotin toimii langattomana tiedon vastaanottimena. *Telepathy*-komponentti sisältää lähettävän ja vastaanottavan komponentin, jotka molemmat ovat tyhjiä ja joihin voi johdon avulla syöttää haluamaansa tietoa. Kun lähettävässä komponentissa on tieto, komponenttia kaksoisnapauttamalla saadaan luotua etävastaanotin, eli komponentti, joka sisältää saman tiedon. Etävastaanottimen

avulla tieto siirtyy langattomasti esimerkiksi toiselle puolelle kangasta ja kokonaisuudesta saadaan siistimmän näköinen ilman ylimääräisiä johtoja.

Dataa voidaan käsitellä puurakenteena, jossa yhden komponentin voi ajatella olevan yksittäinen oksa suuressa puurakenteessa. Kun puurakenteeseen syöttää listan useista komponentista, muodostuu puu, jossa on useita oksia. Puun pääoksat muodostuvat samantasoisesta tiedosta ja yksinkertaistettuna voi ajatella, että kyseinen tieto sijaitsee samassa maassa. Kun jokaiseen oksaan tulee lisää pienempiä oksia, lähdetään kyseisen maan sisällä etenemään tiettyyn kaupunkiin ja lopulta oksien pienentyttyä saman kadun varrelle eri osoitteeseen. Datapuun avulla voidaan poimia tietoa ns. eri osoitteista saman kadun varrelta, jolloin tieto on samassa muodossa ja hyödynnettävissä keskenään. Datapuun käsittelyssä käytetään *Tree Branch* -komponenttia, jonka avulla voidaan datapuusta poimia tietty oksa eli haara datapuun sisältä. Tässä tapauksessa valitaan kansirakenteen pitkittäisviivoista tietty viiva, joka lähtee tulosteen kautta jatkokäsittelyyn eli komponenttiin, jossa viivasta luodaan pisteitä. Kuvassa 12 on havainnollistettu eri datapuiden rakennetta.



KUVA 12. Esimerkkejä erilaisista puurakenteista. (Issa, R. 2024.)

### 3.1.3 Tekla Structures ja Tekla Live Link

Tekla Structures on toteutussuunnittelun tarpeisiin luotu ohjelmisto, jolla mallitietojen tuonti, vienti ja linkitys muihin ohjelmistoihin, projektin muille osapuolille, digitaalisiin rakennustyökaluihin sekä koneisiin sujuvoittaa työskentelyä. Ohjelmisto on rakennesuunnitteluun tarkoitettu BIM-ohjelmisto, jolla voi luoda tarkkoja, paljon tietoa sisältäviä 3D-malleja. Mallinnusohjelma luo rakennettavan tarkkoja tietomalleja. (Trimble 2025.)

BIM tulee sanoista ”Building Information Modeling” ja tarkoittaa rakennuksen tietomallia (Trimble 2025). Tekla-ympäristössä tietomalli tarkoittaa kolmiulotteista, digitaalista mallia, joka sisältää rakenteellisia, geometrisia ja teknisiä ominaisuustietoja mallin kohteista. Tietomallissa jokainen osa on älykäs objekti, joka pitää sisällään mm. mitat ja muodon, materiaalin ja lujuusluokan. (Trimble Solution Corporation 2024.)

Tekla Live Link on reaaliaikainen linkki, joka mahdollistaa parametrisen mallinnuksen Tekla Structures-ohjelmistossa Rhino/Grasshopper-ohjelmiston avulla. Linkki sisältää joukon Grasshopperissa tehtyjä komponentteja, jonka lopussa on Tekla-komponentti. Tämän kokonaisuuden avulla voidaan luoda ja käsitellä objekteja reaaliaikaisesti Tekla Structures -ohjelmistossa. (Trimble 2025.)

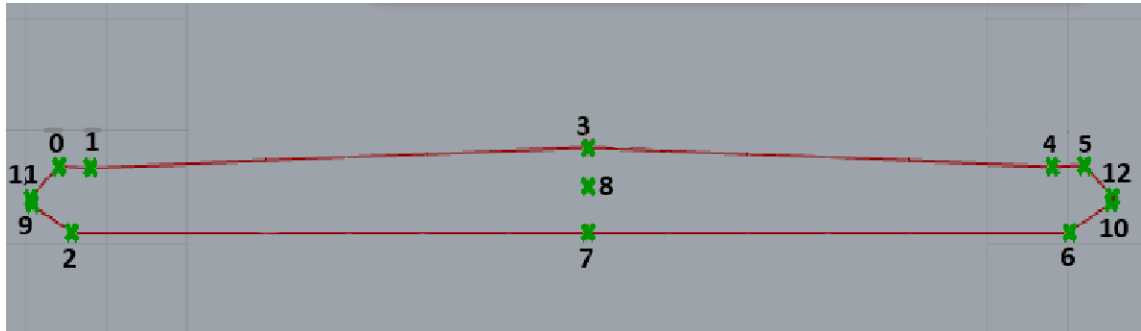
Asennuksen jälkeen Tekla Live Link -lisäosan komponentit ovat käytössä Grasshopperissa. Tekla Live Link -lisäosan version tulee täsmätä käytetyn Tekla Structures version kanssa. Ylävalikkopalkista löytyy Tekla-valikko, joka sisältää erilaisia komentoja, joilla Tekla-komponentteja voi mm. ottaa pois käytöstä tai käynnistää uudelleen. Ohjelmistoa käynnistettäessä ensimmäiseksi täytyy käynnistää Tekla Structures ja sieltä valmis mallipohja. Tämän jälkeen avataan Rhino ja Grasshopper. Grasshopperissa luodut komponentit ovat reaaliaikaisessa vuorovaikutuksessa Teklaan luotujen objektien kanssa. Jos arvot tai muoto muuttuvat, muutokset päivittyvät myös Teklaan näkyviin. (Trimble 2025.)

### 3.2 Parametrisen mallintamisen lähtökohdat

Teklassa raudoittaminen tehdään raudoitustanko tai raudoitusryhmä kerrallaan, riippuen kohteesta. Raudoittamista aloitettaessa valitaan Teklan raudoitusvalikosta halutaanko tehdä raudoitusryhmä vai raudoittaa terästanko kerrallaan. Raudoitusryhmällä tarkoitetaan joukkoa harjateräksiä eli raudoitustankoja tai hakoja, riippuen muodosta, jotka ovat tietyllä alueella tasavälein. Raudoitusryhmää luodessa ensin valitaan hyvä näkymä raudoitettavaan objektiin, tässä tapauksessa kansilaataan. Tämän jälkeen valitaan haluttu raudoitustapa. Raudoitettaessa ensimmäisenä aktivoidaan kohde. Raudoituksen sijainti määritellään valitsemalla ensimmäinen piste, joka tarkoittaa raudoitusryhmän alkukohtaa. Toisella pisteellä valitaan raudoitusryhmän loppumiskohta. Näillä kahdella pisteellä määritetään, mihin suuntaan raudoitustangot sijoittuvat. Tarvittaessa valitaan vielä kolmas piste, joka kertoo raudoitushakojen korkeuden. Kun kansirakenteeseen on saatu raudoitusryhmä luotua, asetuksista valitaan mm. raudoitustangon tai haan halkaisija, teräslaji, tankojen väli, sekä raudoituksen etäisyys betonipinnasta. Kun raudoitusryhmiä ja -tankoja tulee enemmän rakenteeseen, täytyy erityisellä tankojakoasetuksella asetella raudoitukset niin, etteivät ne asetu päällekkäin. Yleensä raudoitukseen tarvitaan "construction line" eli apuviivoja, joiden avulla saadaan raudoituskohteeseen lisää ns. "apupisteitä", joita hyödynnetään raudoitusten kohdentamisessa. Raudoituksia tehdessä on tärkeää lisätä asetuksiin ohjeiden mukaisesti oikea Class ja Phase, joiden avulla Teklassa olevia näkymiä voi suodattaa eli filttäroidä halutun mukaiseksi. Näkymien suodattamisella helpotetaan mm. raudoituspiirustusten tekemistä sekä tietyn raudoitusryhmän muokkaamista.

Toimeksiantajalla on aikaisemmin kehitetty työkalu teräsbetonisten ulokelaattasiltojen pintamallin mallinnukseen. Pintamalli ei sisällä raudoitusta, vain geometrian. Opinnäytetyössä hyödynnetään työkalusta osiota, jolla luodaan kansirakenteen poikkileikkaus tyyppiohjeen mukaisesti. Työssä keskitytään raudoituksen parametrisointiin, joten valmiin pintamallin hyödyntäminen antaa mahdollisuuden keskittyä itse aiheeseen. Alkuun valmiin työkalun käyttäminen vaatii siihen perehtymisen, miten valmis algoritmi toimii ja kuinka se on rakennettu.

Raudoitusta varten kansirakenteen pintamallista hyödynnettiin pitkittäiset reuna-  
viivalinjat. Ensin valmis malli purettiin joukoksi pisteitä, joiden tulkitsemista varten  
pisteet täytyi numeroida. Kuvassa 13 näkyvät numeroidut pisteet, jotka toimivat  
pitkittäisten viivalinjojen muodostamisessa.



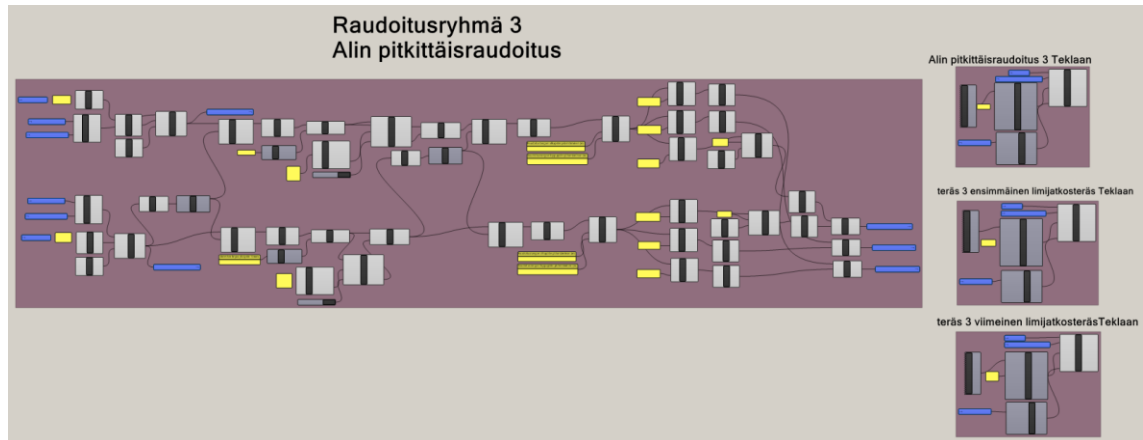
KUVA 13. Kansirakenteen pisteet, joista pitkittäisviivat muodostuvat.

Koska kansirakenteen profiili on luotu ensin tasossa ja sen avulla luodaan kolmi-  
ulotteinen pintamalli, kansirakenteen pitkittäisessä suunnassa samassa koh-  
dassa olevat pisteet luovat pitkittäisen linjan kyseiseen kohtaan. Näiden linjavii-  
vojen avulla muodostuu pitkittäisten rautojen rajaviivat, joiden avulla raudoitukset  
luodaan tietylle alueelle. Raudoitusta varten löytyy BUL-ohjeesta valmiiksi tarvit-  
tavat tiedot, jolla koko kansirakenne saadaan raudoitettua. Lähtötiedot raudoituk-  
selle tulevat Grasshopper-ohjelmistolle helposti luettavaan muotoon tehdystä Ex-  
cel-tiedostosta.

### 3.3 Parametrisen mallintamisen rakenne

Rakenteellisesti parametrinen mallintaminen koostuu kolmesta osa-alueesta. En-  
simmäisessä osiossa ovat lähtötiedot, joiden pohjalta asioita, kuten raudoitusta  
aletaan rakentamaan. Keskellä oleva osa-alue koostuu erilaisista komponent-  
teista, joiden avulla tiettyjen lähtötietojen välille luodaan suhteita, riippuvuuksia ja  
kytköksiä. Esimerkiksi kahden eri pitkittäisen viivalinjan välille luodaan riippu-  
vuussuhteita, jotta saadaan luotua alue, jolle tietty raudoitus halutaan. Lähtötie-  
dot raudoitukselle tulevat Excel-tiedostosta, joka on muokattu niin, että  
Grasshopper-ohjelmisto pystyy sitä helposti lukemaan. Viimeisessä osa-alu-  
eessa rakennetun parametrin osat tuodaan komponenttiin, joka toteuttaa halutun  
toimenpiteen, opinnäytetyön tapauksessa luo raudoituksen kyseiselle osa-alu-  
eelle Teklaan. Osa-alueita on havainnollistettu kuvassa 14. Jotta algoritmi pysyy

luettavana ja myös toisen osapuolen ymmärrettävänä, on tärkeää otsikoida ryhmät selkeästi. Värilliset pohjat havainnollistavat muodostettuja ryhmiä.

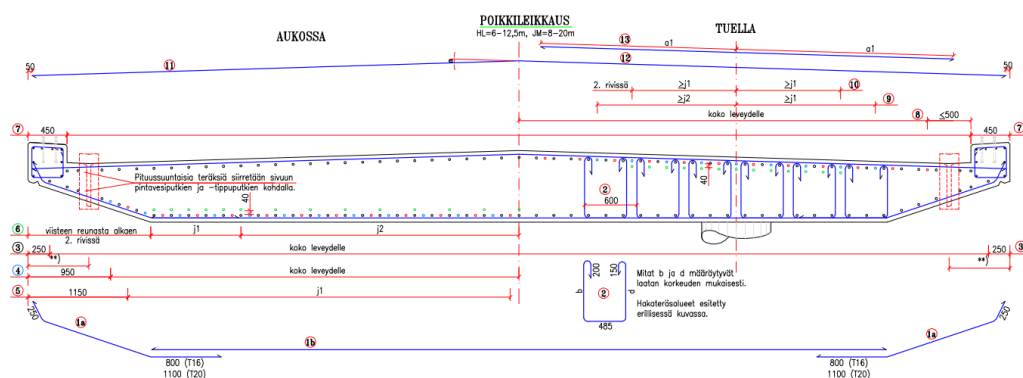


KUVA 14. Algoritmiosan muodostuminen.

### 3.4 Raudituksen parametrisointi

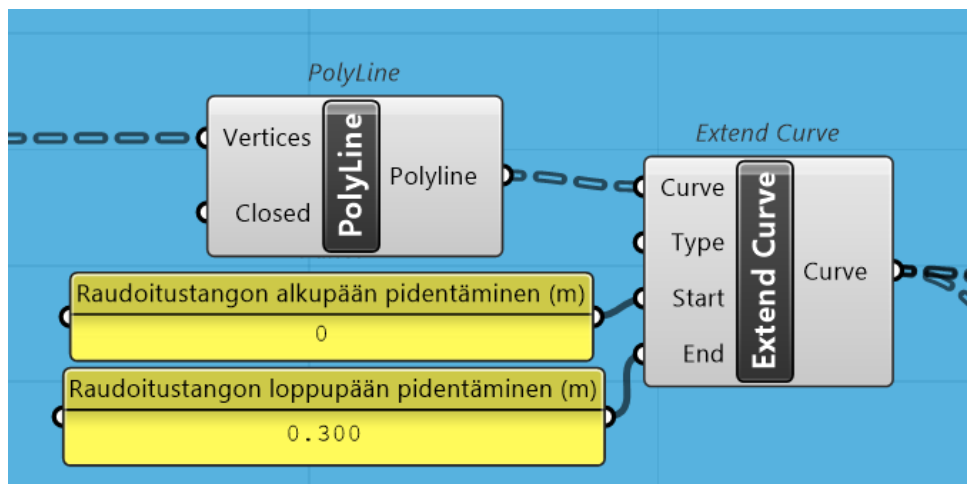
Raudoitusten parametrisoinnissa ensimmäisenä täytyy perehtyä, miten rauditus rakentuu kansirakenteessa. Ohjeessa on kuvin selvennetty raudoitusten sijoittamista. Taulukoissa on avattu tarkemmin raudoitusten pituuksia, kk-jakoa (kk=keskeltä keskelle) eli raudoitusten etäisyyksiä toisistaan ryhmän sisällä sekä raudoitusten kokoa.

Alla olevassa kuvassa 15 on kuvattu kansirakenne poikittaissuunnassa. Pitkittäiset raudat on esitetty värillisinä ympyröinä. Vasen puoli kuvassa havainnollistaa rautojen asemaa kansirakenteen aukkokohdassa. Kuvan oikealla puolella on esitetty tuella olevat hakarakenteet, miten ne asettuvat pitkittäisten sekä poikittaisten rautojen, sekä vierekkäisten hakojen suhteen. Kuvasta 15 poiketen opinnäytetyössä ei esitetä lainkaan reunapalkkeja.



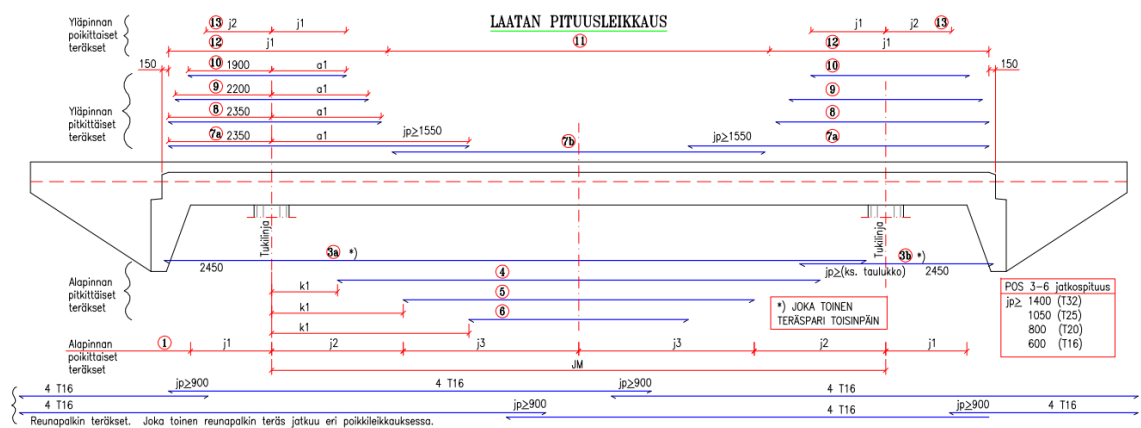
KUVA 15. Kannen rauditus. (Liikennevirasto 2017, 27.)

Raudoitettavan kohteen ollessa pitkä, kuten siltarakenteissa yleensä on, raudoitusta ei voida toteuttaa yhdellä raudoitustangolla. Raudoitus jaetaan limijatkosten avulla oikean pituisiin kokonaisuuksiin niin, että raudoitus toimii optimaalisesti. Limijatkokset toteutettiin *Extend Curve* -komponentilla, jonka avulla lyhempiin osiin jaetun raudan sisempiä päitä pidennettiin limijatkoksen verran. Kuvassa 16 on esimerkki, miten paneelien avulla määritellään, minkä verran raudoitustangon päitä pidennetään.



KUVA 16. Pitkittäisraudan limijatkoksen tekeminen.

Kuvassa 17 kansirakenne on pitkittäissuunnassa kuvattuna. Pitkittäiset raudat on havainnollistettu viivoin, miten ne asettuvat kansirakenteeseen.



KUVA 17. Kannen raudoitus, pituusleikkaus. (Liikennevirasto 2017, 26.)

Grasshopper-pohjassa on manuaalisesti määriteltäviä tekijöitä kuten hyödyllinen leveys ja jännemitta. Näiden tietojen pohjalta rakentuu ensin kannen geometria.

Kuvassa 18 on osa Exceliin kootusta taulukosta, joka on muokattu Grasshopper-ohjelmiston luettavaan muotoon. Oranssilla korostetut alueet ovat lisättyjä arvoja, jotka haluttiin lisätä taulukoitavaksi arvoiksi. Taulukossa oleva B(m) on kuvassa 2 esitetty tukilinjojen keskeltä keskelle oleva mitta, joka saadaan kertomalla hyödyllinen mitta BUL- ohjeen määrittelemällä kertoimella 0,53. Kuten taulukosta näkyy, teräspositioiden mitat muuttuvat poikkileikkauksen mittojen muuttumisen myötä.

HL=6-12,5/ Kannen vinous 0 gon, Teräspositiot 1-2															l-jalan pituus					
Jm[m]	HL[m]	h [ml]	B(m)	Cnom(m)	1						2 (haat)					I1	I2			
					Alue 1		Alue 2		Alue 3		φ	kk	a1	a2	a3			n		
					φ	kk (j1)	φ	j2	kk (j2)	φ	j3	kk (j3)	[m]	[m]	[m]			[m]	[m]	[kpl]
					m	m	m	m	m	m	m	m	[m]	[m]	[m]			[m]	[m]	(m)
20	12,5	1,10	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	2,0	0,100	0,016	8,0	0,125	0,012	0,3	6,6	1,9	2,1	157	0,200	0,150
20	10,5	1,05	5,57	0,045	0,016	0,150	0,016	2,0	0,150	0,016	8,0	0,125	0,012	0,3	7,0	1,8	1,0	134	0,200	0,150
20	9,0	1,00	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	2,0	0,150	0,016	8,0	0,125	0,012	0,3	7,0	1,5	1,8	116	0,200	0,150
20	7,5	1,00	3,98	0,045	0,016	0,200	0,016	2,0	0,175	0,016	8,0	0,125	0,012	0,3	7,1	1,2	1,6	101	0,200	0,150
20	6,0	1,00	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	2,0	0,175	0,016	8,0	0,125	0,012	0,3	7,5	1,2	1,5	83	0,200	0,150

KUVA 18. Esimerkki raudoituksen taulukoinnista Exceliin.

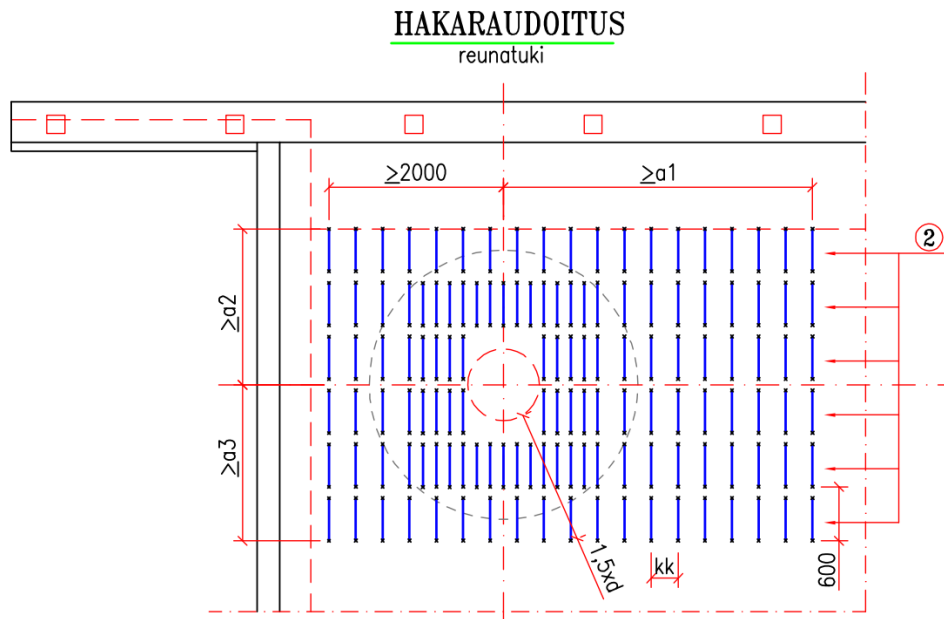
Raudoituksen parametrisoinnissa Excelin käyttö mahdollistaa toimivan kokonaisuuden kansirakenteen muuttuvista mitoista huolimatta. Esimerkiksi hyötyleveyden muuttuessa algoritmi reagoi automaattisesti etsimällä oikeat raudoitustiedot Excel-taulukosta. *Read from Excel* -komponentilla tuodaan tiedot ohjelmaan. Komponentti tarvitsee toimiakseen tarkan polun, mistä Excel-tiedosto löytyy sekä tiedoston sisäisen välilehden nimen, jossa raudoitustaulukko sijaitsee. Itse taulukosta määritellään paneelin avulla, mitä sarakkeita ja rivejä halutaan komponentin lukevan. Kun Excel-taulukkoon tulee muutoksia, saadaan tiedot päivitettyä komponentilla, jolla luetaan tietoa Excelistä. Erillisen ”kytkin”-komponentin avulla voidaan määritellä, milloin halutaan algoritmin lukevan reaaliaikaisesti tiedostoa. Tietojen jatkuva päivittäminen Excel-tiedostosta on työkalulle raskasta ja hidastaa sen toimintaa.

Jotta Excel-taulukko ei olisi vain kasa epämääräistä tietoa, hallinnoidaan tiedon tarkentumista manuaalisesti pohjassa määriteltävillä tekijöillä eli hyödyllisellä leveydellä ja jännemitalla. Näiden tekijöiden avulla filtoitetaan tieto kohdentumaan oikean kansirakenteen tietoihin ja suodattamaan oikeat tiedot käytettäväksi. *List item* -komponentilla tuotetaan jokaisesta taulukon sisältämästä tiedosta *Telepathy*-komponentti, jonka avulla tieto vietään oikeaan raudoitustiedon sisältämään algoritmiin. Näin tiedot päivittyvät suoraan algoritmeihin ilman manuaalista tietojen muuttamista. Kun käyttäjä valitsee tarvitsemansa jännemitan ja hyötyleveyden, etsii algoritmi oikeat raudoitustiedot Excelistä ja päivittää ne jokaiseen raudoitusta koskevaan omaan algoritmiinsa.

### 3.4.1 Hakojen parametrisointi

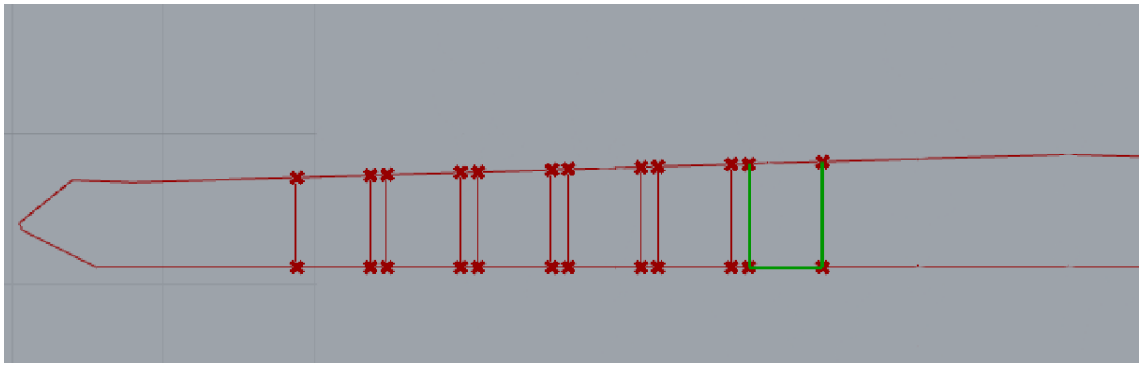
Hakojen sijoittelu näkyy tarkemmin ylhäältäpäin katsottuna kuvasta 18. Poikkisuunnassa hakaraidoituksen leveys ja hakojen välinen etäisyys on aina siltakan-  
nen raudoituspoikkileikkauksessa esitetyn mukainen. Raudoitustaulukossa esitettyjen teoreettisten mittojen  $a_1$ -  $a_3$  mukaisesti määräytyy hakaraidoitusrivien lukumäärä ja rivien pituus. Hakaraidoitusalue ulottuu kuitenkin vähintään näiden mittojen sisäpuoliselle alueelle. Kuvassa esitetty  $kk$ -mitta eli pituussuuntainen jakoväli määräytyy raudoitustaulukon mukaisesti. (Liikennevirasto 2017, 30.)

Tuen reunasta etäisyydelle  $1,5d$  ulottuvan piirin sisältä tulee kansilaatan lävistyskestävyyden varmistamiseksi olla vähintään  $n$  kappaletta leikkaushaan leikettä. Kappalemäärä katsotaan raudoitustaulukosta teräspositio 2 kohdalta. Ehdon toteutumisen varmistamiseksi hakoja lisätään väleihin ja tarvittaessa jakoväliä ti-  
hennetään. Kuvassa oleva  $d$  tarkoittaa kansilaatan tehollista korkeutta, joka saadaan vähentämällä kansilaatan rakennepaksuudesta 60 mm. (Liikennevirasto 2017, 30.) Kuvassa 2 on esitetty rakennepaksuus  $h$ , mistä kohtaa kansirakennetta korkeus katsotaan. Opinnäytetyö sisältää tukien osalta vain reunatuet, joten kuvassa on esitetty vain reunatuen haotus.



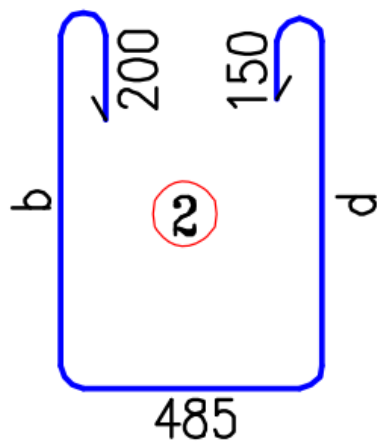
KUVA 19. Kannen hakaraudoitusalue (Liikennevirasto 2017, 30.)

Hakojen lisääminen kansirakenteeseen oli helpointa tehdä tasossa. Kansirakenteen valmiin alakeskipisteen avulla tehtiin uusi piste kuvassa 19 olevien mittojen avulla keskelle reunatuen tukilinjaa. Seuraavaksi hakojen tarkkaa kohtaa etsiessä hyödynnettiin teräsposition 3 k-jakoa, jolla kansirakenteen alapintaan tehtiin sarja pisteitä. Pisteiden avulla haettiin haoille oikeat reunapisteet ja nostettiin pisteitä *move*-komponentilla suojabetonin eli 45 mm verran ylöspäin. Yläpisteet haoille sai tekemällä reunapisteistä ylipitkän viivan y-suunnassa. Tämän jälkeen etsittiin *curve / curve* -komponentilla piste, jolla kannen yläviivan ja ylipitkän y-suunnan viivan risteävään kohtaan muodostui piste. Pistettä siirrettiin *move*-komennolla suojabetonin verran alaspäin. Kun tämä oli toistettu molemmille puolille, syötettiin neljä pistettä *merge*-komponenttiin oikeassa järjestyksessä, jonka jälkeen pisteiden välille muodostettiin muotoviiva. Kuvassa 20 on havainnollistettu vihreällä yhden haan muodostuminen muotoviivalla pisteiden välille. Hakoja tulee poikkisuunnassa 6 kappaletta sillan molemmille puolille. Haan yläkoukut saatiin erillisellä komponentilla suoraan Teklaan.



KUVA 20. Hakojen muodot tasossa raudoituskomponentteja varten.

Kuvassa 21 on esitetty BUL-ohjeen määrittelemä hakojen geometria mittoineen. Numeroina esitetyt arvot ovat vakioita, kun taas mitat  $b$  ja  $d$  määräytyvät kansirakenteen mittojen mukaan.



Mitat  $b$  ja  $d$  määräytyvät laatan korkeuden mukaisesti.

Hakateräsalueet esitetty erillisessä kuvassa.

KUVA 21. Haan mitat BUL-ohjeessa. (Väylävirasto 2017, 27.)

## 4 TULOKSET

### 4.1 Työn rajaaminen

Opinnäytetyön tekemistä aloittaessa vaikutti siltä, että raudoitus olisi melko helppo toteuttaa. Kuitenkin Grasshopper-pohjaa tehdessä tuli selväksi, että TSV:n eli tien suuntaviivan kaarevuuden takia kannen pitkittäisraudoituksen tekeminen oli haastavaa ja aikaa vievää. Itse ohjelmaan perehtymiseen meni aikaa, aiempaa kokemusta kun ei ollut käytännössä lainkaan. Työssä etenemistä auttoi työpaikalta saatu asiantunteva apu. Kokemus siltakannen raudoittamisesta olisi auttanut huomattavan paljon ja nopeuttanut prosessia, koska ymmärrystä raudoitustankojen asettumisesta kansirakenteeseen olisi ollut jo valmiiksi.

Kansirakenne sisältää 13 eri raudoitusryhmää, joista lähes jokaisessa ryhmässä on myös alaryhmiä. Raudoitusten suuren määrän vuoksi työmäärä kasvoi huomattavasti, sillä jokaiselle raudoitukselle täytyy luoda oma algoritmi, jolla raudoitus rakennetaan. Kun yhden toimivan kokonaisuuden sai luotua, pystyi sitä hyödyntämään osittain samankaltaisen toisen rautaryhmän luomisessa. Haastetta toi rautojen asettuminen sekä pitkittäissuunnassa että poikittaisessa suunnassa kansirakenteeseen nähden.

Opinnäytetyön edetessä työ rajattiin lyhyempään siltakokonaisuuteen, jossa hyötyleveys rajoittuu 6 metristä 12,5 metriin ja jännemitta 8 metristä 20 metriin. Rajauksella kokonaisuus selkeytyi ja aiheeseen perehtymiseen sekä parametrisen mallin tekemiseen jäi enemmän aikaa.

### 4.2 Parametrisen pohjan toimivuus

Opinnäytetyön pohjalta voi joko suoraan lähteä jatkamaan parametrisointia tai soveltaa tietoa pohjaan, jossa on uudet lähtötiedot kansirakenteeseen. Silloin raudoitus ei rajoitu opinnäytetyössä käytettyyn kansirakenteeseen, vaan on vapaamuotoisempi ja monikäyttöisempi.

Opinnäytetyötä tehdessä huomasi melko pian asioita, joita olisi voinut tehdä toisin. Esimerkiksi pitkittäiset raudoitukset olisi voinut sijoittaa suoraan tasorakenteeseen pisteinä. Tällöin haat olisi voitu sijoittaa suoraan raudoituksen perusteella oikeille paikoilleen.

Nyt työ toteutettiin kuitenkin niin, että kannen pitkittäis- ja poikittaisraudoitukset mallinnettiin suoraan kannen reunaviivojen avulla. Kansirakenteen hakojen geometria taas rakennettiin tasossa, josta ne muutettiin tietyin parametrein kolmiulotteiseen muotoon. Näin haat saatiin juuri oikeaan kohtaan.

### **4.3 Haasteet**

Haastetta opinnäytetyön tekemiseen aiheutti se, ettei tekijällä ollut aiempaa kokemusta infrabetonirakenteiden raudoittamisesta ja mallintamisesta. Myös Grasshopper-ohjelman opettelu alkoi käytännössä alkeista, ja oppimista tapahtui koko opinnäytetyöprosessin aikana. Alussa aikaa kului Grasshopper-komponentteihin perehtymiseen, käytettävyyteen sekä kokonaisuuden hahmottamiseen.

Myös kaarevasta TSV:stä johtuva haasteellinen geometria teki raudoitusten mallintamisesta työläämpää. Pitkittäisviivat, joiden avulla raudoitukset muodostettiin, olivat kaarevan rakenteen vuoksi eri pituisia. Jotta raudoitusryhmän luominen onnistui, täytyi algoritmin tekemisessä huomioida viivojen taso samaan mittaan.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyössä kehitetty pohja työkalulle muodostaa perustan BUL-ohjeen mukaisten teräsbetonisten ulokelaattasiltojen kansirakenteiden raudoituksen parametrisoinnille. Työ kattaa lyhyemmät jännevälit (6–12,5 m), mutta pidemmät rakenteet ja niihin liittyvä raudoituksen parametrisointi jäivät työn laajuuden vuoksi toteuttamatta. Siltakaltevuudesta jäi käsittelemättä 22 gon kaltevuuden kansirakenne. Opinnäytetyö toteutettiin käyttämällä Rhino 8 -pintamallinnusohjelman lisäosa Grasshopperia, Teklaa sekä Excel-taulukkoa.

Rakenteellisesti työkalu on selkeä, osiot on otsikoitu ymmärrettävästi ja ryhmitelty teräspositioiden ja aihealueiden mukaan. Jatkokehityksen kannalta rakenteellisesti selkeä pohja mahdollistaa työkalun kehittämisen tulevaisuudessa.

Prosessina opinnäytetyön tekeminen oli todella opettavainen. Opin Grasshopperin perusrakenteen ja logiikan; komponenttien käyttöä ja datan hallintaa esimerkiksi puurakenteilla ja listakomponenteilla. Loin määritelmiä ja algoritmeja, jotka tuottavat raudoituksia kansirakenteeseen. Työkalun tekeminen kehitti ymmärrystäni sekä ohjelmoinnin periaatteista että parametrinen suunnittelun hyödyistä rakennesuunnittelussa. Opittujen taitojen pohjalta on hyvä lähteä kehittämään osaamista vielä eteenpäin työelämässä.

Jatkokehitysideana työtä voisi hyödyntää ja täydentää kattamaan sekä pidemmän jännevälin (12,5–19 m) sekä kokonaan 22 gon kaltevuuden kansirakenteet. Työhön voisi lisätä mahdollisuuden raudoitusmäärien interpolointiin suoraan esimerkiksi Excel-taulukkopohjaisesti. Interpolointia käytetään silloin, kun sillan hyötyleveys poikkeaa raudoitustaulukoissa mainituista mitoista, mutta sisältyy ohjeen soveltuvuusalueelle. Tällöin kansirakenteen mitoitus ja raudoitusparametrisointi voitaisiin toteuttaa täysin automaattisesti eri jänneväleille sekä kaltevuuksille. Loput BUL-siltaan liittyvät päällysrakenteet, kuten reunapalkit, siipimuurit sekä päätypalkit, niiden raudoituksen parametrisointi lisäisi työn laajuutta ja käytettävyyttä.

Raudoitukseen selkeästi vaikuttanut tien rajausviivan kaarevuus olisi hyvä jatkotutkimuksen aihe, kuinka kaarevuus yleisesti vaikuttaa sillan kansirakenteiden

raudoitukseen. Myös kaarevuuden vaikutusta raudoitusten jatkospituuksiin olisi hyvä tutkia lisää.

## LÄHTEET

Adobe. 2025. Mitä parametrinen mallinnus on ja miten se toimii? Verkkosivu. Viitattu 10.10.2025. [Mitä parametrinen mallinnus on ja miten se toimii? – Adobe](#).

Autodesk. 2016. NURBS overview. Verkkosivu. Viitattu 6.8.2025. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-5EC05798-3F28-4AD2-8154-36BC444A4DC9>.

By 201. 2018. Betonitekniikan oppikirja. 8. painos. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.

Davidson, S. n.d. Grasshopper. Verkkosivu. Viitattu 4.9.2025. [Grasshopper - algorithmic modeling for Rhino](#).

Dušan Cvetković. 2023. How to Rhino. Grasshopper 3D-Yout guide to parametric modeling. Verkkosivu. Viitattu 10.10.2025. [Grasshopper 3D - Your Guide to Parametric Modeling](#).

Issa, R. 2024. RhinoDeveloper; Chapter 3:Advanced Data Structures. Verkkosivu. Viitattu 1.11.2025. [Rhino - Chapter 3: Advanced Data Structures](#).

Liikennevirasto. 2017. Eurokoodin soveltamisohje: Betonirakenteiden suunnittelu- NCCI 2. Liikenneviraston ohjeita 31/2017. Pdf- tiedosto. Viitattu 4.9.2025. [lo\\_2017-31\\_ncci2\\_web.pdf](#).

Liikennevirasto. 2017. Teräsbetoninen ulokelaattasilta (Bul). Suunnitteluohje. Pdf- tiedosto. Viitattu 6.8.2025. [Microsoft Word - LO 32-2017 Teräsbetoninen ulokelaattasilta \(Bul\) 15.6.2017](#).

Nordic Bim Group. n.d. Rhinoceros. Verkkosivu. Viitattu 6.8.2025. <https://www.nordicbim.com/fi/tuotteet/rhinoceros>.

Pulkkinen, P (toim.). 2018. RIL 179. Sillat - suunnittelu, toteutus ja ylläpito. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Rhino. n.d. Who Uses Rhino? Verkkosivu. Viitattu 6.8.2025. <https://www.rhino3d.com/>.

Issa, R. 2024. Rhino Developers. Chapter 1:Algorithms and Data. Verkkosivu. Viitattu 5.11.2025. <https://developer.rhino3d.com/guides/grasshopper/gh-algorithms-and-data-structures/algorithms-data/>.

Issa, R. 2024. Rhino Developers. Chapter 2: Introduction to Data Structures. Verkkosivu. Viitattu 6.11.2025. [Rhino - Chapter 2: Introduction to Data Structures](#).

Trimble. 2025. Tekla Structures. Verkkosivu. Viitattu 16.10.2025. [Tekla Structures – BIM-rakennesuunnitteluohjelmisto | Tekla](#).

Trimble. 2025. Grasshopper-Tekla Live Link. Verkkosivu. Viitattu 16.10.2025. [Grasshopper-Tekla Live Link | Trimble User Assistance](#).

Trimble. 2025. Mitä BIM on? Verkkosivu. Viitattu 7.11.2025. [Mitä on BIM? | Tekla](#).

Trimble Solution Corporation. 2024. Tekla Structures Glossary. Pdf-tiedosto. Viitattu 7.11.2025. [https://support.tekla.com/dist/sxf/document/teklastructures-glossary\\_3.pdf](https://support.tekla.com/dist/sxf/document/teklastructures-glossary_3.pdf).

Väylävirasto. 2022. Eurokoodin soveltamisohje: Betonirakenteiden suunnittelu-NCCI 2. Väyläviraston ohjeita 5/2022. Pdf-tiedosto. Viitattu 5.10.2025. [Eurokoodin soveltamisohje](#).

Wikipedia. 2025. Grasshopper 3D. Verkkosivu. Viitattu 4.9.2025. [Grasshopper 3D - Wikipedia](#).

## LIITTEET

Liite 1. Kannen raudoitustaulukot, vinous 0 gon

Taulukoissa 7–10 on esitetty kansilaatan raudoitemäärät suoralle sillalle.

Taulukoiden merkinnät:

Ø	= raudoitustangon halkaisija
kk	= raudoitteen jakoväli (k-jako)
j1, j2...	= raudoitteen jakoalue
k1, k2...	= raudoitteen katkaisukohtien etäisyys tukilinjalta
a1, a2...	= raudoitteen ulottuma tukilinjalta poispäin
n	= lävistysmitoituksen vaatima leikkeiden lukumäärä

Taulukko 7. Kannen teräspositiot 1–2. HL=6,0-12,5m (2 pilaria/tukilinja).  
Vinous 0 gon.

HL=6,0-12,5m / Kannen vinous 0 gon Teräspositiot 1-2																
Jm [m]	HL [m]	h [m]	1									2 (haat)				
			Alue j1		Alue j2			Alue j3			φ [mm]	kk [mm]	a1 [m]	a2 [m]	a3 [m]	n [kpl]
			φ [mm]	kk (j1) [mm]	φ [mm]	j2 [m]	kk (j2) [mm]	φ [mm]	j3 [m]	kk (j3) [mm]						
20	12.5	1.10	16	125	16	2.0	100	16	8.0	125	12	300	6.6	1.9	2.1	157
20	10.5	1.05	16	150	16	2.0	150	16	8.0	125	12	300	7.0	1.8	1.9	134
20	9.0	1.00	16	150	16	2.0	150	16	8.0	125	12	300	7.0	1.5	1.8	116
20	7.5	1.00	16	200	16	2.0	175	16	8.0	125	12	300	7.1	1.2	1.6	101
20	6.0	1.00	16	200	16	2.0	175	16	8.0	125	12	300	7.5	1.2	1.5	83
18	12.5	1.00	16	125	16	9.0	125	*	*	*	12	300	6.1	1.9	2.0	146
18	10.5	0.95	16	150	16	2.5	150	16	6.5	125	12	300	6.1	1.7	1.9	125
18	9.0	0.90	16	150	16	2.5	150	16	6.5	125	12	300	6.5	1.5	1.9	108
18	7.5	0.90	16	175	16	2.5	175	16	6.5	125	12	300	6.4	1.2	1.6	90
18	6.0	0.90	16	200	16	2.5	175	16	6.5	125	12	300	7.6	1.1	1.5	76
16	12.5	0.90	16	125	16	3.0	125	16	5.0	150	12	300	5.5	1.9	2.0	136
16	10.5	0.85	16	125	16	3.0	125	16	5.0	150	12	300	5.8	1.7	1.9	117
16	9.0	0.80	16	150	16	8.0	150	*	*	*	12	300	5.5	1.4	1.7	101
16	7.5	0.80	16	175	16	8.0	150	*	*	*	12	300	5.4	1.2	1.5	84
16	6.0	0.80	16	200	16	3.0	175	16	5.0	125	12	300	5.3	1.1	1.5	69
14	12.5	0.80	16	125	16	7.0	125	*	*	*	12	300	4.6	1.9	1.9	129
14	10.5	0.75	16	150	16	2.0	125	16	5.0	150	12	300	4.8	1.7	1.8	111
14	9.0	0.70	16	150	16	7.0	150	*	*	*	12	300	4.6	1.4	1.6	97
14	7.5	0.70	16	175	16	2.0	175	16	5.0	200	12	300	4.5	1.2	1.4	81
14	6.0	0.70	16	200	16	7.0	200	*	*	*	12	300	4.7	1.1	1.4	62
12	12.5	0.75	16	125	16	6.0	125	*	*	*	12	300	3.9	1.5	1.9	121
12	10.5	0.70	16	150	16	6.0	150	*	*	*	12	300	4.1	1.5	1.7	104
12	9.0	0.65	16	150	16	6.0	150	*	*	*	12	300	3.5	1.4	1.5	92
12	7.5	0.60	16	175	16	1.0	175	16	5.0	200	12	300	3.4	1.2	1.3	78
12	6.0	0.60	16	200	16	6.0	200	*	*	*	12	300	3.2	1.0	1.2	61
10	12.5	0.75	16	125	16	5.0	125	*	*	*	12	300	3.3	1.4	1.8	114
10	10.5	0.70	16	150	16	2.0	125	16	3.0	150	12	300	3.2	1.4	1.7	100
10	9.0	0.65	16	150	16	5.0	150	*	*	*	12	300	2.9	1.3	1.5	88
10	7.5	0.60	16	175	16	5.0	175	*	*	*	12	300	2.8	1.2	1.3	75
10	6.0	0.60	16	200	16	5.0	200	*	*	*	12	300	2.6	1.0	1.2	59
8	12.5	0.75	16	150	16	4.0	125	*	*	*	12	300	2.7	1.4	1.8	109
8	10.5	0.70	16	150	16	1.5	125	16	2.5	150	12	300	2.6	1.4	1.6	95
8	9.0	0.65	16	150	16	4.0	150	*	*	*	12	300	2.4	1.3	1.5	85
8	7.5	0.60	16	175	16	4.0	175	*	*	*	12	300	2.3	1.2	1.3	73
8	6.0	0.60	16	200	16	4.0	200	*	*	*	12	300	2.1	1.0	1.2	57

\* = alue j2 ulottuu koko pituudelle

Taulukko 8. Kannen teräspositiot 3-6. HL=6,0-12,5 m (2 pilaria/tukilinja).  
Vinous 0 gon.

HL=6,0-12,5m / Kannen vinous 0 gon																
Teräspositiot 3-6																
Jm [m]	HL [m]	h [m]	3		4			5				6				
			φ [mm]	kk [mm]	φ [mm]	kk [mm]	k1 [m]	φ [mm]	kk [mm]	k1 [m]	j1 [m]	φ [mm]	kk (j1) [mm]	kk (j2) [mm]	k1 [m]	j1 [m]
20	12.5	1.10	32	200	32	400	0.50	32	400	2.00	*	25	200	200	3.5	*
20	10.5	1.05	32	200	32	400	0.50	32	400	2.00	*	25	200	200	3.5	*
20	9.0	1.00	32	200	32	400	0.50	32	400	2.00	*	25	150	150	3.5	*
20	7.5	1.00	32	200	32	400	0.50	32	400	2.00	*	25	150	150	3.5	*
20	6.0	1.00	32	200	32	400	0.50	32	400	2.00	*	25	150	150	3.5	*
18	12.5	1.00	32	200	32	400	1.00	32	400	2.50	*	20	250	250	4.5	*
18	10.5	0.95	32	200	32	400	1.00	32	400	2.50	*	20	250	250	4.5	*
18	9.0	0.90	32	200	32	400	1.00	32	400	2.50	*	20	250	250	4.5	*
18	7.5	0.90	32	200	32	400	1.00	32	400	2.50	*	20	250	250	4.5	*
18	6.0	0.90	32	200	32	400	1.00	32	400	2.50	*	20	200	200	4.5	*
16	12.5	0.90	32	200	25	400	1.50	25	400	3.00	*	20	400	-	4.5	2.0
16	10.5	0.85	32	200	25	400	1.50	25	400	3.00	*	20	400	-	4.5	3.2
16	9.0	0.80	32	200	32	400	1.50	25	400	3.00	*	20	500	-	5.0	1.5
16	7.5	0.80	32	200	32	400	1.50	25	400	3.00	*	20	500	-	5.0	2.0
16	6.0	0.80	32	200	32	400	1.50	32	400	3.00	*	-	-	-	-	-
14	12.5	0.80	25	200	25	400	1.00	20	400	2.00	*	20	400	-	3.5	4.0
14	10.5	0.75	25	200	25	400	1.00	25	400	2.00	*	20	500	-	3.5	3.0
14	9.0	0.70	25	200	25	400	1.00	25	400	2.00	*	20	300	500	3.5	1.2
14	7.5	0.70	25	200	25	400	1.00	25	400	2.00	*	20	300	400	3.5	2.0
14	6.0	0.70	25	200	25	400	1.00	25	400	2.00	*	20	200	200	3.5	*
12	12.5	0.75	25	200	20	400	1.25	16	400	2.25	*	16	500	-	3.5	2.0
12	10.5	0.70	25	200	20	400	1.25	16	400	2.25	*	16	500	-	3.5	2.0
12	9.0	0.65	25	200	20	400	1.25	16	400	2.25	*	16	500	-	3.5	2.0
12	7.5	0.60	25	200	20	400	1.25	20	400	2.25	*	16	500	-	3.5	2.0
12	6.0	0.60	25	200	25	400	1.25	20	400	2.25	*	16	500	-	4.5	1.0
10	12.5	0.75	20	200	16	400	1.00	16	400	1.75	*	16	400	-	2.0	4.4
10	10.5	0.70	20	200	20	400	1.00	16	400	1.75	*	16	400	-	2.5	2.0
10	9.0	0.65	20	200	20	400	1.00	16	400	1.75	*	16	400	-	2.5	2.0
10	7.5	0.60	20	200	20	400	1.00	16	400	1.75	*	16	400	-	3.0	2.0
10	6.0	0.60	20	200	20	400	1.00	20	400	1.75	*	-	-	-	-	-
8	12.5	0.75	20	200	16	400	1.00	16	400	2.00	2.8	-	-	-	-	-
8	10.5	0.70	20	200	16	400	1.00	16	400	2.00	2.8	-	-	-	-	-
8	9.0	0.65	20	200	16	400	1.00	16	400	2.00	2.8	-	-	-	-	-
8	7.5	0.60	20	200	20	400	1.00	16	400	2.00	0.8	-	-	-	-	-
8	6.0	0.60	20	200	20	400	1.00	16	400	2.00	0.8	-	-	-	-	-

\* = koko leveydelle

\* = koko leveydelle

Taulukko 9. Kannen teräspositiot 7–9. HL=6,0–12,5 m (2 pilaria/tukilinja).  
Vinous 0 gon.

HL=6,0-12,5m / Kannen vinous 0 gon																
Teräspositiot 7-9																
Jm [m]	HL [m]	h [m]	7a			7b		8			9					
			φ [mm]	kk [mm]	a1 [m]	φ [mm]	kk [mm]	φ [mm]	kk [mm]	a1 [m]	φ [mm]	kk [mm]	a1 [m]	a2 [m]	j1 [m]	j2 [m]
20	12.5	1.10	25	200	4.0	20	200	25	400	3.5	25	400	3.2	2.2	1.4	1.3
20	10.5	1.05	25	200	4.5	20	200	25	400	4.0	25	400	3.2	2.2	1.4	1.3
20	9.0	1.00	25	200	5.0	20	200	25	400	4.0	25	400	3.2	2.2	1.3	1.3
20	7.5	1.00	25	200	5.0	20	200	25	400	4.0	25	400	3.2	2.2	1.3	1.3
20	6.0	1.00	25	200	5.0	20	200	25	400	4.0	25	400	3.2	2.2	1.3	1.5
18	12.5	1.00	25	200	4.5	20	200	25	400	3.5	25	400	3.0	2.2	1.4	1.3
18	10.5	0.95	25	200	4.5	20	200	25	400	4.0	25	400	3.0	2.2	1.3	1.2
18	9.0	0.90	25	200	4.5	20	200	25	400	4.0	25	400	3.0	2.2	1.3	1.2
18	7.5	0.90	25	200	4.5	20	200	25	400	4.0	25	400	3.0	2.2	1.3	1.2
18	6.0	0.90	25	200	5.0	20	200	25	400	4.5	25	400	3.0	2.2	1.2	1.6
16	12.5	0.90	25	200	4.0	20	200	25	400	3.5	25	400	2.8	2.2	1.3	1.2
16	10.5	0.85	25	200	4.5	20	200	25	400	3.5	25	400	2.8	2.2	1.3	1.1
16	9.0	0.80	25	200	4.5	20	200	25	400	3.5	25	400	2.8	2.2	1.2	1.1
16	7.5	0.80	25	200	4.5	20	200	25	400	4.0	25	400	2.8	2.2	1.2	1.1
16	6.0	0.80	25	200	5.0	20	200	25	400	4.0	25	400	2.8	2.2	1.1	1.6
14	12.5	0.80	25	200	4.5	20	200	25	400	3.5	25	400	2.6	2.2	1.2	1.1
14	10.5	0.75	25	200	5.0	20	200	25	400	4.0	25	400	2.6	2.2	1.6	1.1
14	9.0	0.70	25	200	5.0	20	200	25	400	4.0	25	400	2.6	2.2	1.2	1.0
14	7.5	0.70	25	200	5.0	20	200	25	400	4.5	25	400	2.6	2.2	1.2	1.6
14	6.0	0.70	25	200	5.5	20	200	25	400	4.5	25	400	2.6	2.2	1.0	1.6
12	12.5	0.75	25	200	*	-	-	25	400	4.0	25	400	2.5	2.2	1.6	1.1
12	10.5	0.70	25	200	*	-	-	25	400	4.5	25	400	2.5	2.2	1.6	1.5
12	9.0	0.65	25	200	*	-	-	25	400	4.5	25	400	2.5	2.2	1.4	1.4
12	7.5	0.60	25	200	*	-	-	25	400	4.5	25	400	2.5	2.2	1.2	1.5
12	6.0	0.60	25	200	*	-	-	25	400	4.5	25	400	2.5	2.2	1.0	1.6
10	12.5	0.75	25	200	*	-	-	25	400	4.5	25	400	2.5	2.2	1.6	1.1
10	10.5	0.70	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.6	1.5
10	9.0	0.65	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.4	1.4
10	7.5	0.60	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.2	1.5
10	6.0	0.60	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.0	1.6
8	12.5	0.75	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.6	1.1
8	10.5	0.70	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.6	1.0
8	9.0	0.65	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.4	1.4
8	7.5	0.60	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.2	1.5
8	6.0	0.60	25	200	*	-	-	25	400	*	25	400	2.5	2.2	1.0	1.6

\* = koko pituudelle

\* = koko pituudelle

Taulukko 10. Kannen teräspositiot 10–13. HL=6,0–12,5 m (2 pilaria/tukilinja).  
Vinous 0 gon.

HL=6,0-12,5m / Kannen vinous 0 gon																
Teräspositiot 10-13																
Jm [m]	HL [m]	h [m]	10				11		12			13				
			φ [mm]	kk [mm]	a1 [m]	j1 [m]	φ [mm]	kk [mm]	φ [mm]	kk [mm]	j1 [m]	φ [mm]	kk [mm]	j1 [m]	j2 [m]	a1 [m]
20	12.5	1.10	20	200	2.7	1.3	16	200	20	190	5.8	25	190	2.5	2.35	2.8
20	10.5	1.05	20	300	2.7	1.3	16	200	20	220	5.8	25	220	2.9	2.35	**
20	9.0	1.00	20	175	2.7	1.2	16	200	20	210	5.7	20	210	2.4	2.35	**
20	7.5	1.00	20	250	2.7	1.2	16	200	16	210	5.2	20	210	2.9	2.35	**
20	6.0	1.00	20	200	2.7	1.2	16	200	16	200	4.6	16	200	2.2	2.35	**
18	12.5	1.00	20	275	2.4	1.3	16	200	20	190	5.7	25	190	2.4	2.35	2.8
18	10.5	0.95	20	250	2.4	1.2	16	200	20	220	5.7	25	220	2.8	2.35	2.6
18	9.0	0.90	20	200	2.4	1.2	16	200	20	200	5.7	20	200	2.3	1.80	2.3
18	7.5	0.90	20	275	2.4	1.2	16	200	16	210	5.2	20	210	2.8	2.35	**
18	6.0	0.90	20	200	2.4	1.1	16	200	16	200	4.5	16	200	2.1	2.35	**
16	12.5	0.90	20	275	2.2	1.2	16	200	20	200	5.7	25	200	2.8	2.35	3.1
16	10.5	0.85	20	275	2.2	1.2	16	200	20	220	5.6	25	220	2.8	2.35	3.0
16	9.0	0.80	20	200	2.2	1.1	16	200	20	200	5.6	20	200	2.3	1.80	2.6
16	7.5	0.80	20	250	2.2	1.1	16	200	16	200	5.1	20	200	2.8	2.35	2.6
16	6.0	0.80	20	300	2.2	1.0	16	200	16	200	4.4	16	200	2.0	2.35	2.3
14	12.5	0.80	20	300	2.0	1.1	16	200	20	200	5.6	25	200	2.8	1.80	2.9
14	10.5	0.75	20	250	2.0	1.1	16	200	20	220	5.6	25	220	2.7	2.20	2.9
14	9.0	0.70	20	225	2.0	1.1	16	200	20	200	5.5	20	200	1.7	1.70	2.5
14	7.5	0.70	20	250	2.0	1.1	16	200	16	200	5.0	20	200	2.7	2.35	**
14	6.0	0.70	20	275	2.0	0.9	16	200	16	190	4.3	16	190	1.6	2.35	**
12	12.5	0.75	20	225	1.8	1.1	16	200	20	200	6.1	25	200	2.2	1.70	2.9
12	10.5	0.70	20	225	1.8	1.1	16	200	20	220	5.6	25	220	2.2	2.20	2.8
12	9.0	0.65	20	200	1.8	1.1	16	200	20	190	5.0	20	190	1.6	1.70	2.4
12	7.5	0.60	25	275	1.8	1.1	16	200	16	180	4.5	20	180	2.1	2.20	**
12	6.0	0.60	25	250	1.8	0.9	16	200	16	170	3.8	16	170	1.5	1.50	**
10	12.5	0.75	20	275	1.8	1.1	16	200	20	210	6.6	25	210	2.7	2.20	2.9
10	10.5	0.70	20	250	1.8	1.1	16	200	20	190	5.6	20	190	1.7	1.70	2.5
10	9.0	0.65	20	175	1.8	1.1	16	200	20	200	5.0	20	200	1.6	1.70	2.3
10	7.5	0.60	20	200	1.8	1.1	16	200	16	180	4.5	20	180	1.6	2.20	2.4
10	6.0	0.60	25	250	1.8	0.9	16	200	16	180	3.9	16	180	1.5	1.90	2.0
8	12.5	0.75	20	350	1.8	1.1	-	-	20	210	*	25	210	2.7	2.20	2.9
8	10.5	0.70	20	300	1.8	1.1	16	200	20	200	5.6	20	200	1.7	1.70	2.5
8	9.0	0.65	20	225	1.8	1.1	16	200	20	200	5.0	20	200	1.7	1.70	2.3
8	7.5	0.60	20	250	1.8	1.1	16	200	16	190	4.5	20	190	2.1	2.35	**
8	6.0	0.60	20	200	1.8	0.9	16	200	16	190	3.8	16	190	1.5	2.35	**

\* = koko pituudelle \*\* = yhtenäinen teräs koko  
leveydelle. Teräksen pituus  
muodostuu samaksi kuin  
pos 12.

Liite 2. Kannen raudoitustaulukot Excel-taulukossa

Taulukko jaettu kahteen kuvaan luettavuuden vuoksi

HL=6-12,5/ Kannen vinous 0 gon, Teräspositiot 1-2										HL=6-12,5 ja 12.5-19.5 / Kannen vinous 0 gon, Teräspositiot 3-6																								
Jm[m]	Hl[m]	h [m]	B[m]	Cm[m]	Eriksen pituus																													
					1			2			3			4			5			6														
					Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 1	Alue 2	Alue 3	Alue 1	Alue 2	Alue 3												
					alk	jako	alk	j2	jako	alk	j2	jako	alk	j2	jako	alk	j2	jako	alk	j2	jako	alk	j2	jako										
[m]			[m]			[m]			[m]			[m]			[m]			[m]																
20	12,5	1,0	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	2,0	0,100	0,016	8,0	0,125	0,01	0,3	6,6	1,9	2,1	197	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	0,5	0,03	0,4	2,0	18,00	0,03	0,2	0,2	3,5	20,0
20	10,5	1,05	5,37	0,045	0,016	0,150	0,016	2,0	0,150	0,016	8,0	0,125	0,01	0,3	7,0	1,9	1,9	124	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	0,5	0,03	0,4	2,0	18,00	0,03	0,2	0,2	3,5	20,0
20	9,0	1,09	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	2,0	0,150	0,016	8,0	0,125	0,01	0,3	7,0	1,5	1,8	116	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	0,5	0,03	0,4	2,0	18,00	0,03	0,15	0,15	3,5	20,0
20	7,5	1,00	3,98	0,045	0,016	0,200	0,016	2,0	0,175	0,016	8,0	0,125	0,01	0,3	7,1	1,2	1,6	101	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	0,5	0,03	0,4	2,0	18,00	0,03	0,15	0,15	3,5	20,0
20	6,0	1,00	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	2,0	0,175	0,016	8,0	0,125	0,01	0,3	7,5	1,2	1,5	85	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	0,5	0,03	0,4	2,0	18,00	0,03	0,15	0,15	3,5	20,0
18	12,5	1,00	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	3,0	0,125	0,016	8,0	0,125	0,01	0,3	6,1	1,9	2,0	146	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,5	15,50	0,02	0,25	0,25	4,5	18,0
18	10,5	0,95	5,57	0,045	0,016	0,150	0,016	2,5	0,150	0,016	6,5	0,125	0,01	0,3	6,1	1,7	1,9	125	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,5	15,50	0,02	0,25	0,25	4,5	18,0
18	9,0	0,90	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	2,5	0,150	0,016	6,5	0,125	0,01	0,3	6,5	1,5	1,9	108	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,5	15,50	0,02	0,25	0,25	4,5	18,0
18	7,5	0,90	3,98	0,045	0,016	0,175	0,016	2,5	0,175	0,016	6,5	0,125	0,01	0,3	6,4	1,2	1,6	90	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,5	15,50	0,02	0,25	0,25	4,5	18,0
18	6,0	0,90	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	2,5	0,175	0,016	6,5	0,125	0,01	0,3	7,6	1,1	1,5	76	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,5	15,50	0,02	0,2	0,2	4,5	18,0
16	12,5	0,90	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	3,0	0,125	0,016	5,0	0,150	0,01	0,3	5,5	1,9	2,0	136	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1,5	0,03	0,4	3,0	13,00	0,02	0,4	4,5	2,0	
16	10,5	0,85	5,57	0,045	0,016	0,125	0,016	3,0	0,125	0,016	5,0	0,150	0,01	0,3	5,9	1,7	1,9	117	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1,5	0,03	0,4	3,0	13,00	0,02	0,4	4,5	2,0	
16	9,0	0,80	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	3,0	0,150	0,016	5,0	0,150	0,01	0,3	5,5	1,4	1,7	101	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1,5	0,03	0,4	3,0	13,00	0,02	0,5	5,0	1,5	
16	7,5	0,80	3,98	0,045	0,016	0,175	0,016	3,0	0,150	0,016	5,0	0,150	0,01	0,3	5,4	1,2	1,5	84	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1,5	0,03	0,4	3,0	13,00	0,02	0,5	5,0	2,0	
16	6,0	0,80	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	3,0	0,175	0,016	5,0	0,125	0,01	0,3	5,3	1,1	1,5	69	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1,5	0,03	0,4	3,0	13,00	0,02	0,5	5,0	2,0	
14	12,5	0,80	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	7,0	0,125	0,016	5,0	0,15	0,01	0,3	4,6	1,9	1,9	129	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,02	0,4	2,0	12,00	0,02	0,4	3,5	4,0	
14	10,5	0,75	5,57	0,045	0,016	0,150	0,016	7,0	0,125	0,016	5,0	0,15	0,01	0,3	4,5	1,7	1,8	111	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,0	12,00	0,02	0,5	3,5	3,0	
14	9,0	0,70	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	7,0	0,150	0,016	5,0	0,15	0,01	0,3	4,6	1,4	1,6	97	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,0	12,00	0,02	0,5	3,5	1,2	
14	7,5	0,70	3,98	0,045	0,016	0,175	0,016	7,0	0,175	0,016	5,0	0,2	0,01	0,3	4,5	1,2	1,4	81	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,0	12,00	0,02	0,5	3,5	2,0	
14	6,0	0,70	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	7,0	0,200	0,016	5,0	0,2	0,01	0,3	4,7	1,1	1,4	67	0,200	0,150	0,03	0,2	0,03	0,4	1	0,03	0,4	2,0	12,00	0,02	0,2	3,5	2,0	
12	12,5	0,75	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	6,0	0,125	0,016	6,0	0,125	0,01	0,3	3,8	1,5	1,8	121	0,200	0,150	0,03	0,2	0,02	0,4	1,25	0,02	0,4	2,3	3,15	0,02	0,5	3,5	2,0	
12	10,5	0,70	5,57	0,045	0,016	0,150	0,016	6,0	0,150	0,016	6,0	0,150	0,01	0,3	4,1	1,5	1,7	104	0,200	0,150	0,03	0,2	0,02	0,4	1,25	0,02	0,4	2,3	3,15	0,02	0,5	3,5	2,0	
12	9,0	0,65	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	6,0	0,150	0,016	6,0	0,150	0,01	0,3	3,5	1,4	1,5	92	0,200	0,150	0,03	0,2	0,02	0,4	1,25	0,02	0,4	2,3	3,15	0,02	0,5	3,5	2,0	
12	7,5	0,60	3,98	0,045	0,016	0,175	0,016	10	0,175	0,016	5,0	0,2	0,01	0,3	3,4	1,2	1,3	78	0,200	0,150	0,03	0,2	0,02	0,4	1,25	0,02	0,4	2,3	3,15	0,02	0,5	3,5	2,0	
12	6,0	0,60	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	6,0	0,200	0,016	6,0	0,125	0,01	0,3	3,2	1,0	1,2	61	0,200	0,150	0,03	0,2	0,02	0,4	1,25	0,02	0,4	2,3	3,15	0,02	0,5	4,5	1,0	
10	12,5	0,75	6,63	0,045	0,016	0,125	0,016	5,0	0,125	0,016	3,0	0,15	0,01	0,3	3,3	1,4	1,8	114	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	1,8	8,25	0,02	0,4	2,0	4,4	
10	10,5	0,70	5,57	0,045	0,016	0,150	0,016	5,0	0,125	0,016	3,0	0,15	0,01	0,3	3,2	1,4	1,7	100	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	1,8	8,25	0,02	0,4	2,5	2,0	
10	9,0	0,65	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	5,0	0,150	0,016	3,0	0,15	0,01	0,3	2,9	1,3	1,6	88	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	1,8	8,25	0,02	0,4	2,5	2,0	
10	7,5	0,60	3,98	0,045	0,016	0,175	0,016	5,0	0,175	0,016	3,0	0,15	0,01	0,3	2,8	1,2	1,3	75	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	1,8	8,25	0,02	0,4	3,0	2,0	
10	6,0	0,60	3,18	0,045	0,016	0,200	0,016	5,0	0,200	0,016	3,0	0,15	0,01	0,3	2,6	1,0	1,2	59	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	1,8	8,25	0,02	0,4	3,0	2,0	
8	12,5	0,75	6,63	0,045	0,016	0,150	0,016	4,0	0,125	0,016	2,5	0,15	0,01	0,300	2,1	1,4	1,8	109	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	2,0	2,8	0,02	0,4	2,0	2,8	
8	10,5	0,70	5,37	0,045	0,016	0,150	0,016	4,0	0,125	0,016	2,5	0,15	0,01	0,300	2,6	1,4	1,6	95	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	2,0	2,8	0,02	0,4	2,0	2,8	
8	9,0	0,65	4,77	0,045	0,016	0,150	0,016	4,0	0,150	0,016	2,5	0,15	0,01	0,300	2,4	1,3	1,5	85	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	2,0	2,8	0,02	0,4	2,0	2,8	
8	7,5	0,60	3,98	0,045	0,016	0,175	0,016	4,0	0,175	0,016	2,5	0,15	0,01	0,300	2,3	1,2	1,3	73	0,200	0,150	0,02	0,2	0,02	0,4	1	0,02	0,4	2,0	2,8	0,				