

VALTAKUNNALLISEN 2 M KORKEUSMALLIN  
AJANTASAISTUSPROSESSIN KUVAUKSEN  
JA OHJEISTUKSEN PÄIVITTÄMINEN

Suominen Kirsi

Opinnäytetyö

Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2025

Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Kirsi Suominen	<b>Vuosi</b>	2025
<b>Ohjaaja</b>	Teuvo Heimonen		
<b>Toimeksiantaja</b>	Maanmittauslaitos		
<b>Työn nimi</b>	Valtakunnallisen 2 m korkeusmallin ajantasaistusprosessin kuvauksen ja ohjeistuksen päivittäminen		
<b>Sivumäärä</b>	42 + 12		

---

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus päivittää Maanmittauslaitoksen ylläpitämän valtakunnallisen 2 m korkeusmallin ajantasaistusprosessin kuvausta ja ohjeistusta. Prosessissa on tapahtunut muutoksia, ja nyt oli hyvä tilaisuus tehdä nuo muutospäivitykset tulevaisuutta varten. Tavoitteena oli saada aikaan toimiva ja selkeä ohjeistus prosessissa työskenteleviä varten sekä antaa hyvä yleiskuva koko KM2-ajantasaistusprosessista.

Opinnäytetyö perustui paljolti omiin työssä tehtyihin havaintoihin, kokemukseen ja tietämykseen KM2-ajantasaistusprosessista. Lisäksi tietoperustana käytettiin Maanmittauslaitoksen sisäisiä aineistoja ja internetistä löytyvää kirjallista materiaalia. Toki nykyiset prosessin ohjeet ja kuvaus olivat myös käytössä.

Maanmittauslaitoksen toimeksiantona opinnäytetyössä päivitettiin kuvausta ajantasaistusprosessin kaikista kolmesta eri vaiheesta. Samassa yhteydessä tehtiin myös jokaiselle ajantasaistusprosessin vaiheelle oma ohjeensa. Uusia ohjeita tul- laan hyödyntämään nykyisin käytössä olevien ohjeiden päivittämisessä. Päivite- tystä prosessikuvauksesta tulee todennäköisesti olemaan hyötyä tulevassa KM2- tuotannon uudistamisessa.

Degree Programme in Land  
Surveying Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Kirsi Suominen	<b>Year</b>	2025
<b>Supervisor</b>	Teuvo Heimonen		
<b>Commissioned by</b>	National Land Survey of Finland		
<b>Title</b>	Updating the Description and Instructions for the Updating Process of the Nationwide 2 m Digital Elevation Model		
<b>Number of pages</b>	42 + 12		

---

The purpose of the thesis study was to update the description and instructions for the updating process of the nationwide 2 m digital elevation model by the Land Survey of Finland. Changes have been made to the process, and now it was a good opportunity to make those updates for the future. The aim was to produce workable and clear instructions and to give a good overview of the whole KM2 updating process.

The thesis was largely based on my own observations, experience and knowledge of the KM2 updating process. In addition, internal materials of the Land Survey of Finland and relevant materials on the Internet were used as a basis for knowledge basis. Of course, the current instructions and description of the process were also in use.

As commissioned by the Land Survey of Finland, the thesis updated the description of all three stages of the updating process. In the same context, separate instructions were produced for each stage of the updating process. The new instructions will be used to update the existing instructions. The updated process description will probably be useful in the future renewal of the KM2 production.

Keywords

digital elevation model, KM2, update, updating

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	6
2 VALTAKUNNALLISET KORKEUSMALLIT .....	8
3 KORKEUSMALLI KM2 .....	12
3.1 Taustaa KM2:lle .....	12
3.2 Tuotantoprosessikuvaus .....	13
3.3 Laatuluokat .....	18
4 KM2:N AJANTASAISTAMINEN .....	21
4.1 Ajantasaistamisen periaate .....	21
4.2 Ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmistelu .....	24
4.3 Korkeusmallin ajantasaistusprosessi .....	26
4.3.1 Laatuluokka I .....	26
4.3.2 Laatuluokka II .....	30
4.4 Ajantasaistetun aineiston viimeistely .....	33
4.5 Ajantasaistusohjeistus .....	36
5 POHDINTA .....	38
LÄHTEET .....	41
LIITTEET .....	43

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CSV	Comma-separated values, Tiedostomuoto, jossa taulukkomuotoinen data tallennetaan tekstimuodossa pilkuilla erotettuna
DEM	Digital Elevation Model, Digitaalinen korkeusmalli
DSM	Digital Surface Model, Digitaalinen pintamalli
DTM	Digital Terrain Model, Digitaalinen maastomalli
EC	EspaCity-ohjelmisto
EE	EspaEngine-ohjelmisto
EV	EspaEnginen New Extra View -ikkuna
Georeferointi	Sijaintia koskevan tiedon liittäminen aineistoon
KM2	MML:n korkeusmalli 2 m x 2 m ruutukoossa
KM10	MML:n korkeusmalli 10 m x 10 m ruutukoossa
KM25	MML:n korkeusmalli 25 m x 25 m ruutukoossa
MML	Maanmittauslaitos
MTK	Maastotietokanta

## 1 JOHDANTO

Yksi Maanmittauslaitoksen lakisääteisistä tehtävistä on ylläpitää valtakunnallisia korkeusmalleja osana maastotietojärjestelmää (Maanmittauslaitoksen työjärjestys 2023/948 § 8; Maanmittauslaitos 2025g). Uusin ylläpidettävä valtakunnallinen korkeusmalli on ilmalaserkeilaukseen perustuva 2 m korkeusmalli (KM2), jonka tuotanto aloitettiin vuonna 2008 (Vilhomaa & Laaksonen 2011, 82). Maastossa tapahtuvien muutosten takia KM2 vanhenee nopeasti, ja siksi sitä pidetään yllä ajantasaistamalla sitä. Näin KM2 säilyy käyttökelpoisena tuotteena. KM2-ajantasaistusprosessi jakaantuu kolmeen eri vaiheeseen: ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmisteluvaiheeseen, korkeusmallin ajantasaistusvaiheeseen ja ajantasaistetun aineiston viimeistelyvaiheeseen. Toimintoja on paljon, ja sen takia toimivat ohjeet ovat tarpeen. Prosessin ohjeiden käyttäminen varmistaa työskentelevien etenemisen sujuvasti ja oikeassa järjestyksessä.

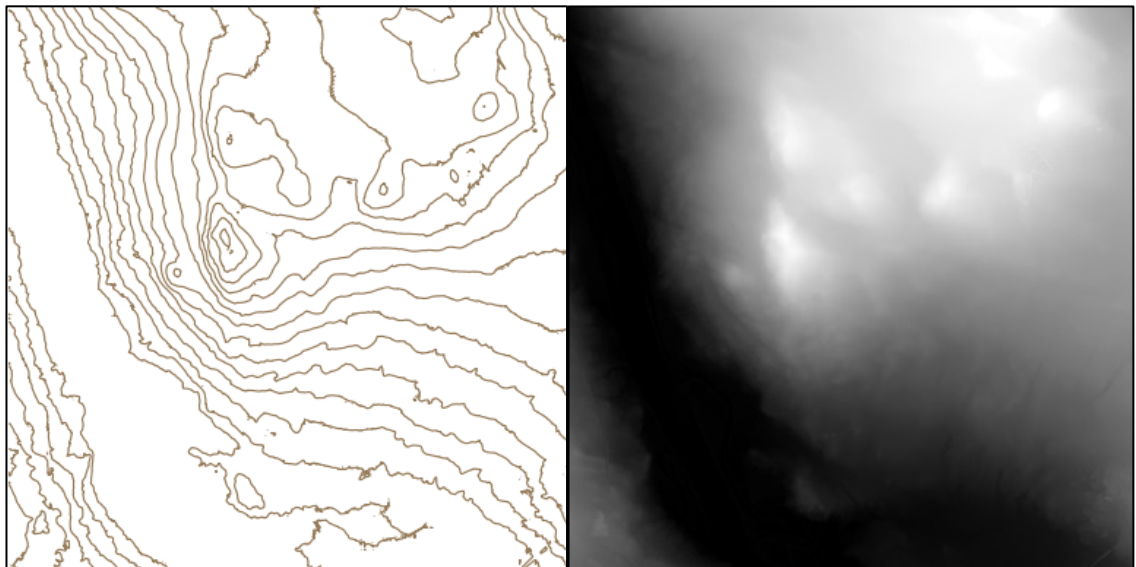
Olen viime vuosien aikana työssäni Maanmittauslaitoksessa keskittynyt KM2-ajantasaistusprosessin tehtäviin, ja samalla olen huomannut, että vielä käytössä olevat KM2-ajantasaistusprosessiohjeet ja -kuvaus eivät enää vastaa nykyistä prosessin kulkua siinä tapahtuneiden muutosten takia. Ne on syytä saattaa ajan tasalle, koska niitä tarvitaan tulevaisuudessa tapahtuvan KM2-tuotannon uudistamisen yhteydessä, nykyisten käytössä olevien ohjeiden päivittämisessä sekä mahdollisten uusien prosessissa työskentelevien henkilöiden perehdyttämisessä.

Maanmittauslaitoksen toimeksiannosta opinnäytetyössä käsitellään laserkeilaukseen perustuvan valtakunnallisen KM2:n ajantasaistamiseen liittyvän kuvauksen ja ohjeistuksen päivittämistä. Tavoitteena on tuottaa nykytilanteen mukainen kuvaus koko KM2-ajantasaistusprosessista. Kuvauksen päivittämisen yhteydessä tehdään myös jokaiselle ajantasaistusvaiheelle oma ohjeensa. Varsinaisen ajantasaistusvaiheen ohjeistusta on pidetty kohtuullisen hyvin ajan tasalla, mutta ennen ajantasaistusvaihetta suoritettavan aineiston ennakkovalmisteluvaiheen sekä ajantasaistusvaiheen jälkeisen ajantasaistetun aineiston viimeistelyvaiheen osalta ohjeistusta on syytä päivittää. Opinnäytetyön kirjoittamisessa kirjallisten lähteiden ohella hyödynnetään suurella määrällä omia työssä tehtyjä havaintoja

sekä työssä hankittua kokemusta ja tietämystä KM2:n ajantasaistamisesta. Näin tekstissä näkyy kokemusperäinen ote aiheeseen.

## 2 VALTAKUNNALLISET KORKEUSMALLIT

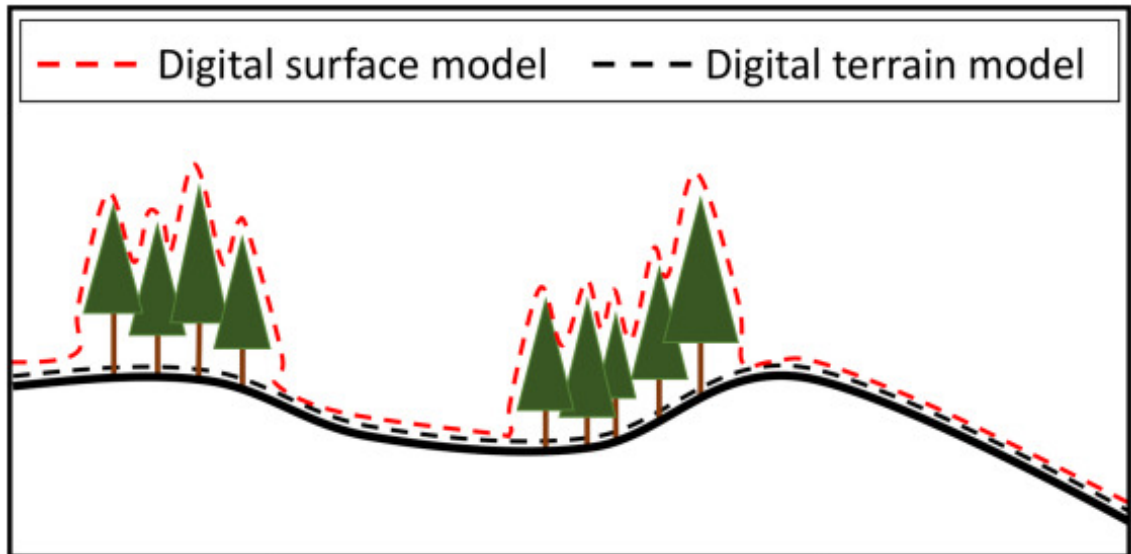
Tässä opinnäytetyössä keskitytään käsittelemään laserkeilaamalla tuotettua korkeustietoa, joka esitetään numeerisessa muodossa korkeusmallina (DEM). Korkeusmalli kuvaa maanpinnan muotoja ja korkeussuhteita sekä maanpinnan korkeutta merenpinnasta. (Maanmittauslaitos 2025e.) Korkeusmalli visualisoidaan joko korkeuskäyräesityksenä tai numeerisena rasterina, joka on tallennettu tietojärjestelmään tasakokoiseen hilaruudukkoon GRID tai epäsäännölliseen kolmioverkkoon TIN (Holopainen ym. 2015, 81). Kuviossa 1 on esitettynä QGIS-ohjelmalla tuotetut kuvat korkeusmallista korkeuskäyräesityksenä ja rasterimuodossa. Aineistona on käytetty MML:n avointa 2 m korkeusmalliaineistoa.



Kuvio 1. Vasemmalla korkeusmalli esitetään korkeuskäyräesityksenä ja oikealla rasterina

Korkeusmallin yhteydessä käytetään usein myös termejä maastomalli tai pintamalli. Korkeusmalli (DEM) kuvaa paljaan maanpinnan korkeutta ilman kasvillisuutta, siltoja tai rakennuksia. Maastomallilla (DTM) kuvataan maanpinnan korkeuden lisäksi sen ominaisuuksia, kuten maanpinnan peitteisyyttä, kaltevuutta tai viettosuuntaa. DEM on maastomallin tärkein osa. Käytännössä DEM ja DTM ovat merkitykseltään hyvin lähellä toisiaan. Pintamalli (DSM) puolestaan kuvaa pisteilven ylimpien pisteiden muodostamaa ylintä korkeustasoa. Näin ollen ainoastaan avoimella paljaalla maa-alueella pintamalli asettuu maanpinnan korkeudelle

ja muualla ylimmän kohteen korkeudelle esimerkiksi puiden latvojen tai rakennusten kattojen korkeuteen. (Maanmittauslaitos 2025e; Kuvio 2.)



Kuvio 2. DSM- ja DTM-mallien välinen ero (Meddens ym. 2018, 175)

Maanmittauslaitoksella on lakisääteinen tehtävä tuottaa ja ylläpitää valtakunnallisia korkeusmalleja. Se toimii maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa (Laki Maanmittauslaitoksesta 2018/1025 § 1) ja yhtenä sen laissa säädetyistä tehtävistä on huolehtia peruspaikkatietojen tuottamisesta (Maanmittauslaitoksen työjärjestys 2023/948 § 8). Maanmittauslaitoksen tuottamat valtakunnalliset korkeusmallit ovat osa peruspaikkatietoja (Maanmittauslaitos 2025g). Kunnat, yritykset ja eri organisaatiot tuottavat erilaisia korkeusmalleja omiin tarkoituksiinsa, mutta mikään muu organisaatio kuin Maanmittauslaitos ei tuota koko maata kattavaa korkeusmallia ja anna sitä avoimesti käytettäväksi.

Maanmittauslaitoksen tuottama 25 metrin ruutukoossa oleva korkeusmalli KM25 oli ensimmäinen valtakunnallinen korkeusmalli, ja sitä päivitettiin vuoteen 1995 asti. Digitaalinen KM25 laskettiin peruskartan korkeuskäyristä ja mahdollisuuksien mukaan vesialueet asetettiin rantaviivojen mukaiseen tasakorkeuteen maskaamalla. Korkeusmallilaskennassa muodostettiin kolmioverkko TIN, josta interpoloitiin 25 metrin säännöllinen hilaruudukko. Korkeusmalli sisälsi suuria virheitä johtuen lähtöaineistojen epätasalaatuisuudesta ja korkeuskäyrien erilaisista tuotantotekniikoista vuosikymmenten aikana. Näistä puutteista huolimatta korkeus-

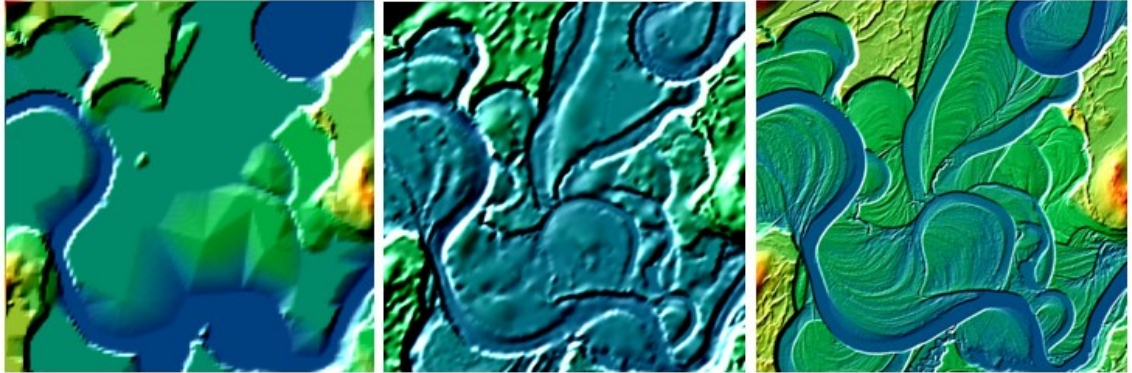
mallin keskitarkkuudeksi korkeusanalyysissa saatiin 1,76 metriä, vaikka korkeusmallin tarkkuudessa ja laadussa oli suurta alueellista vaihtelevuutta. (Maa- ja metsätalousministeriö 2006, 8.)

Vuosituhannen vaihteessa Maanmittauslaitoksessa aloitettiin maastotietotuotantoprosessin uudistaminen. Osana uudistusta vuonna 2001 aloitettiin uuden 10 metrin ruutukoossa olevan korkeusmallin KM10 tuotanto. Maastotietokannan määräaikaisen ajantasaistamisen yhteydessä ryhdyttiin parantamaan KM25:n korkeuskäyrien laatua ja sijaintia stereotyöasemalla ilmakuvia tulkitsemalla sekä ryhdyttiin yhtenäistämään korkeuskäyrästä viiden metrin korkeuskäyriin koko valtakunnan alueella. Tämä oli edellytyksenä KM10:n laskemiselle. (Maa- ja metsätalousministeriö 2006, 8–9.) KM10 on muodostettu maastotietokannan määräaikaisessa ajantasaistusprosessissa ja laskennassa on käytetty stereotyöasemalla päivitettyjä korkeuskäyriä, stereotyöasemalla ilmakuvasta digitoituja maanpintapisteitä ja maastotietokannan kohteita, joilla on korkeustieto. Lisäksi vesialueet on maskattu rantaviivojen korkeuden mukaiseen tasakorkeuteen. Lopuksi KM10 on tallennettu maastotietokantaan. Korkeustarkkuusanalyysissa KM10:n korkeuden keskitarkkuudeksi on saatu 1,4 metriä. Nykyisin KM10 johdetaan interpoloimalla 2 metrin valtakunnallisen korkeusmallin arvoista niillä alueilla, mistä KM2 on olemassa. Muuten käytettävissä on maastotietokannan ajantasaistamisen yhteydessä tuotettu ”vanha” KM10. Tosiasia on, että KM2:sta johdettu KM10 on yksityiskohtaisempi ja korkeussijainniltaan tarkempi kuin ”vanha” laskettu KM10. (Maanmittauslaitos 2025b.)

Vuonna 2008 Maanmittauslaitoksessa aloitettiin uuden valtakunnallisen 2 metrin ruutukoossa esitettävän korkeusmallin KM2 tuotanto. Luvussa 3 käsitellään muun muassa KM2:n taustaa ja tuotantoprosessia.

Nämä kolme MML:n valtakunnallista korkeusmallia poikkeavat toisistaan tuotantomenetelmältään, tarkkuudeltaan ja erotuskyyvyltään. Kuviossa 3 on ESPA Systemsin EspaCity-ohjelmistolla visualisoitu maastotietokannassa olevat korkeusmallit KM25, KM10 ja KM2 samasta maastonkohdasta läheltä Ivalon lentokenttää

(karttalehti V5221H2). Kuviosta ilmenee, miten korkeusmallit visuaalisesti eroavat toisistaan. KM2:n visualisointikuvasta pystyy hyvin erottamaan maaston pinnanmuotoja ja yksityiskohtia.



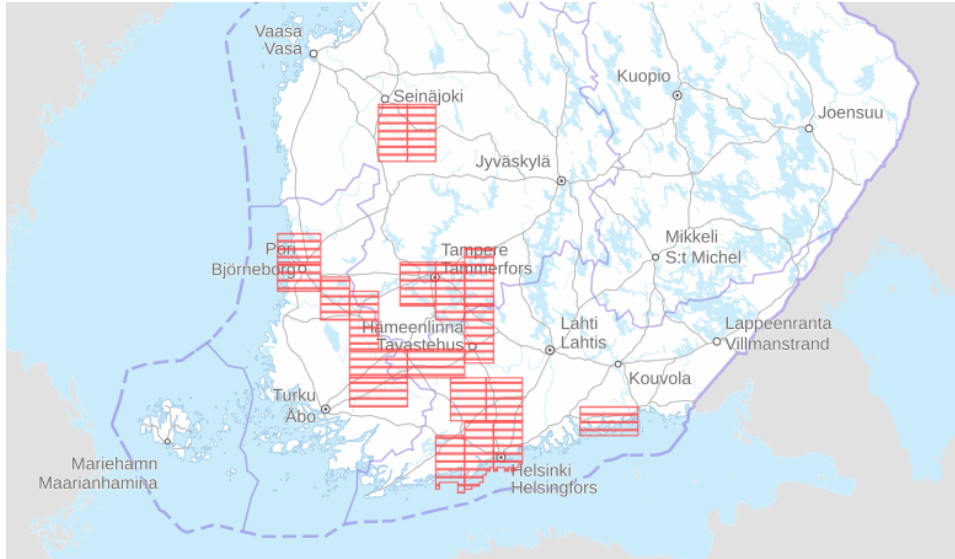
Kuvio 3. Vasemmalla on visualisoituna KM25, keskellä KM10 ja oikealla KM2

### 3 KORKEUSMALLI KM2

#### 3.1 Taustaa KM2:lle

Maa- ja metsätalousministeriö (MMM) asetti vuonna 2005 korkeusmallityöryhmän, jonka tehtäväksi tuli tutkia ja selvittää uuden valtakunnallisen maastotietojärjestelmään kuuluvan korkeusmallin tarvetta ja sen tuotantotapaa. Työryhmän perustaminen tuli ajankohtaiseksi, koska viranomaistoimijoille oli syntynyt tarve saada käyttöönsä aiempaa tarkempi ja luotettavampi valtakunnallinen korkeusmalli. Käytettävissä olevien valtakunnallisten korkeusmallien, KM25 ja KM10, tarkkuus ja yksityiskohtaisuus eivät enää riittäneet heidän tehtävissään. Esimerkiksi EU:n tulvadirektiivin 23.10.2007/60/EY edellyttämien tulva-aluekarttojen ja tulvien hallintasuunnitelmien laatiminen vaati aiempaa tarkemman ja yksityiskohteisemmän korkeusmallin käyttämistä. Työryhmä päätyi suosittelemaan uuden pienempi resoluutioisen ja fotogrammetristen menetelmien sijaan laserkeilaustekniikkaan perustuvan korkeusmallituotannon aloittamista. Aikataulutavoitteiksi asetettiin, että uusi korkeusmalli olisi käytettävissä suurimmasta osasta taajaan rakennettuja ja tulvaherkkiä alueita vuonna 2013 sekä koko maasta vuonna 2020. (Maa- ja metsätalousministeriö 2006, 1–2.)

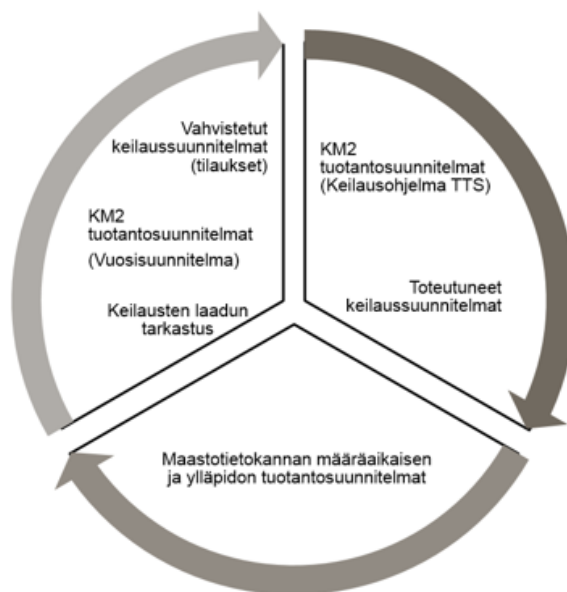
Työryhmän loppuraportin suosituksen mukaisesti Maanmittauslaitoksessa aloitettiin uuden ilmalaserkeilaukseen perustuvan 2 metrin resoluutiolla toteutettavan korkeusmallin tuotanto vuonna 2008. Korkeusmallin määrittelyprojektissa KM2:n korkeustarkkuusvaatimukseksi asetettiin 30 cm. (Vilhomaa & Laaksonen 2011, 82–83, 85.) Tuotannon alkuvaiheessa laserkeilaukset ja KM2-tuotanto kohdistuivat tulvariskialueisiin. Ensimmäiseksi laserkeilattiin eteläisen ja läntisen Suomen tulvaherkät alueet (kuvio 4). Ensimmäinen KM2-tuotantoalue sijoittui Meri-Porin ja Kokemäenjoen suiston alueelle, ja tuon alueen laserkeilausaineistosta tuotetusta KM2:sta käynnistyi varsinainen KM2-tuotanto.



Kuvio 4. Vuonna 2008 laserkeilatut alueet (MML 2025d)

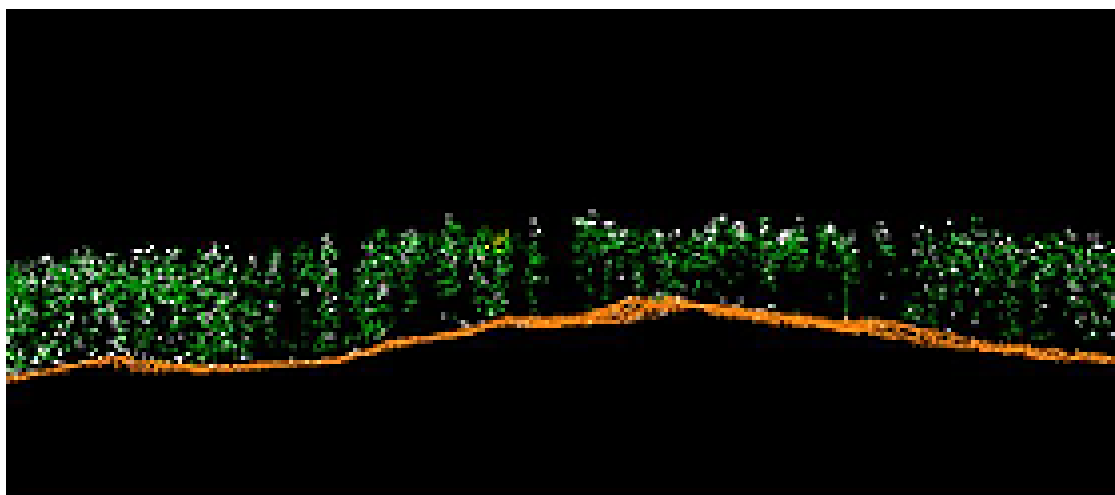
### 3.2 Tuotantoprosessikuvaus

KM2:n tuotannon suunnittelun lähtökohtana ovat laserkeilattujen aineistojen laaja hyödyntäminen ja maastotietotuotannon ajantasaistustarpeet Maanmittauslaitoksessa. KM2-tuotantoalueiden valintaa ohjaavat kansallisen laserkeilausohjelman mukaisessa järjestyksessä toteutettavat keilausalueet sekä maastotietokannan alueellista ajantasaistamista varten tehtävät tuotantosuunnitelmat. Korkeusmallin valmistumisen jälkeen maastotietotuotannossa maastotietokannan kohteille johdetaan korkeudet korkeusmallista. (Maanmittauslaitos a, 3; kuvio 5.)



Kuvio 5. Laserkeilausten, KM2-tuotannon ja maastotietotuotannon väliset suhteet (MML a, 3)

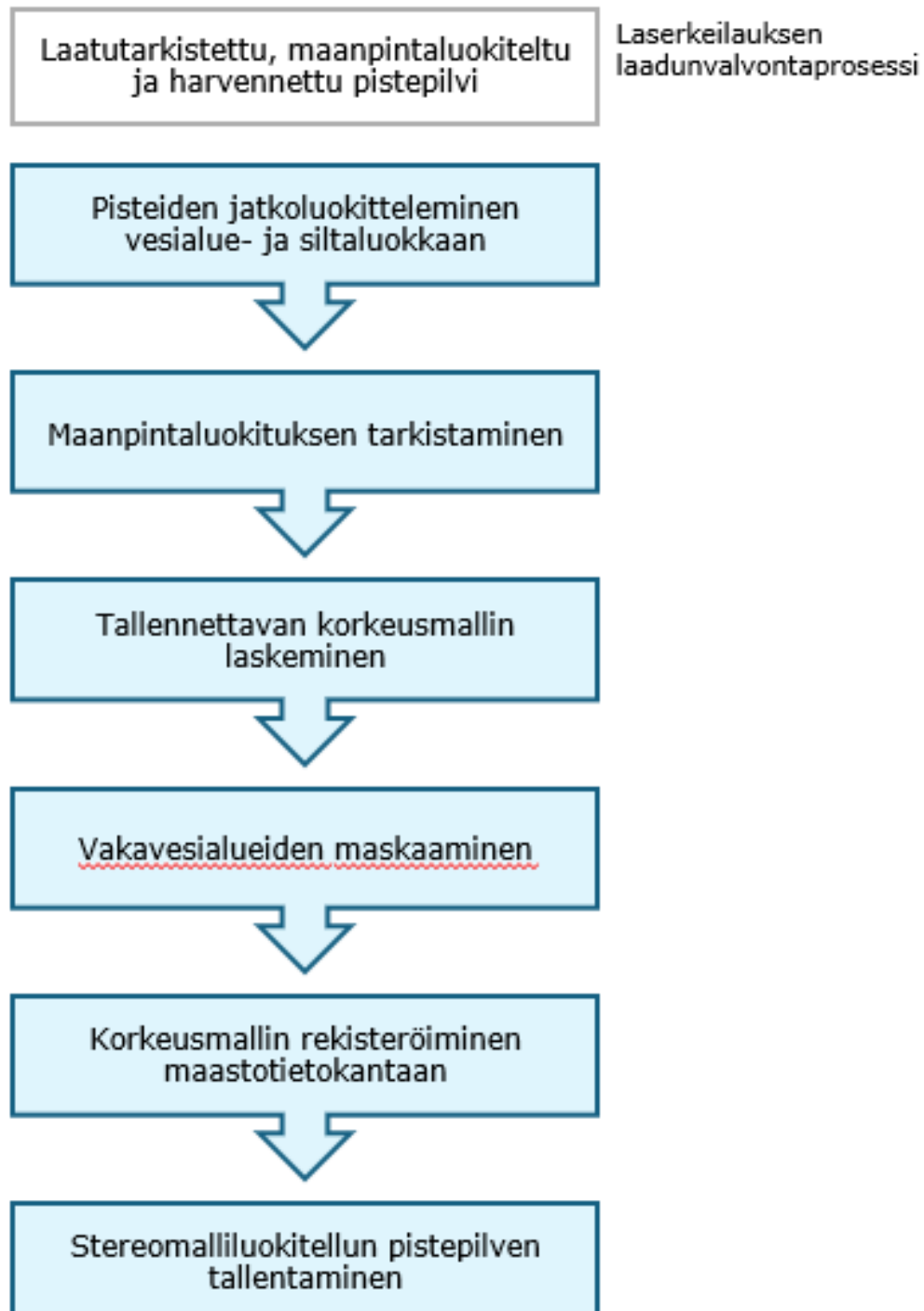
Laserkeilauksen jälkeisessä MML:n laserkeilauksen laadunvalvontaprosessissa georeferoitu pistepilviaineisto tarkastetaan laadullisesti, sitä käsitellään ja lopuksi sille tehdään automaattinen maanpintaluokittelu. Automaattiluokittelussa pistepilven pisteet luokitellaan seuraaviin luokkiin: maanpinta, kasvillisuus ja luokittelematon (kuvio 6). (Laaksonen 2009, 25.) Pisteiden luokittelu perustuu laserpulsien paluukaikujen järjestykseen. Lasersäteen ainoan tai viimeisen paluukaiun laserpiste luokitellaan maanpintaluokkaan. Ensimmäiset ja muiden välikaikujen laserpisteet luokitellaan kasvillisuusluokkaan. Karkeat virhepisteet hylätään. (Vilhomaa & Laaksonen 2011, 87.) Laadunvalvontaprosessissa käsitelty ja 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> pistetiheyteen harvennettu pistepilvi otetaan käytettäväksi KM2-tuotannossa. Pistepilvi harvennetaan, jotta sitä ja KM2:sta voidaan jakaa avoimena aineistona.



Kuvio 6. Poikkileikkaus automaattisesti maanpintaluokitellusta pistepilvestä. Ruskeat pisteet ovat maanpintaa, vihreät kasvillisuutta ja valkoiset luokittelemattomia pisteitä. (Laaksonen 2009, 19)

KM2-tuotannossa oleellisinta on pistepilven oikeellisuus ja vesialueiden korkeustason loogisuus ympäröivään maastoon nähden, koska KM2 kuvaa maanpinnan ja vesialueiden keilaushetken korkeutta. KM2 tuotetaan TM35-lehtijaon mukaisina 3 km x 3 km karttalehtinä ETRS-TM35FIN-tasokoordinaatistossa ja N2000-korkeusjärjestelmässä. Korkeusmallituotannossa ilmakuvia ja stereomalleja käytetään ESPA Systemsin EspaCity-ohjelmistolla ja pistepilviä käsitellään EspaEn-

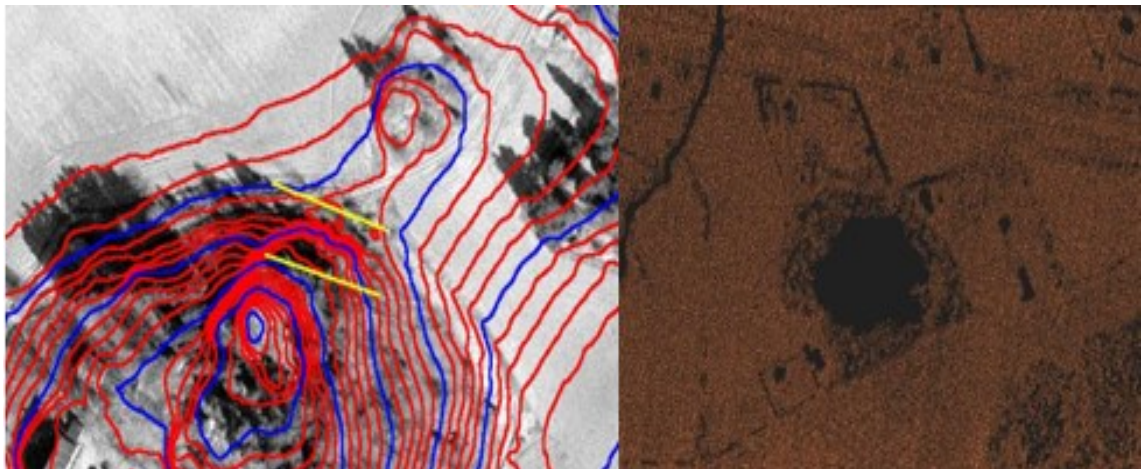
gine-ohjelmistolla (ESPA Systems Oy 2025). Ennen varsinaista KM2-tuotantoprosessikuvausta havainnollistetaan selvyyden vuoksi koko prosessin kulku yksinkertaistetulla prosessikaaviolla (kuvio 7).



Kuvio 7. KM2-tuotantoprosessikaavio (mukaillen MML b)

Ensin karttalehden alueelta maastotietokannasta irrotetaan vesialueiden reunaviivat, ja niitä apuna käyttäen pistepilvestä luokitellaan vakavesialueiden (meret,

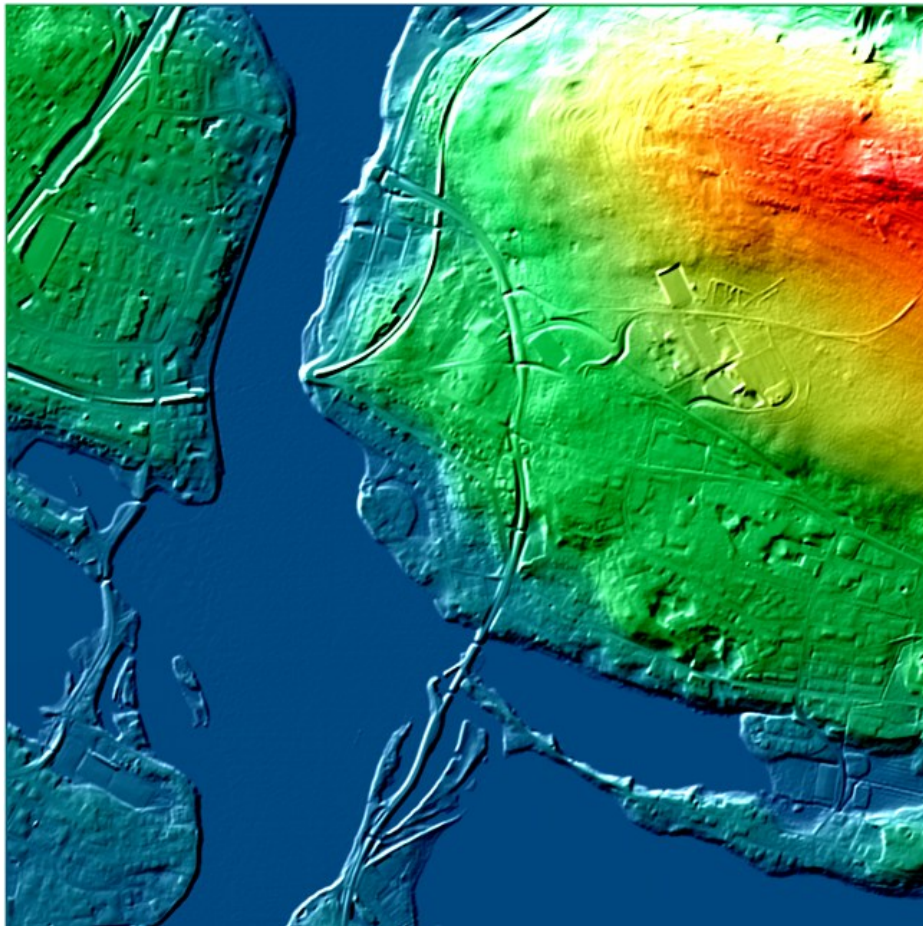
järvet ja altaat) ja virtavesialueiden pisteet omiin luokkiinsa. Tässä samassa yhteydessä tehdään myös manuaalinen siltapisteluokittelu. Pisteluokittelujen jälkeen lasketaan korkeusmalli. Korkeusmalli lasketaan kolmioverkkona, jossa kukin pikseli saa korkeuden kolmen lähimmän pisteen muodostamasta kolmiopinnasta (Ahonen 2019, 12). Laskennassa käytettävää kolmion kokoa voidaan muuttaa tarpeen mukaan. Korkeusmallin laskemisen jälkeen karttalehden alueelta tarkastetaan pistepilven automaattisen maanpintaluokittelun onnistuminen ja korjataan mahdolliset luokittelussa syntyneet virheet ja puutteet, jotta KM2 kuvaisi maanpintaa oikein. Esimerkiksi erittäin jyrkät maastonkohdat ovat voineet jäädä luokittumatta maanpinnaksi (maanpintaluokittelussa aukko) tai rakennusten kattoja, tukkikasoja, kasvillisuutta sekä väliaikaisia maa-ainekasoja on voinut luokittua maanpinnaksi. Apuna tässä tarkistuksessa käytetään stereotyöasemalla avattua ilmakuvastereomallia, pistepilvestä lasketun korkeusmallin 1 metrin korkeuskäyriä stereomallin päällä ja maastotietokannasta irrotettuja vihjekohteita (sillat, jyrkänteet ja yli 3000 m<sup>2</sup> rakennukset). (Kuvio 8.)



Kuvio 8. Vasemmalla on ilmakuvastereomalli korkeuskäyrien kanssa ja keltaiset viivat ovat jyrkänne-vihjekohteita. Oikealla pistepilvessä on mäenhuipun maanpintaluokituksessa aukko pisteiden virheellisen automaattiluokituksen takia. (MML 2014, 6)

Karttalehden alue käydään järjestelmällisesti läpi ja verrataan, noudattavatko korkeusmallin korkeuskäyrät stereomallia. Jos korkeuskäyrät poikkeavat stereomallista, tehdään tarvittavat luokitusmuutokset pistepilveen ja lasketaan korkeusmalli uudestaan. Kun korkeusmalli on tarkistettu ja kunnossa, vakavesialueet maska-

taan luokiteltujen vakavesipisteiden keskiarvon mukaiseen tasakorkeuteen. Ennen kuin korkeusmalli tallennetaan maastotietokantaan, korkeusmallista tuotetaan EC:lla visualisointikuva, jossa on yhdistettynä rinnevarjoste ja korkeusvyöhyke-esitys. Jokaisen kuvan väriasteikko matalimman (sininen) ja korkeimman (punainen) korkeusarvon välillä on yksilöllinen. Visualisointikuvasta tarkistetaan korkeusmallin eheys ja vesialueiden korkeustason loogisuus ympäröivään maastoon nähden. Esimerkkinä on EC:lla tuotettu visualisointikuva KM2:sta Rovaniemeltä (karttalehti T4324E3). Esimerkkikuvasta on selkeästi havaittavissa, miten Kemijoen korkeus näyttää loogiselta Ounasvaaraan ja keskusta-alueeseen nähden. Lisäksi korkeusmalli on eheä ja näyttää järkevältä. (Kuvio 9.)



Kuvio 9. Esimerkki visualisointikuvasta

Korkeusmallin maastotietokantaan rekisteröimisen jälkeen stereomalliluokiteltu pistepilvi tallennetaan verkkolevyille. KM2-tuotantoprosessin lopputuloksena muodostuvaa 2 metrin korkeusmallia ja stereomalliluokiteltua pistepilveä voi kuka tahansa ladata ilmaiseksi Maanmittauslaitoksen Karttapaiikka-palvelusta.

Maanmittauslaitos saavutti alussa mainitun MMM:n korkeusmallityöryhmän sille asettaman tavoitteen: KM2 valmistui koko maasta vuonna 2020. Viimeisenä maastotietokantaan rekisteröitiin Pohjois-Lapissa sijaitsevan Angelin tuotantoalueen korkeusmalli. Lentotekniset syyt ovat osittain aiheuttaneet sen, että Suomen itärajalla ja ulkomerellä on vielä yksittäisiä alueita, joista ei ole saatavissa KM2:sta.

Kuluneen 16 vuoden aikana korkeusmalli KM2 on osoittautunut hyvin hyödylliseksi ja monikäyttöiseksi tuotteeksi. Korkeusmallia hyödynnetään muun muassa tehtäessä erilaisia selvityksiä ja analyysseja. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi tulvavaara- tai näkyvyysanalyysit, ainesten massalaskennat, maaston profiililaskenta, geologian ja maantieteen tutkimuskohteet sekä vesi- ja metsätalous-suunnitelmat analyysineen. (Maanmittauslaitos 2025c.) Useissa tapauksissa erilaisten hankkeiden suunnitteluvaiheessa paikkatietoaineistojen, kuten KM2, käyttäminen mahdollistaa suunnittelun tekemisen sisätyönä. Tämä voi vähentää maastotyön tarvetta merkittävästikin.

### 3.3 Laatuluokat

Korkeusmallia on tuotettu kahdessa eri laatuluokassa: laatuluokassa I ja laatuluokassa II. Laatuluokka määräytyy aineiston keilausajankohdan eli keilausai-kaikkunan mukaan. Laatuluokassa I KM2-tuotannon aineistona käytetään ke-väällä (keilausaikaikkunassa A tai B) keilattua laserkeilauspistepilveä. (Maanmit-tauslaitoksen Paikkatietokeskus 2016, 11–12.) Kevätkeilauksella tarkoitetaan keilaamisen suorittamista keväällä ajankohtana, kun maanpinnalla lumensyvyys on enintään viisi senttimetriä, maanpinnan aluskasvillisuus ei ole ehtinyt kasvaa tiheäksi, puut ovat lehdettömiä ja maastossa ei ole tulvaa. Varsinkin Etelä-Suo-messa aivan optimaalinen keilausajanjakso, lumen sulamisen ja aluskasvillisuu-den ilmaantumisen välinen aika, jää usein hyvin lyhyeksi. (Vilhomaa & Laakso-nen 2011, 85, 89.) Laatuluokan II aineiston laserkeilaus suoritetaan kesällä kei-lausaikaikkunassa C. Kesäkeilauksella tarkoitetaan ajankohtaa, milloin koivu on täydessä lehdessä, maan pinnalla on kasvillisuutta ja maastossa ei ole tulvaa. (Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus 2016, 12.)

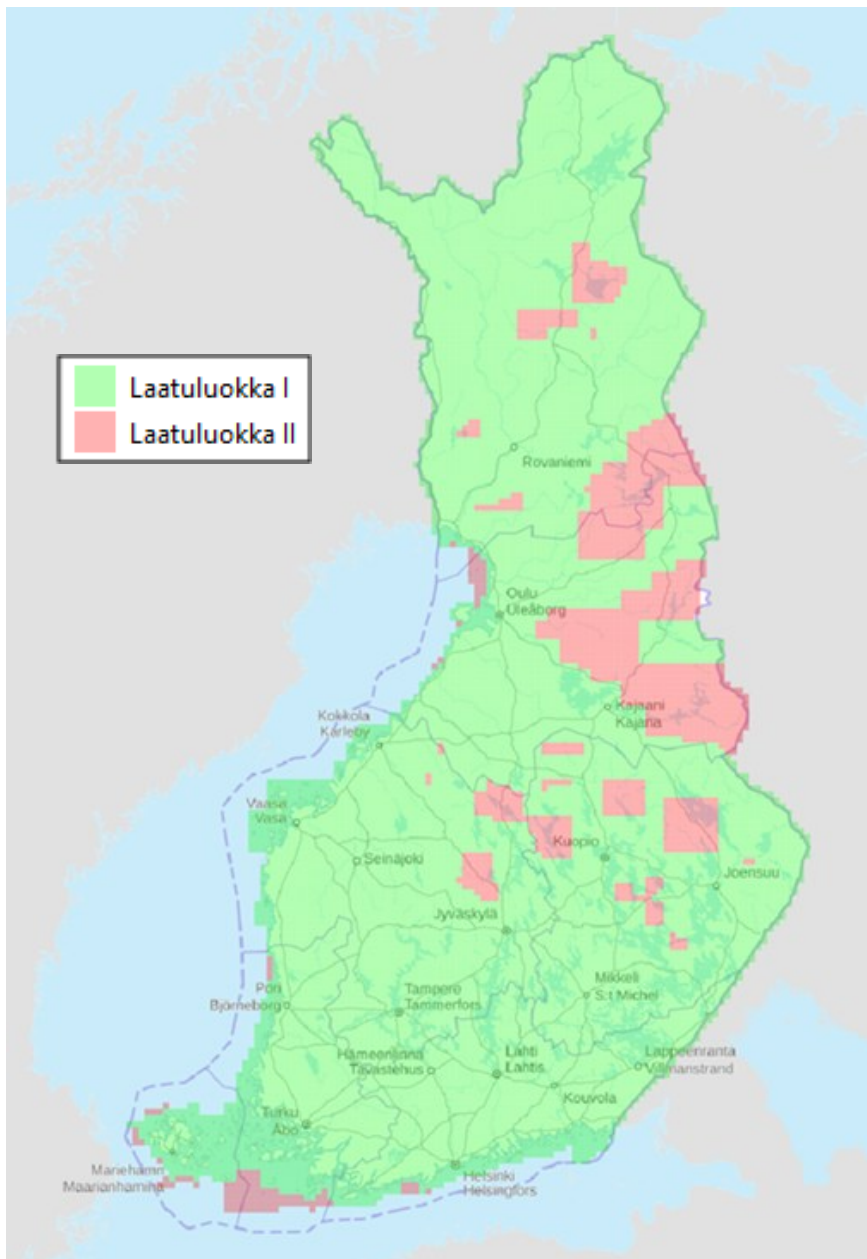
Laatuluokassa I KM2 muodostetaan luvussa 3.2 kuvatulla tavalla, johon sisältyy vuorovaikutteista pistepilven ja korkeusmallin tarkastamista ja manuaalista muokkaamista. Tässä laatuluokassa korkeusmallin korkeustarkkuus on 0,3 metriä. Laatuluokassa II kesäkeilauksen aikainen kasvillisuus vaikuttaa nostavasti korkeusmallin korkeustasoon, ja sen seurauksena tämän laatuluokan korkeusmallin korkeustarkkuudeksi on määritetty 0,3–1,0 metriä. (Maanmittauslaitos 2025a.) Maanmittauslaitoksessa päädyttiin perustellusti keventämään korkeusmallin tuotantoprosessia laatuluokassa II, koska kesäkeilauksen aikainen kasvillisuus vaikeuttaa maanpinnan määrittämistä pistepilvessä tehden siitä epävarmaa ja hidasta. Tämän vuoksi alueen kattavaa läpikäymistä stereomallien avulla ei pidetty järkevänä. (Ahonen 2019, 22–28.)

Laatuluokassa II korkeusmalli perustetaan laskemalla se automaattiluokitellusta pistepilvestä ja vakavesialueet maskataan vesialueille osuvien maanpintapisteiden keskiarvokorkeuteen. Pistepilven pisteitä ei jatkoluokitella eikä pistepilveä tarkasteta vuorovaikutteisesti stereomallien avulla. Korkeusmallista tuotetusta visualisointikuvasta tarkistetaan korkeusmallin eheys ja maskattujen vesialueiden korkeustason loogisuus ympäröivään maastoon nähden. Tarvittaessa korjataan korkeusmallissa olevat erittäin karkeat virheet tai vedenpinnan maskauskorkeutta muokataan maastoon sopivaksi. Kunnossa oleva korkeusmalli tallennetaan maastotietokantaan. Joskus saatetaan yksittäinen laatuluokan II alue keilata uudestaan keväällä aikaikkunassa A tai B. Tällöin tuon alueen korkeusmalli parannetaan laatuluokkaan I eli alueelle perustetaan KM2 laatuluokan I prosessin mukaisesti.

Laatuluokassa II korkeusmallin perustaminen ja ajantasaistaminen tehdään samalla tavalla, joten luvussa 4.3.2 oleva kuvaus KM2:n ajantasaistamisesta laatuluokassa II soveltuu käytettäväksi myös yksityiskohtaisena kuvauksena KM2:n perustamisesta laatuluokassa II.

Kuviosta 10 selviää laatuluokan I ja laatuluokan II korkeusmallien sijoittuminen valtakunnallisesti. Maanmittauslaitos on tehnyt yhteistyötä laserkeilausaineistoa

tarvitsevien eri valtion organisaatioiden kanssa päätettäessä muun muassa keilattavista alueista ja keilausajankohdasta. Esimerkiksi metsäsektorilla on tarve saada käyttöönsä kesällä keilattua aineistoa metsäinventointia varten. Yhteistyön tarkoituksena on pyrkiä välttämään tekemästä päällekkäisiä keilauksia samoilla alueilla ja lisätä keilausaineistojen mahdollisimman laajaa hyödyntämistä eri organisaatioissa. (Ahonen 2019, 1–2.)

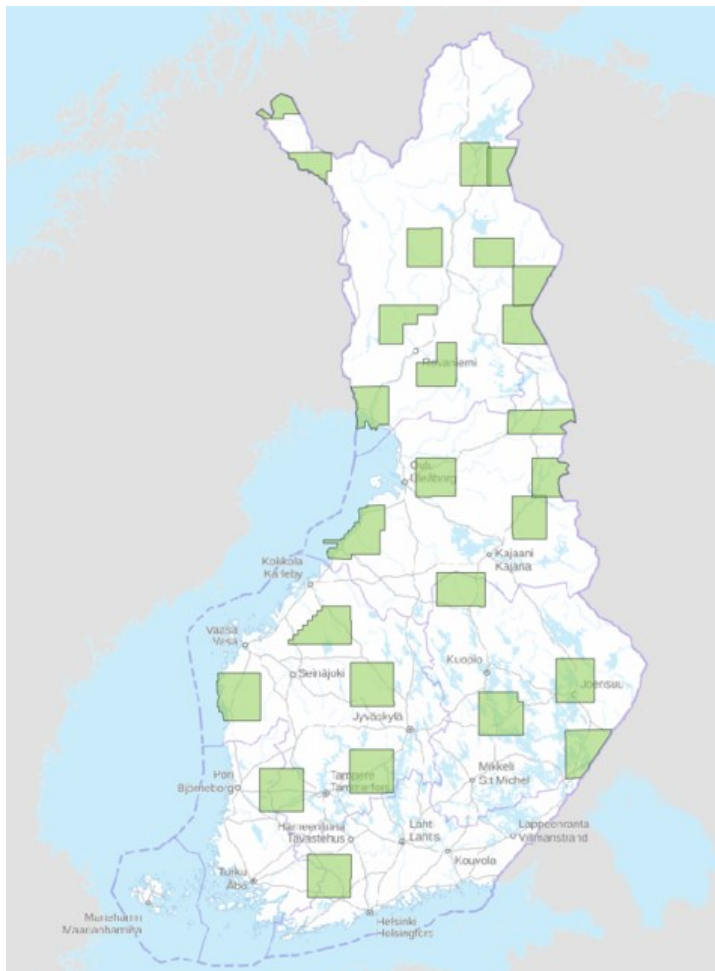


Kuvio 10. Laatuluokan I ja II alueiden valtakunnallinen sijoittuminen (MML 2025h)

## 4 KM2:N AJANTASAISTAMINEN

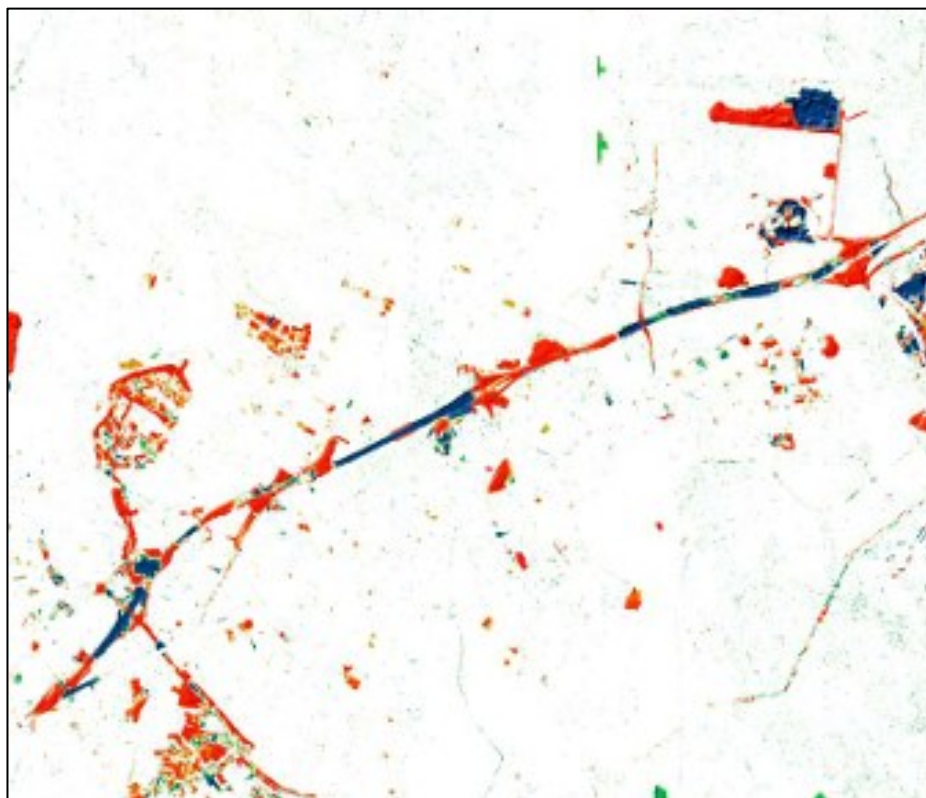
### 4.1 Ajantasaistamisen periaate

Vuonna 2017 KM2-tuotanto jaettiin kahteen toimintoon: korkeusmallin perustamiseen ja ylläpitoon. Korkeusmallin perustamisessa KM2 muodostetaan ensimmäistä kertaa ja ylläpidossa olemassa olevaa KM2:sta ajantasaistetaan tai parannetaan laatuluokasta II laatuluokkaan I (KM2:n perusparannus). KM2:sen ajantasaistamista tehdään sekä laatuluokassa I että laatuluokassa II. (Maanmittauslaitos 2018, 2.) Olemassa olevaa KM2:sta pyritään ajantasaistamaan aina, kun uusia kansallisen laserkeilausohjelman mukaisia keilausaineistoja tulee saataville. Alla olevassa kartassa esitetään vihreällä rajauksella kaikki vuonna 2024 laserkeilatut alueet (kuvio 11). Pyrkimyksenä on saada KM2 päivitettyä noilta alueilta vuoden 2025 aikana.



Kuvio 11. Vuoden 2024 laserkeilausalueet (MML 2025h)

KM2:n ajantasaistamisen pääperiaatteena laatuluokassa I on verrata uudesta pistepilvestä laskettua 2 metrin korkeusmallia (uusi korkeusmalli) edellisen laserkeilauksen pistepilvestä laskettuun 2 metrin korkeusmalliin (vanha korkeusmalli) laskemalla korkeusmallien välinen erotuskorkeusmalli koko tuotantoalueelta. Erotuskorkeusmallissa on visualisoituna korkeusmallien väliset korkeuserot. Kuviossa 12 on pala koko tuotantoalueen erotuskorkeusmallin visualisointikuvasta, jossa korkeusmallien väliset erot näkyvät selvästi. Punainen väri ilmaisee uuden korkeusmallin olevan vanhaa korkeusmallia ylempänä, ja sininen väri alempana. Kuvassa erottuvat hyvin tierakennusalueet, uusi omakotitaloalue sekä maa-ainesten ottamis- ja täyttämisaalue.



Kuvio 12. Korkeusmallien väliset korkeuserot havainnollistettuna erotuskorkeusmallin visualisointikuvassa (MML 2018)

Erotuskorkeusmallin visualisointikuvalta rajataan korkeuseroa kuvaavia kohtia eli haetaan maanpinnan korkeudessa ihmisen toimesta tapahtuneita selkeitä ja merkittäviä muutoksia ja rajataan nuo muutosalueet. Muutosalueiden maanpintaluokitus tarkistetaan ja tarvittaessa pisteiden luokitusta korjataan. Seuraavaksi suoritettavassa 2 metrin yhdistelmäkorkeusmallin laskennassa

vanha korkeusmalli korvataan rajattujen muutosalueiden sisäpuolelta uudella korkeusmallilla. Laskettu yhdistelmäkorkeusmalli rekisteröidään maastotietokantaan. Yhdistelmäkorkeusmallin pistepilvi eli yhdistelmäpistepilvi tallennetaan verkkolevylle, ja sitä käytetään seuraavalla kerralla suoritettavassa korkeusmallin ajantasaistuksessa vanhan korkeusmallin pistepilvenä. Laatuluokassa I tuotantoalueeseen sisältyviä kaikkia karttalehtiä ei automaattisesti ajantasaisteta. Vaan ainoastaan ne karttalehdet, joihin osuu muutosaluerajaus, ajantasaistetaan.

Laatuluokassa II on päädytty kevyempään korkeusmallin ajantasaistusprosessiin. Siinä KM2 ajantasaistetaan laskemalla korkeusmalli uudesta pistepilvestä koko tuotantoalueelta ja maskaamalla vakavesialueet. Tässä laatuluokassa sekä korkeusmallin perustaminen että ajantasaistaminen tehdään samalla tavalla.

Korkeusmalli KM2:n ajantasaistamisen lähtöaineistona käytetään kansallisen laserkeilausohjelman mukaisesti keilattuja aineistoja, jotka on laserkeilauslaadunvalvonnassa MML:ssä tarkastettu, luokiteltu ja harvennettu 0,5 pistettä/m<sup>2</sup> pistetiheyteen. Kansallista laserkeilausohjelmaa on ollut vuosina 2020–2025 ohjaamassa ja rahoittamassa KALLIO-yhteistyöelin, johon kuuluu MML, Suomen metsäkeskus, Metsähallitus, Ruokavirasto ja Suomen ympäristökeskus (Kareinen 2024, 3–4). KALLIO-yhteistyökumppaneiden yhteisestä päätöksestä laserkeilausohjelman mukaiset laserkeilaukset suoritetaan pääasiassa kesäkeilauksina. Tämän takia korkeusmallin ajantasaistamisessa voidaan käyttää kevätkeilausaineistoa todella harvoin. Korkeusmallin ajantasaistusprosessissa kasvillisuuden nostava vaikutus korkeusmalliin pyritään pitämään mahdollisimman vähäisenä.

Yksittäisen KM2-tuotantoalueen ajantasaistaminen voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen. Nuo vaiheet ovat ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmistelu, korkeusmallin varsinainen ajantasaistaminen ja ajantasaistetulle aineistolle tehtävät viimeistelytoimet.

## 4.2 Ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmistelu

Korkeusmallin KM2 aineiston ennakkovalmistelua tehdään laatuluokka I aineistolle, ja käsittelyalueena on KALLIO-ohjelman mukaan toteutunut kokonainen laserkeilauksen tuotantoalue. Lähtöaineistona käytettävästä laatuvarmistetusta pistepilviaineistosta tuotetaan korkeusmallin karttalehtikohtaista (3 km x 3 km) ajantasaistamista varten tarvittavat tiedostot ja visualisointikuvat levykansioon EE:n eräajotoimintoa käyttämällä. Eräajo-työkalua käytettäessä tarvitaan tekstitiedosto, joka sisältää laskettavan alueen karttalehdet listana sekä käytettävien karttalehtien nurkkakoordinaatit. Tekstitiedosto muodostetaan joko maastotietokannasta ajantasaistettavan alueen MASU-suunnitelmasta tai hyödyntämällä laserkeilauksen laadunvalvontaprosessissa syntynyttä keilausalueen csv-tiedostoa.

Eräajo-työkalulla muodostetaan ensin eräajossa käytettävä ohjaustiedosto load.ebx, joka määrittelee laskettavan alueen ulottuvuudet, käytettävät pisteluokat sekä millä periaatteella korkeusmalli lasketaan. Sitten suoritetaan eräajo. Eräajon uusina pisteinä käytetään uutta pistepilveä ja vanhoina pisteinä edellisellä kerralla muodostettua stereoluokiteltua pistepilveä tai yhdistelmäpistepilveä. Laskennassa käytössä on vain ground-luokan pisteet. Koska KM2:n ajantasaistusvaiheessa on todettu pistepilven kaikista pisteistä laskettujen pintamallin visualisointikuvien olevan hyödyllisiä, niin seuraavaksi suoritetaan toinen eräajo kaikilla pisteillä pintamallin laskemista varten. Eräajojen tuloksena syntyvät koko alueen uuden ja vanhan korkeusmallin visualisointikuvat, erotuskorkeusmallin visualisointikuvat, uusien ja vanhojen pisteiden tietokannat ja projektit, karttalehtikohtaiset uusien ja vanhojen pisteiden pistetietokannat sekä karttalehtikohtaiset kansiot sisältäen karttalehden alueelta eri korkeusmallien visualisointikuvat ja eräajossa muodostuneet rajauspolygonit muutoskohde-ehdotuksena. (Maanmittauslaitos 2018, 5–7.)

Koko alueen visualisointikuvien valmistumisen jälkeen on hyvä tarkistaa kuvien muodostumisen onnistuminen avaamalla kuvat. Jos kuvan muodostumisessa on puutteita, niin sitten tehdään päätös, voiko kuvaa silti käyttää vai suoritetaanko eräajo uudestaan. Muodostuneiden karttalehtikohtaisten kansioiden sisältöä

vielä muokataan levykansioon kopioitujen komentotiedostojen avulla. Karttalehtikansioihin lisätään ajantasaistusvaiheessa käytettäviä komentotiedostoja sekä kansioden sisältö siistitään turhista eräajoissa muodostuneista tiedostoista. Tämän jälkeen karttalehtikansiot sisältävät new- ja old-alikansiot aineistoihin sekä karttalehtikohtaisessa työskentelyssä käytettävät visualisointikuvat, komentotiedostot ja rajauspolygoniehdotukset.

Seuraavaksi tuotantoalueen karttalehtikohtaiset kansiot, karttalehtilistan sisältävä tekstitiedosto ja tarvittavat komentotiedostot kopioidaan verkkolevylle luotuun tuotantoaluekansioon. Kopioidun komentotiedoston avulla karttalehtikansioihin lisätään edellisellä kerralla muodostettu "vanha" visualisointikuva. Nyt ajantasaistettava aineisto on valmisteltu KM2:n karttalehtikohtaista ajantasaistamista varten.

Vielä verkkolevylle luodaan tuotantoaluekohtainen tulokansio KM2-ajantasaistuksessa muodostuvia tiedostoja varten. Tässä vaiheessa tulokansioon kopioidaan eräajoissa muodostuneet koko alueen visualisointikuvat ja niiden määrittelytiedosto kokoalue.els, csv-tiedosto karttalehtikohtaisten metatietojen tallentamista varten sekä maastotietokannasta irrotetut karttalehtikohtaiset vanhan korkeusmallin varmuuskopiot. Lopuksi ajantasaistettava tuotantoalue lisätään Tuotannon tilannekarttaan, joka on luotu tuotannon etenemisen seuraamista ja siihen liittyvien merkintöjen tekemistä varten.

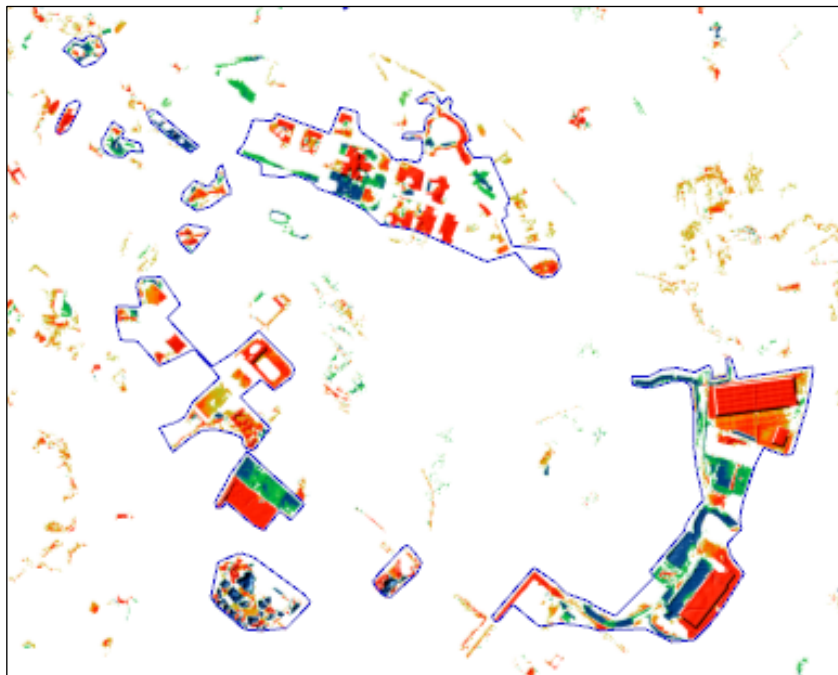
Laatuluokassa II aineistoa ei tarvitse valmistella ennakoon, koska laatuluokan II KM2-ajantasaistamisprosessiin on sisällytetty samoja ennakkovalmistelutoimia kuin on laatuluokassa I. Laatuluokan II KM2-ajantasaistamista käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.2.

### 4.3 Korkeusmallin ajantasaistusprosessi

#### 4.3.1 Laatuluokka I

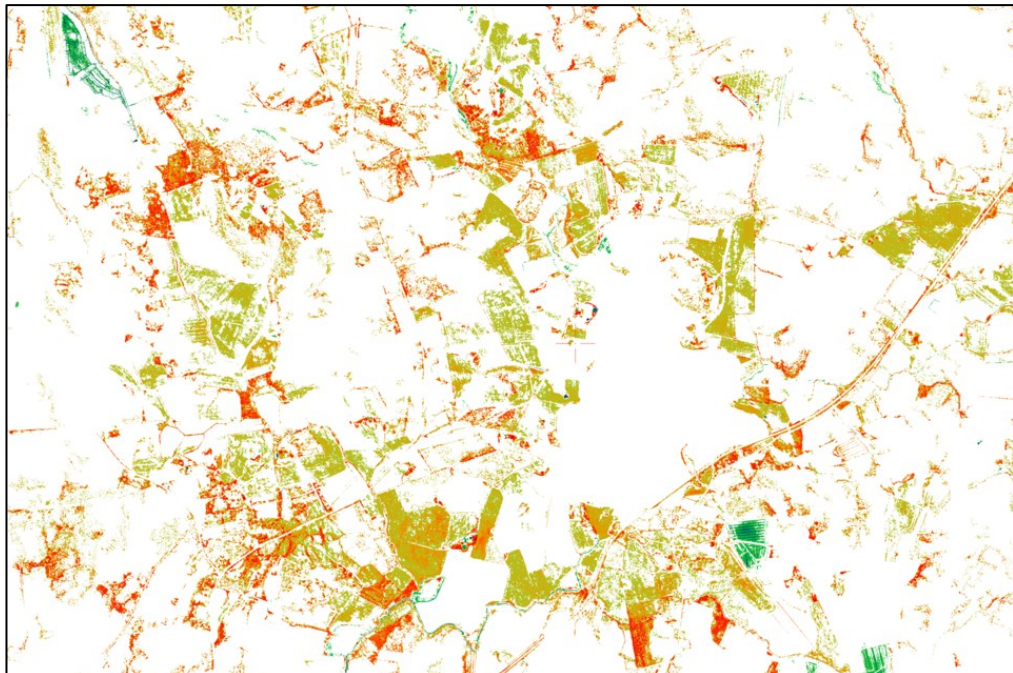
Korkeusmallin KM2 ajantasaistaminen tapahtuu karttalehtikohtaisesti vuorovaikutteisena työskentelynä. Käytettävä aineisto löytyy verkkolevyllä tallennetusta karttalehtikansiosta. Tavoitteena on huolehtia, että jokaisen muutosalue rajauksen sisäpuolella olevan pistepilviaineiston luokitus on tarkistettu ja oikein. Usein tässä prosessissa joudutaan korjaamaan pistepilven luokitusta rajatulta muutosalueelta, jotta ajantasaistettu KM2 vastaisi todellisuutta myös muuttuneessa kohdassa.

Käytännössä on todettu, että KM2:n ajantasaistaminen on järkevää aloittaa koko tuotantoaluetta koskevassa erotuskorkeusmallissa erottuvien muutosalueiden rajaamisella. Alueiden rajaaminen suoritetaan EE:n EV-ikkunassa erotuskorkeusmallin visualisointikuvan päällä, ja rajaukset tallennetaan työaseman levyille. Esimerkkikuvassa näkyy muutosalueet rajattuina erotuskorkeusmallin visualisointikuvalla (kuvio 13). Kuva on tallennettu Helsinki-Vantaan (keilausvuosi 2024) tuotantoalueen ajantasaistetun aineiston viimeistelyvaiheessa tehtävien aineistotarkistusten yhteydessä.



Kuvio 13. Muutosalueet rajattuina erotuskorkeusmallin visualisointikuvalla

Rajauksien tekemisen vihjetietona voi käyttää eräajossa muodostuneita karttalehtikohtaisia valmiita rajauspolygoneja. Vaihtoehtona muutosalueiden suoralle rajaamiselle on käyttää edellä mainittuja rajauspolygoneja, ja muokata ne sopivammiksi muutosaluerajauksiksi. Toisinaan rajattavat muutosalueet eivät näy erotuskorkeusmallin visualisointikuvassa, vaan ne erottuvat esimerkiksi uuden korkeusmallin tai pintamallin visualisointikuvassa. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi uudet metsäautotiet. Tämän vuoksi on tarpeen vilkutella korkeusmallien eri visualisointikuvia etsiessään muutoskohteita. Lisäksi usein joudutaan käyttämään muita aineistoja apuna rajattavia muutosalueita valittaessa. Tällaisia apuaineistoja ovat esimerkiksi ilmakuvat, opaskartat ja Google Maps -kartat. Rajattavien muutosalueiden valitseminen on haastavaa erityisesti silloin, kun keilaushetkellä on maanpinnalla ollut runsaasti kasvillisuutta. Tällöin on välillä vaikea erottaa visualisointikuvalta, mikä on ihmisen tekemä merkittävä muutoskohta maanpinnalla ja mikä on pelkkää kasvillisuutta. Esimerkkikuva haastavasta kohdasta on tallennettu ajantasaisesti aineiston ennakkovalmisteluvaiheessa muodostetusta erotuskorkeusmallin visualisointikuvasta. (Kuvio 14.)



Kuvio 14. Erotuskorkeusmallin visualisointikuvassa näkyy, että keilaushetkellä (kesäkeilaus) on ollut jo runsaasti kasvillisuutta maanpinnalla. Kasvillisuuden aiheuttama "kohina" hankaloittaa muutosalueiden rajaamista.

Jotta jatkossa olisi selvää, mitkä tuotantoalueeseen sisältyvien karttalehtien korkeusmallit tulee ajantasaistaa, niin muutosalueiden rajaamisen valmistuttua merkitään Tuotannon tilannekarttaan kaikki ne karttalehdet, joihin osuu muutosaluerajauksia. Seuraavaksi esitetään kuvaus rajausten tekemisen jälkeisestä KM2:n ajantasaistamisesta kokonaisuudessaan, ja tekstin selvennykseksi koko ajantasaistusprosessi laatuluokassa I esitetään pelkistettynä kaaviona tämän luvun lopussa kuviossa 15.

Karttalehtikohtaista KM2-ajantasaistamista varten ensimmäiseksi kopioidaan karttalehtikansio verkkolevyltä oman työaseman levyille. Tuossa kansiossa on kaikki korkeusmallin ajantasaistamiseen tarvittava aineisto valmiina. Korkeusmallin ajantasaistaminen aloitetaan luomalla EE-projekti pistepilven käsittelemistä varten. Projektiin tuodaan "vanha" maastotietokannassa oleva KM2. Tässä vaiheessa käynnistetään karttalehtikansioon valmisteluvaiheessa kopioitu komentotiedosto, joka kopioi projektiin tuodun vanhan korkeusmallin tiedostot karttalehtikansioon. Samalla nuo tiedostot ja uuden laserkeilauksen pistetiedostot linkitetään karttalehtikansiosta EE-projektiin. Nyt projektissa on käytettävissä vanha KM2 ja uuden keilauksen pisteet.

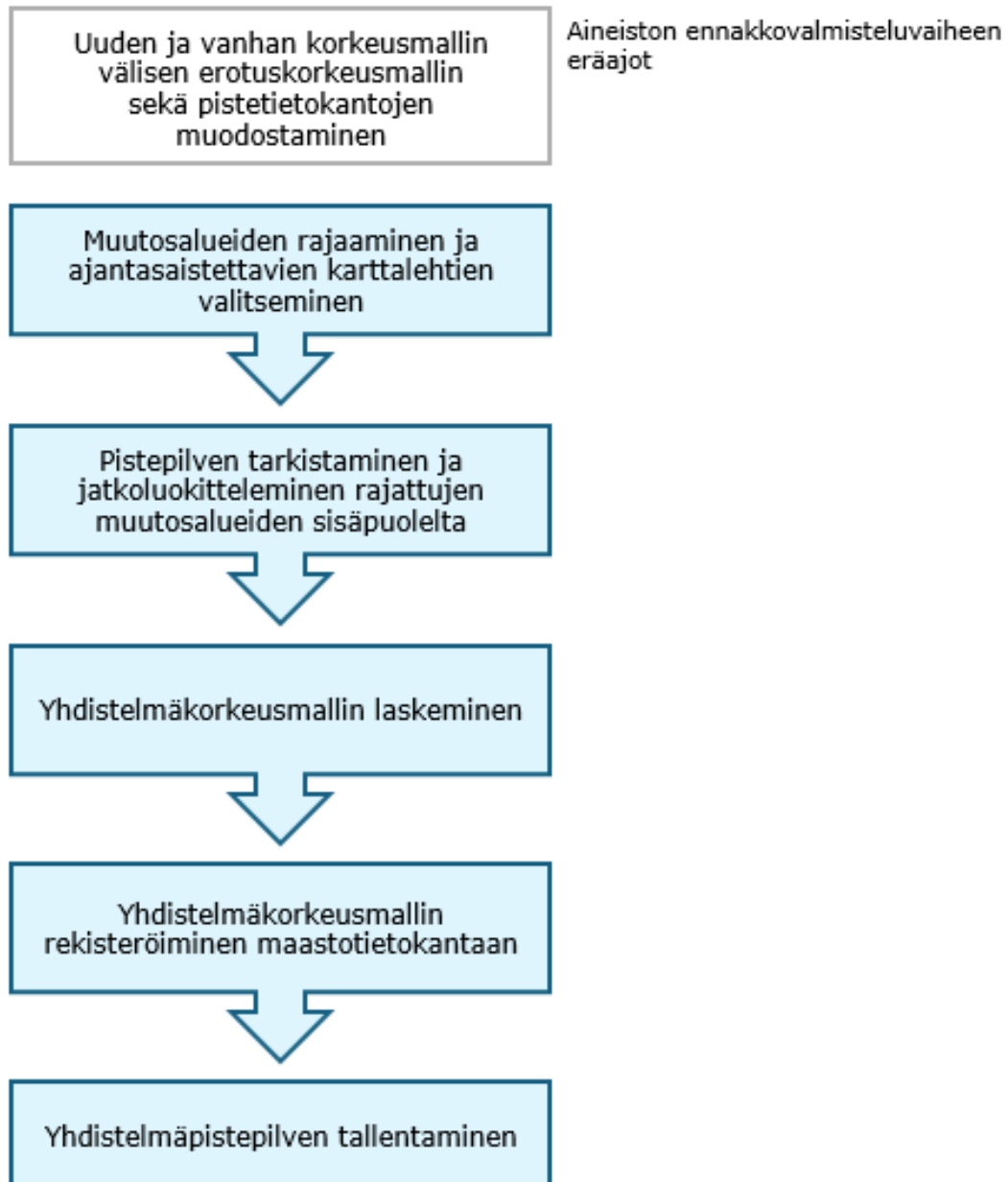
Varsinainen KM2-ajantasaistaminen aloitetaan laskemalla EE-projektissa uusi korkeusmalli käyttämällä uuden keilauksen pisteitä. Sitten avataan karttalehden visualisointikuvat EE:n EV-ikkunassa ja kuvien päälle tuodaan työaseman levyille tallennettu muutosaluerajaukset sisältävä tiedosto. Koska nyt avatut visualisointikuvat kattavat yhden karttalehden (3 km x 3 km) alueen koko tuotantoalueen sijaan, niin rajattavat muutosalueet sekä tallennettujen rajausten istuvuus on helpompi huomata ja tarkistaa. Rajauksia saatetaan vielä joutua muokkaamaan, lisäämään tai poistamaan EV-ikkunassa, ja mahdolliset muutokset tulee tallentaa muutosaluerajaustiedostoon. Kunnossa olevat muutosaluerajaukset tuodaan EE-projektiin. Tarvittaessa näiden rajausalueiden sisäpuolelta korjataan pistepilvessä pisteiden luokitusta tai lisätään pisteitä korkeusmallin korjaamiseksi. Jos pistepilveä on jouduttu muokkaamaan, tulee korkeusmalli laskea paikallisesti uudelleen pistepilven muokkauskohdissa. Projektissa on nyt käytettävissä sekä vanha että uusi korkeusmalli.

Seuraavaksi suoritetaan yhdistelmäkorkeusmallin laskenta, jossa muutosalueajausten sisäpuolelta vanha korkeusmalli korvataan uudella korkeusmallilla. Lopputuloksena muodostuvassa yhdistelmäkorkeusmallissa vanha korkeusmalli muuttuu vain muutosalueiden kohdalta. Tämä muutos on hyvä heti tarkastaa EE-näkymässä, että korkeusmallin muuttuneet kohdat näyttävät oikeanlaisilta. Tässä vaiheessa on vielä helppo korjata pistepilvessä pisteiden luokitusta ja laskea yhdistelmäkorkeusmalli uudestaan. Kun yhdistelmäkorkeusmallissa ei ole korjattavaa, se tallennetaan maastotietokannan työhön vanhan korkeusmallin päälle. Tämä MTK:n työhön vienti tarkistetaan muodostamalla visualisointikuva nyt työssä olevasta korkeusmallista. Tässä visualisointikuvassa näkyy hyvin, jos vietyyn yhdistelmäkorkeusmalliin on kuitenkin jäänyt epäloogisia tai virheellisiä kohtia. Jos näin on, niin yhdistelmäkorkeusmallin vienti MTK:n työhön perutaan ja palataan korjaamaan pistepilvessä pisteiden luokitusta. Tarkistusmielessä vielä visualisoidaan yhdistelmäkorkeusmallin ja vanhan korkeusmallin välinen erotusmalli, jossa pitäisi olla visualisoituna vain korkeusmallin muuttuneet kohdat. Molemmat visualisointikuvat tallennetaan työasemalla olevaan karttalehtikansioon.

KM2-ajantasaistamisessa yhdistelmäkorkeusmallin lisäksi muodostetaan myös yhdistelmäpistepilvi. Ennen yhdistelmäpistepilven tallentamista tulee varmistua siitä, että vanhan korkeusmallin pisteet on linkitetty EE-projektiin uusien pisteiden kanssa ja muutosalueajaukset on tuotu projektiin. Tällöin yhdistelmäpistepilven muodostaminen EE:ssä onnistuu. Yhdistelmäpistepilvessä vanhat pisteet on korvattu uusilla pisteillä muutosalueajausten sisäpuolelta. Korkeusmallin ajantasaistusprosessin lopussa yhdistelmäpistepilvi vielä kopioidaan verkkolevylle. Toisin kuin stereomalliluokiteltua pistepilveä yhdistelmäpistepilveä ei jaeta avoimena aineistona, vaan sitä käytetään vanhoina pisteinä, kun seuraavalla kerralla suoritetaan KM2-ajantasaistusta samalta alueelta.

KM2-ajantasaistusprosessin lopussa yhdistelmäkorkeusmalli rekisteröidään maastotietokantaan, ja samalla karttalehden metatiedot päivittyvät verkkolevyllä olevaan csv-tiedostoon. Sitten karttalehden alueen visualisointikuvat yhdistelmäpistepilven kanssa tallennetaan verkkolevylle ja Tuotannon

tilannekarttaan merkitään KM2 ajantasaistetuksi karttalehden alueelta. Tiivistetään vielä koko KM2-ajantasaistusprosessi laatuluokassa I yhteen kaavioon (kuvio 15).

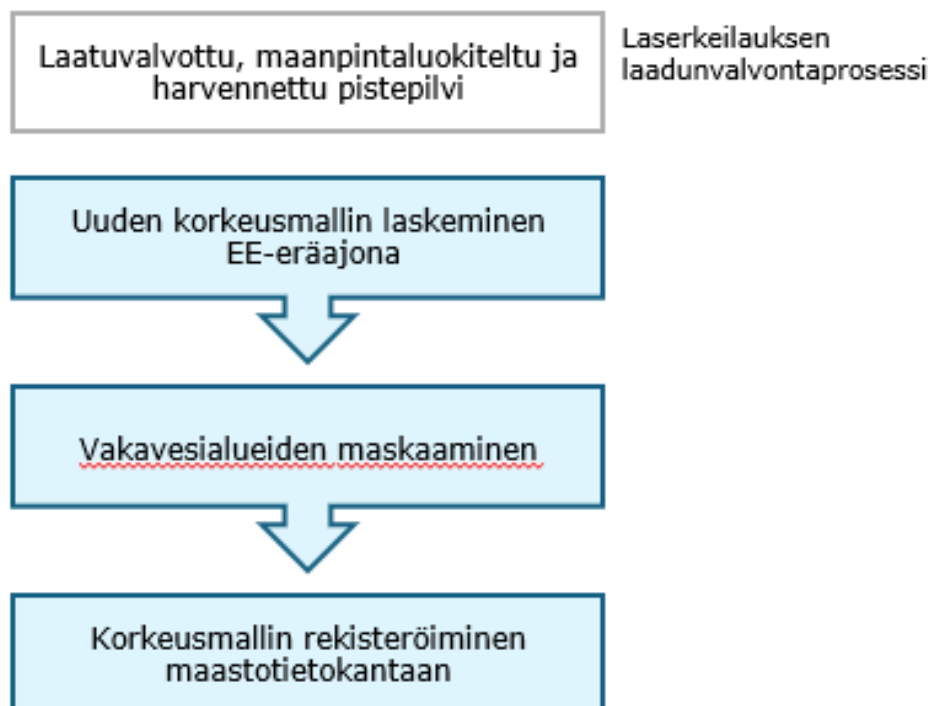


Kuvio 15. KM2-ajantasaistusprosessi laatuluokassa I (mukaillen MML b)

#### 4.3.2 Laatuluokka II

Laatuluokassa II KM2-ajantasaistaminen sisältää uuden korkeusmallin laskemisen, vakavesialueiden maskaamisen ja korkeusmallin tallentamisen maastotietokantaan. Pistepilven pisteitä ei jatkoluokitella. KM2 ajantasaistetaan

kaikkien tuotantoalueen laatuluokka II -alueeseen kuuluvien karttalehtien alueelta. Lähtöaineistona käytetään verkkolevyllä olevaa uuden laserkeilauksen laatutarkistettua ja harvennettua pistepilviaineistoa. Tarvittavat tiedostot ja EE-tietokannat muodostetaan sekä uusi korkeusmalli lasketaan käyttämällä EE:n eräajotoimintoa. Koko tuotantoalueen vakavesialueet maskataan yhdellä kertaa ja korkeusmallia tallennetaan maastotietokantaan yhden karttalehden (3 km x 3 km) kattama alue kerrallaan. Pistepilveä eikä visualisointikuvia tallenneta. Tämä prosessikokonaisuus on havainnollistettu kaaviomuodossa ennen varsinaista prosessikuvausosuutta (kuvio 16).



Kuvio 16. KM2-ajantasaistusprosessi laatuluokassa II (mukaillen MML b)

KM2-ajantasaistamisen aloittamista varten Tuotannon tilannekarttaan rajataan ajantasaistettava tuotantoalue keilausalueen ulottuvuuksien mukaan laatuluokka II -alueelle. Tilannekartan tietoja päivitetään korkeusmallin ajantasaistamisen etenemisen mukaan. Varsinainen työskentely aloitetaan luomalla tuloksansio työasemalle eräjossa muodostuvia tiedostoja varten. Heti tässä vaiheessa kannattaa tuloksansioon tallentaa myös korkeusasteikkotiedosto erotusmallin visualisointia varten ja vakavesialueiden rantaviivat sisältävä tiedosto vakavesialueiden maskaamisessa käytettäväksi. Vähintään 1 000 m<sup>2</sup> kokoisten vakavesialueiden ja altaiden rantaviivat irrotetaan koko tuotantoalueen kohdalta

maastotietokannasta EC-ohjelmaan, josta ne tallennetaan tulokansioon shape-muodossa.

Seuraavaksi suoritettavaa EE:n eräajoa varten tarvitaan tekstitiedosto, joka sisältää listan laskennassa käytettävistä karttalehdistä (3 km x 3 km) numeroineen ja nurkkakoordinaatteineen. Ensin tulostetaan maastotietokantaan alueittain tehdystä KM2-MASU-suunnitelmasta alueen kattava karttalehtilista. Laskentaa varten karttalehtilistaan lisätään ajantasaistettavaa aluetta ympäröivät karttalehdet (3 km x 3 km), koska eräajossa korkeusmallilaskenta-alue on 10 metriä varsinaista ajantasaistettavaa aluetta laajempi. Näin varmistetaan erityisesti pisteettömissä kohdissa korkeusmallin kynnyksetön jatkuvuus ajantasaistettavan alueen reunalla.

Eräajo-työkalulla luodaan laskennan ohjaustiedosto load.ebx. Toimiakseen oikein eräajo-työkalu tarvitsee tiedon, missä sekä uusi että vanha pistepilvi sijaitsevat verkkolevyllä. Molemmat tiedot ovat välttämättömiä. Koska laatuluokassa II ei tehdä uuden ja vanhan korkeusmallin vertaamista, niin prosessin kannalta pelkästään uuden korkeusmallin laskeminen uudesta pistepilvestä riittää. Eräajo-työkalun toimintatavan takia sekä uusien että vanhojen pisteiden lähtöaineistoksi merkitään sama uusi pistepilviaineisto. Tämän takia tulokansioon muodostunutta load.ebx-tiedostoa joudutaan räätälöimään poistamalla siitä turhat vanhan korkeusmallin ja erotuskorkeusmallin laskentaosiot, ja jättämään jäljelle vain uuden korkeusmallin laskentaosion. Näin säästyy aikaa, kun vanhan korkeusmallin pistetiedostoja ei tarvitse turhaan ladata levyille korkeusmallin laskentaa varten. Eräajon tuloksena tulokansioon muodostuvat uusien pisteiden pistetietokannat, EE-projektitiedosto ja koko tuotantoalueen kattava uusi korkeusmalli laskettuna. Visualisointikuvia ei muodosteta.

Eräajolaskennan jälkeen vakavesialueiden rantaviivat tuodaan EE-projektiin, ja koko tuotantoalueen vakavesialueet maskataan rantaviivojen sisäpuolelta maanpintapisteiden keskiarvon mukaiseen tasakorkeuteen. Tämän jälkeen maskattua korkeusmallia tallennetaan maastotietokantaan yhden karttalehden alue kerrallaan. Samassa yhteydessä tulokansioon muodostuvat

karttalehtikohtaiset varmuuskopiot asc-muodossa päivitetystä korkeusmallista ja alkuperäisestä vanhasta korkeusmallista.

Ennen karttalehtikohtaisen korkeusmallin viennin rekisteröimistä maastotietokantaan avataan siirtyneen korkeusmallin visualisointikuva EC-ohjelmassa ja tarkistetaan korkeusmallin eheys ja loogisuus. Korkeusmallissa ei saa olla reikiä tai erittäin karkeita virheitä ja vakavesialueiden korkeustason tulee olla looginen ympäröivään maastoon nähden. Jos visualisointikuvalla näkyy korjattavia kohtia, niin prosessissa palataan korjaamaan maskauskorkeutta, korkeusmallia tai mahdollisesti pistepilveä. Kun siirretty korkeusmalli on kunnossa, on hyvä vielä tarkistaa korkeusmallien välisen erotuksen visualisointikuva. Varmuuskopioiden välinen erotus lasketaan ja sen visualisointikuva avataan EC-ohjelmassa. Erotusta visualisoidaan tuloksansioon tallennetulla korkeusasteikkotiedostolla, ja visualisointikuvalla pitäisi jäädä näkyviin pääasiassa keilausten väliset kasvillisuuden rehevyyserot ja vedenpinnan korkeuserot. Viimeiseksi vahvistetaan maastotietokantaan tehdyt muutokset ja rekisteröidään työ. Tuotannon tilannekarttaan merkinnän tekemistä KM2-ajantasaistustyön rekisteröimisestä MTK:aan ei tule unohtaa.

#### 4.4 Ajantasaistetun aineiston viimeistely

Kun laatuluokassa I koko tuotantoalueen KM2-ajantasaistus on päättynyt, tuotantoalueen kaikkien ajantasaistettujen karttalehtien tiedostot ovat kopioituneet verkkolevylle tuotantoaluekohtaiseen tuloksansioon. Ajantasaistetun aineiston viimeistelyvaiheessa varmistetaan tuon kansion sisältö ja tiedostojen määrä, koska koko tuotantoalueen ajantasaistettu aineisto tullaan myöhemmin varmuuskopioimaan ja arkistoimaan jatkokäyttöä varten. Opinnäytetyössä ei kuitenkaan käsitellä aineiston varmuuskopiointia tai arkistointia. Tässä viimeisessä korkeusmallin ajantasaistusprosessin vaiheessa tarvittavat tarkistusvisualisointikuvat muodostetaan käyttämällä EE:n eräajotoimintoa.

Käytettäessä eräajo-työkalua tarvitaan tekstitiedosto, joka sisältää listan kaikista tuotantoalueen ajantasaistetuista karttalehdistä numeroineen ja

nurkkakoordinaatteineen. Tuo kyseinen tekstitiedosto saadaan kätevimmin muodostettua muokkaamalla aineiston ennakkovalmisteluvaiheessa tehtyä tekstitiedostoa poistamalla ajantasaistamattomat karttalehdet listasta. Muokkaamisen apuna on helppo käyttää KM2-ajantasaistusnäkyä Tuotannon tilannekartassa. Sieltä nähdään, mitkä tuotantoalueeseen kuuluvat karttalehdet on merkitty maastotietokantaan rekisteröidyiksi ja mitkä eivät ole. Samalla selviää ajantasaistettujen karttalehtien lukumäärä. Tässä yhteydessä kannattaa tarkistaa, että csv-tiedostossa on sama määrä ajantasaistetuksi kirjaantuneita karttalehtiä kuin on Tuotannon tilannekartassakin. Toinen lukumäärään liittyvä tarkistettava asia on verkkolevylle kopioituneiden karttalehtikohtaisten tiedostojen lukumäärä. Jos lukumäärät eivät täsmää Tuotannon tilannekartan kanssa, asia tulee selvittää ja korjata kuntoon.

Tässä viimeistelyvaiheessa suoritetaan niin sanottu yhdistelmäpisteilvien tarkistuseräajo EE-ohjelmistolla. Eräajossa verrataan tuotantoalueen kaikkien ajantasaistettujen karttalehtien uusista yhdistelmäpisteilvistä laskettua uutta korkeusmallia vanhoista pisteistä laskettuun vanhaan korkeusmalliin ja muodostetaan visualisointikuvat mallien välisistä eroista. Ensin eräajo-työkalulla muodostetaan ohjaustiedosto load.ebx, jonka visualisointikuvien muodostamisparametria muokataan manuaalisesti siten, että visualisointikuvien nimen perään lisätään liite \_yhdistelma. Näin korkeusmallin ajantasaistusprosessin eri vaiheissa muodostetut samannimiset visualisointikuvat on helppo erottaa toisistaan. Varsinainen eräajo käynnistetään ja käytetään muokattua load.ebx-tiedostoa.

Eräajon tuloksena muodostuvat tarvittavat korkeusmalleista lasketun erotusmallin visualisointikuvat ja niiden määrittelytiedosto kokoalue\_yhdistelma.els. Visualisointikuvat kopioidaan verkkolevylle. Verkkolevyllä olevan visualisointikuvien määrittelytiedoston kokoalue.els loppuun lisätään kokoalue\_yhdistelma.els-tiedostosta verkkolevylle kopioituja visualisointikuvia koskevat rivit. Kuviossa 17 on esimerkkikuva yhdistelmäpisteilvien tarkistusvisualisointikuvasta. Visualisointikuva ei kata kokonaista tuotantoaluetta, koska laatuluokassa I korkeusmallia ajantasaistetaan vain niillä yksittäisillä karttalehdillä, joihin osuu muutosaluetta. Kuvion kuva on

osa Närpiön (keilausvuosi 2024) tuotantoalueen tarkistusvisualisointikuvasta. Kuvassa valitut muutosalueet kuvautuvat harmaina.



Kuvio 17. Tarkistusvisualisointikuva Närpiön tuotantoalueelta

Seuraavaksi kontrolloidaan yhdistelmäpistepilvien oikeellisuus asettamalla EE:n EV-ikkunassa päällekkäin eräajossa muodostetut visualisointikuvat ja koko tuotantoalueen kattavat muutosalueerajaukset verkkolevyllä sijaitsevasta tiedostosta. Tässä tarkistetaan, että visualisointikuvalla näkyvät muutosalueet sijaitsevat vain muutosalueerajausten sisäpuolella (kuvio 17). Jos näin ei ole, niin asiaa tulee tutkia ja sitten tehdä tarvittavat korjaustoimenpiteet.

Aineiston ennakkovalmisteluvaiheessa verkkolevylle luotiin tuotantoaluekohtainen tuloskansio, johon muun muassa kopioitiin kaikki alueeseen sisältyvät maastotietokannasta irrotetut karttalehtikohtaiset vanhan korkeusmallin varmuuskopiot. Nyt poistetaan ajantasaistamattomien karttalehtien varmuuskopiot turhina. Tiedot tuotantoalueen ajantasaistamattomista karttalehdistä löytyy helpoimmin Tuotannon tilannekartasta.

Lopuksi maastotietokannassa oleva tuotantoaluekohtainen KM2-MASU-suunnitelma merkitään rekisteröidyksi. Tämän jälkeen tehdään valmistumisilmoitus tuotantoalueen KM2-ajantasaistuksen valmistumisesta. Laatulukaan II alueen kohdalla tehdään myös ilmoitus tuotantoalueen KM2-ajantasaistuksen valmistumisesta. Tieto KM2-ajantasaistuksen valmistumisesta on tärkeä maastotietokannan päivittäjille, koska heidän tehtävänsä on ajaa maastotietokannan kohteille korkeudet ajantasaistetusta korkeusmallista.

#### 4.5 Ajantasaistusohjeistus

Ajantasaisten ja selkeiden työhöjeiden hyödyntäminen sujuvoittaa monivaiheisessa prosessissa työskentelyä. Samalla ohjeiden mukaan toimiminen edesauttaa toivotun lopputuloksen toteutumista. Kun prosessissa työskentelee useita henkilöitä eri paikkakunnilla, niin toimiva ohjeistus on ensiarvoisen tärkeä asia.

KM2-ajantasaistusprosessi sisältää kolme eri työvaihetta, ja kukin työvaihe koostuu useasta peräkkäisestä toiminnosta, jotka tulee suorittaa tietyssä järjestyksessä. Näin saavutetaan haluttu lopputulos. KM2-ajantasaistusprosessissa on ollut käytettävissä työhöjeet korkeusmallin ajantasaistamisen alusta alkaen, mutta ne eivät enää kaikilta osin pidä paikkaansa. Korkeusmallin ajantasaistusvaiheen työhöjeita on pyritty pitämään ajan tasalla, kun taas aineiston ennakkovalmistelu- ja viimeistelyvaiheen ohjeistukset ovat jääneet puutteellisiksi. Käytössä oleva KM2-ajantasaistusprosessin ohjeistus ei siis vastaa nykytuotannon toimintoja, koska

niitä on jouduttu muuttamaan ohjelmistopäivitysten tai tietoteknisten muutosten takia. Prosessia on myös joissakin kohdin suoraviivaistettu ja toimintojen järjestystä muutettu.

Tässä opinnäytetyössä on kuvattu, millainen kokonaisuus MML:n KM2-ajantasaistusprosessi on nykyisin. Sekä ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmisteluvaiheen että ajantasaistetun aineiston viimeistelyvaiheen toiminnoissa on tapahtunut muutoksia viimeisten vuosien aikana, eikä vaiheiden alkuperäinen suppea ohjeistus ole pysynyt noiden muutosten mukana. Sen takia tämän opinnäytetyön yhteydessä on tuotettu molempia vaiheita varten pelkistetyt ohjeet työskentelyn etenemisestä aineiston valmistelemissa KM2-ajantasaistamista varten ja aineiston viimeistelemissä ajantasaistamisen jälkeen. Ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmisteluvaiheen ohje on luettavissa tämän opinnäytetyön liitteessä 1 ja ajantasaistetun aineiston viimeistelyvaiheen ohje liitteessä 4. Samalla varsinaisen KM2-ajantasaistusvaiheen ohjetta on päivitetty vastaamaan nykyistä prosessin kulkua. Suurin muutos on ollut muutosaluerausten tekemisen siirtäminen ennakkovalmisteluvaiheesta osaksi korkeusmallin ajantasaistusvaihetta. Nyt tuo muutos on kirjattu KM2-ajantasaistusvaiheen ohjeeseen, joka on vielä jaettu kahteen laatuluokkaan. Laatuluokan I ja II korkeusmallin ajantasaistaminen suoritetaan eri tavalla, ja siksi tarvitaan kumpaankin laatuluokkaan oma ohjeensa työskentelyn etenemisestä. KM2-ajantasaistusvaiheen ohje laatuluokassa I on luettavissa tämän opinnäytetyön liitteessä 2 ja ohje laatuluokassa II liitteessä 3. Näitä kaikkia neljää ohjetta käytetään myöhemmin MML:n KM2-ajantasaistusprosessin yksityiskohtaisten työhöjeiden päivittämisen tukena yhdessä tässä opinnäytetyössä julkaistun KM2-ajantasaistusprosessin kuvauksen kanssa.

## 5 POHDINTA

KM2-ajantasaistusprosessin alkamisesta on jo yli seitsemän vuotta, ja kuluneiden vuosien aikana prosessissa on tapahtunut muutoksia, joita ei oikeastaan ole kunnolla kirjattu muistiin. Prosessin ohjeiden käyttäjät ovat tehneet omia muistiinpanoja ohjeiden täydennykseksi käyttäessään niitä. Uudet käyttäjät tarvitsivat kuitenkin ajan tasalla olevaa prosessikuvausta ja -ohjetta. Näin syntyi ajatus KM2-ajantasaistusprosessin kuvauksen ja ohjeistuksen päivittämisestä opinnäytetyönä.

Prosessikuvauksen päivittäminen toteutettiin kertomalla opinnäytetyössä, miten KM2-ajantasaistusprosessi kokonaisuudessaan etenee ajantasaistettavan aineiston ennakkovalmistelusta aineiston ajantasaistamisen kautta ajantasaistetun aineiston viimeisteleminen arkistointia varten. Prosessi sisältää siis kolme eri vaihetta, ja toimintoja on paljon. Työohjeiden käyttäminen helpottaa merkittävästi työskentelyä prosessin eri vaiheissa, koska ohjetta seuraamalla mikään toiminto ei jää välistä ja asiat tehdään oikeassa järjestyksessä. Näin työskentelystä tulee sujuvaa ja mieli säilyy rauhallisena, kun mahdollinen ylimääräinen ihmettely ja asiasta toiseen poukkoilu jäävät pois. KM2-ajantasaistusprosessin ohjeet päivitettiin prosessin kuvauksen päivittämisen yhteydessä. Jokaiselle prosessin eri vaiheelle tehtiin oma ohjeensa, ja nuo ohjeet on liitetty opinnäytetyön loppuun liitteinä. Toimeksiantajan toiveesta julkaistavissa ohjeissa ei ole mainittu kaikkia yksityiskohtaisia tietoja kuten tiedostojen nimiä tai verkkolevyosoitteita.

Prosessikuvausta ja -ohjeita päivittäessäni pohdin samalla, olisiko mahdollista lisätä suoraviivaistaa tai yksinkertaistaa KM2-ajantasaistusprosessia. Korkeusmallin ajantasaistusvaiheessa muutosalueiden rajaaminen vaatii manuaalista työtä ja ajantasaistaminen tehdään karttalehtikohtaisena työskentelynä. Toki käytössä olevat ohjelmistot asettavat tiettyjä rajoituksia, miten aineistoja voi käsitellä. Mutta sitä voisi miettiä, miten prosessia kehitettäisiin entistä automaattisempaan suuntaan, esimerkiksi manuaalisia työvaiheita merkittävästi vähentämällä tai niistä jopa kokonaan luopumalla. Toinen kehitettävä kohde voisi olla siirtyminen karttalehtikohtaisesta korkeusmallin ajantasaistamisesta kohti koko tuotantoalueen

korkeusmallin ajantasaistamiseen yhdellä kertaa. Nämä muutokset todennäköisesti nopeuttaisivat prosessin läpimenoa ja ainakin vähentäisivät inhimillisistä virheistä aiheutuvia haittoja.

Huomasin nyt tätä Pohdinta-lukua kirjoittaessani, että opinnäytetyöni lähdeaineistona olen pääasiassa käyttänyt omia havaintojani, kokemustani ja tietämystäni KM2-tuotannosta, jonka tehtävien parissa olen pelkästään työskennellyt yli kymmenen vuotta. Viimeiset viisi vuotta KM2-tuotannossa on keskitytty KM2:n ajantasaistamiseen, koska KM2:n perustaminen päättyi vuonna 2020. Lisäksi lähdeaineistona on käytetty internetistä löytyvää materiaalia sekä MML:n sisäisessä käytössä olevaa materiaalia. KM2-ajantasaistamisesta ei luonnollisesti löytynyt paljoa kirjallisessa muodossa olevaa lähdeaineistoa, koska MML on ainoa KM2:sta ylläpitävä organisaatio eikä varsinaisesti tuosta aiheesta kirjoitettuja tutkielmia ole saatavilla.

Opinnäytetyön kirjoittaminen osoittautui yllättävän haastavaksi tehtäväksi, vaikka kirjoitin itselleni todella tutuista asioista, joiden parissa olen työskennellyt monia vuosia. En ollut varma, osaisinko kuvailla koko KM2-ajantasaistusprosessia selkeästi, ymmärrettävästi, johdonmukaisesti ja oikein. Monta prosessiin liittyvää yksityiskohtaa jouduin tarkistamaan kollegoilta ja MML:n sisäisistä materiaaleista. Mutta se oli hyvä asia, sillä olen oppinut paljon koko prosessista ja sen kulusta. Olen oppinut sellaisia asioita, joita ei tarvitse tietää siinä työpöydän ääressä korkeusmallia ajantasaistaessaan.

Tämän opinnäytetyön KM2-ajantasaistusprosessin kuvausta ja ohjeliitteitä tulaaan käyttämään pohja-aineistona, kun MML:ssa KM2-ajantasaistusprosessin eri vaiheiden ohjeet päivitetään vastaamaan nykyistä prosessin kulkua. Samalla KM2-tuotannossa vallitseva avainhenkilöriski pienenee, kun on käytettävissä ajan tasalla olevaa tietoa ja ohjeita kaikista KM2-ajantasaistamisen vaiheista ja niihin liittyvistä toimista. Toinen opinnäytetyön hyödyntämiskohde voisi olla tulevaisuudessa tapahtuva KM2-tuotannon uudistaminen. Maastotietojärjestelmässä on juuri otettu käyttöön uusi maastotietojen tuotantojärjestelmä ja KM2-tuotantoa osana maastotietojärjestelmää joudutaan myös uudistamaan jollakin tavalla

(Maanmittauslaitos 2025f). Tähän liittyvässä suunnittelutyössä on todennäköisesti mukana myös sellaisia asiantuntijoita, joille KM2-tuotannon prosessit eivät ole niin tuttuja, niin tästä opinnäytetyöstä heillä on mahdollisuus saada lisätietoa KM2-tuotannon prosessien kulusta. Vaikuttaa siltä, että tämä opinnäytetyö tulee käyttöön juuri ajoissa.

## LÄHTEET

Ahonen, T. 2019. Kesäkeilauksen soveltuvuus korkeusmallin 2 m tuotantoon ja vaikutusten arviointi laatumalliin. Opinnäytetyö, Metropolia ammattikorkeakoulu. Viitattu 1.4.2025 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201905067890>.

ESPA Systems Oy 2025. Products. Viitattu 16.3.2025 <https://www.espasystems.fi/products/>.

Holopainen, M., Tokola, T., Vastaranta, M., Heikkilä, J., Huiti, H., Laamanen, R. & Alho, P. 2015. Geoinformatiikka luonnonvarojen hallinnassa. Helsinki: Helsingin yliopiston metsätieteiden laitos. Viitattu 11.3.2025 <http://hdl.handle.net/10138/166765>.

Kareinen, J. 2024. KALLIO-ohjelma. Viitattu 8.4.2025 <https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/KALLIO-170424.pdf>.

Laaksonen, H. 2009. Maanmittauslaitoksen uusi valtakunnallinen korkeusmalli laserkeilaamalla – hyöty ja mahdollisuudet. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto.

Laki Maanmittauslaitoksesta 23.11.2018/1025. Viitattu 12.3.2025 <https://finlex.fi/eli?uri=http://data.finlex.fi/eli/sd/2018/1025/ajantasa/2018-11-23/fin>.

Maa- ja metsätalousministeriö 2006. Valtakunnallisen korkeusmallin uudistamistarpeet ja -vaihtoehdot. Työryhmämuistio. Viitattu 10.3.2025 <http://urn.fi/URN:ISBN:952-453-271-9>.

Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus 2016. Kansallisen maastotietokannan laatumalli: korkeusmallit. Viitattu 25.3.2025 [https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/05/KMTK\\_korkeusmallit\\_laatukasikirja\\_2017-01-02.pdf](https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2017/05/KMTK_korkeusmallit_laatukasikirja_2017-01-02.pdf).

Maanmittauslaitoksen työjärjestys 25.9.2023/948. Viitattu 12.3.2025 <https://finlex.fi/eli?uri=http://data.finlex.fi/eli/sd/2023/948/ajantasa/2023-09-25/fin>.

Maanmittauslaitos a. Korkeusmalli 2 m – Prosessikuvaus. Ei julkinen.

– b. PATI-prosessien kulkukaaviot. Ei julkinen.

Maanmittauslaitos 2014. YLEISOHJE pistepilven käsittelystä Espaympäristössä. Ei julkinen.

Maanmittauslaitos 2018. Korkeusmalli 2 m ajantasaistus työohje. Ei julkinen.

Maanmittauslaitos 2025a. Korkeusmalli 2 m. Viitattu 27.3.2025 <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/korkeusmalli-2-m>.

- 2025b. Korkeusmalli 10 m. Viitattu 14.3.2025  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/tuotekuvaukset/korkeusmalli-10-m>.
- 2025c. Korkeusmallit. Viitattu 13.4.2025  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit>.
- 2025d. Laserkeilaus ja ilmakuvaus. Viitattu 9.4.2025  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus-ja-ilmakuvaus>.
- 2025e. Maanpinnan korkeusmallista saat selville maaston korkeuden. Viitattu 11.3.2025 <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/kartat/mika-korkeusmalli>.
- 2025f. Maastotiedot uudistuvat. Viitattu 18.5.2025  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/aineistot-ja-rajapinnat/maastotiedot-ja-niiden-hankinta/maastotiedot>
- 2025g. Peruspaikkatietojen ylläpito. Viitattu 12.3.2025  
<https://www.maanmittauslaitos.fi/peruspaikkatietojen-yllapito>.
- 2025h. Tuotannon tilannekartta. Ei julkinen.

Meddens, A., Vierling, L., Eitel, J., Jennewein, J., White, J. & Wulder, M. 2018. Developing 5 m resolution canopy height and digital terrain models from WorldView and ArcticDEM data. *Remote sensing of environment*, Vol 218, 2018-12, 174–188. Viitattu 14.4.2025 <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.09.010>.

Vilhomaa, J. & Laaksonen, H. 2011. Valtakunnallinen laserkeilaus – testityöstä tuotantoon. *The Photogrammetric Journal of Finland*, Vol 22 Nro 3 (2011), 82–91. Viitattu 10.3.2025  
[https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf\\_e/2011/PJF2011\\_3\\_Vilhomaa\\_Laaksonen.pdf](https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Vilhomaa_Laaksonen.pdf).

## LIITTEET

- Liite 1. KM2-ajantasaistus ennakkovalmistelu -ohje (laatuluokka I)
- Liite 2. KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka I)
- Liite 3. KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka II)
- Liite 4. KM2-ajantasaistus viimeistely -ohje (laatuluokka I)

Liite 1 1(3). KM2-ajantasaistus ennakkovalmistelu -ohje (laatuluokka I)

## KM2-ajantasaistus ennakkovalmistelu -ohje (laatuluokka I)

### 1. Alkuvalmistelut

#### 1.1 KM2-laatualueen tarkistaminen

- Tarkista Tuotannon tilannekartasta KM2-laatualue keilausalueen kohdalta.

Laatualue II -alueella toimitaan laatualue II -ohjeen mukaisesti.

#### 1.2 Työhakemisto

- Yhdistä tarvittavat verkkolevyt.
- Luo työhakemisto eräajossa muodostuvia tiedostoja varten.
- Muodosta karttalehtilistan sisältävä tekstitiedosto ja tallenna se työhakemistoon.

### 2. Eräajot

#### 2.1 Eräajo 1

- Luo ohjaustiedosto load.ebx.
- Käynnistä eräajo.

#### 2.2 Eräajo 2 (pintamallin muodostaminen)

- Muokkaa eräajon 1 load.ebx-tiedostoa ja tallenna se eri nimisenä.
  - Poista vanhan korkeusmallin laskentaosio.
  - Lisää visualisointikuvien muodostamisparametriin loppuliite \_pinta.
  - Lisää kaikki pisteluokat laskentaan mukaan.
- Käynnistä eräajo käyttämällä muokattua load.ebx-tiedostoa.

Liite 1 2(3). KM2-ajantasaistus ennakkovalmistelu -ohje (laatuluokka I)

### 2.3 Kokoalue.els-tiedoston muokkaaminen

Yhdistetään kaikkien muodostuneiden visualisointikuvien koordinaattitiedot samaan kokoalue.els-tiedostoon.

- Kopioi eräajossa 2 muodostuneesta kokoalue\_pinta.els-tiedostosta kaikki kokoalue\_pinta-rivit eräajon 1 kokoalue.els-tiedoston loppuun.

### 2.4 Kokoaluekuvat

- Avaa kokoalue-tif-kuvat ja tee visuaalinen tarkistus kuvien muodostumisen onnistumisesta.

## 3. Komentotiedostot

- Kopioi verkkolevyltä komentotiedostot työhakemistoon.
- Käynnistä komentotiedostot Koonti ja Rääätälöinti.

## 4. Tuotantoaluekansio verkkolevylle

### 4.1 Tuotantoaluekansio

- Luo tuotantoaluekansio verkkolevylle.

### 4.2 Aineistojen kopioiminen tuotantoaluekansioon

- karttalehtikansiot tuloskansiosta
- karttalehtilistan sisältävä tekstitiedosto
- komentotiedostot verkkolevyltä

### 4.3 Komentotiedostot

- Käynnistä komentotiedostot Vanhat\_tifit ja Kopiointi.

Liite 1 3(3). KM2-ajantasaistus ennakkovalmistelu -ohje (laatuluokka I)

## 5. Tuotantoaluekohtainen tulostulos verkkolevylle

### 5.1 Tulostulos

- Luo tulostulos verkkolevylle.

### 5.2 Aineistojen kopioiminen tulostulostuloon

- kaikki kokoalue-visualisointikuvat työhakemistosta
- csv-tiedosto verkkolevyltä
- karttalehtikohtaiset vanhan korkeusmallin varmuuskopiot maastotietokannasta

## 6. Tuotannon tilannekartta

- Rajaa KM2-ajantasaistusalue keilausalueen ulottuvuuksien mukaan ottamalla samalla KM2-laatuokkaa huomioon.

Liite 2 1(4). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka I)

## KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka I)

### 1. Alkuvalmistelut

- Yhdistä tarvittavat verkkolevyt.
- Luo työasemallesi työaluekansio.

### 2. Muutosaluerajaukset

#### 2.1 Tarvittava aineisto

- Kopioi verkkolevyltä työasemasi työaluekansioon kaikki visualisointikuvat ja kokoalue.els-tiedosto.
- Avaa jokin EE-projekti.

#### 2.2 Muutosalueiden rajaaminen

- Avaa EE:n EV-ikkuna.
- Tuo kopioimasi visualisointikuvat EV-ikkunaan.
- Käy koko alue läpi EV-ikkunassa ja tee rajaukset merkittävien muutosalueiden ympärille. Voit käyttää karttalehtikansiossa olevia valmiita rajauksia.
- Tallenna valmiit rajaukset työasemasi työaluekansioon.
- Kopioi työaluekansioista kaikki rajaustiedostot verkkolevylle tuotantoaluekansioon.

#### 2.3 Ajantasaistettavien karttalehtien merkitseminen Tuotannon tilannekarttaan

- Tuo tallentamasi muutosaluerajaukset EV-ikkunaan.
- Avaa karttalehtijako EV-ikkunaan kuvan päälle.
- Merkitse Tuotannon tilannekarttaan Aloittamatta-tilaan kaikki ne karttalehdet, joissa on muutosaluerajauksia.

### 3. Karttalehtikohtainen työskentely

#### 3.1 Käytettävä aineisto

- Kopioi karttalehtikansio verkkolevyltä työasemasi työaluekansioon.

## Liite 2 2(4). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka I)

### 3.2 Karttalehtikohtainen EE-projekti

- Avaa EspaEngine.
- Luo projekti EE:ssä.
- Tallenna projekti karttalehtikansioon.

### 3.3 KM2:n tuominen maastotietokannasta

- Yhdistä MTK – EE.
- Tallenna maastotietokannasta tuotu KM2 karttalehtikansioon.

### 3.4 Gridien kopiointi

- Sulje EE-projekti.
- Käynnistä gridien kopiointi -komentotiedosto karttalehtikansiosta.

### 3.5 Uuden korkeusmallin laskeminen

- Avaa EE-projekti.
- Laske korkeusmalli uusista pisteistä.

### 3.6 Visualisointikuvat EV-ikkunaan

- Avaa EV-ikkuna.
- Tuo karttalehden visualisointikuvat EV-ikkunaan.

### 3.7 Muutosalue-rajaukset EV-ikkunaan ja EE-projektiin

- Tuo muutosalue-rajaukset EV-ikkunaan.
- Tarvittaessa muokkaa, lisää tai poista rajauksia.
- Kun rajaukset ovat kunnossa, vie ne EE-projektiin.
- Tarvittaessa luokittele tai lisää pistepilven pisteitä rajausten sisällä EE-näkymässä sekä tee paikallinen korkeusmallin uudelleenlaskenta ja vakavesialueiden maskaus.

Liite 2 3(4). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka I)

### 3.8 Yhdistelmäkorkeusmallin laskeminen EE:ssä

- Varmista, että oletuskorkeusmallina on uusi korkeusmalli.
- Laske yhdistelmäkorkeusmalli.
- Aseta yhdistelmäkorkeusmalli oletuskorkeusmalliksi.
- Tarkista lopputulos EE-näkymässä.

## 4. Työn rekisteröiminen maastotietokantaan

### 4.1 Työn avaaminen MTK:aan

- Työn nimen tulee olla muotoa KM2<karttalehti>.
- Linkitä työ verkkolevyllä olevaan csv-tiedostoon.
- Valitse oikea KM2-MASU-suunnitelma.

### 4.2 Yhdistelmäkorkeusmalli MTK:aan

- Yhdistä EE – MTK.
- Siirrä yhdistelmäkorkeusmalli MTK:aan.

### 4.3 MTK:aan viedyn yhdistelmäkorkeusmallin visualisointikuvien tarkistaminen ja tallentaminen

- Avaa EC:n Ruudukko-ikkuna.
- Tuo karttalehtikansioon tallentuneet export.asc- ja orig.asc-tiedosto Ruudukko-ikkunaan.
- Avaa export.asc-tiedoston visualisointi.
- Tarkista lopputulos visualisointikuvasta ja tallenna visualisointikuva karttalehtikansioon.
  
- Laske Ruudukko-ikkunassa korkeusmallien erotus.
- Avaa erotuksen visualisointikuva.
- Käytä karttalehtikansiosta löytyvää korkeusasteikkotiedostoa. Näkyviin jää vain mallien väliset erot.
- Tallenna erotuksen visualisointikuva karttalehtikansioon.

## Liite 2 4(4). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka I)

### 4.4 Yhdistelmäpistepilven tallentaminen

- Varmista, että muutosalue-rajaukset on tuotu EE-projektiin.
- Linkitä vanhat pisteet EE-projektiin.
- Muodosta yhdistelmäpistepilvi.
- Tallenna yhdistelmäpistepilvi karttalehtikansioon.
- Tallenna mahdolliset lisätyt pisteet omaksi tiedostoksi.

### 4.5 Työn rekisteröiminen MTK:aan

- Vahvista maastotietokantaan tehdyt muutokset.
- Esirekisteröi työ.
- Merkitse Tuotannon tilannekarttaan KM2-ajantasaistustyö rekisteröidyksi.

### 4.6 Tiedostojen kopioiminen verkkolevylle

Työn rekisteröitymisen yhteydessä aukeaa KM2 tiedostojen kopiointi -työkalu, joka kopioi ajantasaistetun karttalehden karttalehtihakemistosta tarvittavat tiedostot verkkolevylle tuotanto-aluekansioon.

Liite 3 1(3). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka II)

## KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka II)

### 1. Alkuvalmistelut

#### 1.1 Ajantasaistettava alue Tuotannon tilannekarttaan

- Rajaa ajantasaistettava tuotantoalue keilausalueen ulottuvuuksien mukaan ottamalla samalla KM2-laatuokkaa huomioon.

#### 1.2 Tulokansio

- Luo tulokansio eräajossa muodostuvia tiedostoja varten.
- Kopioi korkeusasteikkotiedosto tulokansioon.
- Irrota MTK:sta vakavesialueiden rantaviivat keilausalueen kohdalta ja tallenna ne tulokansioon.

#### 1.3 Karttalehtiluettelo

- Muodosta karttalehtilista MTK:sta ajantasaistettavan alueen KM2-MASU-suunnitelman kautta ja tallenna se tekstitiedostoksi.
- Lisää tekstitiedostoon ajantasaistettavaa aluetta ympäröivät karttalehdet.
- Tallenna tekstitiedosto tulokansioon.

### 2. Eräajo

- Avaa EspaEngine.
- Luo ohjaustiedosto load.ebx.  
Post process DEM -valinta tulee olla valittuna, jotta korkeusmallin laskennassa pisteettömät alueet täytetään eikä korkeusmalliin jää "reikiä".
- Muokkaa load.ebx-tiedostoa poistamalla old- ja diff-laskentaosiot.
- Käynnistä eräajo.

Liite 3 2(3). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka II)

### 3. Maskaaminen

- Avaa EE-projekti.
- Tuo tallentamasi vakavesialueiden rantaviivat EE:n projektiin maskaamista varten.
- Valitse laskettavaksi ground-pisteet ja maskauskorkeudeksi asetetaan pisteiden keskiarvokorkeus.

### 4. Maastotietokantaan vienti

Koko alueen kattavasta uudesta korkeusmallista tallennetaan yhden ajantasaistettavan karttalehden alue kerrallaan maastotietokantaan.

#### 4.1 Työn avaaminen MTK:aan

- Työn nimen tulee olla muotoa KM2<karttalehti>.
- Linkitä työ csv-tiedostoon verkkolevylle.
- Valitse oikea KM2-MASU-suunnitelma.

#### 4.2 Korkeusmallin vieminen MTK:aan

- Yhdistä EE – MTK.
- Visualisoi EE-projektissa siirrettävän karttalehden alue.
- Siirrä korkeusmalli yhden karttalehden alueelta MTK:aan.

Korkeusmalli karttalehden kohdalta tallentuu maastotietokantaan ja korkeusmallien (uusi ja vanha korkeusmalli) varmuuskopiot tallentuvat levylle.

#### 4.3 MTK:aan viedyn korkeusmallin visualisointikuvien tarkistaminen

- Avaa EC:n Ruudukko-ikkuna.
- Tuo levylle tallentuneet export.asc- ja orig.asc-tiedosto Ruudukko-ikkunaan.
- Avaa export.asc-tiedoston visualisointi Ruudukko-ikkunassa ja tarkista lopputulos visualisointikuvasta.
- Laske Ruudukko-ikkunassa korkeusmallien erotus.
- Avaa erotuksen visualisointikuva.
- Käytä tulokansiossa olevaa korkeusasteikkotiedostoa.
- Tarkista visualisointikuva.

Liite 3 3(3). KM2-ajantasaistus-ohje (laatuluokka II)

#### 4.4 Työn rekisteröiminen MTK:aan

- Vahvista maastotietokantaan tehdyt muutokset.
- Esirekisteröi työ.
- Merkitse Tuotannon tilannekarttaan KM2-ajantasaistustyö rekisteröidyksi.

Liite 4. KM2-ajantasaistus viimeistely -ohje (laatuluokka I)

## KM2-ajantasaistus viimeistely -ohje (laatuluokka I)

### 1. Alkuvalmistelut

- Luo työhakemisto eräajossa muodostuvia tiedostoja varten.
- Muodosta karttalehtilistan sisältävä tekstitiedosto eräajoa varten.

### 2. Lukumäärien tarkistaminen

- ajantasaistetut karttalehdet csv-tiedostosta
- karttalehtikohtaiset tiedostot verkkolevyllä

### 3. Yhdistelmäpistepilvien tarkistuseräajo

#### 3.1 Ohjaustiedosto

- Muodosta ohjaustiedosto load.ebx.
- Lisää load.ebx-tiedoston visualisointikuvien muodostumisparametriin loppuliite \_yhdistelma.
- Käynnistä eräajo.

#### 3.2 Visualisointikuvat

- Tarkista visualisointikuvien onnistuminen.
- Kopioi visualisointikuvat verkkolevyllä.
- Lisää verkkolevyllä olevan kokoalue.els-tiedoston loppuun yhdistelmävisualisointikuvien rivit kokoalue\_yhdistelma.els-tiedostosta.

### 4. Muutosalueiden sijainnin tarkistus

- Aseta EV-ikkunassa yhdistelmävisualisointikuva ja alueen muutosaluerajaukset päällekkäin.
- Tarkista muutosalueiden sijainnit.

### 5. Varmuuskopiot

- Poista turhat karttalehtien varmuuskopiot verkkolevyllä.

### 6. Tieto ajantasaistetun alueen valmistumisesta

- KM2-MASU-suunnitelma rekisteröidyksi
- Tuotannon tilannekartassa ajantasaistusalue rekisteröidyksi
- valmistumisilmoitus