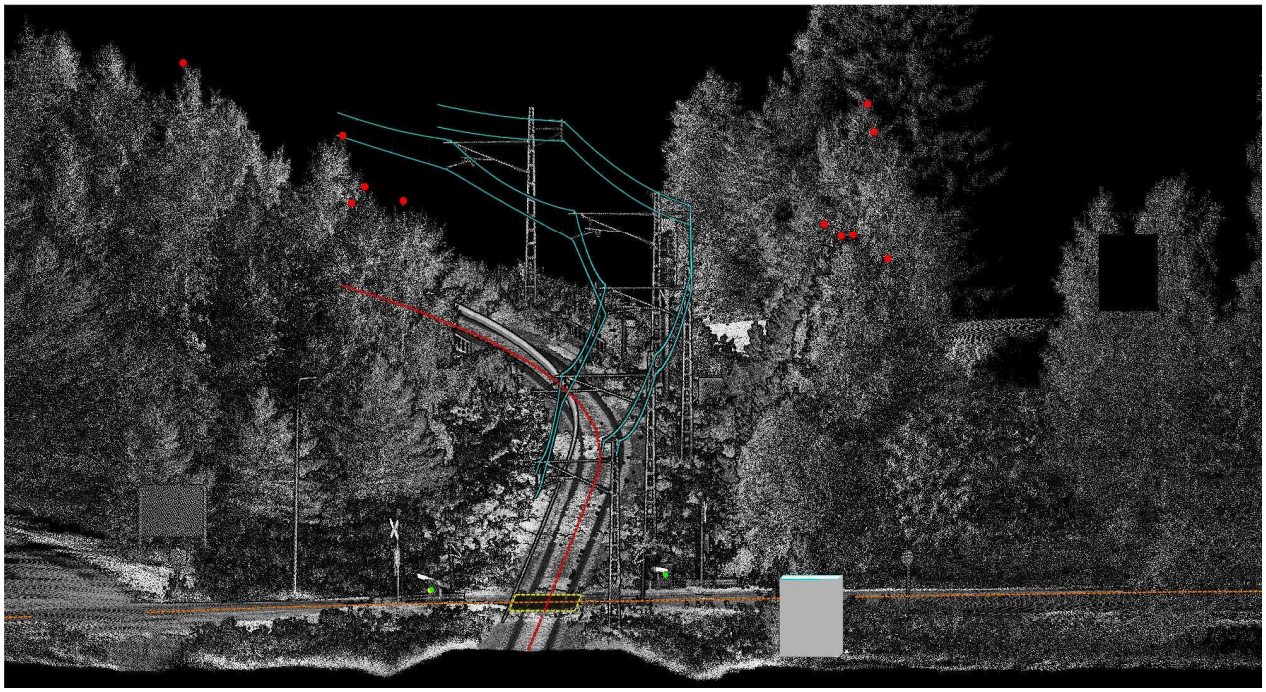


LASERKEILAUKSELLA RADAN KUNNOSSAPIDON LÄHTÖTIETOMALLI

LIIKENNEVIRASTON AUTOMAATTISEN TIEDON TUOTANNON KOKEILU

Destia Oy
Mika Jaakkola,
Oulu 16.05.2018

ALKUSANAT

Tämä raportti kertoo Liikenneviraston rahoittaman Digitaalisen tiedontuotannon pilotin ”Mobiililaserkeilauksella radan kunnossapidon lähtötietomalli” toteuttamisesta ja tuloksista.

Työhön ovat osallistuneet Liikennevirasto, Destia Oy, Geotrim Oy, Terrasolid Oy ja Sova3D Oy. Jouni Hytönen toimi pilotissa Liikenneviraston edustajana ja rata-asioiden asiantuntijana. Marko Jurmu Destia Rail Oy:stä toimi projektissa radan kunnossapidon asiantuntijana ja kehittämistarpeiden ideoijana. Mika Jaakkola Destia Oy:stä toimi pilottiprojektin vastuullisena vetäjänä.

Teemu Mielonen Geotrim Oy:stä operoi Tuomioja-Raahe rataosuudella tehdyn mobiilaserkeilauksen yhteistyössä Destia Rail Oy:n kanssa. Kjell Tuominen Terrasolid Oy:stä vastasi laserdatan mallinnuksesta ja uusien toimintatapojen pilotoinnista. Petri Kokko Sova3D Oy:stä vastasi mallinnetun aineiston selainpohjaisista visualisoinneista. Olli Planting Destia Oy:stä testasi pistepilviaineiston hyödyntämistä tie- ja ratasuunnittelujärjestelmässä. Lisäksi useat Destian ratakunnossapidon asiantuntijat tekivät pilotissa testattujen työkalujen ja menetelmien kommentointia.

Suuret kiitokset Liikennevirastolle projektin rahoittajana ja kaikille yhteistyökumppaneille hedelmällisestä yhteistyöstä pilotin toteutuksessa.

Oulussa 16.5.2018

Mika Jaakkola

TIIVISTELMÄ

Pilotissa tutkittiin ratakohteesta mobiilaserkeilauksella tuotetun pistepilvi- ja mallinnusmalliaineiston hyödyntämistä radan kunnossapidon tarpeisiin. Pilotin tavoitteena oli myös saada käsitys toimivista työkaluista ja menetelmistä mallinnetun aineiston hyödyntämiseksi kunnossapidossa ja suunnittelussa. Erityisesti panostettiin laserkeilausaineiston hyödyntämiseen radan haittapuiden ja näkemien kartoituksessa.

Tuomioja-Raahe rataosuuden mobiililaserkeilaus toteutettiin 25.08.2017 Destian ja Geotrimin yhteistyönä. Pistepilviaineiston mallinnus tehtiin Terrasolidin toimesta. Mallien visualisointia selainympäristössä Sova3D:n työnä ja edelleen pistepilvimallien hyödyntämiskokeiluja Tekla Civil suunnittelujärjestelmässä Destian tekemänä.

Pilotin kokemusten mukaan mobiililaserkeilauksella tuotettu pistepilvimalli ja testatut Pistepilvimallin tarkkuuden ja kattavuuden havaittiin riittävän hyvin radan kunnossapidon lähtötietomallin perusaineistoksi. Pilotissa käytetyt mallinnus- ja visualisointityökalut soveltuivat hyvin radan haittapuiden ja tasoristeysnäkemien kartoitukseen ja havainnolliseen esittämiseen. Jopa yksittäisten haittapuiden rungot onnistuttiin mallintamaan. Mallinnuksen tuloksena tunnistettiin myös sähköratavarusteiden ja tekniikkakaappien paikka- ja mittatiedot sekä pilotoitiin ratasepelin tukikerroksen vajauksen laskentaa.

Mallien esittäminen selainpohjaisessa järjestelmässä toimii hyvin harvennettujen pistepilvilmallien ja vektoroitujen aineistojen osalta. Mittauksen tuottamat pistepilvet ovat liian suuria selainkäyttöön. Pistepilviaineiston mallinnuksen osaaminen ja mallinnettavien kohteiden siirto visualisointityökaluun pienempinä kokonaisuuksina on jatkokäytön kannalta tarpeellista.

Oulussa 6. maaliskuuta 2018

Mika Jaakkola

SISÄLLYS

1 JOHDANTO

1.1 Tausta
1.2 Pilottikohde
1.3 Tavoite

2 MOBIILILASERKEILAUS RATAOSUUDELLA

2.1 Mobiililaserkeilauksen suunnittelu
2.2 Maastomittaukset
2.3 Ratakohteen mobiilikartoitus
2.4 Laserkeilausdatan mallinnus

3 LASERKEILAUSDATAN TESTAUS

3.1 Laserdata hyödyntäminen väyläsuunnittelujärjestelmässä
3.2 Laserdatan visualisointi selainpohjaisessa järjestelmässä

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Hyödyntäminen radan kunnossapidossa
4.2 Ehdotus jatkotoimiksi

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoite

Tähän asti radan kunnossapitourakoiden ongelma on ollut, että urakan alkaessa lähtötiedot ovat hajallaan erilaisissa järjestelmissä ja taulukoissa. Myös lähtötiedon tarkkuus ei ole usein riittävällä tasolla. Mittausteknologiana mobiililaserkeilaus on kehittynyt nopeasti ja mahdollistaa aiempaa kattavamman ja tehokkaamman lähtötietojen kartoituksen. Mittausaineistoja on myös mahdollista tarkastella pilvipalvelutyökaluilla aiempaa joustavammin ilman erillisiä ohjelmistoasennuksia.

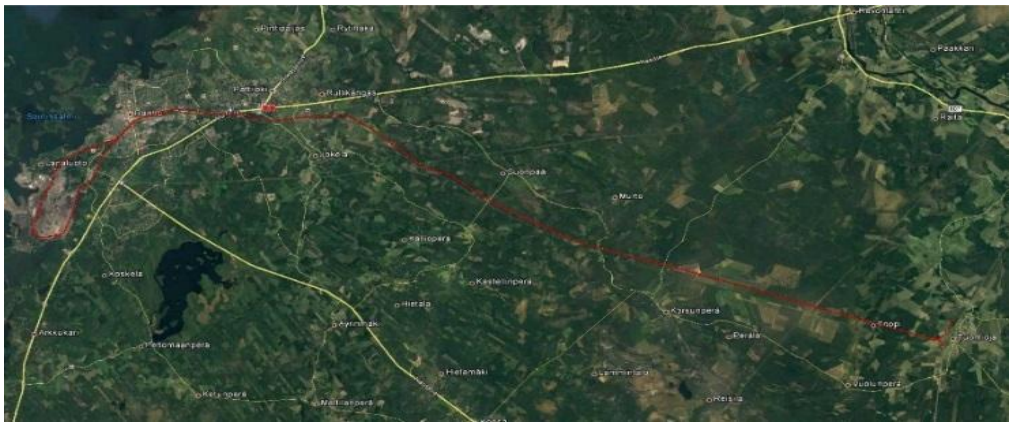
Kokeilussa kehitetään mittausta maastossa, mittausaineiston jalostamista ja sen kautta saatavien lopputuotteiden hyödyntämistä. Mobiililaserkeilaus on yleisesti toimivaksi todettu mittausteknologiaksi, mistä johtuen kokeilussa painotetaan mittausaineiston jalostusta ja lopputuotteiden hyödyntämistä radan kunnossapidon tarpeet huomioiden.

Kokeilun tavoitteena on kehittää menetelmää, jonka päämääränä on tuottaa radan kunnossapitourakan tarpeisiin soveltuva lähtötietoaineisto mobiililaserkeilausta hyödyntäen.

2 MOBIILILASERKEILAUS RATAOSUUDELLA

2.1 Mobiililaserkeilauksen suunnittelu

Radan kunnossapidon lähtötietomallin tietosisältötarpeet täsmennettiin yhteistyössä urakoitsijan, tilaajan ja mittausasiantuntijoiden kanssa. Kartoitettaviksi asioiksi tunnistettiin riskipuusto, ratapenkereen maastomalli, tasoristeysalueiden näkemät, avoimen tilan ulottuma (ATU) ja rataturvavarusteiden paikkatiedot. Koekohteeksi valittiin Tuomioja–Raahe rataosuus ja mahdollinen jatko Raahe-Rautaruukki välille.



Kuva 1. Koekohteeksi valittu Tuomioja-Raahe-Rautaruukki rataosuus.

2.2 Maastomittaukset

Rataosuudelle Tuomioja-Raahe tehtiin signalointisuunnitelma. Signaaleja tehtiin 24 kpl ja signaalien paikoiksi valittiin tekniikkakaapit ja ratapylväiden betoniperustukset. Signaalit maalattiin sapluuna käyttäen kaappien ja jalustojen pintoihin, signaalit valokuvattiin ja niiden paikkatiedot kartoitettiin RTK-GNSS ja takymetrimittauksena. Liittessä 1 on esitetty signalointisuunnitelma ja signaalien koordinaattitiedot.

Kuva 2. Ratapylvään betoniperustukseen maalattu signaalikuvio.

2.3 Ratakohteen mobiilikartoitus

Mobiilikartoitusjärjestelmän kuvaus:

Mobiilikartoitus tehtiin Geotrim Oy:n toimesta pakettiautoon asennetulla Trimble MX8 mobiilikeilaimella. Mittaus tehtiin Destian veturin vetämällä vaunulla, jonka päälle mittausauto oli pysäköity. Mobiililaserkeilain on pakettiautoon integroitu mobiilikartoitusjärjestelmä, jossa laserkeilain ja kameratekniikka on yhdistettynä samaan kalibroituun runkoon. Ajoneuvon liikkuessa kaksi 360°-laserkeilainta sekä kamerajärjestelmät keräävät 3D-dataa järjestelmää ympäröivästä alueesta.

Paikannuksen tarkkuuden varmistaa liikkuvaan kartoitukseen suunniteltu Applanix POS LV 520 -paikannusjärjestelmä, ja tiedonkeruun laadunvalvonta tehdään POSView ja Trimble Trident Capture -ohjelmistoilla. Järjestelmän kaikkien sensorien mittaukset ovat synkronisoitu millisekunnin tarkkuudella Trimble Multiplexer -ajastusjärjestelmän avulla. Mobiilikartoituksessa käytettyjen kahden laserkeilaimen asetuksena oli 300 000 pistettä/sekunti/laserkeilain ja 4 m kuvanottoväli. Mobiilikartoitus toteutettiin Tuomioja-Raahe-Rautaruukki rataosuudella 27.08. 2017.

Mittausjärjestelmän operoijana toimi Teemu Mielonen (Geotrim Oy) ja tarkkailijana Mika Jaakkola (Destia Oy).

Mobiilkartoituksen vaiheet:

Alustus

Mobiilikartoituksen tiedonkeruuvaihe alkoi alustuksella. Alustus tarkoittaa paikannustiedon keräämistä staattisessa tilassa. Alustus tehtiin avoimessa paikassa, missä on hyvä satelliittinäkyvyys. Alustus kesti noin viisi minuuttia. Mobiilikartoisuksen alustus tehtiin lähellä Tuomiojan asemaa.

Kohdealueen kartoitus

Alustuksen jälkeen aloitettiin datan (pistepilvet ja kuvia) kerääminen. Mobiilikartoituksen aikana ajonopeus oli noin 30-40 km/h. Kohdealue kartoitettiin molempiin suuntiin ja lisäksi ajoimme SSAB:n tehdasalueen ympäri Raahessa. Mobiilikartoituksen aikana pysähdyimme välillä, lopetimme aineiston talletuksen, peruutimme noin 10-20 m ja jatkoimme matkaa eteenpäin aineistoa tallentaen. Tämä menetelmällä minimoimme aineiston laatuun aiheutuvia riskejä, joita voivat aiheuttaa mahdolliset laitteistovirheet, navigointiaineiston laatu tai muut ulkopuoliset ennakoimattomat tilanteet mittauksen yhteydessä. SSAB:n tehdasalueella pysähdyksiä on runsaasti. Pysähdykset johtuivat kiskojen vaihteiden kääntämisistä ja paikoitellen rautatien heikko kunto vaati pieniä pysähdyksiä tai erittäin hidasta ajonopeutta. Tavallisesti on suositeltavaa keskeyttää aineiston talletus pysähdysten ajaksi, peruuttaa ja jatkaa tallennusta, mutta tehdasalueen tapauksessa aineiston tallennus oli koko ajan päällä, jotta mobiilikartoitus voitiin suorittaa mahdollisimman sujuvasti järkevässä ajassa.

Alustus mittauksen loppuessa

Kohdealueen kartoituksen jälkeen tehtiin samanlainen alustus kuin mittauksen alussa; kerätään paikannustietoa avarassa paikassa, missä on hyvä satelliittinäkyvyys. Alustus kesti noin viisi minuuttia. Alustus tehtiin jälleen lähellä Tuomiojan asemaa. Mobiilikartoituksen tiedonkeruuvaihe kesti kokonaisuudessaan 4 tuntia 3 minuuttia. Käsittelemättömän mobiiliaineiston koko on noin 225 Gb. Sääolosuhteet olivat hyvät mobiilikartoituksen aikana ja rautatiellä liikkuminen oli järjestetty sekä toteutettu Destia Rail Oy:n toimesta erinomaisesti mobiilikartoituksen kannalta.

Mobiiliaineiston alkuprosessointi tehtiin Geotrim Oy:n toimesta, minkä yksityiskohtaisempi kuvaus on esitetty liitteessä 2. Geotrim Oy toimitti pistepilviaineiston LAS 1.2 formaatissa ja ETRS-GK24 (FIN2005N00) koordinaatistossa 13.09.2017 Terrasolidin käyttöön jatkojalostusta varten. Aineisto toimitettiin ulkoisella kovalevyllä, joka sisältää myös mobiilikartoituksen aikana kerätyn raaka-aineiston.

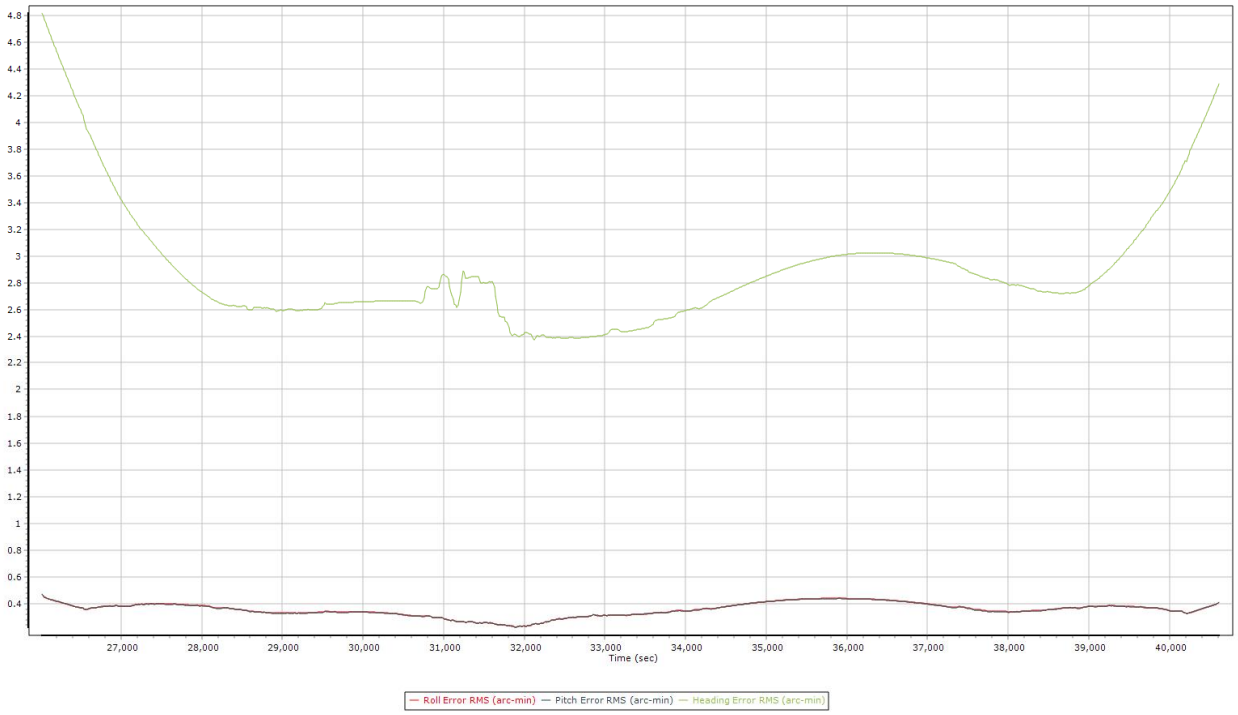
PROSESSOINNIN KUVAUS JA KÄYTETYT OHJELMAT

1. Paikannustiedon jälkiprosessointi

Applanixin paikannusjärjestelmä tallentaa paikannustiedon erilliselle USB-tikulle. Paikannustieto prosessoidaan Applanix POSPac MMS -ohjelmistolla reaaliaikaisen paikannustarkkuuden parantamiseksi. Tulokseksi saadaan prosessoitu ajorataratkaisu (sbet).

POSPac MMS -ohjelmaan ladataan, mobiilikartoituksen aikana kerätyn paikannustiedon lisäksi, tukiasemadataa Trimnet GPS/GNSS -palvelusta sekä tarkemmat ratatiedot satelliiteille. Tukiasemien ja tarkkojen satelliittien ratatietojen avulla parannetaan mobiilikartoitusajon ajoradan sijainnin tarkkuutta. Prosessi yhdistää GNSS aineiston ja inertia-aineiston Kalman-suodin algoritmilla.

Alla on esitetty ajorataratkaisun suhteelliset tarkkuudet (RMS) ajan funktiona.



Suhteelliset sijaintitarkkuudet (X, Y & Z) ovat hyviä. Tyypillisesti avoimella alueella päästään alle 3 cm suhteelliseen tarkkuuteen korkeudessa ja alle 2 cm tarkkuuteen tasokomponenteissa. Kuvaajassa olevat piikit johtuvat katvealueista (tai jyrkistä käännöksistä maantiehankkeissa). Virhepiikkejä tulee yleensä useita mobiilikartoitusajon aikana, mutta tämän ratahankkeen maasto oli melko avointa koko projektialueella. Suurimmat katvealueet olivat tehdasalueen ympäristössä tässä projektissa.

Inertiajärjestelmän kulmatarkkuudet ovat myös hyvällä tasolla. Roll ja pitch -kulmien tarkkuuksissa päästään normaalisti maantiekartoituksissa 0,5 kaariminuutin alle ja heading-kulma on yleensä alle 2 kaariminuuttia. Tässä laskennassa on päästy roll ja pitch -kulmien tarkuuksissa noin 0,4 kaariminuuttiin (0,0067 astetta), mikä on hyvä tulos. Heading kulman tarkkuus on pääosin vajaa 3 kaariminuuttia (0,050 astetta), mikä on hyvä tulos rautatiehankkeessa. Rautatiehankkeiden luonteesta johtuen heading-kulman tarkkuus on aina heikompi kuin tiehankkeissa, mutta 3 kaariminuutin tarkkuus ei olisi millään tapaan hälyttävän huono edes normaalissa tiehankkeessa.

2. Pistepilven ja kuvien paikannustiedon päivittäminen prosessoidulla ajoradalla
Pistepilvelle ja kuville luodaan sbet-ajorataratkaisun perusteella omat paikannustiedot (.gps). Tähän käytetään Trimble Trident -ohjelmaa.

3. Pistepilven pisteiden uusien sijaintien laskeminen ja aineiston eksportointi
Jälkiprosessoidun paikannustiedon perusteella laskettiin pistepilven pisteille uudet sijainnit. Tämän jälkeen suoritettiin aineiston visuaalisesti tarkastus. Kahden erillisten talletusten (vastakkaiset ajosuunnat) pistepilvien välinen korkeusero oli tyypillisesti 5 – 10 cm luokkaa. Tavallisesti mobiilikartoituksessa eri ajolinjojen välisten pistepilvien korkeuserot ovat 5 - 20 cm luokkaa tai katveisilla alueilla jopa suuremmat, joten tulosta voidaan pitää normaalina tai hyvänä.

Eri ajolinjojen välisten pistepilvien ero tasossa oli muutaman senttimetrin luokkaa. Lopuksi eksportoitiin pistepilvi LAS 1.2 –muotoon ja kuvat jpg-muotoon. Toimitetun aineiston tiedot liitteessä 2.

PILOTISSA HAVAITTU VIRHEET & HUOMAUTUKSET

Mobiilikartoitusauto ajettiin ennen mobiilikartoitusta veturilla vedettävälle lavetille. Auto ajettiin lavetin takareunaaan, mutta silti vasemman puoleisen laserkeilaimen keräämä pistepilvidata osui hieman lavetin nurkkaan. Tästä johtuen vasemman laserkeilaimen tallentamissa pistepilvissä puuttuu reilun 10 cm kaistale pisteaineistoa maan pinnasta ja kyseinen kaistale ”leijuu” ilmassa koko projektialueen matkalla. ”Leijuva lavetin nurkka” on luokiteltu karkeasti 7 luokkaan (low point – noise) las-tiedostoissa. Maan pinnasta puuttuva kaistele tulee katetuksi oikean puoleisen laserkeilaimen aineistolla, joten virhe ei ole kriittinen aineiston loppukäyttöä ajatellen.

Tehdasalueen mobiilikartoitus oli haastavaa runsaiden pysähdyksien ja rautatien heikon kunnon johdosta. Luonnollisesti mobiilikartoitus suoritetaan järkevimmällä mahdollisella tavalla olosuhteet huomioiden, mutta aineiston jatkoprosessointi saattaa vaatia hieman enemmän työtä korkealaatuisen pistepilviaineiston tuottamiseksi. Referenssipisteiden erottaminen saattaa olla haasteellista pistepilviaineistoista. Jatkossa olisi suositeltavaa mitata referenssipisteet mobiilikartoitusjärjestelmän puoleiselle sivustalle. Liitteessä 2 mallinnuksesta tuotettuja kuvia Destian mittaamista referenssipisteistä.

2.4 Laserkeilausdatan mallinnus

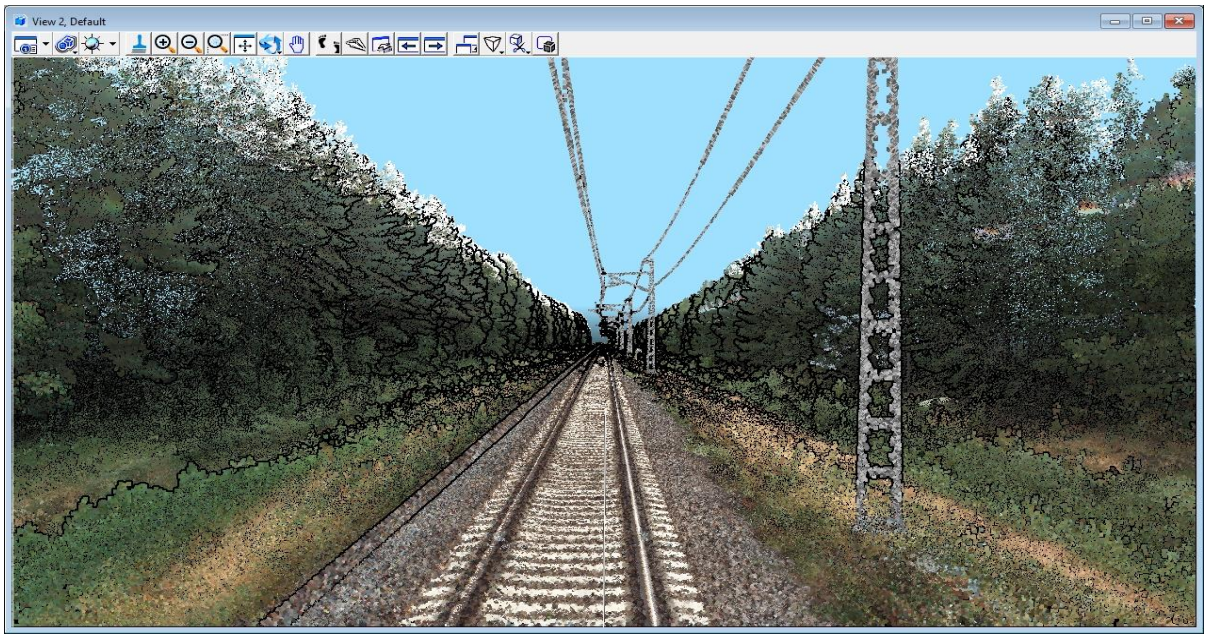
Terrasolid Oy:n Kjell Tuominen toteutti laserdatan jatkojalostuksen luokitelluksi ja mallinnetuksi pistepilviaineistoksi. Työssä käytetyt ohjelmat: TerraScan, Terramatch, TerraModeller ja TerraPhoto jotka olivat asennettu käyttämään alustana Bentley POWERDRAFT ohjelmistoa.

Laserdatan käsittely aloitetaan aineiston sisään luvulla, tutustumisella ja perusluokittelulla. Mobiilialustalta tehtävän keilauksen eräs ominaispiirre on katveista johtuva GPS satelliittihavaintojen laadun nopeakin vaihtelu. Tätä ongelmaa yritetään yleensä ratkaista keilaamalla linjamaiset kohteet edestakaisin. Näin tehtiin myös tässä projektissa.

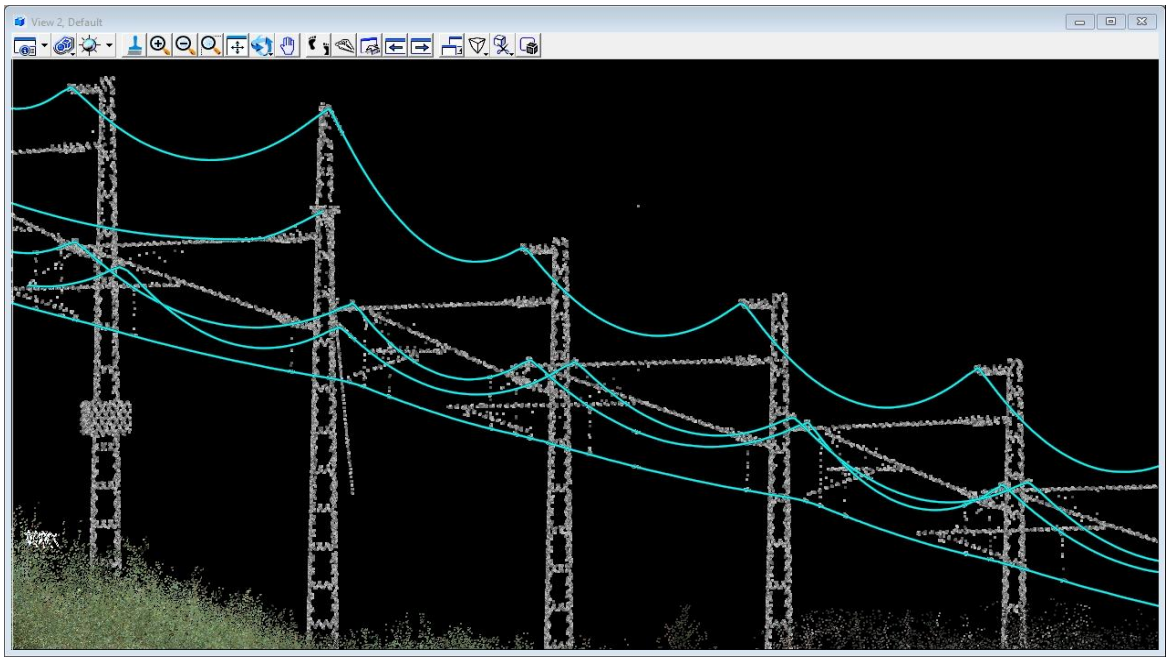
Yksittäisen ajolinjan pistepilven pistetiheys oli riittävä joten kahden eri ajolinjan sovituksen jälkeen valittiin parempilaatuinen, Tuomiojalta Raaheen ajettu ajolinja, jonka ero tunnettuihin pisteisiin oli pienempi, suurimmillaan 0,089 m. Tämä ajolinja sovitettiin koordinaatistoon käyttäen edellä

mainittuja signaloituja pisteitä. Laserdata luokiteltiin penger, muun maanpinnan, matalaan, keskikorkeaan ja korkeaan kasvillisuuden ja johto pisteluokkiin.

Mallinnuksen ensimmäisessä vaiheessa tehtiin kuvalistat keilauksen yhteydessä otetuista kuvista, joita käyttäen värjättiin pistepilvi.



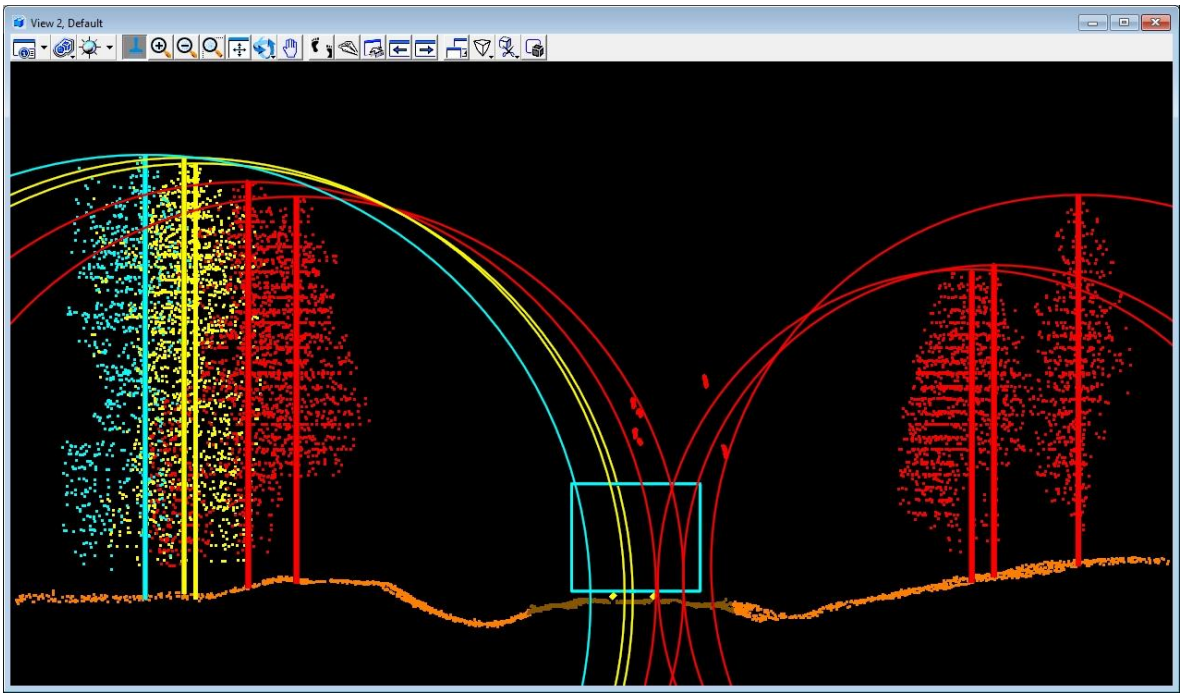
Kuva 3. Värjätty pistepilvi.



Kuva 4. Automaattisesti vektoroidut sähköratajohdot.

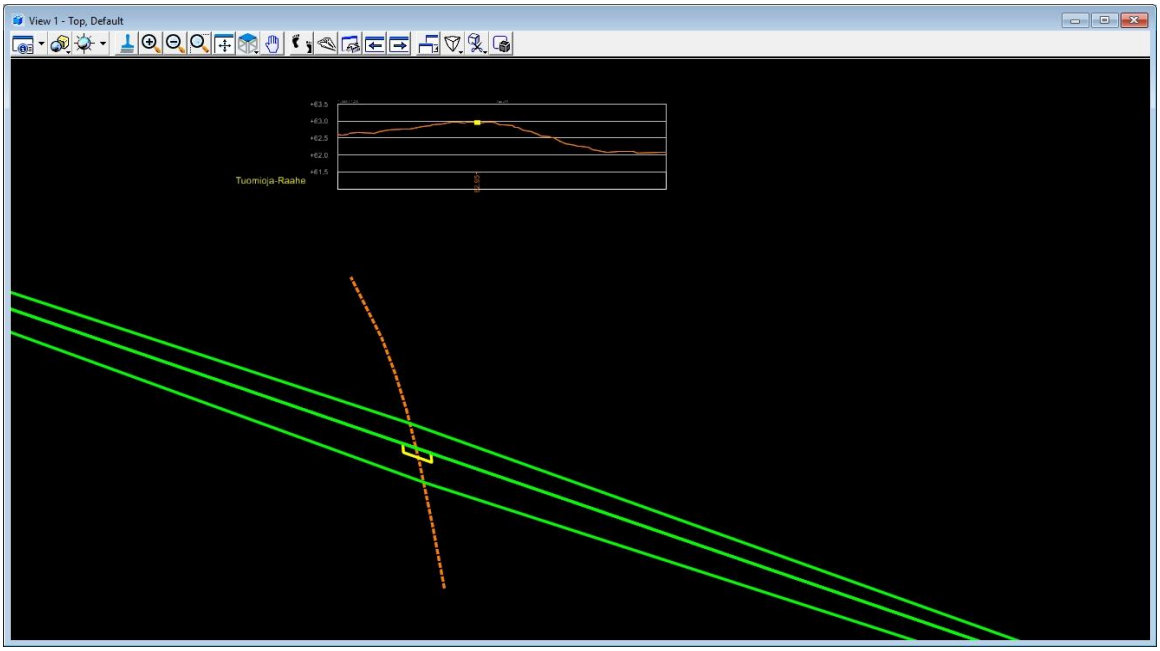
Tämän jälkeen tehtiin radan sähköjohtojen automaattinen vektorointi. Johtovektorit ovat välttämättömiä haittapuuston luokittelussa. Haittapuiden luokittelussa käytettiin laskentaperiaatteena kohtisuoraan kaatuvan puun latvan etäisyyttä vertailtavaan objektiin 1 m:n turvaetäisyyden lisäyksellä. Haittapuut luokiteltiin pistepilviaineiston perusteella kolmeen ryhmään:

- Avoimen tilan ulottuman alueelle kaatuvat puut
- Kiskoille kaatuvat puut
- Sähköratajohtojen päälle kaatuvat puut



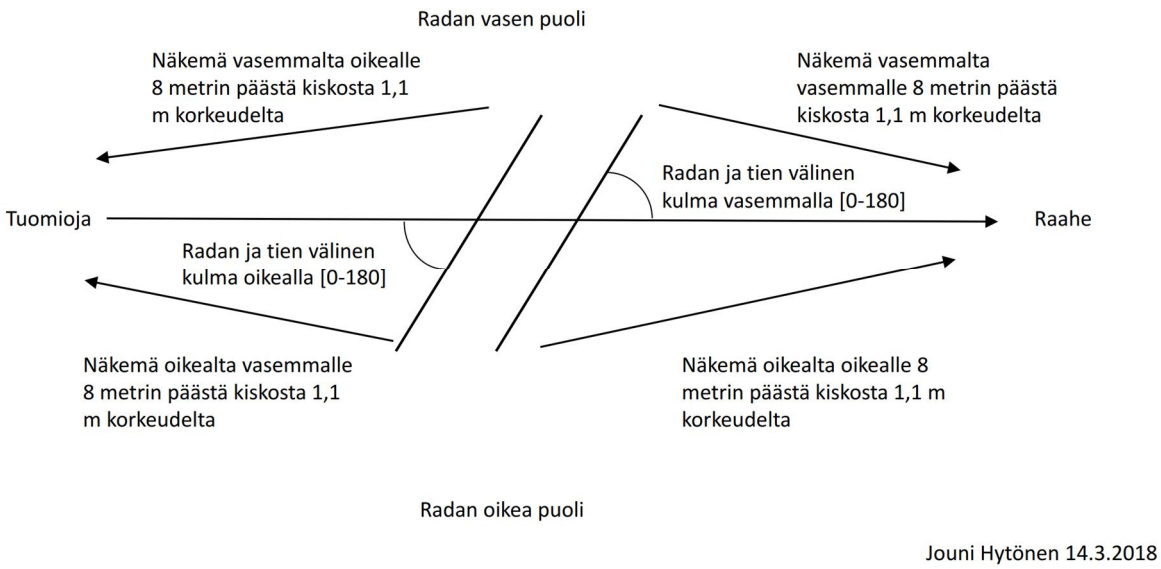
Kuva 5. Haittapuiden "kaatumissäteet" värein. Punaiset ovat sähköratajohtoihin ylettyvät puut, keltaiset ovat kiskoille ylettyviä puita ja turkoosit avoimen tilan ulottuman alueelle kaatuvat puut.

Tasoristeysnäkymät määriteltiin RATO Tasoristeysten tekniset ohjeet (Liite 3) perusteella. Tasoristeyksissä määriteltiin myös risteävän tien korkeusmalli ja sen perusteella odotustason profiili. Tekniikkakaapit kuten sähkö- ja turvalaitekaapit digitoitiin pistepilvestä. Samoin tehtiin myös avoimen tilan ulottuman tulkinta pistepilvistä.

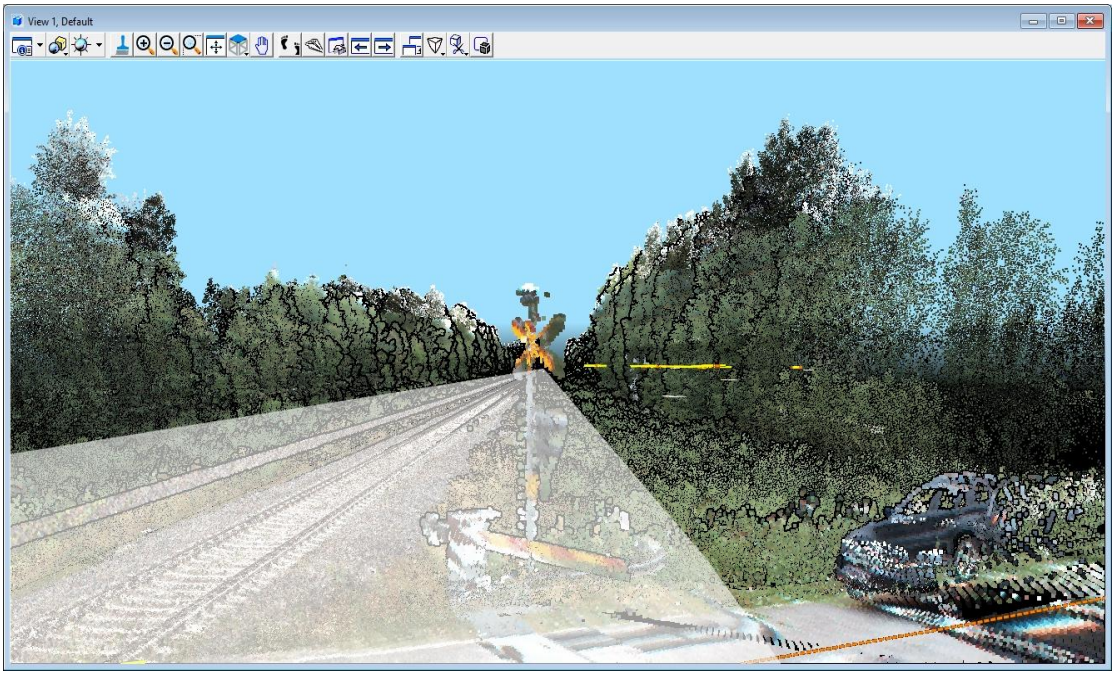


Kuva 6. Risteävän tien keskilinja ja pituusleikkaus sekä näkemäsektoreiden rajaviivat.

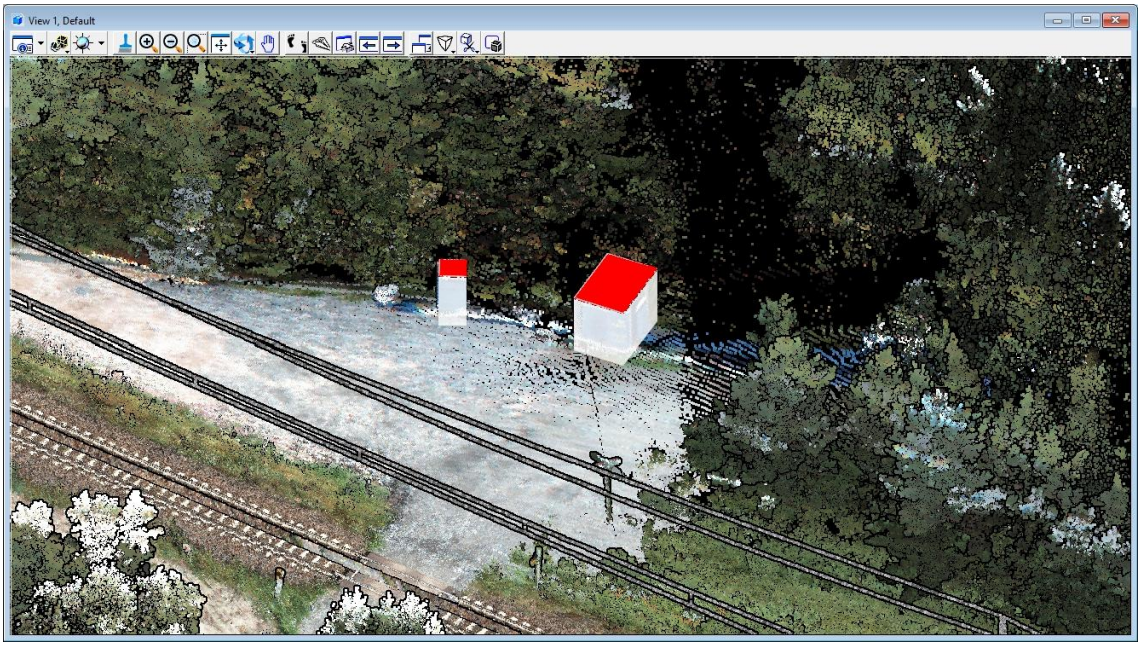
Näkemäsektoreiden avulla voidaan luokitella kaikki näkemää haittaavat esteet. Näkemäsektorit mallinnettiin kuvassa seitsemän esitetyn mukaisesti. Kärkipiste sijoitettiin 480 m:n päähän risteävän tien ja radan leikkauspisteestä. Näkemäesteiden alueelle jäävät pisteet luokiteltiin omiin tiedostoihin.



Kuva 7. Näkemäsektoreiden mallintamisen periaate.



Kuva 8. Risteävän tien näkymä mallissa. Näkemäsektori vaalennettuna.



Kuva 9. Automaattisesti vektoroidut turvalaitekaapit.

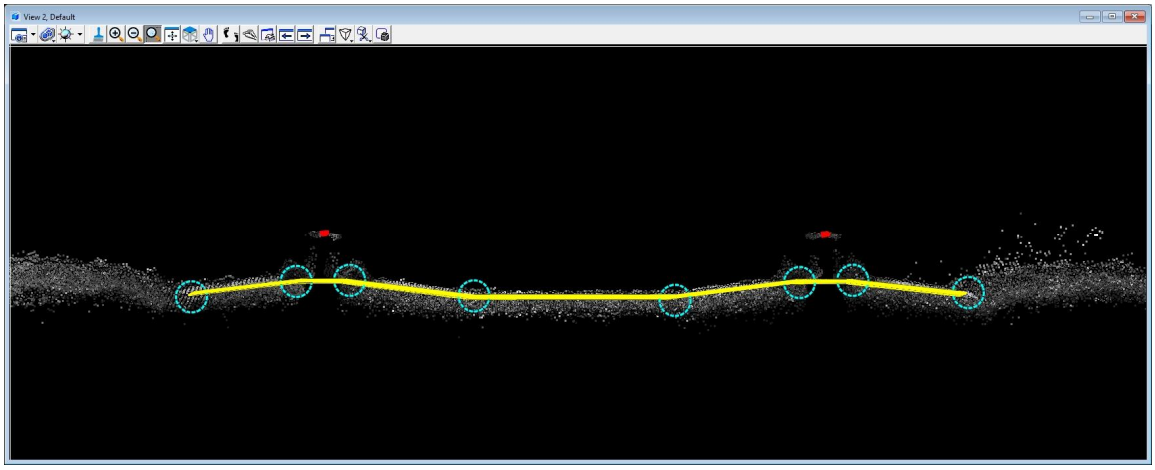
Kartoitettaviksi asioiksi tunnistettiin riskipuusto, ratapenkereen maastomalli, tasoristeysalueiden näkemät, avoimen tilan ulottuma (ATU) ja rataturvavarusteiden paikkatiedot.

Pistepilvimallin laajat hyödyntämismahdollisuudet

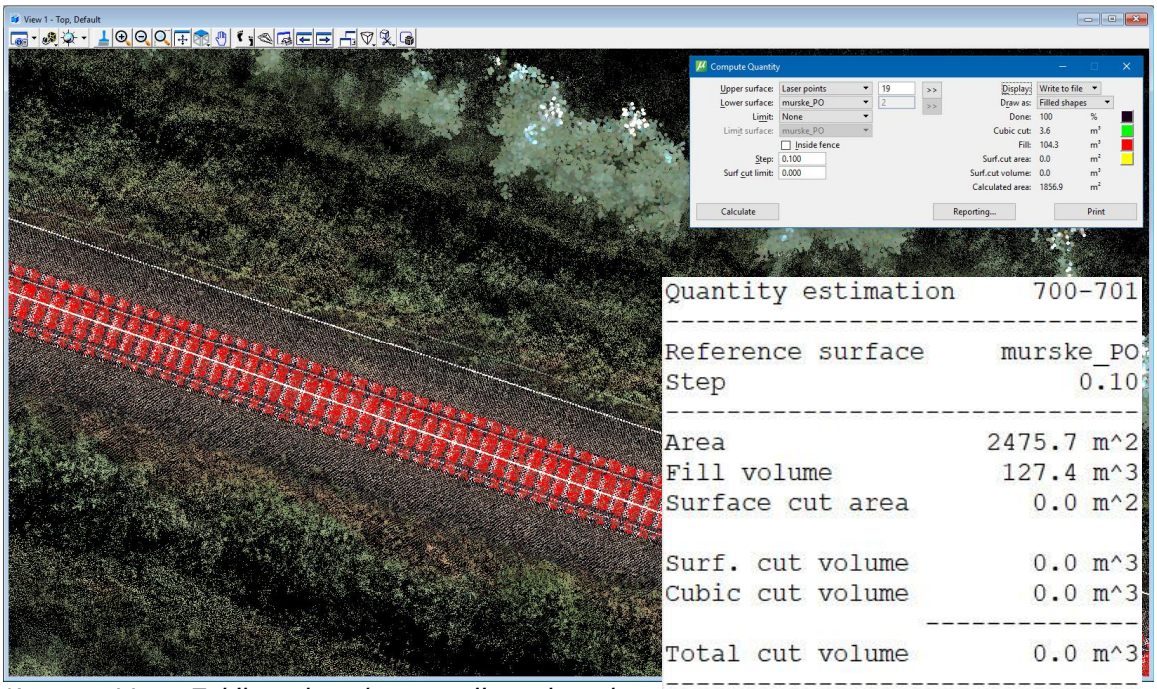
Alussa kartoitettaviksi asioiksi tunnistettujen asioiden lisäksi mallintamisen aikana havaittiin, että rata-alueen pistepilviaineistosta voidaan kartoittaa myös muita kunnossapidon kannalta hyödyllisiä asioita. Näitä olivat ratasepelin vajaukset ja ratakilometripylväät. Tukikerroksen ratasepelin lisäystarpeen laskentaan muodostettiin vertailupinta, joka tehtiin käyttäen automaattisesti tulkittujen kiskojen yläpintaa. Kiskojen vektoreista muodostetaan betoniratapölkkyjen tyyppipoikkileikkauksen mukaisiin taitepisteisiin ’rautalankamalli’, josta tehdään kolmioimalla vertailupinta. Tukikerroksen yläpinnasta muodostetun maastomallin ja vertailupinnan erotuksena laskettiin ratasepelin lisäystarve koekohteeksi valitulla ratakilometrillä 700-701 (kuvat 9 ja 10).

Visualisoinnin kohteiden havainnollinen paikantaminen mallissa ratalinjalla edellyttää kilometripaalutuksen esittämistä mallissa. Ratakilometripaalutuksen sisältävää mittalinjaa ei kuitenkaan ollut pilotissa mallinnuksen käytettävissä. Kilometripaalujen sijainti tunnistettiin pistepilvestä tunnistetuista kilometripylväistä (kuva 11) ja ne voitiin visualisoida koordinaattipisteinä malliin.

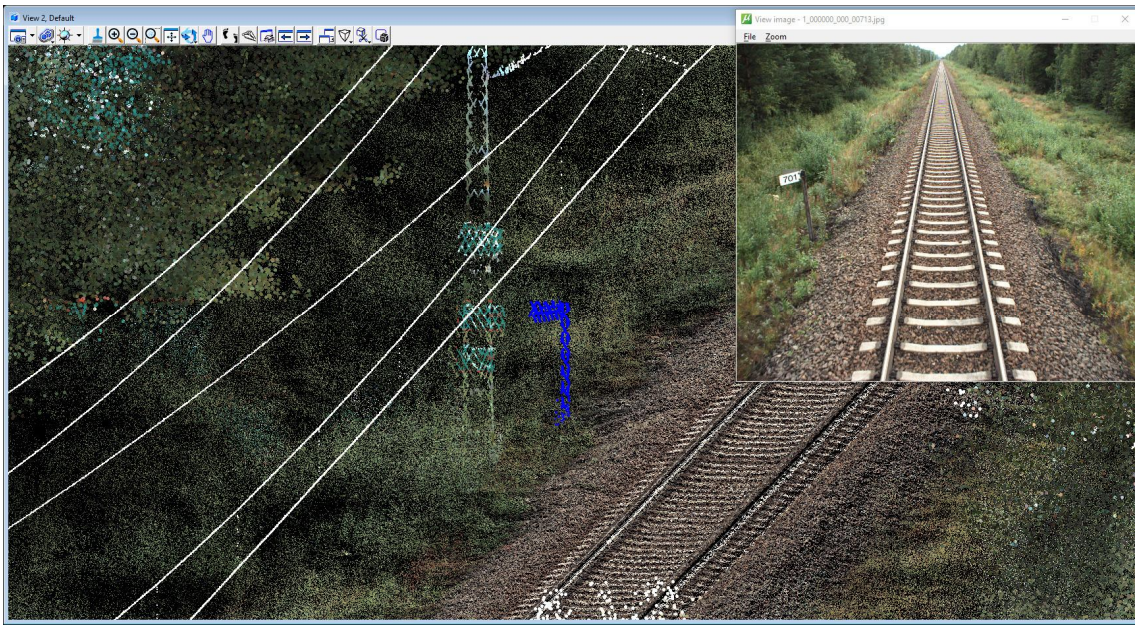
Myös radan tasoristeyksen puurakenteisen kansirakenteen mitat voidaan mitata mittausaineistosta jalostetusta ortokuvasta (kuva 12) .



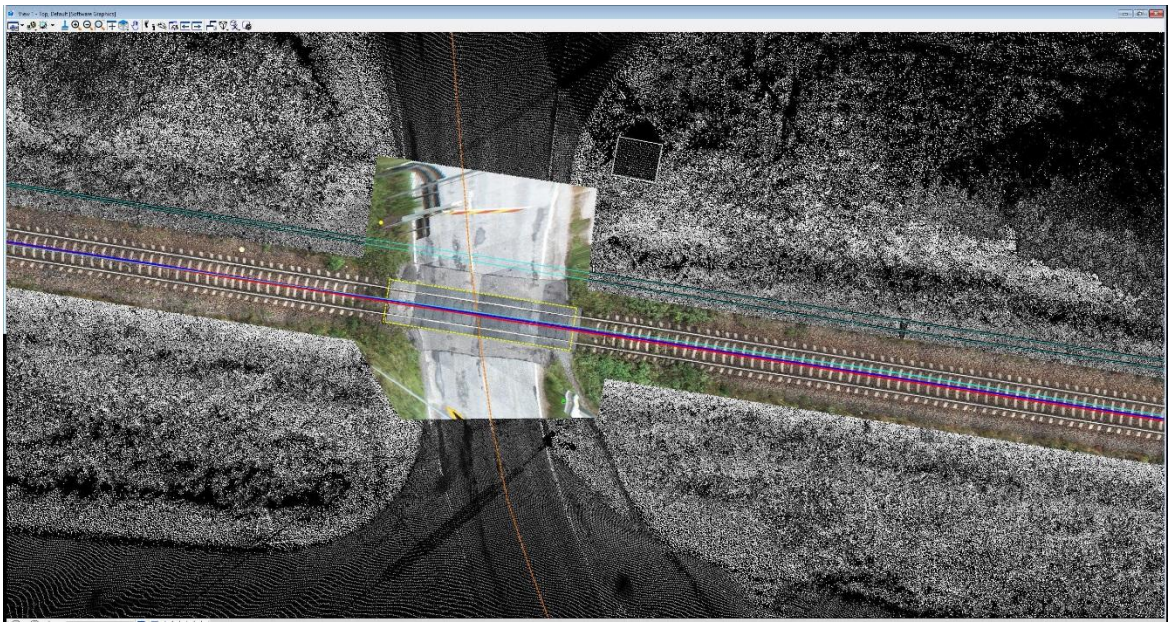
Kuva 10. Tukikerroksen/ratasepelin vertailupinnan mallinnus ratapölkkyjen yläpinnasta.



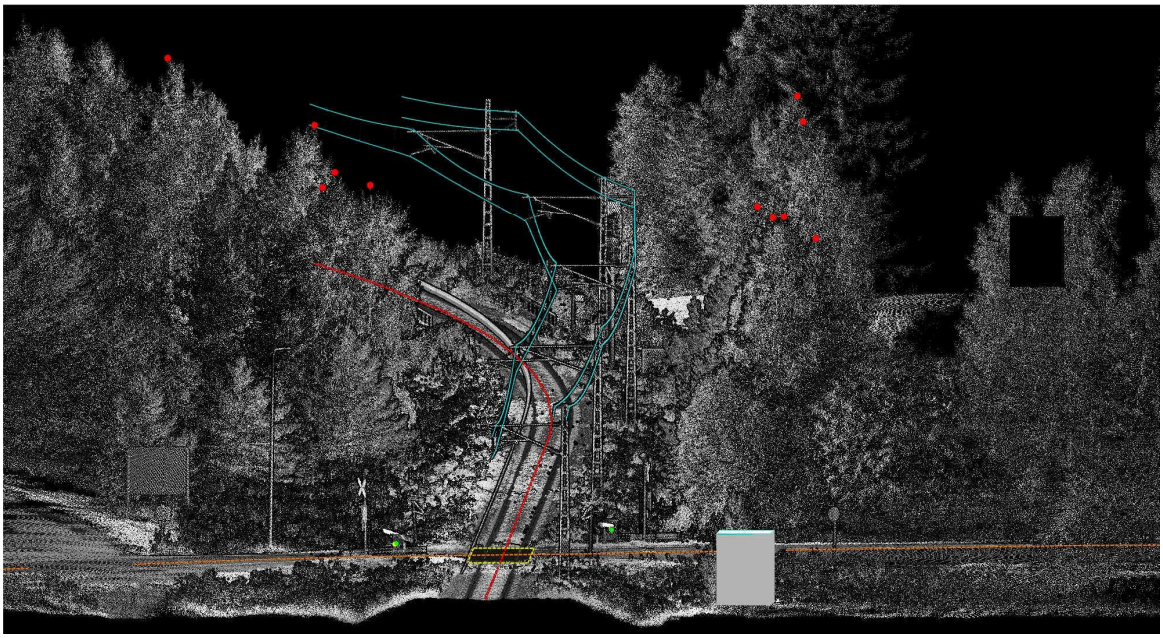
Kuva 11. Tukikerroksen/ratasepelin kerroksen lisäystarpeen pintakuva. Arvioitu lisäystarve voidaan laskea esimerkiksi kilometrijaolla.



Kuva 12. Kilometripylväiden sijainti voidaan määrittää laserdatasta.



Kuva 13. Tasoristeyksestä tehty yhdistetty malli ja ortokuva, josta voidaan kartoittaa kansirakenteen mittoja.



Kuva 14. Kuva pistepilvimallista, jossa on mallinnettu haittapuut, sähköratajohdot, tasoristeysasiat ja tekniikkakappi.

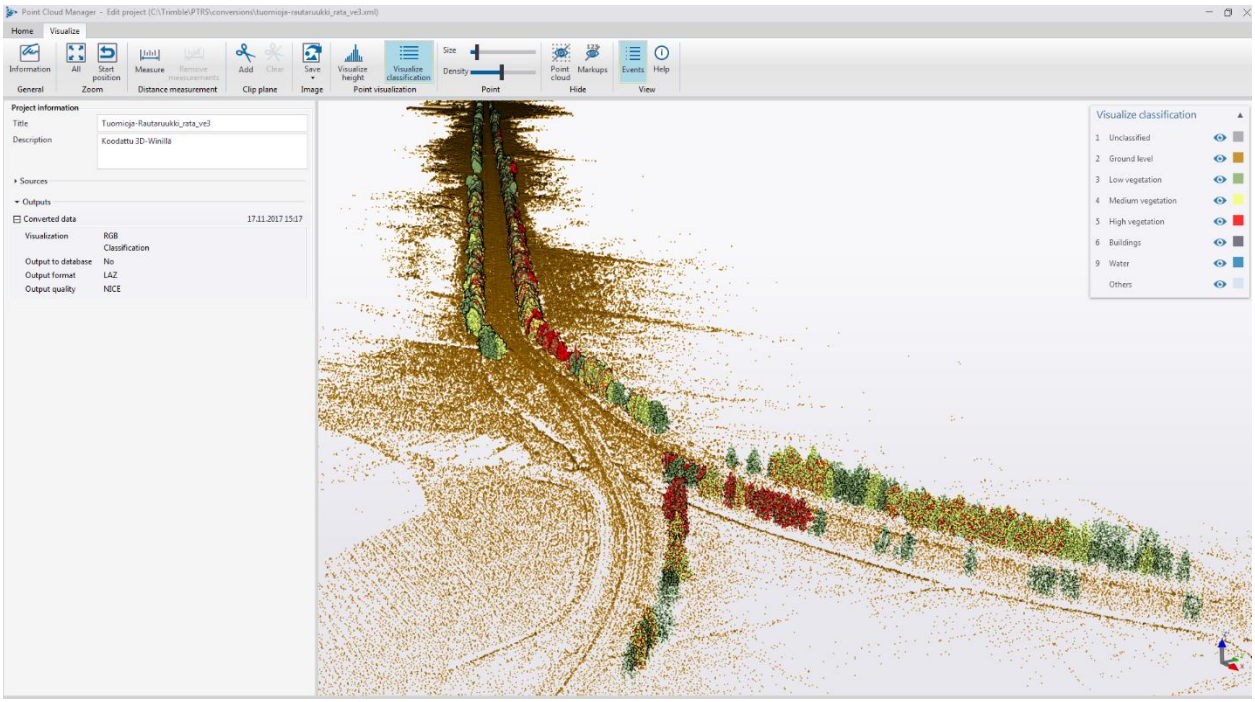
3 LASERDATAN TESTAUS

3.1 Laserdatan testaus väyläsuunnittelujärjestelmässä

Destia Oy:n Asiantuntijapalvelu -yksikön kehityspäällikkö Olli Planting testasi keilattua pistepilviaineistoa eri sovelluksilla. Tavoitteena oli saada keilattu aineisto käyttöön ratasuunnitteluun, sekä tarkasteltavaksi visuaaliseen muotoon. Sovelluksina käytettiin Trimblen tuottamia Point Cloud Manager-sovellusta (v. 2.2.0.17311/1.2.0.5) sekä Tekla Civil -sovellusta (v. 17.3-01 X64). Lisäksi aineiston koodauksessa käytettiin 3D-System Oy:n tuottamaa 3D-Win -sovellusta (v. 6.3.2.1 64-bit).

Kjell Tuominen Terrasolid Oy:lta toimitti laserkeilatun aineiston .LAS -tiedostomuodossa, missä oli eroteltuna riskipuusto kolmeen eri tiedostoon ja maanpinta yhteen tiedostoon. Aineiston pistepilven tiheyttä oli rajattu reilusti, jotta tiedostot olivat helposti testattavissa. Aineisto ei ollut koodattua, joten aineisto koodattiin LAS-koodauksella 3D-Win -sovelluksella. 3D-Winissa rajaava tekijä on tiedoston koko, missä noin 70 mt tiedoston koodaus oli jo melko kankeaa. Massiivisten tiedostojen koodaukseen olisi järkevämpää käyttää jotakin toista sovellusta.

Koodauksen jälkeen aineisto luettiin Point Cloud Manageriin, missä ohjelma käsitteli luetun datan ja koodauksen avulla osasi erotella riskipuuston sekä maanpinnan omilla väreillään. Väreissä ruskea on maanpinta (ground level), vihreä on ATU-alueelle kaatuva puusto (low vegetation), keltainen on raiteille kaatuva puusto (medium vegetation) ja punainen on johtimiin kaatuva puusto (high vegetation).

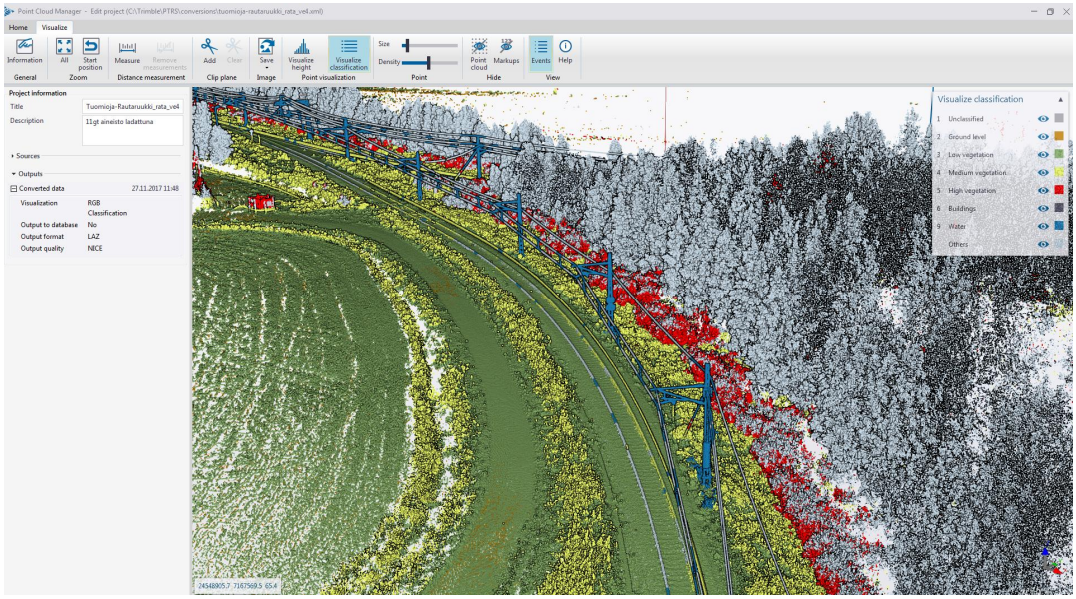


Kuva 15. Point Cloud Managerissa prosessoitu LAS-aineisto

Seuraavaksi Kjell Tuominen toimitti jo valmiiksi koodatun .LAZ -aineiston testattavaksi, missä tiedostokoko oli suurempi, 11 gt. Aineiston sisäänluku Point Cloud Manageriin kesti n. 2,5 h. Aineisto

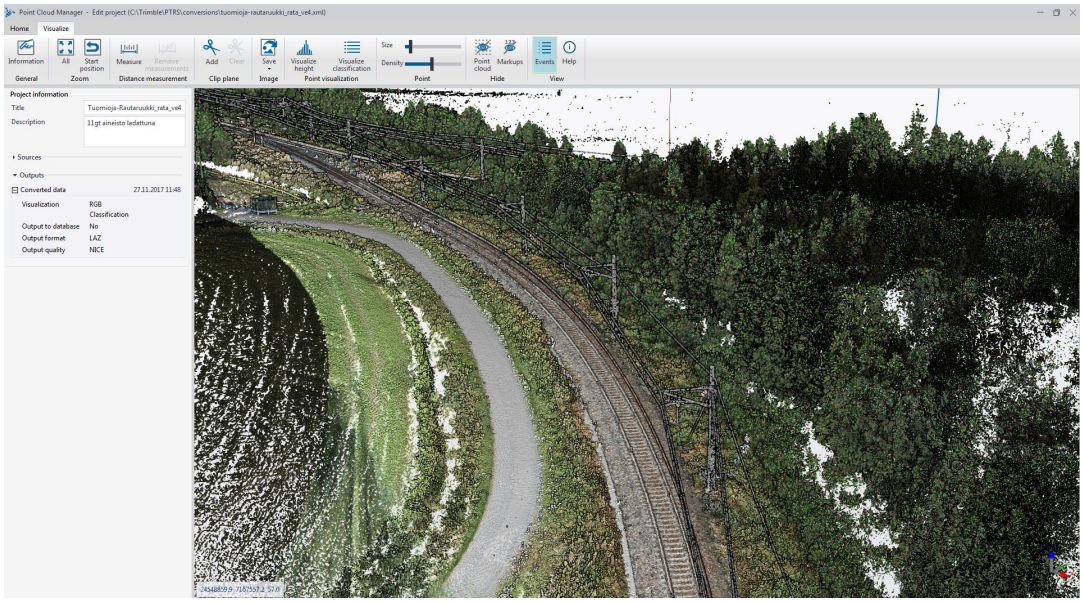
oli erittäin tarkkaa ja näytti 3D-tarkastelussa erittäin hyvältä. Aineistossa värikoodauksena oli seuraava:

- Harmaa: ei dataa (Unclassified)
- Ruskea: maanpinta (ground level)
- Vihreä: nurmetus (low vegetation)
- Keltainen: pusikot, heinäkasvusto (medium vegetation)
- Punainen: kasvusto (high vegetation)
- Tummanharmaa: rakennukset (Buildings)
- Tummansininen: Johdinpylväät (water)
- Vaaleanharmaa: metsä (others)



Kuva 16. Point Cloud Managerissa prosessoidun LAZ-aineiston värikoodaus

Prosessoitu ja koodattu aineisto näytti hyvältä ja tarkalta myös perusnäkymässä:



Kuva 17. Point Cloud Managerissa prosessoidun LAZ-aineiston perusnäkymä

Point Cloud Manager on hyödyllinen ohjelma koodatun pistepilviaineiston visuaaliseen tarkasteluun, sekä Tekla Civilin referenssikartaksi prosessointiin. Sovelluksella ei kuitenkaan voi muokata tai koodata mitenkään pistepilviaineistoa, joten siihen täytyy olla eri ohjelma. 3D-Win ei ole paras mahdollinen suurien tiedostokokojen koodaamiseen, joten keilattu aineisto tulisi tilata koodattuna ja käsiteltynä, koska raakadatan käsittelyyn soveltuvaa sovellusta ei ole käytössä.

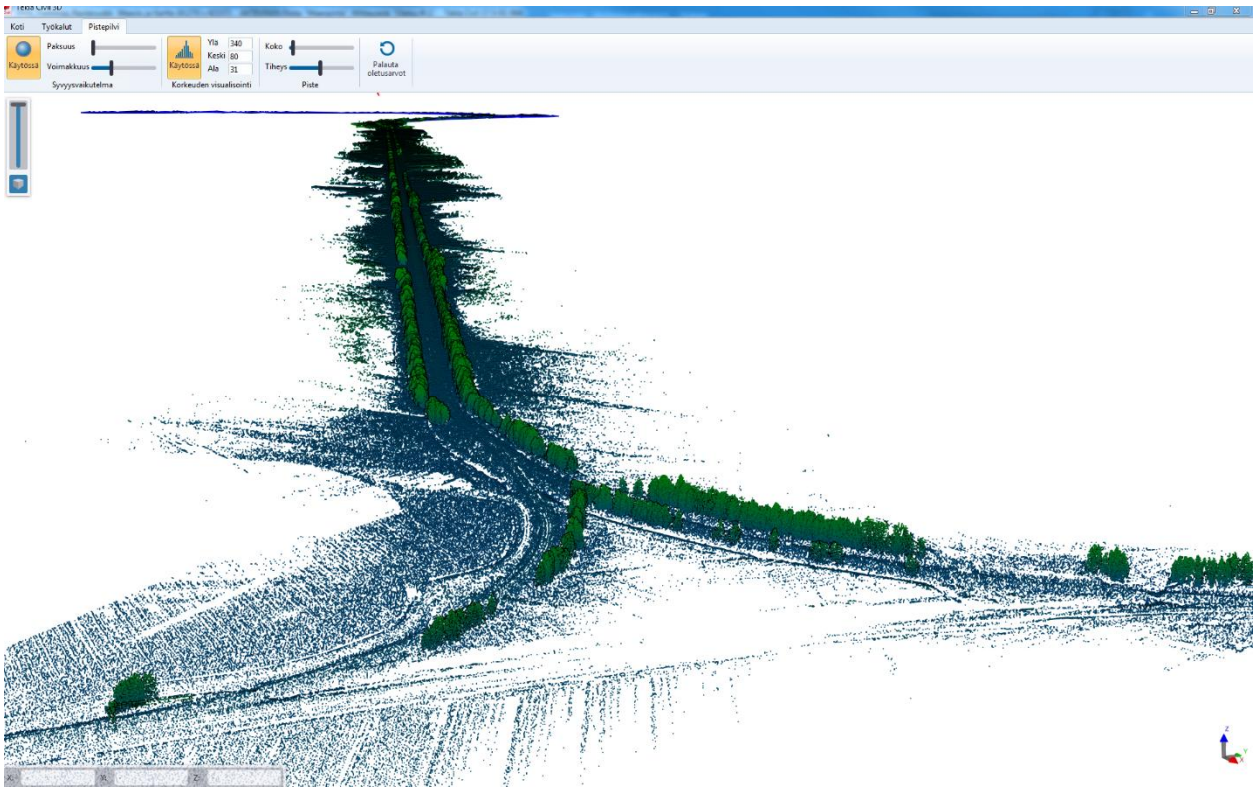
Point Cloud Managerissa koodaus on puutteellinen, koska eri luokkia on vain 10 kappaletta. Koodaukseen tulisi saada sama tyyli kuin esim. Liikenneviraston koodilista maastomalleissa.

Point Cloud Managerissa tuotettu referenssikartta vastaa suurin piirtein tiedostokooltaan siihen luettua aineistoa. Referenssikartta tulee siirtää Tekla Civilin verkkolevylle, jotta se näkyy Tekla Civilissä. 11 gt kokoisen prosessoidun referenssikartan siirtoon kului aikaa noin 8,5 h. Suuret tiedostokoot ovat ongelma, koska fyysisen levyn ja verkkolevyn tiedostokoot ovat rajallisia.

Point Cloud Managerissa ei ole mahdollista tällä hetkellä saada lisäosaa, mikä osaisi automaattisesti määrittää keilatusta puustosta ATU-alueelle, raiteille tai johtimiin kaatuvia puita. Tähän tarkasteluun siis tulisi olla jokin muu ohjelma, tai vaihtoehtoisesti tilata aineisto myös siltä osin jo tarkasteltuna ja käsiteltynä.

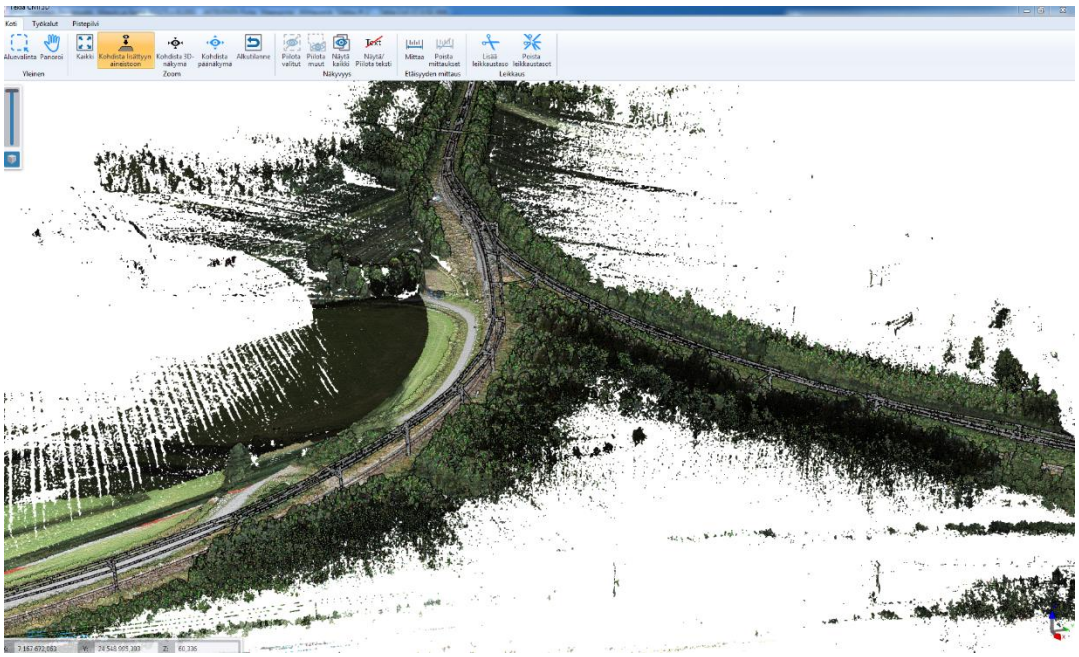
Tekla Civil

Tekla Civiliin on mahdollista viedä Point Cloud Managerissa prosessoitu aineisto .js -tiedostona, jolloin Tekla Civil lukee tiedoston referenssikartaksi ja esittää sen Tekla Civilin 3D-ikkunassa. 3D-ikkunassa on ”Pistepilvi” -työkalu, jolla voi säätää kuvan korkeuden visualisointia, jolloin saadaan eroteltua esim. puiden ja maanpinnan värejä tai maanpinnan korkeusvaihtelua.



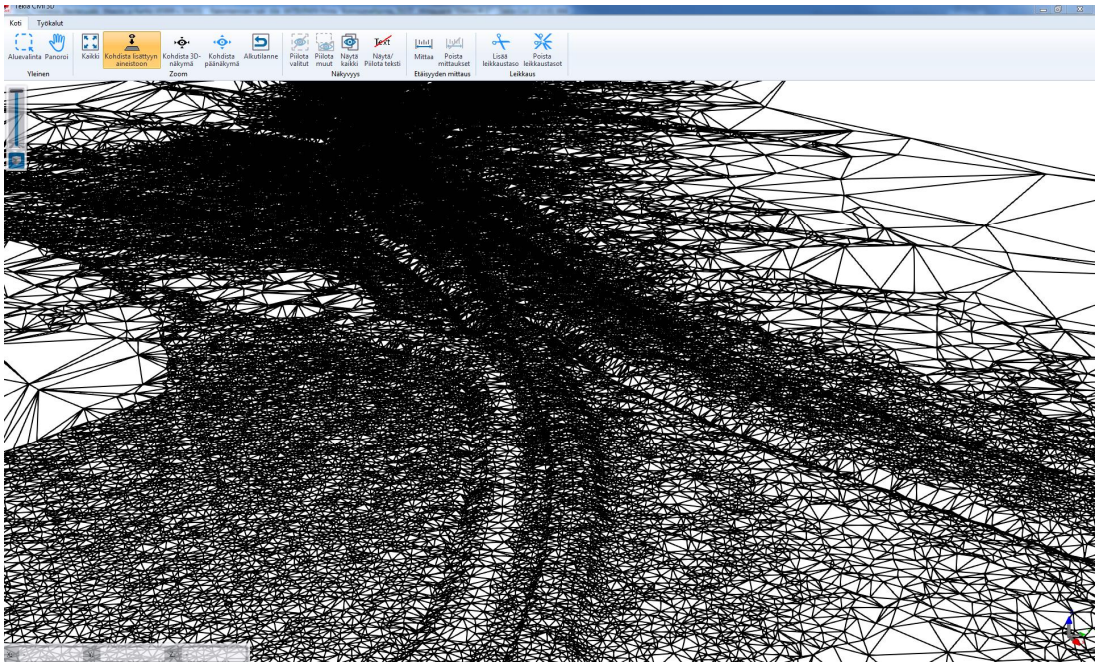
Kuva 18. Point Cloud Managerissa prosessoitu LAS-aineisto vietynä .js -tiedostona referenssikartaksi Tekla Civiliin. Värejä eroteltu korkeusarvojen avulla.

Sekä ensimmäinen .LAS -aineisto, että myöhemmin toimitettu .LAZ- aineisto saatiin vietyä referenssikartaksi Tekla Civiliin:

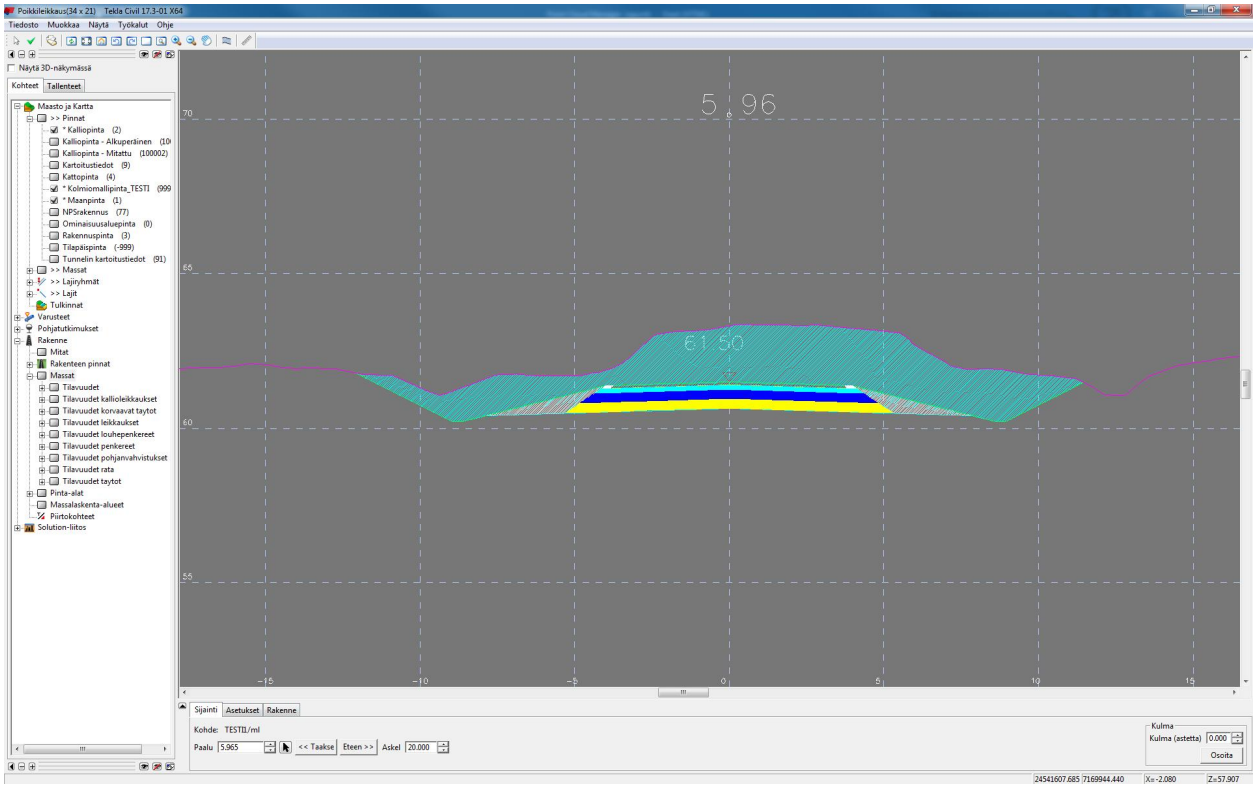


Kuva 19. Point Cloud Managerissa prosessoitu LAZ-aineisto vietynä .js -tiedostona referenssikartaksi Tekla Civiliin.

Tekla Civilissä on työkaluna ”Muodosta pintamalli tiedostoista (Huge Data Processor)”, jolla kyseinen toiminto tekee suuresta keilausaineistosta pintamallin. Työkalun hyötynä on, että pintamalli ei tallennu sovelluksen tietokantaan, mikä nopeuttaa ja säästää tietokantapalvelimen levytilaa. Pintamalli tallentuu dtm -viivoiksi ja pisteiksi, jota ei voi muokata, mutta pinnan avulla voidaan suunnitella rakenteita ja laskea massoja niin kuin normaalilla maastomallilla.



Kuva 20. Huge Data Processor -työkalulla prosessoitu .LAZ- aineiston maanpinta, mikä näkyy pintamallina Tekla Civilissä.



Kuva 21. Huge Data Processor -työkalulla prosessoitu .LAZ- aineiston maanpinta, mikä näkyy pintana poikkileikkausnäkymässä Tekla Civilissä.

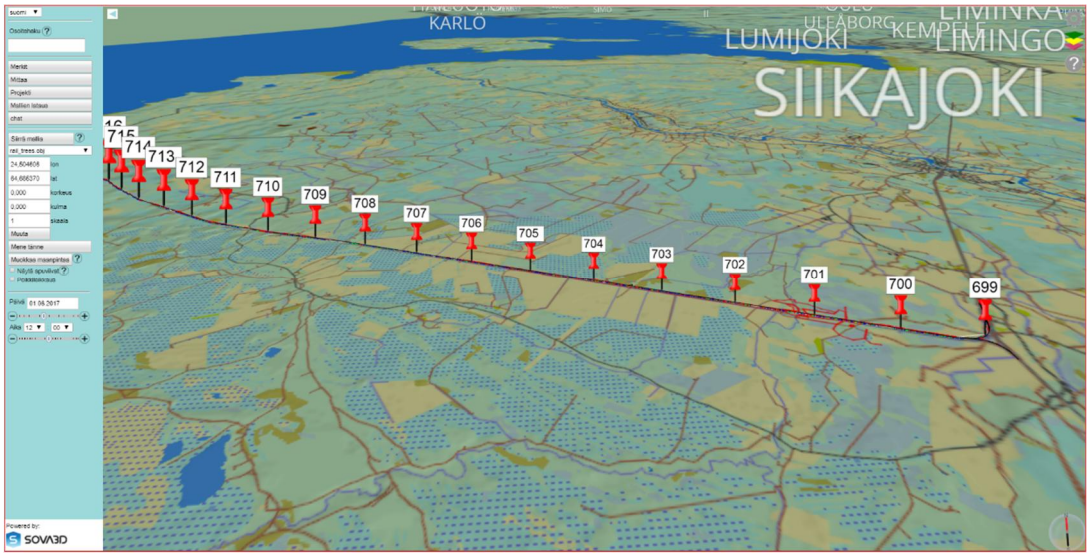
Tekla Civiliä käytetään mm. tie-, katu-, alue-, rata- ja geosuunnitteluun. Tekla Civilissä suunnitellut rakenteita ja linjauksia on mahdollista tarkastella 3D-näkymässä, jolloin ne saadaan samaan ikkunaan auki Point Cloud Managerissa tuotetun .js -referenssikartan kanssa. Tällöin saadaan tuotettua suunnitelluista rakenteista sekä referenssikartasta visuaalinen kokonaisuus, mikä havainnollistaa hyvin suunnitelmaratkaisuja. Tekla Civilin referenssikartan 3D-näyttöikunnassa on vielä kehitettävää, mutta Trimble on ottanut tästä kehitysideoita jo vastaan ja vie ohjelmaa eteenpäin.

Huge Data Processorilla saadaan luotua isoista pistepilviaineistoista pintoja, joita voidaan käyttää suunnittelussa, käyttää massojenlaskentaan sekä toteutusmallien suunnitteluun ja tarkasteluun. Tämä antaa uusia mahdollisuuksia suunnittelun eri osa-alueille hyödyntää suuria keilausaineistoja. Huge Data Processor on hyödyllinen lisä suunnittelutyöhön.

3.2 Laserdatan visualisointi selainpohjaisessa SOVA3D -järjestelmässä

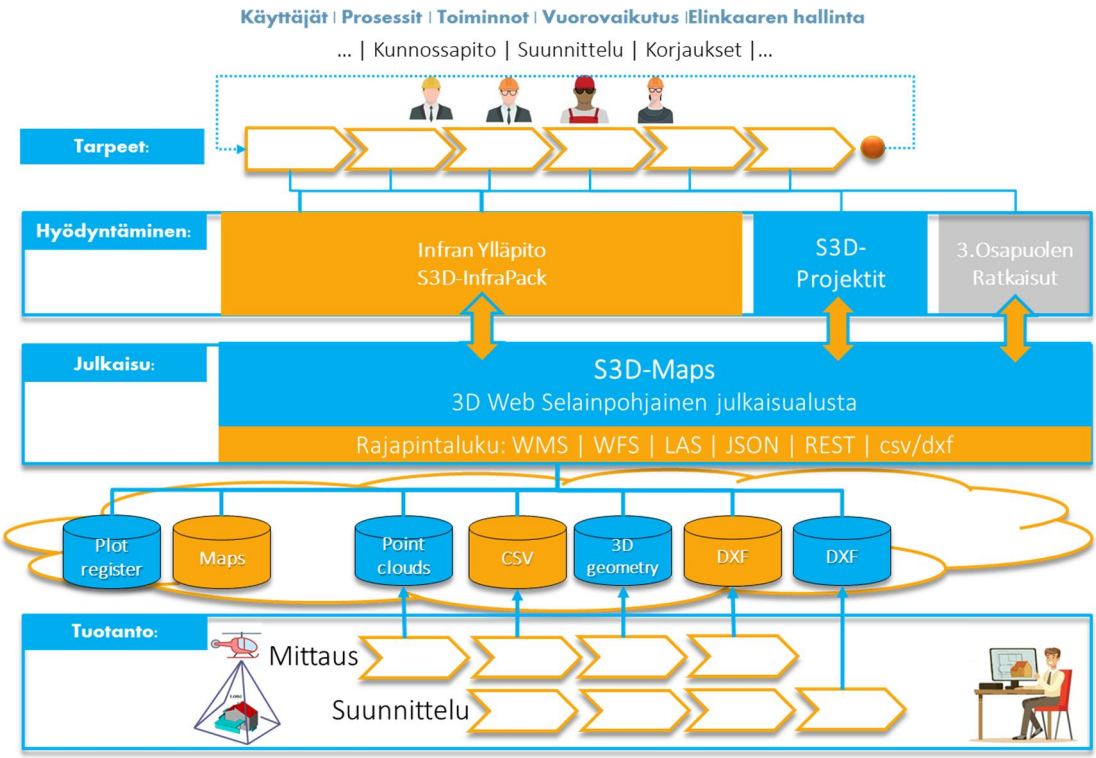
S3DMaps on Sova3D Oy:n kehittämä web-selainpohjainen 3D tiedon julkaisualusta. S3D-Maps perustuu avoimeen WebGL-standardiin ja Three.js kirjastojen hyödyntämiseen. S3DMaps-palvelimelle on kehitetty omaa optimointiteknologiaa, joka perustuu muun muassa peleihin kehitettyihin teknologioihin sekä yrityksen omaan innovointiin.

Perusaineistona käytetään Maanmittauslaitoksen korkeusmallia, sekä muita käytettävissä olevia kartta-aineistoja, sekä esimerkiksi ajantasa-asemakaavoja. Mikäli alueella on käytettävissä uudempaa tai tarkempaa aineistoa ja sitä voi lukea WMS/WFS-rajapintojen kautta ja ne voidaan liittää perusasennuksen yhteydessä järjestelmään.



Kuva 22. Kuvassa maanpinnan korkeusmalli ja Tuomioja -Raahe rataosuuden linjaus sekä kilometripaalujen sijainnit.

Selaimessa esitettävän datan määrä on tyypillisesti pienempi kuin esim. PC-ympäristössä toimivassa mallien käsittelyohjelmassa. Mallinnettujen aineistojen, kuten pistepilvien, kokoa on visualisoinnin vuoksi pienennetty ja esille tuotavia asioita on vektoroitu. Tämä mahdollistaa helppokäyttöisen käyttöliittymän avulla tarpeellisen datan tehokkaamman hyödyntämisen laajemmalle käyttäjien määrälle.

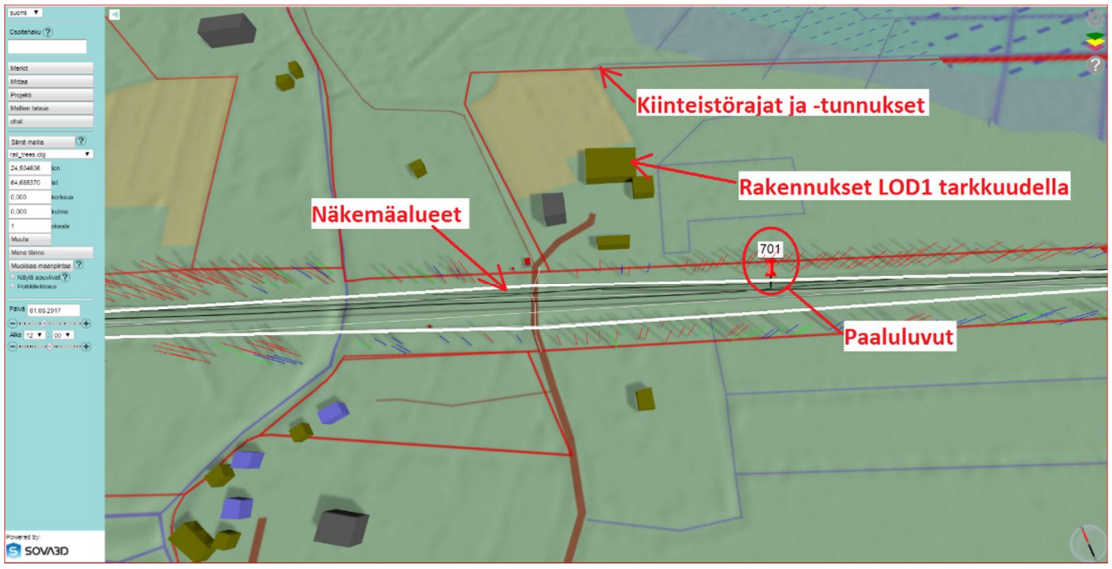


Kuva 23. S3D-Maps selainpohjaista julkaisualustaa pilotoitiin mobiilaserkeilausdatasta jalostettujen mallien esittämisessä.

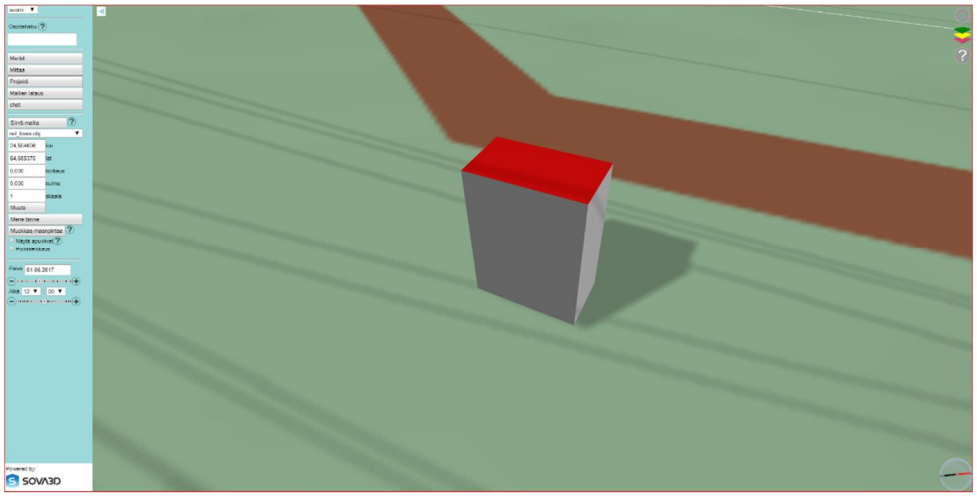
Projektikohtainen aineisto

S3D-Maps idea on kerätä aineistot Internetistä taustaksi ja julkaista se projektin käytettäväksi. Tarvittaessa aineisto voidaan myös julkistaa vapaasti katseltavaksi. S3D-Mapsin etuna on, että koko Suomen perusaineisto on jo käytössä 3D-muodossa hyödynnettävissä projekteissa. Lähtötietoaineistona voidaan käyttää eri tarkkuustason ja jalostusasteen dataa. MML:n korkeusmalli on perusaineistona koko Suomen alueella. Projektikohtaisesti on usein tarve saada tarkempaa ja monipuolisempaa aineistoa kuten tässä projektissa laserkeilauspistepilvet ja siitä mallinnetut vektoroidut objektit. Käyttöoikeus projektikohtaiseen aineistoon annetaan vain projektin jäsenille. Projektille voidaan kutsua muita osapuolia projektin http-linkin avulla. Linkin kautta projekti avautuu selaimessa. S3D-Maps ohjelmaan on integroitu chat- ja VoiP ominaisuudet. Keskusteluikkunan kautta voidaan keskustelun lisäksi jakaa tarkat näkymät käyttäjien kanssa. Pilotissa laserkeilauksen tuottama pistepilvisaineisto luettiin järjestelmään LAS – formaatissa, RGB värjättynä ja luokiteltuna datana.

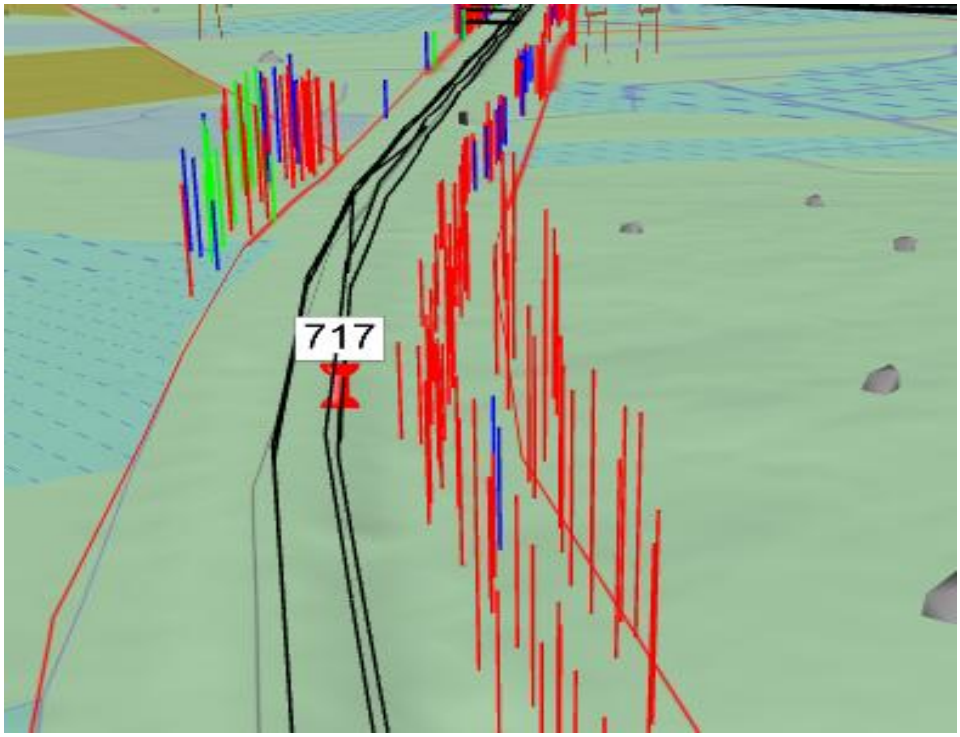
Kuva 24. Sova3D:n perusnäkymässä nähdään maanpinta, tiet, sähkölinjat ja rakennukset. Lisäksi mitatusta pistepilvestä on mallinnettu sähköratajohdot, näkemäkaaviot, haittapuurungot ja radan linjaus.



Kuva 25. Radan laserkeilauksesta mallinnettuja asioista selainpohjaisessa visualisointiympäristössä.



26. Mallinnuksessa pistepilvestä automaattisesti tunnistetut laitekaapit siirrettiin myös visualisointiympäristöön.



Kuva 27. Haittapuiden rungot pistepilvestä mallinnettuna ja värein luokiteltuna. Punainen väri tarkoittaa sähköratajohdoille kaatuessaan ylettyviä puita. Sininen raiteille ja vihreä ATUn alueelle kaatuessaan ylettyviä puita.

Pilotoinnin tuloksena ideoitiin mallien hyödyntämiseen perustuvia radan kunnossapitotyön kehitysmahdollisuuksia. Työnjohdon käytössä mallia voitaisiin käyttää haittapuiden poistamisen suunnitteluun toimistolla ja toteutuksen apuna mobiilien tablettien avulla maastossa sekä toteuman seurantaan. Toisaalta tilaaja voi hyödyntää mallia tarjousvaiheen lähtötietona pyytäessään halumaltaan joukolta urakoitsijoita tarjouksen puiden poistosta. Lisäksi urakoitsija voi merkitä mobiililaitteella suorittamansa työosuuden ja vahvistaa tehty työ vaikkapa 360-valokuvalla.

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

4.1 Hyödyntäminen radan kunnossapidossa

Pilotissa oli tavoitteena selvittää laserkeilauksesta tuotetun mallin hyödyntämistä radan kunnossapidon tarpeisiin. Ennakolta tavoitteena oli testata haittapuiden, tasoristeysnäkemien ja ratavarusteiden tunnistamista ja mittaamista mitatusta aineistosta.

Pilotissa toteutetun mobiililaserkeilauksella tuotetun pistepilvimallin havaittiin sisältävän kattavan mittaustiedon rataympäristön näkyvistä asioista ja pisteaineiston tarkkuuden (arviolta +- 3cm) nähtiin riittävän kunnossapidon tarpeisiin. Rataosuudelle tehtiin ennakolta noin kahden kilometrin välein signaalipisteitä, mutta mallinnusvaiheessa niitä ei tarvinnut käyttää.

Radalle kaatuvien haittapuiden kartoitus ja mallinnus laserkeilatusta pistepilvestä Terrasolidin ohjelmilla havaittiin toimivan hyvin. Sähköratajohdot mallinnettiin ensin referenssiaineistoksi haittapuulaskentaan. Puut luokiteltiin etäisyyden ja korkeuden mukaan siten että onko niiden mahdollista kaatua sähköratajohdoille, raiteille tai ATUn alueelle. Mallinnuksessa voitiin erotella myös yksittäisten puiden rungot, mikä antoi vielä lisätietoa ja tarkkuuttaa haittapuiden sijainnista ja määrästä. Haittapuiden mallit siirrettiin selainpohjaiseen sovellukseen, missä puiden sijaintia voitiin havainnollisesti tarkastella ratarakenteiden ja kiinteistörajojen suhteen. Visualisointiympäristössä (Sova3D) oli valmiina maanpinnan korkeusmalli, rakennukset ja tiet, mikä helpotti kokonaisuuden hahmottamista. Yleensäkin haittapuiden kartoitukseen pilotoitu teknologia toimi erittäin hyvin ja sille on käytännön hyödyntämispotentiaalia näköpiirissä.

Tähän mennessä rata-alueen tasoristeysten näkemätarkastelut on tehty maastossa paikan päällä tarkastelemalla usean henkilön voimin. Pilotissa tasoristeysnäkemien tarkastelua laserkeilatusta aineistosta tehtiin Terrasolidin mallinnusjärjestelmässä. Näkemäkaaviot sijoitettiin 3D-ympäristöön ja niiden avulla voitiin tarkastella mallipohjaisesti puiden ja pensaiden aiheuttamia näkemäesteitä. Risteävien teiden korkeusmalli mallinnettiin pisteaineiston perusteella ja malleja hyödynnettiin näkemätarkastelussa. Myös näkemäkaaviot siirrettiin selainpohjaiseen visualisointijärjestelmään jossa näkemäesteitä aiheuttavia yksittäisiäkin puita voidaan tarkastella. Havaittiin, että malleja ja visualisointityökaluja on mahdollista käyttää lähtötietomallin tarkasteluun ja myös kunnossapidon työnsuunnittelun lähtötietona. Piloin kokemusten perusteella mallipohjaisella näkemätarkastelulla on mahdollista säästää maastotyökuluissa ja tehdä poistettavien puiden valinta tarkemmin ja luotettavammin.

Tekniikkakaapit ja yleensäkin sähköradan näkyvät varusteet voidaan tunnistaa ja mallintaa pistepilviaineistosta. Mallista saadaan kaapin sijaintitiedot ja ulkomitat. Myös kilometritolpat voitiin tunnistaa ja mallintaa pistepilven ja kuva-aineiston perusteella. Kilometritolppatietoa käytettiin visualisoinnissa eri kohteiden paikantamiseen ratalinjalla. Pilotissa testattiin myös ratasepelin vajausten laskemista laserkeilausaineistosta. Ratapölkkyjen yläpinnan mukaan muodostettua vertailupintaa verrattiin maastomalliin ja siitä voitiin laskea ratapölkkyjen välistä puuttuvan ratasepelin tilavuus. Näitä tietoja voidaan hyödyntää kunnossapidossa ja ne tuottavat lisäarvoa kunnossapidon työnsuunnitteluun.

Destian kunnossapidon asiantuntijoiden mukaan laserkeilausaineistosta tuotettavaa lähtötietomallia voitaisiin, edellä mainittujen lisäksi, hyödyntää myös kallioleikkausten riskikivien

havaitsemiseen, ojien ja siltakeilojen kunnon ja kasvillisuuden kartoitukseen sekä liikennemerkkien inventointiin.

Tekla Civil rata- ja geosuunnitteluohjelmistoa ja sen lisätoiminnallisuuksia, kuten Point Cloud Manager ja Huge Data processor, testattiin pilotin laserkeilausaineistolla. Tekla Civilissä suunnitellut rakenteet ja Point Cloud managerissa tuotetut kartat on mahdollista tarkastella 3D-näkymässä. Tällöin saadaan tuotettua suunnitelluista rakenteista havainnollistavia kuvia avuksi suunnitteluun. Tekla Civilin referenssikartan 3D-näyttöikunnan kehitysideoista annettiin palaute Trimblelle. Huge Data Processorilla saadaan luotua isoista pistepilviaineistoista pintoja, joita voidaan käyttää suunnittelussa, käyttää massojenlaskentaan sekä toteutusmallien suunnitteluun ja tarkasteluun. Huge Data Processor on hyödyllinen lisä suunnittelutyöhön.

4.2 Ehdotuksia jatkotoimiksi

1) Mobiililaserkeilauksella tuotetun lähtötietomallin hyödyntämisen pilotoinnista radan kunnossapitourakassa:

Tehdään valitun rataosuuden mobiililaserkeilaus ennen kunnossapitoalueen tarjouspyyntöä. Valitaan kohde, jossa on tarpeellista ennakolta selvittää haittapuut, tasoristeysnäkemät, ratapenkereen vajaukset, ja radan varusteiden ja laitteiden sijainnit.

Mobiililaserkeilatun 3D-lähtötietomallin käyttöönotto osana tarjousaineistoa mahdollistaisi urakan tarjoajille tarkemman työn suunnittelun ja hinnoittelun. Mallien hyödyntäminen huomioitaisiin tarjousvaiheen laatupisteytyksessä ja edistettäisiin mahdollisella kehitysrahoituksella. Kunnossapitoprojektin tuotantovaiheessa mobiililaserkeilaus tehtäisiin uudestaan urakan neljäntenä vuonna. Mallinnusta hyödynnettäisiin toteuman seurannassa ja seuraavan tarjousvaiheen lähtötietodatana.

2) Näkemän mallintaminen virtuaaliympäristössä veturin ylävaloheittimen tunnistamisen avulla.

3) Kunnossapitokohteiden navigointimahdollisuuksien selvittäminen mallinnettua aineistoa hyödyntäen.

4) Tasoristeysten ylitysaikojen simulointi laserkeilatun mallin perusteella

5) Selvitetään mallinnetun aineiston hyödyntämismahdollisuuksia sähköratalaitteiden kunnossapidossa.

1 LIITE

Rataosuuden Tuomioja-Raahe signalointisuunnitelma:

Suunniteltu KM+M	Signaalin pohja	Tarkennus	Pistenumero A	Pistenumero B	Oikea KM + M
699+700	Sähkökaappi		699600E	699600P	699+600
700+090	Sähkökaappi		700100E	700100P	700+105
701+390	Sähkökaappi		701385E	701385P	701+385
702+900	Muuntajakaappi		SGP702A	SGP702B	702+910
704+550	Sähkötolpan perustus	ST 704-8	SGP704A	SGP704B	704+480
706+500	Sähkötolpan perustus	ST 706-9	706574E	706574P	706+574
707+520	Sähkötolpan perustus	ST 707-8	707517E	707517P	707+517
708+850	Sähkökaappi		708840E	708840P	708+840
709+660	Sähkökaappi		709666E	709666P	709+665
710+400	Puomilaitteen kääntölaite	TR Aho mt 8121 Relletti	710419E	710419P	710+419
712+100	Sähkötolpan perustus	ST 712-4	SGP712A	SGP712B	712+157
713+100	Sähkötolpan perustus	ST 713-2	SGP713A	SPG713B	713+100
714+440	Sähkötolpan perustus	ST714-7	SPG714A	SPG714B	714+449
715+650	Sähkötolpan perustus	ST715-10	SGP715A	SGP715B	715+657
717+220	Muuntajakaappi		SGP717A	Puuttuu	717+207
718+780	Sähkötolpan perustus	ST718-12	SPG718A	SGP718B	718+775
720+200	Sähkötolpan perustus	ST 720-4	SGP720A	SGP720B	720+207
721+800	Puomilaitteen kääntölaite	TR Kankaala	SGP721A	SGP721B	721+800
722+500	Puomilaitteen kääntölaite	TR Jokelanperä Pt 18585	SGP722A	SGP722B	722+500
723+500	Puomilaitteen kääntölaite	TR Korkalonkangas	SGP723A	SGP723B	723+490
725+500	Puomilaitteen kääntölaite	TR Ruskatex	SPG725A	SGP725B	725+516
726+130	Sähkökaappi		SGP726A	SGP726B	726+130
727+660	Sähkökaappi		Puuttuu	SGP727B	727+660
729+030	Sähkötolpan perustus	ST 728-15	SGP728A	SGP728B	728+927
730+660	Sähkökaappi				
+n.8 kpl Rautaruukki					
ETRS-GK 24	N2000				

Pistenumero A on tehty laskevan kilometrin puolelle (Tuomiojan) ja pistenumero B on tehty kasvavan kilometrin puolelle (Rautaruukin).

Tarkennus kohtaan esim sähkötolpan numero.

Mitattujen signaalipisteiden koordinaattilistaus:

Pistetunnus	X	Y	Z
709666P	7170815,155	24538767,43	66,935
709666E	7170814,789	24538768,81	66,923
708840P	7170590,852	24539560,94	66,964
708840E	7170590,431	24539562,3	66,955
706574P	7169913,58	24541724,06	63,542
706574E	7169913,409	24541724,52	63,491
701385P	7168278,652	24546649,42	59,916
701385E	7168278,623	24546649,91	59,876
SGP722B	7175942,315	24527499,06	14,171
SGP722A	7175934,563	24527513,71	14,16
SGP721B	7176054,46	24528175,16	10,21
SGP721A	7176046,214	24528185,22	10,228
SGP723B	7176151,828	24526528,23	12,798
SGP723A	7176139,124	24526543,43	12,707
SGP725A	7176349,038	24524546,33	7,976
SGP725B	7176360,419	24524534,75	7,944
SGP726B	7176303,084	24523945,83	7,65
SGP726A	7176303,262	24523946,43	7,652
SGP727B	7175774,714	24522817,41	8,108
SGP728A	7174589,956	24521936,07	9,639
SGP728B	7174589,567	24521935,82	9,643
SGP720A	7176137,788	24529787,25	16,316
SGP720B	7176138,001	24529786,84	16,329
SPG718B	7175321,597	24530955,89	23,873
SGP718A	7175321,252	24530956,19	23,84
SGP712B	7171737,517	24536461,28	57,303
SGP712A	7171737,279	24536461,66	57,312
SGP713B	7172185,708	24535631,79	52,568
SGP713A	7172185,422	24535632,15	52,557
SGP714B	7172875,007	24534475,96	48,383
SGP714A	7172874,731	24534476,32	48,373
SGP717A	7174313,516	24532141,58	33,123
SGP715B	7173581,387	24533499,44	45,067
SGP715A	7173581,098	24533499,79	45,069
SGP702A	7168764,03	24545207,2	62,108
SGP702B	7168765,182	24545204,88	61,973
SGP704A	7169256,132	24543713,56	63,584
SGP704B	7169256,285	24543713,14	63,555
707517E	7170209,377	24540828,83	63,825
707517P	7170209,531	24540828,41	63,821
710419P	7171058,71	24538046,24	63,689
710419E	7171044,25	24538058,58	63,719
700100P	7167887,999	24547865,02	59,586
700100E	7167887,856	24547865,48	59,527
699600P	7167733,177	24548335,04	59,274
699600E	7167732,713	24548336,36	59,244

LIITE 2 – MITTAUKSEN TULOKSENA TOIMITETTU AINEISTO

TOIMITETTU AINEISTO

Aineiston toimitus: 13.09.2017

Toimitustapa: Lähetetty matkahuollon kautta ohjeistuksen mukaan Kjell Tuomiselle (ulkoinen kovalevy)

Koordinaatisto: ETRS-GK24 (FIN2005N00)

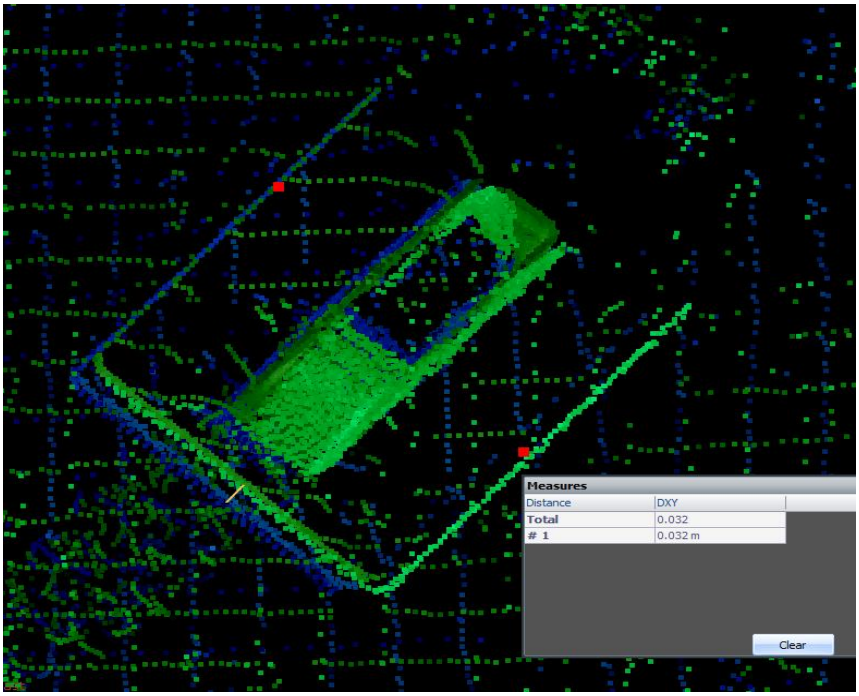
Pistepilvet: LAS 1.2

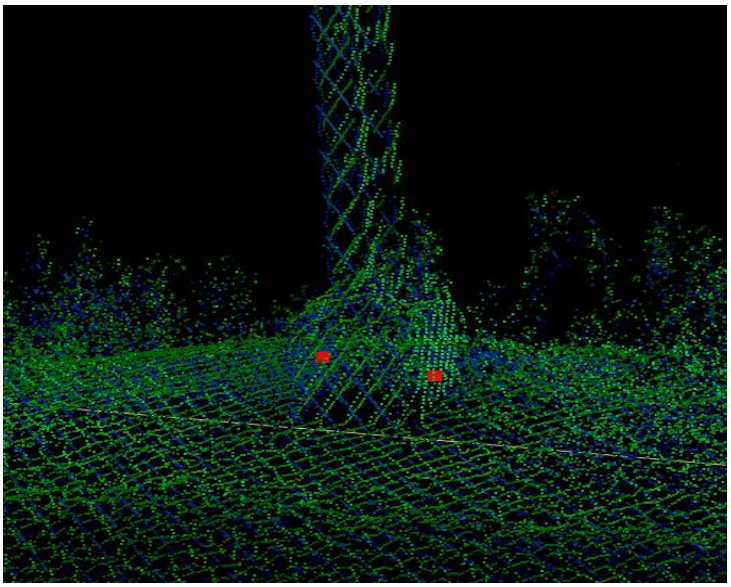
Kuvat: JPG

Paikannus: sbet.out & smrmsg.out (WGS84)

Lisäksi toimituskovalevyllä on mobiilikartoituksen aikana kerätty raaka-aineisto.

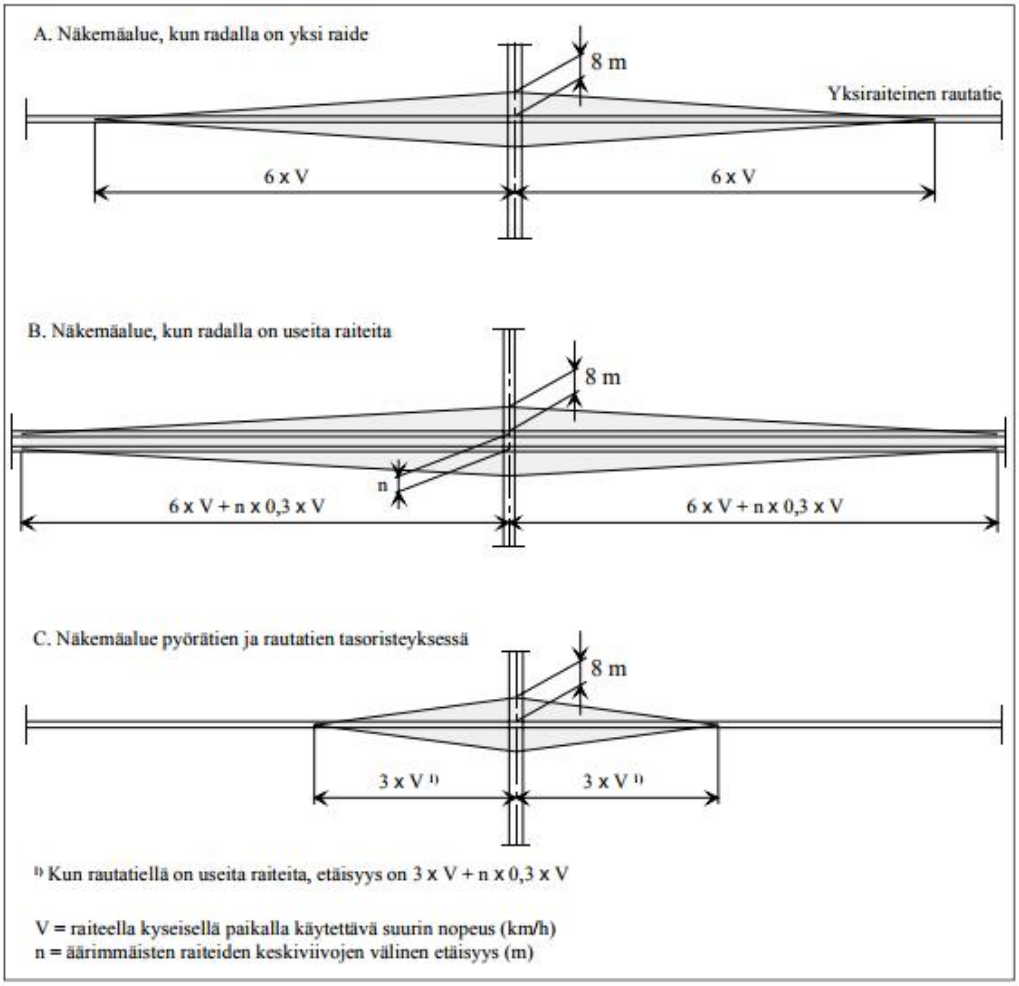
Alla olevissa kuvissa punaiset pisteet ovat Destia Oy:n mittaamia referenssipisteitä.



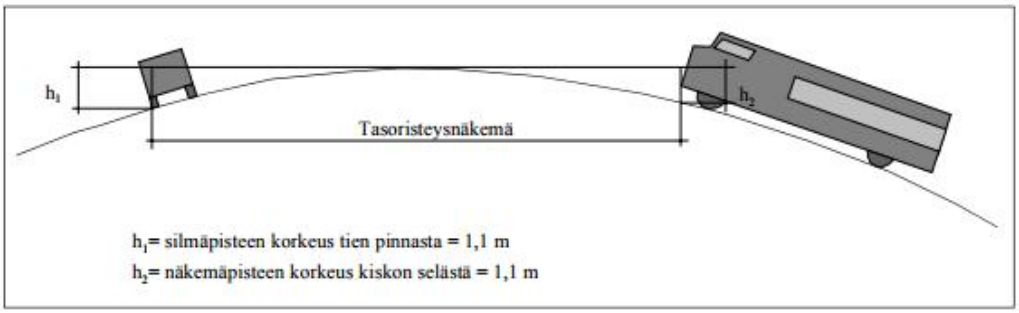


LIITE 3: RATO ohjeen ote

Tasoristeysnäkemän on oltava vapaa esteistä radan pylväitä lukuun ottamatta. Tasoristeys on sijoitettava siten, että kuvan 9.2:1 vaatimukset täyttyvät. Näkemien on täytettävä myös kuvien 9.2:2 ja 9.2:3 mukaiset tapaukset.



Kuva 9.2:1 Tasoristeyksen näkemäalueet.



Kuva 9.2:2 Tasoristeysnäkemä radan kuperassa taitteessa.