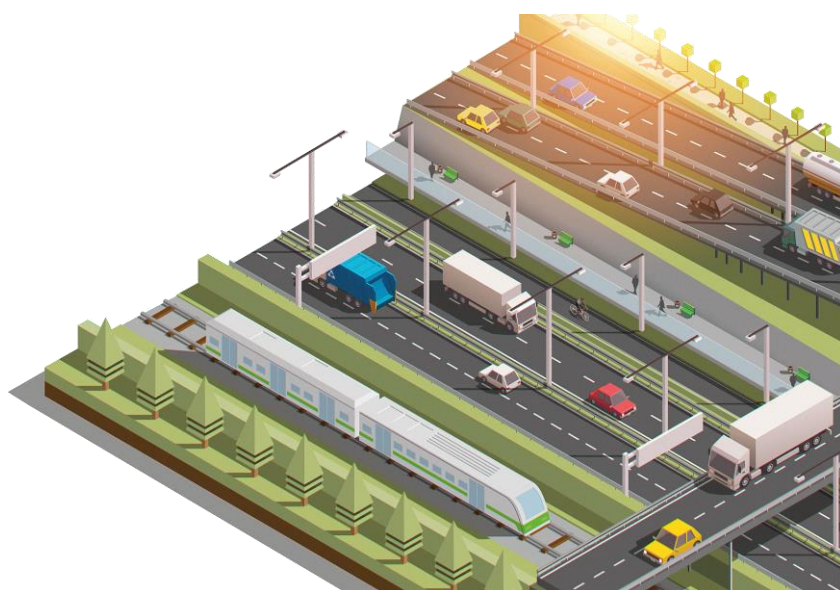


# KANSALLISEN MAASTOTIETOKANNAN LAATUMALLI

## ILMAPISTEPILVI

Versio 1.3



## Esipuhe

Ilmapistepilvi-laatakäsikirja on osa Kansallisen maastotietokannan (KMTK) laatumallia. Se sisältää laatutekijät ja -mittarit sekä laatuvaatimukset KMTK:n ilmapistepilviaineistoille. Lisäksi tässä laatakäsikirjassa esitetään lopuksi ilmapistepilven laadunohjaus.

Suomessa laserkeilausta on käytetty ilmapistepilven tuottamiseksi 1990-luvun lopulta alkaen ja aluksi pääasiassa korkeusmalli- ja metsäsovelluksissa. Maanmittauslaitos on käyttänyt laserkeilausta korkeusmallin, KM2, tuottamiseen vuodesta 2008 lähtien.

Uusinta tekniikkaa ilmapistepilven tuottamiseksi on voitava käyttää, joten tätä laatumallia voidaan päivittää tulevaisuudessa sen ajan tasalla pysymiseksi.

Tämän laatumallin on tehnyt työryhmä sekä Eero Ahokas, Olli Sirkiä, Juha Kareinen ja Ulla Pyysalo.

Työryhmän puolesta,

Masalassa 9.11.2016,

Eero Ahokas

Paikkatietokeskus, Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osasto

## Muutoshistoria

Versio	Päiväys	Käsittelijä	Muutos
1.0	9.11.2016	Eero Ahokas	Alkuperäinen teksti
1.1	5.5.2016	Eero Ahokas	Hyväksytty hankeryhmän kokouksessa
1.2	20.12.2017	Eero Ahokas	Korjaukset tehty
1.3	2.1.2017	Ulla Pyysalo	Ulkoasun säätäminen

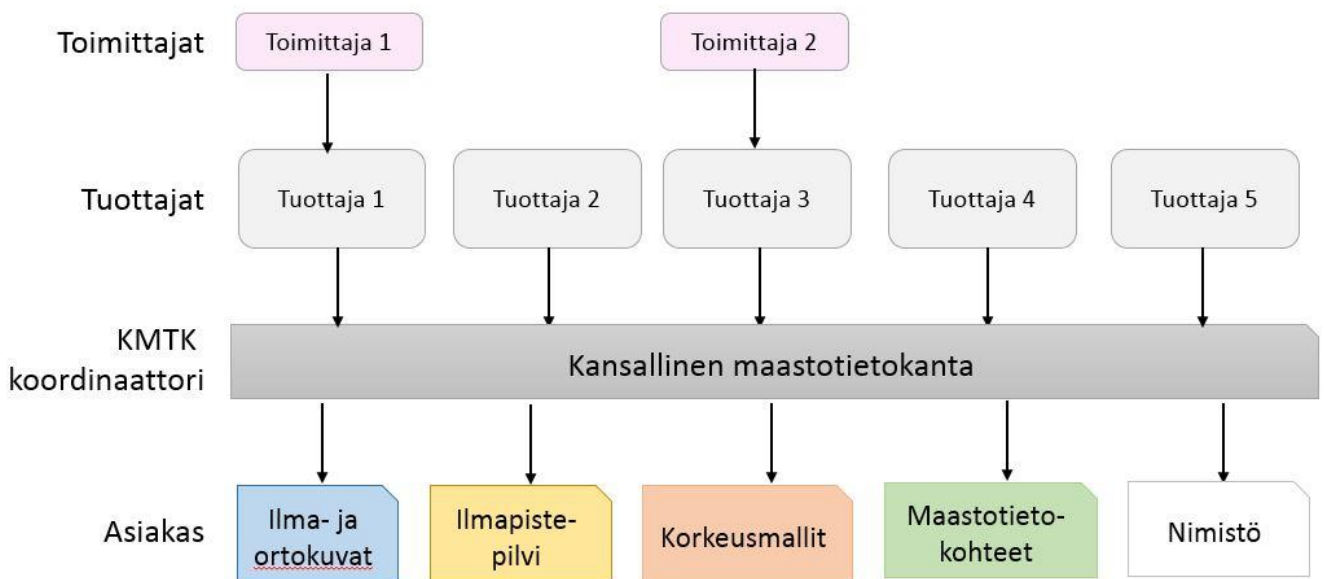
# Sisällys

Esipuhe .....	2
Muutoshistoria .....	2
1. Johdanto .....	4
1.1 Ilmalaserkeilaus ilmapistepilven tuottajana.....	5
1.2 Lyhenteet.....	5
1.3 Ilmapistepilven laatuun liittyvää käsitteistöä.....	5
2. Laatutekijät ja laatumittarit.....	6
2.1. Laatutekijät.....	6
2.2. Laatumittarit.....	6
2.3. Ilmapistepilven laatuluokka .....	7
3. Ilmapistepilven laatuvaatimukset .....	7
3.1. Keilauslennon laatu .....	7
3.2. Pistepilven laatu .....	7
3.3. Kaikujen laatu metsäkeilauksissa puustotulkintaa varten .....	8
3.4. Keilauksen aikaikkunat .....	10
4. Laadunohjaus.....	10
LIITE 1.....	12

# 1. Johdanto

Kansallinen maastotietokanta (KMTK) on paikkatietoaineistojen muodostama tietovarasto. Se sisältää perustiedot fyysisestä ympäristöstä kuten tiestöstä, rakennuksista ja muista ihmisen rakentamista kohteista, vesistöistä, korkeussuhteista, maanpeitteestä ja nimistöstä.

Kansallista maastotietokantaa ylläpitää KMTK-koordinaattori, joka kokoaa yhteen eri tuottajien aineistot (Kuva 1). KMTK tuottajia voivat olla mm. Maanmittauslaitos, kunnat sekä joukko muita julkishallinnollisia toimijoita tai yrityksiä, jotka tuottavat aineistoa sisäisenä työnä tai alihankintana. Kansallisen maastotietokannan ylläpito on hajautettu. KMTK asiakas on aineistojen käyttäjä. Aineistoja ovat ilma- ja ortokuvat, ilmapistepilvi, korkeusmallit ja maastotietokohteet.



**KUVA 1. KANSALLISEN MAASTOTIETOKANNAN TOIMIJAT**

*Ilmapistepilvi* -laatukäsikirja on osa Kansallisen maastotietokannan laatumallia (Kuva 2). Muut laatukäsikirjat ovat Maastotietokohteiden laatukäsikirja, Ilma- ja ortokuvien laatukäsikirja ja Korkeusmallien laatukäsikirja. Yhdessä neljä laatukäsikirjaa muodostavat Kansallisen maastotietokannan laatumallin.



**KUVA 2. KANSALLISEN MAASTOTIETOKANNAN LAATUMALLI KOOSTUU NELJÄN AINEISTON LAATUKÄSIKIRJOISTA.**

## 1.1 Ilmalaserkeilaus ilmapistepilven tuottajana

Ilmasta tehtävällä laserkeilauksella mitataan kohteen kolmiulotteisia koordinaatteja x,y,z. Laserkeilaimella mitataan etäisyys kohteeseen. Kun satelliittipaikannuksen avulla tiedetään sensorin paikka sekä inertiaalipaikannuksella sensorin asento, saadaan kohteen koordinaatit laskettua. Keilauksen tuloksena syntyy georeferoitu kolmiulotteinen pistepilvi. Pisteestä tallennetaan sijainnin lisäksi aika, intensiteetti, pulssin järjestysnumero, sekä mahdollisesti aaltomuototiedot (full waveform). Maanmittauslaitos on käyttänyt laserkeilausta korkeusmallin, KM2, tuottamiseen vuodesta 2008 lähtien ja tavoitteena on koko Suomen kattava korkeusmalli, jonka korkeustarkkuus on 30 cm.

Tässä laatukäsikirjassa ei käsitellä pisteen intensiteetin laatua, koska sille ei aseteta laatuvaatimusta

## 1.2 Lyhenteet

TAULUKKO 1. LAATUKÄSIKIRJASSA KÄYTETYT LYHENTEET.

Lyhenne	Merkitys
<b>AQL</b>	Acceptable Quality Limit, hyväksyttävissä oleva poikkeama laatutasosta AQL on suurin virheellisprosentti (tai suurin virheiden määrä sataa yksikköä kohden), jota näytetarkastuksen kannalta pidetään hyvänä prosessikeskiarvona. (JHS 160)
<b>CE90</b>	Circular error, Pistevirhe, 90 % virheistä ympyräsäteen sisällä. Tämän säteisen ympyrän sisällä todellinen pisteen sijainti on 90 % varmuudella.
<b>CE95</b>	Circular error, Pistevirhe, 95 % virheistä ympyräsäteen sisällä. Tämän säteisen ympyrän sisällä todellinen pisteen sijainti on 95 % varmuudella.
<b>DEM</b>	Korkeusmalli (Digital Elevation Model)
<b>DTM</b>	Maanpintaa kuvaava korkeusmalli (Digital Terrain Model)
<b>DSM</b>	Kohteen pintaa kuvaava korkeusmalli (Digital Surface model)
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System, satelliittipaikannusjärjestelmä
<b>IMU</b>	Inertial Measurement Unit, Inertiaalimittausyksikkö
<b>KMTK</b>	Kansallinen maastotietokanta
<b>MML</b>	Maanmittauslaitos
<b>PDOP</b>	Positional Dilution of Precision, satelliittigeometrian vaikutus paikannuksen tarkkuuteen
<b>RMSE</b>	Root Mean Square Error, neliökeskivirhe
<b>RMSDz</b>	Root Mean Square Difference in elevation, neliökeskiero korkeudessa

## 1.3 Ilmapistepilven laatuun liittyvää käsitteistöä

TAULUKKO 2. LAATUKÄSIKIRJASSA KÄYTETYJÄ KÄSITTEITÄ.

Lyhenne	Merkitys
<b>Laatu</b>	Se, missä määrin luontaiset ominaisuudet täyttävät vaatimukset
<b>Vaatimus</b>	Tarve tai odotus, joka on erityisesti mainittu, yleisesti edellytetty tai pakollinen
<b>Laatutekijä</b>	Tekijä, joka kuvaa laadun tiettyä näkökulmaa
<b>Laatumittari</b>	Laatutekijän mittari
<b>Pulssi</b>	Laserkeilain lähettää tietyn ajan mittaisen pulssin kohteeseen ja pulssin kulkuajan perusteella lasketaan etäisyys siihen.
<b>Intensiteetti</b>	Tallennetun pulssin kaiun amplitudi tai kaiun huipputeho.
<b>Aaltomuoto</b>	Täysi intensiteettiprofiili laserpulssin takaisin heijastuneesta kaiusta

## 2. Laatutekijät ja laatumittarit

### 2.1. Laatutekijät

Ilmapistepilven laatutekijöinä ovat geometrinen laatu, pistetiheys ja kaikujaakauma. Geometrisella laadulla tarkoitetaan x,y,z –koordinaattien tarkkuutta. Mitattujen koordinaattien tarkkuuteen vaikuttavat 1) lentolinjan sijaintivirhe (GNSS), 2) lentolinjan orientaatiovirhe (kierrot, IMU), 3) keilaimen komponenttivilheet (etäisyyden mittausvirhe, ajanmittaus, ilmakehän refraktio), 4) lever-arm (laserkeilaimen sijainti suhteessa IMU:un ja GNSS-antenniin), 5) bore-sight (IMU:n ja laserkeilaimen kierto), 6) keilaimen kulmaenkooderin erotuskyky, 7) keilausgeometria (keilauskulma vs. rinteen kaltevuus). GNSS-kohina vaikuttaa pistepilveen tasaisesti ja ilmiö on riippumaton lentokorkeudesta ja havaintokulmasta. Kulmanmittauksen kohina (GNSS/IMU, peili) vaikuttaa xy-koordinaatteihin enemmän kuin korkeuteen z ja riippuu lentokorkeudesta sekä havaintokulmasta. Etäisyydsmittauksen kohina vaikuttaa eniten korkeuteen z ja se on riippumaton lentokorkeudesta, mutta riippuu systeemin havaintokulmasta.

Pistetiheydellä tarkoitetaan rekisteröityjen paluukaikujen lukumäärää neliometrillä. Kaikujaakumalla tarkoitetaan metsässä tietylle pinta-alalle tulevien ainoiden kaikujen suhdetta saman alan kaikkiin kaikuihin. Kaikujaakumaa käytetään vain metsäalueiden puustotulkintakeilauksissa.

### 2.2. Laatumittarit

Geometrisen tarkkuuden mittareita ovat koordinaattivirhe, pistevirhe, systemaattinen virhe, satunnainen virhe, kokonaisvirhe.

TAULUKKO 1. GEOMETRISEN TARKKUUDEN LAATUMITTARIT.

Laatumittari	Laskentakaava
<b>Koordinaattivirhe</b> lasketaan kunkin koordinaattiakselin suunnassa vertaamalla aineistosta määritettyä koordinaattia (havainto) tarkempaan referenssikoordinaattiin.	$dX_i = X_{havainto\_i} - X_{ref\_i}$ $dY_i = Y_{havainto\_i} - Y_{ref\_i}$ ; $dZ_i = Z_{havainto\_i} - Z_{ref\_i}$
<b>Systemaattista virhettä</b> kuvaa otoskeskiarvo, joka lasketaan tarkistuspisteillä lasketuista koordinaattivirheistä. n=tarkistuspisteiden lukumäärä.	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dX_i$ ; $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dY_i$ $\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dZ_i$
<b>Satunnaista virhettä</b> kuvaa koordinaattivirheistä laskettu otoskeskihajonta ( $S_x$ , $S_y$ , $S_z$ ).	$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$ ; $S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}$ $S_z = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - \bar{Z})^2}{n-1}}$
<b>Kokonaisvirhe, eli neliöllinen keskivirhe (RMSE; root-mean-square-error)</b> lasketaan koordinaattivirheistä.	$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dX^2}$ ; $RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dY^2}$ ; $RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dZ^2}$
<b>Pistevirhe (2D-virhe)</b>	$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$
<b>3D-virhe</b>	$RMSE_{3D} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2 + RMSE_z^2}$
<b>Jos <math>RMSE_x = RMSE_y</math>, niin säteittäinen kokonaisvirhe on</b>	$RMSE_r = 1,4142 * RMSE_x = 1,4142 * RMSE_y$

Pistetiheyden laatumittarina on paluukaikujen lukumäärä neliometrillä maa-alueilla. Mukaan otetaan yksi paluukaiku / lähtenyt pulssi yhdellä keilausjonolla. Pistetiheys, paluukaikujen lukumäärä neliometrillä, voidaan lisäksi ilmoittaa ruudukoittain, jolloin laskenta-alueen koko on esimerkiksi 10 m x 10 m.

Kaikujakauman laatumittarina on 10 m x 10 m metsäruidun ainoiden kaikujen suhde kaikkiin tämän ruudun kaikkiin.

## 2.3. Ilmapistepilven laatuluokka

Ilmapistepilvellä on vain yksi laatuluokka. Korkeustarkkuusvaatimukset koskevat pisteitä, jotka ovat yksiselitteisillä pinnoilla ja tasotarkkuusvaatimukset koskevat vastaavasti yksiselitteisiä kohteita.

## 3. Ilmapistepilven laatuvaatimukset

### 3.1. Keilauslennon laatu

TAULUKKO 4. KEILAUSLENNON LAATUVAATIMUKSET

Laatumittari	Laatuvaatimus
<b>Häiriöt</b>	Keilausalueella ei saa esiintyä pilveä, savua tai muuta maanäkyyvyyden peittävää esettä mittauksia merkittävästi häiritsevästi.
<b>Keilauskorkeus</b>	Keilauskorkeus saa poiketa keilaussuunnitelmasta korkeintaan $\pm 5$ %.
<b>Peittoprosentti</b>	Keilauslinjojen toteutuneet peittoprosentit saavat alittaa tilaajan määrittämät nimellisarvot korkeintaan 5 %:lla (AQL 4). Esimerkiksi 20 % peitolla alaraja on 19 %.

### 3.2. Pistepilven laatu

Laserpisteiden **korkeustarkkuus** (RMSE enintään) on paikallisestikin 15 cm yksiselitteisillä pinnoilla (yksiselitteinen pinta tarkoittaa pintaa, jonka päällä voi olla puustoa, mutta pinta itsessään on rakenteeltaan selkeä, ja pintakasvillisuutta ei ole tai sitä on hyvin vähän). (Taulukko 5)

Tilaaja käyttää aineiston tarkistukseen paljaalla maalla olevia tarkastuspisteitä, jolloin pinta voi olla esimerkiksi soraa, hiekkaa, kalliota, hyvin lyhyttä nurmea, asfalttia tai betonia. Kaikki Tuotantoalueen georeferoinnissa tai kontrollimittauksissa käytetty maastoreferenssidata (EUREF-FIN/TM35FIN, N2000) toimitetaan Tilaajalle kootusti yhtenä erillisenä tekstiedostona, Word-dokumenttina tai Excel-tilukkona, tai niiden kanssa yhteensopivassa muodossa. Lisänä tulee olla selvitys siitä millaista ko. data on (miten se on tuotettu).

Korkeus- ja tasotarkkuuden taulukoissa 5, 6 ja 7 on käytetty soveltuvin osin lähteenä julkaisua ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, Edition1, Version 1.0. November 2014.

TAULUKKO 5. KORKEUSTARKKUUDEN LUOKKA, ABSOLUUTTINEN TARKKUUS

Korkeustarkkuusluokka	Absoluuttinen tarkkuus	
	RMSEz, ei kasvillisuutta	95 % luottamusraja
<b>Z cm (15 cm)</b>	<b>Z cm (15 cm)</b>	<b>1,96*Z cm (29,4 cm)</b>

Taulukon 6. suhteellisen tarkkuuden tarkastuspisteiden tulee: sijaita peittoalueella, jolla ei ole kasvillisuutta, vähintään 3 metrin päässä äkillisestä korkeusmuutoksesta, olla tasaisen kaltevuuden alueella (0-5 astetta), olla tasaisesti jakautuneena leveys- ja pituus suunnassa. Lentolinjojen keskinäinen yhteensopivuusvirhe korkeussuunnassa on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 25 cm.

## TAULUKKO 6. KORKEUSTARKKUUDEN LUOKKA, SUHTEELLINEN TARKKUUS

Korkeustarkkuusluokka	Suhteellinen tarkkuus		
	Linjan sisäisen kovan pinnan toistettavuus. Max. ero	Linjojen välinen (maasto, ei-kasvillisuutta) RMSDz	Linjojen välinen (maasto, ei-kasvillisuutta) Max. ero
Z cm (15 cm)	≤0,60*Z cm (9 cm)	≤0,80*Z cm (12 cm)	≤1,67*Z cm (25 cm)

Ilmalaserkeilauksella tuotetun pistepilven horisontaalinen eli tasotarkkuus voidaan laskea kaavalla

$$RMSEr = \sqrt{(GNSS\ sijaintivirhe)^2 + ((\tan(IMU\ virhe) / 0,55894170) * lentokorkeus)^2}$$

jossa lentokorkeus on metreinä, GNSS-virhe senttimetreinä ja IMU-virhe desimaaliasteina.

Laserkeilauksen pisteiden tasotarkkuudelle saadaan esimerkiksi taulukon 7 arvot, jos sijaintivirhe on 0,11314 m (X- ja Y-virhe ovat 8 cm) sekä IMU-virhe kierroille on 0,00427 astetta.

## TAULUKKO 7. TASOTARKKUUKSIA LENTOKORKEUDEN MUKAAN.

Lentokorkeus (m)	RMSEr (cm)	Lentokorkeus (m)	RMSEr (cm)
1000	17,5	3000	41,6
1500	23,0	3500	48,0
2000	29,0	4000	54,5
2500	35,2	4500	61,1

**Tasotarkkuus** (RMSEr enintään) on 60 cm yksiselitteisillä kohteilla (tämä RMSEr lasketaan laatukontrollissa pohjoissuuntaisen RMSE:n ja itäsuuntaisen RMSE:n arvojen muodostamana virhevektorina).

Lentolinjojen keskinäinen tasoyhteensopivuusvirhe lentosuuntaan ja kohtisuoraan lentosuuntaa vastaan on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 1 m.

**Pistetiheys** (paluukaikuja/m<sup>2</sup>, kun lasketaan 1 paluukaiku / lähtenyt pulssi yksittäisellä keilausjonolla, eli ilman jonojen yhteisten peittoalueiden tihentävää vaikutusta) kattavasti eli harvimmillaankin välillä 0,5-1 pistettä/m<sup>2</sup>.

### 3.3. Kaikujen laatu metsäkeilauksissa puustotulkintaa varten

Metsäkeilauksia varten maanmittauslaitos on tehnyt tarjouspyynnön liitteeksi ”Ehdottomat vaatimukset metsien inventointiin käytettävälle laserkeilausaineistolle”. Siinä esitetty metsäkeilausten kaikujakauma-analyysi tehdään ruututarkasteluna metsäisten alueiden osalta. Käsiteltävä data jaetaan 10 m x 10 m ruutuihin, joista tarkastellaan ensin, sisältääkö ruutu metsää vai ei.

Ruutu määritellään metsäksi, jos vastaanotetuista ensimmäisistä ja ainoista kaiuista yli 7 m korkeudella on yli 40 % kaikista ruudun vastaanotetuista ensimmäisistä ja ainoista kaiuista. Tällöin ruutu sisältää tarpeeksi metsää ja ko. ruutu otetaan mukaan kaikujakauma-analyysiin.

Varsinainen **kaikujakauma-analyysin laskenta** tehdään seuraavalla tavalla:

Kaikkien mukaan otettujen metsäruutujen osalta lasketaan suhdeluku:

$$\text{ruudun ainoat kaiut} / \text{kaikki kaiut} \quad (/ = \text{jaettuna}).$$

Kaikujakauman alueellinen suhdeluku lasketaan em. analyysissä mukana olleiden ruutujen keskiarvona.

Kaikujakauma-analyysin tuloksena asiakkaalle toimitetaan:

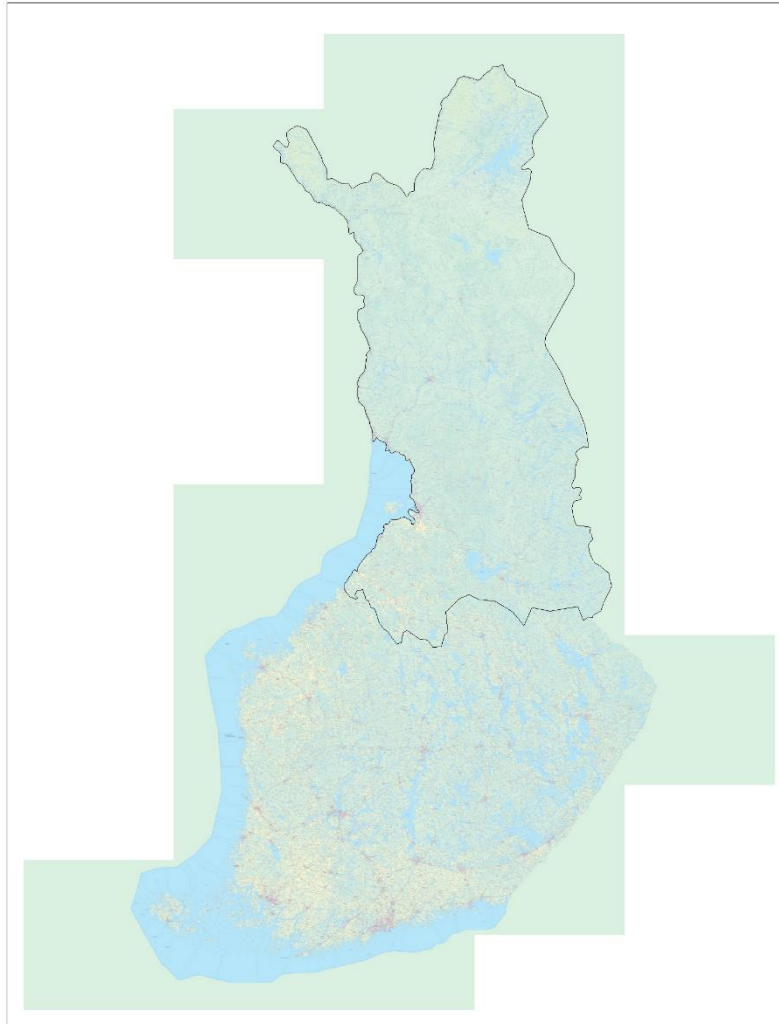
1. Tieto koko alueen lasketusta suhdeluvusta.



2. Karttataso, jossa esitetään kunkin laskennassa mukana olleen metsäruudun kaikujakauman suhde välillä 0-1 georeferoituna tiff-kuvana (float).

**Kaikujakauma-analyysin tuloksen hylkäys- ja tavoiterajat:**

Tuotantoalueiden kaikujakauma-analyysin hylkäys- ja tavoiterajat eroavat sen mukaisesti, sijaitseeko Tuotantoalue Etelä- vai Pohjois-Suomen alueella. Aluejakotieto on saatavissa erikseen (maanmittauslaitos-tuotanto-MARA-ilmakuvaus).



**KUVA 3. ETELÄ- JA POHJOIS-SUOMEN ALUEJAKO.**

**Etelä-Suomen tuotantoalueet**

Tavoiteraja: sama tai pienempi kuin 0,45  
Hylkäysraja: sama tai suurempi kuin 0,65

\* - 0,450 = tulos on hyväksyttävä ja hyvä  
0,451 - 0,649 = tulos on hyväksyttävä  
0,650 - \* = aineistoa ei hyväksytä

**Pohjois-Suomen tuotantoalueet**

Tavoiteraja: sama tai pienempi kuin 0,50  
Hylkäysraja: sama tai suurempi kuin 0,75

\* - 0,500 = tulos on hyväksyttävä ja hyvä  
0,501 - 0,749 = tulos on hyväksyttävä  
0,750 - \* = aineistoa ei hyväksytä

### 3.4. Keilauksen aikaikkunat

#### Keilausaikaikkuna A

Keilausaikaikkuna A tarkoittaa sellaista kevään ajanjaksoa, jolloin maassa on lunta keskimäärin vähemmän kuin 5 cm, eikä puissa ole lehtiä tai lehdet ovat keskimäärin alle 0,5 cm kokoisia. Esimerkiksi painanteissa ja varsinkin pohjoisrinteillä lunta voi olla enemmän, mutta maaston on oltava valtaosin (n. 90 %) paljaana lumesta. Oletusaikaikkuna on maaliskuun lopusta toukokuun alkuun. A-keilausaikaikkunan olosuhteet voivat vallita maan eri osissa eri aikaan tai ne saattavat kestää koko maan osalta vain muutamia päiviä tai viikkoja. Aikaikkuna täsmennetään vuosittain ja alueittain. Keilattavalla alueella ei saa olla tulvaa.

#### Keilausaikaikkuna B

Keilausaikaikkuna B tarkoittaa sellaista kevään ajanjaksoa, joka alkaa samojen olosuhteiden vallitessa kuin Keilausaikaikkuna A, mutta jatkuu aluekohtaisesti ja vuodesta riippuen hieman pidempään. Keilausaikaikkuna B loppuu, kun maanpintakasvillisuus on alkanut huomattavasti kasvaa. Oletusaikaikkuna on maaliskuun lopusta toukokuun loppuun. B-keilausaikaikkunan olosuhteet voivat vallita maan eri osissa eri aikaan ja ne saattavat kestää koko maan osalta vain muutamia viikkoja. Aikaikkuna täsmennetään vuosittain ja alueittain. Keilattavalla alueella ei saa olla tulvaa.

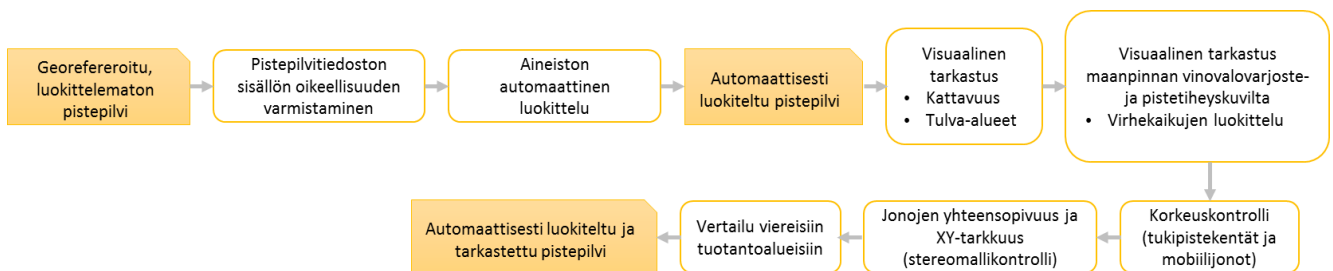
#### Keilausaikaikkuna C

Tarkoittaa sellaista kesän ajanjaksoa, jolloin koivussa on (lähes) täysi lehti ja päättyy ennen kuin lehdet alkavat merkittävästi kellastua. Oletusaikaikkuna on kesäkuun alkupuolelta elokuun loppuun. Aikaikkuna täsmennetään vuosittain ja alueittain. Koko keilattavalla tuotantoalueella on oltava sama lehtipuiden kasvukauden vaihe. Keilattavalla alueella ei saa olla tulvaa.

Termillä kevätkeilaus tarkoitetaan keilausaikaikkunoita A ja B. Kesäkeilauksella tarkoitetaan keilausaikaikkunaa C.

## 4. Laadunohjaus

Ilmalaserpistepilven laadunohjausta tehdään sekä pistepilven prosessoinnissa että tilaaja-toimittaja –mallissa.

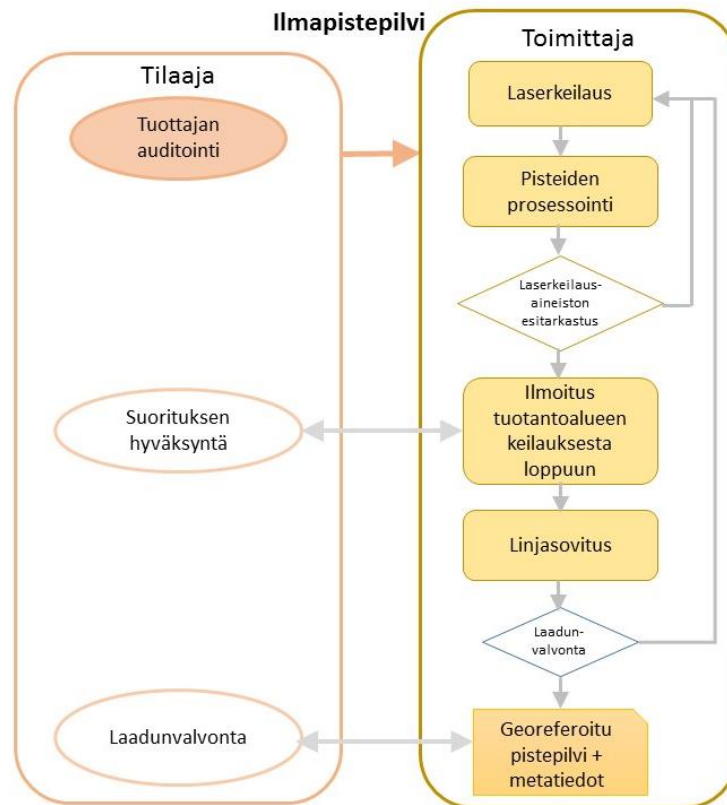


KUVA 4. ILMAPISTEPILVEN PROSESSOINTIKAAVIO.

Ilmapistepilvi prosessoidaan seuraavasti. Toimittajalta saadaan linjasovitettu (georeferoitu) luokittelematon pistepilvi. Tämän jälkeen Tilaaja tekee kaikki alla mainitut toimenpiteet. Tilaaja varmistaa, että toimitettu aineisto vastaa vaadittua formaattia ja sisällöstä löytyvät vaaditut tiedot. Aineistolle suoritetaan automaattinen maanpinnan luokittelu. Tarkemmat luokat löytyvät osoitteesta <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laser-keilausaineisto>. Tuloksena on automaattisesti maanpintaluokiteltu, mutta tarkistamaton pisteaineisto. Tarkistetaan visuaalisesti, että aineisto kattaa tilatun alueen eivätkä esim. tulvaisuus tai pilvet aiheita ongelmia kattavuudessa. Aineistosta lasketuista maanpinnan vinovalovarjoste- ja pistetiheyskuvista etsitään poikkeamia aineistossa. Virheelliset kaiut luokitellaan erilleen aineistosta. Geometrisen korkeustarkkuuden laadun varmistamiseksi pisteaineistoa verrataan maastossa mitattuihin RTK-GPS -tukipistekenttiin ja -mobiilipistejonoihin. Aineistoa verrataan stereomallien kohteisiin XY-tarkkuuden varmistamiseksi ja samalla mitataan keilausjonojen

yhteensopivuutta. Stereomalleilta mitataan esimerkiksi katonharjoja ja verrataan tuloksia laseraineistosta las-kettuihin. Aineistoa verrataan myös toisten tuotantoalueiden laseraineistoihin keskinäisen yhteensopivuuden varmentamiseksi. Lopputuloksena on laadunvalvonnan hyväksyttävästi läpäissyt automaattisesti luokiteltu pistepilvi.

Toimittajan on tehtävä aineistolle kaikki tarpeelliset/mahdolliset korjaukset. Toisin sanoen tilaajalle toimitetun aineiston on oltava geometriselta laadultaan niin hyvää, kuin se voisi olla.



KUVA 5. ILMAPISTEPILVEN LAADUNOHJAUSKAAVIO.

## LIITE 1

Tässä on esimerkki tarjouspyynnön liitteinä olevista ehdottomista vaatimuksista. Vaatimukset ovat samat kuin tässä laatukäsikirjassa.

### **Ehdottomat vaatimukset A-aikaikkunan laserkeilausaineistolle.**

Toimittaja sitoutuu täyttämään tässä listatut ehdottomat vaatimukset kaikkien sellaisten Tuotantoalueiden osalta, jotka on merkitty aikaikkunatunnuksella "A/C" ja jotka Toimittaja keilaa aikaikkuna A:n ollessa auki. Toimittajan tulee lisäksi huomioida liitteiden 5-6 mukaiset lopputuotteen pääasiallisen hyödyntämiskohteen ehdottomat vaatimukset.

### **Tarjottavan laserkeilauspalvelun tulee ehdottomasti täyttää seuraavat vaatimukset:**

#### Tuotantotapaan liittyvät ehdottomat vaatimukset:

- Laserkeilaus suoritetaan Asiakkaan ja tämän yhteistyökumppaneiden ekstranetissä tai muulla tavoin ilmoittaman aikaikkunan aukeamisen ja sulkeutumisen välisenä ajanjaksona.
- Laserkeilaus suoritetaan sellaisena alkukevään aikana, jolloin silmut eivät ole vielä puhjenneet tai lehdet ovat keskimäärin alle puolen sentin kokoisia huomioiden myös muut keilausajankohdalle annetut määrätykset.
- Maksimi lentokorkeus on 2500 m (AGL, keskimääräisestä maanpinnasta) +/- 5 %.
- GPS-tukiasematiedon tulee olla EUREF-FIN-järjestelmässä, jolloin laserpisteet ja lentoratatiedot ovat prosessin alusta lähtien lopullisessa koordinaattijärjestelmässä.
- Keilauksen hyötyavauskulma (alue, jolta dataa toimitetaan Asiakkaalle) on enintään 40 astetta (keilauskulma 0 astetta +/- 20 astetta).
- Keilaimen asetusten on oltava vähintään 4 paluukaiulle.
- Keilausjonojen keilaussuunnitelman mukainen sivupeitto on vähintään 20 %.
- Kullakin tuotantoalueella keilataan vähintään kaksi alueen päälentosuuntaan nähden poikittaista linjaa, jotka leikkaavat koko tuotantoalueen.
- Lentonopeuden suhteen peilin nopeuteen (keilaustaaajuuteen) tulee olla sellainen, että keilauskuvion pistejakauma on mahdollisimman tasainen.
- Laserpulssin "jalanjälki" maastossa on enintään 80 cm, kun lasersäteen leviämiskulma eli laserdivergenssi (beam divergence) on määritelty niin, että sen reunalla energia on  $1/e^2$  maksimienergiasta.
- Laserkeilauksen mitään parametreja tai asetuksia ei muuteta yksittäisen Tuotantoalueen sisällä, jotta taataan Tuotantoaluekohtaisen Datan homogeenisuus.
- Tuotantoalue keilataan kokonaisuudessaan käyttämällä yhtä keilainyksilöä.

Tapauskohtaisesti (esimerkiksi keilaimen rikkouduttua) Tuotantoalue voidaan hyväksyä, jos alueella on käytetty kahta saman keilainmerkin ja -tyypin keilainta. Tällöin Toimittajan tulee keilata molemmilla keilaimilla yhteinen keilausjono datan kalibroimiseksi. Tästä kalibrointia varten tehdystä lentojonosta ei voi laskuttaa asiakasta.

- Jotkin pinta-alaltaan huomattavat suuret tuotantoalueet on määritelty asiakkaan toimesta etukäteen sellaisiksi, jotka Toimittaja saa keilata käyttäen kahta saman keilainmerkin ja -tyypin keilainta. Tällöin Toimittajan tulee keilata molemmilla keilaimilla yhteinen keilausjono datan kalibroimiseksi. Tästä kalibrointia varten tehdystä lentojonosta ei voi laskuttaa asiakasta.

Laserdatan (lopputuotteen) formaattiin ja sisältöön liittyvät ehdottomat vaatimukset:

- Formaattina LAZ (pakattu LAS)
- Data sisältää jokaista paluukaikua (laserpistettä) kohden vähintään seuraavat tiedot:
  - lentojonon numero
  - lähtöpulssin aikaleima (Standardi GPS-aika)
  - E, N, Z -koordinaatit vähintään 2 desimaalilla, eli senttimetresoluutiolla
  - intensiteettiarvo
  - paluukaiun numero, esim. 1/1, 2/3, 4/4...

Laserdatan (lopputuotteen) mukana toimitettavaan metadataan liittyvät ehdottomat vaatimukset:

- Formaatti xml
- Vähintään kaikki tarjouspyynnön liitteessä 14 "Kuvaus metatiedoista" luetellut tietokentät täytetään

Laserdatan (lopputuotteen) laatuun ja tarkkuusvaatimuksiin liittyvät ehdottomat vaatimukset:

- Laserpisteistön laadun tulee olla riittävä metsien aluepohjaiseen inventointiin (menetelmä kuvattu tarjouspyynnön liitteessä 2) tarvittavien puustotunnusten tuottamiseen.
- Laserpisteistön laadun tulee olla riittävä 2 metrin ruutukoon grid-korkeusmallin (tarkkuus 30 cm) tuottamiseen.
- Datan tulee sisältää tarpeeksi välikaikuja. Kaikujakauma-analyysin hyväksyttävät raja-arvot on kuvattu liitteessä 6 "Ehdottomat vaatimukset metsien inventointiin käytettävälle laserkeilausaineistolle".
- Toimittaja lisää tuotantoalueisiin 500 metrin laajennuksen kaikkiin suuntiin.
- Datan tulee olla aukotonta. Tämä ei koske sellaisia vesialueita, joista ei olosuhteista johtuen tule paluukaikuja eikä esim. sellaisia rakennusten kattoja tai muita pintoja, jotka materiaalista johtuen eivät anna paluukaikuja.
- Dataan ei saa sisältyä keilauslentojen kaarroksien aikana mahdollisesti syntyneitä laserpisteitä.
- Sivupeittoalueiden ja poikittaisjonojen data sisältyy asiakkaalle toimitettavaan aineistoon.
- Pistetiheys (paluukaikuja/m<sup>2</sup>, kun lasketaan 1 paluukaiku / lähtenyt pulssi yksittäisellä keilausjonolla, eli ilman jonojen yhteisten peittoalueiden tihentävää vaikutusta) kattavasti eli harvimmillaankin välillä 0.5-1 pistettä/m<sup>2</sup>.

- Laserpisteiden korkeustarkkuus (RMSE enintään) on paikallisestikin 15 cm yksiselitteisillä pinoilla (Yksiselitteinen pinta tarkoittaa pintaa, jonka päällä voi olla puustoa, mutta pinta itsessään on rakenteeltaan selkeä, ja pintakasvillisuutta ei ole tai sitä on hyvin vähän).
- Tasotarkkuus (RMSE enintään) on 60 cm yksiselitteisillä kohteilla (tämä RMSE lasketaan laatu-kontrollissa pohjoissuuntaisen RMSE:n ja itäsuuntaisen RMSE:n arvojen muodostamana virhevektorina).
- Lentolinjojen keskinäinen yhteensopivuusvirhe korkeussuunnassa on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 25 cm.
- Lentolinjojen keskinäinen tasoyhteensopivuusvirhe lentosuuntaan ja kohtisuoraan lentosuuntaa vastaan on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 1 m.