PÄÄSTÖJEN OPTIMOINTI TIESUUNNITTELUSSA

CASE: Valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla

LAB-AMMATTIKORKEAKOULU
Insinööri (AMK)
Energia- ja ympäristötekniikka
Syksy 2020
Joel Lerkki

Tiivistelmä

Tekijä	Julkaisun laji	Valmistumisaika
Lerkki, Joel	Opinnäytetyö, AMK	Syksy 2020
	Sivumäärä 34+13	

Työn nimi

Päästöjen optimointi tiesuunnittelussa
Case: Valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla

Tutkinto

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Tiivistelmä

Opinnäytetyön teoriaosuudessa selvitettiin nykyajan ja tulevaisuuden mahdollisia keinoja parantaa ekotehokkuutta infra-alan hankkeiden kilpailutuksessa, suunnittelussa ja rakentamisen toteutuksessa. Näitä varten selvitettiin erilaisia päästöjen arviointimenetelmiä ja ulkomaiden bonusmalleja. Päästöjen vähentämisen haasteellisimmiksi kohdiksi todettiin keinojen toimeenpaneminen, niiden valvominen ja yhtenäistäminen infrahankkeiden kilpailutuksessa.

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Destia Oy ja toimeksiannon tarkoituksena oli selvittää Trimble Quantm -suunnittelutyökalun resurssitehokkuus tiesuunnittelussa ja sen tuomat hyödyt päästöjen ja kustannuksien optimoimisessa. Tehtävänä oli luoda päästöjen ja kustannusten kannalta mahdollisimman optimaalinen linjaus Quantm-suunnittelutyökalulla. Vertailukohteena hyödynnettiin case-projektin valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla valmiiksi suunniteltua tielinjausta ja maastokäytävää.

Työssä perehdyttiin Trimble Quantm -suunnitteluohjelmaan käyttäen sitä uusien tielinjauksien suunnittelemiseen projektin suunnittelualueella. Tarkoitus oli löytää reunaehtojen avulla paras mahdollinen linjausvaihtoehto kuin myös sopivat reunaehdot, jotta voitaisiin luoda tasapuolinen vertauskohta linjauksien välille. Linjausvaihtoehtojen vertailussa päästiin selkeään tulokseen, että Quantm-suunnittelutyökalulla luoma linjaus on päästöjen ja kustannusten kannalta tehokkaampi ratkaisu. Case-projektin osalta haastateltiin Destia Oy:n suunnittelijoita ja Trimblen Quantm-asiantuntijaa.

Päästöjä huomioonottavat suunnitteluohjelmat lisäävät infra-alan ympäristönäkemystä vaikuttaen tulevaisuuden ekotehokkaaseen suunnitteluun positiivisesti.

Asiasanat

tiesuunnittelu, hiilidioksidipäästöt, Trimble Quantm, ekotehokkuus, mallipohjainen suunnittelu, ilmastonmuutos

Abstract

Author	Type of publication	Published
Lerkki, Joel	Bachelor's thesis	Autumn 2020
	Number of pages 34+13	

Title of publication

Optimizing emissions in road planning
Improving E75 on the location of Hirvas

Name of Degree

Bachelor's Degree in Energy and Environmental Engineering

Abstract

The theory part of this bachelor's thesis is a research about the different possibilities and ways to improve road planning from the environmental point of view. This research also covers possible ways to calculate and reduce emissions in infrastructure projects at different phases of the project. The main challenges were executing these ways properly and how to monitor and get collective data of the results in all projects to adapt it in the tender phase.

This assignment was given by Destia Ltd. and the goal was to find out how resource efficient Trimble Quantm is in road planning and the possible benefits that it has to offer in optimizing emissions and costs in road projects. In the case project part of this work the mission was to create the most optimized alignment using Trimble Quantm and to compare it with the alignment that has already been made by the original designers of this project called "Improving E75 on the location of Hirvas".

In this work Trimble's alignment design tool called Quantm was thoroughly introduced and used in the case project. It was used to find the most optimized alignment within the planning parameters and the initial data of the case project. After comparing the results of these two alignments the alignment made with Trimble Quantm was more efficient with emissions and total costs of the project. Getting proper results in this project required interviewing Destia's original designers of the case project and Trimble's Quantm expert for a thorough training and information of the design tool that was used.

Design software that takes notice on the emission side of planning increases the ecologic awareness in the field of infrastructure and causes positive affects in the future of planning more ecologically.

Keywords

road planning, carbon dioxide emissions, Trimble Quantm, eco efficiency, model-based planning, climate change

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 1
2 PÄÄSTÖTTÖMÄN YHTEISKUNNAN LÄHTÖKOHDAT ... 2
2.1 Päästöjen arviointimenetelmiä ... 2
2.1.1 Lähtökohdat tiesuunnittelussa ... 2
2.1.2 Rakentamissuunnitelman ja rakentamisen päästövähennysmenetelmiä ... 3
2.2 Urakoiden kilpailutus ... 3
2.3 Bonusmallit ... 4
2.3.1 Linköpingin bonusmalli ... 4
2.3.2 Hollannin kilpailutusmalli ... 6
2.4 Tulevaisuuden näkymät päästöjen optimoimiseksi ... 6
2.5 Ympäristöystävällisyys Destialla ... 8
3 TRIMBLE QUANTM -SUUNNITTELUTYÖKALU ... 9
3.1 Esittely ... 9
3.2 Lähtötiedot ... 9
3.2.1 Kartat ... 9
3.2.2 Kustannusparametrit ... 10
3.2.3 Geometria ... 11
3.2.4 Aluerajaukset ... 11
3.3 Linjaukset ja skenaariot ... 12
3.4 Kustannukset ja päästölaskelmat ... 15
3.5 Päästöjen näkökulmasta verrattavat työkalut ... 15
3.6 Trimble Quantmin havainnemalli ... 16
3.7 Quantmin tulevaisuuden näkymät ... 17
4 CASE: VALTATIEN 4 PARANTAMINEN HIRVAAN KYLÄN KOHDALLA ... 19
4.1 Lähtökohdat ... 19
4.2 Nykytilanne ja alueen esittely ... 19
4.3 Uusi suunniteltu linjaus ... 20
4.4 Quantmilla luotu linjaus ... 21
4.4.1 Suunnittelualueen aluerajaukset ... 21
4.4.2 Tien geometria ... 22
4.5 Tuloksien vertailua ... 24
4.5.1 Päästöt ... 26
4.5.2 Kustannukset ... 27

5 JATKOTOIMENPITEET 28
6 YHTEENVETO 29
6.1 Johtopäätökset 29
6.2 Suunnittelutyökalun kehittämiskohteet päästöjen osalta 30
6.3 Opinnäytetyöprosessi 30
LÄHTEET 32
LIITTEET 35

1 JOHDANTO

Ilmastonmuutoksen vauhdikkaan etenemisen ja estämisen myötä ekologisuus muuttuu koko ajan tärkeämmäksi kaikilla siihen vaikuttavilla osa-alueilla, minkä takia päästöjen vähentämiseen pyritään ja panostetaan tällä hetkellä lähes jokaisella sektorilla. Infrastruktuuri on erittäin laaja osa-alue, ja se muokkaantuu ihmisten luomien muutoksien ja tarpeiden takia jatkuvasti. Infra-alan hankkeissa on elintärkeää suunnitella kestävää yhteiskuntaa ympäristön näkökulmasta.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään nykyajan keinoja ja puutteita päästöjen optimoinnissa infra-alan hankkeissa. Työssä käsitellään mahdollisten palkitsemismenetelmien ja minimivaatimuksien käyttöönottoa tilaajan sekä urakoitsijan puolelta kilpailutuksessa ja näiden keinojen mukana tulevia haasteita. Tässä toimeksiannossa päätavoitteena on selvittää Trimble Quantm -suunnitteluohjelman resurssitehokkuutta tiesuunnittelussa hiilidioksidipäästöjen ja kustannustehokkuuden näkökulmasta. Case-projektissa tutkitaan aluevaraussuunnitelmaa ”valtatien 4 parantamista Hirvaan kylän kohdalla” suunnittelemalla uusi tielinjaus ja maastokäytävä suunnittelualueelle käyttäen Quantm-suunnittelutyökalua. Tämän jälkeen uutta tielinjausta vertaillaan Destian suunnittelijoiden luomaan linjaukseen ja maastokäytävään.

Opinnäytetyön puitteissa perehdyin syvällisesti tiesuunnitteluun, ilmastonmuutokseen ja päästöjen vähentämiseen infra-alalla ja näiden alojen kirjallisuuteen ja tutkimuksiin. Case-projekti osiossa perehdyin Trimble Quantm -suunnittelutyökalun käyttöön, ja sillä luotiin uusia mahdollisimman optimaalisia tielinjauksia. Perehdyin myös valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla -projektiin haastatellen suunnittelijoita ja perehtyen heidän suunnitelmaraporttiinsa saadakseni selvän kuvan suunnittelualueesta ja tuloksista. Lopulta sopivat reunaehdot löytyivät tasapuoliseen vertailuun linjauksien välillä ja tuloksiksi saatiin optimaalisempi linjaus päästöjen ja kustannuksien osalta. Toimeksiannon edellytyksenä oli myös perehtyä perinpohjaisesti Quantm -ohjelman ominaisuuksiin ja mahdollisiin hyötyihin, joita tässä opinnäytetyössä esitellään.

Työn alussa käydään läpi infra-alan hankkeiden päästövähennyskeinoja ja niiden vaikutuksia kohti kestävää yhteiskuntaa. Tutkimusosissa paneudutaan myös hankkeiden kilpailutukseen ja mahdollisiin päästöjenvähennysvaatimuksiin ja palkitsemisjärjestelmiin Suomessa ja ulkomailla. Sen jälkeen esitellään Trimble Quantm -suunnittelutyökalua ja sen ominaisuuksia pääpiirteittäin. Case-osissa syvennytään valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla -projektin suunnittelijoiden luomaan aluevaraussuunnitelmaan, joka on toteutettu perinteisin suunnittelukeinoin ja vertaillaan tuloksia keskenään Quantmilla luodun linjauksen ja analyysien kanssa.

2 PÄÄSTÖTTÖMÄN YHTEISKUNNAN LÄHTÖKOHDAT

2.1 Päästöjen arviointimenetelmiä

Elinkaari- ja hiilijalanjäljen laskentaa on hiljalleen kehitetty Suomessa jo viimeiset 20 vuotta. Suomessa ja Pohjoismaissa on kehitetty muutamia hiilijalanjäljen laskentaan soveltuvia työkaluja, jotka eivät alun perin välttämättä olleet edes suunnattu päästöjen laskentaa varten, mutta myöhemmin kehittyneet siihen pisteeseen tarpeiden laajetessa. (Mannola 2019, 3.) Taulukossa 1 on eriteltynä näitä Pohjoismaissa käytettäviä päästöjen mittaukseen soveltuvia työkaluja ja menetelmiä.

Taulukko 1. Pohjoismaiden kehittämiä laskentatyökaluja ja menetelmiä (Mannola 2019)

Fore	Alun perin rakennuskustannuslaskenta työkalu, johon on myöhemmin alettu kehittää soveltuvuutta päästöjen ja elinkaaren laskemiseen.
MELI	Excel pohjainen hiilijalanjäljen laskentaohjelma.
OneClickLCA	Elinkaari- ja hiilijalanjälkilaskentoihin pääsääntöisesti rakennusteollisuutta varten. Soveltuu myös infra-alan hankkeisiin.
IHKU	Uusi kehitteillä oleva kustannusjärjestelmä infrahankkeille. Siinä ei ole toistaiseksi hiilijalanjälkilaskentaa, mutta sitä voidaan soveltaa ja kehittää.
Geokalkyl (Ruotsalainen)	Geoteknisiin ratkaisuihin keskittyvä työkalu tie- ja ratainfrastruktuurin linjausvaihtoehtojen arvioinnissa.
EKA (Ruotsalainen)	Asfaltin tuotannon prosessien optimointiin ilmastovaikutusten ja energiakulutuksen minimoimiseksi.
Klimatkalkyl (Ruotsalainen)	Verkkopohjainen hyvin laaja Trafikverketin ylläpitämä työkalu kasvihuonekaasupäästöjen ja primaarienergian käytön laskemiseen tie- ja rautatieinfrastruktuurilla.
EFFEKT (Norjalainen)	Työkalu tiehankkeiden sosioekonomisten vaikutusten kustannus ja hyötyarviointiin. Käytetään erityisesti erilaisten teiden suuntausten vertailuun.
VegLCA (Norjalainen)	Excel pohjainen laskentatyökalu, joka on suunniteltu käytettäväksi tien suunnitteluprosessin myöhäisessä vaiheessa, kun materiaalimäärät ovat yksityiskohtaisempia.

Lisäksi tähän päästöjen mittaukseen soveltuvien työkalujen ja menetelmien ryhmään kuuluu Trimble Quantm -suunnitteluohjelma, jota opinnäytetyössä esitellään tarkemmin ja käytetään case-projektissa linjauksien optimoimiseen ja vertailuun.

2.1.1 Lähtökohdat tiesuunnittelussa

Ympäristövaikutukset ovat laajoja katujen ja teiden suunnittelussa ja rakentamisessa. Mahdolliset vaikutukset ympäristöön voidaan luetella seuraavasti: luonnonvarojen käyttö, päästöt ilmaan, pölypäästöt, päästöt maaperään ja veteen ja viimeisenä melu ja tärinä. Näillä kaikilla on erilaisia suoria ja epäsuoria vaikutuksia ympäristöömme. Hankkeen ympäristövaikutukset saadaan usein selville jo suunnittelun alkuvaiheessa, koska silloin tiedetään tulevan tien pituus, maan- ja kallionleikkausmassat ja tien poikkileikkaus. Näihin

suunnitelmiin voidaan vielä kuitenkin vaikuttaa tekemällä muutoksia rakennussuunnitteluvaiheessa ja rakentamisen aikana, esimerkiksi mahdollisilla ekologisen rakentamisen tavoilla. Tämän takia on hyvä arvioida ja seurata hiilidioksidipäästöjä koko hankkeen ajan ja mahdollisesti myös eritellä ne vaiheittain koko projektin elinkaaren ajan. Projektin elinkaari sisältää suunnittelun, rakentamisen ja ylläpidon. (Korkiala-Tanttu, Eskola, Valkeisenmäki, Antila & Mutanen 2007; Motiva 2010, 1-9.)

Vaikka liikenne aiheuttaakin huomattavasti enemmän päästöjä kuin infrastruktuurihankkeet, silti infrastruktuurin suunnitteluvaiheessa tehdyt linjauksien geometriset valinnat vaikuttavat merkittävästi muun muassa kunnossapitoon ja liikenteen energiatehokkuuteen. Nämä asiat vaikuttavat suoraan päästöihin, minkä takia optimaalinen tienlinjaus on aina ehdoton suunnittelutavoite ja suuremmassa mittakaavassa toimiva yhdyskuntarakenne. (Mannola 2019, 3; Väylä 2019, 8-52.)

2.1.2 Rakentamissuunnitelman ja rakentamisen päästövähennysmenetelmiä

Päästöjä voi vähentää infrastruktuurin rakentamisessa monella eri tavalla. Purkumateriaalien kierrätyksellä voidaan vähentää kuljetusmatkoja ja materiaalihankintoja. Työmaiden kone- ja kuljetuskalusto on suuri vaikuttava tekijä päästöihin. Käyttämällä vähäpäästöisiä polttoaineita ja uusiutuvalla energialla toimivaa kalustoa, vähennetään huomattavasti työmaiden aiheuttamia päästöjä rakennusvaiheessa. Pohjanvahvistusmenetelmien valinnalla vaikutetaan huomattavasti ympäristökuormitukseen. Hankkeisiin tulee varata riittävästi aikaa, jotta saadaan aikaiseksi mahdollisimman ekologisia ja kustannustehokkaita ratkaisuja. Lisäksi ekotehokkuutta voidaan lisätä päällysrakenteiden materiaalivalinnoilla lisäämällä kierrätettävien, korvaavien ja uusiomateriaalien käyttöä, ja näin ollen päästörikkaiden materiaalien käyttö vähenee. Työmaatoimenpiteiden aiheuttamien kuljetusten pituutta voidaan myös optimoida eri keinoin. Näitä keinoja pitkien kuljetusmatkojen eliminointiin ovat riittävät välivarastointi- ja läjityspaikat työmaiden läheisyydessä. (Motiva 2010, 1-9; Liikennevirasto 2014.)

2.2 Urakoiden kilpailutus

Ilmastomuutoksen riskit ovat lisänneet tarvetta hiilidioksidipäästöjen vähentämiselle ja niiden laskennalle. Tilaajien tulisi sisällyttää kaikkiin infrahankkeen hankevaiheisiin koko prosessin ajaksi tarvittavat toimenpiteet hiilidioksidipäästöjen hallitsemiseksi. Urakkakilpailussa voitaisiin asettaa erilaisia vaatimuksia urakan päästötavoitteista ja valvoa niitä tai vastaavasti kehittää bonuspisteytystä, joka vaikuttaa urakoinnin kilpailutukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että tilaajilta vaaditaan hankekohtaista ohjausta, suosituksia ja vaatimuksia,

jotta saataisiin aikaan muutoksia ekologisempaan infra-alan rakentamiseen ja suunnitteluun. (Motiva 2010, 1-9; Mannola 2019, 20-22.)

Kilpailutuksessa yhdenmukaisuus on erittäin tärkeää, koska ympäristönäkökohtien tarkasteluun liittyy aina todentaminen, jotta tarjoajilla olisi tasapuolinen ja yhtenäinen kohtelu. Todentaminen jatkuu koko urakan ajan, ja sekin vaatii tietojen yhtenäisyyttä, että tuloksia voidaan valvoa ja niistä voidaan samalla myös oppia. Elinkaariperusteisella laskennalla varmistetaan, ettei tuloksia yritetä kaunistella alkuvaiheessa esimerkiksi vähentämällä laadukkaiden materiaalien käyttöä, heikentäen tien päällysteen kestävyyttä ja sitä kautta aiheuttaa lopulta suuremmat kokonaispäästöt. (Bergman, Merenheimo & Österlund 2018, 12-37.) Standardit luovat yhdenmukaisuutta hankkeiden päästöarvioille ja yleiseen suunnitteluprosessiin millä niitä tuotetaan. Infrastruktuurihankkeisiin liittyville standardeille on meneillään kehitystyö, johon sovelletaan talonrakennushankkeiden standardeja, mikä tuo mukanaan laajennuksia kuten esimerkiksi vaikutukset liikennejärjestelmään. (Pasanen & Miilumäki 2017, 3.)

Norjassa valtiolla on yleisesti hyvin tiukat vaatimukset ilmastopäästöjen kannalta infrahankkeissa ja kaikessa julkisessa rakentamisessa ylipäätään. Norjassa Statsbygg eli Norjan hallituksen rakennus- ja kiinteistöpolitiikkaa toteuttava valtion omistama yritystaho on vaatinut vuodesta 2009 asti kaikilta hankkeilta elinkaaripäästöjen arviointia ja ympäristöselosteita. (Pasanen & Miilumäki 2017, 3.) Tästä syystä Quantm on laajasti käytössä tiehallinnon projekteissa Norjassa, jopa vaatimuksena. Norjan tiehallinto huomasi, kuinka resurssitehokas suunnittelutyökalu Quantm on, säästäen suunnitteluajassa ja kokonaiskustannuksissa saaden samalla kattavan vertailun mahdollisten linjausten päästöjen optimoinnista jo projektien alkuvaiheessa. (Hedly 2020.)

2.3 Bonusmallit

Infra-alan suunnitteluun liittyvistä palkkiomalleista on melko vähän tarjolla raportteja ja analysoitua tietoa. Palkkioiden ja sanktioiden käyttöä suositellaan sillä periaatteella, että koko ryhmä palkittaisiin ja eri kriteerejä käytettäisiin laajasti, jotta saataisiin parhaita mahdollisia tuloksia tiettyihin osa-alueisiin, joita tilaaja haluaa painottaa. Tarjouspyynnössä on tärkeää perustella arvioitavien asioiden mittaaminen ja palkkioiden perusteet. (Rekola, Häkkinen, Ala-Juusela, Pulakka, Mäkeläinen, Haapio & Ruuska 2014, 49-52.)

2.3.1 Linköpingin bonusmalli

Linköpingissä kaupungilla on kaksiosainen palkkiojärjestelmä päällystysurakoissa. Bonusta voi siis saada vähäpäästöisen kaluston käytöstä ja päällystemateriaalien tuotannon

aiheuttavia päästöjä vähentäen. Kalustoon liittyvä bonus on ollut käytössä jo vuodesta 2013 asti, kun taas päällystemateriaalien tuotantoon liittyvä bonus on ollut vuodesta 2017 asti käytössä. Linköpingin kaupunki on myös asettanut vähimmäisvaatimuksia joissakin hankkeissa raskaankaluston Euro-luokitukselle ja kevyenkaluston hiilidioksidipäästötasoille ja iälle. Perusteena bonusmallin käytölle on se, että se ei vaadi vaan ohjaa urakoitsijoita kehityksen oikeaan suuntaan ilman, että se kuitenkaan edellyttää niin paljon kuin vähimmäisvaatimus. (Bergman ym. 2018, 12-13.)

Työmailla käytettävän kaluston vähäpäästöisyyttä lasketaan eri taulukoiden ja luokitusten mukaan, minkä perusteella bonuksia myönnetään (taulukko 2). Luonnollisesti uusiutuvia polttoaineita ja sähköä käyttävät koneistot saavat suurimpia bonuksia. Tarjousasiakirjoissa on ilmoitettava käytettävän kaluston päästöarvoista. Bonus maksetaan kuukausittain urakoitsijan ilmoittamien käyttötuntien perusteella. (Bergman ym. 2018, 12-13.)

Taulukko 2. Linköpingin bonusmallin kannustimet (Bergman ym. 2018)

Kannustin dieselkäyttöisille työkoneille (SEK/konetunti) vuodesta 2016 alkaen		
Moottoriteho	Työkoneen luokitus EU Stage IIIB tai parempi	Koneen käyttövoima 100 % uusiutuva polttoaine tai sähkö
<18 kW		5
18 - 37 kW	10	20
37 - 75 kW	20	30
> 75 kW	25	40

Kannustin raskaille ajoneuvoille (SEK/ajoneuvotunti) vuodesta 2016 alkaen		
Paino	Ajoneuvon luokitus EURO VI tai parempi	Ajoneuvon käyttövoima 100 % uusiutuva polttoaine tai sähkö
Yli 3,5 t	20	35

Päällystemateriaaleihin liittyviä bonuksia maksetaan siinä tapauksessa, jos tuotannossa on syntynyt normaalia vähemmän hiilidioksidipäästöjä. Vaiheiden tarkastelu ulottuu tuotannon alusta loppuun eli siihen pisteeseen, kun valmis tuote poistuu tehtaalta. Bonus määräytyy siten, että jokaista vähennettyä kilogrammaa CO2-ekvivalenttia kohden maksetaan 1,14 Ruotsin kruunua. Asfaltin normaalin valmistuksen päästöt on määritelty oletusarvoilla. Bonuksien saaminen edellyttää urakoitsijalta todennusta kolmannen osapuolen sertifioinnilla, EN 15804 -standardin mukaisella ympäristötuoteselosteella. (Bergman ym. 2018, 12-13.)

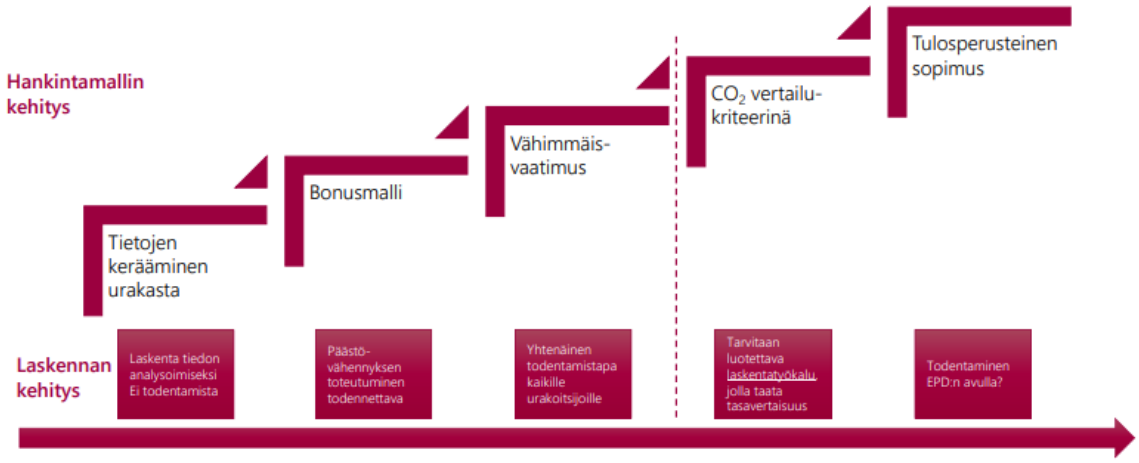
2.3.2 Hollannin kilpailutusmalli

Hollannissa ministeriö on kehitellyt infrahankinnoille mallin, jonka tavoitteena on materiaalien mahdollisimman pienet hiilidioksidipäästöt. Urakoitsijoilta edellytetään kahden tietyn laskentatyökalun käyttöä, joiden avulla tarjoajille lasketaan pisteet ja sen myötä hypoteettinen alennus tarjoushintaan. CO2 performance ladder ja DuboCalc ovat nämä kaksi työkalua, jota tässä toimintamallissa käytetään. Tulokseksi tulee 11 kohdan arviointikohdan arvo, Environmental Cost Indicator (ECI). Alhaisella ECI-arvolla saa parhaimman tarjoushinnan alennuksen suunnitelmalle. Lopulta teoreettinen hinta sekä laatupisteet ratkaisevat tarjouskilpailun. (Bergman ym. 2018, 14.)

Urakoitsijan tarjousvaiheessa ilmoitettujen tasojen toteutumista seurataan urakan aikana ja mikäli urakoitsijan ilmoittamat tasot eivät toteudu, on urakoitsija velvollinen maksamaan sanktion, joka on puolitoista kertaa tarjousvaiheen hinnanalennus. (Bergman ym. 2018, 14.)

2.4 Tulevaisuuden näkymät päästöjen optimoimiseksi

Yksinkertainen vähimmäisvaatimus olisi helppo asettaa, jos infra-alalta löydettäisiin yhteisiä tekijöitä, joita jokainen alan toimija voisi helposti muuttaa. Näitä yksinkertaisia vaatimuksia voisi olla polttoainevalinnat ja uusiutuvan energian käyttö pisteytyksen avulla. Kaluston uusiminen taas vaatisi niin suuria äkillisiä investointeja urakoitsijoilta, että se voisi soveltua paremmin bonusperiaatteeksi tehden investoinneista kannattavampia. Myöhemmin voitaisiin tulla siihen pisteeseen, että kalustoakin voitaisiin määritellä vähimmäisvaatimuksena. Hankintamallin kehittämisessä täytyy edetä asteittain, jotta saataisiin aikaiseksi pysyvää kehitystä päästöjen vähentämisessä infra-hankkeissa (kuva 1). (Bergman ym. 2018, 26-30.) Palkkiojärjestelmää voitaisiin myös hyödyntää lisäämällä urakoihin ympäristösuunnitelma osaksi jo olemassa olevaa ja urakoista vaadittavaa laatusuunnitelmaa. Tämä ohjaisi urakoitsijoita kehittämään toimintoja vähäpäästöisemmiksi ja palkkiojärjestelmän avulla taattaisiin, että siihen kiinnitettäisiin varmasti huomiota. (Merenheimo, Varis & Federley 2020, 19-21.)



Kuva 1. Hankintamallin asteittainen kehityskaavio (Bergman ym. 2018)

Rakennusmateriaalien osalta UUMA3-ohjelma vie infra-alan päästöjen optimoimista Suomessa eteenpäin. UUMA3-ohjelma on uusiorakentamisen yhteisöfoorumi, jossa on mukana useita kuntia, yrityksiä ja järjestöjä. UUMA3-ohjelman pohjana toimii UUMA2-ohjelman kehitystyö, joka suoritettiin vuosina 2013-2017. Tavoitteena on parantaa uusiorakentamista useilla eri sektoreilla valtion virastojen ja yksityisten yritysten toiminnassa. Ohjelmassa on hyvin keskeisessä osassa myös elinkaari- ja päästölaskennan kehittäminen rakennushankkeissa. (UUMA3-ohjelma 2020.)

Helsingin kaupunki pyrkii hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä. Helsingin toimenpideohjelman yksi osio sisältää työmaiden päästöjen optimointia infrahankkeissa, joissa jopa 80 % hankkeen päästöistä koostuu pohjanvahvistustoimenpiteistä. Pyrkimyksenä on lisätä tietoa mahdollisuuksista vähentää päästöjä hankkeiden ja kaavoituksen suunnittelussa. Kuljetuksia vähentääkseen Helsingissä on pyritty etsimään kaikille työmailta kaivettaville ja louhittaville maamassoille hyötykäyttökohteita. Hyötykäyttökohteiden avulla saavutetaan suuria säästöjä niin päästöissä kuin kustannuksissakin. Tämän kehittämisohjelman toimenpiteet ovat säästäneet Helsingin kaupungille rahallisesti noin 32 miljoonaa euroa ja päästöihin se on vaikuttanut sillä, että polttoaineen käyttö on vähentynyt 4,5 miljoonalla litralla ja kaiken kaikkiaan hiilidioksidipäästöjä on vähennetty 11 311 tonnia. Päästöttömän työmaan suunnannäyttäjänä on toiminut Oslon kaupunki Norjassa, joka on vienyt asiaa paljon eteenpäin ja esittänyt arvion, että liikenteen kokonaispäästöistä 25 % kertyy työmaakoneiden kasvihuonekaasupäästöistä. (Viinanen 2018, 1-3.)

Nämä toimenpiteet tulevat varmasti vaikuttamaan tulevaisuudessa hankkeiden kilpailutukseen koko pääkaupunkiseudulla ja myöhemmin varmasti myös koko Suomessa. Jatkovaiheissa pyritään siihen, että työmaiden ulkopuolinenkin liikenne olisi päästötöntä, sillä se on yleistettynä erittäin suuri osa urakoiden kokonaispäästöistä.

2.5 Ympäristöystävällisyys Destialla

Destia tähtää koko ajan ympäristöystävällisempään suunnitteluun ja rakentamiseen, unohtamatta kuitenkaan yritysten ja kansalaisten tarpeita. Tavoitteena on minimoida ja ottaa huomioon ympäristövaikutukset kaikissa eri hankkeissa ja yrityksen osa-alueilla, niin toiminnassa kuin päätöksenteossakin. Ympäristöjohtaminen perustuu ISO 14 001 -standardin mukaiseen ympäristöasioiden hallintajärjestelmään. (Destia Oy 2020.)

Maa- ja kiviaineksen käyttö on vastuullisesti toteutettua ja jälkihoidolla varmistetaan, että luonnon monimuotoisuus näillä ottoalueilla eheytyy mahdollisimman hyvin. Joskus kyseessä olevat vastuullisesti toteutetut toimenpiteet saattavat jopa lisätä luonnon monimuotoisuutta eri tavoin. (Destia Oy 2020.)

Työkoneautomaation tuomia etuja hyödynnetään työn tehostamiseksi, tarkkuuden lisäämiseksi ja materiaalihukan vähentämiseksi eri maarakennuspainotteisilla työmailla. Materiaalitehokkuuteen ja polttoainekulutuksen vähentämiseen panostetaan käyttämällä riittävästi huomiota ja aikaa projektien toimintatapojen ja logistiikan suunnitteluun. Näiden lisäksi pyritään myös kierrättämään ja uudelleen käyttämään mahdollisia urakoista syntyviä rakennusmateriaaleja ja -aineita, joita saadaan esimerkiksi vanhojen teiden päällysmateriaaleista ja rakennekerroksista. (Destia Oy 2020.)

3 TRIMBLE QUANTM -SUUNNITTELUTYÖKALU

3.1 Esittely

Luvussa kolme käsitellään Trimblen luomaa suunnitteluohjelmaa nimeltään Quantm. Luvussa esitellään Quantmin ominaisuuksia pääpiirteittäin havainnollistavien kuvien ja selityksien avulla. Alaluvut etenevät loogisessa järjestyksessä kuvaillen normaalin suunnitteluprojektin kulkua.

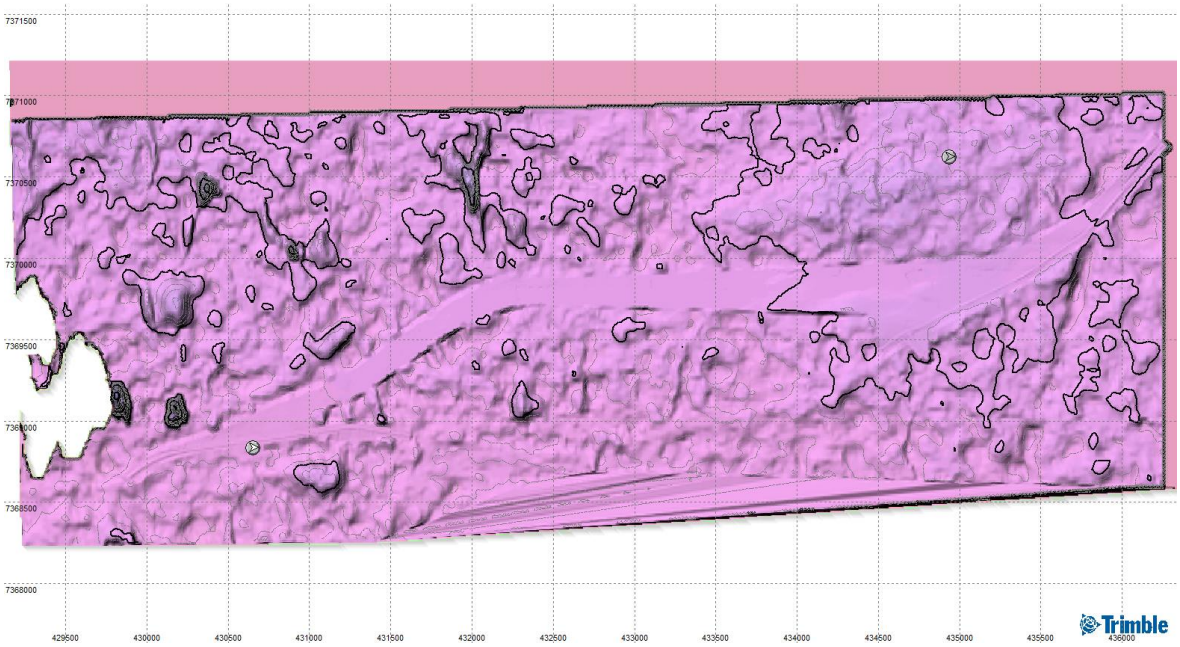
Quantm on suunnitteluohjelma, jonka avulla luodaan optimaalisia tie- ja ratalinjauksia syötettyjen parametrien avulla. Se on ominaisuuksiltaan ja käyttöliittymältään yksinkertainen suunnittelutyökalu käyttää ja sen avulla pystyy suunnittelemaan ja analysoimaan linjauksia ja maastokäytäviä minimoiden ympäristövaikutuksia ja samalla säästämään aikaa ja kuluja suunnittelussa. Quantm on pääasiassa hankkeiden alkuvaiheisiin käytettävä suunnittelutyökalu eli suurimman hyödyn saa yleis- ja tiesuunnitteluvaiheessa. Sitä voidaan kuitenkin myös hyödyntää rakennussuunnitteluvaiheessa tai olemassa olevien teiden pysty- ja vaakageometrian optimoimiseen. (Hedly 2020.)

3.2 Lähtötiedot

Quantmiin ladataan erilaisia lähtötietoja suunnittelun alussa ja mitä tarkemmat lähtötiedot sovellukseen syöttää, sitä tarkempia tuloksia saa. Hyvä puoli tässä suunnittelutyökalussa on kuitenkin se, että melko vähäisilläkin lähtötiedoilla saa kattavia tuloksia ja analyyseja eri linjausvaihtoehdoista, mikä hyödyttää käyttäjää projektin alkuvaiheessa. Quantmin tukemat tiedostomuodot ovat: Autodesk DWG, DXF lisäksi, ECW, DGN, ESRI Shapefile, I-model (ICM), 12D ja MX Genio. (Hedly 2020.)

3.2.1 Kartat

Projektin alussa lisätään maastomalli (kuva 2) ja se määrittää myös projektin koordinaatiston, joka luo pohjan projektille. Kaikki myöhemmin lisättävät muut tasot ja tiedot kiinnittyvät maastomalliin eli se on projektin perusta. Tämän jälkeen voi lisätä ortokuvia (kuva 3) tai muita karttoja suunnittelun tueksi. (Trimble 2017; Hedly 2020.)



Kuva 2. Maastomalli case-projektialueesta, jossa on rajauksien avulla korostettu maaston muotoja

Kuva 3. Case-projektialueen ortokuva

3.2.2 Kustannusparametrit

Quantmin käyttäjät saavat Trimbleltä asiantuntijoiden laskemat oletuskustannusparametrit ja päästöarvot, jotka ovat Euroopan maiden keskiarvoja. Trimble pyrkii pitämään näitä arvoja ajan tasalla asiantuntijoiden avulla. Vaihtoehtoisesti Quantmilla voi myös luoda tai muokata itse uusia kustannusparametreja. Tallentamalla muokattuja arvoja niitä voidaan myös hyödyntää myöhemmissä projekteissa. Tarkkoja kustannuslaskemia hankkeista saadaan, jos päivittää kustannus- ja päästöarvot urakkakohtaisesti. (Hedly 2020.)

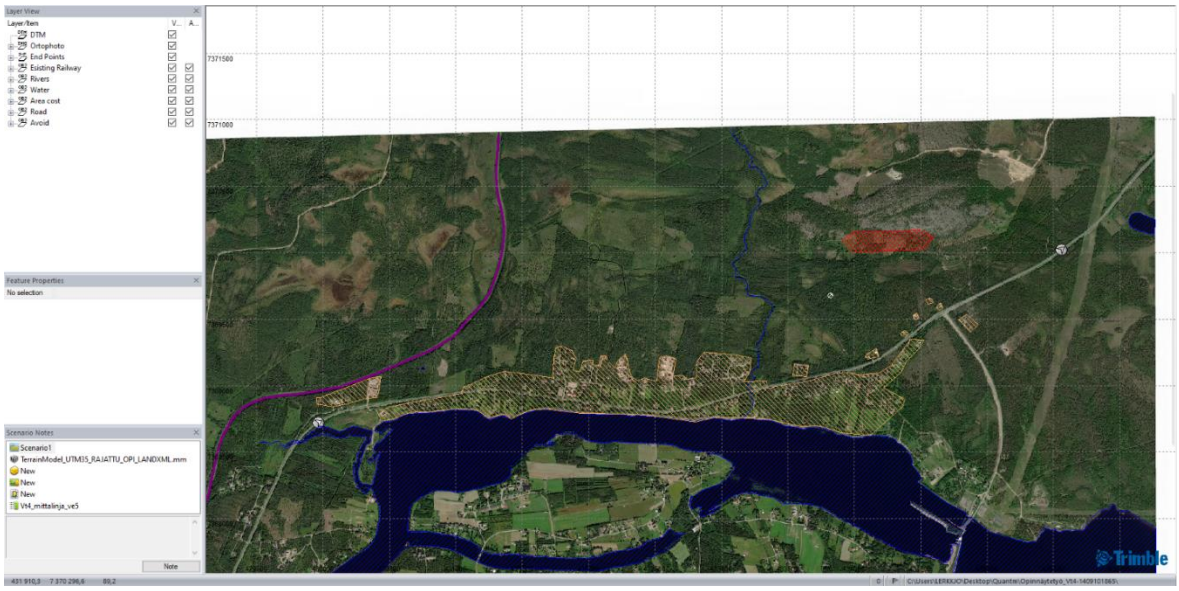
Liitteessä 1 on eriteltyinä kyseessä olevat oletus kustannus- ja päästöarvotaulukot, joista kokonaisarviot koostuvat.

3.2.3 Geometria

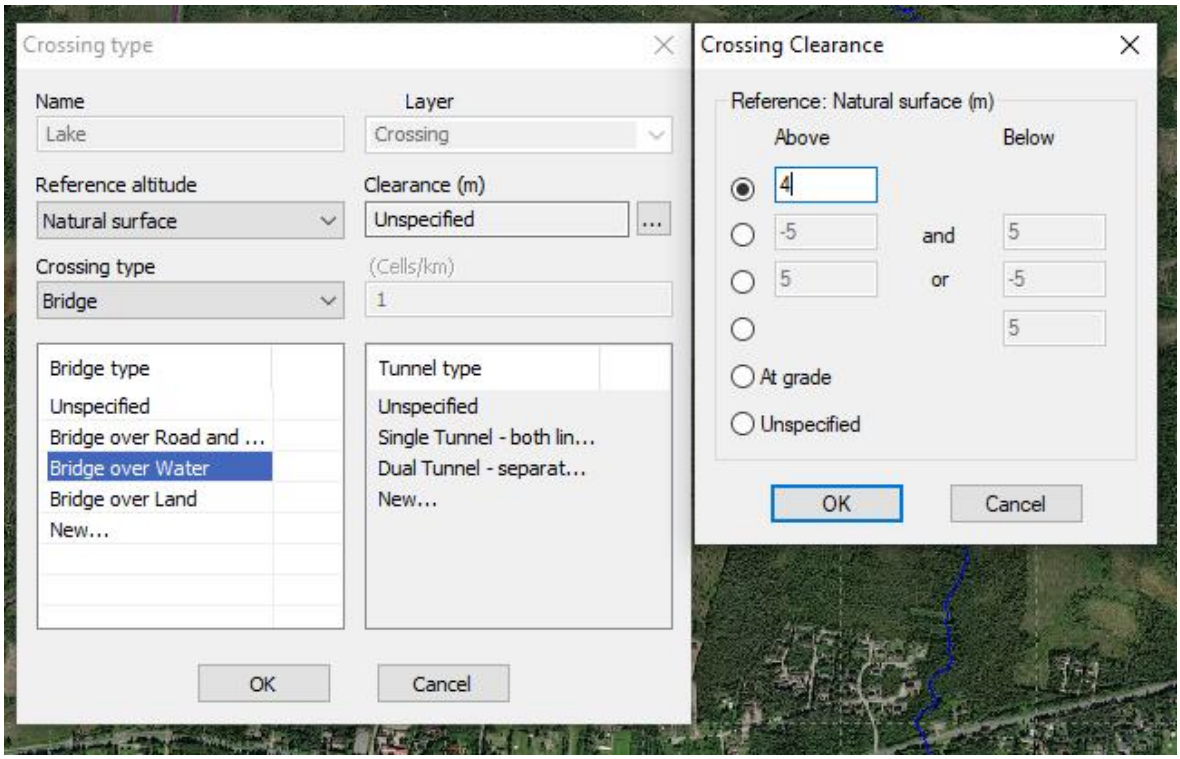
Tien tai radan suunnittelulle määritellään erilaisia geometrisiä raja-arvoja, joiden mukaan Quantm suunnittelee linjauksia. Geometristen raja-arvojen määrittely aloitetaan määrittämällä suunnittelunopeus, jonka jälkeen muokataan sen sisältämiä parametrejä. Quantmissa on valmiina erilaisia suunnittelunopeuksineen määriteltyjä tienpoikkileikkauksia, jotka sisältävät tiesuunnittelun mukaisia yleisiä geometrisia raja-arvoja. Nämä raja-arvot ovat pääasiassa kansainvälisiä ja saadakseen suomalaisille projekteille täysin oikeat geometriset raja-arvot, pitää käyttäjän manuaalisesti syöttää ne Quantmiin. Suomalaisiin projekteihin syötetään tiedot asiakkaan tiesuunnitteluohjeiden mukaisesti, ja case-esimerkissä käytettiin Väyläviraston tiesuunnittelun ohjeita, jotka ovat esiteltynä liitteessä 2. Muokkaamisen jälkeen raja-arvot tallentuvat Quantmiin ja niitä voi käyttää myöhemmin muissakin projekteissa. Suunniteltavan väylän geometrisia määrityksiä voidaan myös eritellä osiin, esimerkiksi sellaisilla tien osuuksilla, joissa nopeusrajoitus muuttuu. (Hedly 2020.) Liitteessä 3 on esitettynä Quantmin suunnittelunopeuden sisältämät muokkausikkunat, joissa määritellään geometriset suunnitteluparametrit.

3.2.4 Aluerajaukset

Suunnittelualueelle voidaan tuoda valmiita aluerajauksia Quantmin hyväksymillä tiedostomuodoilla ja oikealla koordinaattijärjestelmällä varustettuna tai vaihtoehtoisesti niitä voi myös piirtää manuaalisesti sovelluksen toiminnoilla. Alueet tulee myös yksityiskohtaisesti määritellä sovelluksen sisällä, jotta saa kattavia analyysejä ja linjausvaihtoehtoja. Aluerajaukset ovat reunaehtoja suunnittelualueella, jotka määritellään erikseen täysin vältettäviksi alueiksi tai lisäkustannuksia ja hiilidioksidipäästöjä lisääviksi alueiksi, jos kyseinen linjaus kulkee alueen läpi. (Trimble 2017; Hedly 2020.) Kuvassa 4 on havainnollistettu aluerajauksia koko suunnittelualueelta, jotka on piirretty manuaalisesti Quantmiin pois lukien kaikki vesistöt ja rautatie, mitkä on ladattu Quantmiin AutoCad shape tiedostoina. Aluerajauksien värit korostuvat kartalla sinisenä, oranssina, violettina, punaisena ja valkoisena. Näitä värejä voidaan myös muokata kuvaamaan luonnollisesti kyseistä aluetta, esimerkiksi vesistöt ovat sinisiä. Kuvassa 5 on taas havainnollistettu vesistöaluerajauksien tarkempaa määrittelyä, joka tapahtuu manuaalisesti geometrisistä syistä. Siltojen tarkemman määrittelyn avulla saadaan myös täsmällisemmät ja kattavammat tulokset linjausten kokonaisanalyysissa (Hedly 2020).



Kuva 4. Aluerajaukset



Kuva 5. Siltojen yksityiskohtainen määrittely

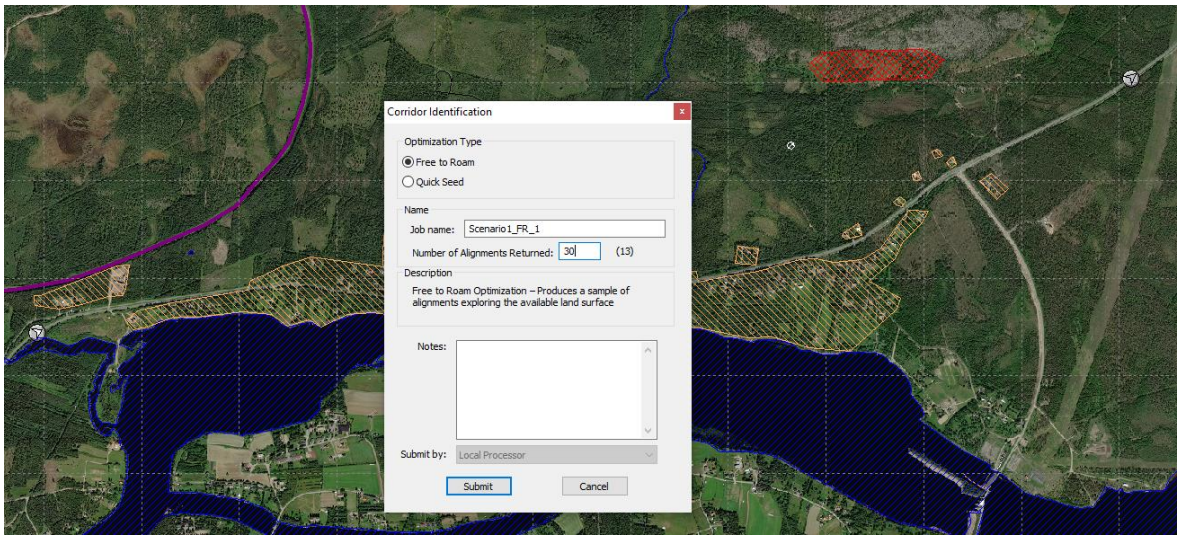
3.3 Linjaukset ja skenaariot

Ensimmäiseksi linjauksille määritellään aloitus- ja lopetuspiste. Tämän jälkeen linjauksia aletaan luomaan vaiheittain määrittäen erilaisia reunaehtoja luomalla eri skenaarioita projektin sisäisesti. Tällä tyylillä saadaan kattavimmat ja mahdollisimman laajat tulokset, lisäksi suunnittelija saa myös parhaan kokonaiskuvan suunniteltavasta alueesta.

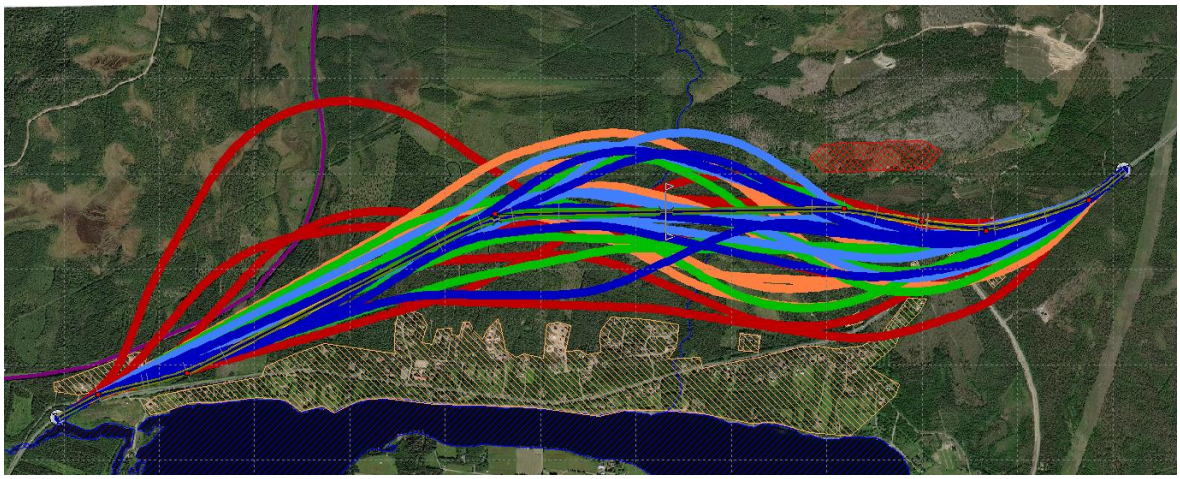
Ensimmäisessä linjauksien haussa etsitään suunnittelualueelta toistuvaa trendiä parhaalle mahdolliselle maastokäytävälle, jonka jälkeen suunnittelualue rajataan sen mukaan seuraaville hauille. Seuraavissa skenaarioissa optimoidaan linjausta tarkemmassa maastokäytävässä, josta yleensä muutamien optimointi kertojen jälkeen löytyy tehokkain ratkaisu. (Hedly 2020.)

Valmiita linjauksia voi myös tuoda Quantmiin, jossa niitä voi tarkastella ja optimoida tarpeiden mukaan esimerkiksi vain pystygeometriaa muokaten ja löytääkseen parhaan mahdollisen tasauksen linjaukselle (Hedly 2020). Näin voidaan toimia esimerkiksi ST-hankkeissa, joissa linjaus tuodaan Quantmiin tasauksen optimointia varten vasta rakennussuunnitteluvaiheessa. ST-hanke on lyhenne ”suunnittele ja toteuta” -hankkeesta ja rakennussuunnitteluvaiheessa tasauksen pystygeometriaa voidaan vielä muokata tilaajan raja-arvojen mukaisesti.

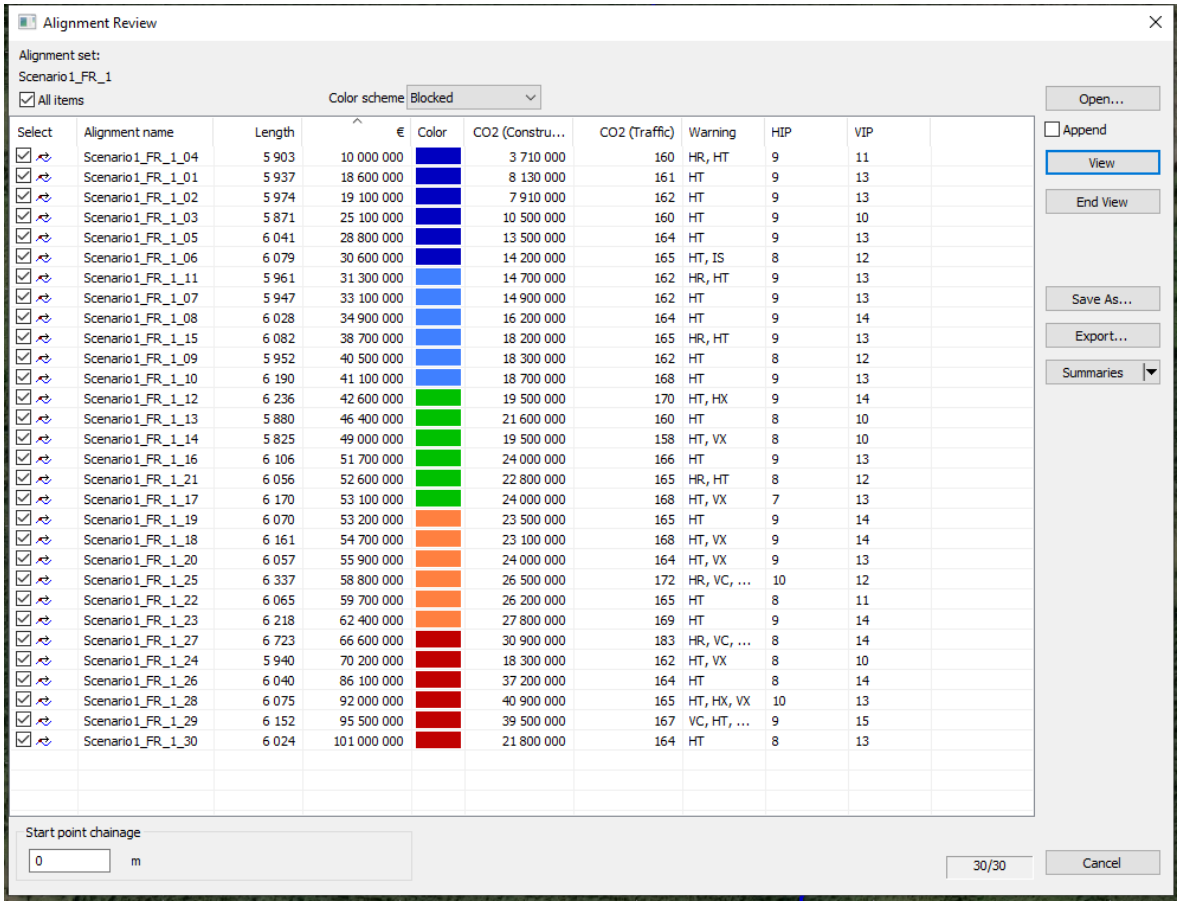
Quantm analysoi miljoonia vaihtoehtoisia linjauksia määriteltyjen raja-arvojen sisällä ja palauttaa niistä niin monta parasta linjausta tarkasteltaviksi kuin käyttäjä määrittelee (kuva 6). Linjaukset on luokiteltu värikoodeilla viiteen eri luokkaan niiden kustannustehokkuuden mukaan parhaimmasta huonoimpaan seuraavassa järjestyksessä: tummansininen, vaalean sininen, vihreä, oranssi ja punainen (kuva 7). Linjauksien välisiä eroja voidaan tarkastella nopeasti ja yksityiskohtaisemmin linjauksien katsaus osiossa (kuva 8). Linjauksien yksityiskohtaisia raportteja voidaan tallentaa myös Microsoft Excel -tiedostoina, jolloin niitä voidaan jakaa helposti tilaajalle ja tarkastella vapaasti muokattavassa taulukossa (liite 4). (Hedly 2020.)



Kuva 6. Free to roam -haku suoritetaan ensimmäisenä, jolloin Quantm etsii koko hankealueelta vapaasti mahdollisimman optimaalisia linjauksia



Kuva 7. Valmiit ensimmäisen haun linjaukset, joista vertailun yhteydessä huomaa kannattavimmat ratkaisut, joiden avulla rajataan suurehko maastokäytävä



Alignment Review

Alignment set:
Scenario1_FR_1

All items

Color scheme Blocked

Open...

Append

View

End View

Save As...

Export...

Summaries

Select	Alignment name	Length	€	Color	CO2 (Constru...	CO2 (Traffic)	Warning	HIP	VIP
☑	Scenario1_FR_1_04	5 903	10 000 000		3 710 000	160	HR, HT	9	11
☑	Scenario1_FR_1_01	5 937	18 600 000		8 130 000	161	HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_02	5 974	19 100 000		7 910 000	162	HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_03	5 871	25 100 000		10 500 000	160	HT	9	10
☑	Scenario1_FR_1_05	6 041	28 800 000		13 500 000	164	HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_06	6 079	30 600 000		14 200 000	165	HT, IS	8	12
☑	Scenario1_FR_1_11	5 961	31 300 000		14 700 000	162	HR, HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_07	5 947	33 100 000		14 900 000	162	HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_08	6 028	34 900 000		16 200 000	164	HT	9	14
☑	Scenario1_FR_1_15	6 082	38 700 000		18 200 000	165	HR, HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_09	5 952	40 500 000		18 300 000	162	HT	8	12
☑	Scenario1_FR_1_10	6 190	41 100 000		18 700 000	168	HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_12	6 236	42 600 000		19 500 000	170	HT, HX	9	14
☑	Scenario1_FR_1_13	5 880	46 400 000		21 600 000	160	HT	8	10
☑	Scenario1_FR_1_14	5 825	49 000 000		19 500 000	158	HT, VX	8	10
☑	Scenario1_FR_1_16	6 106	51 700 000		24 000 000	166	HT	9	13
☑	Scenario1_FR_1_21	6 056	52 600 000		22 800 000	165	HR, HT	8	12
☑	Scenario1_FR_1_17	6 170	53 100 000		24 000 000	168	HT, VX	7	13
☑	Scenario1_FR_1_19	6 070	53 200 000		23 500 000	165	HT	9	14
☑	Scenario1_FR_1_18	6 161	54 700 000		23 100 000	168	HT, VX	9	14
☑	Scenario1_FR_1_20	6 057	55 900 000		24 000 000	164	HT, VX	9	13
☑	Scenario1_FR_1_25	6 337	58 800 000		26 500 000	172	HR, VC, ...	10	12
☑	Scenario1_FR_1_22	6 065	59 700 000		26 200 000	165	HT	8	11
☑	Scenario1_FR_1_23	6 218	62 400 000		27 800 000	169	HT	9	14
☑	Scenario1_FR_1_27	6 723	66 600 000		30 900 000	183	HR, VC, ...	8	14
☑	Scenario1_FR_1_24	5 940	70 200 000		18 300 000	162	HT, VX	8	10
☑	Scenario1_FR_1_26	6 040	86 100 000		37 200 000	164	HT	8	14
☑	Scenario1_FR_1_28	6 075	92 000 000		40 900 000	165	HT, HX, VX	10	13
☑	Scenario1_FR_1_29	6 152	95 500 000		39 500 000	167	VC, HT, ...	9	15
☑	Scenario1_FR_1_30	6 024	101 000 000		21 800 000	164	HT	8	13

Start point chainage
0 m

30/30

Cancel

Kuva 8. Linjauksien katsaus osiossa Quantmin sisällä on helppoa ja nopeaa tutkailla linjauksien välisiä eroja ja niiden esitystapaa voidaan myös muokata esimerkiksi vaihtamalla euromääräiset kustannukset prosentuaalisiksi säästöiksi linjauksien välillä

3.4 Kustannukset ja päästölaskelmat

Linjauksen kokonaiskustannukset ja päästöt koostuvat useista eri osa-alueista kustannusparametreissä. Ne ovat oletuksena Euroopan keskiarvoja, mutta käyttäjä voi muokata niitä tarpeidensa mukaan saadakseen tarkempia kustannusarvioita ja päästöarvioita linjauksista. Muutokset voidaan tallentaa Quantmilla ja niitä voidaan hyödyntää myös tulevissa projekteissa. Pääpiirre sovelluksessa on kuitenkin optimoitujen linjauksien vertailu ja sen takia kustannukset on parempi esittää prosentuaalisena vertailuna ja laskea tarkemmat kustannusarviot siihen sopivammalla työkalulla myöhäisemmässä vaiheessa. Kustannusarvioiden avulla on hyvä demonstroida tilaajille suunnitteluratkaisuja linjauksien välillä. (Hedly 2020.)

Kustannukset ja hiilidioksidipäästöt ovat Quantmissa samassa osiossa, koska kaikki mistä tulee lisäkustannuksia linjauksen suhteen, kertyy myös päästöjä. Sovelluksessa on näiden lisäksi myös liikenteelle suunnattu hiilidioksidipäästölaskuri liittyen tulevan tienkäyttöön. Liikenteen päästöt koostuvat Quantmissa useista vaikuttavista tekijöistä ja arvoista, jotka ovat laskettu asiantuntijoiden toimesta. Pääpiirteittäin liikennepäästöt koostuvat liikenteen määrästä, nopeuksista ja ajoneuvotyypeistä. Tällä hetkellä liikennepäästölaskurilla voidaan ilmoittaa liikenteen kokonaishiilidioksidipäästöt päivä- ja vuositasolla. Liikenteen määrää, nopeuksia ja ajoneuvotyyppejä on helppo muokata projektikohtaisesti sopiviksi antaakseen tarkempaa arviota tien käytön aiheuttamista päästöistä. Myös päästölukemia voi muokata käyttäjän toimesta, mutta se vaatii erittäin suurta asiantuntemusta päästölaskentaan ja tarkkoja laskentoja. (Trimble 2017; Hedly 2020.)

3.5 Päästöjen näkökulmasta verrattavat työkalut

Tällä hetkellä Quantmilla saa päästöistä Euroopan keskiarvoja noudattavia hiilidioksidin päästöarvioita kahdesta eri osa-alueesta: tien rakentamisesta ja tien käytöstä. Nämä kaksi osa-aluetta ovat sellaisia, mitkä ohjelmiston tuottajat ja kehittäjät ovat todenneet tilaajia useimmiten kiinnostavan. Quantm on pääsääntöisesti linjojen optimoimiseen suunnattu suunnittelutyökalu, jonka kattavilla analyyseillä voi vertailla eri linjausten välisiä eroja nopeammin kuin millään muulla työkalulla. Quantmia ei voi suoranaisesti verrata päästöjenlaskuominaisuuksiltaan muihin ohjelmiin, koska samankaltaisia ominaisuuksia ja käyttötarkoitusta sisältäviä suunnitteluohjelmia ei ole. Päästöjen laskemiseen tarkoitettuja sovelluksia ja ohjelmia löytyy kyllä markkinoilta ja onkin suositeltavaa käyttää siihen paremmin soveltuvia ohjelmia, jos haluaa täysin tarkkoja tuloksia päästöjen osalta tai laskea koko projektin aikainen päästöjen elinkaarilaskenta. Muita päästölaskenta ohjelmia voidaan

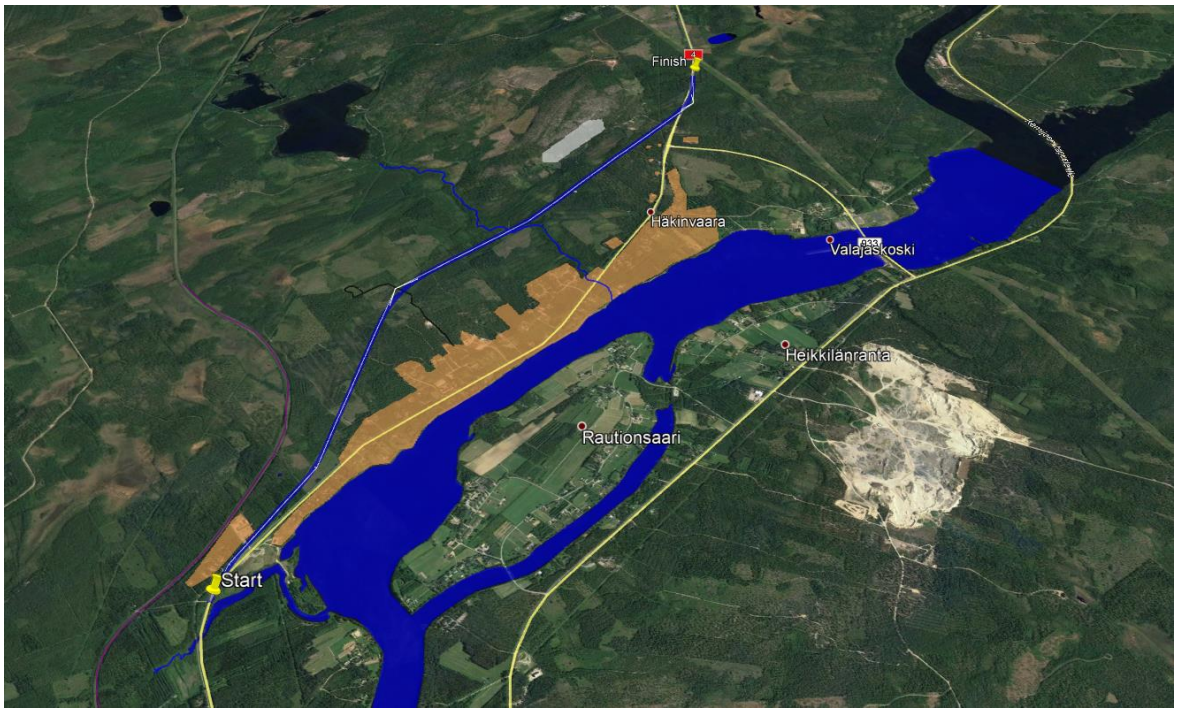
käyttää myös täydentääkseen Quantmin päästöarvioita, esimerkiksi laskeakseen projektikohtaisia päästöarvoja tietyille materiaaleille ja lisätä ne Quantmiin. (Hedly 2020.)

3.6 Trimble Quantmin havainnemalli

Quantmin visualisointityökalulla pystytään havainnollistamaan suunniteltuja linjauksia erittäin helposti ja samalla tekemään vaihtoehtovertailuja visuaalisin keinoin. Siihen pystyy myös lisäämään itse luotuja havainnollistavia 3D-elementtejä SketchUp-ohjelmalla, mutta siinä on myös valmiina muutamia lisättäviä visuaalisia elementtejä, joilla voi hyvin havainnollistaa näkymää, kuten puita, katuvalaisimia ja autoja. Visualisointityökalulla voi ottaa havainnekuvia tai -videoita (kuva 9), joita voi helposti esitellä tilaajille ilman suurempaa työpanosta suunnittelijalta. (Hedly 2020.)

Quantmilla luotu linjaus lähtötietoineen voidaan myös esitellä Google Earthilla tallentamalla valittu linjaus Google Earth -tiedostomuotona. Sen jälkeen se avataan Google Earthissa ja määritellään oikea koordinaatisto. Tällä tavoin linjausta voidaan helposti havainnollistaa isommassa mittakaavassa Google Earth -ohjelman kartalla (kuva 10). Google Earth mahdollistaa myös linjausvaihtoehtojen jakamisen esimerkiksi tilaajalle. (Hedly 2020.)

Kuva 9. Quantmin Visualizer -ominaisuudella otettu havainnekuva tielinjauksesta



Kuva 10. Google Earth Pro -ohjelmalla otettu havainnekuva tielinjauksesta

3.7 Quantmin tulevaisuuden näkymät

Quantmin tulevaisuus näyttää kirkkaalta ja tällä hetkellä Trimblellä kehitetään uusia ominaisuuksia parantaakseen Quantmin käytettävyyttä, joista tärkein on lähes täydellinen integroituminen Trimble Quadrin kanssa, joka on tietomallipalvelin koko suunnitteluaineistolle. Tämän päivityksen avulla suunnittelijat voivat työskennellä samanaikaisesti projektin parissa lisätäkseen tuotettavuutta, lisäksi se tuo myös yhteensopivuutta muidenkin suunnitteluohjelmien kanssa, mikä vielä entisestään nopeuttaa koko suunnitteluprosessia. (CivilPoint Oy 2020.) Päivitetty versio Quantmista tulee saataville alkuvuodesta 2021. Päivitettyyn versioon tulee myös mahdolliset päivitykset päästöarvoihin tällä hetkellä meneillään olevasta kehitysprojektista, jossa tutkitaan yhteistyössä NVF:n kanssa nykyisiä päästölaskurin arvoja vielä tarkemmiksi ja päivittyneimmiksi. NVF on Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi ”Nordisk Vejforum”. (Hedly 2020.)

Quantmia yritetään kehittää myös toimivaksi optimointityökaluksi eri osa-alueille, kuten tuulivoimapuistoille, putkilinjastoille, sähkölinjoille ja vesiväylille. Nämä uudet ominaisuudet lisäisivät sovelluksen käytettävyysastetta huomattavasti suunnittelussa. (Hedly 2020.)

Trimble yrittää saada Quantmille koko ajan lisää käyttäjiä uusista maista ja kokemusten perusteella Trimble on havainnut, että uudet käyttäjät ovat yleensä saaneet etulyöntiaseman muihin nähden tarjouskilpailuvaiheessa, kun he ovat voineet tarjota niin kattavia analyyseja projekteista Quantmin avulla. Näitä esimerkkimaita ovat Norja, Ruotsi, Tanska,

Italia ja Espanja, joissa Quantmia on alettu käyttämään. Toinen hyvä esimerkki Quantmin resurssitehokkuudesta on havainnoitu uudessa erittäin isossa projektissa Afrikassa, missä on useita eri urakoitsijoita mukana. Aikomuksena on rakentaa ja suunnitella noin 40 tuhatta kilometriä uusia rauta- ja maanteitä, johon he ovat sitoutuneet käyttämään Quantmia ja alun perin suunnitteluun arvioitiin menevän noin 30 vuotta, mutta Quantmin avulla vain noin viisi vuotta. (Hedly 2020.)

4 CASE: VALTATIEN 4 PARANTAMINEN HIRVAAN KYLÄN KOHDALLA

4.1 Lähtökohdat

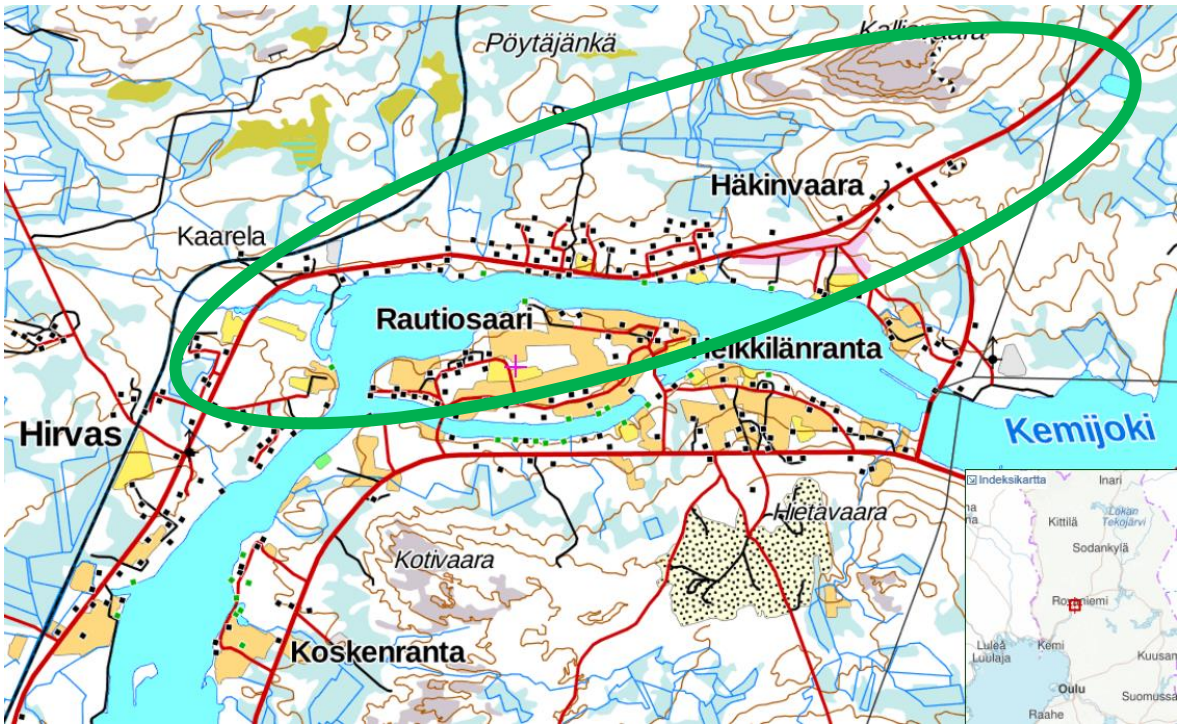
Luvussa 4 käsitellään valtatien 4 parantamista Hirvaan kylän kohdalla. Projektin linjaus ja tutkimukset ovat Destian suunnittelijoiden luomia. Suunnitelman tarkkuustasona on aluevaraussuunnitelma. Tarkoitus on luoda selkeä kokonaiskuva suunnittelijoiden valmiiksi luomasta linjauksesta ja aluevarauksesta, jotka on tehty perinteisin suunnittelukeinoin ja luoda vertailukohteeksi uusi linjaus ja aluevaraus käyttäen Quantm -suunnittelutyökalua.

Tien linjausvaihtoehtojen selvittely riippuu paljon lähtötiedoista, ja se rajaa kuinka paljon tulevan tien maastokäytävän suunnittelulla on liikkumavaraa. Linjausta lähdetään hahmottelemaan lähtötietojen perusteella ja määritellään mahdollisia pakkopisteitä linjaukselle. Suurin vaikuttava tekijä on pohjaolosuhteet, koska huonoihin perustamisolosuhteisiin on erittäin kallista rakentaa. Nykyinen maankäyttö vaikuttaa hyvin paljon linjaukseen, varsinkin olemassa oleva asutus, jota mahdollisuuksien mukaan yritetään jättää melualueen ulkopuolelle. Myös mahdolliset luontoarvot on aina otettava huomioon suunnittelun aikana. Yleensä vaihtoehtovertailuun luodaan muutamia tien linjauksia, joista valitaan huolellisen vertailun jälkeen optimaalisin linja jatkosuunnitteluun. Kokenut suunnittelija optimoi linjoja maaston muotoja ja maaperää tarkastelemalla huomioon ottaen myös mahdolliset kunnalliseen maankäyttöön liittyvät asiat. Päästöjä optimoidaan varsinaisesti vasta rakennussuunnitteluvaiheessa kustannustehokkuudella eli optimaalisella massatasapainolla ja maanläjityksen mahdollisimman lyhyellä siirtymällä esimerkiksi hyödyntämällä niitä meluvalleissa. (Jarkko 2020.)

4.2 Nykytilanne ja alueen esittely

Suunnittelukohteena on valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla, joka sijaitsee Rovaniemen keskustan eteläpuolella. Suunnittelualue kuuluu Väyläviraston toimintalinjojen mukaisesti valtakunnallisesti keskeiseen päätieverkkoon, ja sen suunnitteleminen velvoittaa käyttämään Väyläviraston tiesuunnitteluohjeita. Suunniteltavan tienosuuden pituus on noin 6 kilometriä. (Jarkko, Rautio, Yliniemi, Soisalo, Lindroos & Räsänen 2018.)

Vuonna 2018 mitattiin keskimäärinen vuorokausiliikenne valtatie 4:llä Hirvaan kylän kohdalla ja tulokseksi saatiin noin 4 800 ajoneuvoa vuorokaudessa, josta raskaanliikenteen osuus on 13 prosenttia. Liikenteen arvioidaan kasvavan teollisuuden kehittymisen ja matkailun lisääntymisen myötä noin 5 550 ajoneuvoon vuorokaudessa, vuoteen 2040 mennessä. (Jarkko ym. 2018.)



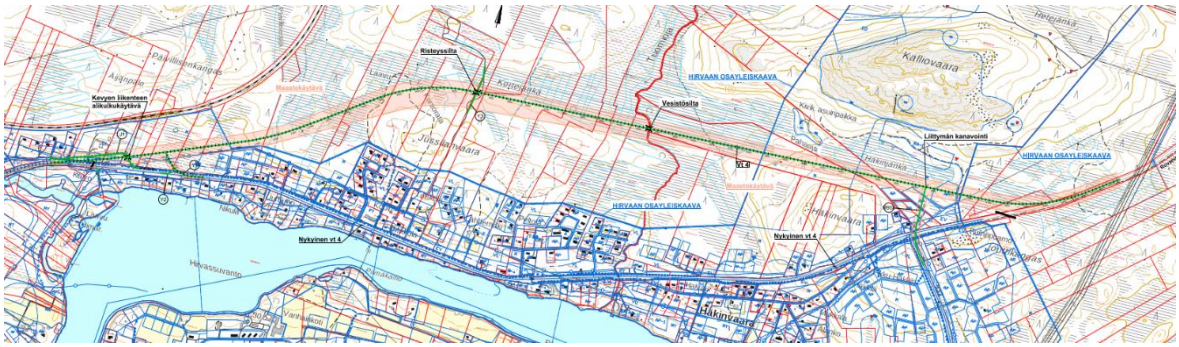
Kuva 11. Projektin suunnittelualue (Maanmittauslaitos 2019)

Alueella sijaitsee vesistöjä, jokia, rautatie, muinaismuistolain mukainen suojeltu kohde kivikautinen asuinpaikka ja noin kolme kappaletta lähteitä, joista yksi sijaitsee suunnitellun linjauksen läheisyydessä. Nämä alueet on otettu huomioon linjauksen suunnittelussa rajoittavina tekijöinä, jotka ovat määritelleet linjausta. (Jarkko ym. 2018.)

Maalajeja ei ole varsinaisesti huomioitu case-projektissa, muuten kuin manuaalisesti rajaamalla linjauksen pohjoispuolella sijaitsevaa pehmeikköä, minkä suunnittelijatkin olivat linjauksessaan huomioineet. Perinteisen tiesuunnitteluprojektin mukaisesti tarkemmat maaperätutkimukset tehtäisiin tiesuunnitteluvaiheessa, minkä avulla voitaisiin saada tarkemmat lähtötiedot Quantmiin.

4.3 Uusi suunniteltu linjaus

Suunnittelijat loivat neljä eri vaihtoehtoista linjausta suunnittelualueesta ja päätyivät suunnitelmaluonnosten tarkastelun jälkeen yhteen vaihtoehdoista. Se oli tarkastelun jälkeen paras vaihtoehto maaperän ja -muotojen osalta, lisäksi siinä oli optimaalisin siltapaikka Tammiojalle ja tien linjaus oli myös riittävän etäällä lähteestä. Näiden lisäksi linjauksessa on riittävän pitkä suora luodakseen ajoneuvoille ohitusmahdollisuuden tai tulevan ohituskaistan. (Jarkko ym. 2018.)



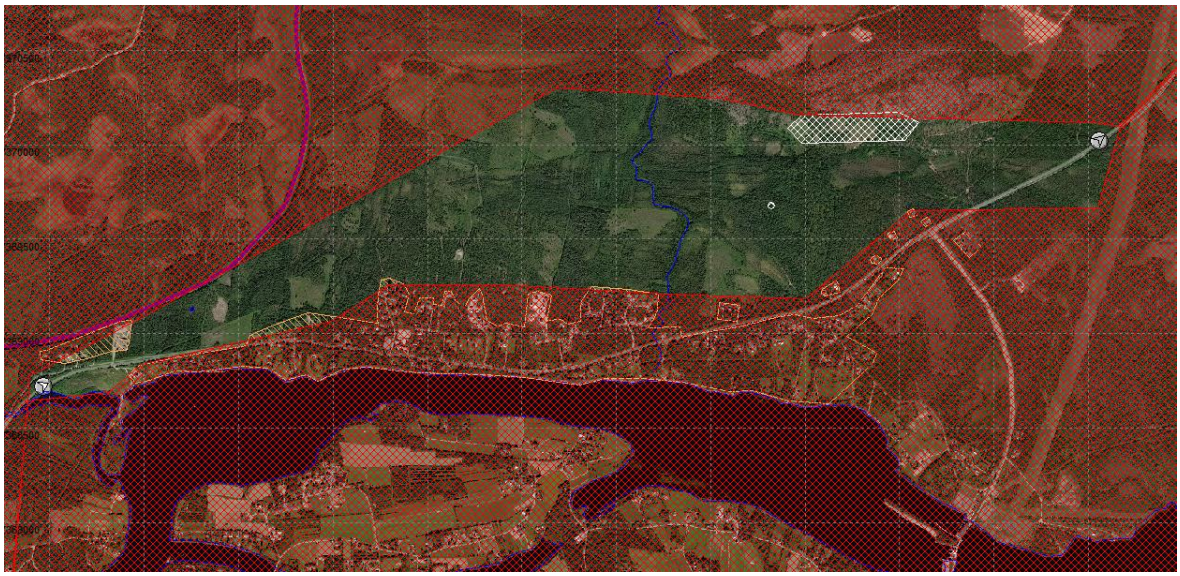
Kuva 12. Suunnittelijoiden luoma linjaus (Jarkko ym. 2018)

4.4 Quantmilla luotu linjaus

Projektin alkuvaiheessa on hyvä lähteä etsimään optimaalista maastokäytävää ja vähitellen lisätä reunaehtoja suunnittelulle eri skenaarioihin löytääkseen lopullisesti optimaalisimman linjauksen (Hedly 2020). Lähtökohtana oli saada mahdollisimman tasapuolinen vertailu linjauksien välille. Projektin alussa lähdettiin etsimään optimaalista tielinjausta hyvin vähillä reunaehdoilla ja projektin edetessä kokonaiskuva suunnittelualueesta hahmottui. Reunaehtoja lisäiltiin ja poisteltiin eri skenaarioissa, kunnes löydettiin sopivimmat reunaehdot suunnittelijoiden ja Quantmilla luodun linjauksien vertailuun.

4.4.1 Suunnittelualueen aluerajaukset

Case-projektissa aluerajauksia oli suunnittelualueella sijaitsevat rautatie, tonttikatu, olemassa olevat tontit ja rakennukset, luonnontilainen lähde, kivikautinen asuinpaikka ja vesistöt. Tarkennettuna vesistöalueisiin kaikista kriittisimmin suunnittelualueelle osui Tuomioja-niminen joki, joka määriteltiin ylitettäväksi sillalla. Kivikautinen asuinpaikka ja alueella sijaitseva lähde määriteltiin täysin vältettäväksi alueeksi. Ensimmäisen maastokäytävä haun ja tarkastelun jälkeen myös nykyiset asutetut tontit ja rautatien osuus oli helppo rajata täysin vältettäviksi alueiksi, kun optimaalinen maastokäytävä oli löytynyt (kuva 13). Tuleva tielinjaus ylittää myös yhden tonttikadun, joka suunnitellaan tarkemmin sillalla ylitettäväksi vasta rakennussuunnitteluvaiheessa, ja näin ollen sitä ei huomioitu rajaavana alueena linjauksen luomisessa, jotta saatiin tarkempi vertailukohta jo suunnitellulle linjaukselle.



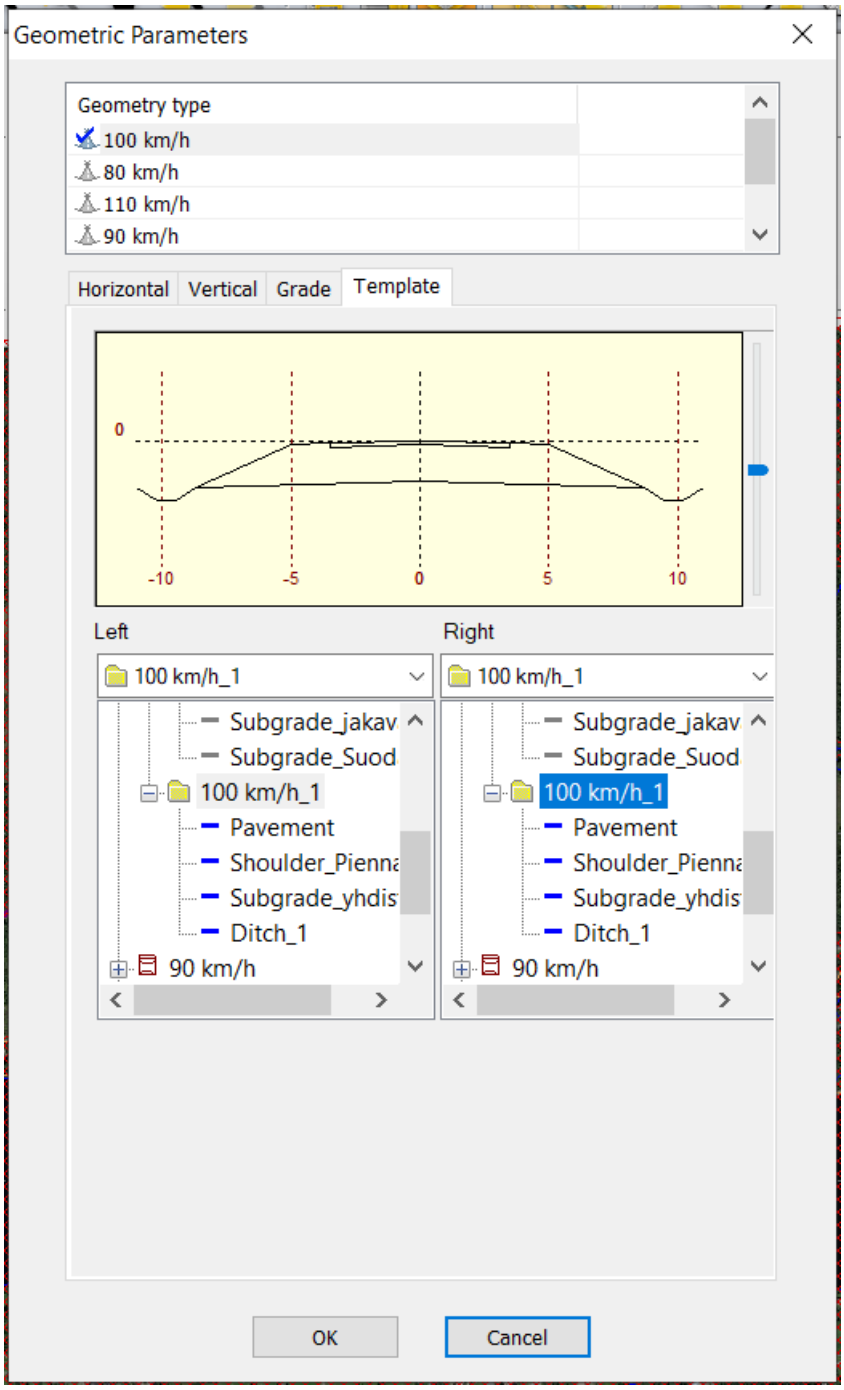
Kuva 13. Optimaalinen maastokäytävä rajattuna

4.4.2 Tien geometria

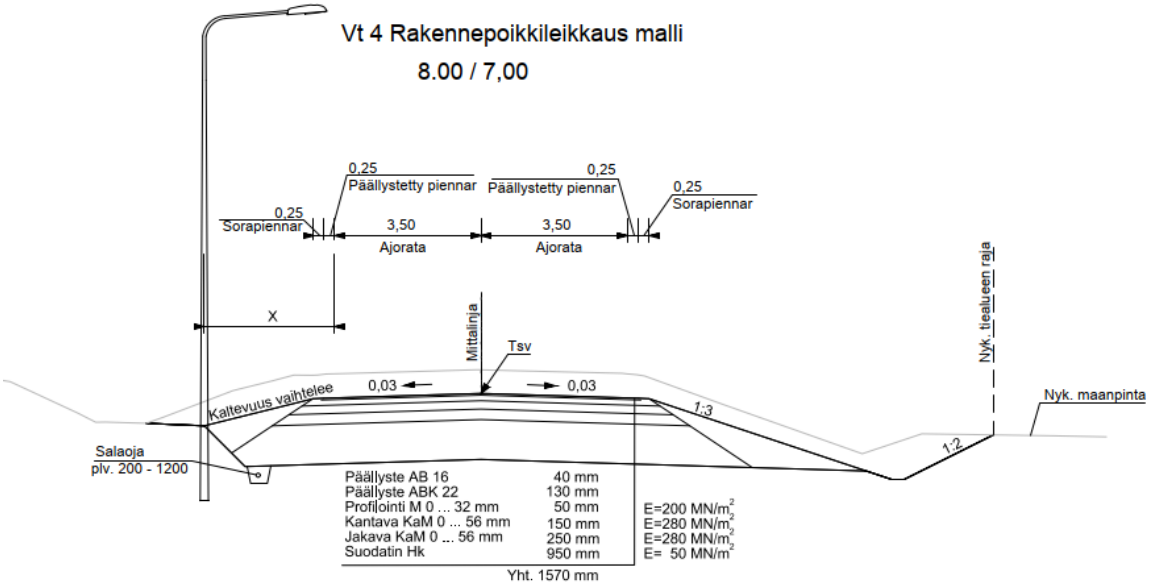
Quantmilla määritellään suunniteltaville linjauksille geometriset raja-arvot suunnittelunopeuksineen, joita se noudattaa analysoidessaan ja luodessaan uusia linjauksia (kuva 14). Nämä geometriset raja-arvot ovat määritelty manuaalisesti Väyläviraston tiesuunnittelun ohjeiden mukaisesti, jotka ovat esiteltynä liitteessä 2.

Quantm käsittelee linjauksia luodessaan pysty- ja vaakageometriaa samanaikaisesti luodakseen optimaalisimman linjauksen. Uuden tielinjauksen pystygeometriaan ovat vaikuttaneet tulevat sillat ja maanmuodot. Quantm on hakenut geometrisia reunaehtoja noudattaen mahdollisimman optimaalisen tasauksen tielinjaukselle massatasapainon kannalta, mistä yleensä koostuu suurimmat päästö- ja kustannusvaihtelut.

Projektissa tien rakennepoikkileikkaus luotiin aikaisemmin tehdyn valtatie 4:lle suunnitellun mallin mukaan (kuva 15), lisäämättä kuitenkaan yksityiskohtaisia rakennekerroksia, joita tässä suunnitteluvaiheessa ei vielä tarvita.



Kuva 14. Quantmilla luotu tien rakennepoikkileikkaus

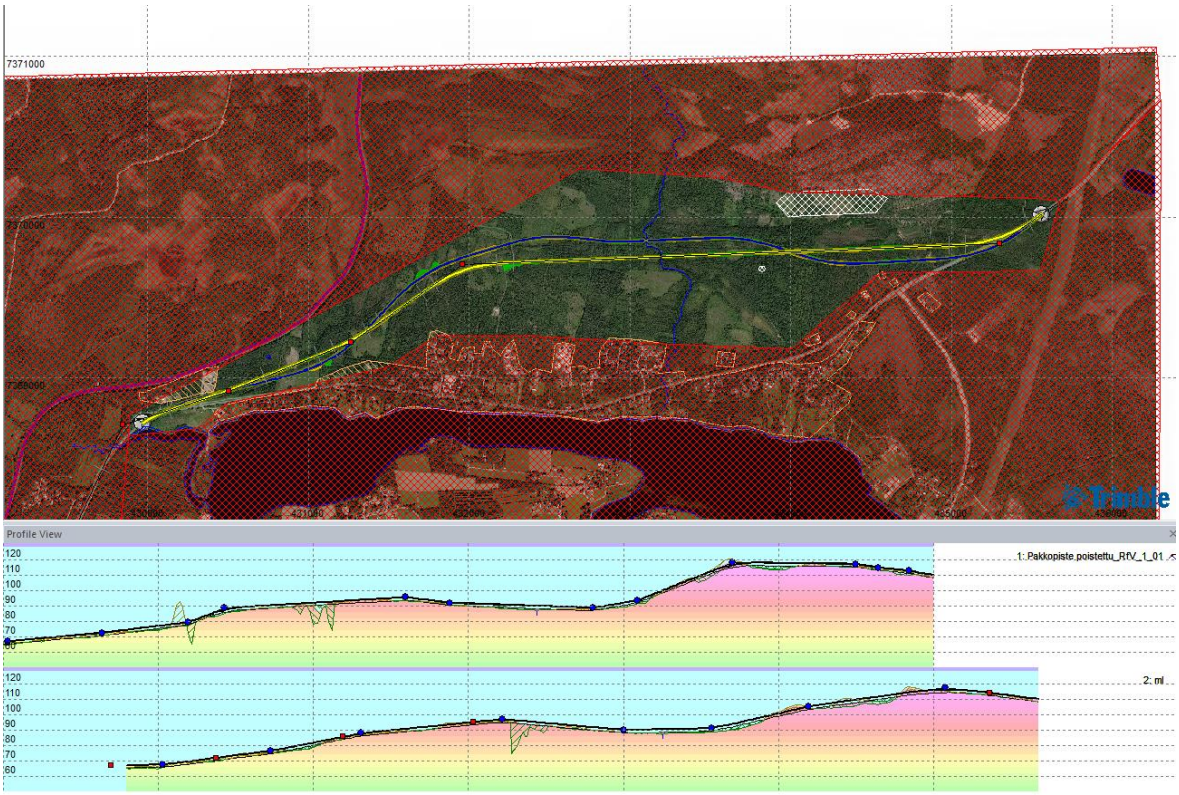


Kuva 15. Projektissa käytetty rakennepoikkileikkauksen malli (Planting 2018)

Linjauksia tehdessä, ekomateriaaleja voidaan käyttää luomalla tiestä erilaisia rakennepoikkileikkauksia ja lisäämällä uusia materiaaleja määrittäen niiden kustannus- ja päästöarvot Quantmilla (Hedly 2020). Rakennusmateriaalien päästöarvojen muokkaus on mahdollista, mutta sitä ei tässä case-hankkeessa toteutettu, koska se vaatisi käyttäjältä tarkempaa tietoa ja laskentaa eri materiaalien päästöarvoista.

4.5 Tuloksien vertailua

Tuloksia vertailtaessa on otettava huomioon myös tielinjauksen poliittisia vaikutuksia mitkä ovat määrittäneet suunnittelijoiden luomaa linjausta, kuten esimerkiksi meluhaitat ja tässä tapauksessa mahdollisimman pitkän suoran tekeminen, luodakseen ajoneuvoille ohitusmahdollisuuden. Quantmilla on haasteellista määritellä mahdollisia poliittisia vaikutuksia, muuten kuin rajaamalla aluetta tai lisäämällä geometrisia raja-arvoja, jotka taas heikentävät mahdollisuutta löytää optimaalisin maastokäytävä.



Kuva 16. Keltainen viiva ja alempi pituusleikkaus kuvaavat suunnitelijoiden luomaa linjausta. Sininen viiva ja ylempi pituusleikkaus kuvaavat Quantmilla luomaa linjausta

Alignment Comparison

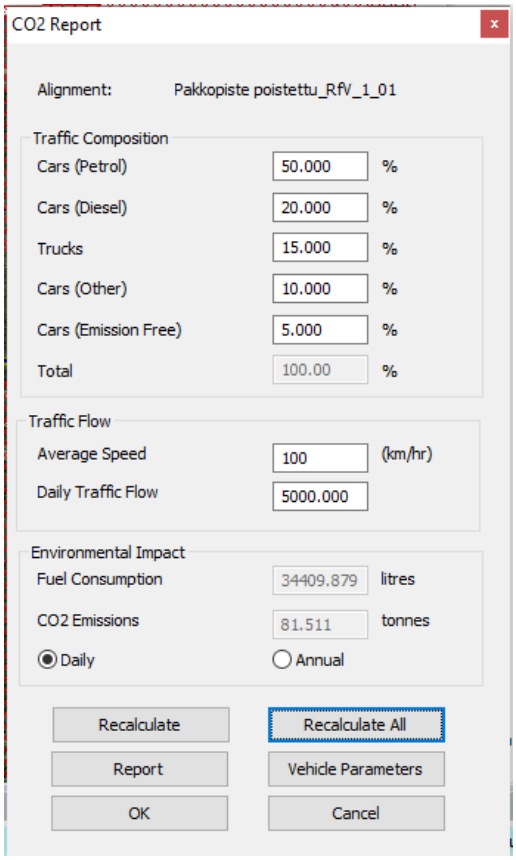
Alignment name	Length	% Saving	Color	CO2 (Construc...	CO2 (Traffic)	Warning	HIP	VIP
Pakkopiste p...	6 000	0.0		611 000	82	HT	10	14
ml	5 880	13.6		700 000	80	HR, HT	7	10
Pakkopiste p...	6 000	7.7		663 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	10.2		682 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	10.9		685 000	82	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	12.7		692 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	13.1		697 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	13.6		701 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	14.4		706 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.0		709 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.0		709 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.2		710 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.4		712 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.4		712 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	16.0		716 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.8		714 000	81	HT	10	14
Pakkopiste p...	6 000	15.8		715 000	81	HT	10	14

Kuva 17. Keltaisella värillä ja tekstillä ml on merkitty suunnittelijoiden luoma linjaus. Taulukossa on vasemmalta oikealle vertailtavana: linjauksen pituus, kustannuserot prosentteina, rakentamisen aikaset päästöt, liikenteen aiheuttamat päästöt, suunnitteluvaroitukset ja linjauksen vaaka- ja pystygeometrian käännepisteet

4.5.1 Päästöt

Linjauksien välinen ero päivittäisestä liikenteestä aiheutuvien päästöjen määrässä on niin pieni, että sillä ei ole merkitystä pidemmälläkään aikavälillä. Quantmin luoma linjaus on 120 metriä pidempi kuin suunnittelijoiden luoma linjaus, ja tämä todennäköisimmin aiheuttaa tuon liikenteestä johtuvan päästöeron. Tämän lisäksi Quantmin linjaus kulkee osan alku- ja loppupäästä vanhan tienlinjauksen päällä, mikä saattaa aiheuttaa linjauksen lyhentämisen rakennussuunnitteluvaiheessa. Sen sijaan selkeä ero näkyy kustannuksissa ja rakentamisen aiheuttamista päästöistä. Rakentamisen aikaset päästöt ovat pyöristettynä noin 15 prosenttia alhaisemmat Quantmin luomassa linjauksessa, verrattuna suunnittelijoiden luomaan linjaukseen.

Liikennepäästöjen kohdalla on hyödynnetty tuota 2018 vuonna mitattua päivittäistä liikennemäärää, joka pyöristettiin Quantmilla 5 000 ajoneuvoon vuorokaudessa ja tulokset esiteltiin yhden vuorokauden aikaisina kokonaispäästöinä. Valtatie 4 Hirvaan kylän kohdalla ei ole suoritettu niin yksityiskohtaista ajoneuvotyyppien erittelyä liikenteen laskemisessa, mitä Quantmin liikennepäästöjenlaskuri sisältää, joten siinä käytettiin Quantmin sisäistä oletusarvojakaumaa. Kuvassa 18 on eriteltynä eri ajoneuvotyyppien prosentuaalinen osuus tuosta liikennemäärästä, joiden kokonaisuudesta esitellyt liikennepäästöt koostuvat.



Kuva 18. Quantm liikennepäästölaskuri

4.5.2 Kustannukset

Kokonaiskustannuksia vertailtaessa Quantmin luoma linjaus olisi noin 13,6 prosenttia edullisempi kuin alkuperäinen linjaus. Tuloksia vertailtaessa suurimmat erot koostuivat optimaalisesta massatasapainosta ja siitä aiheutuvista kuluista. Muita suuria poikkeamia linjauksien välillä ei ilmaantunut. Kuvassa 19 on eriteltynä linjauksien kokonaiskustannukset, josta on hyvä vertailla linjauksien kustannuseroja osa-alueittain. Linjaukset voidaan myös viedä tarkempaan tarkasteluun Microsoft Excel -ohjelmaan, mutta Quantmin sisällä niitä on nopeampi vertailla ja muokata suunnittelun yhteydessä.

Alignment Summary

Excel Worksheet

ml

Item	Quantity	€	%	CO2	%
Source					
Cut (m³)	97 900	575 000	32	272 000	39
Tunnel Debris (m³)	0	0	0	0	0
Import (m³)	0	0	0	0	0
Borrow (m³)	0	0	0	0	0
Destination					
Fill (m³)	55 600	139 000	8	111 000	16
Export (m³)	0	0	0	0	0
Dump (m³)	38 100	324 000	18	114 000	16
Template Materials		0	0	0	0
Mass Haul (m³ km)	76 000	608 000	34	152 000	22
Ret. Wall (m²)	0	0	0	0	0
Culvert (m)	0	0	0	0	0
Bridge (m)	11	167 000	9	49 500	7
Tunnel (m)	0	0	0	0	0
Footprint Area (m²)	137 000	0	0	0	0
Linear (m)	5 880	0	0	0	0
Cadastral	0	0	0	0	0
Fixed Cost		0	0	0	0
Construction Cost		1 810 000	0	700 000	
Traffic Cost		0	0	5 680	
Total cost		**1 810 000**		**700 000**	

Item	
Geometric	
Warnings	HR, HT

Alignment Summary

Excel Worksheet

Pakkopiste poistettu_RfV_1_01

Item	Quantity	€	%	CO2	%
Source					
Cut (m³)	84 400	494 000	31	228 000	37
Tunnel Debris (m³)	0	0	0	0	0
Import (m³)	0	0	0	0	0
Borrow (m³)	0	0	0	0	0
Destination					
Fill (m³)	50 000	125 000	8	100 000	16
Export (m³)	0	0	0	0	0
Dump (m³)	30 800	261 000	16	92 300	15
Template Materials		0	0	0	0
Mass Haul (m³ km)	59 300	474 000	30	119 000	19
Ret. Wall (m²)	0	0	0	0	0
Culvert (m)	0	0	0	0	0
Bridge (m)	16	243 000	15	71 800	12
Tunnel (m)	0	0	0	0	0
Footprint Area (m²)	138 000	0	0	0	0
Linear (m)	6 000	0	0	0	0
Cadastral	0	0	0	0	0
Fixed Cost		0	0	0	0
Construction Cost		1 600 000	0	611 000	
Traffic Cost		0	0	5 800	
Total cost		**1 600 000**		**611 000**	

Item	
Geometric	
Warnings	HT

Kuva 19. Linjauksien yhteenvetojen vertaus. Vasemmalla suunnittelijoiden luoma linjaus ja oikealla Quantmilla luotu linjaus

5 JATKOTOIMENPITEET

Case-projektissa oli kyseessä aluevaraussuunnitelma, joka luodaan oletettavan tielinjauksen ympärille. Quantmia voidaan testata rakennussuunnitteluvaiheeseen soveltuvana työkaluna vasta sitten, kun suunnitteluprosessissa sinne asti edetään. Rakennussuunnitteluvaiheessa sovellukseen pystytään syöttämään paljon enemmän lähtötietoja, ja sen myötä voidaan suorittaa paljon tarkempia ja yksityiskohtaisempia analyyseja. Rakennussuunnitteluvaiheessa Quantmia voidaan hyödyntää luomalla mahdollisimman optimaalinen massatasapaino muokkaamalla linjauksen tasausta eli pystygeometriaa. Tämän lisäksi olisi hyvä, jos käyttäjänä toimisi kokenut suunnittelija, joka ymmärtää tilaajan tarpeet sekä suunnitteluprojektin kokonaisuutena. Kokenut suunnittelija saisi suunnitteluprosessissa tarkemman kuvan sovelluksen mahdollisista hyödyistä verrattuna perinteisiin menetelmiin. Opinnäytetyössä edettiin Pohjoismaisilla oletusarvoilla kustannusten ja hiilidioksidipäästöjen suhteen. Linjauksia vertailtiin prosentuaalisesti saavuttaakseen mahdollisimman tarkan vertailuasteikon. Rakennussuunnitteluvaiheessa arvoja voidaan syöttää tarkemmin, kun tietää tulevat urakoitsijat ja rakentamiseen liittyvät yksityiskohdat.

Projekteissa, joissa Quantmia voitaisiin jatkossa käyttää, olisi lähtökohtaisesti hyvä suorittaa laajamittaisempia maamittauksia. Laajojen mittauksien avulla saadaan mahdollisimman optimoituja linjauksia ja kattavampia analyyseja. Tämän mahdollistaisi esimerkiksi laajamittaiset helikopterikuvaukset suunnittelualueesta, jotka ovat teknologian kehityksen myötä yleistyneet maailmalla varsinkin laaja-alueisissa suunnitteluhankkeissa.

Quantmin päästöarvioiden tuloksille ei ole tällä hetkellä mitään vertailukohtaa. Päästöarvioiden luotettavuutta voitaisiin tutkia vertailemalla valmistuneen hankkeen päästöarviota. Tämänkaltaisella tutkimuksella voitaisiin selvittää Quantmin päästöarvioiden hyödynnettävyyttä nykyisillä oletusarvoilla.

6 YHTEENVETO

6.1 Johtopäätökset

Maapallon kokonaispäästöjen mittakaavassa Suomi on suhteellisen pieni ilmansaasteiden aiheuttaja ja moni voi miettiä, että mitä hyötyä siitä on, että täällä pienessä Suomessa keskitytään päästöjen vähentämiseen. Nykytilanteessa ilmastonmuutos etenee kovaa vauhtia, ja siksi sen ehkäisemiseen vaaditaan paljon panostusta jokaiselta taholta. On hyvin tärkeää, että tällaisessa tilanteessa on suunnannäyttäjiä ja edelläkävijöitä, jotka voivat muokata ilmastonmuutoksen estäviä tulevaisuuden trendejä parempaan suuntaan. Toimivien toimintamallien luominen lisää esimerkkejä käytettäväksi ympäri maailmaa ja niitä on sitä myötä helpompi soveltaa käyttöön myös muissa maissa. Ilmastonmuutoksen estämisen kannalta tarvitaan jatkuvaa kehitystä ja se edellyttää lupaavien keinojen arviointia ja pilotointia erilaisissa olosuhteissa (Väylä 2019, 9).

Valtakunnallisessa liikennejärjestelmäsuunnitelmassa painotetaan ilmastopoliittisia tavoitteita. Kokonaispäästöjä yritetään vähentää ja tämän takia päästöjä lisääviä uusinvestointeja väyläinfrastruktuuriin tehdään vain sitä vaativissa poikkeustilanteissa. Suuret väylähankkeet saattavat vähentyä Suomessa, mutta se kuitenkin lisää samalla tarvetta julkisen liikenteen kehittämiseen. Esimerkiksi rautateiden rataverkostoon ja sen ylläpitämiseen on suunniteltu 15 miljardin investoinnit tulevaisuuteen. (Särkijärvi, Jääskeläinen & Lohko-Soner. 2018, 56-58.) Quantm soveltuu kaikista parhaiten laajojen suunnittelualueiden ja pitkien linjausten suunnitteluun, missä sen resurssitehokkuus tulee parhaiten esille. Nämä tulevaisuuden investoinnit rataverkostoon saattavat lisätä Quantmin käyttöä ja tarvetta Suomessa. Tiesuunnittelun ekotehokkuuden tulevaisuuden kannalta on hienoa, että tämän kaltaisia ympäristöä huomioon ottavia innovatiivisia suunnitteluohjelmia, kuten Quantm, kehitellään koko ajan. Tämän kaltaiset ohjelmat myös lisäävät suunnittelijoiden ja tilaajien tietoisuutta ympäristövaikutuksista.

Teitä ja rautateitä ei Suomessa suunnitella vielä täysin ympäristön näkökulmasta, vaan pääasiassa kustannuksia silmällä pitäen, jotka onneksi ovat usein hyvin korreloitavissa päästöihin. Konsulttialalla useimmiten toimitaan asiakkaiden toivomusten ja mieltymysten mukaan. Hyvin todennäköistä tulevaisuuden kannalta on, että päästöjen optimointi tullaan sisällyttämään suunnitteluun tulevaisuudessa, mutta muutoksien pitäisi tulla tilaajien taholta. Tilaajien tulisi sisällyttää ekotehokkuus suunnitteluun, jotta saataisiin aikaan suurempia muutoksia kohti ekotehokkaampaa suunnittelua. Tämän takia lisäämällä suunnitteluprosessiin mukaan palkitsemisjärjestelmiä ja vähimmäisvaatimuksia, tulisi suunnittelusta paljon ekotehokkaampaa ja ilmastolle elintärkeää.

Case-projektin tarkastelua ja vertailua hankaloitti suunnittelualueen hyvin tarkat reunaehdot ja maamittaukset kapealta maastokäytäväälueelta. Kapeat maamittaukset maastomallissa aiheuttivat sen, että optimaalisen massatasapainon saavuttamisen takia Quantm käytti pääasiassa parhaiden linjauksien luomiseen vain mitattua maastokäytävää suunnittelualueelta. Tämä osoitti myös sen, että laajamittaisemmat mittaukset suunnittelualueelta ovat Quantmille tärkeitä. Suunnittelijat olivat myös luoneet erittäin hyvän linjauksen, jota oli vaikea parantaa Quantmin avulla. Tämän projektin puitteissa Trimble Quantm -suunnittelutyökalusta ja sen hyödyistä saatiin hyvin selkeä kokonaiskuva, mutta sen täyden potentiaalin selvittämiseksi vaadittaisiin useampien erilaisten projektien suunnittelua ja suunnitteluvaiheita. Projekteissa, joissa tuleva linjaus on mahdollisimman pitkä, saavutetaan Quantmilla paras mahdollinen resurssitehokkuuden potentiaali perinteisiin suunnittelukeinoihin verrattuna ja eliminoidaan mahdolliset inhimilliset virheet suunnittelussa.

6.2 Suunnittelutyökalun kehittämiskohteet päästöjen osalta

Quantm-suunnittelutyökalulle löytyy varmasti tulevaisuudessa käyttöä myös Suomessa, mutta isoimmaksi ongelmaksi päästöjen kannalta kohdattiin, että tarkkojen arvioiden esittäminen prosentuaalisen vertailun sijaan lukuna, saattaa aiheuttaa epämääräisiä päästöarvioita. Lukematuloksia esiteltäessä vaadittaisiin tarkempia lähtötietoja ja osaamista päästöarvojen laskennassa. Tämän parannuksen myötä Quantmilla saataisiin melko tarkkoja päästöarvioita ja kustannuslaskemia jo heti suunnittelun alkuvaiheessa, ja tulokset olisivat myös verrannollisia muihinkin päästöarvioituihin hankkeisiin.

Urakkakohtaisesti materiaalien päästö- ja kustannusarvojen päivittäminen manuaalisesti vaatisi paljon aikaa. Tämän takia Quantmin kustannusparametreihin, jotka sisältävät myös päästöarvot, olisi hyvä sisällyttää aktiivinen maakohtainen automaattisesti päivittyvä datapankki, jotta arvot pysyisivät ajan tasalla ja yhdenmukaisina kaikissa hankkeissa. Näin ollen Quantmia voisi hyödyntää muillakin tavoilla kuin linjauksien keskinäisessä vertailussa ja optimoimisessa. Tarkkojen päästö- ja kustannusarvioiden saaminen kuitenkin edellyttää myös tilaajalta minimivaatimuksia urakoitsijoiden toimintatapojen ja kaluston suhteen, jotta tulevat rakennuskustannukset ja päästöt voidaan arvioida jo suunnitteluvaiheessa.

6.3 Opinnäytetyöprosessi

Prosessi on ollut hyvin opettavainen tiesuunnittelun suhteen, kun olen joutunut siihen tämän opinnäytetyön puitteissa perehtymään huolellisesti. Olen oppinut prosessin varrella käyttämään Quantm-suunnitteluohjelmaa erittäin hyvin, koska kunnon koulutuksen jälkeen se on mielestäni ollut erittäin looginen ja omalla tavallaan hyvinkin yksinkertainen suunnittelutyökalu käyttää. Tämän opinnäytetyö projektin suhteen oli palkitsevaa, että tässä sai

johtaa itse itseään ja samalla hyödyntää ammattikorkeakoulusta opittuja asioita käytännössä. Opinnäytetyö aiheena ja sisältönä vastasi opinnollista suuntautumistani yhdyskuntasuunnitteluun.

Tämä opinnäytetyö käsittelee erittäin laajoja aihealueita ja niistä voisi helposti kehittää paljon laajempia ja syvällisempiä tutkimuksia, mutta ammattikorkeakoulun opinnäytetyön puitteissa tämän työn laajuus todettiin sopivaksi työpanokseen nähden. Työn aikana yksi suuri haaste oli oikeastaan pitää opinnäytetyö tarpeeksi fokusoituneena aiheeseen, eikä lähteä käsittelemään aihetta liian laajasta näkökulmasta.

LÄHTEET

Bergman, I., Merenheimo, T. & Österlund, H. 2018. Ympäristönäkökohtien huomioiminen päällystehankintojen kehittämisessä [viitattu 22.7.2020]. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-61_ymparistonakokohtien_huomioiminen_web.pdf

Civilpoint Oy. 2020. WSP Finland: Trimble Quadri vapauttaa kädet suunnittelutyöhön [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://civilpoint.fi/asiakastarinat/wsp-finland-trimble-quadri-vapauttaa-kadet-suunnittelutyohon/

Destia Oy. 2020. Tavoitteenamme ympäristövaikutusten minimointi [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://www.destia.fi/yritys/vastuullisuus/ymparisto.html

Hedly, M. 2020. Quantm Product manager and Technical Sales Engineer. Trimble Inc. Haastattelu 1.7.2020.

Jarkko, E., Rautio, K., Yliniemi, T., Soisalo, A., Lindroos, N. & Räsänen, M. 2018. Valtatien 4 parantaminen Hirvaan kylän kohdalla, Rovaniemi. Aluevaraussuunnitelma 2018 [viitattu 21.7.2020]. Destia Oy. Destian projektijärjestelmä.

Jarkko, E. 2020. Ryhmäpäällikkö. Destia Oy. Haastattelu 9.6.2020.

Korkiala-Tanttu, L., Eskola, P., Valkeisenmäki, A., Antila, R. & Mutanen, E. 2007. Ekotehokkuus investointien ST-hankinnoissa. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 49/2007 [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/4000592-v-ekotehokkuus_investointien_st-hankinnassa.pdf

Liikennevirasto. 2013. Tie suuntauksen suunnittelu. Liikenneviraston ohjeita 30/2013 [viitattu 21.7.2020]. Väylävirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-30_tien_suuntauksen_suunnittelu.pdf

Liikennevirasto. 2014. Uusiomateriaaliopas. Uusiomateriaalien käytön kehittäminen UUMA2- ohjelman väylähankkeilla [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lr_2014_uusiomateriaaliopas_luonnos_28.2.2014_web.pdf

Maanmittauslaitos 2019. Karttapaikka. Saatavissa: https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/

Mannola, M. 2019. Väylänpidon hiilijalanjälki ja sen laskeminen. Väyläviraston julkaisuja 50/2019 [viitattu 21.7.2020]. Väylävirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-50_vaylanpidon_hiilijalanjalki_web.pdf

Merenheimo, T., Varis, T. & Federley, J. 2020. Energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjä vähentävien vaatimusten kehittäminen päällystehankinnoissa. Väyläviraston julkaisuja 1/2020 [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2020-01_energiankulutusta_kasvihuonepaastoja_web.pdf

Motiva. 2010. Taustatietoa ekotehokkaaseen katusuunnitteluun. Ohjeistusta julkiselle tilaajalle [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/4881/Taustatietoa_ekotehokkaaseen_katusuunnitteluun_Ohjeistusta_julkisille_tilaajille.pdf

Pasanen, P. & Miilumäki, N. 2017. Infrahankkeiden EN-standardeja noudattava hiilijalanjälki- ja elinkaariarviointi. Hankkeiden hiilijalanjäljen ohjaus- ja optimointimahdollisuudet suunnittelu- ja rakennuttamistoiminnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 20/2017 [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-20_infrahankkeiden_en-standardeja_web.pdf

Planting, O. 2017. Rakennepoikkileikkaus malli valtatie 4. Kehityspäällikkö. Destia Oy.

Rekola, M., Häkkinen, T., Ala-Juusela, M., Pulakka, S., Mäkeläinen, T., Haapio, A. & Ruuska, A. 2014. Kestävän rakentamisen ohjaus kunnissa [viitattu 21.7.2020]. VTT. Saatavissa: https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2014/T179.pdf

Särkijärvi, J., Jääskeläinen, S. & Lohko-Soner, K. 2018. Toimenpideohjelma hiilettömään liikenteeseen 2045. Liikenteen ilmastopolitiikan työryhmän loppuraportti. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 13/2018 [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161210/LVM_13_18_Toimenpideohjelma%20hiilettomaan%20liikenteeseen%202045%20Liikenteen%20ilmastopolitiikan%20tyoryhman%20loppuraportti.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Trimble. 2017. Quantm Software – User Guide. Version 8.06 Revision A Quantm Desktop User Guide [viitattu 14.8.2020].

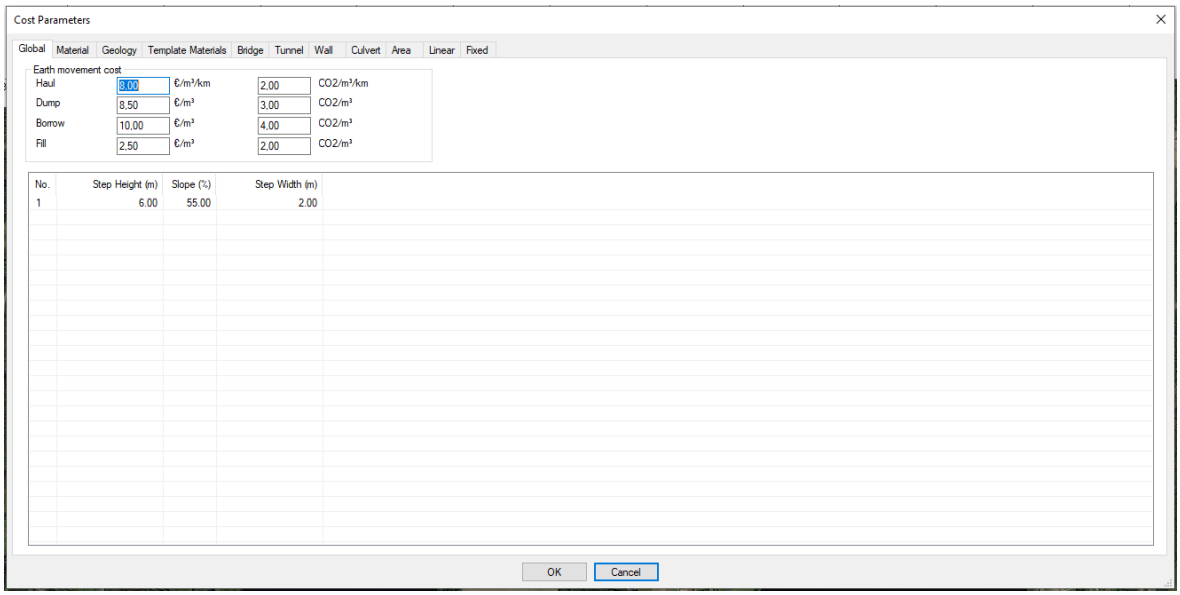
UUMA3-ohjelma. 2020. [Viitattu 21.7.2020]. Motiva. Saatavissa: http://www.uusiomaarakentaminen.fi/uuma3-ohjelma

Viinanen, J. 2018. Esitys Hiilineutraali Helsinki 2035 - toimenpideohjelmaan tehtävistä muutoksista [viitattu 21.7.2020]. Helsingin kaupunki. Saatavissa: https://www.stadinilmasto.fi/files/2017/10/Esitys-t%C3%A4ydennyksiksi-HNH2035-toimenpideohjelmaan1.10.2018.pdf

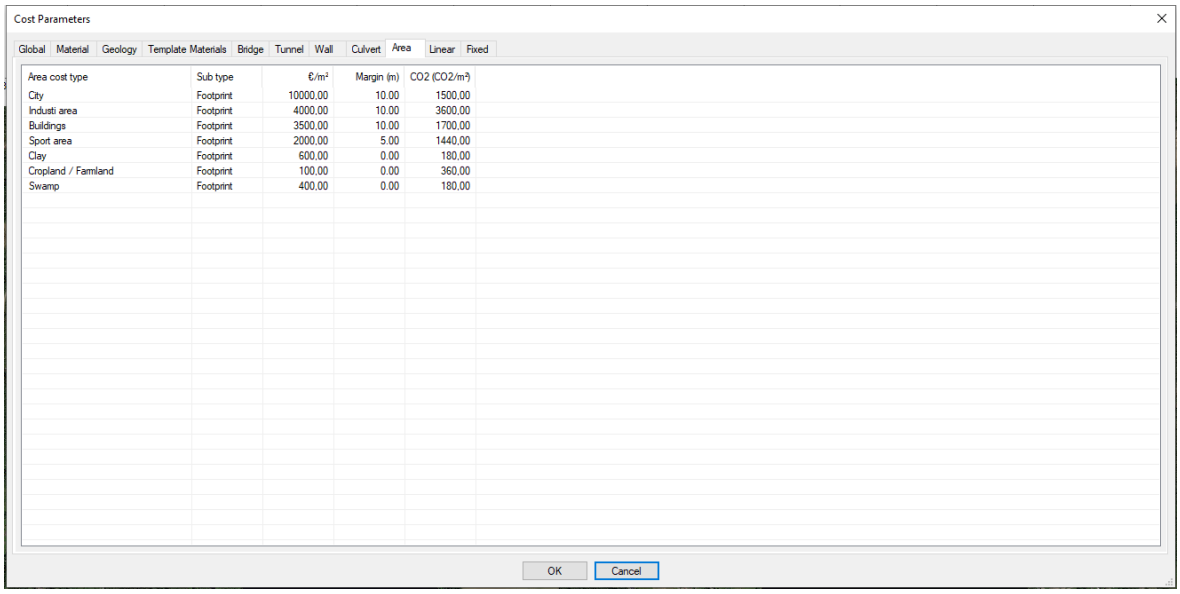
Väylä. 2019. Infran ja väylänpidon vaikutus liikenteen kasvihuonekaasupäästöihin – Tilannekatsaus. Väyläviraston julkaisuja 47/2019 [viitattu 21.7.2020]. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf12/vj_2019-47_infran_vaylanpidon_web.pdf

LIITTEET

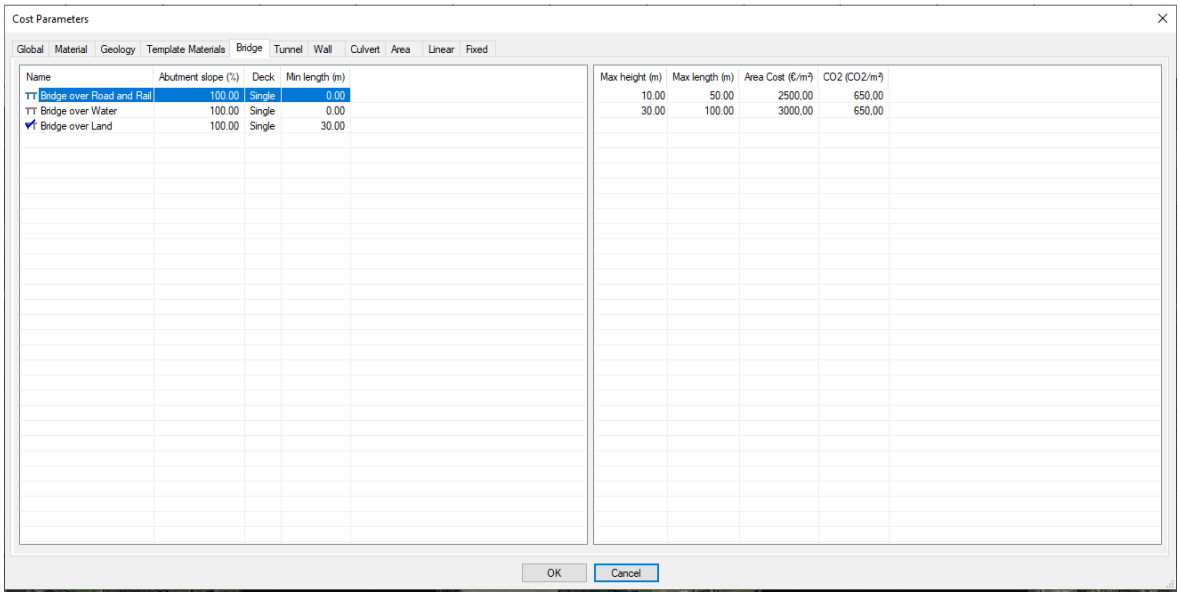
LIITE 1 Trimblen Quantm -suunnitteluohjelman kustannus- ja päästöparametrien muokkaustaulukot.



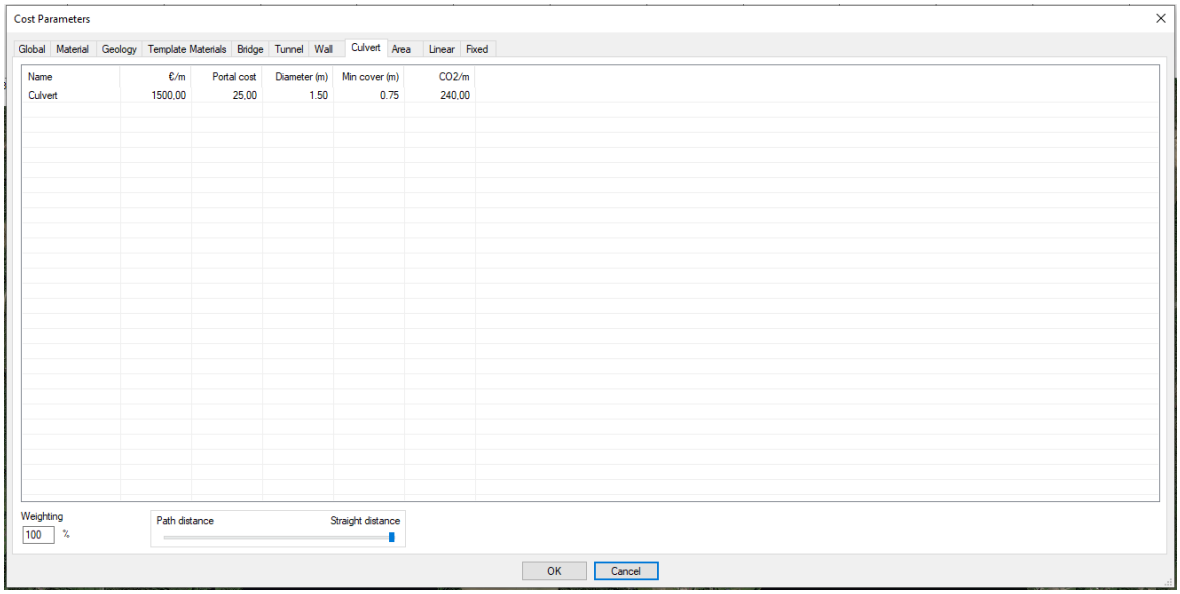
Kuva 1. Maansiirto kustannus- ja päästöarvot



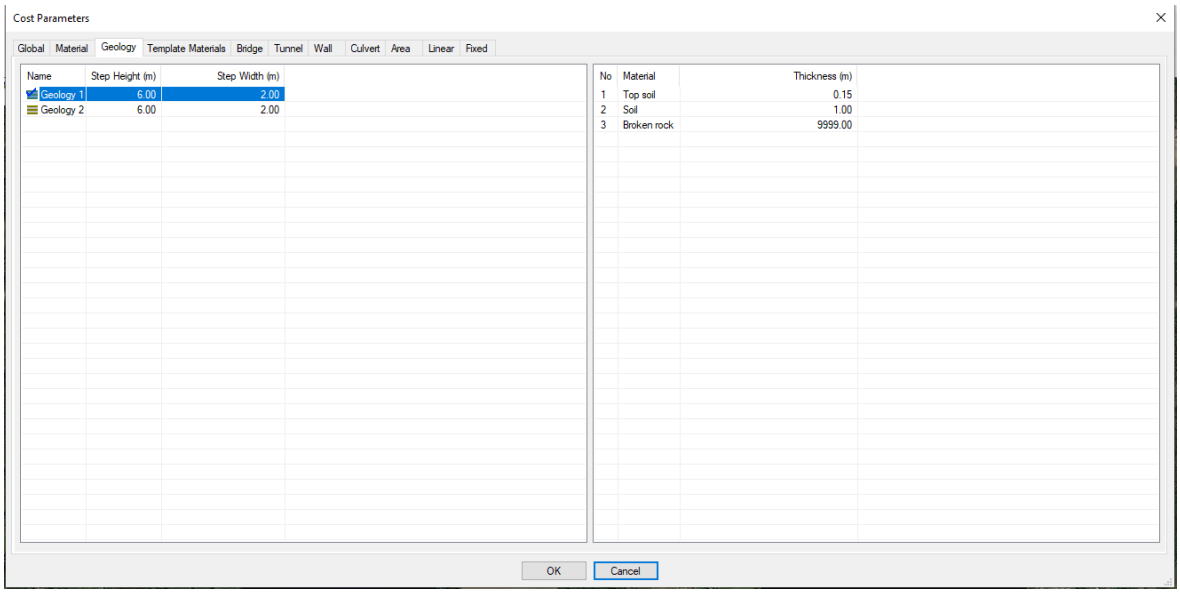
Kuva 2. Aluekustannukset ja -päästöarvot



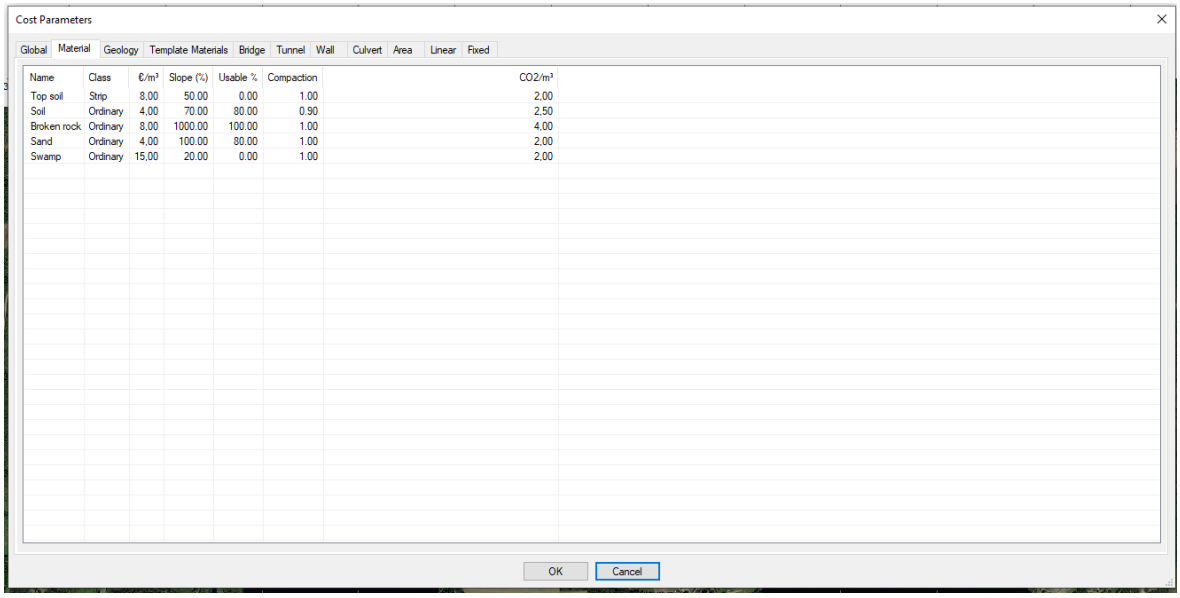
Kuva 3. Siltatyyppien kustannus- ja päästöarvot



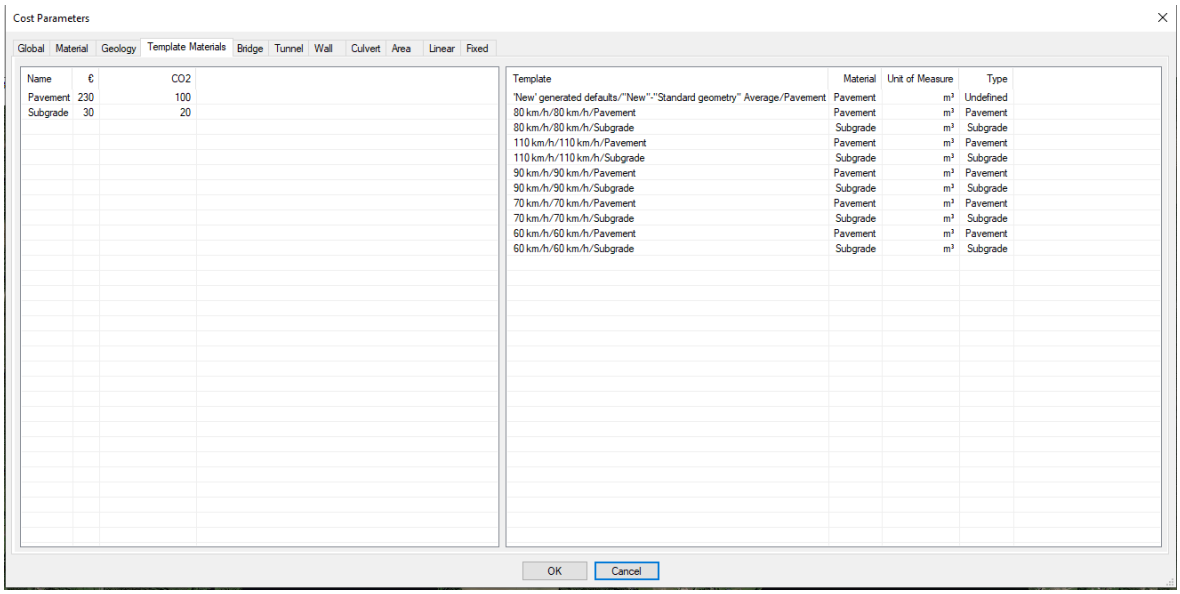
Kuva 4. Siltarummun kustannus- ja päästöarvot



Kuva 5. Maaperän määrittely



Kuva 6. Maaperän kustannus- ja päästöarvot



Cost Parameters

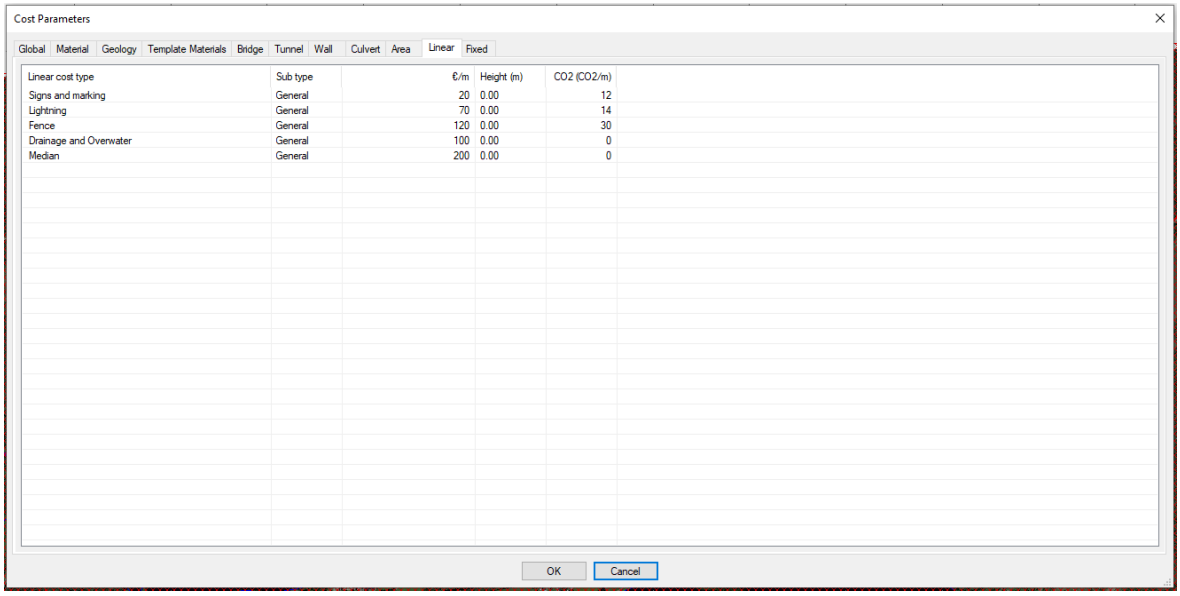
Global | Material | Geology | Template Materials | Bridge | Tunnel | Wall | Culvert | Area | Linear | Fixed

Name	€	CO2
Pavement	230	100
Subgrade	30	20

Template	Material	Unit of Measure	Type
'New' generated defaults/"New"-"Standard geometry" Average/Pavement	Pavement	m³	Undefined
80 km/h/80 km/h/Pavement	Pavement	m³	Pavement
80 km/h/80 km/h/Subgrade	Subgrade	m³	Subgrade
110 km/h/110 km/h/Pavement	Pavement	m³	Pavement
110 km/h/110 km/h/Subgrade	Subgrade	m³	Subgrade
90 km/h/90 km/h/Pavement	Pavement	m³	Pavement
90 km/h/90 km/h/Subgrade	Subgrade	m³	Subgrade
70 km/h/70 km/h/Pavement	Pavement	m³	Pavement
70 km/h/70 km/h/Subgrade	Subgrade	m³	Subgrade
60 km/h/60 km/h/Pavement	Pavement	m³	Pavement
60 km/h/60 km/h/Subgrade	Subgrade	m³	Subgrade

OK | Cancel

Kuva 7. Tien rakennekerroksien kustannus- ja päästöarvot



Cost Parameters

Global | Material | Geology | Template Materials | Bridge | Tunnel | Wall | Culvert | Area | Linear | Fixed

Linear cost type	Sub type	€/m	Height (m)	CO2 (CO2/m)
Signs and marking	General	20	0.00	12
Lightning	General	70	0.00	14
Fence	General	120	0.00	30
Drainage and Overwater	General	100	0.00	0
Median	General	200	0.00	0

OK | Cancel

Kuva 8. Suoraviivaisten lisärakenteiden kustannus- ja päästöarvot

LIITE 2 Tiesuunnittelun geometrisia ohjeita

Taulukko 1. Kaarresäteen miniarvot suunnittelunopeuksineen (Liikennevirasto 2013)

Sivukaltevuus (%)	Kaarresäde (m)											
	30 km/h			40 km/h			50 km/h			60 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)
2'	40	40	35	75	75	60	170	135	100	320	220	160
3	35	35	30	70	70	55	160	125	95	300	200	150
4	35	35	30	65	65	55	150	115	90	280	190	140
5	35	35	30	65	65	50	140	110	85	260	180	135
6										240	170	130
Sivukaltevuus (%)	70 km/h			80 km/h			100 km/h			120 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)
2'	460	330	240	640	460	340	1000	900	660	1500	1500	
3	420	300	220	580	420	320	900	800	600	1300	1300	
4	390	280	210	530	390	300	810	720	560	1100	1100	
5	360	260	200	490	360	280	740	650	520	1000	1000	
6	340	240	190	460	340	260	680	600	490			

Taulukko 2. Kaksipuolisesti sivukaltevan tien ajodynamiikan mukaiset kaarresäteet (Liikennevirasto 2013)

Sivukaltevuus (%)	Kaarresäde (m)											
	30 km/h			40 km/h			50 km/h			60 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)
2,5	120	120	100	250	250	180	500	400	300	1000	650	500
3	150	150	120	300	300	220	650	500	400	1200	800	600
4	300	300	250	600	600	500	1400	1100	800	2500	1700	1300
Sivukaltevuus (%)	70 km/h			80 km/h			100 km/h			120 km/h		
	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähimmäisarvo	Välttävä (taajama)
2,5	1400	1000	750	1900	1400	1000	3000	2600	2000			
3	1700	1200	900	2400	1700	1300	3600	3200	2500			
4	3500	2500	1900	4800	3500	2700	7300	6500	5000			

Sivukaltevuuden enimmäisarvot määräytyvät turvallisuussyistä liukkaalla kelillä liukumisvaaran takia. Yksisuuntaista sivukaltevuutta käytetään kaarteissa ajoneuvon keskipakoisvoiman kumoamiseksi. (Liikennevirasto 2013.)

Taulukko 3. Kohtaamisnäkemän arvot suunnittelunopeuksineen (Liikennevirasto 2013)

Suunnittelu-nopeus (km/h)	Kohtaamisnäkemä (m)		
	Ohjearvo tai hyvä	Vähim-mäisarvo tai tyydyt-tävä	Välttävä (taajama)
30	60	50	40
40	90	70	60
50	140	110	90
60	200	150	130
70	260	190	
80	320	240	
100	430	360	

Kohtaamisnäkemällä tarkoitetaan sitä matkaa milloin kohtaavat autoilijat näkevät toisen ajoneuvon. Vähimmäisarvojen on täytyttävä sellaisilla leveäkaistaisilla teillä jokaisessa kohdassa, joilla on mahdollisuus ohittaa. (Liikennevirasto 2013.)

Taulukko 4. Sivukaltevuuden enimmäisarvot (Liikennevirasto 2013)

Tien luokka	Sivukaltevuuden enimmäisarvo (%)
Moottori- ja moottori-liikennetie	5.0
Valta- ja kantatie	6.0
Seututie	6.0
Yhdystie	7.0

Taulukko 5. Viettokaltevuuden enimmäisarvot (Liikennevirasto 2013)

Tien luokka	Viettokaltevuuden enimmäisarvo (%)
Moottori- ja moottori-liikennetie	6.0
Valta- ja kantatie	7.0
Seututie	10.0
Yhdystie	13.0

Viettokaltevuus on oltava kuivatusteknisistä syistä teillä vähintään kaksi prosenttia, ellei kyseessä ole joku poikkeuksellinen tilanne. Viettokaltevuus ei kuitenkaan saa ylittää enimmäisarvoja, ettei synny lisä riskiä, että ajoneuvo luisuisi pois tieltä liukkaalla kelillä. (Liikennevirasto 2013.)

Taulukko 6. Pituuskaltevuuden maksimiarvot (Liikennevirasto 2013)

Tieluokka	Pituuskaltevuus (%)		
	Ohjearvo tai hyvä	Enim-mäisarvo tai tyydyt-tävä	Välttävä (taajama)
Moottori- ja moottorilii-kennetie	4	5	5
Valta- ja kantatie	5	6	6
Seututie	7	9 (7[1])	7
Yhdystie	10	12 (10[1])	10 (12)

Tien pituuskaltevuus vaikuttaa erittäin moneen eri osa-alueeseen muun muassa turvallisuuteen, nopeuteen ja käytettävyyteen. Tiensuunnittelun ja käytön kannalta eri tietyypeille on määritelty maksimiarvot pituuskaltevuudelle. Tien tasausta suunnitellessa pyritään, ettei tien pituuskaltevuus ylittäisi kolmea prosenttia. Kaltevuuden tulisi olla vähintään yhden prosentin verran kuivatuksen takia. (Liikennevirasto 2013.)

Taulukko 7. Koveran pyöristyskaaren säde suunnittelunopeuksineen (Liikennevirasto 2013)

Suunnittelu-nopeus (km/h)	Kovera pyöristyssäde (m)		
	Ohjearvo tai hyvä	Vähim-mäisarvo tai tyydyt-tävä	Välttävä (taajama)
30	400	300	250
40	850	650	450
50	1500	1100	750
60	2300	1700	1300
70	3300	2500	1800
80	4500	3300	2300
100	5400	4400	4000
120	7300	6700	

Taulukko 8. Koveran pyöristyssäteen minimiarvot ajodynamiikan kannalta (Liikennevirasto 2013)

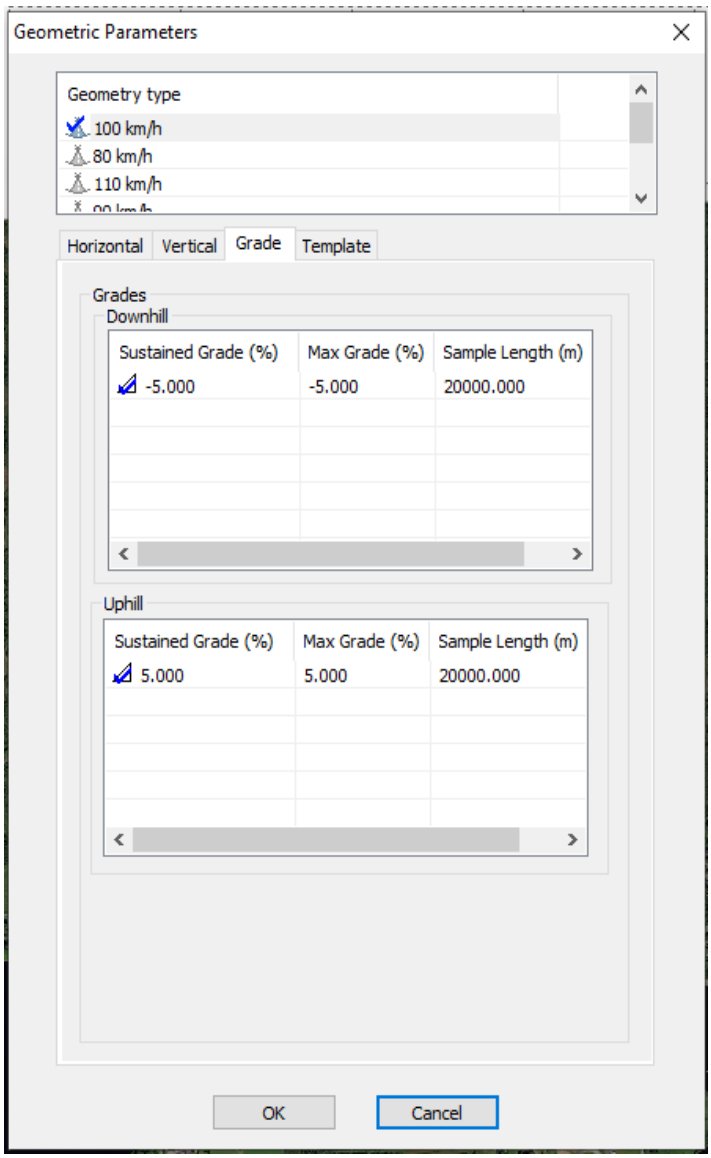
Suunnittelu-nopeus (km/h)	Kovera pyöristyssäde (m)		
	Ohjearvo tai hyvä	Vähim-mäisarvo tai tyydyt-tävä	Välttävä (taajama)
30	150	150	70
40	250	250	130
50	500	400	200
60	800	600	300
70	1000	800	400
80	1300	1000	500
100	1700	1600	800
120	2300	2300	

Taulukko 9. Kuperan pyöristyssäteen minimiarvot suunnittelunopeuksineen (Liikennevirasto 2013)

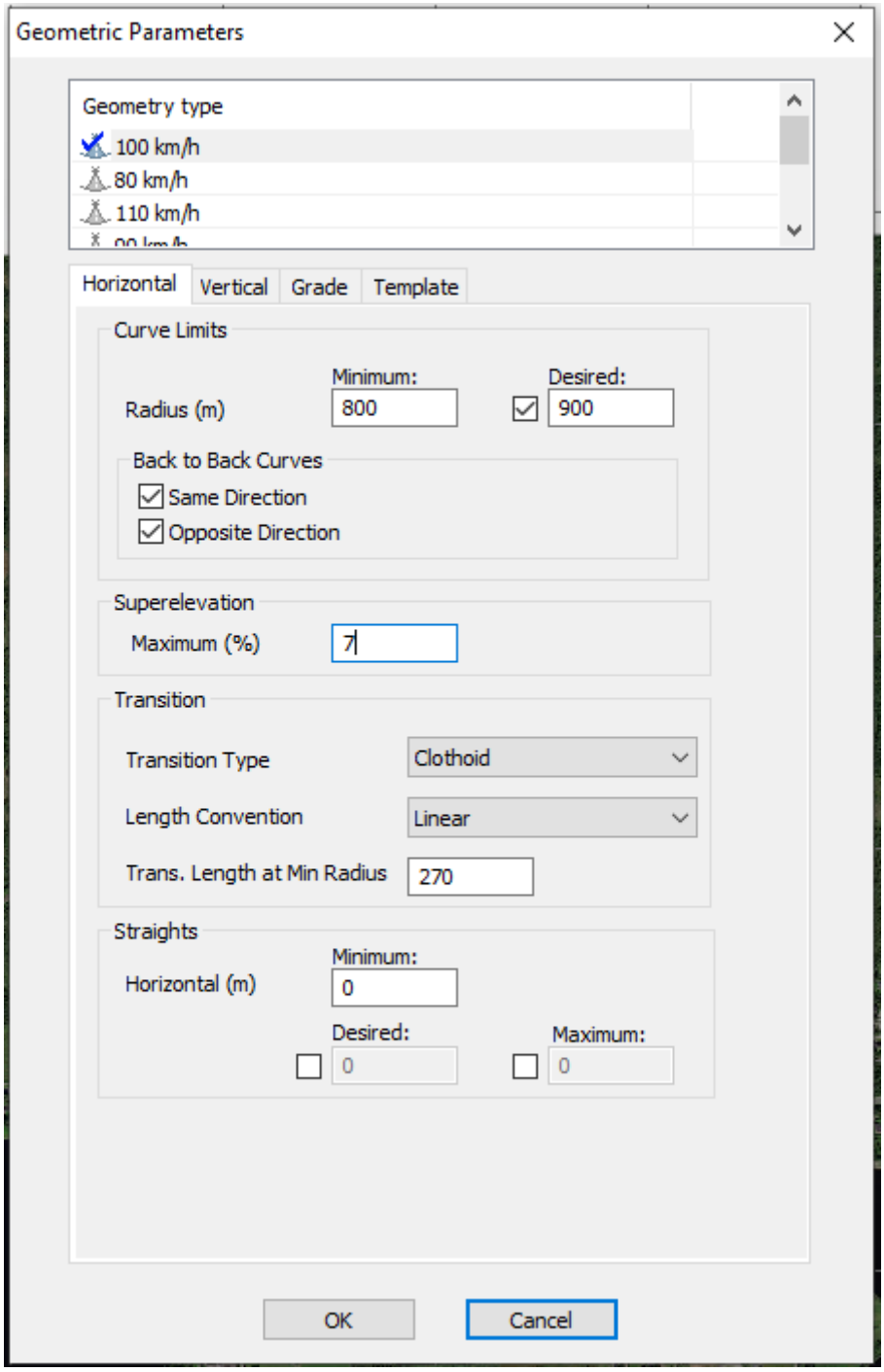
Suunnitte-lunopeus (km/h)	Kupera pyöristyssäde (m)								
	Tavallinen yksiajoratainen tie			Leveä- ja 1-ajokaistainen tie			Kaksiajoratainen tie[1]		
	Ohjearvo	Vähim-mäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähim-mäisarvo	Välttävä (taajama)	Ohjearvo	Vähim-mäisarvo	Välttävä (taajama)
30	200	150	90	400	300	200			
40	500	350	200	950	550	400			
50	1200	700	500	2300	1400	1000	1000	600	400
60	2400	1300	1000	4600	2600	2000	2000	1200	800
70	4000	2300	1700	7700	4100		3300	2000	1400
80	6200	3700	2600	12000	6500		5100[2]	3200	2200
100	11500	8000	6600	21000	15000		9300[2]	6400	
120							20000	17000	

[1] Jos kevyttä liikennettä, niin mitoitus yksiajorataisen tien mukaisesti
[2] Moottori- ja moottoriliikenneteillä käytetään tavallisen yksiajorataisen tien ohjeellisia arvoja

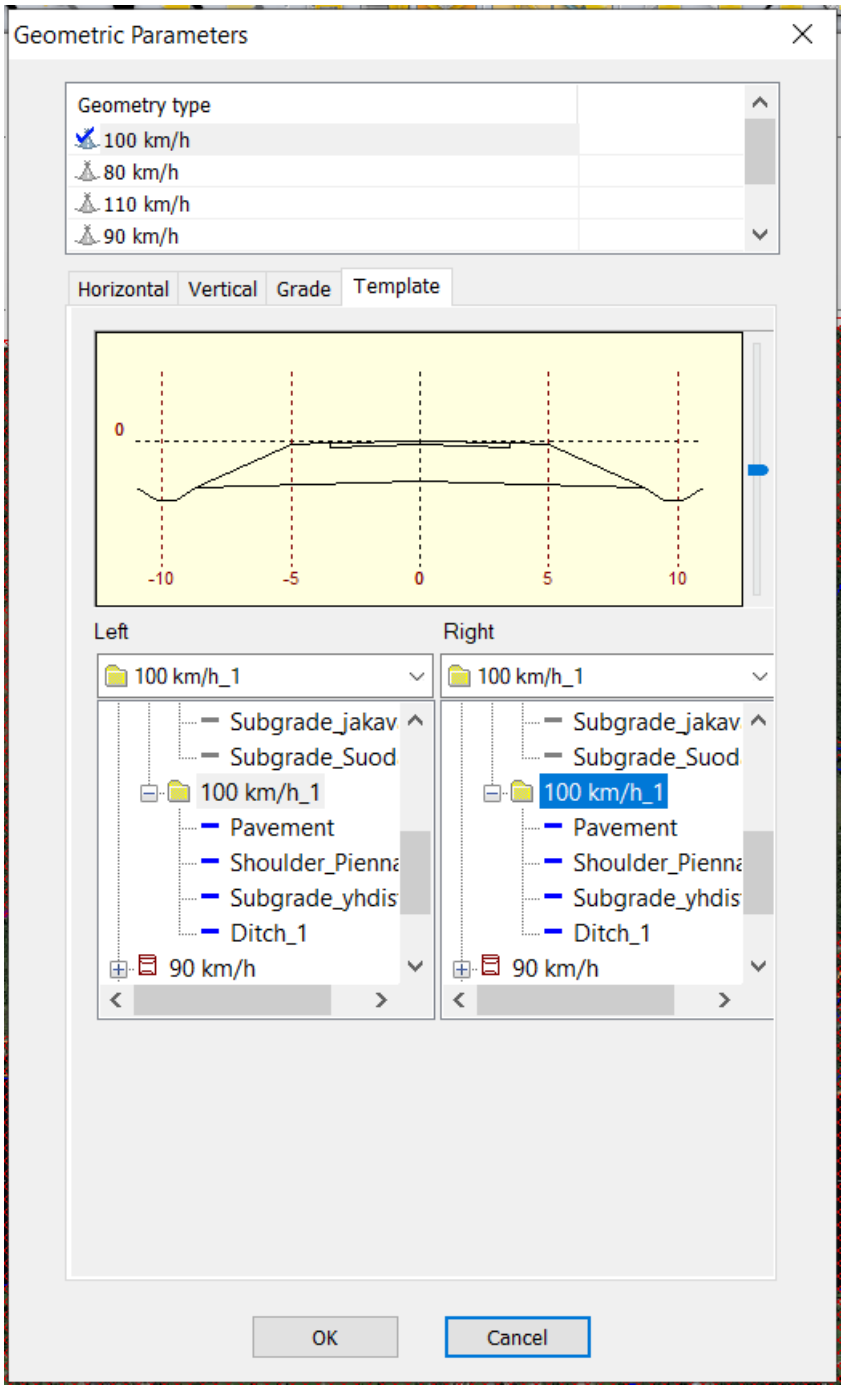
LIITE 3. Quantm -suunnittelutyökalun geometristen parametrien muokkaustaulukot.



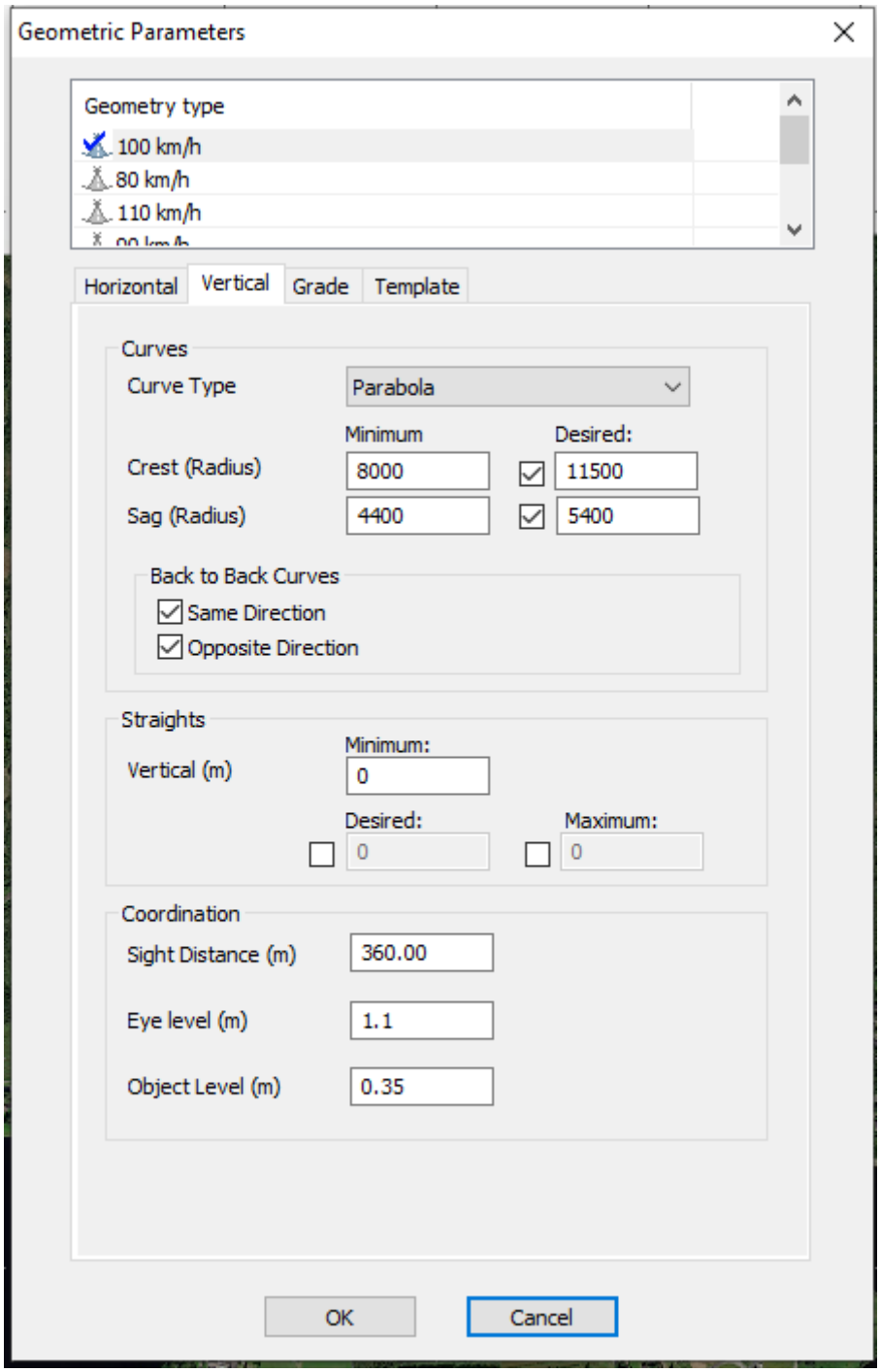
Kuva 1. Mäkien geometristen raja-arvojen määrittely Quantmissa



Kuva 2. Tien vaakageometrian raja-arvojen määrittely Quantmissa



Kuva 3. Tien rakennepoikkileikkauksen geometrian määrittely suunnittelunopeuksineen Quantmissa



Kuva 4. Tien pystygeometrian raja-arvojen määrittely Quantmissa

LIITE 4 Quantmista tuotu tielinjauksien vertailutaulukko Microsoft Excel -ohjelmalla.

	A	B	C	D	E	F
1	Source					
2	Cut (m³)	97 900	575 000	32	272 000	39
3	Tunnel Debris (m³)	0	0	0	0	0
4	Import (m³)	0	0	0	0	0
5	Borrow (m³)	0	0	0	0	0
6	Destination					
7	Fill (m³)	55 600	139 000	8	111 000	16
8	Export (m³)	0	0	0	0	0
9	Dump (m³)	38 100	324 000	18	114 000	16
10	Template Materials		0	0	0	0
11	Mass Haul (m³ km)	76 000	608 000	34	152 000	22
12	Ret. Wall (m²)	0	0	0	0	0
13	Culvert (m)	0	0	0	0	0
14	Bridge (m)	11	167 000	9	49 500	7
15	Tunnel (m)	0	0	0	0	0
16	Footprint Area (m²)	137 000	0	0	0	0
17	Linear (m)	5 880	0	0	0	0
18	Cadastral	0	0	0	0	0
19	Fixed Cost		0	0	0	0
20	Construction Cost		1 810 000	0	700 000	
21	Traffic Cost		0	0	160	
22	Total cost		1 810 000		700 000	

Project Information | Alignment Summary - Costs | Alignment Summary - Details | Geometric Report | Sourc ...