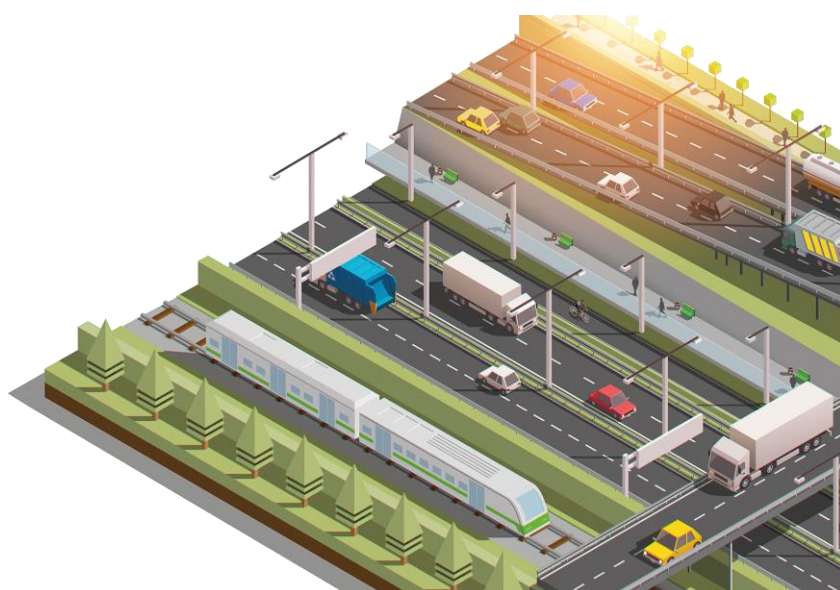


KANSALLISEN MAASTOTIETOKANNAN LAATUMALLI ILMAPISTEPILVI

Versio 2.0



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

Laatumallia on tarkistettu vastamaan laser2020 -projektin määrittelemän laseraineiston vaatimuksia uudelle tiheämmälle pistepilvella (versio 2.0).

Muutoshistoria

Versio	Päiväys	Käsittelijä	Muutos
1.0	9.11.2016	Eero Ahokas	Alkuperäinen teksti
1.1	5.12.2016	Eero Ahokas	Hyväksytty hankeryhmän kokouksessa
1.2	20.12.2016	Eero Ahokas	Korjaukset tehty
1.3	2.1.2017	Ulla Pyysalo	Ulkoasun säätäminen
2.0	18.2.2020	Ahokas, Kareinen, Sirkiä	Tiheämmän pistepilven vaatimukset

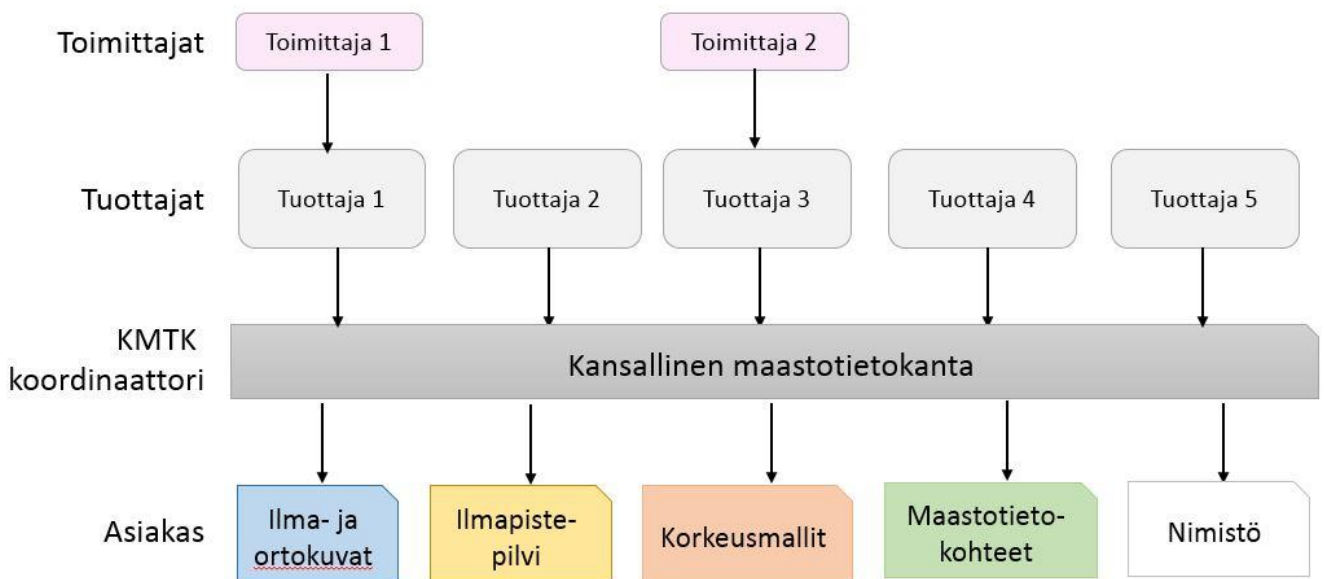
Sisällys

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	9
4. Laadunohjaus.....	9
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, vesistöstä, 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 TOIMIJIAT

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 ollut koko Suomen kattava korkeusmalli, jonka korkeustarkkuus on 30 cm. Uutta tiheämpää laseraineistoa käytetään korkeusmallin ajantasaistamiseen ja perusparantamiseen sekä ainakin rakennusten 3D-geometrioiden tuottamiseen.

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

1.2 Lyhenteet

TAULUKKO 1. LAATUKÄSIKIRJASSA KÄYTETYT LYHENTEET.

Lyhenne	Merkitys
AQL	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)
CE90	Circular error, Pistevirhe, 90 % virheistä ympyräsäteen sisällä. Tämän säteisen ympyrän sisällä todellinen pisteen sijainti on 90 % varmuudella.
CE95	Circular error, Pistevirhe, 95 % virheistä ympyräsäteen sisällä. Tämän säteisen ympyrän sisällä todellinen pisteen sijainti on 95 % varmuudella.
DEM	Korkeusmalli (Digital Elevation Model)
DTM	Maanpintaa kuvaava korkeusmalli (Digital Terrain Model)
DSM	Kohteen pintaa kuvaava korkeusmalli (Digital Surface model)
GNSS	Global Navigation Satellite System, satelliittipaikannusjärjestelmä
IMU	Inertial Measurement Unit, Inertiaalimittausyksikkö
KMTK	Kansallinen maastotietokanta
MML	Maanmittauslaitos
PDOP	Positional Dilution of Precision, satelliittigeometrian vaikutus paikannuksen tarkkuuteen
RMSE	Root Mean Square Error, neliökeskivirhe
RMSDz	Root Mean Square Difference in elevation, neliökeskiero korkeudessa

1.3 Ilmapistepilven laatuun liittyvää käsitteistöä

TAULUKKO 2. LAATUKÄSIKIRJASSA KÄYTETYJÄ KÄSITTEITÄ.

Lyhenne	Merkitys
Laatu	Se, missä määrin luontaiset ominaisuudet täyttävät vaatimukset
Vaatimus	Tarve tai odotus, joka on erityisesti mainittu, yleisesti edellytetty tai pakollinen
Laatutekijä	Tekijä, joka kuvaa laadun tiettyä näkökulmaa
Laatumittari	Laatutekijän mittari
Pulssi	Laserkeilain lähettää tietyn ajan mittaisen pulssin kohteeseen ja pulssin kulkuajan perusteella lasketaan etäisyys siihen.
Intensiteetti	Tallennetun pulssin kaiun amplitudi tai kaiun huipputeho.
Aaltomuoto	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 lähetettyjen pulssien 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
Koordinaattivirhe lasketaan kunkin koordinaattiakselin suunnassa vertaamalla aineistosta määritettyä koordinaattia (havainto) tarkempaan referenssikoordinaattiin.	$dX_i = X_{havainto_i} - X_{ref_i}$ $dY_i = Y_{havainto_i} - Y_{ref_i}$; $dZ_i = Z_{havainto_i} - Z_{ref_i}$
Systemaattista virhettä kuvaa otoskeskiarvo, joka lasketaan tarkistuspisteillä lasketuista koordinaattivirheistä. n=tarkistuspisteiden lukumäärä.	$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dX_i$; $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dY_i$ $\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dZ_i$
Satunnaista virhettä kuvaa koordinaattivirheistä laskettu otoskeskihajonta (S_x , S_y , S_z).	$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$; $S_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}$ $S_z = \sqrt{\frac{\sum (Z_i - \bar{Z})^2}{n-1}}$
Kokonaisvirhe, eli neliöllinen keskivirhe (RMSE; root-mean-square-error) lasketaan koordinaattivirheistä.	$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dX^2}$; $RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dY^2}$; $RMSE_z = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n dZ^2}$
Pistevirhe (2D-virhe)	$RMSE_r = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2}$
3D-virhe	$RMSE_{3D} = \sqrt{RMSE_x^2 + RMSE_y^2 + RMSE_z^2}$
Jos $RMSE_x = RMSE_y$, niin säteittäinen kokonaisvirhe on	$RMSE_r = 1,4142 * RMSE_x = 1,4142 * RMSE_y$

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 kaikiin.

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
Häiriöt	Keilausalueella ei saa esiintyä pilvää, savua tai muuta maanäkyvyyden peittävää esettä mittauksia merkittävästi häiritsevästi.
Keilauskorkeus	Keilauskorkeus saa poiketa keilaussuunnitelmasta korkeintaan ± 5 %.
Peittoprosentti	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 10 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)

Tilaja käyttää aineiston tarkistukseen paljaalla maalla olevia tarkastuspisteitä, jolloin pinta voi olla esimerkiksi soraa, hiekkaa, kalliota, hyvin lyhyttä nurmea, asfalttia tai betonia.

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
Z cm (10 cm)	Z cm (10 cm)	1,96*Z cm (19,6 cm)

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 16,7 cm. Laserkeilauskilpailutuksen vaatimuksena lentolinjojen keskinäinen yhteensopivuusvirhe korkeussuunnassa on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 20 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 (10 cm)	≤0,60*Z cm (6 cm)	≤0,80*Z cm (8 cm)	≤1,67*Z cm (16,7 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 45 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 0,8 m.

Pistetiheys (paluukaikuja/m², kun lasketaan 1 paluukaiku / lähtenyt pulssi yksittäisellä keilausjonolla, eli ilman jonojen yhteisten peittoalueiden tihentävää vaikutusta) kattavasti eli harvimmillaankin välillä 5 pistettä/m².

3.3 Kaikujen laatu metsäkeilauksissa puustotulkintaa varten

Laserkeilausaineiston pitää soveltua metsien inventoinnissa tarvittavien puustotunnusten tuottamiseen. Laserkeilausaineiston soveltuvuus metsäinventointiin varmistetaan laaturastereilla ja kaikujakauma-analyysillä. 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).

Tuotantoalueiden kaikujakauma-analyysin tuloksen hylkäysraja:

Sama tai suurempi kuin 0,6

- 0,599 = tulos on hyväksyttävä

0,600 - = laserkeilausaineistoa 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 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

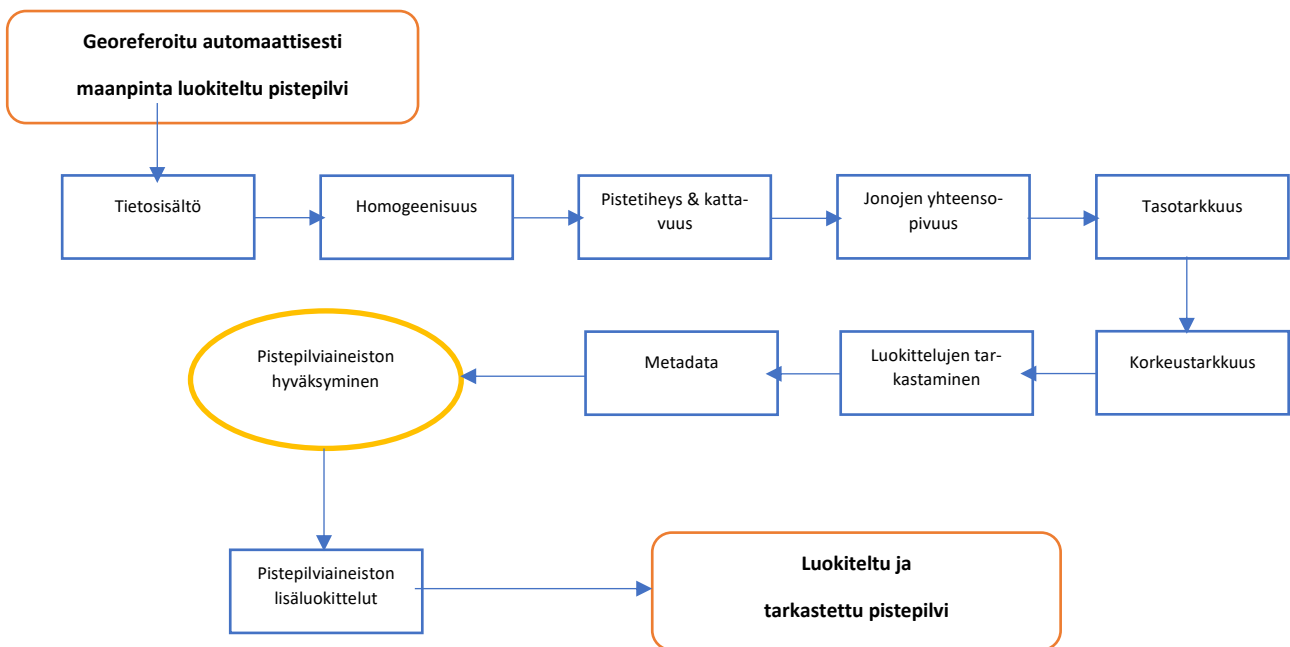
Ilmalaserpistepilven laadunohjausta tehdään sekä pistepilven prosessoinnissa että tilaaja-toimittaja –mallissa. Automaattisesti luokiteltu pistepilvi on laatutarkistettu ja käsitelty mahdollisimman hyvin valtakunnallisen korkeusmallin perustaksi ja valtakunnallisen puustotulkinnan tarpeisiin soveltuvaksi. Pistepilven luokittelut on toteutettu valtaosin automaattisesti, eivätkä ne käytännössä koskaan ole täysin kattavia, varsinkaan ilma- ja virhepisteiden osalta.

Ilmapistepilven laadunvalvonta tehdään tuotantoaluekokonaisuuksina seuraavasti. Toimittajalta saadaan linjasovitettu (georeferoitu) ja automaattisesti maanpintaluokiteltu pistepilvi, jossa häiriöpisteet on luokiteltu omiin luokkiinsa. Tilaaja tekee kaikki seuraavaksi mainitut toimenpiteet. Tilaaja varmistaa, että toimitettu aineisto vastaa vaadittua formaattia ja sisällöstä löytyvät vaaditut tiedot. Aineiston soveltuvuus puustoinventointiin varmis-

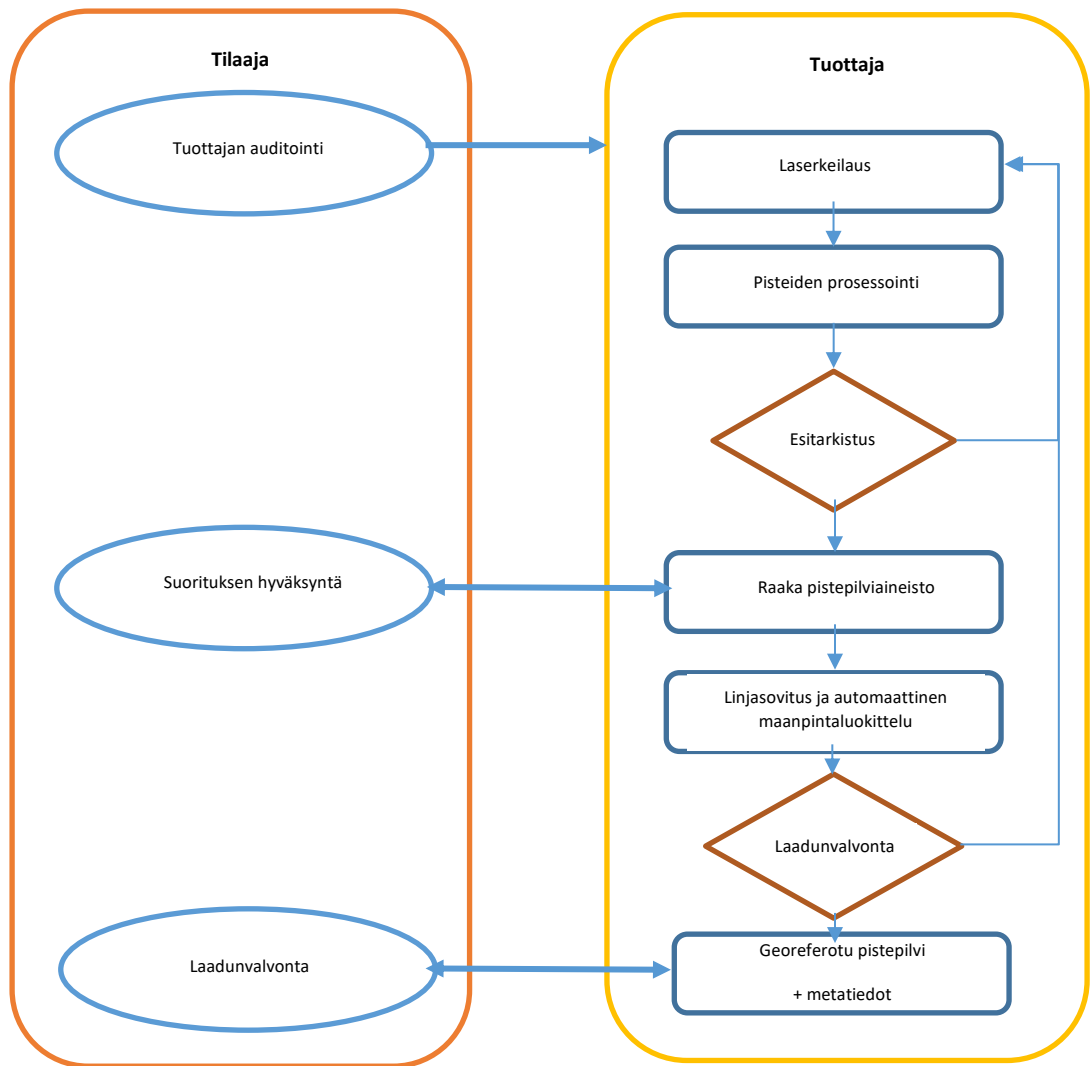
tetaan tarkastamalla aineiston homogeenisuus. Aineistosta tarkastetaan pistetiheyden ja kattavuuden vaatimusten täyttyminen. Lentolinjojen yhteensopivuus tarkistetaan lentolinjojen välille lasketusta yhteensopivuusrasteista. Aineistoa verrataan stereomallien kohteisiin XY-tarkkuuden varmistamiseksi. Stereomalleilta mitataan esimerkiksi katonharjoja ja verrataan tuloksia laseraineiston vastaaviin kohteisiin. Geometrisen korkeustarkkuuden laadun varmistamiseksi pisteaineistoa verrataan maastossa mitattuihin RTK-GPS -tukipistekenttiin ja -mobiilipistejonoihin. Viimeisenä tarkistetaan pistepilviaineistolle tehtyjen luokittelujen oikeellisuus sekä viedään tuotantoalueeseen liittyvät metatiedot tietokantaan. Aineiston hyväksyminen vaatii kaikkien laadunvalvontavaiheiden läpäisyä. Hyväksymisen jälkeen pistepilville tehdään korkeustasoluokittelu. Tarkemmat luokat löytyvät osoitteesta <https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantunnevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto>.

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

Ilmapistepilven aineiston prosessointi ja laadunvalvonnan vaiheet:



KUVA 3. ILMAPISTEPILVEN PROSESSOINTIKAAVIO.



KUVA 4. ILMAPISTEPILVEN LAADUNOHJAUSKAAVIO.

LIITE 1

Tarjouspyynnön liite 1.1 ”Vaatimukset laserkeilauspalvelulle”

1 Tuotantotapaan liittyvät vaatimukset

- **Laserkeilaimen** toimintaperiaatteen tulee olla lineaarityyppinen (linear mode Lidar)
 - Jos laserkeilainyksikössä on useampi laserkeilaussensori, tulee laserkeilaussensoreiden aallonpituuksien olla samat.
- Laserkeilaus on toteutettava **A- tai C-keilausaikaikkunan** ollessa auki.
 - Aikaikkunan aukioloaikaa seurataan Tuotantoalueittain ja siitä ilmoitetaan Asiakkaan ylläpitämässä Ekstranet-palvelussa
 - Tuotantoalue on keilattava kokonaisuudessaan yhden aikaikkunan (A- tai C-keilausaikaikkuna) aikana
- **Hyötyavauskulma (FoV):** enintään 40°
 - Keilauksen hyötyavauskulma on enintään 40° eli +/- 20° nadiirista
- **Sivupeitto:** vähintään 20 %
 - Keilausjonojen keilaussuunnitelman mukainen sivupeitto on vähintään 20 % keilauksen hyötyavauskulman alueella.
- **Paluukaikujen määrä:** Vähintään 4 paluukaikua
 - Keilaimen asetukset oltava vähintään neljälle (4) paluukaiulle siten, että laaturastereiden (kts liite 1.6) vaatimukset tulevat täytetyksi
- **Suunniteltu pistetiheys** vähintään 5 pistettä/m²
 - Lentonopeuden suhde peilin nopeuteen (keilaustaajuuteen) tulee olla sellainen, että keilauskuvion **pistejakauma** on mahdollisimman tasainen.
- **Footprint:** enintään 0.60m
 - Laserpulsstin jalanjäljen tulee olla maastossa enintään 0.60m, kun lasersäteen leviämiskulma eli laserdivergenssi (beam divergence) on määritelty niin, että lasersäteen reunalla energia on 1/e² maksimienergiasta.
- Kullakin Tuotantoalueella keilataan vähintään kaksi Tuotantoalueen päälentosuuntaan nähden **poikittaista linjaa**, jotka leikkaavat koko Tuotantoalueen.
- **Tuotantoalueen laajennus** vähintään 500 metriä kaikkiin suuntiin liitteen 2 Sopimusmalli kohdan 18.6 mukaisesti.
- **Laserkeilausaineiston homogeenisuuden** varmistamiseksi mitään laserkeilauksen parametreja tai asetuksia ei saa muuttaa yksittäisen Tuotantoalueen sisällä.
 - Tuotantoalue tulee keilata kokonaisuudessaan **käyttämällä vain yhtä keilainyksilöä** (ks. myös sopimuksen kohdat 18.8-18.9)
- Jos keilaimen tekniikka hyödyntää MTA (Multiple-Time-Around) -vyöhykkeitä, niin **Keilaussuunnitelma** tulee tehdä niin, että MTA-vyöhykkeiden näkyminen aineistosta on minimoitu.
 - Esimerkiksi siten, että MTA-vyöhykkeiden vaihto tapahtuu laserkeilausaineiston overlap-alueella.

2 Tuotteisiin liittyvät vaatimukset

2.1 Laatuun ja tarkkuuteen liittyvät vaatimukset

- **Tehollinen pistetiheys** vähintään 5 pistettä/m²
 - Lentonopeuden suhde peilin nopeuteen (keilaustaajuuteen) tulee olla sellainen, että keilauskuvion **pistejakauma** on mahdollisimman tasainen.
- **Tasotarkkuus (RMSE):** Enintään 0.45m
 - Tasotarkkuus (RMSE enintään) on 45 cm yksiselitteisillä kohteilla (tämä RMSE lasketaan laatukontrollissa pohjoissuuntaisen RMSE:n ja itäsuuntaisen RMSE:n arvojen muodostamana virhevektorina).
- **Korkeustarkkuus (RMSE):** Enintään 0.10m

- Laserpisteiden korkeustarkkuus (RMSE enintään) on paikallisestikin 10 cm yksiselitteisillä pinnoilla
 - **Lentolinjojen yhteensopivuus korkeussuunnassa:** Enintään 0.20m
 - Lentolinjojen keskinäinen yhteensopivuusvirhe korkeussuunnassa on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 20 cm.
 - **Lentolinjojen keskinäinen tasoyhteensopivuus:** Enintään 0.80m
 - Lentolinjojen keskinäinen tasoyhteensopivuusvirhe lentosuuntaan ja kohtisuoraan lentosuuntaa vastaan on paikallisestikin (ts. hyvin rajallisella osa-alueella) enintään 0.80 m.
 - Jos keilainjärjestelmässä on useampia lasertykkeitä
 - Eri lasertykkien tuottamien pistepilvien välillä ei lentojonolla saa olla sijaintiristiriitaa
 - **Laserkeilausaineiston 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.
 - Laserkeilausaineiston tulee sisältää sivupeittoalueet ja poikittaislinjat, mutta kaikki muu ylimääräinen laserkeilausaineistosta tulee olla poistettu
 - **Laserkeilausaineiston pitää soveltua metsien inventoinnissa** tarvittavien puustotunnusten tuottamiseen. Laserkeilausaineiston soveltuvuus metsäinventointiin varmistetaan laaturasteilla ja Kaikujakauma-analyysillä.
 - Laaturastereiden ja Kaikujakauma-analyysin tekeminen on ohjeistettu liitteessä 1.6
- Tuotantoalueiden kaikujakauma-analyysin tuloksen hylkäysraja:**
 Sama tai suurempi kuin 0,6
- | | |
|---------|--------------------------------------|
| - 0,599 | = tulos on hyväksyttävä |
| 0,600 - | = laserkeilausaineistoa ei hyväksytä |

2.2 Laserkeilausaineiston formaattiin ja sisältöön liittyvät vaatimukset

- **Formaatti:** LAZ 1.2
 - Tietosisältö:
 - luokan numero
 - lentojonon numero
 - lähtöpulssin aikaleima (Standardi GPS-aika)
 - paluukaiun numero, esim. 1/1, 2/3, 4/4...
 - E, N, Z –koordinaatit vähintään 2 desimaalilla, eli senttimetresoluutiolla
 - intensiteetti-arvo
 - keilauskulma
 - kanavan/keilaimen numero
- **Koordinaatisto:** ETRS-TM35FIN (EPSG:3067)
- **Korkeusjärjestelmä:** N2000 (EPSG:3900)
- **Luokittelut:** Overlap, Isolated, Low vegetation, Low points, Ground, Air points, Fault points, Default
 - Laserkeilausaineistolle tehtävät luokittelut on määritelty liitteessä 1.5.

2.3 Metadatoihin liittyvät vaatimukset

Laserkeilaukseen liittyvät metatiedot toimitetaan liitteen 1.7 mukaisesti XML-formaatissa skeema version 1.3 mukaisesti. Asiakas voi muuttaa ja yksinkertaistaa metatietojen toimitusformaattia ja sisältöä tuotantokausien ulkopuolella.

Lisäksi tulee toimittaa keilaussuunnitelmista ja -toteumista liitteen 1.4 mukaisesti Tuotteet shape-formaatissa sekä liitteen 1.8 perusmetatietotaulukko excel-formaatissa.

3 Tietoturva-vaatimukset

Laserkeilausaineiston käsittely tulee suorittaa Suojaustason IV vaatimalla tavalla ja vaatimuksen täytävissä tiloissa. Vaatimukset on määritelty tarkemmin Liitteessä 2.1 Turvallisuussopimus ja liitteessä 2.1.2 Tietoturva-vaatimukset.

Laserkeilausaineistojen tuhoamisesta tulee toimittaa ylikirjoitusraportit ulkoisista muisteista ja kiintolevyistä, joilla salassa pidettäviä tietoja on käsitelty tai joihin niitä on ollut tallennettuna. Tuhoaminen tulee tehdä Viestintäviraston ohjeen 'Kiintolevyjen elinkaaren hallinta - ylikirjoitus ja uusiokäyttö' mukaisesti. Toimenpide tulee ilmoittaa Sopimuksen allekirjoittajan ja nimetyn yhteyshenkilön allekirjoituksella vahvistetulla pöytäkirjalla.