



Teräsputkisiltojen algoritmiavusteinen mallintaminen

Anton Musakka

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2024

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talorakennustekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Talonrakennustekniikka

MUSAKKA, ANTON:

Teräsputkisiltojen algoritmiavusteinen mallintaminen

Opinnäytetyö 40 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Maaliskuu 2024

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin algoritmiavusteisen mallintamisen käyttöä teräsputkisilloissa. Työn tavoitteena oli luoda toimiva työkalu teräsputkisilloille, sekä selvittää tarvittavat lähtöparametrit. Opinnäytetyön tilaajana toimi Ramboll Finland Oy. Opinnäytetyö sisältää yrityksen luottamuksellista tietoa, joten yksityiskohtaiset kuvaukset algoritmin rakenteesta jätettiin esittelemättä julkisessa opinnäytetyössä. Tutkimuksessa käytettiin Rhino 3D-, Grasshopper- ja Tekla Structures-ohjelmaa.

Opinnäytetyössä luotiin toimiva työkalu teräsputkisiltojen mallintamiselle. Tiettyjä lähtöarvoja lisäämällä saadaan teräsputkisillasta mallinnus ja piirustus pienellä työllä. Työkalulla luodaan teräsputki sekä H2-luokan kaiteet. Työkalusta tehtiin käyttöohjeet selkeyttämään käyttöä, jotta siitä tulisi mahdollisimman käyttäjäystävällinen. Kirjallisessa osiossa perehdytään teräsputkisiltoihin ja niiden suunnitteluun. Tekemistä ohjasi yrityksen kokemus algoritmista mallintamisesta sekä pyrkimys käyttökelpoiseen lopputulokseen.

Algoritmiavusteisessa mallintamisessa on suuri potentiaali haastavien geometrioiden, kuten siltojen parissa. Tehokkuuteen pyritään monella eri osa-alueella, ja opinnäytetyössä käytetyt ohjelmat ovat tärkeässä asemassa mallintamista ja suunnittelua. Kehittämiskohteita tuli vastaan työn aikana, ja työkalua tullaan kehittämään myöhemmän kokemuksen ja käytön perusteella.

Asiasanat: algoritmiavusteinen mallintaminen, grasshopper, teräsputkisilta, teräs

ABSTRACT

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

MUSAKKA, ANTON:
Algorithm-Aided Modelling of Corrugated Steel Culvert Bridges

Bachelor's thesis 40 pages, appendices 3 pages
March 2024

In this thesis was explored of using algorithm-aided modelling of corrugated steel culvert bridges. The commissioner of the thesis was Ramboll Finland Oy. The purpose was to create an algorithm-aided modelling tool for corrugated steel culvert bridge. The thesis contains confidential information, which was not included in the public version.

Rhino 3D, Grasshopper and Tekla Structures were used in this study. The theoretical section explores corrugated steel culvert bridges as a structure and the basics of their design. The work was guided by the company's experience in algorithmic design and the aim to achieve a usable result.

Parametric tool for modelling corrugated steel culvert bridge was successfully created. A user manual was created to clarify the use of the tool to make it as user-friendly as possible. Algorithmic modelling has great potential for challenging geometries such as bridges. Efficiency is sought in many areas, and the software used in this thesis plays an important role in modelling and design. Areas for improvement were identified during the work, and the tool will be further developed based on subsequent experience and use.

Key words: algorithm-aided modelling, grasshopper, corrugated steel culvert bridge, steel

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	TERÄSPUTKISILTA	8
	2.1 Teräsputkisillat yleisesti	8
	2.2 Teräsputkisiltojen käyttö	9
	2.3 Teräsputkityypit.....	10
	2.3.1 Putken rakenne	10
	2.3.2 Putken muoto	11
	2.4 Materiaalit ja pintakäsittely.....	11
	2.5 Tilastot	12
	2.6 Käyttöikä	14
3	TERÄSPUTKISILTOJEN SUUNNITTELU	15
	3.1 Lähtötiedot	15
	3.2 Mitoitus.....	15
	3.3 Putken viiste ja suuntakulma.....	17
	3.4 Perustaminen	18
	3.5 Vierekkäiset putket.....	19
	3.6 Varusteet.....	20
4	ALGORITMIAVUSTEINEN MALLINTAMINEN	23
	4.1 Algoritmiavusteinen mallintaminen.....	23
	4.2 Ohjelmat.....	23
	4.2.1 Rhino 3D	23
	4.2.2 Grasshopper	23
	4.2.3 Tekla Structures	24
	4.3 Ohjelmien yhteistoiminta	24
	4.4 Algorit mipohjan luonti.....	25
	4.4.1 Lähtöparametrit.....	25
	4.4.2 TSV eli tasausviiva	26
	4.4.3 Poikkileikkaukset.....	26
	4.4.4 Putken leikkaus	28
	4.4.5 Kaiteet	28
	4.4.6 Tekla komponentit.....	29
	4.5 Lopputuote	30
5	POHDINTA	33
	5.1 Algoritmin tekoprosessi.....	33
	5.2 Jatkokehitys	34
	5.3 Yhteenveto.....	34

LÄHTEET	36
LIITTEET	37
Liite 1. Perustamistapojen ohjeelliset mallikuvat	37

ERITYISSANASTO

Alikäytävä	Rautatiesilta, joka johtaa kevyen-, traktori- yms. lähiliikenteen rautatien ali
Alikulkukäytävä	Silta, joka johtaa kevyen-, traktori- yms. lähiliikenteen rautatien ali
Putkisilta	Maahan upotettu aallotettu teräsputki tai holvi, joka toimii yhteisvaikutuksessa maan kanssa siltana. Putkisillan jänne-mitta vähintään kaksi metriä
Kvl	Keskimääräinen vuorokausiliikenne, yksikkö ajoneu-voa/vuorokausi
Algoritmi	Prosessi, joka koostuu järjestyksessä olevista toiminnoista
TSV	Väylän tasausviiva
Rhino	Rhinon 3D- pintamallinnusohjelma
Grasshopper	Visuaalisen ohjelmoinnin lisäosa Rhinolle
Tekla Structures	Teklan 3D-tietomallinnusohjelma
Tietomalli	Rakennuksen tietojen kokonaisuus digitaalisessa muo-dossa

1 JOHDANTO

Rakennusalalla suunnittelutyössä luodaan nykypäivänä lähes poikkeuksetta kohteen rakenteesta kolmiulotteinen tietomalli, jolla pystytään havainnollistamaan kohdetta tilaajalle, suunnittelijalle sekä työmaalle. Mallinnus on siis tärkeä osa lopputuotteen kannalta. Tämä on tärkeää, sillä tilaajalla ei välttämättä ole rakennettavan kohteen suunnittelusta kokemusta. Lisäksi mahdollisissa epäselvyyss- tai riitatilanteissa on helppo tarkastaa mallista mitä on tehty, ja verrata sitä esimerkiksi sopimukseen. Mallintaminen ja piirustusten tuotanto on usein todella aikaa vievää, varsinkin siltakohteissa. Algoritmiavusteinen mallintaminen säästää suunnittelutyössä käytettävää aikaa ja sitä kautta myös rahaa.

Opinnäytetyön aiheeksi valikoitui ”Teräsputkisiltojen algoritmiavusteinen mallintaminen”. Työn toimeksiantaja Ramboll Finland Oy ehdotti aihetta, sillä algoritmiavusteista mallinnusta käytetään kasvavissa määrin suunnitteluhankkeissa. Tarkoituksena on luoda toimeksiantajan toimintatapojen mukainen työkalu.

Opinnäytetyössä perehdyn teräsputkisiltojen mallintamisen ja piirustusten tuotannon tehostamiseen parametrissa suunnittelua hyödyntäen. Algoritmiavusteinen mallintaminen on osa parametrissa suunnittelua. Nykyään kuulee puhuttavan, että tulevaisuuden suunnittelu tapahtuu nappia painamalla. Tähän pisteeseen pääseminen vaatii kuitenkin vielä paljon kehitystä ja kokemusta, mutta pyrkimys automatisoituun suunnitteluun on suuri. Opinnäytetyön aiheen rajaamisen taustalla on pilkkoa algoritmiavusteiset työkalut pienempiin osiin, jotta niiden käyttö olisi helpompaa ja mahdolliset virheet on helpompi löytää.

Teräsputkisilloista ja käytettävistä ohjelmista on itsellä vielä paljon opittavaa. Aiheen taustalla on halu oppia käyttämään uusia ohjelmia, sekä tutustua parametrisen suunnitteluun. Tiedän saavani opinnäytetyöstä todella arvokasta oppia jatkoa ajatellen.

2 TERÄSPUTKISILTA

2.1 Teräsputkisillat yleisesti

Putkisilloiksi määritellään vapaa-aukoltaan vähintään kaksimetriset teräspuutket tai holvit, jotka muodostavat sillan tai alikäytävän vesistölle tai tielle (kuva 1). Teräspuutkisillat ovat maahan upotettuja aallotettuja teräspuutkia. Aallotetulla profiililla ja holvimaisella muodolla saadaan aikaiseksi tukeva rakenne, joka yhdessä maan kanssa ottaa ylittävän tien kuormat vastaan. Ulkonäkö ja sopivuus ympäristöön on tarkastettava kaikissa kohteissa erikseen, ja vaadittuja määräyksiä noudatettava.



KUVA 1. Teräspuutkisilta. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

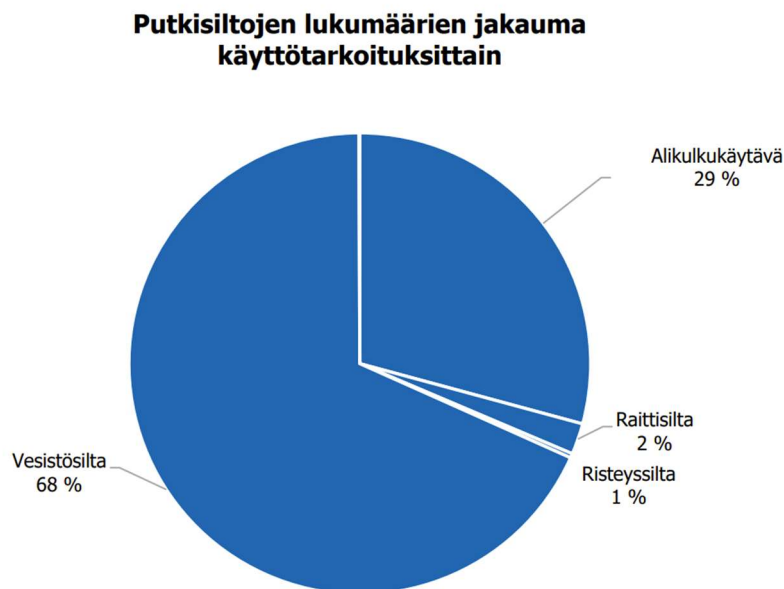
2.2 Teräspankksiltojen käyttö

Teräspankksiltoja voidaan käyttää

- rautatiesiltoina
- vesistösiltoina
- ulkoilun tai maatalouden tarpeisiin
- alikulkukäytävänä ja alikäytävänä (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Suurin osa putkissilloista on vesistösiltoja. Vuonna 2021 68 % putkissilloista oli vesistösiltoja (kuvio 1). Vesistösiltojen käyttötarkoituksen kannalta tärkein huomioitava asia on veneliikenne. Muuten tyyppi valitaan lähinnä vaaditun aukon koon ja kunnossapitönäkökohtien perusteella. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Alikulkukäytävän tyyppin valinnan perusteena toimivat liikenne, maatalous ja ulkoilu. Myös kunnossapidon kriteerit on otettava huomioon eli arvioitava, että tarvitaanko koneellista kunnossapittoa vai ei. (Liikenneviraston ohjeita 2014)



KUVIO 1. Putkissiltojen lukumäärien jakauma käyttötarkoituksittain. (Väyläviraston julkaisu 53/2022)

2.3 Teräsputkityypit

2.3.1 Putken rakenne

Rakenteeltaan teräsputket jaetaan kahteen ryhmään, kierresaumattuun rakenteeseen (kuva 2) ja monilevyrakenteeseen (kuva 3). Kierresaumattu rakenne valmistetaan saamaamalla tai hitsaamalla teräsnauhaa. Monilevyrakenteen valmistetaan kokoamalla aallotettuja teräslevyjä. Kummankin rakenteen on täytettävä standardien mukaiset vaatimukset, jotka määrittellään rakenteen mukaan. (Liikenneviraston ohjeita 2014)



KUVA 2. Kierresaumattu teräsputki. (Pat Steelway Oy. n.d.)



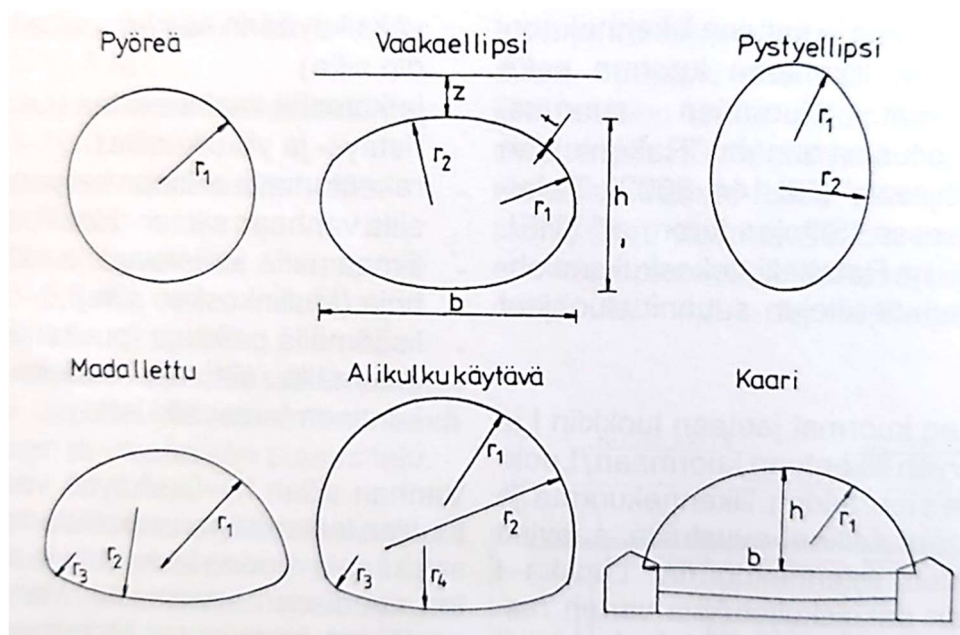
KUVA 3. Monilevyrakenteen. (Wahlroos 2022)

2.3.2 Putken muoto

Teräsputkien yleisimmät muodot (kuvio 2):

- pyöreä
- matalarakenteinen
- alikulkukäytävätyyppi
- elliptinen ja vaakaelliptinen
- teräsholvi/kaari (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Muotoa ja kokoa valittaessa huomioidaan myös mahdollisuus käyttää kahta tai useampaa putkea vierekkäin, jos esimerkiksi virtaama on suuri ja korkeutta vähän käytettävissä. Putket voivat olla keskenään myös eri kokoisia. (Liikenneviraston ohjeita 2014)



KUVIO 2. Teräsputkien muodot (Aitta 2006).

2.4 Materiaalit ja pintakäsittely

Tässä työssä rajataan materiaaliksi teräs, sillä se on käytetyin materiaali, ja luonnollisesti valikoitui materiaaliksi tässä työssä. Taulukon 1 mukaan teräs kattaa materiaalina noin 99 % valmiina olevista putkisilloista. Materiaaliominaisuuksiltaan sitä on helppo muokata vaativiin muotoihin.

Pintakäsittelyssä käytetään metallisia ja ei-metallisia pinnoitteita. Metallinen pinnoite tehdään kuumasinkityksellä. Ei-metallisia pinnoitteita ovat maalit ja polymeeripinnoitteet, kuten epoksi, polyuretaani ja polyeteeni. Ei-metallisia pinnoitteita käytetään lisäsuojausmenetelminä. Sinkitys ja lisäsuojaukset eivät aiheuta vaaraa ympäristölle, sillä ne kuluvat hitaasti ja pieninä osuuksina. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

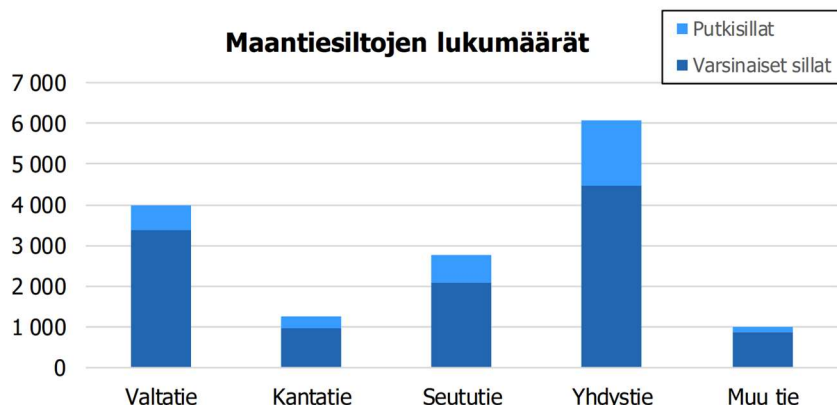
TAULUKKO 1. Sillat tien toiminnallisen luokan ja päärakennusmateriaalin mukaan. (Väyläviraston julkaisuja 53/2022)

Toiminnallinen luokka	Varsinainen silta								Putkisilta			Silloja yhteensä		
	Päärakennusmateriaali								Ei tietoa	Päärakennusmateriaali				
	Teräs- betoni	Jännitetty betoni	Teräs					Kivi	Puu		T.bet.		Teräs	Muu
			Kansimateriaali				Yht.							
		T.bet.	Teräs	Puu	Ei tietoa	Yht.								
Valtatie	2877	376	59	1		60	7	1	4	4	616	1	3946	
Kantatie	864	93	19	4		23	2		1	2	308		1293	
Seututie	1802	206	85	5	11	101	31	4	1	5	652	4	2806	
Yhdystie	2927	385	201	20	339	560	101	510	2	15	1580	7	6087	
Kevyenliikenteen tie	1				1	1							2	
Ramppi	2												2	
Ei tiedossa	311	317	52	7	46	105	26	81	3		114		957	
Yhteensä	8784	1377	416	37	397	850	167	596	11	26	3270	12	15093	

2.5 Tilastot

Suomessa oli vuonna 2023 Väyläviraston omistamia maantiesilloja yhteensä 15 117 kpl, joista putkisilloja 3 338 kpl (taulukko 2). Lukumäärällisesti eniten maantie- ja putkisilloja on yhdysteillä. Luokkaan "Muu tie" sisältyvät esimerkiksi kävely- ja pyöräilyväylillä sijaitsevat sillat sekä moottoritien ylittävät yksityistiet. (Väyläviraston ohjeita 9/2023)

TAULUKKO 2. Siltojen lukumäärät maanteillä jaoteltuna toiminnallisen luokan mukaan. (Väyläviraston ohjeita 9/2023)



Taulukossa 3 on kuvattuna siltojen lukumäärät valmistumisvuosien mukaan. Lukumäärät ovat pysyneet melko tasaisina 60-luvulta lähtien. Pinta-ala on esitetty neliömetreinä (m²).

TAULUKKO 3. Siltojen jakauma valmistumisvuoden mukaan. (Väyläviraston julkaisuja 53/2022)

Valmistumisvuosi	Lukumäärä	Pinta-ala
<1950	17	1 569
1950-1954	5	479
1955-1959	8	452
1960-1964	134	4 304
1965-1969	227	6 353
1970-1974	221	5 756
1975-1979	287	8 273
1980-1984	262	8 923
1985-1989	265	6 199
1990-1994	384	11 166
1995-1999	258	13 230
2000-2004	284	11 524
2005-2009	383	14 500
2010-2014	286	9 372
2015-2020	287	8 649
Yhteensä	3 308	110 747

2.6 Käyttöikä

Teiden teräsputkisiltojen normaali suunnittelukäyttöikä on viisikymmentä vuotta ja rautatiesiltojen sata vuotta. Jos putkisilta sijaitsee vilkasliikenteisen tien (kvl > 3000 ajon. /vrk) alla tai peitesyvyys on yli kolme metriä, myös tien putkisillan suunnittelukäyttöikä on sata vuotta. Kvl tarkoittaa keskimääräistä vuorokausiliikennettä.

Tässä tavoitellun käyttöiän edellytyksenä on vaatimusten mukainen rakentaminen ja huolellinen ylläpito. Myös rakennepaksuuksilla ja pinnoitteilla on mahdollista pidentää käyttöikää. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

3 TERÄSPUTKISILTOJEN SUUNNITTELU

3.1 Lähtötiedot

Ympäristötekijät

Sillan soveltuminen ympäristöön, sekä mahdolliset ympäristövaatimukset, kuten luonnonsuojelu tulee selvittää. Vesistö sillan kohdalla myös vesistöihin ja veden virtaukseen liittyvät asiat tulee huomioida. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Pohjasuhteet

Siltapaikan pohjasuhteet tulee selvittää, jotta saadaan selvyys perustamisolosuhteista. Pohjasuhteet tulee täyttää tarvittavat standardit, ohjeet, kansalliset liitteet ja eurokoodit. Vaihtelevissa pohjaolosuhteissa tulee yleensä selvittää pohjasuhteet riittävällä laajuudella, jotta silta voidaan sijoittaa mahdollisimman kustannustehokkaaseen paikkaan. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Alus- ja ympäristötäytöt

Alus- ja ympäristötäytöt tulee täyttää InfraRYL 206 mukaiset laatuvaatimukset. Vaatimuksista voidaan kuitenkin tilaajan suostumuksella poiketa erityisratkaisuilla, kuten pienemmillä ympäristytäytöillä. Tällöin kuitenkin yleensä tarvitaan korvaavia ratkaisuja, kuten esimerkiksi betonointia. Suunnittelija määrittää alus- ja ympäristytäytölle tiiviysvaatimuksen, joka ilmoitetaan kuivairtotilavuuspainona. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

3.2 Mitoitus

Teräsputkisiltojen mitoittaminen riippuu paljolti käyttökohteesta. Esimerkiksi putkisiltaan kohdistuvat kuormat ovat hyvin erilaiset, jos putki on esimerkiksi kevyen liikenteen tai rautatien siltana. On siis oltava tarkkana mitä eurokoodia tai standardia käyttää. Kuormat jakautuvat maan ja teräsrakenteen välillä ja ne lasketaan käytettävän mitoitusmenetelmän mukaan.

Tiesillat

Teräsputkisillan tieliikennekuorma on määritetty eurokoodin soveltamisohjeessa Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet - NCCI 1 /11/. Kaistojen ulkopuolella oleville alueille ei lasketa kuormia. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Rautatiesillat

Rautatiesilloissa käytetään tiesilloissa mainittua eurokoodia, sekä standardin SFS-EN 1991-2 /3/ mukaista junakuormaa. Mitoituksessa otetaan myös huomioon raiteiden lukumäärä, ja yksi raiteista valitaan mitoituksen kannalta määrääväksi. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Kevyen liikenteen sillat

Oletuksena kevyen liikenteen sillat mitoitetaan NCCI 1/11 mukaan tasaisesti jakautuneelle tungoskuormalle ja standardin EN 1991-2 kuvan 5.2 mukaisesti 12 tonnin huoltoajoneuvolle. Nämä kuormat eivät mitoituksen puolesta sijaitse sillalla samaan aikaan. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Putki

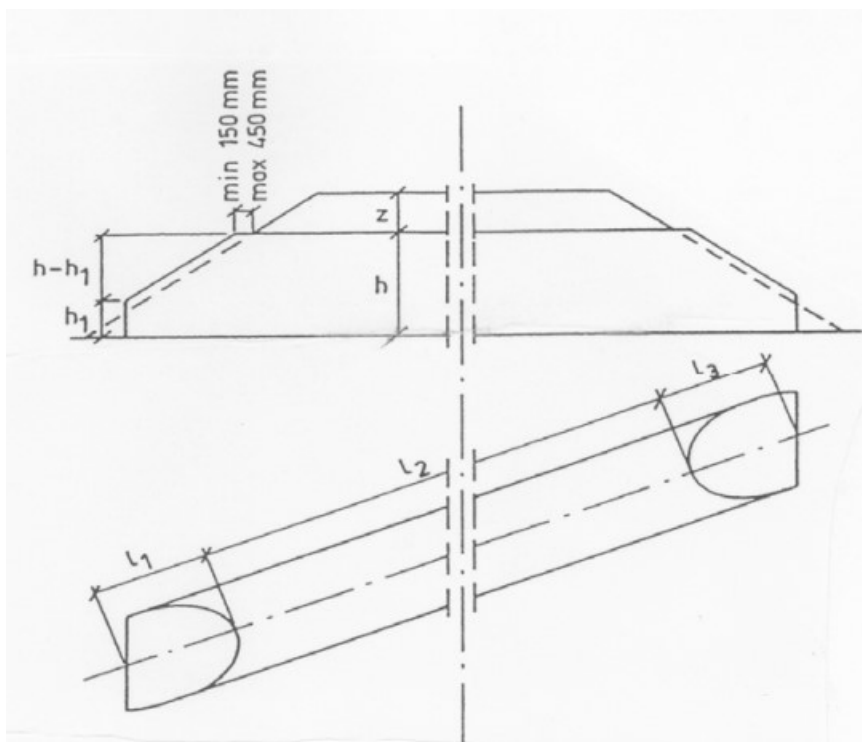
Teräsrakenne mitoitetaan käyttö- ja murtorajatilassa eurokoodien SFS-EN 1993-1-1 /4/, SFS-EN 1993-2 + AC /7/, SFS-EN 1993-1-8 /5/ ja SFS-EN 1993-1-9 /6/ mukaisesti. Rakenteen on oltava niin kestävä, että se ei menetä kantavuuttaan murtumisen, myötäämisen tai lommahtamisen takia. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Liitokset

Teräsputkisillan liitokset mitoitetaan eurokoodien SFSEN 1993-1-8 /5/ ja SFS-EN 1993-2 /7/, sekä eurokoodin NCCI 1/11 mukaan. Pulttien ja aluslevyjen on oltava standardin EN 1090-2 /25/ mukaisia. Liitokset valmistetaan liukumattomiksi riittäväällä esijännitysvoimalla ja laskennallisella kiristysväätömomentilla. Pulteilla tulee olla myös riittävä reunaetäisyys ja keskiöväli. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

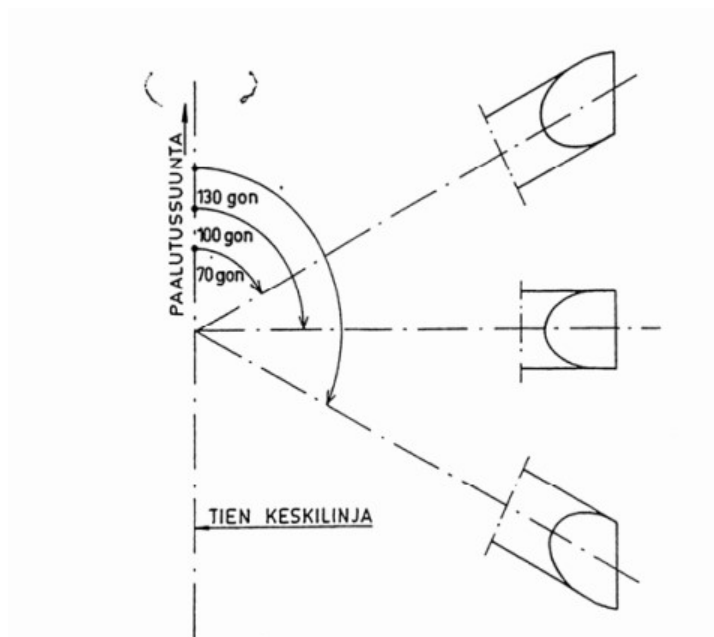
3.3 Putken viiste ja suuntakulma

Putken päät viistetään yleensä luiskan kaltevuuteen. Viiste aloitetaan kolmasosa putken korkeudesta, joka on ilmoitettu muuttujalla h_1 (kuvio 3). Viisteosan taipuma sisäänpäin ei saa aiheuttaa merkittävää poikkileikkauksen kaventumista.



KUVIO 3. Putken pituuden ja viistesuhteen määrittäminen. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Putken päiden katkaisemisessa on otettava huomioon suuntakulma (kuvio 4). Putki pyritään sijoittamaan ensisijaisesti kohtisuoraan tien alitse. Tiesilloissa suuntakulmien suositusarvot ovat välillä 70-130 gon (kuvio 3). Rautatiesilta tulee sijoittaa kohtisuoraan radan alitse. (Liikenneviraston ohjeita 2014)



KUVIO 4. Suuntakulma. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

3.4 Perustaminen

Suunnittelussa katsotaan maapohjan ja rakenteen kestäminen sekä rakennus-
että käyttöaikana. Rakenteen vaikutus pohjaveteen sekä tarvittavien maatäyt-
töjen vaikutus huomioitava myös. Routivalle pohjamaalle perustettaessa on täytet-
tävä Sillan geotekninen suunnittelu /35/-ohjeen vaatimukset. (Liikenneviraston
ohjeita 2014)

Teräsputkisilta perustetaan yleensä joko kaivannon pohjalle tai yhtenäisen paa-
lulaatan päälle. Teräsholvisillan teräsbetonianturat voidaan perustaa myös suo-
raan paalujen varaan. Yleiset ohjeelliset perustamistavat löytyvät liitteestä 1. (Li-
ikenneviraston ohjeita 2014)

Painuma ei saa aiheuttaa haittaa liikenteelle. Painuman määrittämisessä otetaan
huomioon mm. ympäristäytön lisäkuormitus, pohjaveden pinnan aleneminen ja
yläpuolinen liikenne. Teräsputkisillan keskikohta painuu enemmän kuin putkien
pääet kuormituksen jakautumisen takia. Putken pituussuuntaista taipumaa voi-
daan kuitenkin kompensoida esikorotuksella, joka voi olla enintään puolet laske-
tusta taipumasta. Sallitut taipumat löytyvät taulukosta 4. (Liikenneviraston ohjeita
2014)

Putken alapinnan pituus (m)	Sallittu taipuma (mm)
10	$60 / H_k$
15	$140 / H_k$
20	$250 / H_k$
30	$560 / H_k$
60	$1250 / H_k$
H_k = putken kokonaiskorkeus (m).	
Väliarvot interpoloidaan suoraviivaisesti.	

TAULUKKO 4. Teräsputken sallitut taipumat. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

3.5 Vierekkäiset putket

Jos on tarpeellista käyttää vierekkäisiä putkia, niin riittävän sivupaineen takaamiseksi on käytettävä riittävää etäisyyttä putkien välillä (taulukko 5). Kuvassa 4 on esiteltyä vierekkäiset putket.

TAULUKKO 5. Vierekkäisten putkien vähimmäisetäisyys. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Teräsputkisillat	Vähimmäisetäisyys
$D \leq 10$ m	1,0 m
$D > 10$ m	$D / 10$
Teräsholvisillat	Vähimmäisetäisyys
$D \leq 6$ m	0,6 m
$D > 6$ m	$D / 10$



KUVA 4. Rakennusfakta n.d.

3.6 Varusteet

Tärkeimpiä varusteita putkisilloissa on:

- kuivatuslaitteet
- valaistuslaitteet ja kiinnikkeet
- tarkkailutapit
- kaiteet
- maadoitus (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Kuivatus

Kuivatuksessa on huomioitava pintavesien johtaminen rakenteesta poispäin kouruilla, putkilla tai kokonaisvaltaisella sadevesijärjestelmällä. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

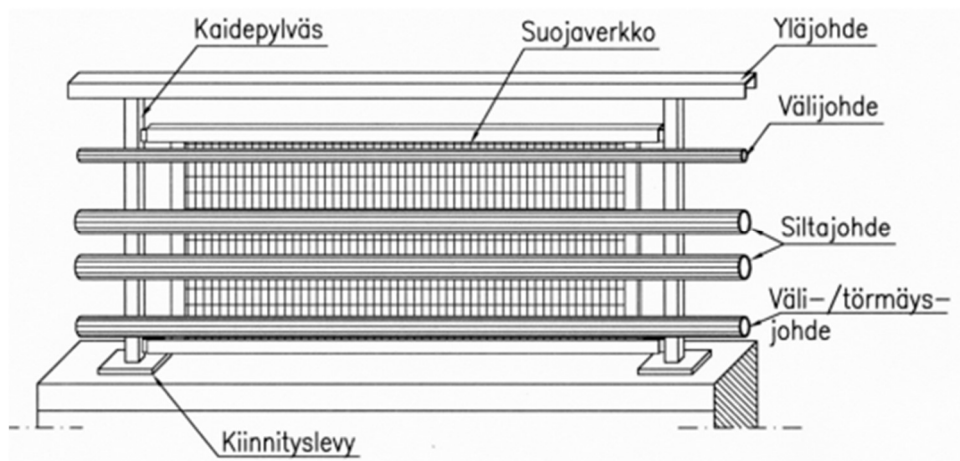
Valaistuslaitteet ja kiinnikkeet

Alikulkukäytävissä käytetään usein valaisimia ja kaapelikiskoja. Valaistus toteutetaan erillisen valaistussuunnitelman mukaisesti. Vetotankoa voidaan tarvita kaapeissa vesistöisilloissa, joissa on veneliikennettä. Vetotanko helpottaa myös sillan tarkastuksessa. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Kaiteet

Kaikilla silloilla on oltava siltakaiteet, jotka takaavat kaikille sillan ylittäjille ja alittajille turvallisen liikkumisen (Väylävirasto 2022). Kaiteet valmistetaan yleensä kuumasinkitetystä teräksestä, mutta voidaan myös valmistaa betonista. Kuviossa 5 on esitetty kaiteen rakenneosien nimiä. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Kaiteiden mallinnus on tärkeä osa teräsputkisillan mallintamista. Siltakaide suunnitellaan sillan suunnittelun yhteydessä. Kaiteen yleistiedot sekä kaiteen jatkuminen penkereellä esitetään sillan pää-/yleispiirustuksessa. (Liikenneviraston ohjeita 2014)



KUVIO 5. Kaiteen rakenneosien nimiä. (Väylävirasto 2022)

Putkisilloissa käytetään luokan H2 tai N2 kaiteita. Kaiteen valinta tapahtuu yleisesti törmäyskestävyyden ja vapaa-aukon mukaan (kuvio 6). Tässä opinnäytetyössä mallintamisessa on käytetty H2-luokan kaidetta. (Liikenneviraston ohjeita 2014)

Törmäyskestävyysluokka	Va [m]	Huom.
H2	≥ 4	Myös kun $Va < 4$ m, jos aukon etäisyys tien reunasta on alle metrin.
N2, jonka toimintaleveys $N2W_n$ on enintään 2,1 m	< 4	Kevytliikenne on kielletty ylittävällä väylällä ja aukon etäisyys tien reunasta on vähintään metri.
N2 + korotusosa, jonka toimintaleveys $N2W_n$ on enintään 2,1 m	< 4	Kevytliikenne on sallittu ylittävällä väylällä ja aukon etäisyys tien reunasta on vähintään metri.

Va on sillan vapaa-aukko tai putken halkaisija

KUVIO 6. Maatäyteen sillan kaiteiden vaatimukset. (Väylävirasto 2022)

4 ALGORITMIAVUSTEINEN MALLINTAMINEN

4.1 Algoritmiavusteinen mallintaminen

Algoritmiavusteisen mallintamisen tavoitteena on mahdollistaa nopeamman ja haastavampien geometrioiden suunnittelun tarvittavien lähtötietojen pohjalta. Tanskan ja Österlundin (2014, 20) mukaan algoritmi tarkoittaa suoritettavaa komentosarjaa. Se kuvaa yksityiskohtaisesti määriteltyjä tehtäviä, jotka suoritetaan aina tarkasti ohjeiden mukaan ja niiden määräämässä järjestyksessä. Algoritmi luodaan tietyn päämäärän saavuttamiseksi, kuvaamalla siihen johtavat osatehtävät tarkasti ja yksiselitteisesti. Mikäli algoritmin lähtöarvoja tai sen perusrakennetta ei muuteta, on saavutettu lopputulos aina sama jokaisella suorituskerralla (Tanska & Österlund 2014,20.)

4.2 Ohjelmat

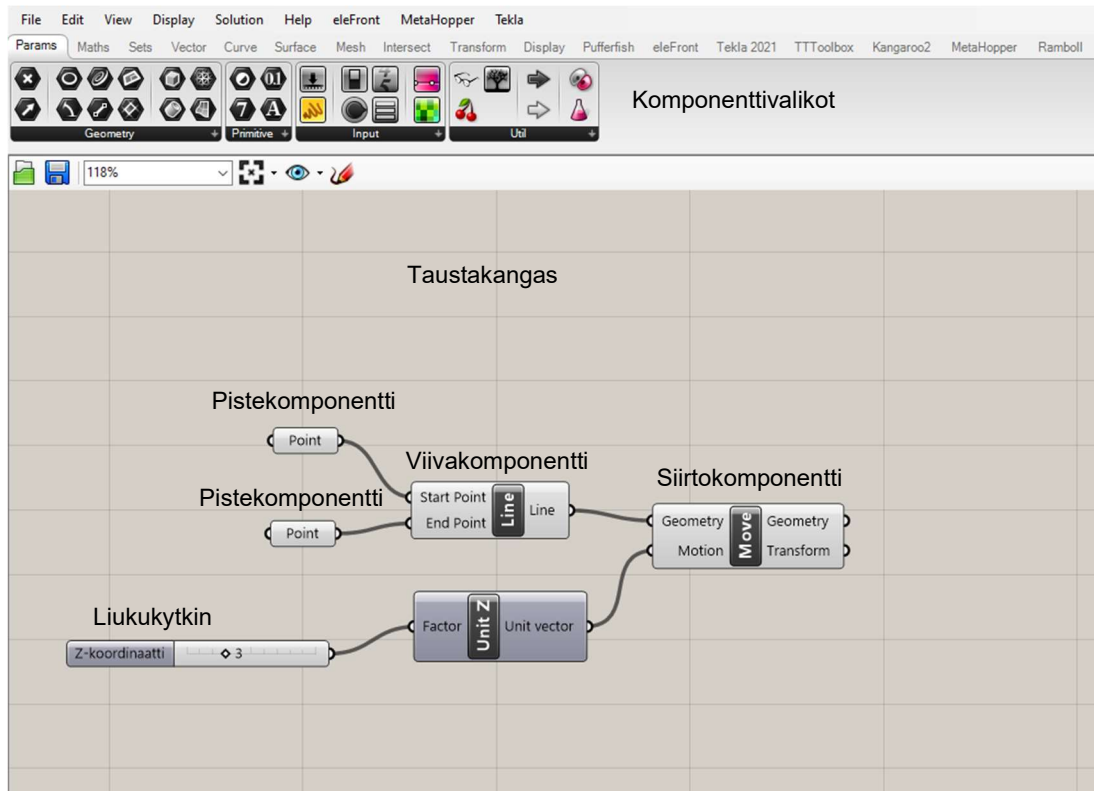
4.2.1 Rhino 3D

Rhino on NURBS-pintamallinnusohjelma, jonka avulla voidaan tuottaa monimuotoisia ja haastavia kolmiulotteisia geometrioita. NURBS on matemaattinen malli, jota käytetään käyrien ja pintojen luomiseen ja esittämiseen. Rhinon lisäosana toimii suunnittelussa paljon käytetty Grasshopper. Tässä työssä on käytetty Rhino 7 versiota. (Rhino3d, n.d.)

4.2.2 Grasshopper

Grasshopper on Rhinon yhteydessä toimiva visuaalisen ohjelmoinnin ohjelma, joka sisältää ohjelmointikielen ja työympäristön. Grasshopperissa visuaalista ohjelmointia luodaan komponenttien avulla sen taustakankaalle (kuvio 7). Luodut komponentit suorittavat niille määritellyn toiminnon, ja ohjaavat Rhinon työkaluja ja ominaisuuksia. Komponentteja yhdistelemällä päästään haluttuun tavoitteeseen. Grasshopperissa voidaan käyttää myös tekstimuotoista ohjelmointia myös,

esimerkiksi Python-ohjelmointikielellä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin pelkästään visuaaliseen ohjelmointiin. (Grasshopper3D, n.d.)



KUVIO 7. Grasshopperin käyttöliittymä ja taustakangas.

4.2.3 Tekla Structures

Tekla Structures on rakennesuunnittelussa yleisesti käytetty tietomallinnusohjelma, josta käytetään puhekielessä nimitystä Tekla. Se perustuu 3D-mallintamiseen, joka sisältää paljon valmiita komponentteja sekä toimintoja erilaisten rakenteiden mallintamiseen. Ohjelma tukee monipuolisesti eri rakennusmateriaaleja, kuten terästä, betonia ja puuta. Teklalla voidaan tuottaa myös esimerkiksi 2D piirustuksia ja luetteloita. Mallien samanaikainen käyttö mahdollistaa sujuvan yhteistyön projekteissa. (Trimble. 2024. Tekla Structures)

4.3 Ohjelmien yhteistoiminta

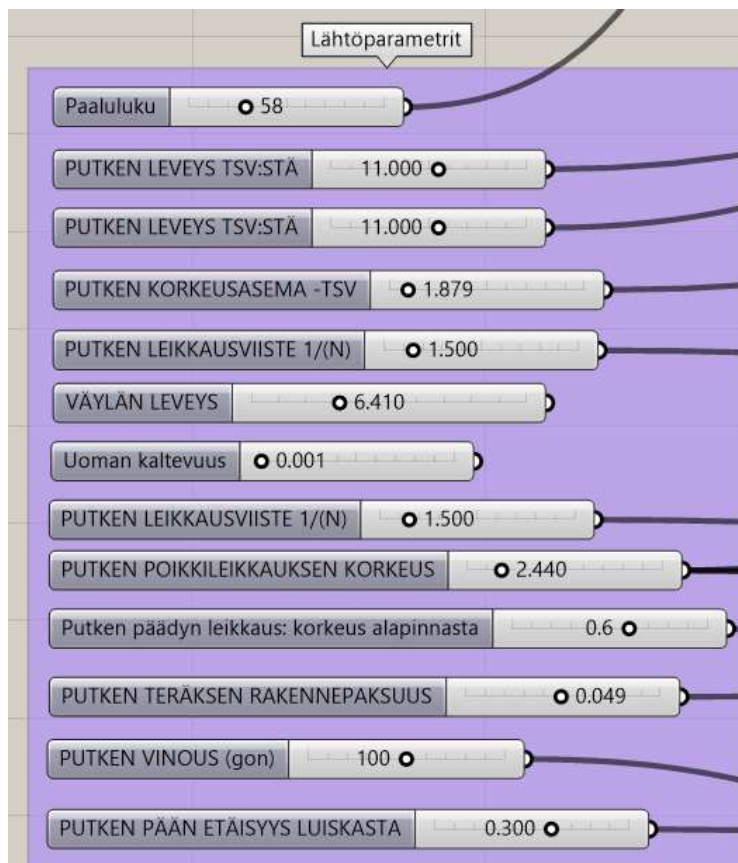
Edellä mainitut ohjelmat toimivat toistensa kanssa yhteistyössä, ja tehdyt muutokset päivittyvät reaaliaikaisesti. Grasshopperista saadaan tietomallia Teklaan

sen lisäosan Tekla live linkin avulla. Tiedonsiirto ohjelmien välillä tarjoaa monipuolisen lähtökohdan suunnittelulle. Teklan avulla voidaan hyödyntää sen valmiita komponentteja esimerkiksi tiekaiteiden osalta, joka nopeuttaa mallintamista. Lisäksi piirustusten tuotanto onnistuu huomattavasti nopeammin, kun malli saadaan luotua Grasshopperin avulla.

4.4 Algoritmipohjan luonti

4.4.1 Lähtöparametrit

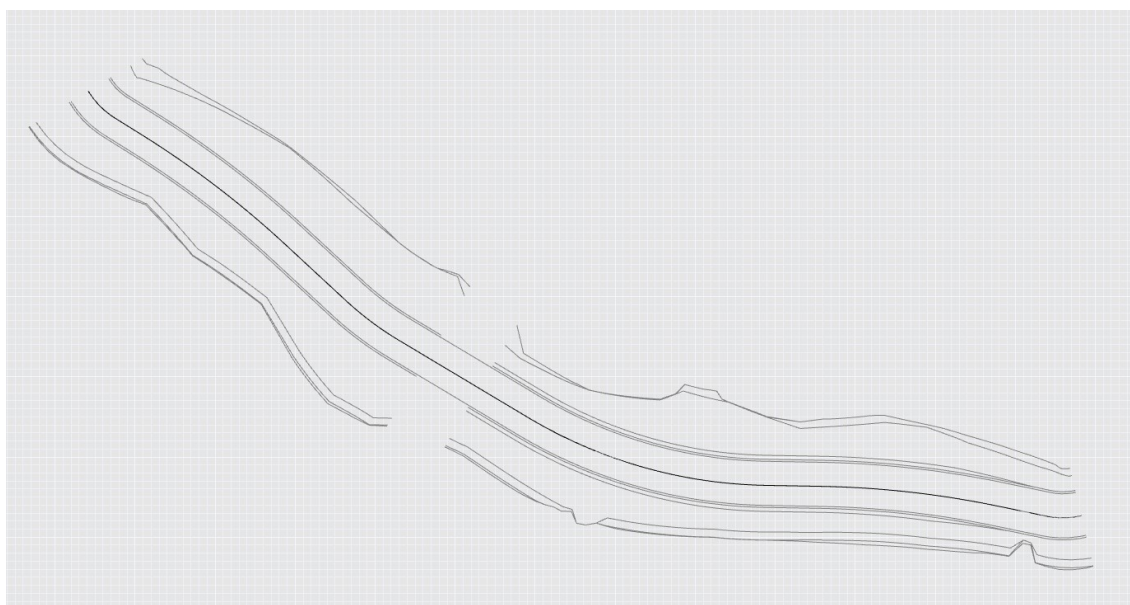
Lähtötiedot syötetään tässä työssä liukukytkimiin, josta voi säätää numeerista arvoa haluttuun tilanteeseen (kuvio 8). Grasshopperista löytyy myös muita tapoja syöttää lähtötietoja. Esimerkiksi vakioarvojen syöttämisessä ei kannata antaa käyttäjälle mahdollisuutta muuttaa arvoa, jotta vältetään virheitä. Liukukytkimen arvoja voidaan vaihtaa liu'uttamalla komponentin kytkintä tai kirjoittamalla arvo. Liukukytkimen käytön hyvänä puolena on, että halutut arvot voidaan rajata tietyille arvojoukolle.



KUVIO 8. Grasshopperiin syötettävät lähtöparametrit

4.4.2 TSV eli tasausviiva

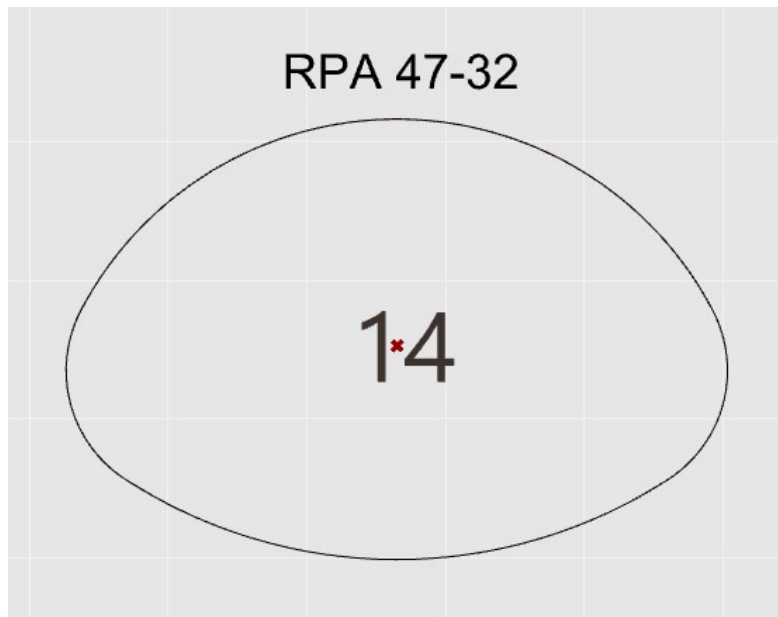
TSV on olennainen osa algoritmin toimintaa. Rhinoon lisättiin lähtötiedoksi vanhan projektin tien TSV eli tasausviiva, jonka mukaan putki sijoitettiin oikealle paikalle (kuvio 9). Lähtötiedossa oli myös tien reunalinjat, joiden avulla pääsee sijoittamaan kaiteet oikealle paikalle. TSV mukailee tien oikeaa geometriaa eli vastaa todellista tilannetta luonnossa. Teräsputki sijoitetaan paaluluvun mukaan oikeaan kohtaan tasausviivalla. Paalulukku kertoo sijainnin tasausviivalla, esimerkiksi paalulukku 50 on 50 metrin päässä TSV:n alkupisteestä.



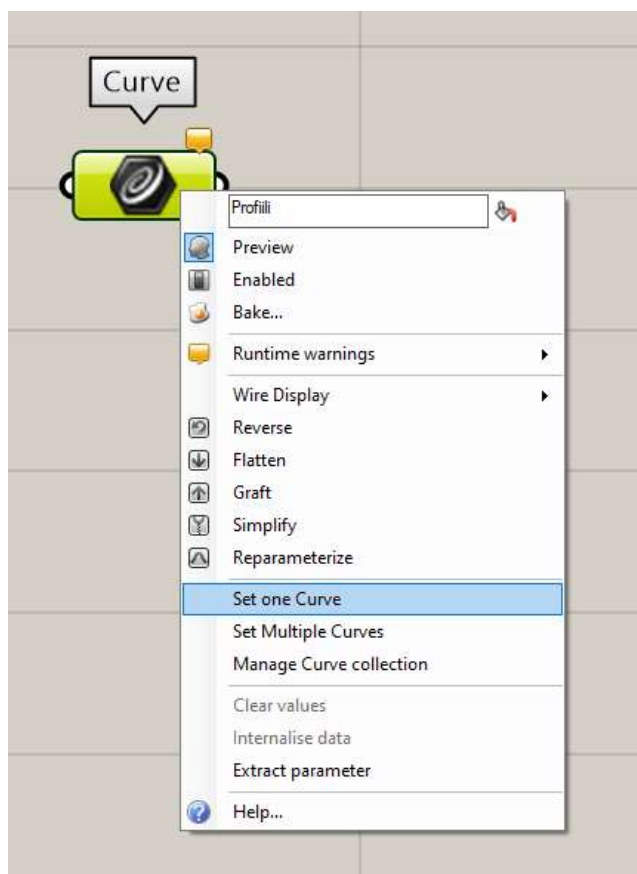
KUVIO 9. TSV Rhinossa.

4.4.3 Poikkileikkaukset

Haluttu poikkileikkaus syötetään Rhinon puolelle origoon (kuvio 10). Poikkileikkaus syötetään aluksi pelkkänä viivana, jossa on määritelty profiilin kehä. Teräsputkisilloille on useita eri kokoisia ja mallisia profiileja, joten työkalun liitteenä löytyy kirjasto eri poikkileikkauksista. Poikkileikkaus valitaan Grasshopperin puolella aktiiviseksi kuvion 11 mukaisesti. Profiilin poikkileikkaus sijaitsee ensin tasossa, jonka jälkeen se orientoidaan origopisteestä paikallisen koordinaatiston mukaiseen sijaintiin. Putken molempiin päihin orientoidaan poikkileikkaus, ja niiden välille tehdään Loft-komennolla yhtenäinen geometria. Haasteena on poikkileikkauksen ja sillan sijainnin tasojen yhtäaikainen hallinnoiminen, jotta niiden yhteistoiminta säilyy.



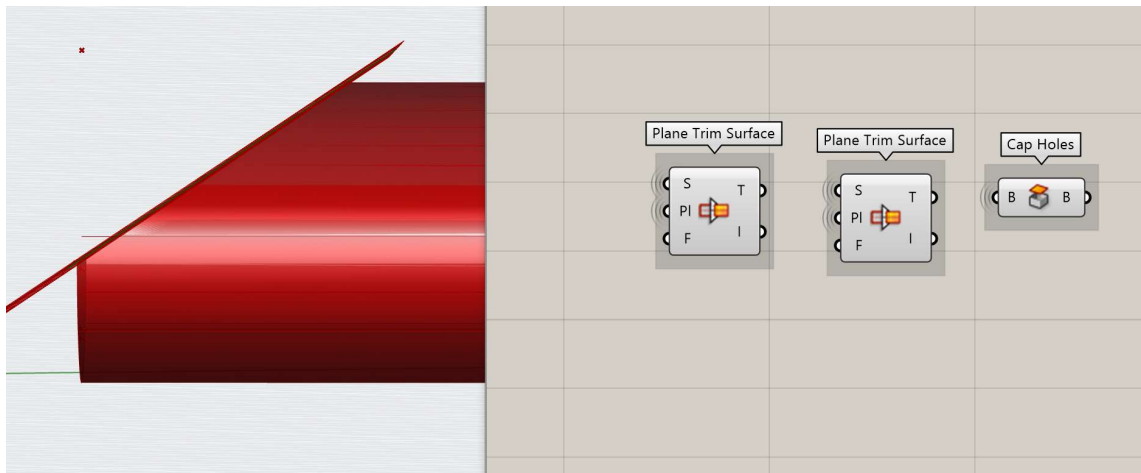
KUVIO 10. Poikkileikkaus Rhinossa



KUVIO 11. Poikkileikkauksen valinta Grasshopperissa

4.4.4 Putken leikkaus

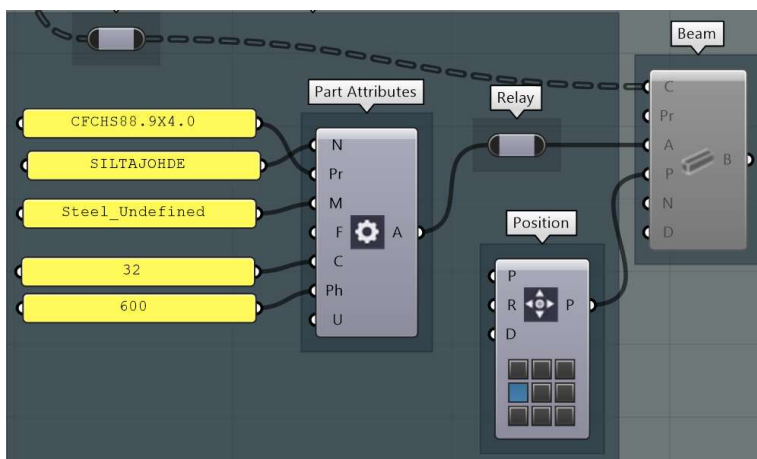
Putki leikataan käyttämällä planea eli tasoa (kuvio 12). Putki leikataan luiskan kaltevuuden mukaan, ja leikkaavan tason kulmaa, korkeutta ja putken pituussuuntaa voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Putken leikkaaminen aiheutti haasteita, sillä putken päät jäivät avoimiksi leikkauskohtien osalta.



KUVIO 12. Teräsputken leikkaaminen.

4.4.5 Kaiteet

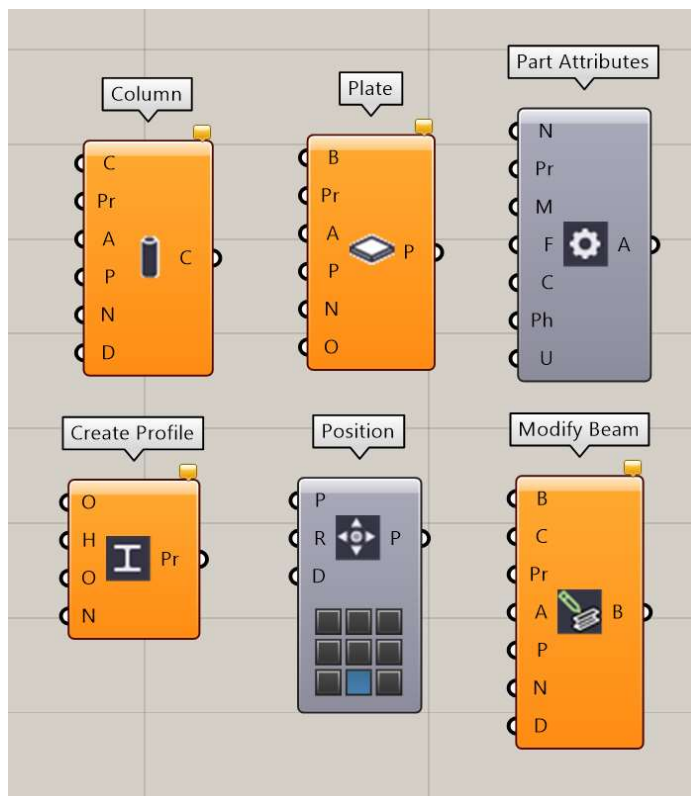
Kaiteet mallinnetaan tässä työssä H2-luokan kaiteina. Kaiteille annetaan tien reunalinjat sekä tien hyötyleveys, minkä mukaan kaiteet luodaan. Kuviossa 13 on esimerkkinä siltajohteen Tekla-komponentit. Työssä on käytetty sisäistä työkalua kaiteiden luomiseen. Grasshopper tuottaa tarvittavat geometriat, jotta kaiteet voidaan luoda Teklassa.



KUVIO 13. Siltajohteen Tekla-komponentit

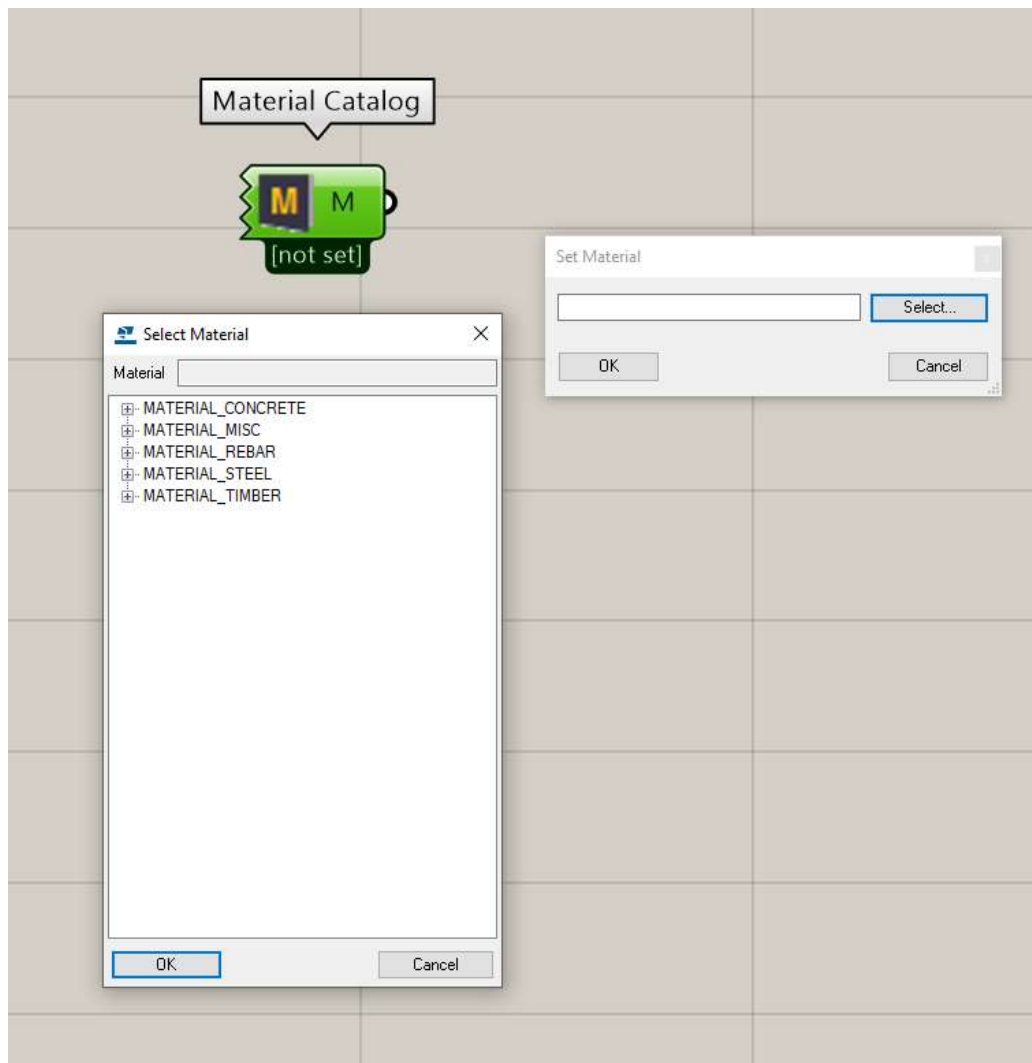
4.4.6 Tekla komponentit

Teklan valmiita komponentteja löytyy Tekla Live Link-lisäosan avulla. Kaikille Tekla-versioille on omat Tekla Live Link-kirjastot. On siis syytä huolehtia, että käytössä on samaa Tekla-versiota vastaava Tekla Live Link käytössä. Kuviossa 14 on esitettyjä esimerkkejä Tekla-komponenteista. Niitä käyttäessä on tärkeää, että avaa ohjelmat oikeassa järjestyksessä. Järjestyksessä ensimmäisenä avataan Tekla, sitten Rhino ja Grasshopper.



KUVIO 14. Tekla-komponentteja

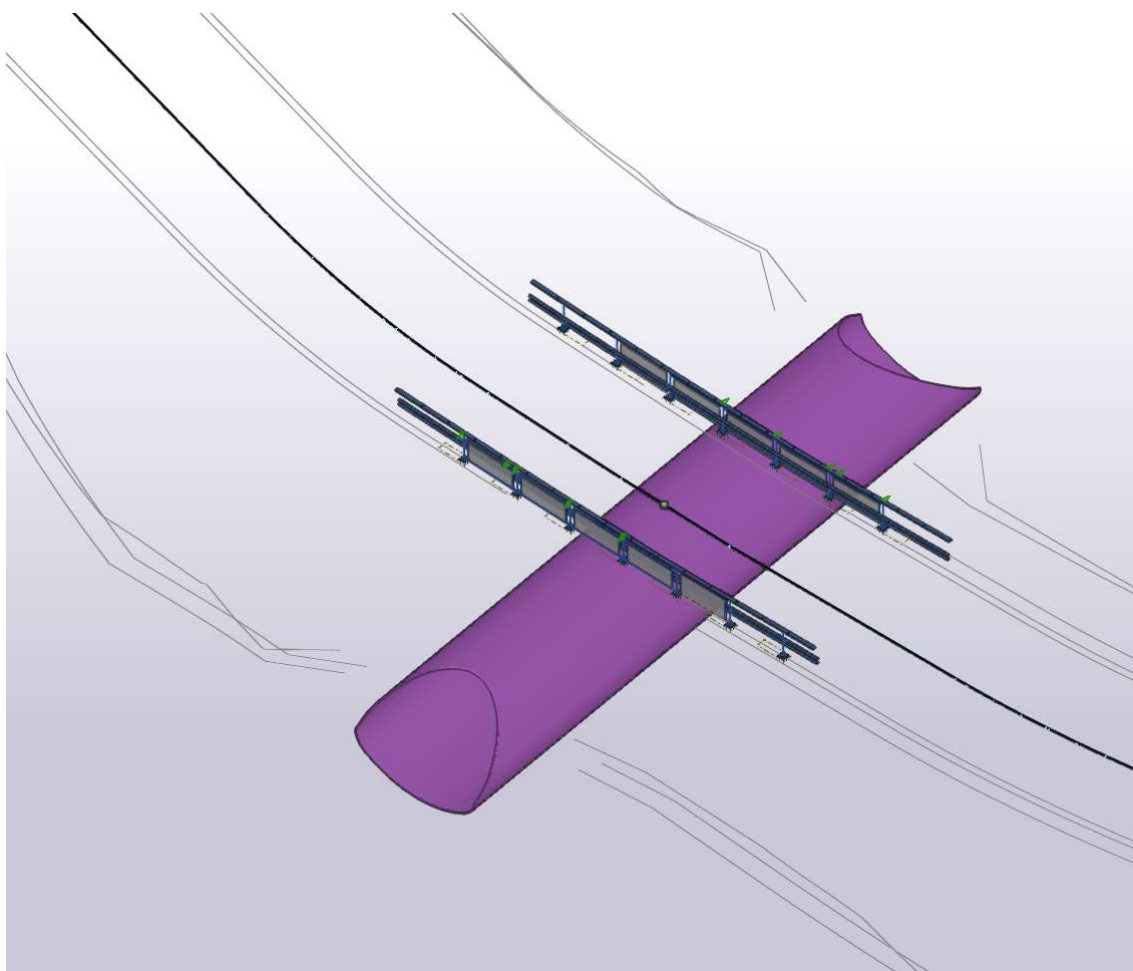
Grasshopperissa on valmiita luetteloita esimerkiksi komponenteille, profiileille, materiaaleille ja raudoituksille. Kuviossa 15 on esitetty materiaaleille luettelo, josta voidaan valita haluttu materiaali. Tekla-komponenteissa on hyvin tarkkaa käyttää Teklaan määritettyä dataa.



KUVIO 15. Materiaaliluettelo.

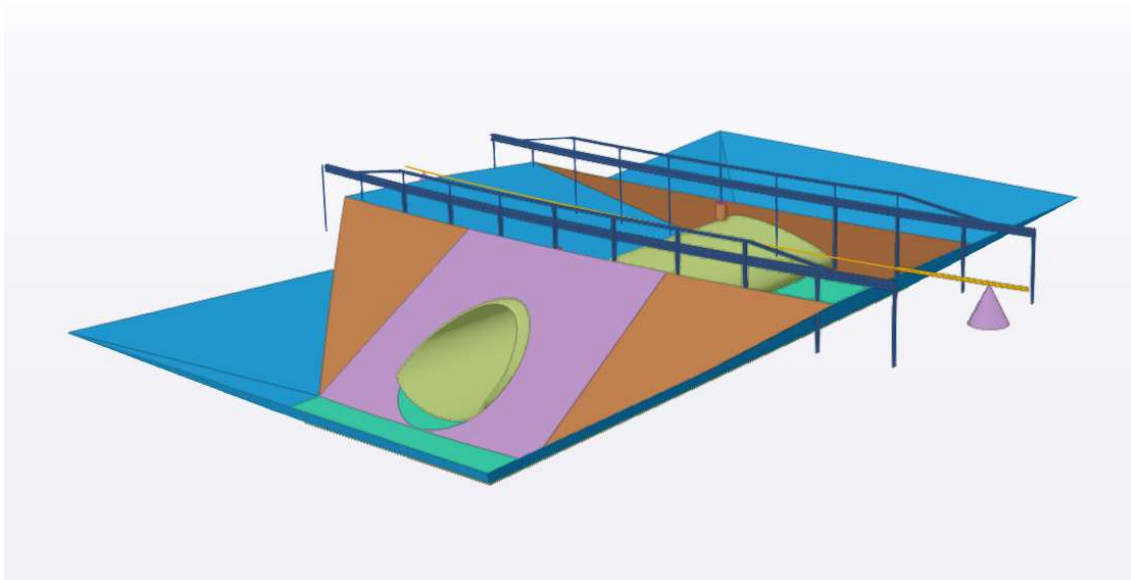
4.5 Lopputuote

Työkalun lopullisena tavoitteena oli luoda Teklaan teräsputki ja kaiteet. Työstä rajattiin sillan ympäröivät rakenteet pois. Haluttua lopputulosta voi muokata Grasshopperin puolella muuttamalla lähtötietoparametreja sekä vaihtamalla profiilia. Grasshopperissa tehdyt muutokset päivittyvät reaaliaikaisesti Teklassa. Kuviossa 16 on esitettyä Tekla Live Linkin avulla tuotu geometria. Teräsputkisillään voi vielä lisätä haluttuja rakenteita joko Grasshopperilla tai suoraan Teklassa.



KUVIO 16. Teräsputkisilta ja kaiteet Teklassa

Teklan kautta mallista saadaan tietomalli ulos, kun tarvittavat rakenteet on lisätty malliin. Kuviossa 17 näkyy esimerkki teräsputkisilta kohteen tietomallista, joka on tallennettu ifc muodossa. Mallin avulla saadaan myös piirustukset tuotettua kätevästi piirustustyökalun avulla. Piirustuksessa malli muuttuu myös sitä mukaa, kun muutoksia tehdään joko Teklan tai Grasshopperin puolella. Piirustuksiin voidaan lisätä esimerkiksi selventäviä tekstejä, mittoja, kohteen tietoja yms. Piirustusten avulla voidaan hyväksyttää eri suunnitteluvaiheita tai rakentaa kohde.



KUVIO 17. Esimerkki valmiista teräsputkisillan tietomallista.

5 POHDINTA

5.1 Algoritmin tekoprosessi

Algoritmin aloittaminen oli todella hankalaa, kun ohjelma ei ollut entuudestaan tuttu. Alkuun mahtui todella paljon tiedon etsimistä ja aikaisempien mallien tutkimista. Tietolähteenä käytin paljon englanninkielisiä videoita sekä nettisivustoja. Myös työkavereilta saatu tuki auttoi oppimisessa. Aiheeseen liittyvää sanastoa oppi samalla hyvin, kun suomenkielistä tietoa ei juurikaan netistä löytynyt.

Aikaisemman kokemuksen perusteella aihetta osattiin jo heti alusta rajata sopivaksi. Teräsputkisillasta mallinnettiin teräsputki ja kaiteet. Ympärillä olevat rakenteet, kuten luiskat, tiet ja alustäytöt rajattiin pois. Työkaverini ovat siis tehneet tärkeää työtä aiemmin, jotta aiheeseen liittyen on saatu kokemusta. Näin ollen asetetut tavoitteet ovat sopivat aikaan ja koulutukseen nähden.

Algoritmin päätavoitteena pyrittiin seuraamaan ja toteuttamaan toimeksiantajan luomia ohjeita ja sääntöjä työkalun luomiseen Grasshopperilla. Haasteena monesti on epäselkeä pohja, joten muiden on vaikea käyttää sitä. Eri kokonaisuudet jäsenneltiin eri ryhmiin, ja selitteitä lisättiin tukemaan algoritmien ymmärtämistä.

Putken geometrian kanssa tuli haasteita tekoprosessin aikana, kun putki vietiin Teklaan. Aluksi putki tehtiin käyttämällä *Brep*-komponenttia, jolloin putken päät jäivät avonaisiksi. *Brep* sana on lyhenne sanoista "Boundary Representation". Tällä komponentilla luodaan pintoja esittämällä ne matemaattisten yhtälöiden ja avaruudessa olevien rajojen avulla. *Mesh*-komponentilla putken geometria saatiin luotua niin, että putken leikatut päät jäivät suljetuksi. Sana "Mesh" tarkoittaa suomeksi verkkoa, ja verkot koostuvat kärkipisteiden ja pintojen kokoelmasta. (Shapediver. n.d. Meshes vs B-Reps Explained)

5.2 Jatkokehitys

Työkalun käytön myötä varmasti jatkossa ilmenee kehitystarpeita. Parametristen suunnittelutyökalujen luominen opinnäytetyönä on haastavaa, jos käytettävät työkalut ja niiden käyttö eivät ole tekijälle entuudestaan tuttuja. Työkalun käyttökelpoiseksi saattaminen vaatii tarkkaa ohjeistamista läpi prosessin. Lisäksi työkaluun voi vielä liittää ympärillä olevia rakenteita, kuten tiet, alus- ja ympäristäytöt, varusteet yms.

Työkalussa keskityttiin käyttämään Teklaa rakenteiden mallintamiseen. Tekla on pysynyt suunnittelutyössä vahvana ohjelmana rakenteiden mallintamiseen, mutta on syytä varautua tuleviin muutoksiin käytettävien ohjelmien osalta. Lisäksi tekoälyn käyttö voi muuttaa myös mallintamista, sillä tekoälyn avulla voidaan jo nykyäänkin tuottaa tarkkaa visuaalista materiaalia.

5.3 Yhteenveto

Työkalun avulla Teklasta saadaan ulos tietomalli ja piirustukset. Tietomallin merkitys on nykyrakentamisessa suuressa roolissa. Tietomallia tarvitaan suunnittelijan, tilaajan sekä . Työkaluja halutaan luoda nopeuttamaan suunnitteluprosessia sekä helpottamaan tietomallin luomista. Työkalun luomisen aikana käytiin jo ensimmäinen palaveri sen soveltuvuudesta meneillä olevaan hankkeeseen. Tämä osoittaa, että tehdyillä työkaluilla on merkitystä ja yhteistyötä tehdään yrityksen sisällä.

Algoritmisen mallintamisen opettelu oli todella antoisaa. Lisäksi pääsi perehtymään putkisiltojen suunnitteluun ja tutkimaan, mitä lähtötietoja tarvitaan suunnitteluun. Lähtötietojen määrittäminen onkin olennainen osa mallinnustyökalua käytettäessä. Lisäksi pääsi huomaamaan, miten eri yksiköt tekevät yhteistyötä ja osaamista jaetaan.

Luotuihin tavoitteisiin päästiin, eli luotiin visuaalinen mallinnustyökalu putkisiltojen mallintamiseen. Työkalua testattiin vanhojen projektien lähtötiedoilla sekä kuvit-

teellisilla arvoilla. Toivon, että jatkossa tekemääni työtä päästään käyttämään tulevissa projekteissa. Rajaamisen ansiosta työmäärä pysyi kohtuullisena kokemukseen nähden.

LÄHTEET

Aitta, S. (2006). RIL 165-2 Liikenne ja väylät II. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Grasshopper3D. n.d. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2024 <https://www.grasshopper3d.com/>

Liikenneviraston ohjeita 10/2014. Teräsputkisillat suunnitteluohje 25.2.2014. Viitattu 25.1.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2014-10_terasputkisillat_suunnitteluohje_web.pdf

Pat Steelway Oy. Verkkosivu. Viitattu 25.1.2024. <https://www.steelway.fi/terasputket-ja-rummut>

Rakennusfakta. n.d. Verkkosivu. Viitattu 1.3.2024. <https://www.rakennusfakta.fi/kierresaumattu-rumpu-ja-putkisilta-231275/uutiset.html>

Rhino3d. n.d. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2024. <https://www.rhino3d.com/>

Shapediver. n.d. Meshes vs B-Reps Explained. Viitattu 5.3.2024. <https://www.shapediver.com/blog/shapediver-basics-meshes-vs-b-reps-explained>

Tanska, T. & Österlund T. 2014. Algoritmit puurakenteissa. Oulu: DigiWoodLab.

Trimble. 2024. Tekla Structures. Viitattu 6.2.2024. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>

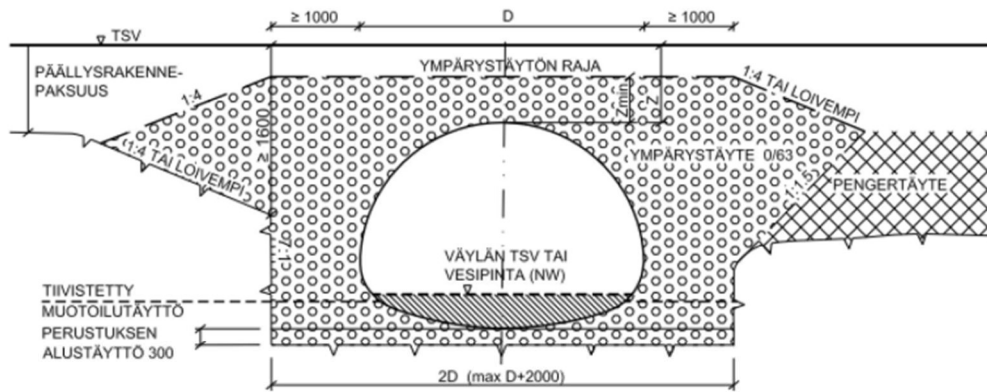
Väyläviraston julkaisuja 53/2022. Väyläviraston sillat. Viitattu 5.3.2024. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/185731/vj_2022-53_978-952-317-991-2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Väyläviraston ohjeita 9/2022. Siltakaiteiden suunnittelu. Viitattu 30.1.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-9_siltakaiteiden_suunnittelu.pdf

Väyläviraston ohjeita 9/2023. Siltojen toimintalinjat. Viitattu 5.3.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-9_siltojen_toimintalinjat_web.pdf

Wahlroos, N.-M. 2022. Teräsputkisiltojen yleisimpien korjausmenetelmien vertailu. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

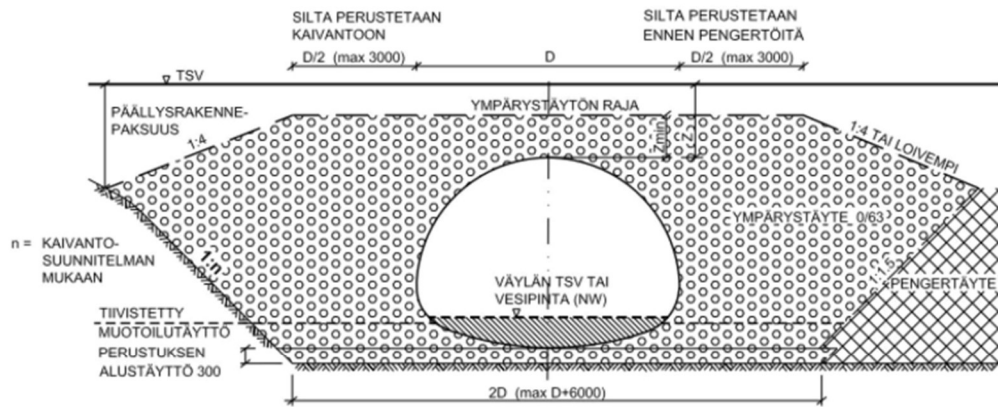
LIITTEET**Liite 1. Perustamistapojen ohjeelliset mallikuvat**



PERUSTUKSEN TIIVISTETTY ALUSTÄYTTÖ ON MUOTOILTAVA VASTAAMAAN PUTKISILLAN POHJAN MUOTOA. MUOTOILLUN TÄYTÖN TULEE ULOTTUA TASOLLE, JONKA YLÄPUOLELLA TÄYTTÖÄ JA TIIVISTYSTÄ VOIDAAN TEHDÄ TAVANOMAISILLA MENETELMILLÄ. MUOTOILLUN ALUSTÄYTÖN TASO ESITETÄÄN SILLAN YLEISPIIRUSTUKSESSA.

Z_{min} = MINIMIPEITESYVYYS = 500 mm

Kuva 1. Perustamistapa A. Putken perustaminen kalliolle.

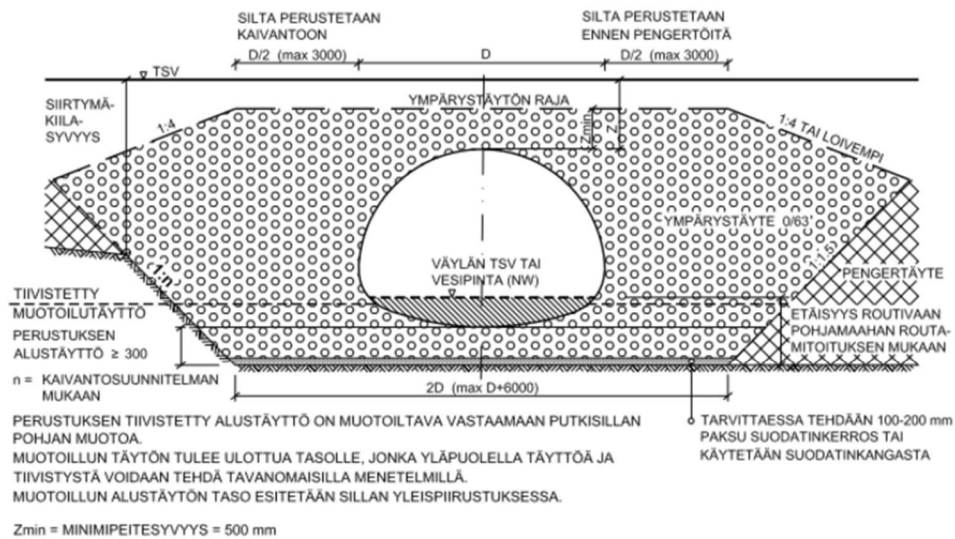


PERUSTUKSEN TIIVISTETTY ALUSTÄYTTÖ ON MUOTOILTAVA VASTAAMAAN PUTKISILLAN POHJAN MUOTOA. MUOTOILLUN TÄYTÖN TULEE ULOTTUA TASOLLE, JONKA YLÄPUOLELLA TÄYTTÖÄ JA TIIVISTYSTÄ VOIDAAN TEHDÄ TAVANOMAISILLA MENETELMILLÄ. MUOTOILLUN ALUSTÄYTÖN TASO ESITETÄÄN SILLAN YLEISPIIRUSTUKSESSA.

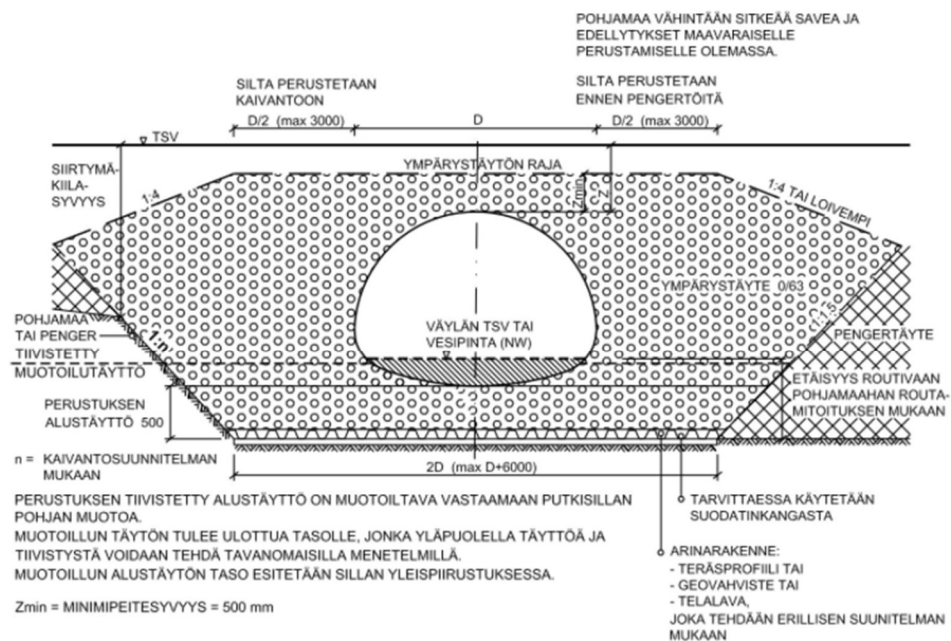
HUOM. JOS POHJAMAÄ TÄYTTÄÄ PERUSTUKSEN ALUSTÄYTTÖÖN ASETETUT VAATIMUKSET, VOIDAAN PUTKI PERUSTAA TIIVISTETYN POHJAMAÄN VARAAN.

Z_{min} = MINIMIPEITESYVYYS = 500 mm

Kuva 2. Perustamistapa B. Putken perustaminen routimattoman pohjamaan tai penkereen varaan.



Kuva 3. Perustamistapa C. Putken perustaminen routivalle pohjamaalle.



Kuva 4. Perustamistapa D. Putken perustaminen pehmeikölle.

