



Siltojen geoteknisten piirustusten tuotannon automatisointi malli- pohjaisessa suunnittelussa

Salla Hietaniemi

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2024
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Infrarakentaminen

HIETANIEMI; SALLA:

Siltojen geoteknisten piirustusten tuotannon automatisointi mallipohjaisessa suunnittelussa

Opinnäytetyö 39 sivua
Toukokuu 2024

Kolmiulotteinen mallintaminen eli 3D- mallinnus on lisääntynyt infra-alan suunnitteluprojekteissa. Usein kuitenkin geotekniikassa suunnitelmien luovutusaineisto koostuu perinteisistä kaksiulotteisista suunnitelmapiirustuksista eli tasopiirustuksista. Tasopiirustusten muokkaaminen vie paljon geoteknisten suunnittelijoiden resursseja, koska suunnittelijan täytyy tehdä kaikki muutokset käsin.

Opinnäytetyössä toteutettiin yleispätevä työkalu, jonka avulla siltojen geoteknisten tasopiirustusten tuottaminen helpottuisi. Työkalu toteutettiin algoritmista suunnittelua apuna käyttäen. Opinnäytetyössä huomioitiin geotekniikan yksikön lisäksi siltayksikön tarpeita. Opinnäytetyö tehtiin Ramboll Finland Oy:n toimeksiannosta. Opinnäytetyö tehtiin yrityksen toiveesta kehittää toimintaansa ja hyödyntää algoritmista suunnittelua enemmän.

Algoritmisella suunnittelulla on mahdollista nopeuttaa tavanomaisia ja toistuvia suunnittelutöitä. Algoritmisen suunnittelu perustuu valmiiksi asetettuihin ohjeisiin ja sääntöihin. Algoritmisella suunnittelulla tarkoitetaan rutiininomaisten suunnittelutöiden automatisointia.

Työ toteutettiin Rhinoceros 3D-ohjelmalla ja sen Grasshopper-lisäosalla. Työkalulla voidaan luoda siltojen IFC (Industry Foundation Classes) – malleista melkein valmiita leikkauskuvia. Työkalu tekee leikkauskuvat suunnittelijan haluamasta kohdasta. Työkaluun on mahdollista lisätä myös muita mallinnettuja objekteja, kuten kallionpinta, maanpinta sekä alittavan tien tasaus.

Siltojen suunnittelu ja geotekninen suunnittelu tapahtuvat erillään ja lopulta suunnitelmat yhdistetään, jolloin selviää muokkaustarpeet. Työkalu nopeuttaa suunnittelun aikana geoteknisiin leikkauskuviin tulevien muutosten korjaamista. Työkalu tekee mekaaniset muutostyöt muutaman napin painalluksella. Työkalu helpottaa myös siltayksikön nopeita muutostarpeita, kun geotekniset piirustukset saadaan nopeasti muokattua. Työkalu vähentää geoteknisten suunnittelijoiden mekaanista työtä ja antaa lisää resursseja varsinaista suunnittelua varten.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction Engineering
Civil Engineering

HIETANIEMI, SALLA:

Automating the Production of Geotechnical Drawings for Bridges in Model-based Design

Bachelor's thesis 39 pages

May 2024

Three-dimensional (3D) modelling has increased in infrastructure design projects. In geotechnical engineering, plans are often implemented as 2D drawings. The designer must make all the changes manually.

The objective of this study was to make a universal tool that can be used to produce geotechnical 2D drawings of bridges using algorithmic design. Algorithmic design refers to the automatization of routine design work. The thesis was commissioned by Ramboll Finland Ltd. This thesis was conducted in collaboration with the geotechnical unit and the bridge unit.

The data for this thesis was gathered from the guidelines and requirements of the infrastructural building information modelling, as well as from the Rhinoceros 3D program and its Grasshopper add-on. The study involved interviews with industry professionals. The observations of the study were utilised in the development of the tool. The tool can be used to create almost ready cross section from IFC (Industry Foundation Classes) models of bridges. It is also possible to add other modelled objects to the tool, such as the rock surface, the ground surface, and the levelling of the road below.

Bridge and geotechnical design take place separately and eventually the plans are cross checked. The tool makes it faster to correct the geotechnical cross sections during the design. The tool performs mechanical modifications with a few clicks of a button. Faster changes in the geotechnical unit enabled by the tool give bridge designers more time to make their own changes. The tool provides geotechnical designers additional resources for actual design.

Key words: algorithm-based design, grasshopper, geotechnical drawing, bridge

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 6 |
| 2 | SUUNNITTELUN TYÖKALUT | 8 |
| 2.1 | Siltojen geotekninen suunnittelu | 8 |
| 2.1.1 | Siltojen geoteknisen suunnittelun vaiheet..... | 8 |
| 2.1.2 | Siltojen geotekniset piirustukset | 11 |
| 2.1.3 | Sillan ja siltapaikan pohjatutkimukset | 13 |
| 2.1.4 | Geoteknisen suunnittelun työkalut..... | 14 |
| 2.2 | Mallipohjainen suunnittelu..... | 15 |
| 2.3 | Tietomallivaatimukset ja -ohjeet..... | 18 |
| 2.4 | Algoritminen suunnittelu | 19 |
| 2.4.1 | Rhino | 20 |
| 2.4.2 | Grasshopper..... | 20 |
| 3 | SILTA..... | 22 |
| 3.1 | Siltojen mallintaminen | 22 |
| 3.2 | Siltojen 3D-mallien hyödynnys geotekniikan leikkauskuvissa | 25 |
| 4 | SILTOJEN GEOTEKNISTEN LEIKKAUSTEN ALGORITMINEN TYÖKALU | 27 |
| 4.1 | Lähtötiedot työkalulle | 27 |
| 4.2 | Työkalun luominen | 31 |
| 4.3 | Valmis sillan leikkaus | 33 |
| 4.4 | Jatkokehitysmahdollisuudet | 35 |
| 5 | POHDINTA | 36 |
| | LÄHTEET..... | 38 |

LYHENTEET JA TERMIT

| | |
|-------------------|--|
| 2D | Kaksiulotteinen kuva tai teksti |
| 3D | Kolmiulotteinen kuva tai teksti |
| AutoCad | Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto |
| Hatch | Tämän avulla suljetun alueen voi täyttää täyttövärillä tai -kuviolla |
| IFC | Kansainvälinen tiedonsiirtoformaatti. (Industry Foundation Classes) |
| Kokkaaminen | Grasshopperilla luotu esikatselu tuodaan Rhinoceros 3D:hen jatkokäsiteltäväksi ja siirrettäväksi geometriaksi |
| Novapoint | Infrarakenteiden suunnitteluun tarkoitettu Trimblen suunnittelujärjestelmä |
| Parametri | Komponenteista koostuva muuttuja eli tieto, joka on algoritmisessa suunnittelussa parametrisesti säädeltävä |
| Rhinoceros 3D | Kaupallinen 3D suunnitteluohjelma (Rhino) |
| Teckla Structures | Tietomalliohjelmisto rakennussuunnitteluun |
| Tietomalli | Rakennelman esittäminen ominaistietoineen digitaalisessa muodossa |
| Trimble Connect | Pilvipohjainen tietomalliohjelmisto |
| Yhdistelmämalli | Eri osamalleista koostuva tekninen malli, jolla pystyy tutkimaan mallien keskinäistä yhteensopivuutta ja mahdollisia törmäyskohtia |

1 JOHDANTO

Siltojen suunnittelu tehdään nykyään yleisesti mallipohjaisesti. Mallipohjaisella suunnittelulla tarkoitetaan yksityiskohtaisten kolmiulotteisten mallien luomista. Mallipohjaiseen suunnitteluun on kehitetty suunnittelua nopeuttamaan algoritmien avulla toimivia työkaluja, jotka nopeuttavat suunnitteluprosessia sekä mallinnusta. Algoritminen suunnittelu on tavanomaisten suunnittelutöiden automatisointia. Algoritminen suunnittelu on vahvistanut asemaansa suunnittelumaailmassa. Se helpottaa ja nopeuttaa tavanomaisia toistuvia suunnittelutöitä ja vie täten vähemmän työntekijän työtunteja. Siltojen suunnittelu sisältää pinta- tai tilavuusmallina siltapaikan keskeiset rakenteet (Väylävirasto, 2022, 36). Siltojen geotekninen suunnittelu pitää sisällään esimerkiksi perustamistavan suunnittelun ja sillan pysyvien sekä työnaikaisten kaivantojen suunnittelun. Lopputuotteeksi geotekninen suunnittelija laatii siltapaikan kartan sekä pituus- ja poikkileikkaukset sillasta, jotka pitävät sisällään tiedon siltapaikan pohjasuhteista. (Tielaitos, 2000, 23.)

Geotekninen suunnittelu toteutetaan pitkälti tasopiirustuksin eli 2D kuvin. Geoteknisessä suunnittelussa tilaajat toivovat lähtökohtaisesti tasopiirustuksia, vaikka moni muu tekniikan ala suunnittelee jo kaiken 3D- malleilla. Geotekniikassa tasopiirustusten toivominen johtuu perinteeksi muodostuneesta tavasta sekä geoteknisen suunnittelun ominaispiirteistä. (Inkinen 2024, a; Loukonen 2024.) Tasopiirustusten toistuva muokkaaminen 3D- mallien pohjalta on työlästä ja vie paljon aikaa. Automatisointia voidaan käyttää helpottamaan ja nopeuttamaan tasopiirustusten muokkausta. Automatisointi helpottaa mekaanisia työvaiheita, jonka takia automatisointia halutaan hyödyntää myös tasopiirustusten teossa.

Tällä hetkellä siltasuunnittelu ja geotekninen suunnittelu eivät toimi täysin saumattomasti yhteen. Esimerkiksi siltasuunnitelmien IFC (Industry Foundation Classes) mallien siirtäminen geoteknisiin tasopiirustuksiin vie paljon aikaa. Industry Foundation Classes eli IFC on järjestelmästä riippumaton avoin kansainvälinen standardi, jonka avulla tietoa on mahdollista siirtää eri suunnitteluohjelmistojen välillä (YIV 2021,8; BuildingSmart n.d.). Opinnäytetyössä kehitetty ensimmäinen versio työkalusta helpottaa mallien siirtämistä suunnitelmasta toiseen.

Opinnäytetyö toteutettiin asiantuntijahaastatteluiden, infrarakentamisen tietomallinnuksen ohjeiden ja vaatimusten, geoteknisen suunnittelun ohjeiden ja vaatimusten sekä Rhinoceros 3D ohjelman eli Rhinon ja sen Grasshopper- lisäosan avulla. Rhinolla ja Grasshopperilla luotu työkalun ensimmäinen versio toteutettiin olemassa olevia algoritmeja apuna käyttäen ja yhdistäen monien henkilöiden kokemusta ja tietoa algoritmisesta suunnittelusta. Opinnäytetyö tehtiin siltayksikön ja geoteknisen yksikön yhteistyönä.

Opinnäytetyö tehtiin Ramboll Finland Oy:n toimeksiantona ja siinä toteutettiin algoritmista suunnittelua hyödyntäen siltojen geoteknisten piirustusten tuotannon työkalu, joka nopeuttaa kyseistä suunnitteluvaihetta. Työkalulla saadaan sillan geotekniseen leikkauskuvaan valmiiksi tulostusraami, leikkausraami korkotietoineen sekä sillan ja mahdollisesti muiden mallinnettujen tietojen leikkauskuvat. Työkalu vaatii lähtötiedoiksi vain sillan IFC mallin, mahdolliset muut mallinnetut tiedot sekä leikkausviivan ja mittakaavan. Työkaluun käy muutkin formaatit kuin IFC, mutta pääpaino tässä opinnäytetyössä oli IFC mallien toimimisessa.

2 SUUNNITTELUN TYÖKALUT

2.1 Siltojen geotekninen suunnittelu

Siltapaikan geotekninen suunnitelma sisältää sillan perustamistavan määrittämisen lisäksi tulopenkereiden, etuluiskien ja keilojen rakentamis- ja perustamistavat. Tulopenkereet tulee määrittää vähintään 20 metrin päästä sillan päädyistä. Sillan geotekninen suunnitelma koostuu eri suunnitelmavaiheissa seuraavista osista:

- geotekniset piirustukset
- sillan geotekninen suunnitteluraportti
- geoteknisen suunnitelmaraportin liitteet, kuten laskelmat
- muu tieto, joka on hankittu suunnitteluvaiheessa. (Väylävirasto 2023, 5.)

2.1.1 Siltojen geoteknisen suunnittelun vaiheet

Esisuunnitteluvaiheessa olemassa olevan pohjatutkimustiedon ja alustavien pohjatutkimusten perusteella arvioidaan siltapaikan perustamisratkaisuja ja rakentamisen kustannuksia sekä ympäristövaikutuksia. Esisuunnitelmasta tehdään raportti, joka pitää geotekniikan osalta sisällään pohjasuhteiden kuvauksen, sillan geoteknisen luokan, perustamisolosuhteiden kuvauksen, ympäristövaikutusten alustavan arvion sekä rakentamisen kustannusten alustavan arvion.

Yleissuunnitteluvaiheessa esisuunnitelmaa täydennetään sillan ja tulopenkereen toteuttamiskelpoisilla perustamisratkaisuilla. Yleissuunnitelmavaiheesta toteutetaan geotekninen suunnitteluraportti, eli alustava perustamisselvitys, joka pitää sisällään pohjavedentason ja pohjasuhteiden kuvauksen, sillan geoteknisen luokan, toteuttamiskelpoiset perustamistavat tulopenkereille ja tuille, ympäristövaikutusten kuvauksen sekä arvion perustamisolosuhteiden vaikutuksesta kustannuksiin. (Väylävirasto 2023, 6.)

Siltasuunnitteluvaiheessa siltapaikan pohjasuhteista suunnitellaan siltojen tuille teknisesti toteuttamiskelpoiset ja taloudelliset perustamistavat sekä tulopenkereiden perustaminen tai pohjanvahvistus. Lisäksi suunnitellaan vesilain mukaiset selvitykset. Siltasuunnitteluvaiheesta tuotetaan sillan geotekninen suunnitteluraportti, jossa esitetään pohjasuhteiden ja pohjavedentason kuvaus, sillan geotekninen luokka, toteuttamiskelpoiset perustamistavat tulopenkereille ja tuille sekä selvitys pohjarakentamisen ympäristövaikutuksista ja suojaustoimenpiteistä. Lisäksi sillan pääpiirustuksessa esitetään pohjasuhteet, perustamistapa ja pohjanvahvistukset sekä sillan geoteknisessä piirustuksessa pohjatutkimusten tulokset. (Väylävirasto 2023, 6–7.)

Rakentamissuunnitelmassa esitetään sillan toteutuvat rakenteet, rakenteiden mitat, rakennusaineet, toteutustapa ja laatuvaatimukset valmiille rakenteelle. Lisäksi kaikille perustoille tehdään geotekninen mitoitus, tulopenkereille pohjarakenteiden ja pohjanvahvistusten mitoitus ja pohjaveden hallintasuunnitelma. Rakennussuunnitelmassa esitetään myös työnaikaiset ja käytönaikaiset ympäristön ja rakenteiden tarkkailumittaukset ja toteutuksen työvaiheet sekä työnaikaiset rakenteet. Suunnitelmasta dokumentoidaan siltakohtaiset laatuvaatimukset ja työselitykset, geotekniset piirustukset sekä sillan geotekninen suunnitteluraportti. (Väylävirasto 2023, 7–8.)

Prosessikaavio antaa kokonaiskuvan suunnittelun toteutumisesta ensisilmäyksellä. Kuviossa 2 on esitetty siltojen geotekninen suunnittelu sekä sillan suunnittelu erillään. Kuvio osoittaa siltojen suunnittelun sekä geoteknisen suunnittelun vaatiman yhteistyön suunnitelmien onnistumisen näkökulmasta.



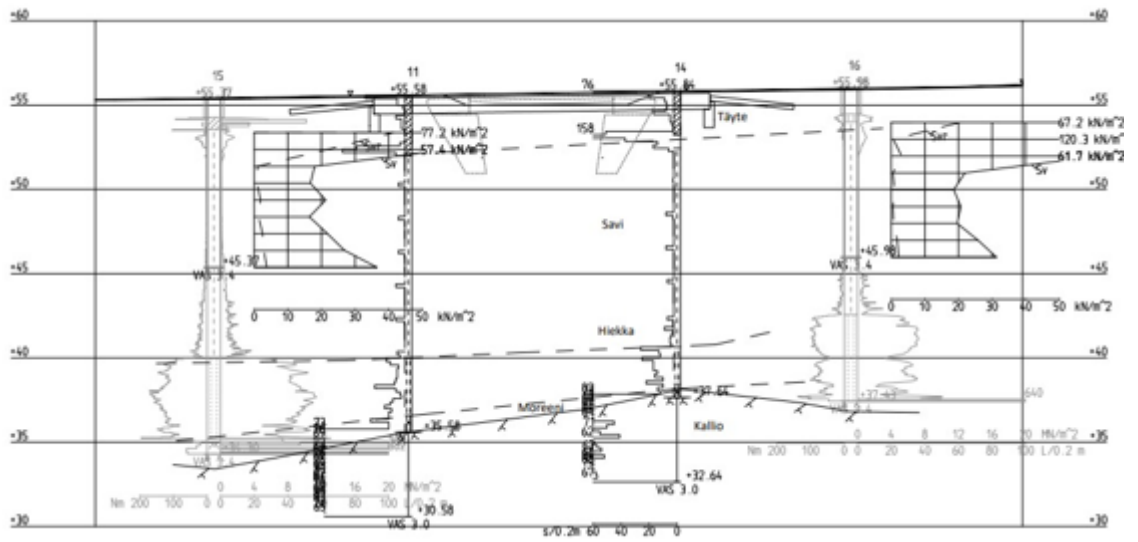
KUVIO 2. Siltojen geoteknisen suunnittelun sekä siltojen suunnittelun prosessi-kaavio.

2.1.2 Siltojen geotekniset piirustukset

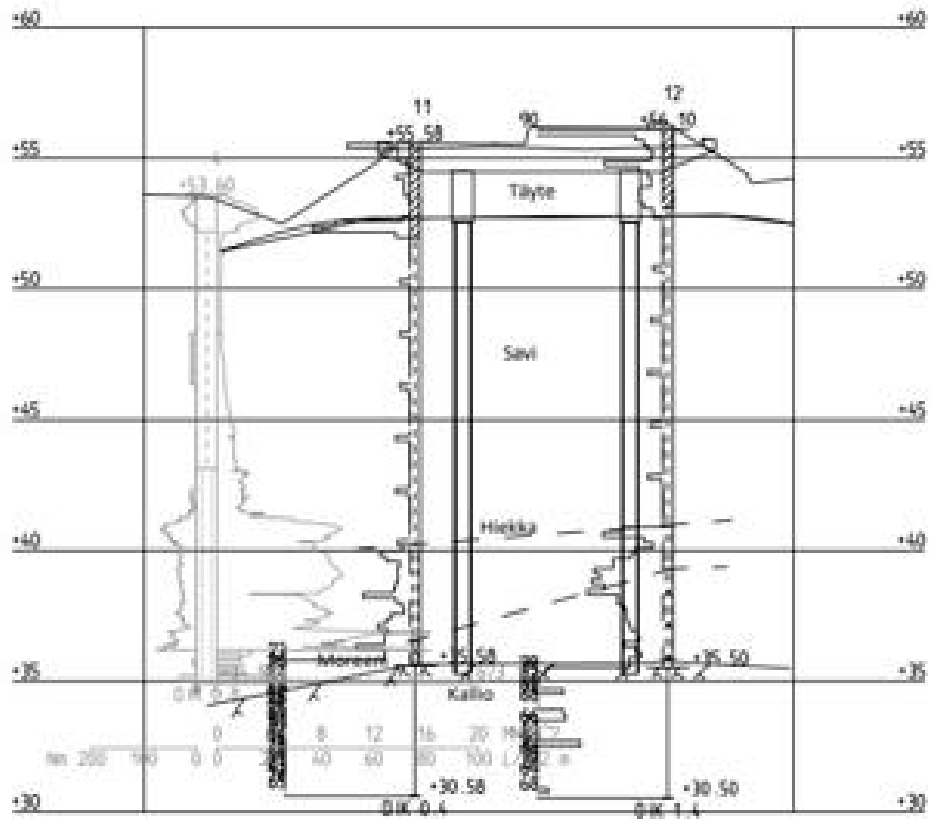
Siltojen geotekniset piirustukset pitävät sisällään pituus- ja poikkileikkauspiirustukset (kuvat 1 ja 2) sekä karttakuvan (kuva 3) siltapaikasta. Geotekniset leikkauskuvat tarkoittavat siltapaikan pituus- ja poikkileikkauspiirustuksia, jotka esitetään tyypillisesti 1:100 tai 1:200 mittakaavassa. Leikkauskuvat pitävät sisällään seuraavia tietoja:

- siltapaikan pohjatutkimustiedot ja -suhteet sekä mahdolliset lisäpohjatutkimukset
- maakerrosten rajojen, kallionpinnan ja pohjavedenpinnan vaihteluvälin tulkinnot
- poikkileikkauksen yläpinta sillan alittavasta tiestä tai rautatiestä ja niiden rakennekerrosten alapinta, kuivatusrakenteet
- ylittävän tien tasausviiva rakennekerrosten alapinnan kanssa
- sillan alusrakenteiden ääriviivat
- sillan ja pohjanvahvistusten ääriviivat
- tulopenkereiden perustaminen ja mahdolliset kevennysratkaisut
- rakentamisen kannalta pakolliset maa- ja kallioleikkaukset tuentatarpeiden
- sillan perustukset ja alusrakenteet
- mahdolliset työnaikaiset rakenteet.

Tiedot esitetään leikkauskuvissa yleisesti ääriviivoin. (Väylävirasto,2023, 8.)



KUVA 1. Sillan pituusleikkaus (Salla Hietaniemi).



KUVA 2. Sillan poikkileikkaus (Salla Hietaniemi).



KUVA 3. Siltapaikan kartta (Salla Hietaniemi).

2.1.3 Sillan ja siltapaikan pohjatutkimukset

Siltojen suunnittelu edellyttää pohjasuhteiden selvittämistä suunnitteluvaiheen mukaisella tarkkuudella. Pohjatutkimusten avulla selvitetään siltapaikan ja sen läheisyyden pinnanmuodot, kallionpinnan sijainti, pohjavesisuhteet, maapohjan kerrosrakenne sekä kallion ja maakerrosten ominaisuudet. Lisäksi selvitetään tarvittavassa laajuudessa läheisyydessä olevat rakennukset ja rakenteet. Selvityksissä täytyy kuvata riittävät tiedot turvalliseen ja tarkoituksenmukaiseen rakentamiseen. Siltarakenteet, siltapaikan maapohjan laatu sekä olemassa olevat rakenteet, rakennukset ja ympäristö määrittävät pohjatutkimusten laadun ja laajuuden. Sillan pohjatutkimukseen kuuluu myös pohjamaan korrosio-ominaisuuksien selvittäminen ja kallionvaraisesti perustaessa tarkemmat kallion ominaisuuksien selvitykset. (Tielaitos 2000, 10–11.)

Kallioperän laajuudella on iso merkitys geoteknisessä suunnittelussa, koska kalliion varaan perustaminen ei vaadi erikseen kantavuutta lisääviä toimenpiteitä. Olennaiset seikat suunniteltavan pohjarakenteen kannalta pyritään esittämään kalliion rakennetta kuvattaessa. Kalliion rikkonaisuuteen ja rakoiluun, kiven lujuuteen ja heikkousvyöhykkeiden ominaisuuksiin ja esiintymiseen liittyvät seikat ovat yleensä olennaisia. Jokaisessa kohteessa tulee kuitenkin huomioida kyseisen kohteen kannalta merkitykselliset ominaisuudet kalliossa. Kalliion kuvaamisen tarkkuuteen vaikuttaa lähtötietojen laajuus. Kallionäyttekairaukset sekä maapeitteen poistaminen kalliion päältä auttavat yksityiskohtaisemman kalliion rakenteen kuvauksessa. Myöhemmin hankkeen aikana on tarpeen tehdä lisätutkimuksia, jos kyseisiä lähtötietoja ei ole. (Tielaitos 2000, 10.)

Geotekninen suunnittelija laatii pohjatutkimuksia varten pohjatutkimusohjelman, eli ohjelmoi ja suunnittelee käytettävät tutkimusmenetelmät sekä tutkimuspisteiden sijainnin ja määrän. Pohjatutkimusohjelmaa tarkennetaan tarvittaessa suunnittelun aikana. Pohjatutkimusten perusteella suunnitellaan sillan tuet, tarvittaessa kantavuutta lisäävät toimenpiteet ja muut maapohjan vaatimat toimet rakentamisen ja sillan käytön aikana.

2.1.4 Geoteknisen suunnittelun työkalut

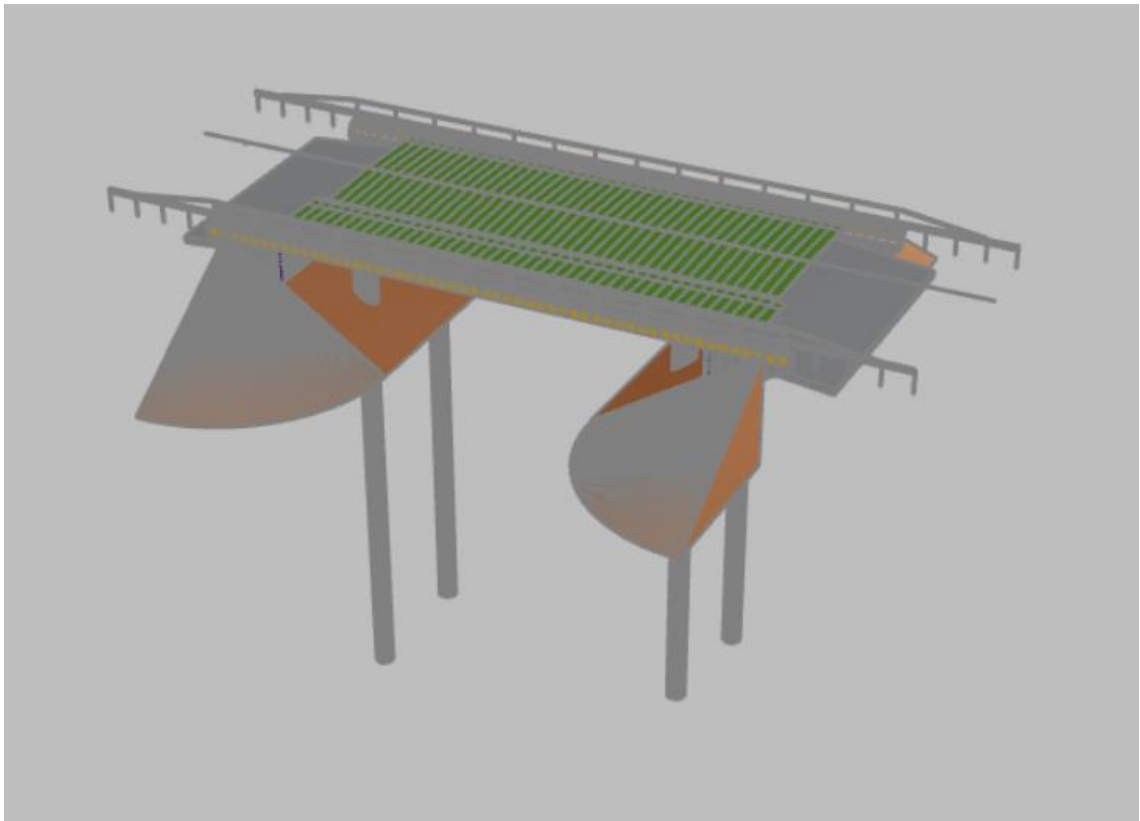
AutoCad on suunnittelussa yleisesti paljon käytetty ohjelmisto, jonka avulla esimerkiksi geoteknisiä tasopiirustuksia tehdään ja muokataan. Novapointilla tehdään geoteknisessä suunnittelussa mallien muokkaamista ja mallipohjaista suunnittelua. Novapoint on laaja-alainen Trimblen suunnittelujärjestelmä, jolla voi suunnitella teitä, rautateitä, tunneleita, siltoja sekä veden ja viemärin osa-alueita. Suurin osa Novapointin lisäohjelmistoista vaatii toimiakseen yhteyden AutoCadiin (Trimble n.d.). AutoCad on johtava suunnitteluohjelma, jonka avulla voi luoda edistyksellisiä 2D ja 3D objekteja. Ohjelmistossa on monenlaisia piirtotyökaluja, joiden avulla pystyy visualisoimaan suunnitelmia. AutoCadin avulla saadaan Novapointista käyttöön esimerkiksi geoteknisessä suunnittelussa paljon käytetty lisäosa Soundings, josta saadaan esimerkiksi karttapohjia, erilaisia leikkauksia sekä haettua pohjatutkimuksia tietokannasta. (Arcance Systems n.d.)

AutoCadin yleisin natiivi tiedostomuoto on DWG, mutta ohjelmistossa saa esimerkiksi luotua DWG- tiedostosta IFC- tiedoston (Autodesk, n.d.). AutoCad ei tue juurikaan eri tiedostomuotoja, mutta moni muu ohjelmisto tukee AutoCadin natiivia tiedostomuotoa. DWG muodon hyödyntäminen muissa ohjelmistoissa helpottaa suunnitelmien jatkokäsittelyä.

2.2 Mallipohjainen suunnittelu

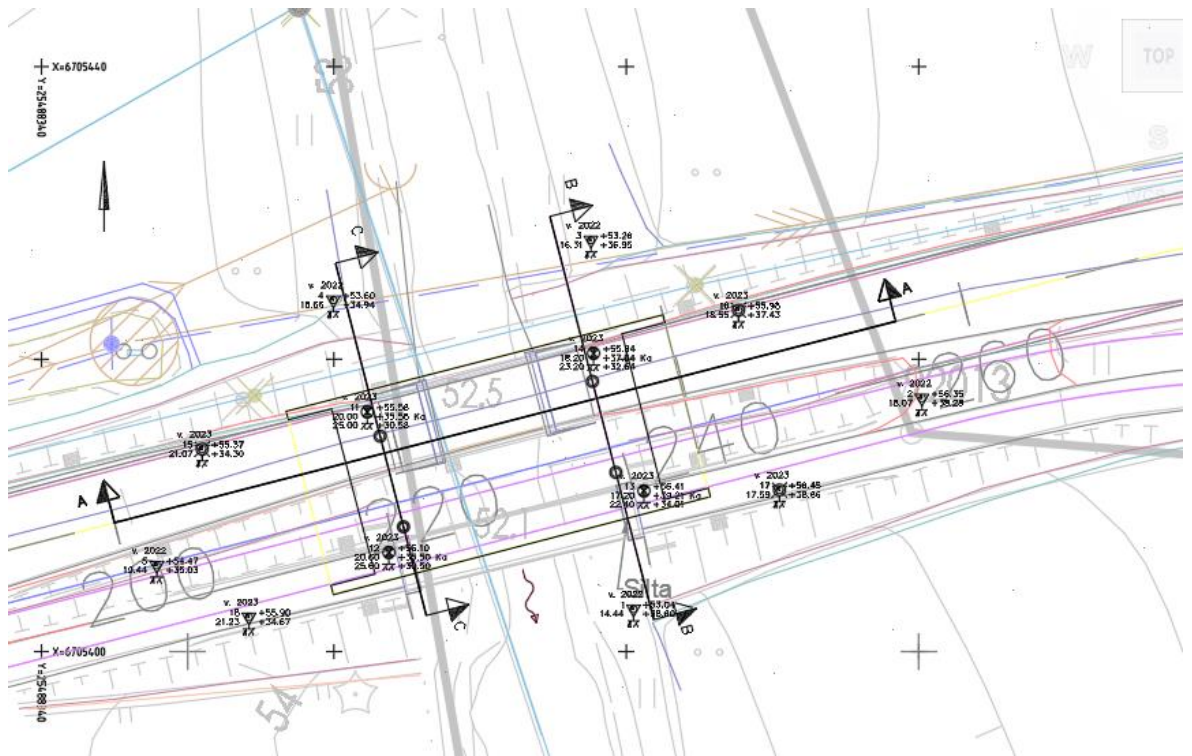
Mallipohjainen suunnittelu tarkoittaa yksityiskohtaisten kolmiulotteisten mallien luomista. Näitä 3D- malleja voidaan hyödyntää eri vaiheissa suunnittelu- ja rakentamisprosessia. Mallipohjaisen suunnittelun tavoitteena on helpottaa suunnitelmien tulkintaa, tarkentaa lopputulosta ja mahdollistaa pitkä käyttöikä. (Väylävirasto 2022.) Pitkä käyttöikä perustuu suunnitelmakokonaisuuksien ja sen osien tallentamiseen sekä mahdollisuuteen hyödyntää suunnitelmaa kunnossapidossa tai jatkosuunnittelussa.

Nyky maailma vie suunnittelua koko ajan entistä enemmän mallipohjaiseen suunnitteluun. 3D- suunnitelmamallit (kuva 4) helpottavat hahmottamaan suunnitelmista toteutettavaa kokonaisuutta, koska malleihin saadaan hyvin laajasti lisättyä yksityiskohtaista tietoa. Suunnitelmamalli tarkoittaa suunnitteluratkaisut kattavaa infrarakenteen tai -järjestelmän mallia, jolla on eri suunnitelmavaiheissa omat viittaavat termit (yleis-, tie- ja rakennussuunnitelmamallit) (Yleiset inframallivaatimukset YIV 2021, 10). Mallit helpottavat suunnitelmien hahmottamisessa suunnittelijoita, urakoitsijoita ja tilaajia. Mallintamisesta saadaan parhaat hyödyt käyttöön tarkoilla ja varmoilla lähtötiedoilla.



KUVA 4 Sillan 3D-suunnitelmamalli (Salla Hietaniemi).

Geoteknisessä suunnittelussa ei ole aina saatavilla tarkkoja lähtötietoja. Tämän vuoksi geoteknisessä suunnittelussa suunnitelmat esitetään pitkälti periaatekuvin, eikä täsmällisesti hiottuina malleina. Tasopiirustukset (kuva 5) toimivat tästä syystä monessa tilanteessa paremmin, koska niissä on helpompi esittää eri muuttujien mahdollisuus ja epävarmuus. Geoteknisessä suunnittelussa yllätyksenä voi tulla esimerkiksi lähtötiedoista poikkeava kallionpinnan korkeus tai maalaji, sekä ylimääräiset lähtötiedoista puuttuvat putket. Sekä malleissa että tasopiirustuksissa on siis puolensa. Mallit ovat havainnollisia, mutta niiden muokkaus jälkikäteen on työlästä. Tasopiirustusten tekeminen lähtötietojen pohjalta on geoteknisessä suunnittelussa nopeampaa.



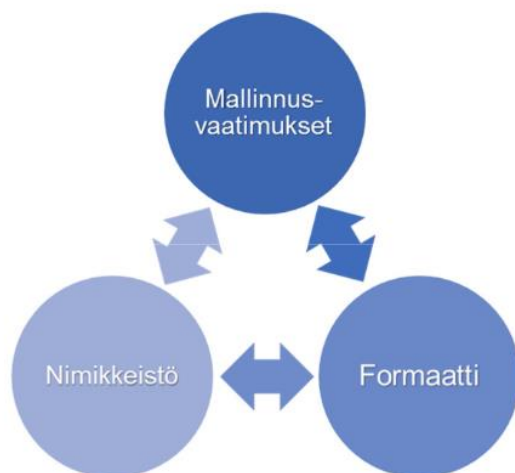
KUVA 5 Tasopiirustus sillan karttapaikasta AutoCadissa (Salla Hietaniemi).

Yhdistelmämallitarkastelu nopeuttaa suunnitelmien etenemistä ja antaa suunnittelijoille mahdollisuuden mallin samanaikaiseen hyödyntämiseen. Yhdistelmämalli on tekninen malli, joka koostuu infra-alalla yleisimmin maastomallista, maaperämallista, eri tekniikkalajien suunnitelmamalleista sekä olemassa olevien rakenteiden malleista. Yhdistelmämallilla pystytään tutkimaan mallien keskinäistä yhteensopivuutta ja mahdollisia törmäyskohtia sekä korjaamaan huomioitua seikat ajoissa. (YIV, 2021, 12.) Mallien hyödyntäminen samaan aikaan onnistuu monilla eri ohjelmilla, esimerkiksi Novapointilla. Novapoint on Trimblen suunnittelu-järjestelmä (Trimble n.d.).

Mallintaminen vie paljon aikaa, se on aika työlästä ja se koetaan usein hankalaksi. Mallintaminen on aivan erilaista kuin tasopiirustuksin tai paperille suunnittelu, joten se vaatii mallintajalta rohkeutta, uutta ajattelutapaa ja erilaisia työskentelytapoja sekä niihin totuttelua. Tämä ja lähtötilanteen epävarmuudet yhdessä aiheuttavat geotekniikassa mallipohjaisen suunnittelun vähäisen hyödyntämisen.

2.3 Tietomallivaatimukset ja -ohjeet

Geotekniseen suunnitteluun on paljon erinäisiä ohjeita, mutta geotekniseen mallintamiseen on hyvin vähän omia alakohtaisia ohjeita tai oppaita. Eurokoodin soveltamisohje NCCI7 on yksi näistä geoteknisen suunnittelun oppaista. NCCI7 on soveltamisohje yleisten teiden, vesiväylien ja ratojen sekä niihin liittyvien rakenteiden suunnitteluun (Väylävirasto, 2023, 3). Geotekninen mallintaminen tapahtuu pääsääntöisesti Yleisten inframallivaatimusten mukaan. BuildingSmart Finlandin julkaisema Yleiset inframallivaatimukset YIV on yleiset vaatimusmäärittelyt inframallintamisessa (Väylävirasto 2022, 10). YIV:n mukaan tiedonhallinnan kolme tärkeintä osa-aluetta on mallinnusvaatimukset, InfraBIM-nimikkeistö sekä tiedonsiirtoformaattien määrittelyt eli niin sanottu tiedonhallinnan kolmikanta (kuvio 3). Kun kolmikanta on kunnossa ja yhteneväinen, tiedonhallinta toimii. YIV:n tavoite on yhdenmukaistaa, ohjata ja kehittää koko infra-alan mallinnuskäytäntöjä sekä kattaa lähtöaineisto, suunnittelun ja rakentamisen sekä käytön ja ylläpidon elinkaari. (YIV 2021, 6–7.)



KUVIO 3. Tiedonhallinnan kolmikanta (YIV 2021, 6).

Yleiset inframallivaatimukset sisältävät yleisen osan, lähtötietoaineisto-, suunnittelu- ja rakentamisosan, sekä tulevaisuudessa myös kunnossapito-osan ja siinä on eriteltynä selkeästi ohjeet ja vaatimukset, joita päivitetään jatkuvasti ajantasaiseksi. Vaatimukset ovat vähimmäisvaatimuksia, joiden on toteuduttava, kun taas ohjeet eivät ole pakollisia, vaan suositeltavia ohjaavia käytäntöjä. (YIV 2021, 6–7).

BuildingSmart Finland on julkaissut myös Talogeotekniikan tietomalliohjeen, jonka tarkoitus on olla tarkentava ohjeistus talogeotekniikan mallintamisen suunnitteluun. Talogeotekniikan tietomalliohjeen tavoitteena on toimia talo- ja infra-hankkeiden rajapintana (Talogeotekniikan tietomalliohje, 2021, 4). Tämä ohje ei kuitenkaan ole vielä alan yleisessä käytössä (Tapper 2024).

Väyläviraston inframallivaatimukset ovat toinen käytössä oleva perusta geotekniselle mallipohjaiselle suunnittelulle. Tämä ohje täydentää YIV:n ohjeistuksia ja se on tarkoitettu tilaajille sekä heidän palveluntuottajillensa. Ohjeen on tarkoitus selkeyttää mallipohjaista prosessia ja ohjeistaa mallien tilaamis-, tuottamis-, tarkastus- ja luovutusvaiheita. (Väylävirasto 2022, 3.)

2.4 Algoritminen suunnittelu

Algoritmi pohjainen suunnittelu on rutiininomaisten ja toistuvien suunnittelutehtävien automatisointia, joka nopeuttaa suunnitteluprosessia ja vaihtoehtojen tarkastelua (BuildingSmart 2021,50). Algoritmi pohjaisella suunnittelulla saadaan osa suunnitteluprosessin lopputuotteista/vaiheista tuotettua algoritmien avulla. Algoritmi tarkoittaa tietokoneen suorittamaa komentosarjaa, joka etenee yksityiskohtaisesti ja oikeassa järjestyksessä. Samoilla algoritmeilla ja lähtötiedoilla saadaan tuotettua aina samanlainen lopputulos. Algoritminen suunnittelu kehittyy ja etenee koko ajan. Algoritminen suunnittelu vaatii kuitenkin suunnittelijan kerto-
maan tehtävien työjärjestyksen sekä käytettävät tiedot ja säännöt. (Lehtonen & Kortelainen, 2022).

Algoritmi pohjaisen suunnittelun osaamista on suunnittelijoiden joukossa suhteellisen vähän. Ammattikorkeakoulusta sekä yliopistosta puuttuu lähes kokonaan algoritmisen suunnittelun opetus tai edes aiheesta kertominen, joten vastavalmistuneista insinööreistäkään ei löydy osaajia tässä suunnittelun alalajissa.

Algoritmipohjaisen suunnittelun opettelu tapahtuu lähinnä internetin videoesimerkkien ja suunnittelumuotoa ennestään käyttävien neuvojen perusteella. Rhinoceros 3D ohjelmiston Grasshopper- lisäosan luoneella David Ruttenilla on oma YouTube kanava, jossa on jonkun verran video-opastuksia lisäosan käytön aloitusta helpottamaan. Parametripohjaiselle suunnittelulle ei ole mitään varsinaista teosta, jonka pohjalta oppiminen tapahtuisi. Valmiista työkaluista järjestetään yritysten sisällä koulutuksia, mutta tarkemmin itse työkalujen tekemisestä tai ohjelmiston käytöstä olevat koulutukset puuttuvat.

2.4.1 Rhino

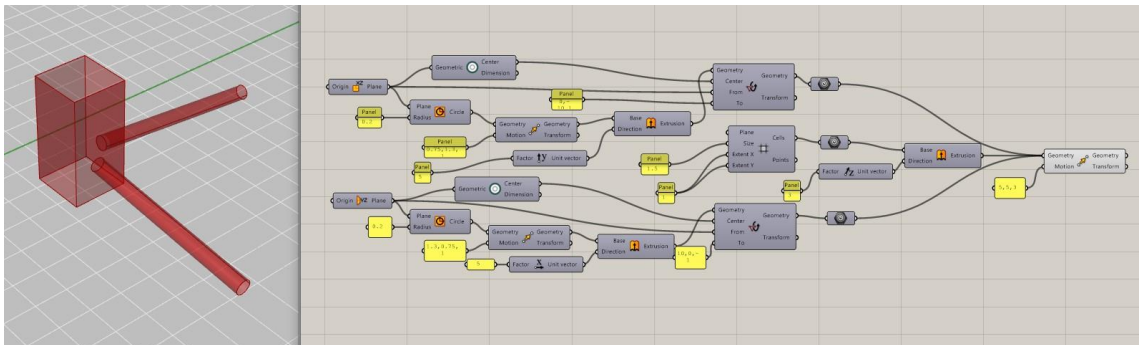
Rhinoceros 3D, kutsumanimeltään Rhino on 3D- mallinnusohjelmisto, jolla voi muokata, luoda, dokumentoida, analysoida, animoida ja kääntää pintoja, pistepilviä, kiinteitä geometrisia muotoja, monikulmioverkkoja eli meshejä ja NURBS-käyriä (Rhinoceros n.d.). NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) ovat Rhinocerosin mukaan matemaattisia esityksiä 3D- geometriasta.

Rhinon etuina on sen laaja tuettujen tiedostomuotojen yhteensopivuus (Rhinoceros n.d.). Rhino on käytettävyytensä ansiosta myös 3DNativesin listauksessa yksi suosituimpia 3D- mallinnusohjelmia ja sitä käytetään laajasti eri aloilla, kuten tekniikan alat, arkkitehtuuri, korujen tuotannossa sekä erilaisissa prototyypeissä (Carlota 2024).

2.4.2 Grasshopper

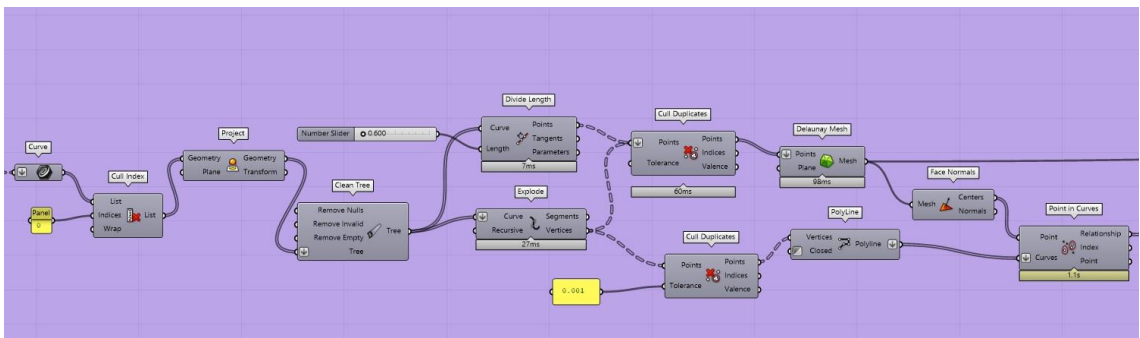
Visuaalisen ohjelmoinnin työkalu Grasshopper on David Ruttenin luoma Rhinoceros 3D- ohjelmiston lisäosa, jolla voidaan suunnitella ja mallintaa algoritmisesti (Grasshopper 2024). Grasshopperilla on luotu monia työntekoa nopeuttavia ja käsityötä vähentäviä automatisointi työkaluja esimerkiksi infrasuunnittelun avuksi (Inkinen 2024, b).

Rhinoon saadaan Grasshopperin algoritmeilla luotua geometriaa (kuva 6). Grasshopperin ohjelmoinnin komponentit ovat Rhinosta löytyviä komentoja, mikä mahdollistaa lähes kaiken saman luomisen Grasshopperilla kuin Rhinossa manuaalisesti. Grasshopperin algoritmien avulla voidaan luoda tavanomaisia mallinnuksia syöttämällä lähtötiedot olemassa olevaan algoritmiin. Kun lopputulosta halutaan muokata, algoritmista voidaan muuttaa matemaattisia funktioita. Tämä on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa, kuin manuaalinen mallintaminen ilman Grasshopperia joko Rhinossa tai Autocadissa.



KUVA 6 Oikealla Grasshopperin algoritmi ja vasemmalla sillä luotu esikatselu näkymä Rhinossa (Salla Hietaniemi).

Grasshopper toimii datapuurakenteen avulla. Grasshopper järjesteele dataa optimaalisesti datapuurakenteen (kuva 7) avulla. Datapuurakenne tarkoittaa eri objektien jakautumista omille oksilleen, jolloin objektit säilyttävät rakenteensa ja paikkansa. Puurakenne mahdollistaa suurien datamäärien hyödynnyksen Grasshopperissa. (Grasshopper 2024).



KUVA 7 Osa Grasshopperin algoritmia, jossa katkoviivalla näkyy datapuura-
kenne komponenttien välillä (Salla Hietaniemi).

3 SILTA

3.1 Siltojen mallintaminen

Siltojen mallintaminen tapahtuu lähtökohtaisesti tarkkojen ohjeiden ja määräysten mukaan. Näitä ovat esimerkiksi Väyläviraston siltojen inframalliohje ja Tienpidon tekniset ja turvallisuusohjeet. Väyläviraston Siltojen Inframalliohjeen tarkoituksena on yhtenäistää toimintatapoja muiden infran mallinnusohjeistusten kanssa (Väylävirasto 2022,4). Tienpidon tekniset ja turvallisuusohjeet sisältävät tiedon uusista ja päivitettävistä sekä ajankohtaisista väyläsuunnittelun, kunnossapidon sekä taitorakenteiden suunnittelu- ja rakentamisoheista (Väylävirasto 2024). Siltojen malleihin tehdään jatkuvasti päivittyvien siltojen suunnittelun numeroimisohjeiden mukaan nimetyt tasot, joilla kaikki mallinnettava tieto on tarkasti jaoteltuna (kuva 8). Tasojen erottelun avulla sillan mallista saadaan piilotettua tai avattua vain yksittäisiä osia mallista, jolloin tarkempi tarkastelu helpottuu (Ramboll Finland-Tekla Structures silta ympäristön kehitystiimi 2024).

| Phase | Nimi | Name | Class |
|---------|-------------------|--------------------------|-------|
| 100/200 | Maatuki | Abutment | 201- |
| | ANTURA | FOOTING | 201 |
| | PERUSLAATTA | BASE SLAB | 201 |
| | LYÖNTIPAALU | DRIVEN_PILE | 203 |
| | KAIVINPAALU | BORED_PILE | |
| | TÄYTEVALU | CONCRETE_FILL | |
| | ETUMUURI | ABUTMENT | 204 |
| | TUKISEINÄ | RETAINING_WALL | 205 |
| | SEINÄMÄINEN TUKI | | 205 |
| | LAAKERIPALKKI | | 206 |
| | JALKA | | 207 |
| | MANTTELI | MANTLE | 209 |
| | KIVIVERHOUS | STONE FACING | 209 |
| | SIIPIMUURI | WING_WALL | 253 |
| | JÄLKIVALU | POST-CAST | 254 |
| | LISÄOSA | EXTRA_PART | 257 |
| | KUMIBITUMI SIVELY | RUBBERIZED BITUMEN COATI | 258 |
| | ARINA | | |

KUVA 8. Class numeroinnin mukainen tasoerottelu siltojen mallintamisessa (Ramboll Finland-Tekla Structures silta ympäristön kehitystiimi 2024).

Siltojen suunnitelmat pitävät sisällään pääpiirustuksen sekä pääpiirustuksen vesilain mukaista lupaa ja tiesuunnitelmaa varten. Pääpiirustus sisältää sillan ulkonäön, rakenteet, päämitat sekä ympäristöön sovittamisen. Pääpiirustus vesilain mukaista lupaa varten sisältää sillan mitat ja geometrian, sijainnin ja yleistiedot, perustamisen ja maaperän sekä vesistötiedot. Vesilain mukaisen luvan vaatima pääpiirustus tarvitaan vesioikeuden käsittelyä varten ja se antaa yleiskuvan riittävällä tarkkuudella vesistöä koskevista tiedoista sillan ja siltapaikan alueelta. Pääpiirustus tiesuunnitelmaa varten sisältää sillan ympäristön karttapiirroksen tai asemapiirroksen, rakenteen, päämitat, sillan sovittamisen ympäristöön, pintamateriaalit ja värit, keilojen ja etuluiskien verhoukset sekä tasokuvan, sivukuvan ja leikkauksen sillasta. Ensisijaisesti tielupaa varten tehtävässä pääpiirustuksessa täytyy selvittää sillan ulkonäkö ja ympäristöön sovittaminen. Sillan suunnitelmiin kuuluu lisäksi kustannusarvio, määräluettelo, siltakohtaiset tuotevaatimukset, suunnitelmaselostus, toteutustapaehdotus sekä havainnekuvat. Siltojen suunnittelu on tärkeässä osassa teiden suunnittelua, koska sillat mahdollistavat nopeampia siirtymiä eri paikkojen välillä. Uudet ja korjattavat sillat suunnitellaan pitkälti suoraan IFC malleiksi. (Tielaitos 2000,11–12, 14–15).

Siltojen suunnittelu on vahvasti sidoksissa teiden suunnitteluun. Kuviossa 3 esitetään tien suunnittelu ja sillan suunnittelu. Kuvioista selviää siltojen suunnittelun sidosteisuus tien suunnitteluprosessiin.



KUVIO 3. Tien suunnittelun ja siltöiden suunnittelun prosessikaavio.

Siltöiden suunnittelussa hyödynnetään paljon automaatiotyökaluja. Automaatiotyökalut ovat joko Rhinoseroksen Grasshopper ohjelmalla tai Tekla Structures ohjelmalla tehtyjä. Tekla Structures on tarkkoja tietomalleja tuottava suunnitteluohjelma (Trimble n.d.). Tekla Structures ohjelma ja Rhino eivät toimi ihan täydellisesti yksin, koska esimerkiksi tasojen erottelut eivät näy geoteknisillä suunnittelijoilla IFC mallissa muilla ohjelmistoilla avattuna yhtä selkeästi kuin Tekla Structures ohjelmalla avattuna siltasuunnittelijat ne näkevät.

Siltöiden suunnittelussa tärkeässä osassa on siltöiden geotekninen suunnittelu. Siltöiden suunnittelijat sekä geotekniset suunnittelijat tekevät töitä erillään, mutta heidän välisensä vuorovaikutteinen yhteistyö on suuressa roolissa. Ilman yksiköiden yhteistyötä, siltöiden suunnittelu olisi mahdotonta. Siltöiden geoteknisen suunnittelun avulla sillat saadaan rakennettaessa pysymään maanpinnalla ja pitämään paikkansa käytön aikana.

3.2 Siltojen 3D-mallien hyödynnyksessä geotekniikan leikkauskuvissa

Geotekninen suunnittelu toteutetaan pääsääntöisesti tasopiirustuksina ja vain tarvittavin osin 3D malleina. Geotekniset leikkauskuvat tehdään pääosin manuaalisesti AutoCad ohjelmistolla siltojen IFC malleista. Lisäksi apuna käytetään Novapoint- suunnittelujärjestelmän Soundings-lisäosaa tuomaan esimerkiksi pohjatutkimuksia kuvaan. Geotekniikan alalla käytetään automaatiotyökaluja aika rajallisesti ja automatisointi on vasta saamassa kunnolla jalansijaa tällä suunnittelualalla.

Tasopiirustuksia tehdään geoteknisessä suunnittelussa tilaajien toiveesta. Geotekniikassa tasopiirustusten käyttö on edelleen yleistä perinteeksi muodostuneen tavan, kustannustehokkuuden sekä geotekniikan suunnittelun haasteellisuuden vuoksi. Siirtymä mallipohjaiseen suunnitteluun on hidas ja se vaatii muutosta sekä muutoshalukkuutta. Haastavien ja yhtäkkiäkin muuttuvien geoteknistien suunnitelmien teko ei ole helppoa kokonaan mallintamalla, jolloin tuttu ja turvallinen tasopiirustuksilla suunnittelu houkuttaa. (Inkinen 2024, a; Loukonen 2024). Työjärjestys on näin työläs, koska leikkauskuvat täytyy muokata käsin joka kerta, kun suunnitelmiin tulee muutoksia. Tämän jälkeen vasta muokataan 3D malli. Jos tasopiirustukset saataisiin suoraan malleista, korjautuisi tasopiirustukset helpommin, eikä työtunteja kuluisi geoteknisillä suunnittelijoilla niin paljon pieniin tasopiirustusten korjauksiin. Korjauksia kuitenkin tulee aina, vaikka kuinka toivottaisiin mahdollisimman sujuvaa suunnittelua ja kaiken valmistumista yhdellä kerralla.

Siltojen IFC mallien tasoerottelut on Rhinolla avatessa hankala saada samanlaisiksi, kun malli aukeaa kokonaisuudessaan yhdelle tasolle, eikä erillisille tarkasti määritetyille tasoille. Tasoerottelulla tarkoitetaan eri objektien jakamista omille tasolleen, joilta päällekkäisiä objekteja on helppo piilottaa ja ottaa takaisin näkyviin (kuva 9). Tasojen erottelun avulla työskentely on helpompaa ja selkeämpää. Tasoerottelun hyötynä on myös se, että jokaiseen tasoon saa valittua esimerkiksi oman värin, viivatyyppin, ja viivan paksuuden. Jatkosuunnittelua ja muokkauksia varten tasoerottelun tekeminen on tärkeää tässä vaiheessa.

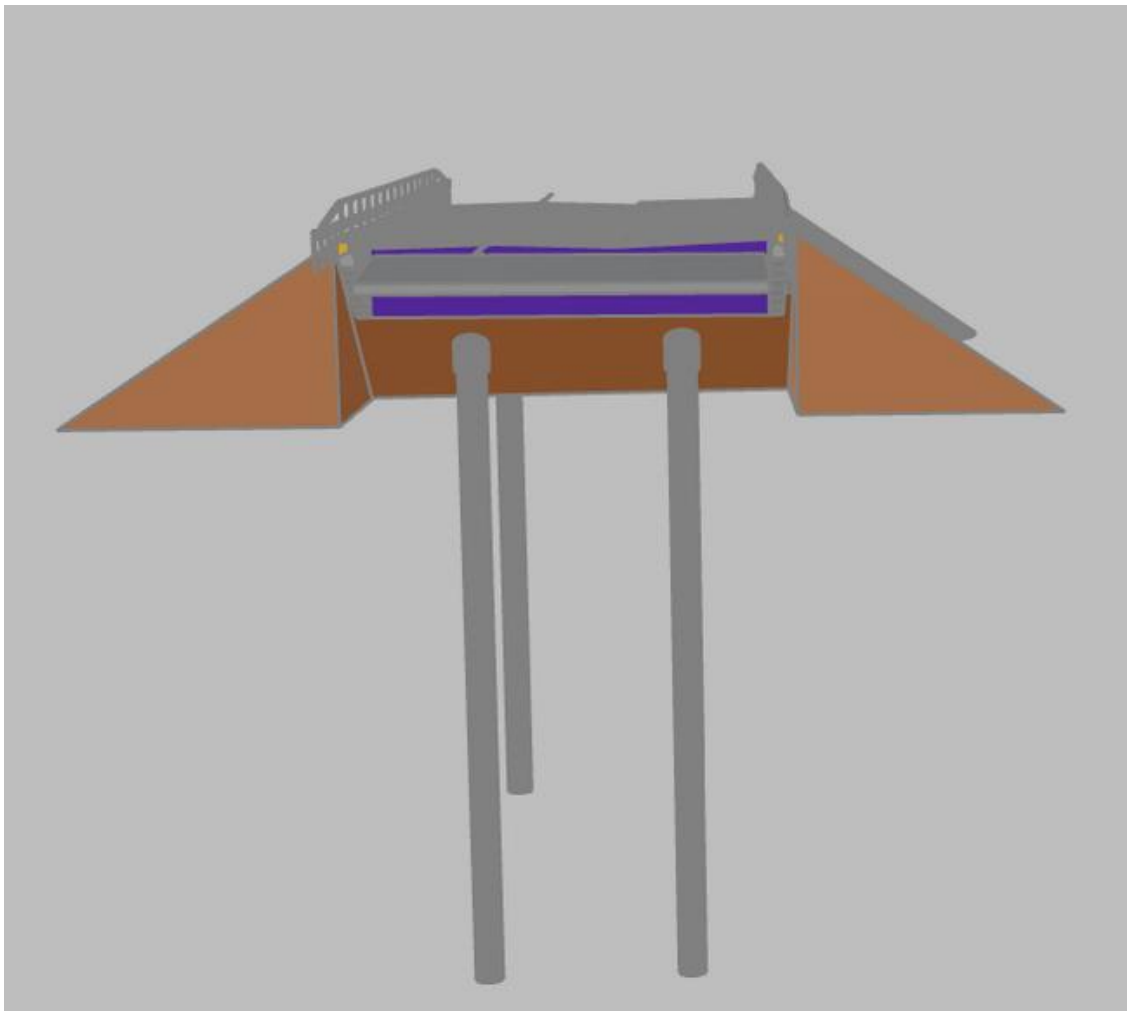
| | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|--|--|--|--|--------|--------|------------|------------|------------|
| _APU | | | | | | yel... | yel... | Continu... | Continu... | — Defa... |
| _Maalajiraja | | | | | | ma... | ma... | VIA2 | VIA2 | — Defa... |
| _Maanpinta_Kartoitus | | | | | | yel... | yel... | Continu... | Continu... | — Defa... |
| _Maanpinta_MML | | | | | | gre... | gre... | DASHDOT | DASHDOT | — Defa... |
| _Paalujen_tunkeutumistaso | | | | | | cyan | cyan | DASHDOT | DASHDOT | — Defa... |
| _Teksti | | | | | | wh... | wh... | Continu... | Continu... | — Defa... |
| 00_PAALUTASO | | | | | | cyan | cyan | VIA3 | VIA3 | — Defa... |
| 0 | | | | | | wh... | wh... | Continu... | Continu... | — Defa... |
| 0_geo | | | | | | blue | blue | Continu... | Continu... | — 0.00 ... |
| 0_Nimio | | | | | | wh... | wh... | Continu... | Continu... | — Defa... |
| 0_Tulostusikkuna | | | | | | wh... | wh... | Continu... | Continu... | — Defa... |
| 0_Tulostusraamit | | | | | | wh... | wh... | Continu... | Continu... | — 0.13 ... |

KUVA 9 Esimerkki tasoerottelu listasta AutoCadissa (Salla Hietaniemi).

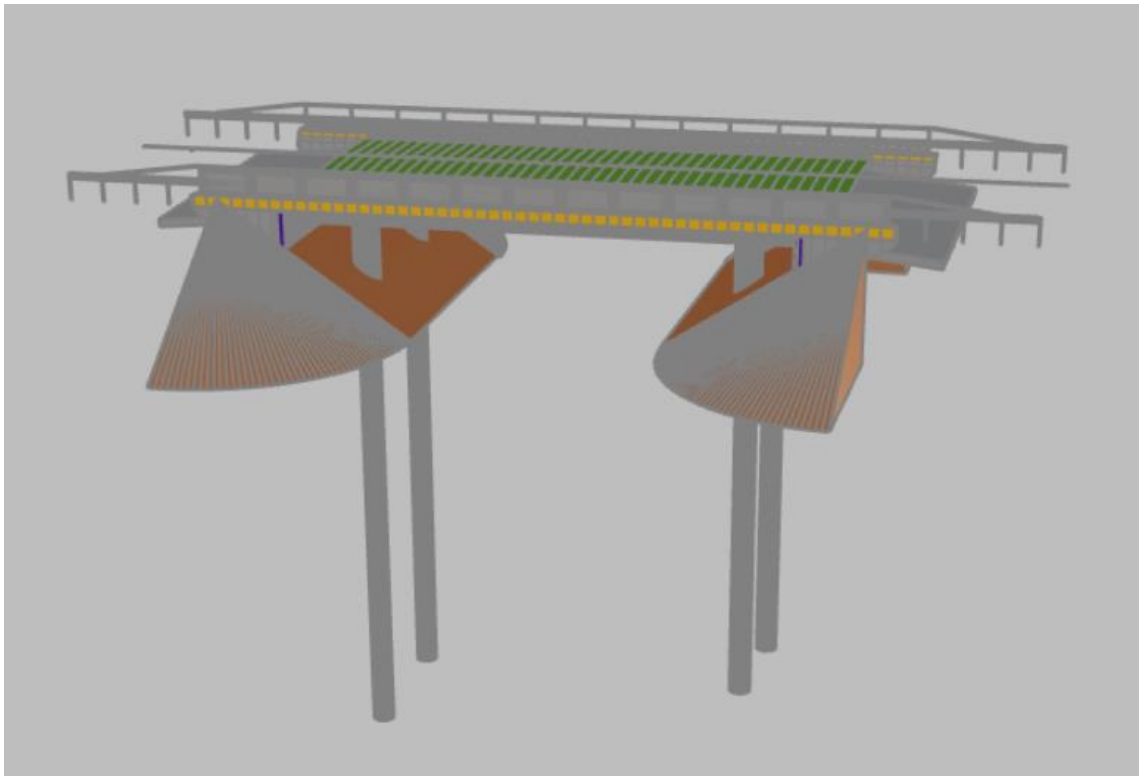
4 SILTOJEN GEOTEKNISTEN LEIKKAUSTEN ALGORITMINEN TYÖKALU

4.1 Lähtötiedot työkalulle

Työkalun lähtötiedoksi suunnittelua varten vaaditaan siltasuunnittelijalta saatu sillan IFC – malli (kuvat 10 ja 11), joka pitää sisällään sillan 3D:nä. Tarvittaessa myös geosuunnittelijan mallintamat paalulaatat, kevenne rakenteet, maakerrokset tai tien tasaus voidaan tuoda mukaan lähtötietoina. Lähtökohtaisesti kaikki valmiiksi mallinnettu tieto, jota leikkauskuvissa tarvitaan, voidaan tuoda algoritmiin lähtötiedoksi.

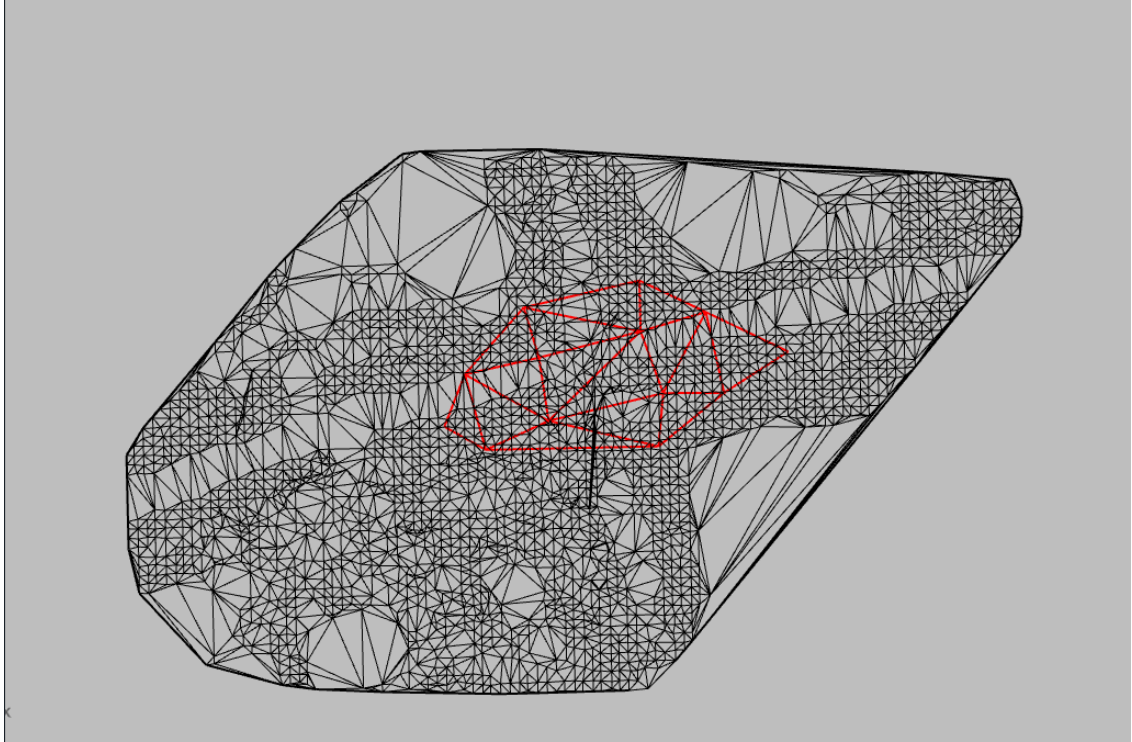


KUVA 10. Sillan 3D- malli lähes poikkileikkauksen suuntaisesti (Salla Hieta-niemi).

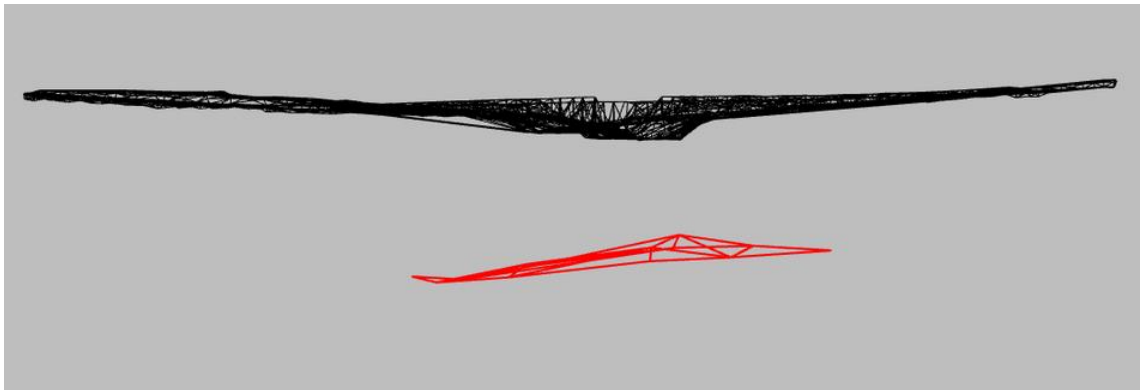


KUVA 11. Sillan 3D-malli lähes pituusleikkauksen suuntaisesti (Salla Hietaniemi).

Lähtötiedoiksi tuodaan myös olemassa olevat kallionpinta- ja maanpintamalli kolmioverkkoina. Geosuunnittelija tekee olemassa olevien pohjatutkimusten tai tarvittaessa uusien pohjatutkimusten pohjalta maanpinta- ja kallionpintamallit. Kuvassa 12 on esitetty maanpintamalli mustalla ja kallionpintamalli punaisella ylhäältä kuvattuna. Kuvassa 13 on taas esitetty samat mallit sivusta katsottuna.



KUVA 12. Kalliomalli ja maanpintamalli kolmioverkkoina (Salla Hietaniemi).



KUVA 13. Kalliomalli ja maanpintamalli sivusta katsottuna (Salla Hietaniemi).

Lähtötiedot voidaan syöttää monella eri tavalla Rhinosta Grasshopperiin. Tässä työssä valittiin vaihtoehdoksi tapa, jossa suunnittelija valitsee jokaisen mallin erikseen. Lähtötiedoista tärkein on sillan IFC malli, jonka lisäksi lähtötiedoiksi on mahdollista tuoda viisi muuta mallia, joista maanpinta- ja kallionpintamallit oletetaan vakioiksi. Suunnittelijan täytyy valita erikseen myös sillan paalut ja pilarit, jotta vinopaalut saadaan kuvautumaan leikkauksiin. Kallionpinnan sekä maanpinnan lisäksi kolmeen muuhun kuvautuvaan malliin on mahdollista asettaa suunnittelijan haluama teksti sen perusteella, mikä malli on kyseessä. Oletusasetukseksi on kuitenkin asetettu paalulaatta/ kevenne rakenne, alittavan tien tasaus sekä maakerrokset.

Mallinnettaville tiedoille on lisäksi luotu valmiita malliin viittaavia tekstejä, joista nähdään nopeasti mistä missäkin viivassa on kyse. Sillan mallia lukuun ottamatta kaikille työkaluun lisättäville mallinnetuille tiedoille on erikseen omat tekstinsä, joita suunnittelija pääsee tarvittaessa muokkaamaan. Mallinnetun tiedon lisäksi leikkauskuvien suunnitteluun tarvitaan leikkauksen kohdan osoittava leikkausviiva, jonka suunnittelija piirtää itse haluamaansa kohtaan Rhinossa ja liittää sen jälkeen viivan Grasshopperiin leikkausviivalle varattuun kohtaan.

Globaali koordinaatisto saattaa aiheuttaa haasteita laskentaan ja tiedonsiirtoon. Tämän takia kaikki lähtötiedoiksi haetut mallit siirretään lähelle origoa ennen suunnittelua Grasshopperin suunnittelutyön ajaksi. Lopputuotteet palautetaan mallien kanssa lähekkäin globaaliin koordinaatistoon.

4.2 Työkalun luominen

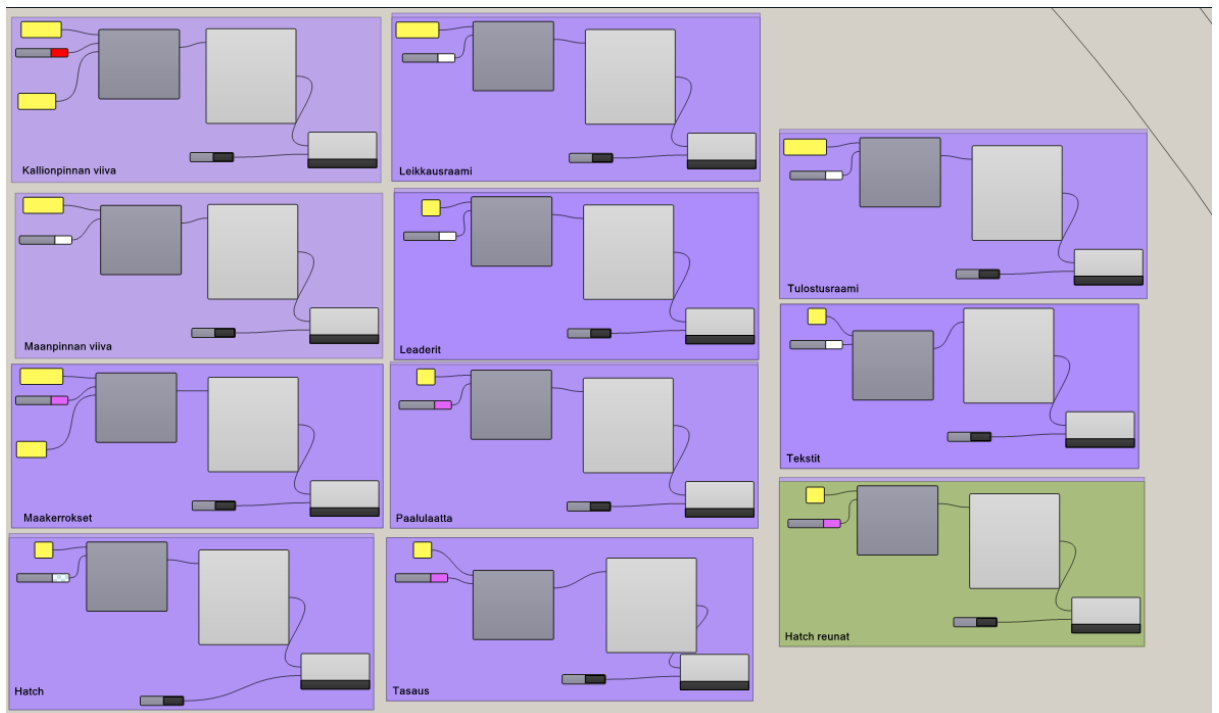
Sillan leikkauskuva luodaan työkaluun liitettyjen lähtötietojen avulla. Lähtötietojen valitsemisen jälkeen työkalu tuottaa tulostusraamin, jonka sisälle se asettelee leikkauksen raamin. Leikkausraamin leveys tulee suunnittelijan asettamasta leikkausviivasta suoraan ja siihen kuvautuu oikeassa korkeustasossa sillan mallin läpileikkaus sekä muiden lähtötiedoiksi asetettujen mallien leikkaukset. Työkalulla on myös mahdollista tuottaa leikkaus käyttäen suoran viivan sijaan murtoviivaa. Ensimmäisen leikkauksen ohjelma olettaa olevan pituusleikkaus. Muiden leikkausten oletettiin työkalussa olevan poikkileikkauksia, jonka takia niiden leikkausviivana täytyy käyttää yksittäistä suoraa viivaa.

Lähtötiedoissa on myös mahdollista asettaa haluttu mittakaava leikkaukselle. Leikkaukseen kuvautuu tekstinä lisäksi leikkauksen koko, määrätty leikkauksen tunnus sekä raamin poikkiviivojen korkolukemat 5 metrin välein. Raamin korkolukemien avulla leikkauksesta pääsee helposti käsiksi mallien korkoihin myös muissa suunnitteluohjelmissa.

Suunnittelun nopeudessa isona osana on lähtötietojen koko ja laajuus. Työkalu toimii huomattavasti nopeammin optimoiduilla kolmioverkoilla ja 3D-malleilla. Siltamalleista poistetaan geosuunnittelulle turhia objekteja, joka nopeuttaa työkalun toimintaa ja selkeyttää lopputulosta. Tässä objektien poistamisvaiheessa sillasta poistetaan geosuunnittelulle tarpeettomia osia, kuten sillan rauditus ja kaiteet.

Työkalu mahdollistaa yhtäaikaisesti seitsemän leikkauksen tekemisen. Leikkauksia saa kuitenkin tuotettua useampiakin, kun välissä käyttää Bake- komentoa ”kokataksaan” tiedon Grasshopperista, Tämän jälkeen muuttaa leikkausviivan paikkaa ja leikkauksen mittakaavaa. ”Kokkaamiseksi” (Grasshopperissa Bake- komento) kutsutaan Grasshopperin luoman esikatselun piirtämistä Rhinoon muokattavaksi geometriaksi (Hopific 2023). Nämä ”kokatut” leikkaukset saa helposti vietyä esimerkiksi AutoCadiin.

Työkalu erottelee lopputuotteen sopiville tasoille (kuva 16). Leikkausraami ja tulostusraami ovat omilla tasoillaan, kuten myös jokainen malli ja niihin tulevat hatchit. Hatch on suunnitteluohjelmistoissa oleva työkalu, jonka avulla suljetun alueen voi täyttää värillä tai erilaisilla kuvioilla (Autodesk n.d.). Myös tekstit ovat omalla tasolla, jolloin tekstien kokoa ja tekstityyliä on helppo muokata myös esimerkiksi AutoCadissä. Tasojen erottelu auttaa myös erilaisten viivatyyppien ja värien vaihteluissa.



KUVA 16. Grasshopperin luomat tasot eri objekteille (Salla Hietaniemi).

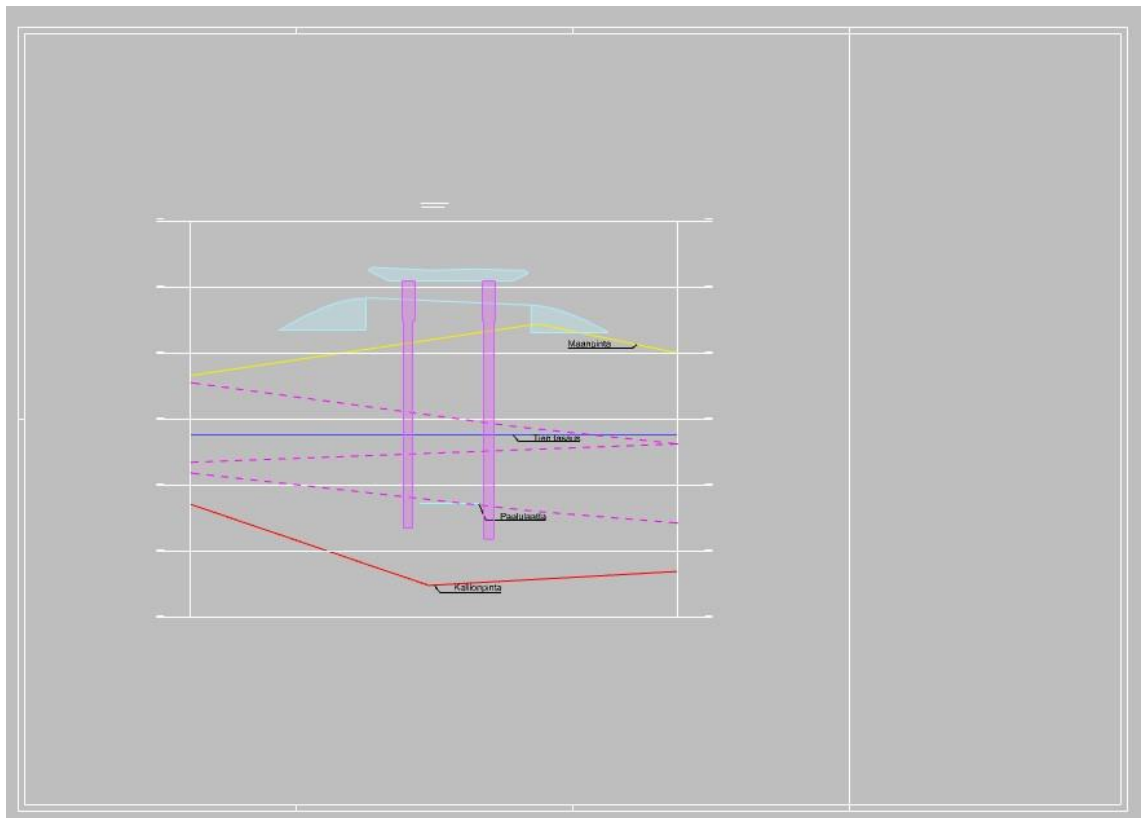
Kuvassa 17 esitetään Grasshopperin algoritmien luomat tasot. Tasot helpottava tasopiirustusten muokkaamista jatkossa. Kallionpinnan kuvaamiselle on oma viivatyyppinsä, joka täytyy vielä jälkikäteen lisätä AutoCadissä. Rhinon ohjelmisto ei tunnistanut kyseistä viivatyyppiä, jonka takia muokkaus jäi tehtäväksi käsin.

| | | | |
|----------------------|---|-------------|---|
| Maakerrokset |    | Dashed |  Default |
| Leaderit |    | Continuo... |  Default |
| Hatch |    | Continuo... |  Default |
| Arvioitu kallionp... |    | Continuo... |  Default |
| Maanpinta |    | Continuo... |  Default |
| Tekstit |    | Continuo... |  Default |
| Tulostusraami |    | Continuo... |  Default |
| Leikkausraami |    | Continuo... |  Default |
| Hatch reunat |    | Continuo... |  Default |
| Tien tasaus |    | Continuo... |  Default |

KUVA 17 Samat tasot Rhinossa (Salla Hietaniemi).

4.3 Valmis sillan leikkaus

Työkalu tuottaa maksimissaan seitsemän leikkausta suunnitelmapiirustuksia varten. Leikkaukseen kuvautuu sillan mallin ääriviivat, sillan paalujen ääriviivat, maanpinnan ja kallionpinnan leikkausviivat sekä muut mahdolliset lisättyjen mallien viivat. Lisäksi sillan malli ja paalut täyttyy hatchilla, jolloin ne ovat täyttövärin ansiosta helpompi hahmottaa. Jokaiseen leikkaukseen täytyy tehdä pieniä lisäyksiä tai muutoksia Grasshopperin tuottaman leikkauksen jälkeen. Yksi esimerkki on pohjatutkimusten tuonti leikkaukseen, mikä helppoa ja nopeaa Novapointin olemassa olevalla Soundings- lisäosalla. Erityiskohteissa suunnittelijan täytyy lisätä itse muitakin tarkennuksia tai huomioita, joita työkalu ei tuota automaattisesti. Valmis sillan geotekninen leikkauskuva (kuva 18) on mahdollista viedä Rhinosta ja Grasshopperista helposti muihin suunnitteluohjelmiin.



KUVA 18. Valmis leikkaus Grasshopperista (Salla Hietaniemi).

4.4 Jatkokehitysmahdollisuudet

Työkaluun on mahdollista eritellä esimerkiksi erilaiset siltatyypit erikseen ja lisätä karttakuvan tuottava algoritmi. Lisäksi työkaluun voi lisätä kaarevien leikkausviivojen käytön tai sillan eri objektien tarkemman erittelyn omille tasoilleen. Myös olemassa olevia toimintoja on varmasti kannattavaa ja tarpeellista muokata käyttökokemusten myötä, vaikka työkalua onkin koekäytetty erilaisilla lähtötiedoilla. Algoritmisen suunnittelun mahdollisuuksien ansiosta työkalua on mahdollista muokata lähes rajattomasti. Tarkoituksena tässä opinnäytetyössä oli kuitenkin toteuttaa yleispätevä työkalu, joka toimii mahdollisimman monelle erilaiselle sillan leikkauskuvalla.

Opinnäytetyötä tehdessä keskusteltiin silta ja geoteknisten yksiköiden välisestä yhteistyöstä, jossa hyötyisi molemmat osapuolet. Jos siltasuunnittelijat tekisivät malliin yhden yksittäisen viivan 3D mallissa sillan tukien väliin tai muuhun vastaavaan kohtaan, voisi geotekniikan yksikkö hyödyntää sitä suoraan leikkauskuvissaan leikkauksen osoittavana viivana. Lisäksi geoteknisen suunnittelun automatisoinnin voisi suunnitella niin, että siltasuunnittelijat saisivat siitä omiin malleihinsa tarpeelliset tiedot, kuten maakerrosten rajat. Näiden asioiden parissa on vielä paljon kehityskohteita tulevaa varten.

Jatkokehitysmahdollisuuksia työkalulle on rajattomasti algoritmisen suunnittelun ansiosta. Työkalun algoritmia voisi esimerkiksi muokata niin, että se ymmärtää leikkausviivaksi myös kaarevan viivan. Algoritmiin on mahdollista lisätä myös leikkausten määrää tarpeen mukaan.

5 POHDINTA

Algoritminen suunnittelu tarjoaa lähes rajattomat mahdollisuudet suunnittelumailmalle. Monenlaisia suunnitteluohjelmia on kehitetty, mutta erilaiset toiminnallisuudet jakautuvat eri ohjelmistoihin. Mistään tällä hetkellä yleisimmin käytetyistä ohjelmistosta ei löydy kaikkia pohjarakenteiden suunnittelun kannalta oleellisia toimintoja. Algoritminen suunnittelu mahdollistaa kaikkien toiminnallisuuksien tuomisen yhteen ja samaan paikkaan, koska suunnittelijalla on mahdollisuus luoda tarvittavat työkalut itse. Toivottu lopputulos saadaan lähes aina, koska työkalut toimivat suunnittelijan itse määräämällä logiikalla. Suunnittelijalta vaaditaan tarkkuutta, jotta hän osaa asettaa työkalulle oikeat parametrit. Algoritminen suunnittelu mahdollistaa mekaanisen työn määrän vähentämistä, jolloin suunnittelijat ehtivät keskittyä enemmän varsinaiseen suunnitteluun ja vaihtoehtotapauksien tarkasteluun.

Käytännössä mahdottomienkin suunniteltavien geometrioiden luominen onnistuu algoritmien avulla. Algoritmit loistavat monimutkaisten geometrioiden luomisessa sääntöjen mukaisesti ja nopeasti. Suunnitelmiin tehtävät päivitykset on mahdollista toteuttaa nopeasti ja tarkasti algoritmisilla suunnittelutyökaluilla. Algoritmista suunnittelua hyödynnetään suhteellisen vähän geoteknisessä suunnittelussa. Monilta puuttuu rohkeus tai mielenkiinto aihetta kohtaan, eikä sitä ainakaan tue se, että automatisointikoulutuksia järjestetään hyvin vähän. Perusteiden kouluttaminen voisi rohkaista useampaa ihmistä käyttämään algoritmista suunnittelua osana omaa työtään.

Algoritmiseen suunnitteluun ja erinäisten työkalujen tekoon menee kuitenkin suunnittelijan aikaa, joka onkin kaiken positiivisen käänköpuoli. Aloittelijana on työlästä ja hankalaa tuottaa yleispätevät työkalut nopeasti. Projektien suuruuden mukaan on tarpeen miettiä algoritmisten työkalujen luomisen kannattavuutta projektikohtaisesti, kun puhutaan yksittäisiin projekteihin suunniteltavista algoritmista työkaluista.

Siltojen geoteknisten piirustusten algoritmisen työkalun tavoitteena oli toteuttaa algoritmi, joka tuottaa lähes valmiita leikkauskuvia sillan mallista. Opinnäytetyönä toteutettu työkalun ensimmäinen versio nopeuttaa geoteknisten leikkauskuvien tekoa siltojen valmiista IFC malleista. Työkalu on mahdollisimman yksinkertainen käyttää ja muunneltavat parametrit ovat selkeästi säädettävissä, jotta se soveltuu useille ohjelmiston käytön määrästä riippumatta. Tämä työkalu ensimmäinen versio mahdollistaa suunnitelmien helpon muokkaamisen kaikissa suunnittelun vaiheissa. Työkalun toiminnan tavoitteet saavutettiin onnistuneesti ja työkaluun lisättiin ominaisuuksia helpottamaan leikkauskuvien monipuolista toteutusta. Työkalun ensimmäinen versio saatiin yrityksen toivomaan vaiheeseen ja sen testaus laajemmin erilaisissa projekteissa on alkamassa. Työkalua tullaan kehittämään käytön aikaisten ongelmakohtien ratkaisuille ja suunnittelijoiden toivomilla lisäyksillä.

LÄHTEET

Arkance Systems. n.d. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2024. <https://www.arkance-systems.fi/>

Autodesk. n.d. Verkkosivu. Viitattu 17.4.2024. <https://www.autodesk.fi/>

Building SMART Finland, Infra- toimialaryhmä. 2021. Yleiset inframallivaatimukset YIV. Viitattu 3.4.2024. <https://drive.buildingsmart.fi/s/AAELrj83NbrHae2>

Building SMART Finland. 2021. Talogeotekniikan tietomalliohje. Viitattu 12.4.2024. <https://drive.buildingsmart.fi/s/i6s4wmbw8AbAPnk>

BuildingSmart. n.d. Industry Foundation Classes (IFC). Verkkosivu, Viitattu 3.4.2024. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>

Carlota, V. 2024. The Top CAD Software for All Levels. 3DNatives. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. <https://www.3dnatives.com/en/top10-cad-software-180320194/>

Grasshopper. 2024. About Grasshopper. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. <https://www.grasshopper3d.com/>

Hopific. 2023. How to bake geometry in Grasshopper. Verkkosivu. Viitattu 23.4.2024. <https://hopific.com/how-to-bake-in-grasshopper/>

Inkinen, A. Trainee. 2024. a. Geoteknisten piirustusten tuotanto. Haastattelu. 1.1.2024-26.4.2024. Ramboll Finland Oy. Tampere.

Inkinen, A. Trainee. 2024. b. Grasshopper. Haastattelu. 1.1.2024-26.4.2024. Ramboll Finland Oy. Tampere.

Lehtonen, T. & Kortelainen, P. 2022. Algoritmit vapauttavat aikaa ajatteluun. Rakennuslehti. 9.6.2022. Viitattu 18.4.2024. <https://www.rakennuslehti.fi/blogit/algoritmit-vapauttavat-aikaa-ajatteluun/>

Loukonen, S. Team Leader. 2024. Geoteknisten piirustusten tuotanto. Haastattelu. 18.4.2024. Ramboll Finland Oy. Tampere.

Ramboll Finland–Tekla Structures silta ympäristön kehitystiimi. 2024. Siltojen mallintaminen. Haastattelu. 24.4.2024. Ramboll Finland Oy. Tampere.

Rhinoceros. n.d. Features. Verkkosivu. Viitattu 30.3.2024. <https://www.rhino3d.com/features/>

Tapper, N. 2024. Talogeotekniikan ohjeen käyttö geosuunnittelussa. Puhelinkeskustelu. 12.3.2024. Ramboll Finland Oy. Tampere.

Tielaitos. 2000. Siltojen suunnitelmat. Ohje. PDF- tiedosto. Helsinki: Edita Oy. Viitattu 25.4.2024. <https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Taitorakenteet/julkaisut/silsuu00.pdf>

Trimble. n.d. Novapoint. Verkkosivu. Viitattu 3.4.2024. <https://www.novapoint.com/products/novapoint>

Trimble. n.d. Tekla Structures. Verkkosivu. Viitattu 18.4.2024. <https://www.tekla.com/fi/tuotteet/tekla-structures>

Väylävirasto. 2022. Siltojen Inframalliohje. PDF-tiedosto. Viitattu 3.4.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-41_siltojen_inframalliohje.pdf

Väylävirasto. 2022. Väyläviraston inframallivaatimukset. PDF-tiedosto. Viitattu 18.4.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-32_inframallivaatimukset.pdf

Väylävirasto. 2023. Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu-NCCI7. PDF-tiedosto. Viitattu 9.4.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2023-14_NCCI_7_web.pdf

Väylävirasto. 2024. Tienpidon tekniset ja turvallisuusohjeet. PDF-tiedosto. Viitattu 25.4.2024. https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/OL/tieohjeet_1.3.2024.pdf