Metsätehon raportti 249
25.2.2019

YKSITYISTIETIEDON TIETOLAJIT JA TIEDONKERUU-MENETELMÄT

Yksityistietiedon palvelualusta -hankkeen osaraportti

Pirjo Venäläinen
Seppo Niskanen
Mika Vahtila
Tapio Räsänen

ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

METSÄTEHO OY
Vernissakatu 1
01300 Vantaa

www.metsateho.fi

Yksityistietiedon tietolajit ja tiedonkeruumenetelmät

Yksityistietiedon palvelualusta -hankkeen osaraportti

Pirjo Venäläinen
Seppo Niskanen
Mika Vahtila
Tapio Räsänen

Metsätehon raportti 249
25.2.2019

ISSN 1796-2374 (Verkkojulkaisu)

© Metsäteho Oy

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ **4**

1 JOHDANTO **5**

2 TIETOLAJIT **6**

2.1 Metadata 6

2.2 Tietolajien kuvaukset (Digiroad/KMTK) 8

2.2.1 Esterakennelma 8

2.2.2 ID 9

2.2.3 Kelirikko (alttius) 9

2.2.4 Keskilinjageometria 10

2.2.5 Kohtaamispaikka 11

2.2.6 Kääntöpaikka 11

2.2.7 Leveys ja Kapea kohta 13

2.2.8 Osoitetiedot/Tienimitiedot 15

2.2.9 Raskaan liikenteen ajorajoite 15

2.2.10 Sillat ja rummut 17

2.2.11 Suurin sallittu -rajoitukset 18

2.2.12 Sähkölinja, Johdot ja kaapelit 19

2.2.13 Talvi-, jää- ja piennartiet 20

2.2.14 Toiminnallinen luokka 21

2.2.15 Uudet ja poistuneet kohteet 22

2.2.16 Vaihtuvat painorajoitukset 23

2.3 Tietolajien kuvaukset (muut) 24

2.3.1 Avustusajankohta 24

2.3.2 Kantavuus 24

2.3.3 Keli ja väliaikaiset esteet 26

2.3.4 Käyttöoikeus 28

2.3.5 Liikennemäärä (raskas liikenne) 28

2.3.6 Näkemäalueet 29

2.3.7 Pituuskaltevuus 29

2.3.8 Puun yleinen välivarasto 30

2.3.9 Puuterminaali 30

2.3.10 Sivukaltevuus 32

2.3.11 Talvihoidon tilanne 32

2.3.12 Tiekuntien yhteystiedot 33

2.3.13 Tien kunto 33

2.3.14 Tienpidon toimenpiteet 34

2.3.15 Muita tietolajeja 35

3 TIEDONKERUUMENETELMÄT **36**

3.1 Johdanto 36

3.2 Satelliittikuvat 36

3.3 Ilmakuvat 39

3.4 Ilmalaserkeilaus 40

3.5 Droonikuvaus ja -keilaus 43

3.6 Ajoneuvomittaus (mobiili mittaus) 45

3.7 Kannettavat mittauslaitteet 48

3.8 Ajoneuvotietokoneiden data 50
3.9 Ajoneuvojen kuva- ja anturidata 53
3.10 Älyrenkaat 55
3.11 Tienkäyttäjien palautesovellukset 55
3.12 Säämallit ja -ennusteet 56
3.13 Maaperä-, vesistö- ja korkeusmallit 60

LÄHTEET 64

LIITTEET

TIIVISTELMÄ

Maa- ja metsätalousministeriön Biotalouden tietietojärjestelmä -hankkeessa on laadittu visio ja tekninen määrittely eri tietolähteistä tiestötietoa kokoavalle ja eri toimijoille tietoa jakavalle yksityistietiedon palvelualustalle (YTPA). Tässä osaraportissa on kuvattu hankkeen aikana esille nousseita tietietolajeja, jotka ovat tarpeen mm. yksityisteiden kuljetusten suunnittelussa ja yksityisteiden tienpidon suunnittelussa sekä ko. tietolajeihin liittyviä kehittämistarpeita.

Raportissa kuvatut tietolajien määritelmät ja kehittämistarpeet ovat ehdotuksia ja niiden viimeistely ja käyttöönotto vaatii tietiedon ekosysteemin jatkuvaa yhteistyötä. Määritelmissä on hyödynnetty mahdollisimman paljon valmiita määritelmiä (mm. Digiroad, Kansallinen maastotietokanta ja Metsätieohjeisto).

Raportissa kuvatut tietietolajit ovat tietotyypeittäin:

1. Pysyvä tietieto
    - Esterakennelma, ID, kantavuus, keskilinjageometria, kohtaamispaikka, käyttöoikeus, kääntöpaikka, näkemäalueet, osoitetieto/tienimitieto, pituuskaltevuus, puun yleinen välivarasto, puuterminaali, raskaan liikenteen ajorajoite, sillat ja rummut, sivukaltevuus, suurin sallittu -rajoitukset, sähkölinja, johdon ja kaapelit, talvi-, jää, ja piennartiet, tiekuntien yhteystiedot, hallinnollinen luokka, tien leveys ja kapea kohta, toiminnallinen luokka, uudet ja poistuneet kohteet
2. Keli ja väliaikaiset esteet
    - Esim. liukkaus ja lumen määrä
3. Kuntotieto
    - Mm. avustusajankohta, kelirikko/kelirikkoalttius, talvihoidon tilanne, tien kunnostustoimenpiteet, vaihtuvat painorajoitukset, vesakoituminen, kuopat ja kivet
4. Muu tieto
    - Liikennemäärä (vrk/v).

Tietietolajeja koskevat keskeiset kehittämistarpeet ovat 1) pysyvänkin tietiedon kattavuuden lisääminen yksityisteiden osalta, 2) uusien tietiedon keruumenetelmien käyttöönotto, 3) eri organisaatioiden tiedatan yhdistäminen, 4) joukkoistetun tiedonkeruun hyödyntäminen ja 5) tässä raportissa esitettyjen tietolajimääritelmien viimeistely sidosryhmäyhteistyön kautta.

Raportin toisena teemana ovat erilaiset menetelmät kerätä tietietoa. Menetelmien moninaisuus ja yksittäiset menetelmät ovat kehittyneet merkittävästi viime vuosina ja siten luovat aivan uudenlaisia mahdollisuuksia tietiedon kattavaan ja ajantasaiseen keräämiseen. Lisäksi mm. mobiilin tiedonsiirron kehittyminen parantaa uusien tiedonkeruumenetelmien hyödynnettävyyttä.

Raportissa on kuvattu seuraavia tietiedon keruumenetelmiä ja malleja sekä niiden hyödyntämisen nykytilaa:

1. Kaukokartoitusmenetelmät
    - Satelliittikuvat, ilmakuvat, ilmalaserkeilaus, droonikuvaus ja -keilaus
2. Ajoneuvoihin liittyvät menetelmät
    - Ajoneuvomittaus (mobiili mittaus), ajoneuvotietokoneiden data, ajoneuvojen kuva- ja anturidata, älyrenkaat
3. Muut paikalliset menetelmät
    - Kannettavat mittalaitteet, tienkäyttäjien palautesovellukset
4. Paikkatietomallit
    - Säämallit- ja ennusteet
    - Maaperä-, vesistö- ja korkeusmallit.

1 JOHDANTO

Maa- ja metsätalousministeriön Biotalouden tietietojärjestelmä -hankkeessa on laadittu visio ja tekninen määrittely eri tietolähteistä tiestötietoa kokoavalle ja eri toimijoille tietoa jakavalle yksityistietiedon palvelualustalle (YTPA). Hanke ja palvelualusta on kuvattu tarkemmin Yksityistietiedon visio ja organisointi -dokumentissa.

Tässä raportissa on kuvattu ko. hankkeen ohjausryhmässä, sidosryhmäkeskusteluissa[1] ja muissa asiantuntijakeskusteluissa esille nousseita tietietolajeja, jotka ovat tarpeen mm. yksityisteiden kuljetusten suunnittelussa ja yksityisteiden tienpidon suunnittelussa sekä ko. tietolajeihin liittyviä kehittämistarpeita.

Kuvatut tietolajit koskevat ensisijaisesti yksityisteitä. Jonkin verran tiedon kehittämistarpeita on myös kuntien katuverkkoon liittyen. Valtion tieverkkoon liittyvät kehittämistarpeet koskevat lähinnä olosuhde- ja kelitiedon keräämistä ja hyödyntämistä. Tietolajien hyödyntämistä eri organisaatioissa on kuvattu erillisessä Yksityistietiedon käyttötapaukset -dokumentissa.

Tietolajien tiedonkeruun ja hyödyntämisen tulee toimia saumattomasti koskien sekä valtion, kuntien että yksityistä tieverkkoa. Sen takia tietolajien määrittelyn tulee olla yhtenäistä ja metatiedoilla tulee varmistaa tietojen yhdistettävyys. Tässä raportissa kuvatut tietolajien määritelmät ja kehittämistarpeet ovat ehdotuksia ja niiden viimeistely ja käyttöönotto vaatii tietiedon ekosysteemin jatkuvaa yhteistyötä.

Raportin toisena teemana ovat erilaiset menetelmät kerätä tietietoa. Menetelmien moninaisuus ja yksittäiset menetelmät ovat kehittyneet merkittävästi viime vuosina ja siten luovat aivan uudenlaisia mahdollisuuksia tietiedon kattavaan ja ajantasaiseen keräämiseen. Lisäksi mm. mobiilin tiedonsiirron kehittyminen parantaa uusien tiedonkeruumenetelmien hyödynnettävyyttä.

Raportin tekijät kiittävät lämpimästi hankkeen ohjausryhmään, työpajoihin ja Tietietofoorumeihin osallistuneita henkilöitä.

[1] Hankkeen sidosryhmäkeskusteluihin on osallistunut useita viranomaisten, yritysten, yhdistysten ja tutkimuslaitosten edustajia. Raportissa on lisäksi otettu huomioon Suomen metsäkeskuksen ja Metsäteho Oy:n järjestämien Tietietofoorumien sekä Forest Big Data -hankkeen keskusteluita ja työpajatuloksia.

2 TIETOLAJIT

Tässä luvussa on kuvattu kunkin palvelualustan kannalta olennaisen tietietolajin:

- nykytila (tiedon nykyinen kerääminen ja esittäminen sekä määritelmät; ks. myös liite 1)
- määrittämisen tai keräämisen kehittämistarpeita.

Tietolajikuvausten tavoitteena on luoda eri toimijoiden yhteinen näkemys palvelualustan kannalta olennaisista tietolajeista, niiden nykytilasta ja kehittämistarpeista. Tietolajien ja niiden metatietojen yhteistyössä laadituilla määrityksillä halutaan varmistaa tietolajien mahdollisimman laaja hyödynnettävyys ja yhteneväisyys sekä tietojen tuottamisessa että hyödyntämisessä.

Palvelualustan kautta on mahdollista hakea ja siirtää muitakin kuin erikseen määriteltyjä tietolajeja, mutta niille palvelualusta ei pysty tekemään laadunvalvontaa. Määrittelyn ulkopuoliset tietolajit tallennetaan alustaan korkeintaan lyhytaikaisesti.

Keskeisimmät lähteet tietietolajien kuvauksille ovat:

1. Digiroad 3/2018 (Liikennevirasto 2018a)[2][3]
2. Maastotietokanta (Maanmittauslaitos 2015)
3. Paikkatietoalusta[4] ja sen osahanke Kansallinen maastotietokanta (KMTK)[5] (Tieliikenteen käsitemallin kommentoitava luonnos helmikuulta 2019 (Maanmittauslaitos 2019) Tieliikenteen käsitemallin kommentointikierrokset ja tarvittava lopputyöstö tehdään alkuvuoden 2019 aikana. Tämän jälkeen käsitemallia päivitetään tarpeiden mukaan.
4. Suomen metsäkeskuksen (2018) avoin tiestödata (Kemera)
5. Metsätieohjeisto (Metsäteho Oy 2018)
6. Tierekisteri (Väylä 2019b) (korvaantuu Velho-järjestelmällä[6])
7. Suomen tieyhdistyksen oppaat[7]

2.1 Metadata

Metatietojen merkitys on suuri tietoalustan toiminnoille (esim. eri tietolähteiden datojen valinta ja yhdistäminen sekä laadunhallinta). Joukkoistettu tiedonkeruu luo uudenlaisia vaatimuksia metatiedoille, kun tiedontuottajaryhmä monipuolistuu.

Metatietojen hallinnasta ja merkitystä on kuvattu tarkemmin CGI Suomi Oy:n dokumentissa Tekninen ja toiminnallinen määrittely. Metatietojen osalta suositellaan käytettävän JHS 158 -suositusta[8]. Taulukkoon 1 on koottu esimerkkejä ko. suosituksen keskeisimmistä metadatoista ja niiden koodiesimerkeistä. Taulukossa 2 on esitetty Digiroadissa ja taulukossa 3 KMTK:ssa käytettäviä metadatoja. Käyttötapausdokumentissa on kuvattu keskeisimmät tarpeet tietolajikohtaiselle metadatalle.

[2] 1.1.2019 alkaen Liikenneviraston toiminnot jakautuivat Väylävirastoon (Väylä) ja Traficomiin. Digiroad-kuuluu Väylävirastolle.

[3] 1.1.2019 voimaan astuneen uudistetun yksityistielainsäädännön myötä yksityistiekuntien tulee toimittaa Digiroadiin seuraavat tiedot: painorajoitukset, ajokiellot, liikennemerkkien mahdolliset lisäkilvet, kunnan kanssa sovitut tai muuten vuosittain toistuvat rajoitukset ja kiellot (Väylä 2019c).

[4] Lisätietoja: http://www.paikkatietoalusta.fi/

[5] Lisätietoja: http://kmtk.paikkatietoalusta.fi/

[6] Lisätietoja Velho-hankkeesta: https://www.liikennevirasto.fi/hankkeet/digitalisaatiohanke/tieverkon-kunnonhallinta/velho-allianssi#.XCh-P8RS9dg

[7] Oppaat: https://www.tieyhdistys.fi/yksityistiet/yksityistieoppaat/

[8] Saatavissa: http://www.jhs-suositukset.fi/suomi/jhs158

Taulukko 1. Keskeisimpien metatietojen esimerkkikoodeja (JHS 158 Liite 3 Koodilistat)

Metadata	**Esimerkkejä koodeista**
Esitystapa	001 digitaalinen dokumentti, 003 digitaalinen kuva
Geometriatyyppi	003 käyrä, 004 piste
Laajuus	
Päivämäärän tapahtuma	001 pvm, jolloin resurssi luotu, 002 pvm, jolloin resurssi on julkaistu
Rooli	Osapuoli, joka on resurssin 002 haltija, 003 omistaja, 004 käyttäjä, 006 tuottaja
Sijaintitiedon esitystapa	001 vektori, 002 rasteri
Status	001 valmis, 002 historiallinen arkisto
Saanti- ja käyttörajoitteet*	001 tekijänoikeus, 007 rajoitettu
Arviointimenetelmä	001 Laadun arvioinnissa käytetty menetelmä, joka perustuu paikkatietoaineistossa olevien yksittäisten kohteiden tarkastukseen ja jossa kaikki tarvittava tieto on ko. paikkatietoaineiston sisäistä tietoa.
Turvaluokittelu	001 julkinen, 003 luottamuksellinen
Ylläpitotiheys	001 jatkuva, 002 päivittäin

**Lisäksi keskeinen tapa ilmaista tiedon käyttöoikeudet on ilmaista siihen sovellettava lisenssi (esim Creative Commons -lisenssi).*

Taulukko 2. Digiroadin keskeisimmät metadatat (Liikennevirasto 2018a).

Selite	**Kenttä/elementti**	**Tietotyyppi**	**Lisätieto**
ID	ID	Text, 20	
Sijainti	shape/points	Geometry (polylineZ)	ETRS-TM35FIN
Linkin ID	LINK_ID	Text, 20	
Alkuetäisyys linkin alusta	ALKU_M	double	
Loppuetäisyys linkin alusta	LOPPU_M	double	
Tiedon ylläpitäjä	YLLAPITAJA		
Ylläpitäjän tunnus tietolajille	YLLAP_TUNN		
Muokattu viimeksi	MUOKKAUSPV	Text, 50	

Taulukko 3. Kaikille KMTK:n Tieliikenne-teeman kohdeluokille periytyvät ominaisuustiedot. (Maanmittauslaitos 2019).

Ominaisuustieto	**Määritelmä (tiivistetty)**
ID	KMTK:n pysyvä tunniste, KMTK-ID. Annetaan aina uusille kohteille.
Muu ID	Kohteen ID lähdejärjestelmässä
VersioID	Version numero
Paikkatietokohteen AlkuPvm	KMTK paikkatietokohteen syntyhetki, jolloin paikkatieto-kohde on luotu.
PaikkatietokohteenPäätty-misAika	Hetki, jolloin paikkatietokohteen voimassaolo päättyi.
PaikkatietokohteenViimei-sinMuutosPvm	Paikkatietokohteen viimeisin muutoshetki, joka on samalla kohteen seuraajaversion päivämäärä.
Tietolähde	Kohteen tietojen tietolähde (muut kuin KMTK ylläpitämät, esim. joku kunta). Tämä tarkoittaa kohteen kaikkia tietoja.
ElinkaarenTila	Reaalimaailman kohteen elinkaaren tila (suunnitteilla, raken-teilla, käytössä)

2.2 Tietolajien kuvaukset (Digiroad/KMTK)

Tässä luvussa on esitetty ne tietietolajit, jotka on edes osittain kuvattu jo Digiroadissa ja/tai KMTK:n Tieliikenteen käsitemallissa.

2.2.1 Esterakennelma

Nykytilanne

- Määritelty KMTK:ssa ja Digiroadissa. MML selvittää esterakennelmien jaottelutarvetta KMTK:n osalta.
- Tietoja on tarpeen täydentää yksityisteiden osalta.

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne, luonnos)

- Esterakennelma on tiestön normaalin käytön estävä pysyvä rakennelma kuten esim. puomi, kaivanto yms. Esterakennelmana tallennetaan sellaiset esteet, joita ei voida henkilövoimalla poistaa. Kevyempiä esteitä kuten pieniä betoniporsaita ei tallenneta.

Määritelmä (Digiroad 4.3.2)

- Esterakennelmat ovat suljettuja yhteyksiä ja avattavia puomeja. Suljettu yhteys ilmaisee fyysistä estettä, joka estää tie- ja katuverkolla kulkemisen kyseisen kohdan kautta - esim. katujen yhteys on katkaistu kivillä, ojalla tai puomilla, jota ei voi avata.
- Avattava puomi on yhtenäisen keskilinjageometrian kohta, jossa on lukittu, mutta avattava puomi.

Nimi	Koodiarvo	Selite
Esterakennelman tyyppi	1	Suljettu yhteys
	2	Avattava puomi

Kehittämistarpeet

- Sijaintitietojen täydentäminen yksityisteillä (esim. joukkoistettu tiedonkeruu, koska puomit eivät näy ilmakuvissa).
- Avattavan puomin yhteyshenkilö => Tiekuntien yhteystietojen saatavuus (ks. oma kohta raportissa)

2.2.2 ID

Nykytilanne

- Nykyisin ja jatkossakin on käytössä Digiroadin ID. Lisäksi on tulossa käyttöön KMTK-ID. KMTK-hankkeen yhteydessä MML tulee tarkentamaan ID-tunnusten hallintaa (PTA:ssa on tarjolla ID-tunnusten käännöspalvelu).
- MML:lle on tulossa käyttöön automatisoitu ID:n myöntämisprosessi, jossa on mahdollisuus luoda tarvittaessa väliaikainen ID, kunnes myönnetään pysyvä ID.
- LINK_ID-saraketta käytetään tielinkkien geometrian ja ominaisuustietojen yhdistämiseen).
- ID:t on luotu tien solmujen välisille linkeille sekä taitorakenteille (yhdellä yksityistiellä on siten aina useampi ID).

Kehittämistarpeet

- Palvelualustan tiedot tulisivat olla linkitettävissä tiegeometriaan Digiroadin tai KMTK:n ID:n avulla. Linkitystä on käsitelty yksityiskohtaisemmin YTPAn Teknisessä ja toiminnallisessa määrittely -dokumentissa.
- Lisäksi on tarve kunkin yksityistien omalle ID:lle, joka voi siis sisältää monta Digiroad-ID:tä. Saman tiekunnan tiet voivat jakaantua Digiroadin eri segmentteihin; toisaalta samassa Digiroadin segmentissä voi olla usean tiekunnan teitä.
- Yksittäiselle yksityistielle on tarpeen ID:n lisäksi muu yksilöivä tunniste (MML:n kiinteistötietojärjestelmän käyttöoikeusyksikkötunnukset[9], joita voi yhdellä yksityistiellä olla useampia). Tunnusta tulisikin käyttää nykyistä laajemmin palveluissa, jotka ovat potentiaalisia tietiedon lähteitä (esim. yksityisteiden avustusprosessit).
- Lisäksi voi olla tarpeen yksi tiekuntakohtainen tunnus (esim. tiekunnan y-tunnuksen perusteella laadittu).

2.2.3 Kelirikko (alttius)

Nykytilanne

- Määritelty Digiroadissa. Määritelmä tulee muuttumaan vuoden 2019 aikana.
- Tierekisterissä on lisäksi määritelty 162 Kelirikkorajoitus, 309 Painorajoitusalttius ja 328 Sorateiden runkokelirikko (tulevat siirtymään Velhoon, tarkempi määrittely on vielä auki). Sorateiden kelirikkoluokkia on kuvattu myös Liikenneviraston (2018b) ohjeessa.
- Alttiusarvio tuotetaan tällä hetkellä vain valtion teiltä kelirikkoinventointien pohjalta.
- Lisäksi Ilmatieteen laitos laatii Väylävirastolle vuosittaisen kelirikkoennusteen.

Määritelmä (Digiroad 4.4.5)

- Kelirikko on tieverkon osa, jolla on todettu alttiutta kelirikkoon.
- [Digiroadiin tulee sisältymään painorajoitusuhanalaisuus-tietolaji toistuville, mutta ei pysyville painorajoituksille. Rajoitukselle voi asettaa varsinaisen painorajan arvon sekä sen voimassaolon ja tarvittaessa automaattisen toiston tiettyyn aikaan vuodesta.]

Arvot

Arvo-kentässä on kerrottu kelirikon aiheuttaman vaurion maksimi kantavuus (kg).

[9] Käyttöoikeusyksiköt yksilöidään käyttöoikeusyksikkötunnuksella. Käyttöoikeusyksikkötunnus voi olla vanhempaa Y-alkuista muotoa tai uudempaa muotoa. Uudempi muoto esitetään kiinteistötietojärjestelmässä joissakin yhteyksissä täydellisenä tai hyvin lyhyessä muodossa.

Kelirikko

Viivamainen

Selite	Kenttä (shape)/ elementti (WFS)	Tietotyyppi (shape)	Lisätieto
ID	ID	text, 20	
Sijainti	shape/points	geometry (polylineZ)	ETRS-TM35FIN
Linkin ID	LINK_ID	text, 20	
Alkuetäisyys linkin alusta	ALKU_M	double	
Loppuetäisyys linkin alusta	LOPPU_M	double	
Muokattu viimeksi	MUOKKAUSPV	text, 50	aikaleima "12.06.2014 13:29:17"
Kuntanumero	KUNTAKOODI	integer	

Kattavuus:

- Tietoja on pääasiassa maanteillä.

Kehittämistarpeet

- Joukkoistetun tiedonkeruun hyödyntäminen valtion teiden kelirikkoinventoinnissa (ks.RoadAI-pilotti tiedonkeruumenetelmien osiossa) ja siten kelirikkoalttiuden luotettavampi arvioiminen.
- Tarve esittää myös kuntien katuverkon kelirikkoalttius
- Yksityisteiden kelirikkoalttiuden esittäminen tiekuntien Digiroadiin toimittamien tietojen pohjalta.
- Yksityisteiden kelirikkojen ennakoinnin kehittäminen myös osana kuljetuskelpoisuusluokitusta (ks. Puumalainen 2018).

2.2.4 Keskilinjageometria

Nykytilanne

- Teiden keskilinjageometria esitetään Digiroadissa ja KMTK:ssa. Tietolajin hallinta on osin edelleen Väylävirastossa, mutta jatkossa siirtynee täysin MML:n hoitoon. Metsäteiltä puuttuu geometriatietoa.

Määritelmä (Digiroad, sanasto)

- Digiroadin keskilinjageometrian muodostavat teiden, katujen, kevyen liikenteen väylien ja lauttayhteyksien keskilinjojen sijaintia kuvaavat murtoviivat.

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne, luonnos)

- Kaikista yli 50 metriä pitkistä reaalimaailman teistä tallennetaan tielinkit. Lyhyistä, alle 50 metriä pitkistä talojen pihoihin johtavista teistä ei tallenneta tielinkkejä. Myöskään korttelin sisällä olevista, tieverkon kannalta merkityksettömistä teistä ei tallenneta tielinkkejä.

Kehittämistarpeet

- YTPAssa esitetään ensisijaisesti yksityisteiden geometriatiedot ja niihin liittyvät ominaisuustiedot. Lisäksi voidaan esittää valtion tieverkkoon ja kuntien katuverkkoon liittyvää ominaisuustietoa, kun tieto on syntynyt esim. joukkoistetun tiedonkeruun osana.
- Joissakin tapauksissa voi olla tarpeen esittää myös kevyen liikenteen väylien geometriatiedot, jotta alustassa tunnistetaan juuri niihin linkittyvät datat tietolähteissä.
- Kuva- ja videomateriaalin esittämisessä on otettava huomioon se, että osa yksityisteistä voi kulkea yksityispihojen poikki.

2.2.5 Kohtaamispaikka

Nykytilanne

- Ei sisälly tällä hetkellä Digiroadiin, mutta ollaan sisällyttämässä KMTK:aan ja myöhemmin Digiroadiin. Määritelty Metsätieohjeistossa.
- Metsäkeskuksella on entisen LUOTSI-järjestelmän 19 000 kohtaamispaikan sijaintitieto (aineistoa ei enää päivitetä ja se perustuu suunnitelma-, ei toteumatietoihin). Kohtaamispaikoista ei edellytetä toimitettavan ominaisuustietoja. Kemera-prosesseissa muodostuva kohtaamispaikkatieto tallennetaan Metsäkeskuksen RIIHI-järjestelmään.

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne, luonnos)

- Kohtaamispaikka on metsäautotien varrelle rakennettu kohtaamispaikka raskaan liikenteen ajoneuvolle.
- Kohdeluokka sisältää alle 5 metriä leveiden teiden (Autotie IIIa ja IIIb sekä ajotie -tieluokkien) kohtaamispaikat.
- *MML:ssä selvitetään vielä olemassa olevien ohjeistuksien hyödyntämistä kohtaamispaikan minimimittojen määrittelyyn.*

Määritelmä (Metsätieohjeisto)

- Metsäteille rakennetaan kohtaamispaikkoja näköetäisyyden päähän toisistaan kuitenkin vähintään 600 m:n välein. Suoralla tienosalla kohtaamispaikat on pyrittävä sijoittamaan kuormattujen ajoneuvojen kulkusuuntaan nähden vasemmalle puolelle ja kaarteissa aina ulkoreunaan. Kohtaamispaikat rakennetaan ohjeiston liitteenä A10 olevan piirustuksen mukaan.

Ehdotus määritelmän täydentämiseksi

- Mitoitus (henkilöauto / pelkkä vetoauto / koko yhdistelmä / kuormattuna tai ilman kuormaa / hakkuri)

Kehittämistarpeet

- Metsäkeskuksen aineiston hyödyntäminen
- Tiedon kerääminen on työlästä, mutta se voisi edetä ensin tien leveystiedon keräämisen yhteydessä (esim. MML:n laserkeilausohjelma, automatisoitu joukkoistettu tiedonkeruu)
- Tulevaisuudessa kohtaamispaikkojen sijaintipaikat Digiroadin kokeelliseksi tietolajiksi.
- Kohtaamispaikan kantavuuden määrittely vaatii lisäselvittämistä.

2.2.6 Kääntöpaikka

Nykytilanne:

- Digiroadissa pilottiaineistona, ollaan sisällyttämässä KMTK:n Tieliikenteen käsitemalliin, määritelty Metsätieohjeistossa.
- MML kerää sijainti- ja geometriatietoa tien päässä olevista kääntöpaikoista ilmakuvista ja kohdennettujen maastokäyntien yhteydessä. Muihin paikkoihin kääntöpaikka muodostetaan vuorovaikutteisesti.
- Metsäkeskuksella tietoa tarjolla avoimena metsädatana (vain suunnitelma-, ei toteumatietoa, joten vaatii tarkistamisen ja toimisi aluksi lähinnä vihjetietona).
- Lisäksi metsäyhtiöillä on paljon kääntöpaikkoja koskevaa tietoa eri tavoin kuvattuna.

Määritelmä: metsäautotien kääntöpaikka (pilotti) (Digiroad 4.3.7)

- Metsäautotien kääntöpaikka, joka on tarkoitettu puutavarakuorma-autolle (ks. tarkemmin taulukko).

Metsäautotien kääntöpaikka (pilotti)

Pistemäinen

Selite	Kenttä (shape)/ elementti (WFS)	Tietotyyppi (shape)	Lisätieto
ID	ID	text, 20	muodostetaan ylläpitäjästä ja ylläpitäjän tunnuksesta esim. 1_5877
Sijainti	shape/ point	geometry (pointZ)	ETRS-TM35FIN
Linkin ID	LINK_ID	text, 20	
Etäisyys linkin alusta	SIJAINTI_M	double	
Kääntöpaikan tyyppi	KAANT_TYYP	integer	koodiarvo
Kääntöpaikan lisätiedot	LISATIEDOT	text, 200	
Kääntöpaikan ylläpitäjä	YLLAPITAJA	integer	koodiarvo
Ylläpitäjän tunnus kääntöpaikalle	YLLAP_TUNN	text, 20	
Muokattu viimeksi	MUOKKAUSPV	text, 50	aikaleima "12.06.2014 13:29:17"
Kuntanumero	KUNTAKOODI	integer	

Nimi	Koodiarvo	Selite
Kääntöpaikan tyyppi	1	Ympyrä
	2	L-haara
	3	I-haara
	9	ei määritelty
Kääntöpaikan ylläpitäjä	1	Metsäkeskus
	2	Metsähallitus
	3	Tornator
	4	UPM
	5	Metsä Group
	6	Finnsilva
	7	Otso metsäpalvelut

Kattavuus: Metsäautoteiden kääntöpaikka on pilottiaineisto, joka on tuotettu Metsäkeskuksen tiedoista.

Määritelmä: metsäautotien kääntöpaikka (KMTK/Tieliikenne, luonnos)

- Kohdeluokka sisältää tielinkin Autotie IIIb ja Ajotie -tieluokilla oleva kääntöpaikat.

Ehdotus määritelmäksi YTPAan (*=ensisijaisesti kerättävä tieto)

- Kääntöpaikan tyyppi*
  - Muoto (Metsäkeskuksen RIIHI-järjestelmä / Metsätehon metsätieohjeisto)
    - Ympyrä O / 1
    - Pisara V / 2
    - L-haara / 3A
    - I-haara / 4
    - T-haara / 3B

        - Ei määritelty
    - Saavutettavuus* (LogForcen kääntöpaikkatyypitys, soveltaen papiNetistä) => mittojen määrittely tarpeen, tarpeen määritellä erikseen hakeautolle?
        - 1. Nuppi: isRouteWithLoad = Yes, RoadTurningPossibilityType = RigidLorry
        - 2. Perävaunu tyhjänä: isRouteWithLoad = No, RoadTurningPossibilityType = DrawBarCombination
        - 3. Perävaunu kuormattuna: isRouteWithLoad = Yes, RoadTurningPossibilityType = DrawBarCombination
- Keskialue tasoitettu (ympyrän- ja pisaranmuotoiset kääntöpaikat): kyllä/ei/ei tiedossa
- Mitat
    - Metsätieohjeiston päivitysaineiston (Strandström 2017a) mukaiset mitat: kyllä/ei[10]
- Rakentamisvuosi (ml. perusparantaminen)
- Lisätiedot (vapaa tekstikenttä)
- Kuvat, video tai piirustukset liitetiedostona / linkkinä
- Mittakaava

Kehittämistarpeet

- Kääntöpaikkojen sijaintitieto
    - Tietolajin sisällyttäminen pysyvästi Digiroadiin (kuvaukseen on sisällytettävä kaikki, ei vain puutavarayhdistelmien, kääntöpaikat).
    - Tien päässä sijaitsevat: MML:n tiedonkeruuta on tarve täydentää esim. joukkoistetulla tiedonkeruulla (alkaen metsäyhtiöiden kääntöpaikkatiedoilla).
    - Tien varressa sijaitsevat: metsäsektorin aineistojen yhdistäminen, MML:n laserkeilausaineiston automaattinen tunnistaminen
    - Joukkoistamalla kerätyn tiedon esittäminen KMTK:ssa ja Digiroadissa, jos tieto tarpeeksi luotettava
    - Muut (esim. risteykset ja talviteiden kääntöpaikat): määrittely ja inventointi myöhemmin
    - Julkista rahoitusta saaneiden kääntöpaikkojen osalta tiekuntien velvollisuus tietojen toimittamiseen
- Kääntöpaikkojen muut ominaisuustiedot
    - Metsäsektorin toimijoiden tietojen yhdistäminen
    - Joukkoistettu tiedonkeruu,
    - MML voisi lisätä kääntöpaikkatyypin omien havaintojensa pohjalta

2.2.7 Leveys ja Kapea kohta

Nykytilanne

- Tien leveys määritelty Digiroadissa ja KMTK:ssa. Metsätieohjeistossa on määritelty vain päällysrakenteen leveys
- Digiroadin tiedoissa on puutteita yksityisteiden osalta ja nykyiset yksityisteiden leveystiedot perustuvat MML:n tieluokan pohjalta tekemään arvioon. Tieto on tärkeä pelastustoimen ja raskaiden kuljetusten osalta.
- Kapea kohta on määritelty KMTK:ssa ja voitaneen sisällyttää Digiroadiin, kun dataa ko. kohteista on syntynyt.

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne, luonnos: Leveys)

- Leveydellä tarkoitetaan tien ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun osan leveyttä. Päällystetyillä teillä ajorata on usein erotettu pientareista valkoisella reunaviivalla. Mikäli

[10] Metsäkeskuksen 29.5.2013 päivätyssä toimintaohjeessa pyydetään kääntöpaikan osalta ilmoittamaan Metsätieohjeiston mukainen kääntöpaikan tyyppi sekä mahdolliset mitoituspoikkeamat ohjeistosta.

reunaviiva puuttuu, on ajoradan leveys päällystetyillä teillä sama kuin päällysteen leveys. Sorateillä ei piennarta ole, joten ajoradan leveydeksi ilmoitetaan koko tien leveys. (Digiroadin määritelmä). Soratien leveyden määritelmää tarkennetaan, kun inventointimateriaalia on käytettävissä.

- Tien leveyteen on määritetty koodiarvot, jotka ovat yhteensopivat teiden tyyppileveyksien kanssa. Raskaan liikenteenkuljetuksille 3,5 metrin leveys on kriittinen arvo.
- [Määritelmä sisältää lisäksi TienLeveysTyypin koodiarvot eli leveysluokat].

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne, luonnos: Kapea kohta)

- Tien keskimääräistä leveyttä huomattavasti kapeampi kohta, joka voi aiheuttaa ongelmia esim. raskaan liikenteen kuljetuksille.
- Kapean kohdan tulee olla alle 3,5 metriä leveä, tätä leveämpiä kapeita kohtia ei sisällytetä kohdeluokkaan.

Määritelmä (Digiroad 4.4.6)

- Ajoradan leveydellä tarkoitetaan tien ajoneuvoliikenteelle tarkoitetun osan leveyttä. Päällystetyillä teillä ajorata on usein erotettu pientareista valkoisella reunaviivalla. Mikäli reunaviiva puuttuu, on ajoradan leveys päällystetyillä teillä sama kuin päällysteen leveys. Sorateillä ei piennarta ole, joten ajoradan leveydeksi ilmoitetaan koko tien leveys.
- Arvot: Arvo -kentässä on leveysarvo (cm).
- Kattavuus: Tietoja on kaikilla muilla tielinkeillä paitsi ajopoluilla, kevyen liikenteen väylillä, lautoilla ja losseilla.
- Uuden yksityistien leveysvaatimukset on kuvattu metsätieohjeistuksessa.

Leveys

Viivamainen

Selite	Kenttä (shape)/ elementti (WFS)	Tietotyyppi (shape)	Lisätieto
ID	ID	text, 20	
Sijainti	shape/points	geometry (polylineZ)	ETRS-TM35FIN
Linkin ID	LINK_ID	text, 20	
Alkuetäisyys linkin alusta	ALKU_M	double	
Loppuetäisyys linkin alusta	LOPPU_M	double	
Tienleveys	ARVO	integer	yksikkö: senttimetri
Muokattu viimeksi	MUOKKAUSPV	text, 50	aikaleima "12.6.2014 13:29:17"
Kuntanumero	KUNTAKOODI	integer	

Kehittämistarpeet

- Erityistilanteita teiden leveyksissä ovat kohtaamispaikat (ks. oma kohta raportissa) ja yksityisteiden liittymien leveydet.
- Tiedon kattavuutta parannetaan mm. MML:n tulevan laserkeilausohjelman avulla. Lisäksi MML on pilotoinut leveystietoon liittyen:
    - Tieprofiilin laatimista laserkeilausaineistolla. Ongelmana profiilissa oli raskaan liikenteen kannalta olennaisen sorastusleveyden poisjäänti.
    - Leveystiedon keruuta puutavarayhdistelmiin asennetuilla kameroilla ja kuvien konenäkökäsittelyllä. Pilotissa päästiin noin 20 cm:n mittatarkkuuteen. Joukkoistettu tiedonkeruu tukisi muuta tiedonkeruuta varsinkin vesakoitumisen osalta.

    - Kuvapohjaista yksityisteiden leveyksien määrittämistä pilotoidaan myös vuonna 2019. Pilotin tulokset ovat saatavilla viimeistään vuoden 2019 loppuun mennessä.
- Suomen metsäkeskuksen yksityistieavustusjärjestelmässä on tien leveystieto, mutta sen määrittelytapa vaihtelee (metsätien vähimmäisleveys, päällysteen leveys yms.). Määrittelytapa tuleekin siis yhtenäistää.

2.2.8 Osoitetiedot/Tienimitiedot

Nykytila

- Tietolajit on määritelty Digiroadissa ja KMTK:ssa. Tienimi ja laskennallinen osoitenumerotieto tallennetaan toistaiseksi KMTK-DR-tielinkeille.
- MML:n KMTK-hankkeen yhtenä teemana ovat Osoitteet.

Määritelmä: osoitetiedot (Digiroad 4.1.6)

- Tielinkin nimi suomeksi, ruotsiksi ja saameksi, ensimmäisen talon osoitenumero oikealla ja vasemmalla, viimeisen talon osoitenumero oikealla ja vasemmalla, kuntanumero.
- Jos tielinkillä ei ole nimeä, tien nimi on null.

Määritelmä: tieosoitetiedot (Digiroad 4.1.7)

- Tielinkki, jolla on tienumero, tieosanumero, ajoratatieto ja tielinkin alku- ja loppuetäisyys tieosan alussa.

Määritelmä: osoitenumerot (KMTK/Tieliikenne, alustava)

- Osoitenumero on tielinkin ensimmäisen talon osoitenumero oikealla ja vasemmalla ja viimeisen talon osoitenumero oikealla ja vasemmalla. Oikea ja vasen puoli ovat suhteessa tielinkin taitepisteiden digitointisuuntaan.
- Haja-asutusalueilla osoitenumerot kasvavat etäisyyden suhteessa kuntakohtaisesti: kunnasta riippuen joko 10 m tai 100 m matka kasvattaa osoitenumeroa yhdellä. Samoin kuntakohtaisesti määräytyy, kummalla puolella (oikea – vasen) tietä parilliset ja parittomat osoitenumerot ovat. Osoitenumero voi olla myös 0 esimerkiksi puiston kohdalla vapaassa numeroinnissa tai hyvin lyhyissä tieviivoissa tai valtateiden tieosuuksilla, joilla ei ole rakennuksia.
- Osoitenumeroita ei tallenneta kiertoliittymien tielinkeille. Kaksiajorataiset tiet osoitteistetaan siten, että tien molemmilla ajoradoilla on osoitetieto. Keskialueen puolella, ajoratojen välissä, osoitenumero on 0.

Kehittämistarpeet

- Tarkka osoitetieto myös haja-asutusalueella on tarpeen mm. metsänhoidossa.
- Esim. puutavarakuljetusten lähtöpäässä yksityisteillä hyödynnetään koordinaattitietoja. MML:n Paikkatietoalusta-hankkeen yhteydessä kehitettävällä Osoite-sovelluksella eri toimijat voivat tarkentaa rakennusten ja alueiden osoitteita sekä sisäänkäynti- ja kulkupistetietoja (tätä voisi hyödyntää esim. tuotantolaitoksille saapuvien kuljetusten ohjauksessa).

2.2.9 Raskaan liikenteen ajorajoite

Nykytilanne

- Määritelty Digiroadissa. Tiedoissa on jonkin verran puutteita yksityisteillä ja kunnissa. Raskaan liikenteen osalta katso myös kohta Suurin sallittu -rajoitukset.

Määritelmä (Digiroad 4.4.8: Ajoneuvokohtainen rajoitus)

- Tieverkon osa, jolla tietyllä ajoneuvotyypillä tai -tyypeillä liikennöinti on liikennemerkein osoitettu kielletyksi. Ajoneuvokohtaiselle rajoitukselle voidaan antaa voimassaoloaika. Ajoneuvo-, moottoriajoneuvo- ja läpiajorajoitukselle voidaan antaa poikkeuksena ajoneuvot, joita rajoitus ei koske.
- Digiroadissa ei ylläpidetä moottoriteillä ja muilla vastaavilla tietyypeillä (mm. moottoriliikennetie, pyörätie, jalkakäytävä) olevia ajoneuvokohtaisia rajoituksia, jotka tieliikenneasetus määrää ja jotka on osoitettu tielinkin tyypin valinnalla).
- Jos samassa sijainnissa on useita kiellettyjä ajoneuvotyyppejä, niistä muodostetaan geometrialtaan päällekkäisiä kohteita Digiroadin R- ja K-julkaisuihin. Näillä kohteilla rajoituksen ID, sijaintitiedot ja muokkausaika ovat samat.

Ajoneuvokohtainen rajoitus

Viivamainen

Selite	Kenttä (shape)/ elementti (WFS)	Tietotyyppi (shape)	Lisätieto
ID	ID	text, 20	Jos samassa rajoituksessa useita kiellettyjä ajoneuvotyyppejä, niin niistä tulee geometrialtaan päällekkäisiä kohteita shape-tiedostoon, näillä kohteilla rajoituksen ID on sama.
Sijainti	shape/points	geometry (polylineZ)	ETRS-TM35FIN
Linkin ID	LINK_ID	text, 20	
Alkuetäisyys linkin alusta	ALKU_M	double	
Loppuetäisyys linkin alusta	LOPPU_M	double	
Vaikutussuunta	VAIK_SUUNT	integer	koodiarvo
Kielletty ajoneuvotyyppi	KIELL_AJON	integer	koodiarvo
Voimassaoloaika	VOIM_AIKA	Text, 200	
Poikkeukset	POIKKEUS	text, 40	lista, jossa poikkeukset eroteltu pilkulla, ei hakasulkuja listan ympärillä
Muokattu viimeksi	MUOKKAUSPV	text, 50	aikaleima "12.06.2014 13:29:17"
Kuntanumero	KUNTAKOODI	integer	

Nimi	Koodiarvo	Selite
Vaikutussuunta	1	Molempiin suuntiin
	2	Digitointisuuntaan
	3	Digitointisuuntaa vastaan
Ajoneuvotyyppi	2	Moottoriajoneuvo
	3	Ajoneuvo
	4	Kuorma-auto
	5	Linja-auto
	6	Pakettiauto
	7	Henkilöauto
	8	Taksi
	9	Moottoripyörä
	10	Mopo
	11	Polkupyörä
	12	Jalankulkija
	13	Ajoneuvoyhdistelmä
	14	Traktori tai maatalousajoneuvo
	15	Matkailuajoneuvo

Kehittämistarpeet

- Puuttuvat tiedot yksityisteillä ja kunnissa Digiroadissa (esim. tiekuntien tiedontuotannon aktivoiminen ja rajoituksista ilmoittaminen joukkoistetun tiedonkeruun avulla) (ks. myös kohta Suurin sallittu -rajoitukset)
- Suositukset raskaan liikenteen reiteiksi kunnissa (ei pysyvin liikennemerkein, vaan virtuaalisesti kuljetusten suunnittelujärjestelmiin yms.)

2.2.10 Sillat ja rummut

Nykytilanne

- Vain siltojen (ei rumpujen) sijainti on määritelty Digiroadissa. Tiedoissa on puutteita.
- Sillat ja rummut kuuluvat KMTK:n Rakennukset ja rakenteet -teemaan.
- Rumpujen mitoitus on määritelty Metsätieohjeistossa ja Tierekisterissä.
- Paino- ja mittarajoitukset on esitetty kohdassa Suurin sallittu -rajoitukset.

Määritelmä (rumpujen läpimitta) (Metsätieohjeisto)

- Rumpujen mitoitus käsittää aukon koon, pohjan korkeustason ja pituuskaltevuuden määrittämisen. Huolellinen mitoitus edellyttää, että selvitetään valuma-alueen nykyiset ja tulevat kuivatusjärjestelyt. Rumpupaikalla sallittava padotus riippuu maastoluokasta [ohjeiston] seuraavan taulukon mukaisesti.

Määritelmä (rummut) (Tierekisteri 509, jatkossa Velho)

- Tälle tietolajille inventoidaan maanteiden ja kevyen liikenteen väylien poikki menevät rummut. Rummuiksi luetaan kaikki halkaisijaltaan alle 2000 mm:n rummut. Tätä suuremmat rummut ovat siltarumpuja ja niitä ei tarvitse inventoida. Rummuista inventoidaan tyyppi, materiaali, pituus, halkaisija, mahdollinen lämmityskaapeli sekä puutteet.

Ehdotus määritelmäksi YTPAan (rumpu)

- Sijainti
- Vesistö/ojarumpu
- Este vaelluskaloille: kyllä/ei (jollei tiedon ylläpitoa muualla)
- Halkaisija (mm)

Kehittämistarpeet

- Tietoja yksityisteiden siltojen ja rumpujen sijainneista sekä rumpujen läpimitoista on tarpeen koota yhteen. Tietoa on tarpeen hyödyntää esim. teiden kuljetuskelpoisuuden arvioinnissa ja vaelluskalojen vaellusesteiden tunnistamisessa.
- Siltojen ja rumpujen todennäköisiä sijaintipaikkoja voidaan alustavasti arvioida julkisten paikkatietojen pohjalta. Vaellusesteiden osalta silta- ja rumputietoja on jo koonnut esim. Metsähallitus Metsätalous Oy.

2.2.11 Suurin sallittu -rajoitukset

Nykytilanne

- Määritelty Digiroadissa. Tiedoissa on puutteita yksityisteiden ja kuntien katuverkon osalta (tiet, sillat, tunnelit ja lossit).
- 1.1.2019 voimaan tulleen uuden yksityistielainsäädännön myötä tiekuntia edellytetään toimittamaan Digiroadiin seuraavat tiedot (Väylä 2019c):
    - Tiedot painorajoituksista
    - Kunnan kanssa sovitut tilapäisesti voimassa olevat tai esimerkiksi vuosittain tiettyyn vuodenaikaan toistuvat rajoitukset ja kiellot. Kuitenkaan lyhytaikaisia, esimerkiksi tietyön aiheuttamia rajoituksia tai kieltoja ei tule ilmoittaa.
- Staattiset painorajoitukset (tiedon muuttumisajankohta tiedon perustamishetkellä vähintään 0,5 vuoden päässä) sisällytetään suurin sallittu -rajoituksiin. Muuttuvien painorajoitusten osalta katso kohdat Vaihtuvat painorajoitukset ja Kelirikko (alttius).

Määritelmä (Digiroad 4.4.2)

- Rajoitustyypit
    - Ajoneuvon suurin sallittu massa, Ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu massa, Ajoneuvon suurin sallittu akselimassa, Ajoneuvon suurin sallittu telimassa (ks. taulukko)
    - Ajoneuvon suurin sallittu korkeus
    - Ajoneuvon tai ajoneuvoyhdistelmän suurin sallittu pituus
    - Ajoneuvon suurin sallittu leveys
- Suurin sallittu ominaisuustiedot ovat viivamaisia ominaisuustietoja, jotka voivat olla tielinkin mittaisia tai lyhyempiä. Massarajoitukset ilmoitetaan sadan kilogramman tarkkuudella ja korkeus-, pituus-, ja leveysrajoitukset senttimetreinä. Maanteillä korkeusrajoituksista vain alle 440 cm rajoitukset ilmoitetaan. Massarajoitusten yksikkö on kg ja korkeus-, pituus- ja leveysrajoitusten yksikkö on cm.
    - Ks. tarkemmin seuraavat kalvot
- Arvot: Arvo -kentässä on rajoituksen arvo (kg tai cm)
- Kattavuus: Tieto on maanteillä ja kaduilla ja osittain yksityisteillä. Tieto pyritään tallentamaan rajoituksen koko vaikutusalueelle.

Suurin sallittu telimassa

Viivamainen

Selite	Kenttä (shape)/ elementti (WFS)	Tietotyyppi (shape)	Lisätieto
ID	ID	text, 20	
Sijainti	shape/points	geometry (polylineZ)	ETRS-TM35FIN
Linkin ID	LINK_ID	text, 20	
Alkuetäisyys linkin alusta	ALKU_M	double	
Loppuetäisyys linkin alusta	LOPPU_M	double	
Vaikutussuunta	VAIK_SUUNT	integer	koodiarvo
Arvo	ARVO	integer	kilogramma
Muokattu viimeksi	MUOKKAUSPV	text, 50	aikaleima "12.06.2014 13:29:17"
Kuntanumero	KUNTAKOODI	integer	

Kehittämistarpeet

- Tietojen kattavuutta tulee parantaa kuntien katuverkon ja yksityisteiden osalta. Ratkaisuina tähän ovat mm. kuntien ja tiekuntien tiedontuotannon aktivoiminen sekä joukkoistettu tiedonkeruu (esim. konenäköratkaisut liikennemerkkien tunnistamiseksi). Väylävirastossa on kehitteillä ratkaisu, jolla tiekunnat voivat toimittaa tiedot painorajoituksista.

2.2.12 Sähkölinja, Johdot ja kaapelit

Nykytilanne

- KMTK:n verkkoinfrastruktuurin käsitemalli on valmistunut ja määrittelytyö käynnistyy vuoden 2019 aikana. Ei tule osaksi Digiroadia. Tierekisterissä ovat johdot ja kaapelit valtion teiden osalta ja ne siirtyvät Velhoon (määrittelyä ei ole vielä tehty).
- Isoista johdoista on jo riittävät tiedot maastotietokannassa, mutta ongelmana ovat pienet talojen väliset johdot sekä maakaapelit, joista ei ole keskitettyä tietovarastoa. Johtotieto Oy:n tietovarasto ei ole täysin kattava. Eri lähteiden tietojen sijaintitarkkuuksissa on eroja.

Määritelmä (sähkölinja) (MTK, tulossa KMTK:hon)

- Kiinteä sähkön johtamiseen tarkoitettu johto- tai kaapeliyhteys.

Määritelmä (Tierekisteri: 314 Johdot ja kaapelit; siirtyy Velhoon, jonka määrittely vielä auki)

- Tälle tietolajille voi rekisteröidä teiden varsilla ja ajoradoilla olevat johdot ja kaapelit. Ajoradan poikki menevä kaapeli olisi periaatteessa pistekohtainen, mutta tässä sille annetaan metrin pituus tai enemmän, jos kaapelin sijainnille halutaan antaa tiettyä turvamarginaalia.

Kehittämistarpeet

- Tiedon saatavuutta yksityisteihin liittyen on parannettava (mm. puuvarastojen sijoittelua varten).
- Yhdistettävyys tietietoihin on tarpeen varmistaa, koska puun korjuun ja kuljetusten kannalta tarkka sijaintitieto (ml. syvyys) on tärkeä => määrittää mahdollisten ylitysten määrän.

2.2.13 Talvi-, jää- ja piennartiet

Nykytilanne

- Talvi-, jää- ja piennarteitä ei ole määritelty Digiroadissa (tulevat sisältymään KMTK:n mukaisesti).
- KMTK:n tieliikenteen käsitemallin luonnoksessa jäätiet sisällytetään talviteihin (tarvetta erotella jäätiet vielä tarkemmin selvitetään). Tällä hetkellä piennartiet luokitellaan ajopolkuluokkaan ja niiden omaa luokkaa selvitetään alkuvuodesta 2019.
- Teiden lyhyitä määritelmiä on Metsätieohjeistossa ja Suomen Tieyhdistyksen oppaissa. Piennartieoppaassa (Seinäjoen ammattikorkeakulu ym. 2009) on kuvattu tarkemmin mm. piennartien mitoitukset.
- Teistä ei ole kootusti tietoa. Metsäkeskus on toimittanut piennarteistä MML:lle sijaintitietoa (vain Keski-Pohjanmaalta pilotinomaisesti), mutta ominaisuustietoja ei kerätty.

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne (luonnos)

- Talviteinä tallennetaan tielinkit. Talvitie on pitkä tai pitkähkö maastoon raivattu yli 2 metriä leveä kulku-ura, jolla on talviaikana riittävissä jää- ja lumiolosuhteissa pitempiaikaista liikenteellistä merkitystä. Talvitie voi olla vesialueella (esim. järven tai joen jäällä). Heikko talvitie tallennetaan polkuna, kun se on leveydeltään alle 2 m.
- Ajopolku tallennetaan aina. Satunnainen, esimerkiksi puutavaran ajoon tilapäisesti käytetty traktoriura jätetään kuvaamatta. Ajopolun vähimmäispituus on 100 metriä. Vähimmäispituutta lyhempi ajopolku tallennetaan, jos se yhdistää kaksi paremman tieluokan tietä. Kapeahko ajopolun luonteinen ajoura tai käytöstä poistunut ajopolku voidaan esittää polkuna.

Määritelmä (Metsätieohjeisto)

- Talvitie: Lumesta ja jäädytetystä vedestä rakennettu talvitie, jonka tieltä on kaadettu puut ja poistettu kannot ja kivet. Polannetie on tätä kevyemmin rakennettu tie (kantoja ei ole poistettu).

Määritelmä (Suomen tieyhdistyksen opas Hämäläinen 2015)

- Piennartie: Kuivatusojan viereen tasoitettava ajoura.

Ehdotus määritelmäksi YTPAan

- Talvitie (KMTK:n määritelmää täsmentävä raskaan liikenteen osalta): Talvella lumesta ja jäädytetystä vedestä rakennettava tie, jonka tieltä on kaadettu puut ja poistettu kannot ja kivet. Tie soveltuu raskaille ajoneuvoyhdistelmille normaaleina talvina. Polannetie on tätä kevyemmin rakennettu tie (kantoja ei ole poistettu).
- Jäätie (KMTK:n määritelmää täydentävä): tiekunnan yhteystieto (MML:n Yksityistierekisteri), kaksi jäätietä myös Väylävirastolla. Tarkemmat tilannetiedot suoraan tiekunnalta.
- Piennartie: Kuvautusojan viereen tasoitettava ajoura (vaatii vielä tarkentamista).

Kehittämistarpeet

- Tietojen saatavuus KMTK:hon / Digiroadiin / YTPAan (esim. jäätiet voivat saada kunnan avustusta ja piennartiet Kemera-tukea).
- MML:n jäätietietojen ajantasaistaminen (esim. julkisten avustuspäätösten avulla).
- Piennarteiden tunnistaminen saattaisi olla mahdollista pintamallia hyödyntäen. Tämä vaatisi testaamista. Vesakoituminen vaikeuttaa piennarteiden löytämistä ilmakuvista.

2.2.14 Toiminnallinen luokka

Nykytilanne:

- Esitetään Digiroadissa ja KMTK:ssa (ks. myös KMTK-käsitemallin tielinkin määritelmä). Toiminnallisen luokituksen käyttöä KMTK-tieluokituksessa selvitetään myöhemmin uuden ylläpitojärjestelmän käyttöönoton yhteydessä. MML:llä on lisäksi käytössään oma tieluokitus.
- Tällä hetkellä jako 5- ja 6-luokkiin tehdään YKR:n taajama-aineistosta[11] niin, että taajaman sisäpuolelle jääneet linkit on luokiteltu luokkaan 5 ja ulkopuolelle jääneet luokkaan 6. Tällöin tärkeitäkin yksityisteitä joutuu 6-luokkaan.
- Digiroadin reititysperiaatteena on, että luokkien 1–4 kautta sallitaan myös läpiajoa. Luokkaa 5 käytetään pääsääntöisesti vain, kun ajon kohde sijaitsee siellä. Luokan 6 teiden kautta ei pysty käytännössä ajamaan tai ne ovat hyvin huonokuntoisia. Reititys tehdään henkilöajoneuvojen näkökulmasta. Jos luokan 4 tie kiertää huomattavasti, niin reititys voi käyttää myös luokan 5 tietä läpikulkuun. Tämä myös riippuu navigaattorien algoritmeista. Joskus kunnilla ei ole erityistä intressiä ohjata liikennettä mitään tiettyä reittiä, jolloin kaikkien asuinalueen teiden luokka on esim. 5. Myös rinnakkaisista saman tasoisista teistä vain toinen saatetaan valita ensisijaiseksi tieksi
- MML siirtää omassa luokituksessaan pahasti pusikoituneita teitä 7-luokkaan. MML:ssä selvittely piennarteiden luokittelusta omaksi tietolajikseen (ks. kohta Talvi-, jää- ja piennartiet) jatkuu alkuvuoden 2019 aikana. Tällä hetkellä piennartiet luokitellaan ajopolkuluokkaan.
- Metsätieohjeistossa metsäteitä on jaettu eri luokkiin (runko-, alue- ja varsiteihin) liikenteellisen merkittävyyden pohjalta. Yksityisteiden käytön sallimista on kuvattu kohdassa Käyttöoikeus.

Määritelmä (Digiroad 4.1.2 ja KMTK/Tieliikenne, luonnos)

- Toiminnallisella luokalla ilmaistaan liikenneväylän liikenteellistä tärkeyttä. Toiminnallisella luokalla kuvataan:
  - väylän palvelutasoa liikenteelle
  - väylänpitäjän tahtoa ohjata liikenne väylälle.
- Maanteiden toiminnalliset luokat ovat pääosin Liikenneviraston [nyk. Väyläviraston] tieluokituksen (valta-, kanta, seutu- ja yhdystiet) mukaiset.
- Katujen toiminnallinen luokitus on kunnan määrättävissä. Luokituksen lähtökohtana on yleiskaavassa käytettävä luokitus. Luokitukseen vaikuttavat myös taajamarajat ja maantien toiminnallinen luokka, jos katu on maantien jatkeena. Yksityisteiden toiminnalliset luokat määräytyvät tärkeyden sekä tien leveyden ja kunnon mukaan.

[11] Lisätietoja: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenne/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Yhdyskuntarakenteen_seurannan_aineistot

Liityntäkatu tai tärkeä yksityistie	5	Liityntäkatu liittää maankäytön kokoojakadulle tai maantielle. Liityntäkadulla on välitön yhteys tontille tai rakennuspaikalle. Tärkeän yksityistien käyttö on yleisesti sallittua ja se on liikennöitävissä ympäri vuoden. Tärkeällä yksityistiellä on tyypillisesti paikkakunnalla huomattava liikenteellinen merkitys ja tien hoitoa varten on perustettu tiekunta, joka on saanut valtion tai kunnan avustusta.
Muu yksityistie	6	Muita yksityisteitä ovat kaikki muut paitsi yksityis- ja metsätiet, jotka eivät kuulu tärkeisiin yksityisteihin ja ovat autolla ajettavissa.
Ajopolku	7	Ajopolut ovat muita yksityis- ja metsäteitä, jotka eivät ole välttämättä autolla ajettavissa, mutta ovat esim. kevyen liikenteen käytettävissä tai

Kehittämistarpeet

- YTPAan sisällytetään ensisijaisesti ne tiet, jotka ovat ajettavissa ajoneuvoyhdistelmillä. Tietyissä tilanteissa on tarpeen esittää muitakin teitä (ks. tarkemmin kohta Keskilinjageometria).
- Ehdotuksia em. luokittelun kehittämiseksi:
  - Yksityisteiden jaossa luokkiin 5 ja 6 on tällä hetkellä alueellisia eroavuuksia johtuen tietopuutteista.
    - Tieto pysyvästä asutuksesta tien varrella on saatavissa Väestörekisterikeskuksesta (VRK; tiedoissa on paljon virheitä) ja MML:n Kiinteistörekisteristä.
    - Tien tärkeyden määrittely vaatisi kattavampaa tietoa tien liikennemääristä (ks. raportin kohta Liikennemäärä).
    - Tien leveystietoa on käsitelty tässä raportissa omana kohtanaan.
    - Tien kuntotieto on harvoin käytettävissä (MML poistaa pahoin vesakoituneita tietoyhteyksiä 7-luokkaan) (ks. raportin kohta Tien kunto).
  - Reitityksessä on tarpeen ottaa huomioon myös raskaat ajoneuvot.
- Yksityisteiden yleisesti sallittu käyttö raskaan liikenteen kuljetuksiin ei tule ilmi toiminnallisesta luokasta (ks. raportin kohdat Käyttöoikeus ja Raskaan liikenteen ajorajoite). Tien ympärivuotista liikennöitävyyttä kuvaa kehitteillä oleva kuljetuskelpoisuusluokitus (ks. luku 3.13).

2.2.15 Uudet ja poistuneet kohteet

Nykytilanne

- MML saa tiedon uusista/poistuneista teistä omien kartoitusten sekä alueellisten toimitushenkilöiden ja muiden tahojen (esim. tiekunnat ja kunnat) vinkkien pohjalta (maasto@maanmittauslaitos.fi).
- Tieto uudesta tai poistuneesta tiestä päivittyy tietolähteestä riippuen heti tai tiedon tarkastuksen jälkeen Maastotietokantaan. Kansalaisen karttapalveluun tieto päivittyy pääosin viikossa ja Paikkatietoikkunaan hieman hitaammin. Digiroadiin tieto päivittyy KMTK:sta kerran vuorokaudessa. Tietoa tarvittaessa tarkennetaan seuraavan ilmakuvauksen yhteydessä.

Määritelmä (KMTK/Tieliikenne, luonnos)

- Muutostyyppejä ovat Uusi, Poisto, Osittain korvattu, Kokonaan korvattu ja Ominaisuustiedon muutos.
- Vanha ja uusi ID
- Vanha ja uusi alku ja loppu

Kehittämistarpeet

- MML:n kansallista laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelmaa voidaan hyödyntää uusien teiden tunnistamisessa. Kukin alue kuitenkin kartoitetaan vain joko viiden tai kymmenen vuoden välein, joten lisäksi tarvitaan prosessi ja vihjeitä uusista/poistuneista teistä ilmoittamiseksi (varsinkin jos ko. tiet eivät ole saaneet julkista tukea) (geometriatiedon laatusääntö on kuitenkin tärkeä).
    - Esimerkiksi raskaan liikenteen käyttämistä reiteistä voidaan tunnistaa uusia teitä tai siltoja, joista ei ole vielä tietoa.
- Varsinkin tiedot yksityisteiden siltojen ja rumpujen sijainneista ovat puutteelliset (tätä on käsitelty myös kohdassa Sillat ja rummut).

2.2.16 Vaihtuvat painorajoitukset

Nykytilanne

- Yksityisteiden ajantasaisista painorajoituksista ei ole koottua tietoa, mikä hankaloittaa raskaan liikenteen suunnittelua.
- 1.1.2019 voimaan tulevan uuden yksityistielainsäädännön myötä tiekuntia edellytetään toimittamaan Digiroadiin seuraavat painorajoitustiedot (Väylä 2019c):
    - Tiedot painorajoituksista
    - Kunnan kanssa sovitut tilapäisesti voimassa olevat tai **esimerkiksi vuosittain tiettyyn vuodenaikaan toistuvat rajoitukset ja kiellot**. Kuitenkaan lyhytaikaisia, esimerkiksi tietyön aiheuttamia rajoituksia tai kieltoja ei tule ilmoittaa.
    - Toistuvat painorajoitustiedot tullaan esittämään Digiroadin painorajoitusuhanalaisuus-tietolajiin.

Määritelmä

- Digiroadin määritelmä tulee tarkentumaan vuoden 2019 aikana.
- Tieto painorajoituksesta, sen voimassa olosta ja sen toistuvuudesta.

Kehittämistarpeet

- Väylävirastossa on käynnissä hanke menetelmälle, jolla tiekunnat voisivat ilmoittaa painorajoituksista Digiroadiin.
- Joukkoistamisen avulla on mahdollisuus tunnistaa kohteita, joista painorajoituksista ei ole ilmoitettu (esim. liikennemerkkien tai tien kelirikkotilanteen automaattinen tunnistaminen; ks. esimerkiksi Väyläviraston RoadAI-pilotti).

2.3 Tietolajien kuvaukset (muut)

Tässä luvussa on esitetty ne tietietolajit, joita ei ole kuvattu Digiroadissa ja/tai KMTK:ssa. Tietolajien kuvaus löytyy tällöin joko jostain muusta lähteestä tai kuvaus on tarpeen laatia.

2.3.1 Avustusajankohta

Nykytila

- Tieto yksityistien viimeisimmästä avustusajankohdasta löytyy useissa eri järjestelmissä (Metsäkeskus, ELY-keskusten YA-rekisteri, kunnat, tiekunnat).
    - Metsäkeskuksen Kemera-data on avoimesti ladattavissa metsaan.fi-palvelusta.
- Viimeisin avustusajankohta vaikuttaa mm. tien käytön avoimuuteen (ja tien toiminnalliseen luokkaan) sekä talvihoidon säännöllisyyteen.

Ehdotus määritelmäksi

- Viimeisimmän perusparannuksen avustusajankohdan myöntöpäivämäärä tai -vuosi sekä avustuksen myöntäjä(tyyppi)

Kehittämistarpeet

- Avustusajankohtatietojen yhdistäminen YTPAan
- Linkitys tien toiminnalliseen luokkaan / tien käyttöoikeuteen (yhtenäistämistarve eri avustuslähteiden vaatimuksissa)
- Mahdollisesti myöhemmin voidaan harkita avustusjärjestelmissä käsiteltävien muiden tietojen (liikennemäärät, tien ominaisuudet) yhtenäistämistä eri avustusjärjestelmissä.

2.3.2 Kantavuus

Nykytilanne

- Metsätieohjeiston kantavuusluokitus (ks. seuraavat taulukot 4–5). Ei määritelmää Digiroadissa tai KMTK:ssa (hoidetaan painorajoituksina, mikäli tie ei sovellu 76-tonnisille yhdistelmille; ks. Suurin sallittu –rajoitukset). Esimerkiksi metsäyhtiöissä on käytössä sisäisesti erilaisia toiminnallisia luokituksia.

Taulukko 4. Metsäteiden pohjamaan kantavuusluokitus (Strandström 2017c).

Maalaji	Tarkennus	Routivuus	Kantavuus luokka	Kantavuus (MN/m²)
Kallio	kallio, Ka louhe, Lo murske, M	Routimaton	A	300
Sora	sora, Sr		B	200 (150…280)
Soramoreeni	routimaton, SrMr (routiva, luokka E)	Routimaton / Routiva	C	100 (70…150)
Hiekka	routimaton, Hk (hieno Hk routiva, luokka E)		D	50 (35…70)
Hiekkamoreeni	routiva, HkMr (routimaton, luokka D)		E	20 (15…35)
Siltti Silttimoreeni Savi	Si SiMr Sa	Routiva	F	10 (5…15)
Lieju Turve	Lj Tv		G	5

Taulukko 5. Esimerkki metsätien päällysrakenneluokasta (Päällysrakenneluokka 1 – Tavoitekantavuus keväällä 80 MN/m²) (Strandström 2017d).

Pohjamaan kantavuusluokka	A–F	A	B	C	D	E		F
Kulutuskerros	**cm**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**	**5**
SrT/KaM/SrM, #0–16 mm	m³-rtr / m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
E-moduuli 150 MN/m²	tn / m	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kantava/jakava kerros	**cm**	**10**	**10**	**10**	**30**	**15**	**25**	**30**
KaM/SrM, #0–32...56 mm	m³-rtr / m	0,5	0,5	0,5	1,5	0,7	1,2	1,5
E-moduuli 200 MN/m²	tn / m	1,2	1,2	1,2	3,6	1,7	2,9	3,6
Eristys-/suodatinkerros	**cm**	**—**	**—**	**—**	**—**	**—**	**60**	**—**
(routimaton hiekka)	m³-rtr / m	—	—	—	—	—	4,0	—
E-moduuli 50 MN/m²	tn / m	—	—	—	—	—	9,6	—
Suodatinkangas	tyyppi	—	—	—	—	N3	N3	N3
Penger (C-luokan materiaali) E-moduuli 100 MN/m²	**cm**	**—**	**—**	**—**	**—**	**40**	**—**	**55**
Yhteensä	**cm**	**15**	**15**	**15**	**35**	**60**	**90**	**90**
	m³-rtr / m	0,7	0,7	0,7	1,7	3,2	5,4	5,4
	tn / m	1,7	1,7	1,7	4,1	7,7	13,0	13,0
Kantavuus	Kevät	270	155	85	85	80	80	80
MN/m²	Kesä	270	200	115	105	85	80	110

Ehdotus määritelmäksi YTPAan

- Kantavuus/tavoitekantavuus: MN/m^2 (lisäksi on tarkennettava miltä osuudelta kantavuus määritellään: koko tie, keskiarvo, heikoin kohta)
- Jos tiedossa on tien painorajoitukset (ks. Suurin sallittu -rajoitukset ja Vaihtuvat painorajoitukset), erillinen kantavuustieto ei ole tällöin välttämättä tarpeellinen.

Kehittämistarpeet

- Kantavuusmittausten edellyttäminen julkisesti tuettujen yksityistiehankkeiden yhteydessä

2.3.3 Keli ja väliaikaiset esteet

Nykytilanne

- Traffic Management Finland Oy:n Liikennetilanne-palvelussa esitetään mm. ajokeli[12] ja tiedot tieliikenteen onnettomuuksista. Pohjois-Suomessa on käynnissä poroista varoittava Porokello-pilotti[13].
- Yksityisteiden ajokelistä ei ole koottua tietopalvelua eikä yksityisteillä (eikä alemmalla tieverkolla) ole tiesääasemia.
- Säähavainto- ja ennustetietoa on avoimesti saatavissa Ilmatieteen laitokselta.

Määritelmät

Tien liukkaus

Väyläviraston käyttämä kitka-arvoluokittelu sopii myös yksityisteille (taulukko 6). Tiellä liikkujien ajoneuvoista kerätyn datan lähtökohtana kannattanee käyttää GRIP-hankkeessa kerätyn mukaista dataa (ks. GRIP-hanke tiedonkeruumenetelmiä koskevassa osuudessa).

Taulukko 6. Kitka-arvon ja kelin vastaavuus (Liikennevirasto 2018c).

0,00 - 0,14	0,15 - 0,19	0,20 - 0,24	0,25 - 0,29	0,30 - 0,44	0,45 - 1,00
pääkallokeli, märkä jää, **erittäin liukas**	jäinen, **liukas**	sileä polanne, **tyydyttävä talvikeli**	pitävä jää- ja lumipolanne, **hyvä talvikeli**	paljas ja märkä, **pitävä keli**	paljas ja kuiva, **pitävä keli**

Lumimäärä

Lumen määrän määrittelyssä yksityisteillä voidaan soveltaa Suomen tieyhdistyksen suosituksia (Hämäläinen & Rahja 2012) (taulukko 7), jotka vastaavat Väyläviraston (Liikennevirasto 2018c) talvihoitoluokka III:n lumen poiston laatuvaatimusta. Myös metsäteillä käytetään yleensä 10 cm:n lumimäärän rajaa aurauksen tilaamisessa.

Taulukko 7. Esimerkkejä tiekohtaisen harkinnan apuvälineeksi – Yksityisteiden talvihoito (Hämäläinen & Rahja 2012).

Tieluokka	**Max lumimäärä**	
	Pakkaslumi	**Märkä lumi**
A. Vilkasliikenteiset tiet	10 cm	5 cm
B. Vähäliikenteiset tiet	10 cm	5 cm
C. Metsätiet	..	..

Mahdollisesti maakunnat 1.1.20121 lähtien

[12] Ennusteiden skeema https://github.com/finnishtransportagency/digitraffic/wiki/Tiejaksojen-keliennusteet

[13] www.porokello.fi

Kelirikko
Ajantasainen kelirikkotilanne on käsitelty kohdassa Tien kunto. Kelirikkoalttius on käsitelty omana tietolajinaan.

Säätiedot

Taulukkoon 8 on koottu Ilmatieteen laitoksen avoimesti saatavia säähavainto- ja ennustetietolajeja. Säädata on hilamuotoista, joten sen soveltaminen tieympäristöön vaatii korjauskertoimen. Tieliikenteen kannalta olennaisia säämalleja on kuvattu tarkemmin luvussa Säämallit ja -ennusteet. Tiesääennusteet koskevat vain rajattua tieverkkoa.

Taulukko 8. Valittuja Ilmatieteen laitoksen avoimia säähavainto- ja ennustetietolajeja (Liikenne- ja viestintäministeriö 2017a).

Säähavainnot säähavaintoasemittain 1–10 min välein	Lämpötila Ilman kosteus Tuuli Pilvisyys Sademäärä Lumen syvyys Näkyvyys Auringon säteily
Sääennustedata RCR HIRLAM 48 tunnin ennustejaksolle, päivittyy 4 kertaa vuorokaudessa	2m-lämpötila Kokonaispilvisyys Sademäärä
Säätiedotus maa- ja merialueille 24 tunnin ennustejaksolle, päivittyy vähintään 3 kertaa vuorokaudessa	
Tiejaksojen keliennuste Tiejaksokohtainen viiden minuutin välien päivittyvä	Keliennuste Keliennusteiden tiejaksot (geometria)
Tiesäätiedot Ajantasainen mittaustieto tiesääasemista	Anturien mittaustiedot Anturien metatiedot
Kelikamerakuvat Reilut 470 kameraa, päivitys 10–60 minuutin välein keliolosuhteista riippuen	Kamerakuvat Kamerametatiedot

Väliaikaiset esteet

Väliaikaisia esteitä ovat esim. liikenneonnettomuudet, ruuhkat, tietyömaat tai suuret eläimet tiellä. Este- ja tiesäätiedot ovat C-ITS-tietoja (Cooperative Intelligent Transport Systems). Ko. tietojen määrittelyä ja keräämistä pilotoidaan mm. pohjoismaisessa NordicWay2-hankkeessa[14].

[14] Projektin internetsivu http://vejdirektoratet.dk/EN/roadsector/Nordicway/Pages/Default.aspx

Kehittämistarpeet

- Raskaiden ajoneuvojen kuljettajat ja (yksityisteiden) talvihoitourakoitsijat tarvitsevat tietoa huonojen ajokelien (lumisade, liukkaus) ennusteesta eri aikajänteillä ja nykytilanteesta.
- Mm. liukkauden ja lumen määrän tunnistamisesta on toteutettu useita joukkoistetun ja automatisoidun tiedonkeruun pilotteja (ks. tiedonkeruumenetelmiä koskeva osio).
    - Hyvin paikallisista ongelmatilanteista on mahdollisuus varoittaa myös suoraan ajoneuvojen välillä (vehicle-to-vehicle communication).
- Yksityisteiden kelitietopalvelua tulee ensisijaisesti kehittää yhteistyössä valtion teille kehitettävien kelitietopalveluiden kanssa.

2.3.4 Käyttöoikeus

Nykytilanne:

- Ei ole mukana Digiroadissa eikä KMTK:ssa. Määritelty osin Metsätieohjeistossa.
- Muiden kuin tieosakkaiden oikeudesta käyttää yksityistietä on säädetty yksityistielain (560/2018) 28 §:ssä ja tien käytön rajoittamisesta 29 §:ssä. Julkista avustusta saaneet yksityistiet ovat velvoitettuja sallimaan liikennettä tiellä lain 85 §:n mukaisesti. Tässä dokumentissa omana kohtanaan mainittu Avustusajankohta (yhdessä rahoittajatahotiedon kanssa) antaa tiedon siitä, mihin vuoteen asti ko. yksityistiellä liikenne on sallittu.

Määritelmä (Metsätieohjeisto)

- Toimitustie
    - Toimitustiet ovat teitä, jotka on perustettu yksityistielain mukaisessa tietoimituksessa. Niihin on myös muilla kuin omistajalla tai haltijalla tietoimituksessa määritelty käyttöoikeus.
- Sopimustie
    - Sopimustiet ovat teitä, joita tehdyn sopimuksen perusteella myös muilla kuin kiinteistön omistajalla tai haltijalla on oikeus käyttää, mutta joihin kenelläkään muulla ei ole pysyvää käyttöoikeutta
- Oma tie
    - Omat tiet ovat yhden kiinteistön alueella olevia teitä, joita vain asianomaisella kiinteistön omistajalla tai haltijalla on oikeus käyttää.

Ehdotus määritelmän täsmennykseksi

- Avustuksen perusteella liikenteelle avoin tie
- Päivämäärä, johon asti liikenne avoin avustuksen perusteella (ks. raportin kohta Avustusajankohta)

Kehittämistarpeet

- Käyttöoikeustilanteen esittäminen YTPAssa (tarvittaessa tienkäyttäjä osaa kysyä lupa tienkäyttöön).

2.3.5 Liikennemäärä (raskas liikenne)

Nykytilanne

- Valtion teiltä liikennemäärätietoa kootaan LAM-mittauspisteiltä ja ne ovat saatavilla Väyläviraston DigiTraffic-palvelussa (määritelty Digiroadissa 4.4.7).
- Yksityisteiden liikennöintimääriä tiekunnat arvioivat lähinnä yksityistieavustusten hakemisen yhteydessä. Tieto jää vain kunkin hakemuksen käsittelijän käyttöön ja on eri tavoin määritelty.

- Ajantasaista tietoa raskaiden ajoneuvojen liikennöinnistä yksityisteillä tarvitsisivat tiekunta ja raskaiden ajoneuvojen kuljettajat. Tiedon perusteella voidaan ajoittaa raskaiden ajoneuvojen liikennöintiä niin, että riski tien rikkoutumiselle pidetään pienenä.
- Vuositason liikennöintimäärälle olisi käyttöä myös tien toiminnallisen luokan määrittämisessä Digiroadissa (ks. tarkemmin kohta Toiminnallinen luokka).
- Liikennevirastolla oli pilotti, jossa LogForce-järjestelmän kautta tuotettiin tietoa puutavarayhdistelmien liikennöinnistä valtion teillä ja niiden silloilla (Mulju 2017). Tiedonkeruu jatkunee keväällä 2019.

Ehdotus määritelmäksi

- Raskaiden ajoneuvojen lukumäärä (per vrk ja vuosi) tiesegmentillä

Kehittämistarpeet

- Liikennemäärän arvioinnin toimintamallin kehittäminen (esim. LogForce-pilotin laajentaminen myös yksityisteille ja alueelliset pilottiselvitykset) sekä pelisäännöt tiedon käyttämiselle varsinkin vuorokausikohtaisten liikennemäärien osalta.

2.3.6 Näkemäalueet

Nykytilanne

- Ei ole mukana Digiroadissa eikä KMTK:ssa.
- Määritelty Metsätieohjeistossa ja Suomen Tieyhdistyksen oppaissa.
- Näkemäalue sisältyy käyttöoikeusyksikkölajina MML:n Kiinteistötietojen kyselypalveluun helmikuusta 2019 lähtien. Tietoa näkemäalueista käyttöoikeusyksikköinä syntyy siitä lähtien toimitustuotannon yhteydessä ja tieto on saatavissa WFS-kyselypalvelun kautta. Näkemäalue käyttöoikeusyksikkönä vaikuttaa mm. tieoikeuden käyttäjän oikeuteen pitää näkemäaluetta kunnossa liikenneturvallisuuden kannalta (ks. tarkemmin Yksityistielain 5 §). Tieto ei kerro näkemäalueen kulloisestakin tilanteesta.

Määritelmä (Metsätieohjeisto)

- Määritelmä tulee mahdollisesti muuttumaan vuoden 2019 aikana. Kohtiin, joissa ei ole vaadittavia näkemiä, asetetaan asianmukaiset varoitusmerkit. Yksiajokaistainen tie voidaan liikenteelle erityisen vaarallisissa kohdissa levittää kaksiajokaistaiseksi (5,5 m leveäksi). Tällaisissa kohdissa riittää runkoteillä mitoitusnopeuden mukainen pysähtymisnäkemä ja muilla teillä 30 m.

Määritelmä (Suomen Tieyhdistyksen opas Hämäläinen & Rahja 2012)

- Taulukot liittymisnäkemälle sivutien suunnassa ja mitoitusliittymisnäkemän vähimmäisarvoksi

Kehittämistarpeet

- Puutteelliset näkemäalueet & niistä varoittavien merkkien puuttuminen haasteena
    - Lisäksi puuston kasvu/hakkuu muuttaa näkemäalueen tilannetta
- Joukkoistettu tiedonkeruu ongelmakohtien havaitsemisessa (konenäkötulkinta kuvista tai kuljettajien ilmoitukset). Vesakoitumisen havaitsemisesta ks. kohta Tien kunto.

2.3.7 Pituuskaltevuus

Nykytilanne

- Ei määritelmää Digiroadissa (Digiroadin kohdassa 4.1.8 löytyy tielinkkien sijainti- ja korkeustarkkuus). Metsätieohjeiston kohdassa 4.4.6 mäen jyrkkyyden maksimiksi on määritelty 10 %.

- MML:n korkeusmalli (10M jo laajasti valmis, 2M tulossa 2020). Tien profiilimalli on tarkentumassa, pintamallissa on jo 5 cm:n tarkkuus.

Ehdotus määritelmäksi

- Määritelmä varoitettavasta mäen jyrkkyydestä tarpeen (mahdollisesti tieluokittain ja eri liukkaustilanteille).
- Yksityisteillä mäkien alla olevat kaarteet heikentävät liikenneturvallisuutta kumpaankin suuntaan ajettaessa. Lisäksi mäet ovat raskaille kuljetuksille haastavia yksityistien liittymän yhteydessä. Näissä tilanteissa voi olla tarpeen varoittaa vähemmänkin jyrkistä mäistä.

Kehittämistarpeet

- Tarpeen saada jyrkimmät mäet Digiroadiin, jotta kuljettaja voi harkita varsinkin talvella toisen reitin käyttämistä (tai varmistaa mäen talvihoidon tilanne). Tieto onkin tarpeen yhdistää kelitietoon (liukkaus).
- Mahdollisesti toteuttavissa jo nykytiedoilla Digiroadiin (pilotointi tarpeen). Haasteena on mm. metsäteiden linkkien pituus. Täydentävää tietoa voidaan kerätä joukkoistetun tiedonkeruun avulla (esim. matkapuhelimien asentoestimaateilla).

2.3.8 Puun yleinen välivarasto

Nykytilanne

- Ei määritelty Digiroadissa eikä KMTK:ssa (Tiepalvelualue mahdollisesti soveltuvin)
- Tierekisterissä lähin määritelmä on 195 (Tienkäyttäjien palvelualueet – 6 Lastausalue). Tierekisteri korvaantuu Velho-järjestelmällä, johon puutavaran välivarastot otetaan mukaan (todennäköisesti omaksi tietolajikseen).
- Puun yleisillä välivarastoalueilla tarkoitetaan alueita, jotka ovat ELY-keskusten hallinnoimia ja metsäyhtiöiden yhteiskäytössä.

Ehdotus määritelmäksi (tai Puuterminaali-tietolajin mukaisesti)

- Varaston ID
- Varaston nimi
- Sijaintitiedot
- Koko
- Toimintaperiaatteet (mm. auraus, käytettävissä vain talvella)
- Yhteystaho

Kehittämistarpeet

- Nykyisten välivarastojen tietojen kokoaminen Väyläviraston Velho-järjestelmään.

2.3.9 Puuterminaali

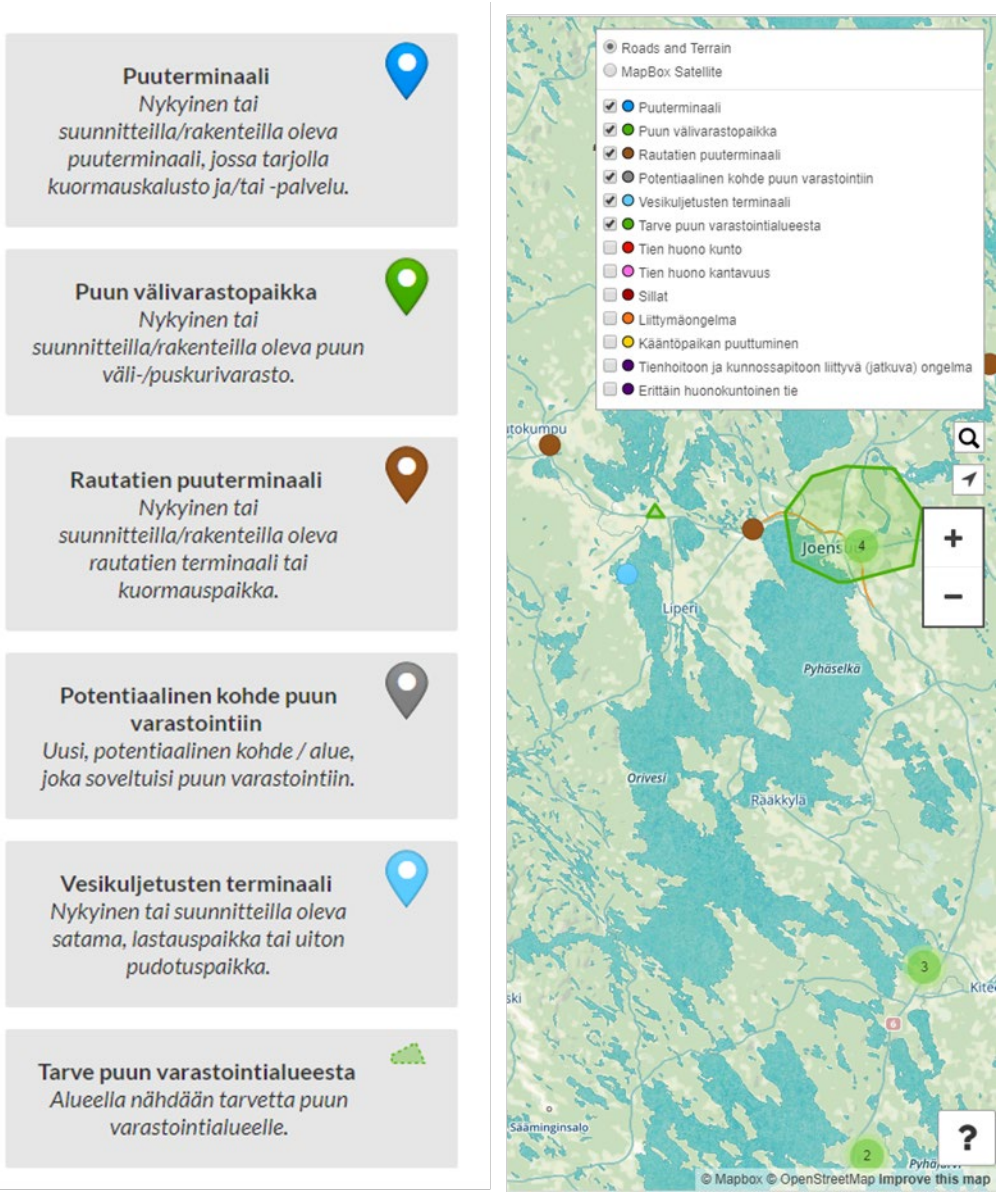
Nykytilanne

- Digiroadissa on määritelty eräitä terminaalityyppejä. Inspire-vaatimusten mukaan intermodaalisolmuja tulee lisätä KMTK:n liikenneverkko- ja maastotietoihin (tämä toteutettaneen aluksi vain hyvin suurien kohteiden osalta). Solmuista ei esitetä juurikaan ominaisuustietoja (ei esim. jakoa henkilö- ja tavaraliikenteen solmuihin).
- Eri kuljetusmuotojen puuterminaalien sijainti- ja ominaisuustietoja on koottu Suomen metsäkeskuksen karttapalveluun[15] (ks. kuva 1). Sen aineisto kattaa tällä hetkellä vain joitakin maakuntia.

[15] https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=9ad8e7509e0e4cb992f2c2bf783b93d6

Määritelmä (Terminaalikarttapalvelu)

- Puuterminaalin nimi ja sijainti (esim. kunta, osoite)
- Puuterminaalin käyttöönottovaihe ja tarve [Käytössä/Rakenteilla/Suunnitteilla]
- Valmistumisajankohta
- Puuterminaalin käyttötarve [Ympärivuotinen / Kausiluonteinen, esim. kelirikkoaika / Satunnainen / Muu]
- Tarjolla oleva puun kuormauspalvelu tai -kalusto [Jatkuvasti/Tarvittaessa/Ei tarjolla] (rautatie/vesikuljetus)
- Aluksen maksimisyväys (m) (vesikuljetus)
- Käyttötarkoitus [Ainespuu / Energiapuu/-jae / Yhdistetty aines- ja energiapuu / Muu]
- Läpikulkeva puuvirta vuodessa [skaala riippuu terminaalityypistä]
- Terminaalialueen tai varastoalueen pinta-ala (ha)
- Terminaalitoimintojen hallinnoija/operaattori(t): [Kunta / Puutavarayhtiö(t) / Erillinen terminaalioperaattori / Alueen yksityinen omistaja hallinnoijana]
- Terminaalialueen varustus ja ominaisuudet [asfaltointi/sorapohja/läpiajomahdollisuus/kaluston säilytysmahdollisuus/ympärivuotinen kuormausmahdollisuus/talvikunnossapito/valaistus]
- Muut tiedot



Kuva 1. Esimerkki Suomen metsäkeskuksen puuterminaalien karttapalvelusta.

Kehittämistarpeet

- Metsäkeskuksen valtakunnallisen terminaalikartan tietojen alueellisen kattavuuden parantaminen. Kartan tulee olla Digiroad-yhteensopiva ja yhdistettävissä kuntien ja maakuntien kaavoitustarpeisiin.

2.3.10 Sivukaltevuus

Nykytilanne

- Yksityisteiden tien sivukaltevuutta ei olla sisällyttämässä KMTK:aan eikä se sisälly Digiroadiin. Metsäteiden sivukaltevuus on ohjeistettu Metsätieohjeistossa ja Suomen Tieyhdistyksen oppaassa.

Määritelmä (Metsätieohjeisto)

- Ajoradan sivukaltevuus on kaksipuolinen suoralla tienosalla sekä kaarteen kohdalla, mikäli kaarresäde ylittää kaarresäteiden vähimmäisarvon. Kaarresäteiden vähimmäisarvoilla tai niitä pienemmillä säteillä rakennetaan tie yksipuolisesti sivukaltevaksi. Sivukaltevuus on 5 %[16]. Sivukaltevuuden muutos tehdään 20 m:n matkalla, 10 m kaaren alkupisteen molemmin puolin.

Määritelmä (Suomen Tieyhdistyksen opas Hämäläinen & Rahja 2012)

- Tiellä sivukaltevuus 3–5 %, kaarteissa <7 %

Kehittämistarpeet

- Merkittävä sivukaltevuus on määriteltävä ja tunnistettava, koska ne haittaavat raskaiden ajoneuvojen ajoa varsinkin talvella.
  - Täydentäen joukkoistettu tiedonkeruu esim. droonikeilauksilla tai matkapuhelimien antureiden avulla ja esittäminen Digiroadia täydentävänä vihjetietona.
  - Vaatisi tiestön pintamallin laatimisen (Väylävirastolla maanteiden osalta käynnissä).
- Metsätieohjeistoa päivitettävä tämän osalta (nykyisten minimivaatimusten lisäksi tuotava esille, ettei sivukaltevuus saa olla liian jyrkkä)
- Tiedon esittäminen Digiroadissa/YTPAssa

2.3.11 Talvihoidon tilanne

Nykytilanne

- Valtion teiden talvikunnossapidon ajantasainen tilannekuva esitetään Väyläviraston Liikennetilanne-palvelussa (https://liikennetilanne.liikennevirasto.fi/).
- Myös yksityisteiden osalta kuljetusyritykset ja muut tiellä liikkuvat tarvitsevat tietoa talvihoidon tilanteesta (myös siksi, että kuljetusyritykset saattavat itse sopia aurauksesta, jos tietä ei yleisesti aurata).

Ehdotus määritelmäksi

- Väyläviraston palvelun mukaisesti viimeisimmän talvihoidon toimenpiteen aikaskaalat myös yksityisteillä olisivat: 0–1 h, 1–3 h, 3–12 h ja 12–72 h.
- Yksityisteillä, joiden varrella on pysyvää asutusta (ja siten kunnan velvollisuus talvihoitoon) tai jotka ovat saaneet julkista yksityistie- tai aurausavustusta (ja tiekunnalla voi olla siten velvollisuuksia talvihoitoon liittyen), tieto säännöllisestä talvihoidosta on alkuvaiheessa riittävä.

[16] Päivitysaineiston (Strandström 2017b) mukaan 3–5 %.

Kehittämistarpeet

- Tietoa yksityisteiden talvihoidon tilanteesta voitaisiin jakaa vastaavalla palvelulla kuin valtion teillä. Palvelun kehittäminen kannattaa toteuttaa yhdessä myös kuntien ja talvikunnossapitoa toteuttavien yrittäjien kanssa.
- Talvihoitotilannetta arvioivien tietojen kokoaminen (asutut tiet, posti- ja maitoautokuljetusten reitit, julkisesti tuetut tiet).

2.3.12 Tiekuntien yhteystiedot

Nykytila

- Yhteystietoja on koottu MML:n Yksityistierekisteriin (osa Kiinteistötietopalvelua) ja yksityisteiden avustusjärjestelmiin (kunnat, ELY-keskukset ja Suomen metsäkeskus). Esimerkiksi puutavaran kuljetusten suunnittelun tarpeisiin ajantasaiset yhteystiedot tulisi olla helposti saatavilla yhdestä paikasta.

Määritelmä

- Yksityistierekisterin tierekisteriotteelta selviää tiekunnan nimi, tunnus ja yhteyshenkilön tiedot (jos ilmoitettu) sekä luettelo kiinteistöistä, joiden alueella tie kulkee. Avustusjärjestelmistä löytyvät vastaavat tiedot.

Kehittämistarpeet

- Puhelinnumerot tulisi saada laajasti rekisteriin mukaan ja ne tulisi saada käyttöön helposti myös kuljetusyritysten (tiestön käyttöoikeuden ja ajantasaisen kantavuuden selvittäminen), tiestöön liittyvien palvelujentarjoajien ja tiemaksun maksajien käyttöön.
- Tiekuntien aktivointi tietojen päivittämiseksi sekä kuntien, ELY-keskusten ja Metsäkeskuksen tietojen saaminen myös MML:n rekisteriin.
- Vuosittainen yhteystietojen ajantasaisuuden tarkistuskysely tiekunnille.
- Kampanjointi myöhemmin myös metsäyhtiöille ja kuljetusyhtiöille, jotka voisivat vähintään ilmoittaa vääristä yhteystiedoista tai antaa uuden tiedon tarkistettavaksi.

2.3.13 Tien kunto

Nykytilanne

- Sorateiden kunnolle on luokituksia Väylävirastolla sekä yksityisteitä koskevissa materiaaleissa.
- Yksityisteiden kuntotietoa ei kerätä ja esitetä yhtenäisesti.
- Valtion teiden kuntotietoa ei esitetä julkisesti (vain kelirikosta seuranneet painorajoitukset).
- Pilotteja kunnon tiedonkeruusta eri keinoin on toteutettu ja käynnissä (ks. tarkemmin luku tiedonkeruumenetelmistä).

Määritelmät

Kuntotekijä	Valtion tiet ja yksityistiet: Luokitus ja luokituksen lähde
Kelirikko	Runkokelirikon vaurioluokat: Vakava (1), Tuntuvasti haittaava (2) ja Lievä (3), Pintakelirikko (Liikennevirasto 2018b) Runkokelirikkoluokat 1–3 ja pintakelirikkoluokat 1–3 (Korpilahti 2008)
Kivet	Yli 3 cm korkeat ja muut liikennettä haittaavat maakivet (Liikennevirasto 2015) Yli 3 cm korkeat ja muut liikennettä haittaavat maakivet (Korpilahti 2008).
Kulutuskerros	Kuntoluokat 1–3 (Korpilahti 2008)
Ojat	Laatuvaatimukset (Liikennevirasto 2015) Kuntoluokat 1–3 (Korpilahti 2008) Syvyydet ja sivukaltevuudet (Hämäläinen & Rahja 2012)
Pintakunto (Tasaisuus, Kiinteys, Pölyävyys)	Kuntoarvot 1–5 (Liikennevirasto 2014) Kuntoluokat 1–3 (Korpilahti 2008)
Rummut ja sillat	Vaurioluokat 1–4 (Liikennevirasto 2013) Kuntoluokat 1–3 (Korpilahti 2008)
Vesakoituminen	Kuntoluokat 1–3 (Korpilahti 2008)

Kehittämistarpeet

- Määritelmissä suositellaan noudatettavan valtion sorateiden kuntoluokituksia. Tämä mahdollistaa yhteisen tiedonkeruun (varsinkin joukkoistettu tiedonkeruu).
- Joukkoistetulla tiedonkeruulla voidaan tuottaa kuntotietoa sekä objektiivisesti että subjektiivisesti (kuljettajien omat arviot) sekä myös teistä, joissa erillistä kuntoseurantaa on harvakseltaan.
- Osaamista ja eri toimijoiden yhteistyötä tulee kehittää heikkokuntoisten yksityisteiden siltojen tunnistamiseksi.

2.3.14 Tienpidon toimenpiteet

Talvihoidon tilanne on käsitelty omana tietolajinaan.

Nykytilanne

- Kemera-rahoitusta saaneiden teiden perusparannustoimenpiteet esitetään osin avoimena datana (esim. perusparannus on yksi toimenpidekoodi)
- Yksityisteitä kunnostavat tiekuntien ja näiden urakoitsijoiden lisäksi ainakin puun kuljetusyritykset ja metsäyhtiöt. Näin ollen on tarpeen koota yhtenäisellä tavalla ajantasainen tieto kunnostustilanteesta.

Ehdotus määritelmäksi

- Määritelmän laatiminen yhteistyössä eri toimijoiden kanssa tarpeen. Tapio Oy:ssä on käynnissä MMM:n hanke metsäteiden kunnossapidon lomakkeiden sähköistämisestä.

Kehittämistarpeet

- Yhteisestä määritelmästä sopiminen ja pilotointi.

2.3.15 Muita tietolajeja

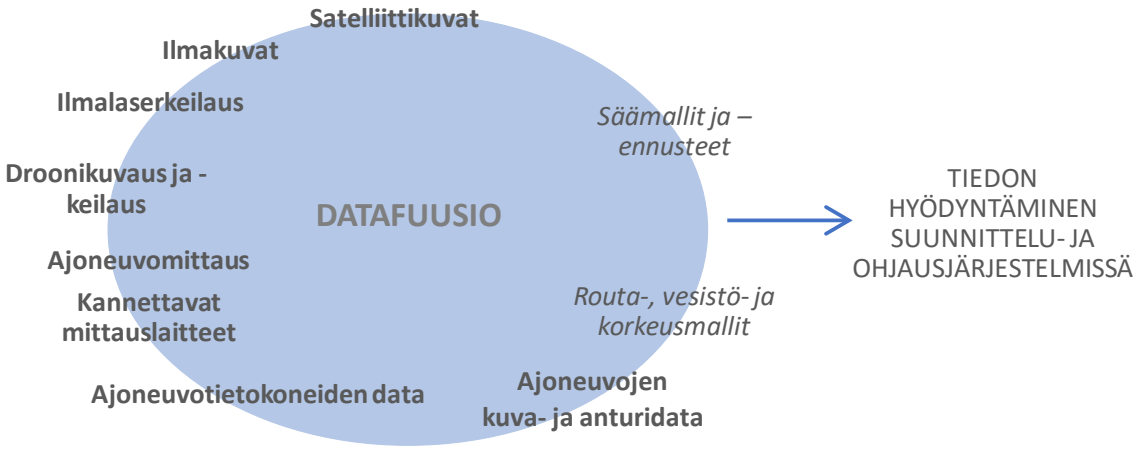
Hankkeen sidosryhmäkeskusteluissa on noussut esille tarpeita myös seuraaville tietolajeille:

- Yksityistien omistaja (esim. Metsähallitus, metsäyhtiö, yksityinen) (tarkentaa tien hallinnollista luokkaa)
- Yksityistien talvihoitourakoitsijan yhteystiedot
- Vastaantulijat metsäteillä / käynnissä oleva puun kuormaus (nykyisin varoitus puun korjuusta tai kuormauksesta varoittavalla varoituskolmiolla)
- Yleisten teiden alueet, joille puun varastointi on sallittua tai kiellettyä (aiheeseen liittyen on käynnissä Väyläviraston ohjeistuksen vetämä työryhmä)
- Yksityisteiden tienkäyttömaksut (esim. navigointipalveluissa on usein tieto tien maksullisuudesta).

3 TIEDONKERUUMENETELMÄT

3.1 Johdanto

Tässä luvussa on kuvattu yleisesti jo käytössä olevia sekä vasta pilottivaiheessa olevia tiestötiedon keruumenetelmiä (kuva 2). Tiedonkeruumenetelmät voidaan jakaa kaukokartoitukseen, ajoneuvomittaukseen, kannettaviin mittalaitteisiin sekä hyötyajoneuvoihin integroituihin menetelmiin (kuten älyrenkaiden tai kuva- ja anturilaitteiden käyttöön). Kaukokartoituksen menetelmiä ovat satelliittikuvaus, ilmakuvaus, ilmalaserkeilaus sekä droonikuvaus. Kerätyn datan perusteella voidaan muodostaa erilaisia malleja ja ennusteita helpottamaan mm. tiestön kuntoluokituksen, routaherkkyyden ja kantavuuden ajallisen kehityksen määritystä. Yhteenveto eri menetelmien soveltuvuudesta eri tietolajien keräämiseen on esitetty liitteessä 2.



Kuva 2. Tiestötiedon keruumenetelmiä.

Erilaisilla tiedonkeruumenetelmillä voidaan kartoittaa esimerkiksi potentiaalisimmat vaurioalttiit metsätiet ja metsäteiden osat, ja parantaa siten metsätieverkon kunnossapidon ennakointia sekä vähentää erillistä maastotyötä (Korpilahti 2008). Uudenaikaiset tekniikat tarjoavat vaihtoehdon perinteisille tutkimusmenetelmille (esim. näytteenotto, kairaus, koekuoppa tai maastotarkastus). Eri menetelmillä kerättyä dataa pyritään yhdistelemään ja siten parantamaan tiedon hyödynnettävyyttä ja kattavuutta. Tiedonkeruumenetelmän valintaan vaikuttavat esimerkiksi kiinnostuksen kohteena olevat muuttujat, tiedon tarkkuusvaatimukset, saatavilla oleva teknologia ja tiedonkeruun kokonaiskustannukset. Tässä raportissa on kuvattu esimerkkejä eri menetelmien kustannuksista, mutta kustannuksia ei ole käsitelty kattavasti.

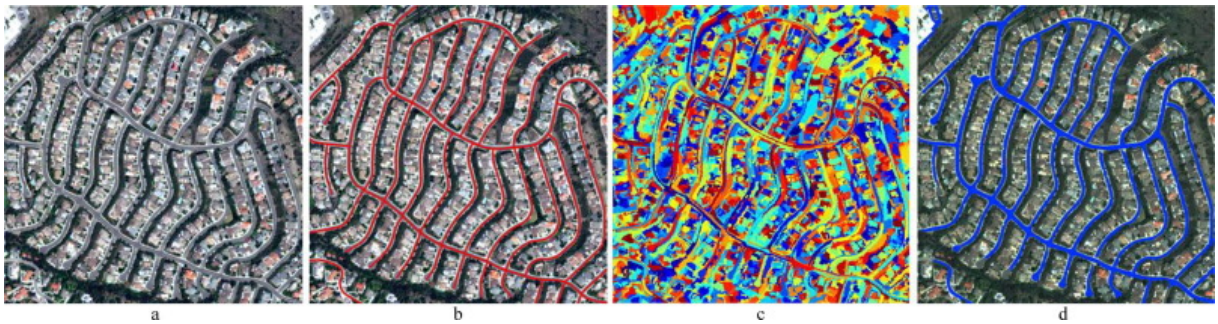
Tiestötiedon tiedonkeruumenetelmien kehitys on jatkuvasti käynnissä. Esimerkiksi Väylävirastolla on käynnissä tieverkoston digitaalisaatiohanke, jonka osahankkeessa ”Tieverkon ennakoiva kunnonhallinta ja tiestötietojen ylläpitojärjestelmän kehittäminen” on otettu tarkasteluun yhteensä 18 pilottiprojektia[17] liittyen tiestön kuntoarvioinnin uusiin tiedonkeruumenetelmiin ja kerätyn tiedon aikaisempaa parempaan hyödyntämiseen.

3.2 Satelliittikuvat

Satelliittikuvaus on kattava kaukokartoitustapa, joka soveltuu laajojen alueiden muutosten havainnointiin jopa muutaman kerran päivässä. Satelliittikuvaus voi olla optista kuvausta tai tutkakuvausta.

[17] Listaus hankkeen pilottiprojekteista on nähtävissä osoitteessa: https://www.liikennevirasto.fi/hankkeet/digitalisaatiohanke/tieverkon-kunnonhallinta/avoimen-haun-pilottiprojektit#.WsyaTy5uZmO.

Optiset kaukokartoitusinstrumentit voidaan jakaa pankromaattisiin ja monikanavaisiin instrumentteihin. Optinen kaukokartoitus soveltuu hyvin muutostulkintaan ja maankäyttöluokitukseen, jonka avulla tieverkosto voidaan tunnistaa jopa automaattisesti (kuva 3). Monikanavakuvien automaattiseen muutostulkintaan on olemassa esimerkiksi VTT:n kehittämä AutoChange-menetelmä (Saarentaus 2000). Satelliittidatasta prosessoituna tiestö voidaan esittää vektori- tai rasterimuodossa. Nykyisin eri resoluutioilla saatujen aineistojen yhdistely ja siten esimerkiksi geometriseltä erottelukyvyltään parempien tasojen luominen on vaivatonta.



Kuva 3. Katuverkon automaattinen tunnistus urbaanilla alueella. a) Worldview-2 -satelliittikuva alueesta b) Manuaalisesti digitoitu katuverkko c) Kuvankäsittelyalgoritmeilla uudelleen luokiteltu aineisto d) Automaattisesti tunnistettu katuverkko. (Maboudia ym. 2017).

Tutkakuvauksessa mitataan kaukokartoitusinstrumentin lähettämiä ja maasta heijastuneita radioaaltoja. Satelliittitutkakuvauksen avulla saadaan monipuolista tietoa kartoitettavasta alueesta. Satelliittitutkista SAR (Synthetic Aperture Radar) -tutkat ovat kaukokartoituksessa yleisesti käytettyjä instrumentteja. Satelliittitutkakuvien kirkkauden perusteella voidaan kerätä tietoa kuvausalueen pinnankarheudesta, topografiasta ja sähköisistä ominaisuuksista (Saarentaus 2000). Tutkakuvauksen signaali ei ole herkkä kasvillisuuden tai pilvien aiheuttamalle häiriölle. Erityisesti L-band -taajuus sopii maaperän analysointiin, sillä tutkasäteellä voidaan saada tietoa parhaimmillaan jopa metri maanpinnan alapuolelta. (Kokkila 2011). Satelliittitutkakuvia voidaan käyttää korkeusvaihteluiden mittaamiseen interferomerian tai radargrammetrian avulla. SAR-tutkan erottelukykyä voidaan tulevaisuudessa jatkokehittää.

Satelliittitutkilla voidaan havainnoida maan kosteutta sekä roudan ja lumen esiintyvyyttä. Maan kosteudella on suuri vaikutus tiestön routavaurioiden esiintyvyyteen ja kantavuuteen. Ilmatieteen laitos on tutkinut maan kosteuden ja roudan havaitsemista satelliittitutkilla osana vuonna 2009 alkanutta Euroopan avaruusjärjestö ESA:n Climate Change Initiative (CCI) -ohjelmaa (Ilmatieteen laitos 2013). Tutkimuksessa hyödynnettiin inversiomenetelmää, joka perustuu tutkainstrumentin lähettämän sähkömagneettisen säteilyn sironnan mallinnukseen. Menetelmässä maan routaisuus päätellään jäätyneen maan alhaisista kosteusarvoista.

Metsätieverkoston tietotarpeita varten Ilmatieteen laitos (Suokanerva ym. 2017) on tutkinut routavaurioiden tunnistamista satelliittitutkakuvista. Projektissa tuotettiin interferometrisen kuvatulkinnan avulla routamallinnukset. Menetelmä perustui Stripmap HIMAGE -kuvapareihin, jotka oli otettu ennen ja jälkeen kohdetien keinotekoisen vaurioituksen. Testien mukaan SAR-satelliittikuvat eivät soveltuneet keinotekoisesti tehtyjen routavaurioiden tunnistukseen. Routavaurioiden pinta-alan tulisi olla satelliittitunnistuksessa huomattavan suuri.

Satelliittikuvauksen huonona puolena on keskimäärin alhainen spatiaalinen resoluutio. Käytännössä tämä estää kohteiden pienipiirteisen tarkastelun. Kuitenkin uuden sukupolven korkean resoluution satelliittisensorit pystyvät tarkimmillaan jo 0,4 metrin maastoerotuskykyyn, ja ne soveltuvat 1:5 000 ja sitä pienempimittakaavaiseen kartoituksen (Jacobsen 2011). Optinen satelliittikuvaus on altis pilvisyydelle, eikä Suomessa ole joka vuosi saatavilla koko maan kattavaa pilvetöntä satelliittikuvamosaiikkia (Holopainen ym. 2009). Satelliittikuvauksen spektrinen ja

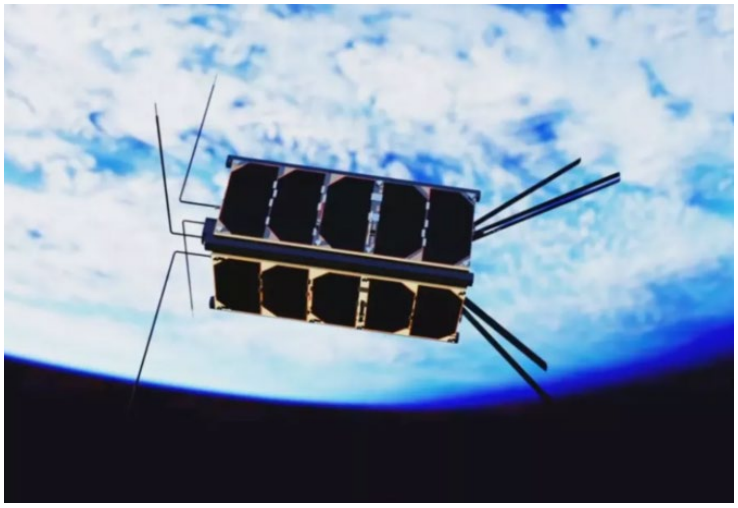
radiometrinen resoluutio, eli kaukokartoituslaitteen kyky erotella sävyjä ja mitata niiden voimakkuuksia, vaihtelee runsaasti.

Satelliittikuvien tarjoajia on lukuisia, mutta julkisin varoin tuotettuja ilmaisia kaukokartoitusmateriaaleja on saatavilla rajoitetusti. Varsinkin kaupalliset, korkealaatuiset satelliittikuvat ovat hintaluokaltaan kalliita.

Satelliittikuvien ja muun seurantatiedon saatavuuden turvaamiseksi on luotu Euroopan unionin ja Euroopan Avaruusjärjestön (ESA) Copernicus-ohjelma. Copernicus tuottaa jatkuvaa, riippumatonta ja luotettavaa seurantatietoa poliittisen päätöksenteon tueksi. Paikkatieto on Copernicuksen olennaisimpia avoimia datoja. Copernicus-järjestelmä tarjoaa optista korkean- ja keskiresoluution kuvaa, mutta myös C-aallon tutkakuvaa. Copernicus-kokonaisuudessa on luotu mm. ilmastotyökalu[18], jolla voi tarkastella karkealla tasolla keskeisten ilmasto- ja sääsuureiden kehitystä ja ennusteita. (Sucksdorff 2015).

Copernicus-järjestelmän avulla kerättyä satelliittikuvadataa otetaan vastaan Ilmatieteen laitoksen Satelliittidatakeskuksessa (NSDC) Sodankylässä. Satelliittidatan jakelualustana toimii FinHub -internetalusta[19]. Copernicuksen Sentinel-dataa on saatavissa NSDC:stä tutkimukseen sekä kaupalliseen että yksityiseen käyttöön (National Satellite… 2018). Ilmatieteen laitos kerää satelliittidataa myös Helsingin vastaanottoasemalla[20].

Satelliittikuvauksen kehitykseen tulee vaikuttamaan erityisesti piensatelliittien (kuva 4) käyttöönotto. Piensatelliittien etuna on niiden varustelu tarvekohtaisesti ja aineiston tuottaminen suoraan asiakkaan tarpeisiin. Liikenne- ja viestintäministeriön (2017b) mukaan Suomessa on kehitetty jo ensimmäisiä omia piensatelliitteja. On arvioitu, että piensatelliitit yleistyvät kuitenkin vasta 5–10 vuoden kuluessa (Rautiainen 2017). Piensatelliittien soveltuvuutta keli- ja tiestödatan keruuseen tulisi selvittää.



Kuva 4. Aalto-yliopiston suunnittelema ja rakentama Aalto-2 -piensatelliitti on ensimmäinen suomalaisvalmisteinen avaruuteen lähetetty satelliitti (Aalto-yliopisto / YouTube).

Lisääntyneestä aineistonkäsittelytarpeesta johtuen tekoälyn ja automatisoinnin rooli satelliittikuvauksen kehityksessä on suuri. Suomalainen avaruustoiminta on nopean kehityksen vaiheessa,

[18] Copernicuksen ilmastotyökalu The ECEM Demonstrator: https://demos.the-iea.org/ecem/#layer,Countries&timeperiod,historical&vartype,climate&variables,GHI&temporal_resolution,01m&statistics,org.

[19] Satelliittitiedon jakelualusta FinHub: https://finhub.nsdc.fmi.fi/#/home.

[20] Lisätietoa Ilmatieteen laitoksella vastaanotettavista napoja kiertävien ja geostationääristen satelliittien havainnoista: http://ilmatieteenlaitos.fi/satelliitit

sillä Liikenne- ja viestintäministeriön (2017b) mukaan Suomeen on syntynyt spesifiä avaruusteknologiaan perustuvaa New Space -liiketoimintaa.

3.3 Ilmakuvat

Ilmakuvaus on yksinkertainen menetelmä erityisesti maanpinnan luokitteluun tähtäävään kaukokartoitukseen. Ilmakuvauksen tuloksena saadaan suoraan maanpinnan kaksiulotteinen malli, joka on helposti analysoitavissa. Ilmakuvausta hyödynnetään kartta-aineistojen ja metsävaratiedon tuottamisessa. Yleisesti ilmakuvat ovat erinomainen apuväline suunnitelmien havainnollistamiseen, viranomaismenettelyjen lähdeaineistoksi, esittelymallien laadintaan ja esimerkiksi siltojen kuntokartoitukseen.

Pystyilmakuvista tuotetaan yleensä mittatarkkoja ortokuvia, joita voidaan käyttää etäisyyksien ja pinta-alojen määritykseen sekä stereokartoituksessa. Ortokuvat ovat koordinaatistoon sidottuja, mikä mahdollistaa aineiston käytön nykyaikaisissa paikkatieto-ohjelmistoissa ja -järjestelmissä rinnakkain muun datan kanssa. Ortokuvat soveltuvat ympäristön (kuten liikenneväylien ja maankäytön) suunnittelun ja muutosten seurannan tueksi. (Lentokuva Vallas Oy 2018). Ortokuvien lisäksi ilmakuvauksella voidaan tuottaa viistoilmakuvia. Ilmakuvista tehtävien 3D-mallien lähtöaineistoksi kelpaavat tavallinen ilmakuvamateriaali, katunäkymäkuvausaineisto, viistoilmakuvaus- ja laserkeilausaineisto tai näiden yhdistelmä (Blom Kartta Oy 2018a). Ilmasta käsin otetuilla hyperspektrikuvilla voidaan puolestaan havainnoida ihmissilmälle näkymättömiä asioita, esimerkiksi lähi-infrapunan alueella (Honkavaara ym. 2011).

Metsäteihin liittyvän tiedonhankinnan tarpeisiin ilmakuvista on tulkittavissa mm. tien muoto, mitat ja yleiskunto. Aluetasolla ilmakuvat voivat auttaa esimerkiksi metsätieverkon rakentamisen ja kunnostustarpeen kohdistamisen suunnittelussa. Ilmakuvia voi käyttää yksittäisten tiekohteiden tarkasteluun, kuten kääntö- ja kohtaamispaikkojen sekä risteysalueiden piirteiden havainnointiin.

Suomessa ilmakuvia on saatavilla sekä julkisten että yksityisten toimijoiden toimesta (kuva 5). Julkisten toimijoiden toteuttama aluekohtainen ilmakuvaus tehdään osana Maanmittauslaitoksen Kansallista ilmakuvausohjelmaa[21]. Ilmakuvaus suoritetaan viiden vuoden välein, kuitenkin aivan pohjoisimmassa Lapissa vain joka kymmenes vuosi. Tavoitteena on kuvausvälin lyhentäminen kolmeen vuoteen. Ilmakuvauksen tietotarpeiden määrityksestä vastaavat Maanmittauslaitos, Suomen metsäkeskus ja Maaseutuvirasto. Maanmittauslaitos kerää tuotetun aineiston maastotietokantaan. Ilmakuvamateriaali on kaikkien saatavilla ilmaiseksi, mutta Maanmittauslaitokselta tehtävistä suurien aineistokokonaisuuksien tilauksista peritään käsittely ja toimituskulut. (Maanmittauslaitos 2018c). Ilmakuvauksen kaupallisia toimijoita ovat esimerkiksi Blom Kartta Oy, Finnmap Infra Oy, Lentokuva Vallas Oy ja Terratec Oy.

[21] Lisätietoa Maanmittauslaitoksen maastotiedon ylläpidosta: https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/maastotiedot-ja-niiden-hankinta/maastotiedon

Kuva 5. Maanmittauslaitoksen tuottamasta valtakunnallisesta ilmakuvamateriaalista (oik.) metsätie on tunnistettavissa. Kuvan alaosassa varjostus kuitenkin estää metsätien havainnoinnin. Vasemmalla on kaupallisen toimijan tuottama ilmakuva. Kaupallisen ilmakuvauksen etuna on mahdollisuus sovittaa tuotettavan materiaalin laatu asiakkaan tarpeiden mukaan. (Kuvat: Lentokuva Vallas Oy ja Maanmittauslaitos).

Ilmakuvauksen hyötyjä ovat materiaalin korkea resoluutio ja helppokäyttöisyys. Toisaalta ilmakuvauksen kustannustehokkuus on alhainen verrattuna satelliittikuvaukseen. Julkisten toimijoiden tuottamassa materiaalissa ongelmaksi voi muodostua kuvausvälin pituus. Kuitenkin tilaustyönä tehty projektiluontoinen ilmakuvaus on nopea toteuttaa. On huomioitava, että ilmakuvaus on altis valaistusolosuhteille ja pilvisyyden aiheuttamalle varjostukselle, mikä voi asettaa rajoitteita kuvaustyön toteutusajankohdalle. Lisäksi ilmakuville on tehtävä georeferointi ja radiometrian korjaaminen, jotta ilmakuvia voidaan hyödyntää esimerkiksi paikkatietojärjestelmissä (Honkavaara ym. 2011).

Kuvansovitusmenetelmien kehitys on mahdollistanut aikaisempaa vaivattomamman pinta- ja 3D-mallien laatimisen. Lisäksi ilmakuvien käsittelyyn on luotu uusia automaattisia prosessointimenetelmiä, kuten sävyarvojen reflektanssikalibrointi ja kuvasovituksen avulla tuotettavat pistepilvet, jotka luovat edellytyksiä kuvatulkintaprosessien automatisoinnille. Tärkeitä ilmakuvauksen kehitysalueita ovat kuvaussensorien kuvauslaatu sekä ilmakuvien spektraaliset ominaisuudet ja kuvakoko. Myös tarvittavan tiedon irrottaminen yhä kasvavasta datamäärästä asettaa haasteita prosessointitekniikalle. (Honkavaara ym. 2011).

Ilmakuvien tuottamisessa on perinteisesti käytetty pienlentokonetta tai helikopteria, mutta nykyisin myös miehittämättömät ilma-alukset ovat yleistyneet kuvaustekniikassa. Etäohjattavia lentäviä laitteita hyödyntävää menetelmää kutsutaan droonikuvaukseksi (ks. luku 3.5).

3.4 Ilmalaserkeilaus

Ilmalaserkeilaus on pistemäisen aineiston tuottamiseen kehitetty kaukokartoitusmenetelmä, jossa jokaiselle havaintojoukon pisteelle saadaan x-, y- ja z-koordinaattitieto. LiDAR (Light Detection and Ranging) on laserkeilaukseen käytettävä mittalaite, joka kerää kohteen koordinaattitiedot laserpulssin lentoajan ja voimakkuuden avulla. Laserkeilaus käsitteenä sisältää laserkeilaustekniikan lisäksi paikkasidonnaisuuden eli lasersäteen sijainnin ja suunnan määrittämisen. Lentokoneesta suoritettavaa lentolaserkeilausta kutsutaan lyhenteellä ALS (Airborne Laser Scanning). (Holopainen ym. 2013).

Ilmalaserkeilauksen tärkeimpiä käytännön sovelluksia ovat korkeusmallien laatiminen ja metsävaratiedon tuottaminen (Maanmittauslaitos 2018b). Ilmalaserkeilauksen potentiaalisia

käyttökohteita tieverkoston hallinnan tukena ovat teiden suunnittelu, teiden kuntoinventointi, muutosten seuranta ja tulevaisuuden mallinnus.

Toisin kuin ilmakuvauksessa, ilmalaserkeilauksella saadaan tuotettua suoraan kolmiulotteinen malli ilman kuvaparien yhdistelyä. Laserkeilaus ei ole riippuvainen auringon säteilystä, eikä varjostus tai peittävyys ole haittana korkeustiedon tuottamisessa. Laserkeilauksen suuri etu onkin se, että tietoa maastonmuodoista voidaan saada myös puiden latvustason alapuolelta. Laserkeilaus ei ole myöskään altis kuvantulkintavirheille. Toisaalta fotogrammetriseen mittaukseen verrattuna yksikanavalaserkeilauksessa on huonompi alueellinen erotuskyky ja spektritiedon puute. Apuna tiedon parempaan tulkittavuuteen ovat intensiteetin ja aaltomuodon tarkastelu. (Holopainen ym. 2013).

Suomessa valtakunnallinen laserkeilausaineisto on avointa dataa[22]. Valtakunnallinen laserkeilaus toteutetaan yhteistyössä Maanmittauslaitoksen ja Suomen metsäkeskuksen kanssa. Tämän hetkisen tavoitteen mukaan Suomi tulisi olla laserkeilattu kertaalleen vuoteen 2019 mennessä. Maanmittauslaitos, Suomen metsäkeskus, Suomen ympäristökeskus, Finavia, Puolustusvoimat ja Väylävirasto ovat toteuttamassa Laser2020-projektia[23], jossa päätetään uusia tekniikoita hyödyntävästä Kansallisesta laserkeilausohjelmasta. Päätös laserkeilausohjelman sisällöstä tehdään vuonna 2019.

Pistetiheys keilauksessa on minimissään 0,5 pistettä/m^2, joka vastaa noin 1,4 m:n pisteväliä. Tavoitteena on pistetiheyden nostaminen 5 pisteeseen/m^2. Maanmittauslaitos tuottaa automaattisesti maanpintaluokiteltua laserkeilausaineistoa, joka on perusta valtakunnallisen korkeusmallin valmistamiseen. Koko maan kattavan korkeusmallin resoluutio on 10 m x 10 m ja korkeustiedon tarkkuus on 1,4 m. Osasta Suomea on saatavissa tarkempi korkeusmalli, jonka resoluutio on 2 m x 2 m ja tarkkuus keskimäärin noin 0,3 m. Tavoitteena on tuottaa koko maan kattava tarkempi korkeusmalli vuoteen 2020 mennessä. (Maanmittauslaitos 2018a).

Laserkeilausdatasta tuotetuista 3D-malleista metsäteiden tunnistus voi perustua esimerkiksi korkeuseroon tien pinnan ja ympäröivän kasvillisuuden tai ojien välillä. Laserkeilausaineistosta on pääteltävissä myös tien päällysmateriaali ja kunto. Tien rakenteellisesta kunnosta voidaan tarkastella esimerkiksi tien tasaisuutta, pinnan kuntoa, kuivatustilannetta ja mahdollisia kelirikkovaurioita. Ilmalaserkeilaus ei pysty erottelemaan kovin pieniä muotoja, kuten tien raiteita, pieniä kuoppia ja painumia. Siksi ilmalaserkeilaus ei sovellu tien rakenteellisen kunnon arviointiin sellaisenaan. Kuitenkin tienpinnan pituus- ja sivukaltevuudesta saadaan ilmalaserkeilauksella muodostettua hyvä kokonaiskuva. Myös tien sivu- ja veto-ojien syvyyksistä, ojapiennarten kaltevuuksista, tien perustan leveydestä sekä veden kerääntymispisteistä saadaan ilmalaserkeilauksella tietoa. (Tarkkinen 2015). Eri tilanteiden erottamiskyky kuitenkin vaihtelee mm. laserkeilausaineiston pistetiheyden ja korkeustarkkuuden mukaan.

Laserkeilauksen soveltuvuutta metsätiestön kuntokartoitukseen on tutkittu perustuen topografia- ja korkeusindeksiin (TPI ja SE) sekä hydrologisten työkalujen käyttöön (Kiss ym. 2015). Maan kaltevuus ja hydrologiset työkalut olivat apuna kuivatuksen määrityksessä. Tutkimuksessa luotiin tien kuntoa kuvaava kolmiportainen luokitus: heikko, tyydyttävä ja hyvä. Luokittelu perustui Metsätehon laatimaan tien kunnon arviointijärjestelmään (Korpilahti 2008). Tulosten mukaan korkeus- ja topografiaindeksit liittyvät tien laatutekijöistä vahvimmin tien tasaisuuteen ja pinnan kuluneisuuteen. Laserkeilausaineisto kerättiin 600 metrin lentokorkeudessa 26 asteen kulmassa. Aineiston pistetiheys oli 12 pistettä per m^2 ja kaistan leveys 320 metriä. Aineistostasta tulkittu tien pinnan kunto oli vähintään 66 prosentissa tapauksia oikein. Tulokset olivat lupaavia, ja käyttämällä esimerkiksi maaperätietoa laserkeilausdatan tukena, saataisiin kuivatustilanne tarkemmin arvioitua.

[22] Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto: https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto
[23] Hankkeen internetsivu: http://kmtk.paikkatietoalusta.fi/projektit-ja-tyopaketit/laser2020

Tien ympäristössä tietoa voidaan kerätä ojien lisäksi vesakoitumisesta ja näkemäalueesta. Laserkeilaus soveltuu hyvin myös siltojen ja kääntöpaikkojen havainnointiin sekä mallintamiseen. Tienrakennuksen tarpeisiin laserkeilauksella voidaan tuottaa kivisyystietoa ja tunnistaa erilaiset tienrakennusta haittaavat esteet.

Perinteisen laserkeilauksen rinnalle on kehittynyt monikanavakeilaus, jossa kartoitettavaa aluetta havainnoidaan useammalla aallonpituusalueella (kuva 6). Kanavasuhteiden antaman tiedon perusteella voidaan tunnistaa maanpinnan muotojen lisäksi luokkamuuttujia, kuten esimerkiksi tienrakennusmateriaali. Paikkatietokeskuksella on jo nykyisin käytössään huippututkimukseen soveltuva aikasarja monikanavalaserkeilausaineistoja. (Uro ym. 2017). Monikanavakeilauksen käyttöä rajoittaa vielä kaupallisesti käytössä olevien keilaimien puute.

Kuva 6. Yksikanavalaserkeilaus (vas.) tuottaa kohteesta riippumatta tietoa vain harmaan aallonpituusalueella. Monikanavalaserkeilaus (oik.) soveltuu kohteiden tunnistamisen ja tarkempaan analyysiin. (Kuva: Uro ym. 2017).

Ilmalaserkeilauksen menetelmät ovat murroksessa, sillä siirryttäessä monikanavakuvantamiseen parannetaan huomattavasti aineiston laatua ja tulkittavuutta, sekä lisätään aineiston käyttömahdollisuuksia. Yksikanavakeilauksessa kohteiden väriarvot on tulkittu valokuvista, joiden laatu riippuu kuvanottohetken valaistusolosuhteista. Monikanavakeilaus mahdollistaa perinteiseen laserkeilaukseen nähden kohteiden tarkemman tunnistamisen riippumatta vuorokaudenajasta. Monikanavakeilauksen käyttömahdollisuudet ovat laajat, ja menetelmä soveltuisi hyvin väyläinfrastruktuurin ylläpidon tueksi. (Uro ym. 2017).

Laserkeilaus soveltuu tien muuttumattomien ominaisuuksien kartoitukseen. Sen sijaan teiden kunnon seurantaan pitkin aikavälein tehtävä kampanjaluontoinen laserkeilaus soveltuu huonommin. Lisäksi maastotietokannan ylläpito ja kartta-aineistojen tuottaminen vaativat runsaasti manuaalista työtä. Ratkaisuna monikanavalaserkeilauksen ja tuotetun tiedon automaattitulkinnan laajamittainen käyttöönotto mahdollistaisi korkean ajallisen resoluution ja suuremman resurssitehokkuuden (Uro ym. 2017).

Tutkimusvaiheessa oleva single photon -keilaustekniikka sallii suuremman lentokorkeuden (kasvanut keilausnopeus) ja säästää siten kustannuksia. Toisaalta menetelmässä datan filtteröintitarve kasvaa. (Paikkatietoalusta 2018b). Samalla kun uusien tekniikoiden käyttöönottoa edistetään, keksitään perinteiselle laserkeilaukselle uusia käyttökohteita, ja aineiston laatua sekä

ajantasaisuutta parannetaan jatkuvasti. Tulevaisuudessa tiedon ajantasaisuuden parantuessa 3D-karttoja voidaan aikaulottuvuuden kanssa yhdistämällä muuttaa 4D-kartoiksi. (Uro ym. 2017).

Arbonaut Oy:n ja metsäsektorin yhteishankkeessa hyödynnetään mm. laserkeilauksella koottua paikkatietoa yksityisteiden kuljetuskelpoisuusmallin laatimiseksi. Mallia on kuvattu tarkemmin luvussa Maaperä-, vesistö- ja korkeusmallit.

3.5 Droonikuvaus ja -keilaus

Miehittämättömistä ilma-aluksista käytetään useita eri nimityksiä riippuen niiden ominaisuuksista ja käyttötarkoituksesta. Drooni (drone) on kansanomainen ilmaisu kaikille miehittämättömille laitteille maalla, merellä ja ilmassa. Esimerkiksi kaukokartoitukseen soveltuvasta kauko-ohjatusta ilma-aluksesta, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta ja käytetään lentotyöhön, käytetään lyhennettä RPA (Remotely Piloted Aircraft). Erilaisia kauko-ohjattavia lentäviä laitteita hyödyntävää mittausmenetelmää voidaan yleisesti kutsua droonikuvaukseksi (kuva 7).

Kuva 7. Ropeliperusteiset multikopterit ovat droonikuvauksessa suosittuja laitteita. Kuvassa K3 Ilmakuvauksen kalustoa. (Kuva: Olli-Pekka Mahrberg).

Droonikuvaus on lupaava kaukokartoitusmenetelmä yksittäisten alueiden tarvekohtaiseen kuvaukseen ja mittaukseen. Droonit ovat eduksi rajatuissa tehtävissä, jolloin laitteisto voidaan optimoida tarpeiden mukaan. Esimerkiksi erilaisten hankkeiden ja projektien tiedonhankinnassa droonikuvaus on erinomainen vaihtoehto. Menetelmällä saadaan tuotettua nopeasti tilannekuvaa äkillisten muutosten tapahtuessa. Mielenkiinnon kohteena voi olla esimerkiksi liikenneonnettomuustilanteen tai tulvan seuraaminen, tai muun häiriötilanteen havainnointi, sekä tiedon välittäminen. Erilaisten toimenpiteiden, kuten tienrakentamisen, laadunvalvontatietoa saadaan droonikuvauksella tuotettua viiveettä.

Droonit voidaan luokitella rakenteensa mukaan kiinteäsiipisiin lentokonemalleihin ja ropelipohjaisiin koptereihin. Droonien kantavuus, lisävarusteet sekä tekniset ominaisuudet vaihtelevat valmistajan ja hintaluokan mukaan. Laitekohtaisia eroja ovat myös esimerkiksi lentoaika ja alttius sääolosuhteille. Droonien käytön huonoina puolina ovat rajoitukset lentoajan, laitteen tallennustilan ja käytettävissä olevien mittalaitteiden valikoiman suhteen. Lisäksi droonin käyttö vaatii ammattitaitoa. (Tervo 2017).

Ilmatilassa tapahtuvaa toimintaa on rajoitettu myös lainsäädännöllisesti[24]. Drooneja koskevat määräykset asettaa Traficom (aiemmin Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi). Kuvauksen aikana droonin on pysyttävä näköpiirissä ja kuvauksen maksimilentokorkeus on 150 metriä maan tai veden pinnasta. Lisäksi droonien käyttöä koskevat erityiset lentokieltoalueet. (Liikenteen turvallisuusvirasto 2018).

Droonin kantavuus on rajallinen, mutta se voidaan silti varustaa useantyyppisillä yksittäisillä mittalaitteilla. Droonikuvausta voidaan hyödyntää normaaliin kaukokartoitukseen keilainyksikköä tai digitaalikameraa käyttämällä. Merkittävänä erona perinteisiin kaukokartoitusmenetelmiin on se, että droonia voidaan käyttää myös video- ja still-kuvaukseen. Lisäksi 3D-kuvien tuottaminen on mahdollista sekä yhdellä että kahdella kameralla. Drooni on joustava käyttää, ja se soveltuu alustavien kokeilujen mukaan myös 360-kuvaukseen. Laitteeseen asennettava erityismittalaite voi olla esimerkiksi lämpökamera. (Tervo 2017).

Esimerkiksi RS ilmakuvauksen (2018) mukaan droonilla suoritettava kartoituslento alueen yli tehdään 20–100 m:n korkeudella. Kuvauksessa tuotetaan 12 megapikselin still-kuvia noin 50 kpl hehtaarille. Kuvista luotujen 3D-mallien tarkkuus tarkennuspisteillä on jopa +-2cm.

Droonien käyttö tienpidossa on vasta tutkimusvaiheessa, ja käytännön kokemuksia tarvitaan enemmän olemassa olevan tekniikan hyödyntämisestä. Droonilaitteen lennättämiselle asetettujen vaatimusten takia esimerkiksi lennättämisen automatisointi tulisi parantamaan droonikuvauksen käytön edellytyksiä. Tulevaisuudessa 360-kuvauksen odotetaan tulevan pysyväksi osaksi droonikuvausta (Tervo 2017). Droonikuvauksen potentiaali on varsinkin suunnitelmien visualisointityössä. Yhtenä mahdollisuutena on, että työmaat tai tutkimuskeskukset voisivat perustaa myös erillisen ns. drooni-tallin, jossa drooni on jatkuvassa lähtövalmiudessa. Lennot voivat tapahtua tallista joko ajastettuina tai etäohjauksella. Tällöin tarkastelun kohteena olevasta alueesta saataisiin erittäin kustannustehokkaasti ajantasaista tilannetietoa. (Tervo 2017). Metsäsektorin tarpeisiin esimerkiksi korjuukoneet voisivat toimia droonin tukikohtana. Ilmatieteen laitos (2018a) on testannut drooneja säädatan keräämiseen ja testaa parhaillaan myös automatisoitujen droonilentojen hyödyntämistä.

Suomen metsäkeskuksen, Tiedon ja Geotrimin yhteishankkeessa (Tieto 2018) selvitettiin droonien hyödyntämistä metsäteiden kuvaamisessa ja keilaamisessa sekä syntyvän aineiston hyödyntämistä metsäteiden perusparannuksen suunnittelussa sekä metsätiehankkeiden omavalvonnassa ja tarkistuksessa. Droonikeilaus tai -kuvaus soveltuu monen metsätietiedon keräämiseen, mutta ei yhtä laajasti kuin vertailukohteena ollut mobiilikartoitus. Varsinkaan droonikeilauksen pistepilvessä ei ole aina riittävästi informaatiota. Selvityksen mukaan droonit soveltuisivat mittaamiseen varsinkin pienissä metsätiekohteissa tai metsäsuunnittelun yhteydessä[25].

Suomessa droonikuvauspalveluja tuottavat useat perinteiseen kaukokartoitukseen keskittyneet yritykset. Alalle on tullut kuitenkin myös pienempiä toimijoita kuten Aeria, K3 ilmakuvaus, RC Ilmakuvaus ja RS Ilmakuvaus. Suomessa on jopa noin 1 500 droonipalveluja tuottavaa elinkeinonharjoittajaa (Kähkönen 2017).

Droonikuvauksen heikkoutena on sen operatiivista käyttöä rajoittavat lainsäädännölliset tekijät. Suuri droonien käyttöä helpottava tekijä olisi lentosäteen kasvattaminen näköyhteyden ulkopuolelle. Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva toiminta vaatii erillisen ilmatilavarauksen. Lentotoiminnan ilmoittamisesta on sovittava erikseen Traficomin kanssa (Liikenteen turvallisuusvirasto 2016).

EU-tasolla droonien käyttöä käsitellään mm. Euroopan komission asettamassa SESAR-työryhmässä. SESARin U-Space -hanke (SESAR 2018) droonien liikenteenohjausjärjestelmistä

[24] Ilmailulaki: https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140864
[25] Metsä Group on aloittanut droonien käytön metsäsuunnitelmien laatimisessa (Lukkari 2018)

pyrkii helpottamaan näköyhteyden ulkopuolisten lentojen eli BVLOS-lentojen (Beyond Visual Line of Sight) toteuttamista. Drooneille yhteisen ilmatilan luominen edellyttää laitteiden rekisteröintiä ja sähköistä tunnistusta sekä lentoalueen rajaamiseen käytettävää geofencing-tekniikkaa (Kähkönen 2017).

3.6 Ajoneuvomittaus (mobiili mittaus)

Ajoneuvomittauksessa mielenkiinnon kohde on ollut erityisesti tien kantavuuden määrittäminen. Ajon aikaisissa kantavuusmittauksissa käytetään esimerkiksi painopudotus- tai levykuormituslaitteita (Kaakkurivaara & Uusitalo 2011). Menetelmissä ajoneuvoon tai perävaunuun asennetaan mittalaite, joka mittaa tien dynaamista kuormitusta (kuva 8).

Kuva 8. Kuab-pudotuspainolaitteen avulla voidaan määritellä tien pinnan kimmoinen taipuma (Kaakkurivaara & Uusitalo 2011). (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2009).

Mekaanisten mittalaitteiden rinnalle on kehittynyt joukko sähkömagnetismiin perustuvia mittausmenetelmiä, joita pystytään käyttämään tien ja tiepohjan tutkimiseen. Menetelmissä yhdistetään tien pinnasta ja maan pinnan alapuolelta saatavia tietoja, joiden avulla määritetään tien kuntoa kuvaavia mekaanisia parametreja. Tärkeitä mitattavia tien geometrisia tietoja ovat varsinkin painuma ja pituuskaltevuus. Sähkömagneettisilla mittauksilla voidaan tehdä ongelmakohtien tarkka paikannus ja vaurioiden dimensioiden mittaus sekä löytää vaurioiden syyt, tukea uusien kunnossapitoratkaisujen kehitystä ja hallita tienpitokustannuksia. (Leino 2017).

Tutkakuvaus on hyvä menetelmä, kun halutaan saada tietoa maan pinnan alapuolelta. Maatutka laskee radioaaltojen avulla tien kuntoon liittyviä tietoja. Tutkakuvauksella kerätään tietoa maaperän hydraulisista ominaisuuksista ja tunnistetaan tien kosteuspaikat (Leino 2017). Maatutkan avulla voidaan erotella tien eri kerroksia, joista pystytään muodostamaan tien pystysuuntainen profiili (Rantanen ym. 2007). Kuitenkaan tierungossa olevia taipumia maatutka ei pysty laskemaan (Leino 2017). Maatutka erottelee parhaiten hiekkaa karkeampia maalajeja (Paalijärvi 2009). Hienoaineksisissa maalajeissa ongelmana on tutka-aallon nopea heikentyminen (Paalijärvi 2009). Käytetty aallonpituus on aina kompromissi tien pinnasta ja syvemmältä tieprofiilista saatavien tietojen välillä. Lyhytaaltoisella tutkakuvauksella voidaan tunnistaa tien päällysmateriaali tarkemmin, kun taas pitkäaaltoinen signaali tunkeutuu syvemmälle maahan. RSAD-tutka (Radar Surface Arrival Detection) soveltuu parhaiten tierungon raekokojakauman ja vedenjohtavuuskyvyn havainnointiin. Näistä muuttujista voidaan edelleen tehdä tien kantavuusluokittelua.

Lämpökamerateknikka soveltuu tien rakenteessa olevien halkeamien tunnistamiseen ja mittaamiseen. Lämpökameran erottelukyky ulottuu jopa 40–50 mm:n syvyyteen ja paljastaa siten syvemmällä olevat halkeamat (Leino 2017). Lämpökameran käytössä on huomioitava, että auringon säteily vaikuttaa mittaustulokseen. Siksi on suositeltua, että laitteistoa käytetään yöaikaan syksyisin ja keväisin, jolloin maan lämpötilaerot ovat merkittäviä päivän ja yön välillä. Lämpökameralaitteiston erottelukyky on jopa 0,05 ºC liikkuvasta ajoneuvosta. (Roadscanners Oy 2018).

Mobiililaserkeilausta voidaan käyttää tien geometrian määrittämiseen. Mobiilikeilauksessa tien pinnan muodot piirtyvät noin 20 metrin leveydeltä. Laserkeilaamalla tuotetusta aineistosta voidaan muodostaa malli myös tien urista ja kokonaispainaumasta. Laserkeilausdata soveltuu sorateillä pinnan karheuden, kuivatustilanteen, pölyherkkyyden ja tiiviyden mittaukseen. Laserkeilauksella on mahdollista kartoittaa myös siltojen vaurioita. (Leino 2017, Roadscanners Oy 2018).

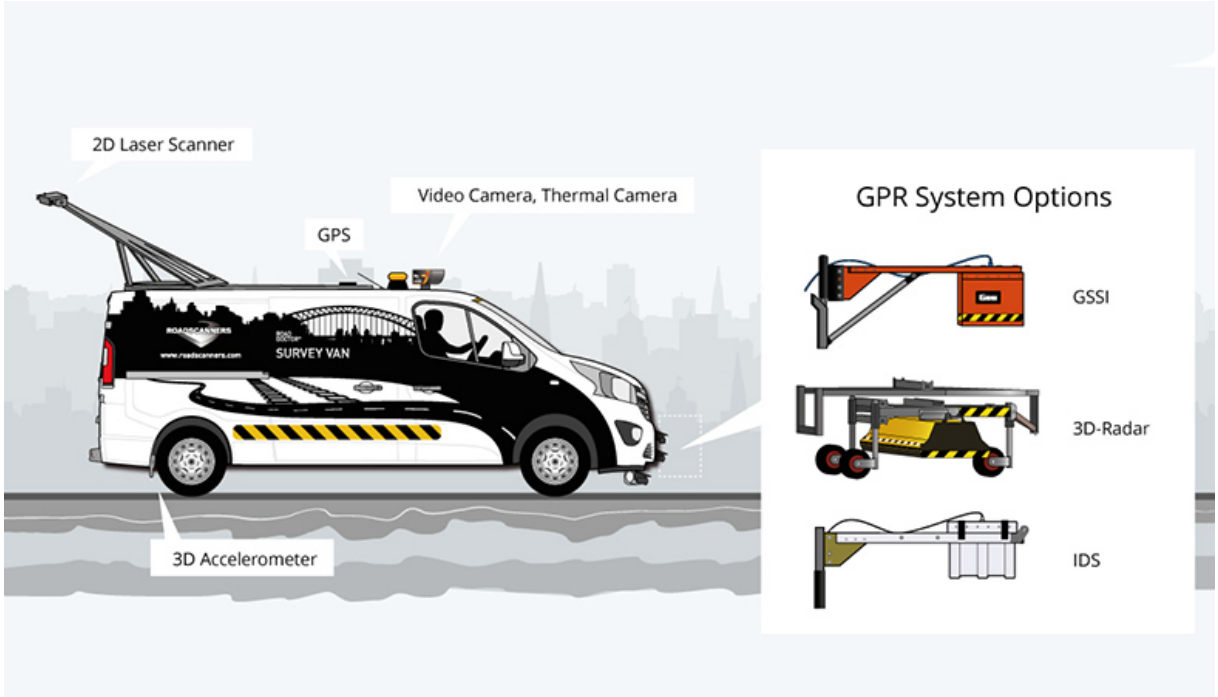
Liikennevirasto (Leinonen ym. 2015) toteutti pilottihankkeen ajoneuvolaserkeilauksen käytöstä tien painuman mittauksessa. Tutkimuksessa laserkeilausaineistosta tuotettuja 3D-malleja verrattiin tarkkavaaittuihin mittapisteisiin. Pilotin mukaan menetelmä soveltuu hyvin pituuskaltevuuden määritykseen, ja painumamittaus vaikuttaa lupaavalta.

Tien rakenteen mittauksen lisäksi ajoneuvomittausta voidaan käyttää tienvarsien kartoitukseen. Mitattavia tunnuksia ovat mm. kohteen tunnistaminen sekä tieto kohteen ominaisuuksista ja sijainnista (Landa & Prochazka 2014). Video- ja kuvadataa kerätään ajoneuvoon asennettavilla kameralaitteilla. Optista kuvamateriaalia voidaan käyttää joko automaattiseen kuvatulkintaan tai havaintomateriaalin keräämiseen myöhempää tarkastelua varten. Skannaamalla tienvarsipuita voidaan tunnistaa mm. riskipuita, jotka sijaitsevat liian lähellä ajoväylää (Landa ja Prochazka 2014). Riskipuut voivat haitata näkyvyyttä tai kaatuessaan tukkia tien. Optisella kuvauksella voidaan kerätä tietoa myös risteysten näkemäalueista, inventoida liikennemerkkejä ja tallentaa eri liikennetilanteiden olosuhdetietoja. Muiden kuin ammattikameroiden käyttöä ajoneuvoissa on käsitelty luvussa Ajoneuvojen kuva- ja anturidata.

Tien pinnan liukkauden mittaamiseen voidaan käyttää jarrutuskitkamittareita tai optisia kitkamittareita. Jarrutuskitkamittareita, jotka perustuvat ajoneuvon hidastuvuuden mittaukseen, käytetään talvihoidon laatuvaatimusten seurantaan. Auton vetokoukkuun tai kattotelineelle asennettavat optiset kitkamittarit analysoivat puolestaan tien pinnasta heijastuvaa valoa, mikä perusteella liukkaus määritetään. Optisten mittareiden etuna on mittaustoimenpiteen vaivattomuus. Varsinaisten kitkamittarien ongelmana on niiden korkea hankintahinta (optinen kitkamittari 6 000–10 000 €, jarrutuskitkamittari 600–1 000 €). Ajoneuvodataa hyödyntävän liukkaudentunnistuksen avulla päästäisiin mataliin henkilö-, huolto, ja laitekustannuksiin. (Malmivuo 2016).

Ajoneuvomittauksessa voidaan hyödyntää myös tietoa ajoneuvosta ja siihen vaikuttavista voimista. Yksi tällainen tiedonkeruutapa on kiihtyvyysanturin käyttö. Menetelmässä mittausauton taka-akselin alla oleva kiihtyvyysanturi mittaa tien pinnan epätasaisuuksia pituus- ja leveyssuunnassa ja löytää urat, kuopat ja painumat (Leino 2017). Kiihtyvyysantureiden käyttöä osana kelirikkovaurioiden tunnistusta on tutkittu esimerkiksi Liikenneviraston johtamassa BiFi-pilottiprojektissa (Nevalainen 2016).

Mobiilikartoitukseen on olemassa useita eri kaupallisia toimijoita. Suomalaisia palveluntuottajia ovat esimerkiksi Geotrim Oy, Roadscanners Oy ja West Coast Road Masters Oy. Muun muassa Roadscanners tarjoaa asiakkailleen mobiilikartoituspalveluiden lisäksi myös ajoneuvojen varustelupalveluita (kuva 9).



Kuva 9. Road Doctor Survey Van -konseptissa mobiilikartoitusajoneuvo on mahdollista varustella monipuolisilla mittalaitteilla. Maatutkien (GPR) ulkomaisia valmistajia on useita vaihtoehtoja (GSSI, 3D-Radas ja IDS). (Kuva: Roadscanners Oy).

Oulun yliopisto (Pekkala 2018) ja Tampereen teknillinen yliopisto (Vuorimies ym. 2018) ovat tutkineet sorateiden tierasitusta koejärjestelyllä, jossa tielle kohdistuvaa raskasta liikennettä on lisätty vähitellen ja tierasitusta kuvaavia tunnuksia on kerätty ajokertojen välissä. Oulun yliopiston tutkimuksessa käytettiin Roadscannersin mobiilikartoitusajoneuvoa, johon asennetun maatutkan avulla määritettiin tien kosteusprofiili, ja laserkeilaimella selvitettiin puolestaan tien urautuminen. Maanpaineantureita käytettiin tierasituksen yhtenä mittausmenetelmänä. Lisäksi Tampereen teknillinen yliopisto toimitti tutkimukseen huokosvedenpaineantureita. Toistokokeiden mukaan painuman, pystysuuntaisen jännityksen jakaantumisen ja kosteusprofiilin sekä huokospaineen kehittymiseen vaikuttivat pohjamaa, tien rakenteiden materiaaliominaisuudet ja paksuudet, tien rakenteiden tiiviys, ympäristöolosuhteet (mm. rakenteiden kosteus), ajonopeus (rasitusaika), ylitysten välinen aika (palautumisaika) ja ajolinja. Ajolinjan vaikutus kokonaistierasitukseen tulee siitä, että takarenkaiden poikkeava kulkureitti verrattuna eturenkaisiin tasoittaa eturenkaiden luomia uria.

Mobiilikartoitusdatan kerryttämiseen on olemassa myös helppokäyttöisiä ja varsinaisia mobiilikartoituslaitteita kevyempiä ratkaisuja. Esimerkiksi Trimble MX7 -mobiilikartoitusjärjestelmä koostuu yhdestä tai useammasta laserkeilaimesta, paikannus- ja inertiajärjestelmästä sekä kamerayksiköistä. Järjestelmässä laserkeilauksen tuottaman aineiston tukena käytetään kameroiden RGB-arvoja. Järjestelmä sisältää IMU-yksikön, joka mittaa kameran kallistukset kuvanottohetkellä. Sijaintitarkkojen panoraamakuvien yhteensovittaminen mahdollistaa fotogrammetriset mittaukset aineistosta. Trimble Oy:n tuotevalikoimaan kuuluu MX-ohjelmisto, joka ohjaa kuvamateriaalilta tehtävää mittausta. Trimble Oy tarjoaa myös selainpohjaisen palvelun, jonka kautta eri osapuolet voivat hallinnoida järjestelmän keräämää dataa. (Salo 2017).

Metsäkeskuksen, Tiedon ja Geotrimin yhteishankkeessa (Tieto 2018) selvitettiin mobiilikartoituksen mahdollisuuksista metsätien perusparannuksen suunnittelussa, metsätiehankkeiden omavalvonnassa ja metsätiehankkeiden tarkastuksissa. Pilotti toteutettiin Trimble MX8-mobiilikartoitusjärjestelmällä. Pilotin tulosten mukaan mobiilikartoitusta voidaan hyödyntää monien metsätietietojen riittävän tarkkaan keräämiseen omavalvontaa, tarkastuksia ja perusparannuksen suunnittelua varten. Puutteita oli lähinnä rumpujen ja siltojen koon sekä suodatinkankaan

määrän mittaamisessa. Mobiilimittauksen hyödyntämisessä on kuitenkin kehitettävää. Esimerkiksi syntyvän digitalisen aineiston esitulkintaan ei ole vielä tarjolla sovelluksia. Menetelmä on myös hidas ja kallis kovin laajan metsätieverkon kartoituksen. Hankekohtaisen tarkastuskustannuksen arvioidaan olevan 900 euroa ja sen arvioidaan laskevan 370 euroon, mikäli automatisoitu aineiston esitulkinta on käytettävissä.

Olemassa olevan tekniikan perusteella voidaan sanoa, että mobiilikartoituksella on suuri potentiaali tiestötiedon keruussa. Yksi mobiilikartoituksen laajamittaisen käyttöönoton haaste saattaa olla kaluston suuri alkuinvestointi ja tekniikan vaatima osaamistaso.

3.7 Kannettavat mittauslaitteet

Tien kuntoa voidaan kartoittaa myös kannettavien mittalaitteiden avulla. Kannettavat mittalaitteet ovat vaihtoehto ajoneuvokäyttöisille levykuormitus- ja pudotuspainolaitteille. Kannettavien mittalaitteiden etuina ovat mm. niiden keveys, laitteen halpa hankintahinta ja mittausprosessin nopea toteuttaminen. Kannettavia mittalaitteita käytetään pääsääntöisesti tien kantavuuden määrittämiseen. Kantavuusmittausten avulla voidaan tunnistaa heikosti kantavat tieosuudet, ja siten välttää kantavien kohtien turha korjaaminen. Nykyisin käytössä olevia kannettavia mittalaitteita ovat pudotuspainolaitteet ja penetrometrit. Laitetyypeistä levykuormituslaite mittaa staattista rasitusta, toisin kuin pudotuspainolaitteet. (Kaakkurivaara & Uusitalo 2011).

Yksi esimerkki pudotuspainolaitteista on Loadman (kuva 10), joka mittaa dynaamista rasitusta eli jäljittelee ajoneuvon aiheuttamaa hetkellistä kuormitusta mittalevyn taipuman avulla. Loadmanin haittapuolena on se, että laite vaatii käyttäjältä tarkkuutta. Dynamic Cone Penetrometer (DCP) perustuu puolestaan teräväkärkisen terästangon uppoaman mittaukseen, kun terästankoon kohdistetaan voimaa pudotettavan painon avulla. Terästankoa isketään painolla, kunnes laite on saavuttanut maksimisyvyytensä. Terästangon keskimääräisestä tunkeumasta (mm/isku) johdetaan tien kantavuutta kuvaava CBR-prosenttiluku[26] (California Bearing Ratio). Mittalaitteista DCP mittaa maan lujuutta tien eri kerroksista, kun taas Loadmanin mittaustulos painottaa tien pintarakenteen kestävyyttä. (Kaakkurivaara & Uusitalo 2011).

[26] CBR-prosenttiluku on maahan tunkeutumiseen tarvittavien voimien suhde mittauskohteen ja standardimateriaalin välillä (Jones 2017).

Kuva 10. Loadman on kevyt kantavuuden mittaukseen käytetty kannettava pudotuspainolaite (Kuva: Metsäteho Oy).

Luonnonvarakeskuksen ja Tampereen teknillisen yliopiston tutkimuksen mukaan käsikäyttöiset pudotuslaitteet antavat luotettavia tuloksia metsäteiden kantavuudesta (Luonnonvarakeskus 2015). Samassa tutkimuksessa laadittiin mittaustuloksille luokitus, jonka avulla voidaan määrittää liikenteestä aiheutuva tien vaurioitumisen aste.

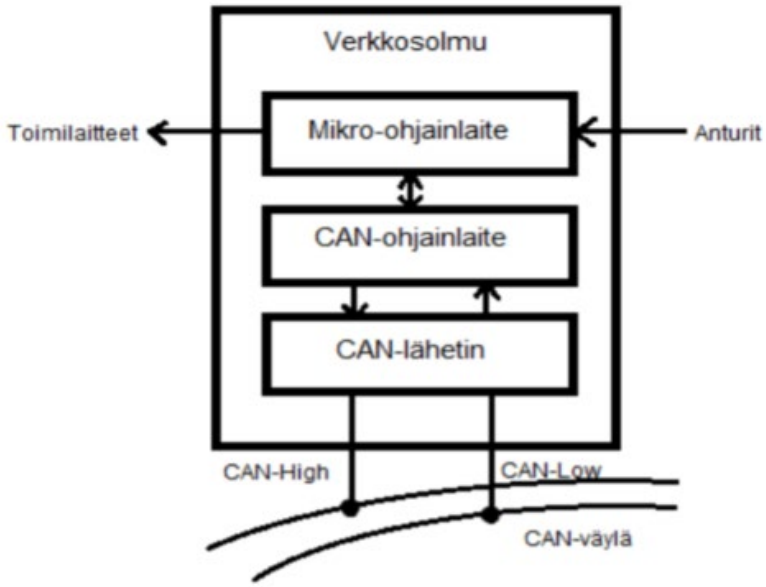
Yksi potentiaalinen menetelmä metsäteiden kartoituksessa on sähköinen vastusluotaus. Menetelmässä maahan asetetaan mittauselektrodeja tasaisin välimatkoin. Mittaamalla kahden elektrodin välinen potentiaaliero saadaan selville maaperän sähköinen vastus, josta voidaan johtaa maaperän kosteus. Menetelmä sopii juuri kosteiden maaperien, kuten savikoiden mittaukseen. (Törnqvist ym. 2001). Vastusluotauksen soveltuvuutta operatiiviseen tiestötiedon tuotantoon tulisi kartoittaa.

Kannettavien mittalaitteiden käyttöä tulisi laajentaa teiden riittävän kantavuuden varmistamiseksi. Mittalaitteiden tuomat edut ovat suhteessa tienrakennuskustannuksiin merkittävät. Mittauskustannus on vain noin 1 % tiehankkeen kokonaiskustannuksista. Laitteen hankintakustannus on noin 7 000–8 000 €. Tiestön kattavaan kantavuusmittaukseen menetelmä on kuitenkin liian hidas ja työvoimaa vaativa.

3.8 Ajoneuvotietokoneiden data

Ajoneuvotietokoneista saatavia tiestön kannalta kiinnostavia tietoja ovat esimerkiksi ajonopeus, jarrutukset, luistonesto- tai ajovakausjärjestelmän aktivoituminen, paikannus ja navigointi ja lämpötilanseuranta. Yleisesti ajoneuvotietokoneista kerättävää dataa on hyödynnetty polttoaineenkulutuksen seurannassa ja yritysten toiminnanohjausjärjestelmissä. (Alanen 2000).

Ajoneuvojen eri laitteiden keräämää ja vastaanottamaa dataa ohjaa CAN-väylätekniikka (Controller Area Network). Se on ohjausjärjestelmien reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon suunniteltu tiedonsiirtoväylä. Systeemissä jokainen komponentti on kytketty parikaapeliin, jossa kulkee koko ajoneuvon toimintaa ohjaava tietovirta. Jokainen väylän solmu eli laite tulkitsee väylässä kulkevan tietovirran oman mikroprosessoriohjaimen avulla (kuva 11). CAN-väylän avulla mm. ABS-jarruyksikkö, moottorinohjaus, moottorin ja ABS:n yhteistoiminta (luistonesto), jousitus, vaihteisto ym. saavat tietoa muilta ohjausyksiköiltä ja antureilta. (Alanen 2000).



Kuva 11. CAN-väyläsysteemin toimintaperiaate. (Kuva: Hyyrynen 2006).

Tiedon keräämiseen väylältä tarvitaan tiedonkeruulaite eli ns. loggeri, joka kytketään väylään tallentamaan antureilta saatua tietoa. Tiedonkeruulaite ts. ajotietokone vastaanottaa anturilta mitattavan fysikaalisen suureen ko. arvoa vastaavana jännitteenä, joka muutetaan tallennettavaksi laitteen muistiin binäärimuodossa. Tiedot kerätään väylässä kulkevien viestien yksilöivien tunnisteiden perusteella. Tiedon tallennuspaikkana on laitteen muistikortti. (Hyyrynen 2006).

Mahdollisia tiedonsiirtomenetelmiä ajoneuvon ulkopuolelle ovat jatkuva-aikainen GSM-yhteydenpito tai esimerkiksi varikolla tapahtuva tiedonsiirto hyödyntäen paikallista langatonta verkkoa. Tietokoneelta ajoneuvon keräämä ajotieto voidaan vastaavasti lähettää eteenpäin esimerkiksi pilvipalveluun. (Hyyrynen 2006).

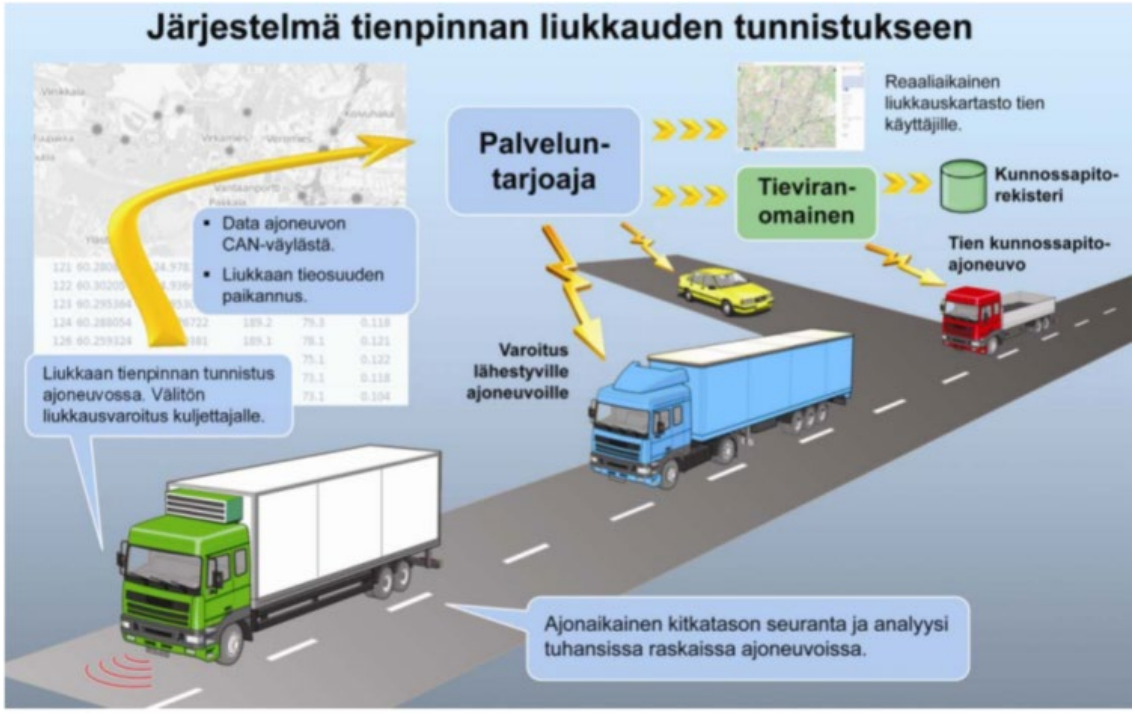
Tiedonkeruuseen tarkoitettuja laitteiden valmistajia ja ratkaisuja on paljon, mutta niiden ominaisuuksissa on eroja. Tuotteita on saatavilla sekä manuaalisella että langattomalla tiedonsiirrolla. Myös tulosten analysointiin on olemassa valmiita ratkaisuja.

Kuorma-autojen valmistajat tarjoavat nykyisin omia sovelluksiaan ajotietokoneiden tiedon hyödyntämiseen. Valmistajat tarjoavat asiakkailleen internetkäyttöliittymän avulla esimerkiksi aika- ja paikkasidonnaista tietoa ajoneuvon nopeudesta, polttoainetilanteesta ja matkamittarilukemasta.

Yleisesti käytetty SAE J1939-protokollaan[27] perustuva ja standardoitu ajotapatietojen keräämiseen tarkoitettu liittymä on FMS (Fleet Management System Interface). Kuorma-autoissa digipiirturidatan yhdistäminen ajotietoon mahdollistaa esimerkiksi kuljettajakohtaisen vaihtelun huomioimisen osana tiedonkeruuta. Suomalaisia ajoneuvotietokoneteknologiaan keskittyneitä yrityksiä ovat esimerkiksi ABAX Finland Oy (Trip Log) ja Paetronics Oy (Canverter ja Econen).

CAN-väylän tietovirrasta kerättyä dataa voidaan yhdistää vallitseviin tieolosuhteisiin. Ajoseurantatiedon avulla saadaan tietoa ajoneuvon nopeudesta, käytetystä moottoritehosta ja ABS-jarrujen käyttäytymisestä. Esimerkiksi ajoneuvon ABS-signaali voidaan yhdistää tien liukkauteen ja vaaranpaikkoihin. Moottorin hetkellistä kierroslukua ja tehoa voidaan niin ikään käyttää liukkauden määrityksessä. Peruutusvaihteen kytkentätietoa voidaan käyttää tukena esimerkiksi kääntöpaikkojen tunnistuksessa. Ajoneuvon nopeutta (verrattaessa nopeusrajoitukseen) pystytään hyödyntämään kartoittaessa tien ja siltojen kuntoa, sekä arvioidessa mahdollisia ajo-esteitä, kuten näkyvyydeltään heikkoja tieosuuksia, risteysalueita ym.

Esimerkiksi VTT on kehittänyt ajoneuvotietokonedataan perustuvan Grip-menetelmän (kuva 12), joka soveltuu tienpinnan kitkan arviointiin. VTT on solminut EEE Innovations Oy:n kanssa Grip-menetelmästä optiosopimuksen. EEE Innovations Oy tarjoaa menetelmään perustuvan eGrip-ohjelmiston[28]. EGrip-ohjelmiston avulla voidaan muodostaa kattavaa liukkaustietoa esimerkiksi talvikunnossapidon tarpeisiin. Ohjelmisto on avoimesti ladattavissa betaversiona.



Kuva 12. VTT:n kehittämän Grip-menetelmän toimintaperiaate. (Kuva: Malmivuo 2016).

Grip-menetelmän toimivuutta on tutkittu yhteistyössä mm. Väyläviraston (Malmivuo 2016) toimesta. Grip-menetelmässä lasketaan liukkautta kuvaava luistosuhdeluku ajoneuvotietokonedatasta saatuvan vapaana pyörivien ja vetävien renkaiden pyörimiseron ja käytetyn moottoritehon avulla. Luistosuhdeluvun on todettu soveltuvan karkeaan liukkauden arviointiin (esim. talvihoidon palvelutason seuranta). Menetelmän laitteistokustannukset ovat noin 400 €, liukkaudentunnistuksen palvelumaksu 20 €/kk ja datayhteys operaattorista riippuen. Palveluna Grip-menetelmän kustannukseksi on alustavasti arvioitu 35 €/kk + datayhteysmaksu.

[27] SAE J1939 on Society of Automotive Engineers:in (SAE) määrittelemä standardi.
[28] EEE Innovationsin eGrip-ohjelmistosta: http://www.e3inno.com/tuotteet.html#egrip.

Paikkatieto on oleellinen osa ajoneuvotietokoneiden datan käytettävyyttä. Reaaliaikaisen paikannuksen avulla pystytään ajokäyttäytyminen yhdistämään esimerkiksi korjausta vaativiin tieosuuksiin. Ajoneuvon GPS-paikannusta voidaan käyttää tunnistamaan myös kääntöpaikkojen, varastopaikkojen, levähdyspaikkojen ym. sijainteja. Ajoneuvopaikannuksen entistä parempaa käytettävyyttä varten Liikenne- ja viestintäministeriö (2017b) on ollut toteuttamassa satelliittinavigoinnin toimenpideohjelmaa, jossa selvitetään satelliittinavigointijärjestelmien hyödyntämistä varsinkin automaattiliikenteessä. Satelliittinavigointi edellyttää satelliittipaikannuksen lisäksi tarkkaa aikatietoa.

Ajoneuvojen väliset kommunikaatiojärjestelmät (vehicle-to-vehicle communication) voivat avata uusia näkymiä ajoneuvotietokoneiden ja mobiililaitteiden datan hyödyntämiseen. Kommunikaatiojärjestelmissä ajoneuvot voivat olla yhteydessä eri tietojärjestelmiin tai toisiinsa. Kommunikaatiojärjestelmät voivat käyttää tiedonsiirrossa lähiverkkomenetelmiä ja matkapuhelinverkkoa. Ajoneuvotiedon jakaminen on kustannustehokas tapa uuden paikallisen tiedon tuottamiseen, mutta yksityisyydensuoja on otettava toiminnassa huomioon. VTT Oy:n (2012) mukaan ajoneuvojen ja tieverkoston järjestelmien välinen kommunikaatio tulee olemaan osa päivittäistä elämäämme vuoteen 2030 mennessä. Lähitulevaisuudessa ajoneuvojen odotetaan olevan vuorovaikutuksessa sekä toistensa että ympäröivän maailman kanssa.

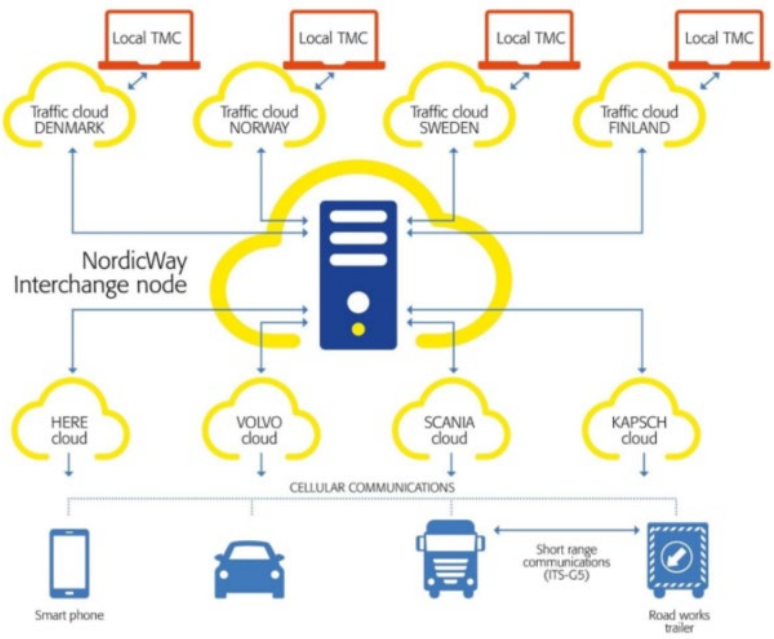
Kommunikaatiojärjestelmien yleistymiseen liittyvät tietosuojariskit on otettu huomioon Liikenne- ja viestintäministeriön teettämässä selvityksessä sähköisen viestinnän suojaus- ja salausmenetelmistä[29]. Selvityksen keskeisiä tutkimusongelmia on luottamuksellisuuden ja tiedon eheyden säilyminen viestiketjussa.

VTT Oy, Mobisoft Oy ja Ilmatieteen laitos yhteistyökumppaneineen ovat kehittäneet kommunikaatiojärjestelmän, joka on tarkoitettu lähinnä ajantasaisen sää- ja keliolosuhdetiedon sekä liikennetapahtumatietojen jakamiseen kuljettajien kesken. Kyseinen kommunikaatiojärjestelmä oli vielä suhteellisen kallis, noin 1 000–5 000 €. (VTT Oy 2012). Kommunikaatiojärjestelmien kehittämistä on jatkettu vuonna 2015 päättyneessä Celtic Plus CoMoSeF-hankkeessa[30]. Hankkeessa luotiin mm. ajoneuvoihin yhteydessä oleva interaktiivinen tiesääasema, joka varoittaa autoilijoita vaarallisesta ajokelistä. Kommunikaatiojärjestelmien korkea hintataso on edelleen katsottu olevan yksi sovellusten käyttöönoton este (VTT Oy 2015).

Pohjoismainen NordicWay -hanke kehittää uusia menetelmiä tiestön olosuhde- ja häiriötilanteiden havainnointiin ja edistää automaattiliikennettä arktisissa olosuhteissa. Pääpaino hankkeessa on ajoneuvojen jakaman tiedon käyttö liikennevirtojen ohjaamiseen ja tieturvallisuuden edistämiseen. Tiedonkeruussa syntyvien viestien kansainvälistä yhteensopivuutta varmistetaan yhteistyöllä C-Roads Platformin kanssa. Aikaisemmassa NordicWay-hankkeen Suomen osiossa ajoneuvojen kuljettajat jakoivat tietoa liikenteen häiriöistä matkaviestiverkon kautta. Hankkeen tärkeimpänä tuloksena oli pilvipalvelukokonaisuuden ja verkostokonseptin luominen (kuva 13). Syksyllä 2018 käynnistyneessä Suomen NordicWay2 -hankkeessa jatketaan teiden olosuhde- ja häiriötietojen keräämistä hyödyntäen myös yksityistieverkolla kulkevia metsäsektorin ajoneuvoja. (Väylä 2019a)

[29] Tiedote Liikenne- ja viestintäministeriön teettämästä sähköisen viestinnän suojaus- ja salausmenetelmien selvityksestä: https://www.lvm.fi/-/salauksella-suuri-merkitys-sahkoisen-viestinnan-suojaamisessa-967899

[30] Lisätietoa CoMoSeF-hankkeesta: https://www.celticplus.eu/project-comosef/



Kuva 13. NordicWay-hankkeessa luotu pilvipalvelukokonaisuus ja verkostokonsepti (Kuva: Liikennevirasto).

Oulun yliopiston ajokokeiden (Liedes ym. 2018) pohjalta arvioitiin kuorma-autojen CAN-väylädatasta päällystetyn ja soratien kulkuvastusta. Kulkuvastuksia verrattiin vaakasuoralla tiellä ja ylämäessä sekä kantavuudeltaan hyvällä ja huonolla tiellä. Ajokokeiden pohjalta tien kantavuuden muutoksia voidaan havaita CAN-väylädatasta. Kantavuuden muutosten tarkempi arviointi vaatii kuitenkin lisätutkimusta.

3.9 Ajoneuvojen kuva- ja anturidata

Ajoneuvotietokoneilla kerättyyn dataan saadaan merkittävää lisäarvoa, mikäli ajoneuvoja varustellaan lisälaitteilla, kuten kameroilla ja antureilla. Ajoneuvoon voidaan asentaa kiinteästi erillinen kamera- tai anturilaitteisto, mutta tiedonkeruussa on mahdollista hyödyntää myös kuljettajan matkapuhelinta tai muuta mobiilia tiedonkeruulaitetta, joka voidaan varustaa esimerkiksi sisäisellä GPS-paikannuksella, kameralla sekä kiihtyvyys- ja kaltevuusantureilla. Tekemättä investointia sensoriteknologiaan, kuvadataa voitaisiin kerätä myös peruutuskameran videokameran avulla. Ajoneuvoilla kerättävä anturidata soveltuu hyvin pistemäisten kuntohavaintojen tekoon esimerkiksi tien heitoista, kuopista ja kivistä. Kuvadataa voidaan tulkita puolestaan konenäköalgoritmeilla ja tunnistaa siten automaattisesti tien eri ominaisuuksia. Konenäköohjelmat soveltuvat mm. tien leveyden, reunojen vesakoitumisen, liikennemerkkien kunnon, kivien, pölyisyyden, lumiolosuhteiden, tielle kertyneen jään, tulvavahinkojen ja jäisyyden havainnointiin. Anturidata yhdistettynä kuvadataan antaa hyvän kokonaisarvion paikallisista olosuhteista ja tarvittavista toimenpiteistä.

Metsäteho Oy testasi yhdessä Liikenneviraston ja Vionice Oy:n (nykyinen Vaisala Oyj) kanssa matkapuhelimiin perustuvaa automaattista tiestötiedon keruuta ja tiestön olosuhteiden ja kunnon ajantasaisen tilannekuvan esittämistä (Venäläinen ym. 2017). Tutkimuksessa puhelimet keräsivät sekä anturi- että videodataa, joita käsiteltiin sensori- ja konenäköanalyysilla. Mielenkiinnon kohteena kuvaustekniikoissa olivat tiestön keliolosuhteet (lumisuus, jäisyys, märkyys, lumi- ja vesisade), kelirikkotilanteet, tiestön yleiskunto ja heitot, sekä liikennemerkit (kuva 14). Pilottiprojektissa anturidatasta laskettiin yleisarvio tieverkon kunnosta 20 metrin välein. Hankkeen jatkopilotti on parhaillaan käynnissä. Samaa RoadAI-ratkaisua käyttäen Vaisala ja Posti ovat käynnistäneet kaupallisen yhteistyön katutiedon keräämisestä (Kailio 2018).

Kuva 14. Konenäön avulla voidaan tunnistaa esimerkiksi tien loskaisuus. Vasemmalla oikein luokiteltu kohde ja oikealla virheellisesti tulkittu "loskainen tie". (Kuva: Venäläinen ym. 2017).

Väylävirasto (Nevalainen 2016) on tutkinut myös sorateiden kantavuuden reaaliaikaista tiedonkeruuta (BiFi). Vuonna 2015 Liikenneviraston johtamassa pilotissa (mukana myös Posti, Semcon AB ja Klimator AB) tutkittiin ruotsalaisen Semconin kehittämää sorateiden kantavuutta mittaavan ja ennustavan järjestelmän toimivuutta Pirkanmaalla. Projektia laajennettiin myös pintakelirikon tunnistamiseen ja seurantaan tähtäävillä mittauksilla keväällä 2016. Projektissa käytettiin älypuhelimien kuvadataa tien epätasaisuuksien tunnistukseen ja erillisantureilla tai älypuhelinten omia kiihtyvyysantureita ajoneuvon kiihtyvyyden mittaamiseen. Tiedonkeruu toteutettiin Postin jakeluautoilla, konenäkö- ja kuvatunnistussovelluksista vastasivat Vionice Oy ja Demon Turvallisuus Oy, ajoseurantatietoa keräsi AC Sähköautot Oy, soratien kantavuuskartat laativat Semcon ja Klimator ja Trimble-konserniin kuuluva Fifth Element esitti Semconin tuottaman tiedon metsäkuljetuskalustolle LogForce-järjestelmän avulla. Pirkanmaalta saadut mittaustulokset ovat katsottavissa osoitteessa: http://bifi.se/MapGeo.aspx. Ongelmiksi menetelmässä nähtiin mm. kamerakuvauksen alttius valaistusolosuhteille ja tiepäällysteen tunnistusmekanismin puuttuminen. Luotu toimintajärjestelmä nähtiin kehityskelpoisena ja laitekustannusten alhaisuus suurena etuna. (Nevalainen 2016).

Keväällä 2018 käynnistyneessä Espoo Smart City -hankkeessa postiautot varustellaan mobiililaitteilla ja Vaisalan valmistamilla erillisantureilla. Postiautoilla kerätään tietoa esimerkiksi loskaisuudesta, ajourista aurausvalleista tai liikennemerkkien kunnosta. Hankkeessa käytetty Vaisalan järjestelmä perustuu tarkkoihin optisiin sensoreihin ja moderniin konenäköön. Hankkeen osakkaita ovat Espoon kaupunki, Uudenmaan Ely-keskus, VTT Oy ja Lähi-Tapiola. Aikaisempia urbaanin tieverkoston tiedonkeruuhankkeita ovat olleet esimerkiksi Helsingin kaupungin Reboot the City -hanke ja Postin omat hankkeet. (Karkimo 2018). Teconerin pilotissa raskaan liikenteen ajoneuvot keräävät kitka-anturidataa painottuen päätieverkolle. Anturidatan pohjalta on muodostettu ajantasainen tiesäätieto, joka on nähtävissä verkkosivulla https://roadweather.online/.

YIT & Tietomekka Oy (2017) ovat tutkineet 360-kuvauksen potentiaalia teiden kunnossapitotarpeen arvioinnissa. Pilotissa kameralaitteita oli asennettu työkoneisiin. Tulosten mukaan olemassa olevat kaupalliset pilvipalveluratkaisut tukevat testattua menetelmää ja palvelua voidaan käyttää normaalilla web-selaimella. Kameralaitteistolta odotetaan kuitenkin vielä toiminnallisuuksien lisääntymistä. Tämä nähtiin korjaantuvan kamerateknikan nopean kehityksen johdosta.

Jatkokehitystarpeena konenäön koulutuksessa on nähty esimerkiksi talvihoitoluokkien määrittäminen. Kameroita hyödyntävän menetelmän potentiaali on suuri varsinkin alemmalla tieverkolla,

josta sääasemaverkko puuttuu. Kuitenkin tiedontuotannon tulee olla erittäin kattavaa ollakseen operatiivisesti hyödyllistä. Lisäarvoa datalle saataisiin kuvatiedon yhdistämisellä esimerkiksi lämpötilatietoon ja muuhun CAN-väylätietoon. (Venäläinen ym. 2017).

Blom Kartta Oy tarjoaa niin ikään panoraamakuvaukseen perustuvia BlomSTREET -katunäkymäkuvia, joista voidaan tehdä automaattista kuvatulkintaa ja kuvamittauksia. Aineiston etuna on 360-näkymä ja kuvien soveltuvuus ammattikäyttöön. Toistaiseksi Blom Kartta Oy tarjoaa asiakkailleen ainoastaan kuvauspalvelua ja valmista kuvamateriaalia eikä kuvaustekniikkaa. (Blom Kartta Oy 2018b).

RoadCloud Oy kerää kaupallista tiestötietoa hyötyajoneuvoihin asennetuilla sensoreilla ja antureilla. Tietoa tuotetaan automaattiliikenteen edistämiseen sekä kunnossapidon ja liikenneseurannan tarpeisiin. Road Cloudin aineistosta on apua esimerkiksi talviaikaiseen jään- ja lumenpoistotarpeen seurantaan. (Tuononen ym. 2017, Partanen 2017, RoadCloud Oy 2018).

Ajoneuvoihin asennettavien anturien ja muiden mittalaitteiden käytön etuna on niiden skaalautuvuus. Mittaustietoa voidaan kerätä muun työn ohella ja tiedonkeruuseen soveltuvan kaluston määrä on suuri. Venäläisen ym. (2017) mukaan joukkoistettu tiestötiedonkeruu on toimiva ratkaisu ja mahdollinen ottaa käyttöön jo lähitulevaisuudessa.

3.10 Älyrenkaat

Renkaiden varustelu älykkäillä laitteilla voi tuoda ainutlaatuista lisätietoa metsätieverkoston hallintaan. Olemassa olevat teknologiat käsittävät tiedonkeruun rengaspaineista, renkaiden kulutuspinnan suuruudesta ja tieolosuhteista. Esimerkiksi Pirelli on kehittänyt Conesso-järjestelmän, joka lähettää tietoa renkaiden kuormituksesta, rengaspaineista ja kulumisesta matkapuhelinsovellukseen (Partanen 2017). Älyrenkaiden potentiaali yhtenä tiedonkeruumenetelmänä perustuu tien pintarakenteesta saataviin tunnuksiin. Älyrenkailla kerättävää tietoa voitaisiin välittää kommunikaatiojärjestelmien avulla muille tielläliikkujille ja tiedon avulla voisi ohjata kunnossapitotoimia.

Syksyllä 2017 Aalto-yliopistosta on valmistunut väitöstutkimus renkaan ja tien pinnan välisen kitkan mittaamisesta älyrenkaan avulla (Niskanen 2017). Tutkimuksen keskeisiä tavoitteita oli selvittää älyrenkaiden potentiaalia automaattiliikenteen edistämisessä. Automaattiliikenteessä älyrenkaisiin asennettavat kiihtyvyysanturit voisivat mitata renkaiden pitokykyä ja säädellä auton liikkeitä sen mukaan. Tutkimuksessa renkaiden sisäpinnalle asennettiin kiihtyvyysantureita, joiden tuottaman datan perusteella pääteltiin renkaan pitokyky. Esteenä kiihtyvyysmittauksen laajamittaiselle käyttöönotolle on anturidatan langattomien tiedonsiirtotapojen puuttuminen, sillä tuotantoautoissa auton vanteen läpi tehtävä johdotus ei ole mahdollista.

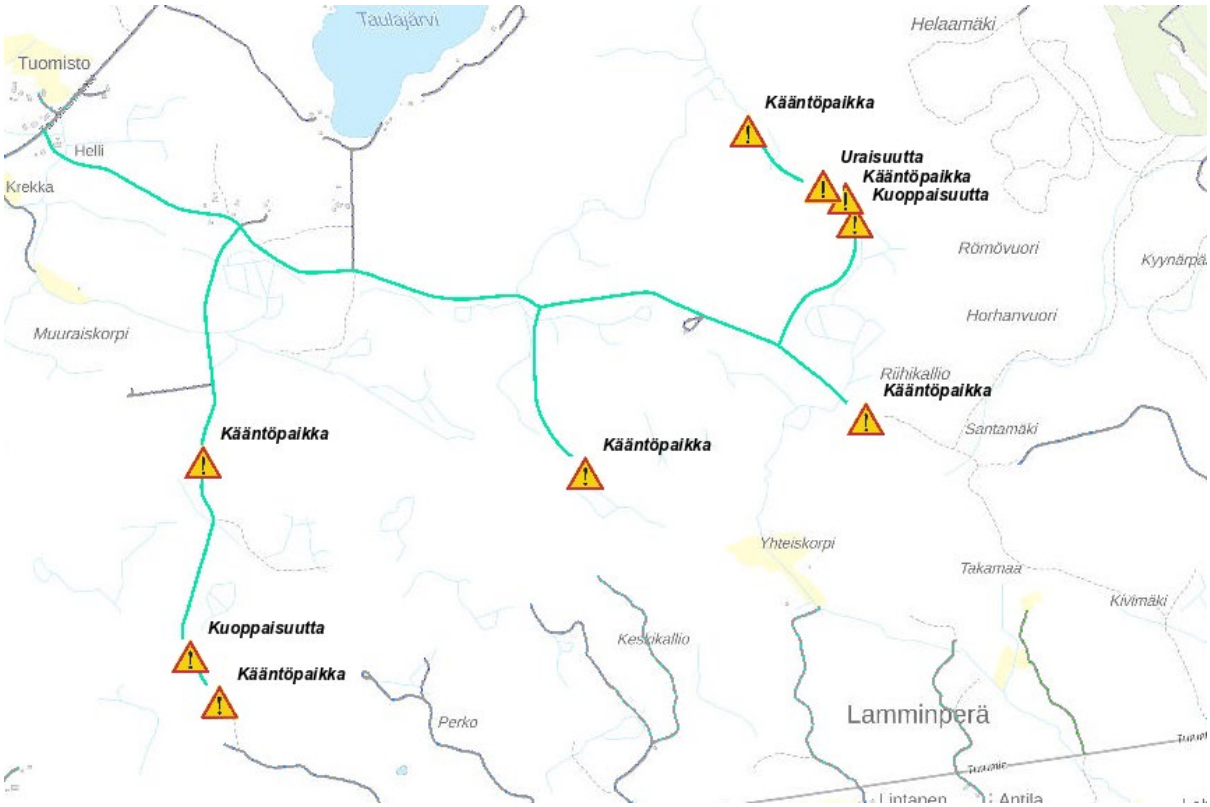
Vuosituhannen alussa myös Nokialla ja Nokian renkailla on ollut älyrenkaisiin liittyvä tutkimusprojekti (Seies & Yrjölä 2003). Tutkimuksessa selvitettiin renkaiden paineen ja lämpötilan reaaliaikaista Bluetooth-yhteyteen perustuvaa raportointijärjestelmää. Myöhemmin Bridgestone on jatkanut älyrengastutkimusta hyödyntäen samaa kiihtyvyysanturimenetelmää kuin RoadCloud (Tsantilas 2015). Bridgestonen mukaan teknologia pystyy erottelemaan seitsemän tienpintaluokitusta: kuiva, kostea, märkä, loskainen, tuore lumi, pakkautunut lumi ja jää. Yhtiö tähtää tiedon välityksen mahdollistamiseen myös takana ajavalle.

3.11 Tienkäyttäjien palautesovellukset

Automaattisen joukkoistetun tiedonkeruun lisäksi monissa piloteissa on kokeiltu sovelluksia, joilla tienkäyttäjät voivat antaa palautetta tien kunnosta. Väylävirasto otti syksyllä 2018 käyttöön Palauteväylän[31], jonka kautta liikkujat voivat antaa palautetta liikenneverkon kaikista osista.

[31] https://liikenne.palautevayla.fi/

Suomen metsäkeskuksen ja RoadsML:n hankkeessa on toteutettu Metsään Tie -mobiilisovellus, jolla metsäteillä liikkujat voivat antaa tien kuntoon liittyviä huomioita (esim. ajoa haittaavat tekijät, esteet ja kääntöpaikat). Syntynyt tieto esitetään Metsäkeskuksen metsätietiedon karttapalvelussa[32] (ks. kuva 15).



Kuva 15. Esimerkkejä Metsään Tie -sovelluksella ilmoitetuista havainnoista Metsäkeskuksen metsätietiedon karttapalveluun.

Tietorahti Oy:n[33] sovelluksen avulla raskaan liikenteen kuljettajia pyydetään informoimaan korkeusrajoituksista, joista ei ole tietoa esim. Digiroadia. Luvussa 3.9 kuvatussa RoadAI-pilotissa hyödynnetään matkapuhelimien lisäksi esim. ohjauspyörään kiinnitettäviä langattomia nappeja. Nappien avulla kuljettajat voivat antaa havaintoja tiestön kunnosta ja/tai aktivoida ääniviestien tallennuksen.

3.12 Säämallit ja -ennusteet

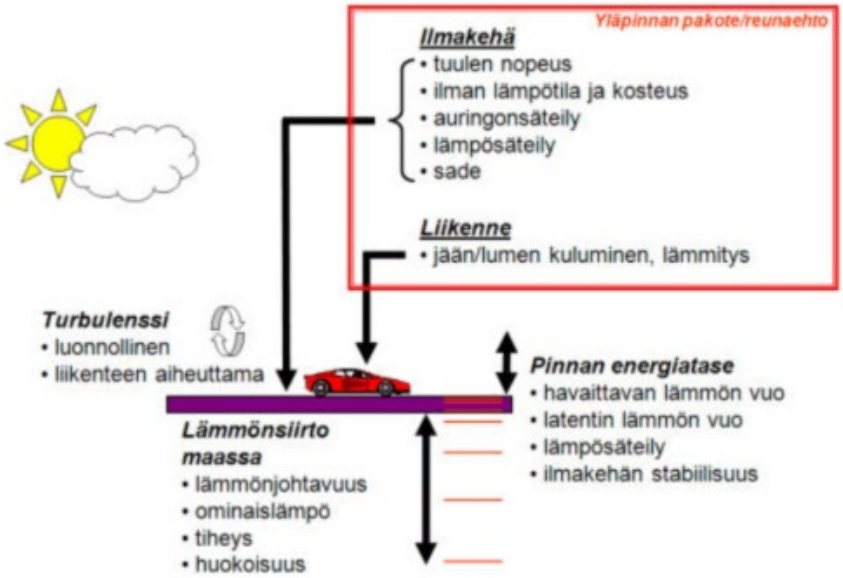
Yksityisteiden kuntoarvion kannalta säämallien ja -ennusteiden tärkein sovellus on roudan paksuuden sekä kelirikon esiintymisen ja vakavuuden ennustaminen. Routaa ja kelirikon esiintymistä on mahdollista ennustaa käyttämällä lähiaikojen sääennusteita. Toistaiseksi viikkojen tai kuukausien mittaiset sääennusteet ovat edelleen jokseenkin epäluotettavia (Gregow ym. 2011). Kuitenkin lyhyempienkin aikajaksojen ennusteista voisi olla hyötyä tienpitoa suunniteltaessa.

Suomessa säämallien ja ennusteiden ensisijainen tuottaja on Ilmatieteen laitos. Ilmatieteen laitoksen tuottamia avoimia aineistoja ovat sää- ja tiesäähavainnot, sääennustedata ja säätutkakuvat. Muita toimijoita ovat esimerkiksi Foreca ja Väyläviraston johtamien tienhoitohankkeiden tarpeisiin sää- ja keliennustepalveluja tuottavat Destian kelikeskus ja Suomen Kelitieto Oy. (Oinonen 2010).

[32] https://metsakeskus.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=ffdfc0c038da44399fb6e33c15cc44d3
[33] www.tietorahti.fi

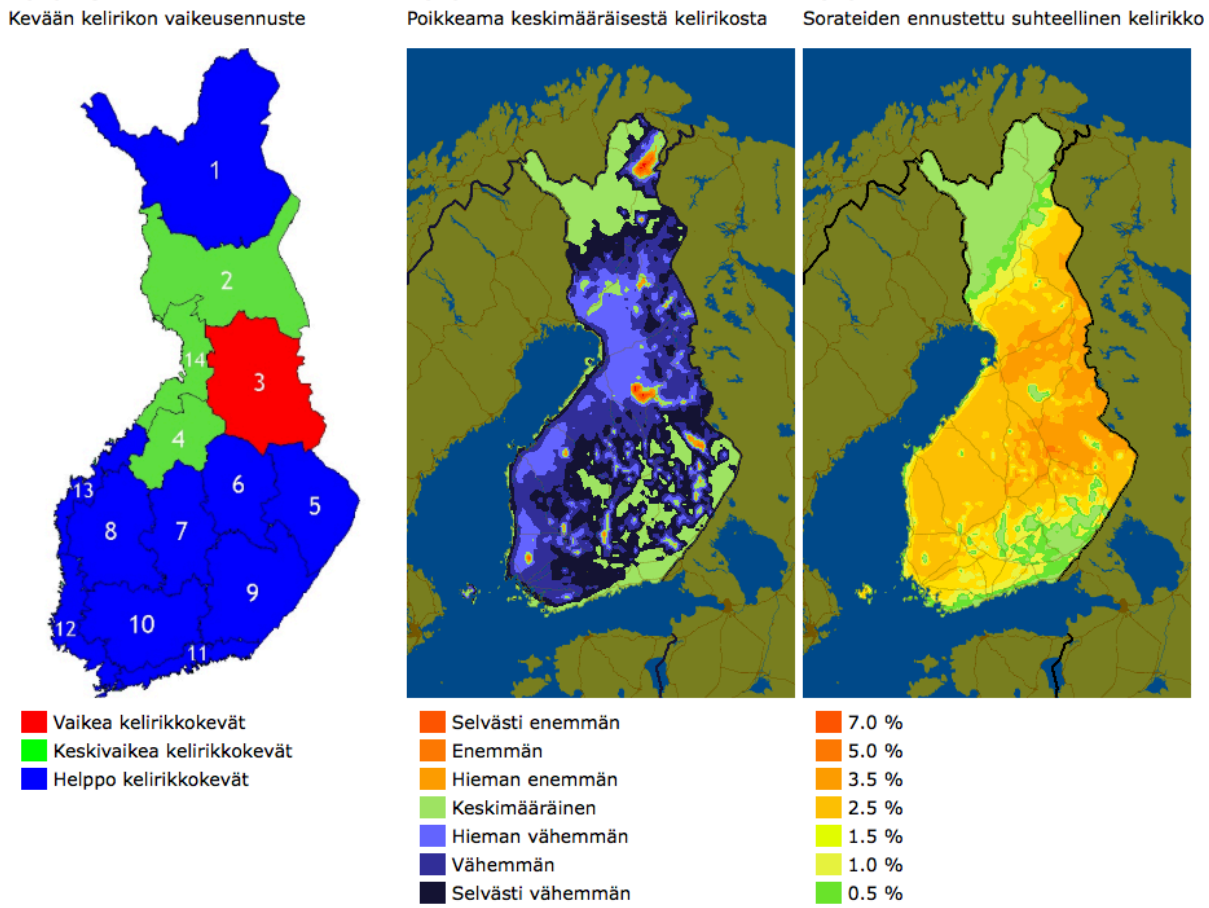
Väylävirasto ja Ilmatieteen laitos tekevät Suomessa tiivistä yhteistyötä. Väyläviraston mukaan esimerkiksi julkisen tieverkoston tienhoitotoimenpiteet ennakoidaan ja suunnitellaan sää- ja keliennusteiden perusteella. Sääperusteinen väylien kunnossapito on taloudellista ja takaa liikenneturvallisuuden ja liikenteen sujuvuuden. (Oinonen 2010).

Ilmatieteen laitos on kehittänyt päällystettyjen teiden tiesäämallin (kuva 16), jonka avulla voidaan arvioida tienpinnan ja tieprofiilin kerrosten lämpötilaa sekä tuottaa tienpinnan keliennusteita. Ennuste perustuu indeksiarvoon, joka kertoo mm. onko tienpinta kuiva, märkä, jäinen vai lumen tai kuuran peittämä. Keli-indeksi sisältää yhteensä kahdeksan tienpinnan olosuhdeluokkaa. Ajo-olosuhteita kuvaava liikenneindeksi saadaan, kun keli-indeksi ja säätiedot yhdistetään. Liikenneindeksi saa arvokseen joko normaali, huono tai erittäin huono. (Ilmatieteen laitos 2018c).

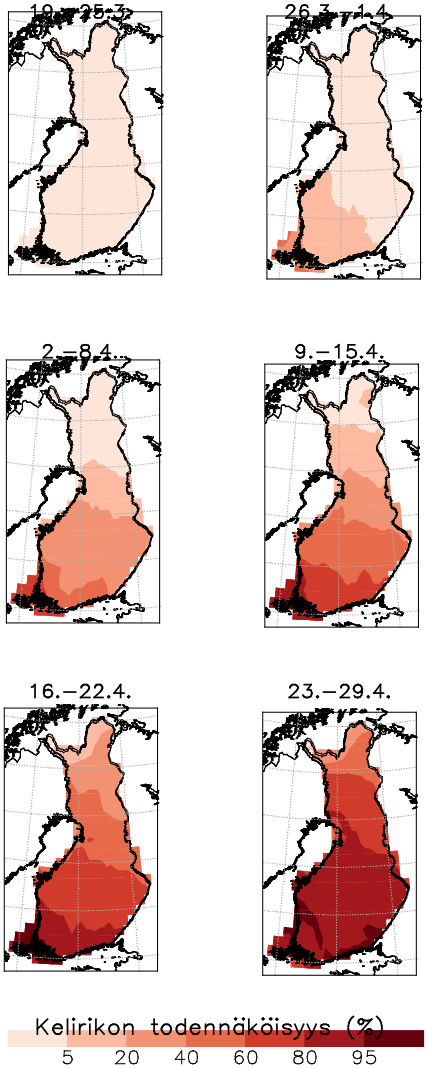


Kuva 16. Ilmatieteen laitoksen tiesäämalliin vaikuttavat prosessit ja lähtötiedot. (Kuva: Ilmatieteen laitos 2018c).

Tiesäämalli laskee energiataseen perusteella, lämpeneekö vai jäätyykö tienpinta. Tarkasteltavia muuttujia mallissa ovat mm. vallitsevat sääolot, maanpinnan sekä tien päällysteen ominaisuudet ja tien liikennöinti. Mallinnusta varten havaintoja voidaan kerätä esimerkiksi säätutkilta ja Väyläviraston tiesääasemilta. Mallissa otetaan huomioon niin lämpötilakehitys kuin tielle kertyvä vesi, lumi tai kuura. Tiesäämallilla tuotetaan vain pääteiden olosuhde-ennusteita, eikä malliin ole kuvattu soratien profiilia. (Ilmatieteen laitos 2018b). Ilmatieteen laitos toimittaa vuosittain kelirikkoennusteet Väylävirastolle (kuva 17). Kuvassa 18 on esimerkki kelirikon todennäköisyydestä metsäautoteillä.



Kuva 17. Esimerkki kelirikkoennusteesta (Miettinen 2018).



Kuva 18. Esimerkki kelirikon viikottaisesta todennäköisyydestä metsäautoteillä (Miettinen 2018).

Ilmatieteen laitos, VTT ja Lapin ammattikorkeakoulu ovat kehittäneet Sodankylään tiesäätieto- ja tiesääennustepalvelun testialueen. Yhteistyötahojen luoma älyliikenteen ja tiesääpalveluiden pilottijärjestelmä pyrkii tarkkojen ja paikkasidonnaisten olosuhdetietojen jakamiseen. Testialueella käytetään mm. VTT:n valmistamaa ja ylläpitämää 5G-testiverkkoa sekä langatonta LTE-mobiiliverkkoa. Lyhyen kantaman verkossa testataan sekä vehicle-to-vehicle että vehicle-to-infrastructure -kommunikointia. Testialueen kiinteän infrastruktuurin omistaa Sodankylän kunta. Olosuhdetiedon tuottamisessa hyödynnetään Vaisala Oyj:n RWS200-tiesääasemia ja mobiilikitkamittauksia. (Ilmatieteen laitos 2018b)

Säämalleihin ja -ennusteisiin liittyen Ilmatieteen laitoksella oli CLIPS-hanke[34], jossa laadittiin kuuden viikon tiesääennusteita helpottamaan mm. talvirengaskauteen siirtymisen ennakoimisessa. Lisäksi FORBIO-hankkeessa Ilmatieteen laitos on yhdessä GTK:n kanssa kehittänyt säätietoon perustuvan routamallin, jonka avulla voidaan arvioida kelirikon esiintyvyyttä ja siten liikennerajoitusten kestoa.

Routamallit olisivat hyvä apuväline teiden syys- ja kevätaikaisen liikennöitävyyden selvittämiseksi. Routamallit pyrkivät kertomaan routakerroksen paksuuden. Luonnontilaisten alueiden

[34] CLIPS-hankkeen kotisivut: http://clips.fmi.fi/?lang=fi

tärkeimpiä roudan muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat pakkassumma, lumipeitteen paksuus, maalaji sekä pohjaveden pinnankorkeus (Gregow ym. 2010).

Nykyisin Ilmatieteen laitoksella ja Suomen ympäristökeskuksella (SYKE) on useita roudan syvyyttä mittaavia havaintoasemia. Ongelma on kuitenkin mittaustulosten soveltaminen maantieympäristöön. Haasteena roudan ennustamiseen maanteille on se, että tiealueilta lämpöä eristävä lumipeite aurataan talvisin pois. Siten esimerkiksi metsämaan routamittaukset eivät päde tiemaalla. Lisäksi on oltava tieto siitä, onko tie avattu vasta kesken talvijakson ja ollut siten osan talvikaudesta lumipeitteisenä. (Gregow ym. 2011).

Kelirikkoon vaikuttavat tien jäätymis- ja sulamisprosessit. Tien routa- ja sulamiskerroksen syvyyttä voidaan melko luotettavasti arvioida tienpinnan mitatun pakkasmäärän ja lämpöastesumman perusteella. Kelirikon vakavuuteen vaikuttaa erityisesti syystalven routaantumisnopeus. Hidas routaantuminen mahdollistaa hienojakoisilla pohjamailla jäälinssien muodostumisen tierakenteeseen. Kapillaariveden muodostamien jäälinssien sulaessa tiehen syntyy kelirikkovaurioita. Sulamisajan pituus riippuu pitkälti lopputalvella toteutuneesta pakkasmäärästä. Sulamisnopeuden arvioita voidaan tarkentaa esimerkiksi tienpinnan lämpöastesumman avulla. (Kokkila 2011).

On huomioitava, että säätekijät eivät yksin selitä runkokelirikon vakavuutta, vaan tietoa tarvitaan tien alusrakenteista, iästä ja muusta rakenteesta. Esimerkiksi vuosina 1995–2002 talven pakkasmäärä ja runkokelirikon määrä eivät korreloineet keskenään. Runkokelirikkovaurioiden ennusteita tulisikin tarkentaa myös tilastollisten routaantumis- ja sulamisaikamäärityksen avulla. (Ryynänen ym. 2003). Roudan sulamisen ennustaminen voisi tuottaa eriasteisten kelirikkojen varoituksia (Kokkila 2011).

Ilmatieteen laitoksen (Gregow ym. 2011) laatimat routamallit huomioivat kylmyyssumman ja paikkakuntakohtaiset kertoimet. Toimivassa routamallissa otetaan huomioon ilmaston lisäksi eri maalajien routiminen ja kerrosroudan esiintyminen. Roudan sulamisen mallintaminen auttaa varautumaan siihen, onko muodostumassa pinta- vai runkokelirikkoa. Lämmin sääjakso ja runsaat sateet voivat aiheuttaa paksuroutaisilla teillä erittäin vaikean kelirikon. (Gregow ym. 2011).

Routamallit voisivat antaa tietoa myös ilmastonmuutoksen tuomista vaikutuksista teiden kunnossapitoon. Keskeisiä ilmastonmuutokseen varautumisen painopisteitä ovat esimerkiksi liukkaudentorjunnan, lumenpoiston, tulvasuojauksen ja eroosiotorjunnan sopeuttaminen ja teiden runkorakenteiden parantaminen. Ennen kaikkea tulevaisuudessa tienpidossa pitäisi varautua ajantasaiseen ongelmatilanteista varoittamiseen, varsinkin kun roudan sulamista odotetaan tapahtuvaksi myös kesken talvijakson. (Gregow ym. 2011).

3.13 Maaperä-, vesistö- ja korkeusmallit

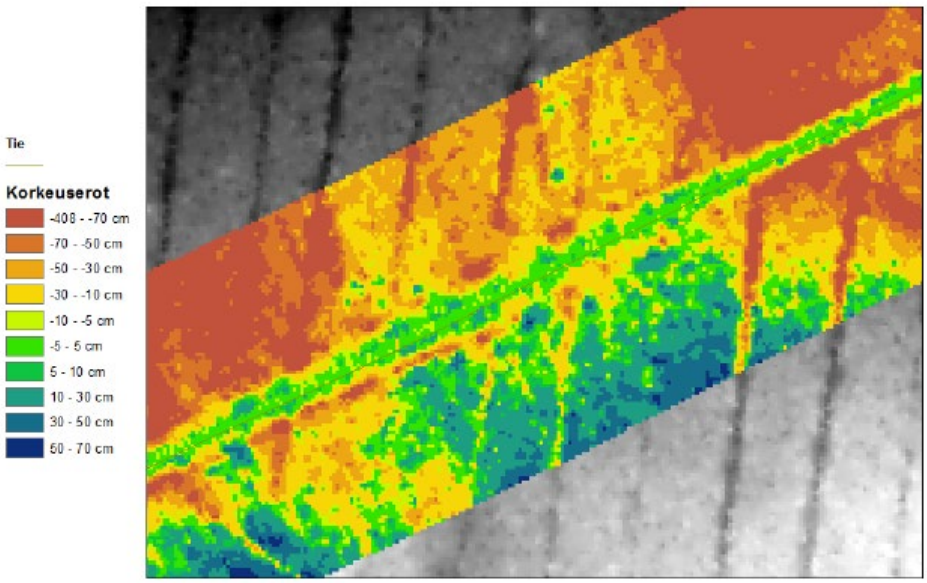
Erilaisia maaperä-, vesistö- ja korkeusmalleja hyödyntäen voitaisiin arvioida tien ja sen ympäristön ominaisuuksia sekä tien mahdollista kosteusriskiä. Mallit antavat monipuolista ja kustannustehokasta informaatiota tienpidon tueksi.

Tien urautumisen ja vaurioitumisen sekä vaurioitumisnopeuden kannalta merkittäviä tekijöitä ovat tielinjan ympäristön ja tierakenteen kosteustila, sekä pohjamaan kantavuus ja routimisherkkyys (Kokkila 2011). Näiden vaikeasti mitattavien muuttujien tarkka mittaaminen on kallista. Lisäksi otantaperusteisella maastomittauksella ominaisuustietoa ei ole mahdollista tuottaa tien joka kohdasta. Mallinnuksella saadaan tuotettua kustannustehokkaasti ominaisuustieto kohteille, joista ei ole mitattua tietoa. Mittaushavaintojen väleissä arvoja voidaan laskea esimerkiksi lineaarisesti interpoloimalla dataan sovitetun kolmio- tai neliöverkon avulla (Tarri 2017). Ominaisuustiedon yleistämisen lisäksi mallinnuksella voidaan tuottaa uusia ominaisuustietoja helposti mitattavien muuttujien avulla. Mallien käyttökelpoisuus riippuu esimerkiksi käytetystä tiedostomuodosta (kuva 19).

Kuva 19. Esimerkki pintamalleihin käytetyistä tiedostomuodoista ja niiden vaikutuksesta riskeihin sekä kustannuksiin. (Kuva: Tarri 2017).

Laserkeilausaineistosta laskettava korkeusmalli (Digital Elevation Model, DEM) on maanpinnan muotojen numeerinen esitystapa. Korkeusmalli sisältää korkeuspisteiden joukon, sekä interpolointimenetelmän, jolla mittaushavainnot yleistetään jatkuvaksi pinnaksi. Korkeusmallin tyypillisiä tallennusmuotoja ovat tasavälinen hila ja epäsäännöllinen kolmioverkko (TIN) (Maanmittauslaitos 2018a). Myös SAR-tutkakuvista voidaan muodostaa korkeusmalli. Niemen (2013) mukaan SAR-tutkakuvista radargrammetrialla tuotetun korkeusmallin ongelmia ovat alhainen pistetiheys avoimilla alueilla (kuten tiellä) ja maanpinnan alapuolelta tulevat virheelliset havainnot. Korkeusmallin on todettu kuvaavan heikosti tien yleiskuntoa, mutta korkeusmallilla voidaan saada käsitys tien pintarakenteen kunnosta (Kiss ym. 2015). Korkeusmallin käytössä on keskityttävä valitsemaan käyttötarpeeseen soveltuvin resoluutio ja interpolointimenetelmä (Kiss ym. 2015).

Laserkeilausaineiston käyttöä on tutkittu osana metsäteiden kantavuuden mallintamista. Tarkkisen (2015) mallinnus perustui ympäröivän maaston ja tienpinnan korkeuserojen mittaukseen (kuva 20), mistä saatiin arvio tien perustan kosteudesta. Lähtökohtana tutkimukselle oli oletus siitä, että ympäristöään alempana olevan tien perusta on kosteampi kuin koholla olevan tien. Ennakko-odotuksista poiketen työssä käytetyt lineaariset mallit antoivat päinvastaisia tuloksia kuin alun perin odotettiin, eli korkeuserojen pienentyessä kantavuudet olivat parempia. Mallien selitysasteet olivat heikkoja ja tilastolliset luotettavuudet huonoja. Laserkeilausaineistosta mitatuilla ojien syvyyksillä ei ollut myöskään merkittävää vaikutusta tien kantavuuteen.



Kuva 20. Kuvassa korkeusmallista laadittu korkeuseromalli esittää tien ympäristön korkotasoa suhteessa tien pinnan tasoon. Tielinja on kuvan halki kulkeva yhtenäinen vihreä jana. Korkeuseromallin ulkopuolelle jäävä harmaasävyalue on korkeusmalli. (Kuva: Tarkkinen 2015).

Korkeusmallien avulla muodostetaan myös erilaisia maastomalleja (Digital Terrain Model, DTM). Maastomalli on maanpintaa kuvaa malli, joka sisältää korkeustiedon lisäksi tietoa esimerkiksi maan peitteestä (mm. maalajit ja metsän luokitukset), rinteiden kaltevuuksista ja viettosuunnista. Maastomallien avulla voidaan tutkia esimerkiksi vesien valuntaa ja maanpinnan muotoja. Maastomalleja käytetään yleisesti optimointi- ja tiedonkeruusovelluksissa. Laserkeilausaineistosta tuotettu pintamalli (Digital Surface Model, DSM) kuvaa puolestaan maaston ylimmälle korkeustasolle asetettua pintaa. Avomaalla pintamalli vastaa korkeusmallia. (Maanmittauslaitos 2018a).

Maanmittauslaitos tarjoaa laserkeilausaineistosta johdettujen mallien lisäksi lukuisia erilaisia teemarastereita (mittakaava 1:20 000), joita on muodostettu mm. liikenneverkosta, maankäyttöluokista, hydrografiasta ja maanpeitteestä. Teemarastereihin voidaan sisällyttää esimerkiksi tienimet.

Maaperätieto voidaan esittää yksinkertaistetussa muodossa maaperämallien avulla. Tyypillisesti maaperämallilla määritetään maalajikerrosten rajapintoja ja kalliopinnan korkotasoja. Maaperämalliin voidaan sisällyttää geoteknisiä muuttujia kuten vedenläpäisykyky, lujuus ja kokoonpuristuvuus – eli kantavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Maaperämallien lähtöaineisto voidaan hankkia kartta-aineistoista, maastokäynneillä tai geofysikaalisilla mittauksilla. (Tarri 2017).

Suomessa koko maan kattava digitaalinen maaperäkartta-aineisto on esitetty mittakaavassa 1:200 000. Maaperäkartat sisältävät maalajikuviot ja niihin liittyvät ominaisuus- ja laatutiedot, jotka ovat luotu tulkitsemalla, muokkaamalla ja yleistämällä olemassa olevia aineistoja. Maaperäkarttojen maalajiluokitus on maa- ja metsätaloudessakin käytetty rakennustekninen (RT) maalajiluokitus. Maaperäkartan käytettävyyttä rajoittaa kartan painottuminen pohjamaan kuvaamiseen, suurehko kuviokoko erityisesti pintamaalajien kuvauksessa ja puutteet tarkempien karttojen (1:20 000 ja 1:50 000) alueellisessa kattavuudessa. Aineistoyhdistelmien (esimerkiksi korkeusmalli, satelliittidata ja maastokartat) avulla voidaan saada kattavaa tietoa pohjamaalajeista ja veden kulkureiteistä ja kertymisestä. (Kokkila 2011).

Vesistömallilla kuvataan veden kiertokulkua, joka alkaa sadannasta ja päättyy joko veden haihduntaan tai valuntaan mereen. Vesistömallien tienpidon kannalta tärkeitä sovellutuksia ovat aluesadannan, lumipeitteen, haihdunnan, maankosteuden, pohjaveden ja valunnan mallinnus.

Vesistömalleilla voidaan mm. täydentää vedenkorkeushavaintoja ja laskea alueellisen lumen vesiarvon. (Suomen ympäristökeskus 2018).

Kosteus vaikuttaa suuresti maaperän ominaisuuksiin, ja siksi tieto pohjaveden korkeustasosta on tärkeää. Kosteiden alueiden muodostumista tutkitaan kosteusindeksien avulla. Tyypillisin kosteusindeksi on ns. SWI-indeksi, joka huomioi laskentapisteen yläpuolisen valuma-alueen pinta-alan ja rinnekaltevuuden laskentapisteessä (mm. Wilson ja Gallant 2000). SWI-indeksi ei kuitenkaan huomioi valuma-alueen koon ajallista vaihtelua, eikä indeksi huomioi laskentapisteen alapuolisen valuma-alueen vaikutusta kosteusoloihin (Kokkila 2011). Murphyn ym. (2009) esittämä DTW-indeksi huomioi laskentapisteen alapuolisen valuma-alueen, ja on siten soveltuvampi kuin tavallinen SWI-indeksi (Murphy ym. 2011).

Korkeusmalliin, kartoitettuihin vaka- ja virtavesiin sekä näiden avulla määritettyyn DTW-indeksiin perustuvaa maaston kosteiden alueiden sekä pienten vesiuomien kartoitusta hyödynnetään jo operatiivisessa puunhankinnassa Kanadassa ja Yhdysvalloissa (Murphy ym. 2008). Menetelmää voidaan hyödyntää mm. ennestään tuntemattomien kosteikkojen tunnistamisessa, sekä tiestön suunnittelussa kartoitettaessa vesiuomien ja tiestön leikkauskohtia (Kokkila 2011).

Erilaisten maaperää kuvaavien mallien ja muun tiedon yhdistäminen monilähdeinventoinnin kautta voidaan nähdä yhtenä tärkeämpänä tiestötiedon tuotantomenetelmänä. Useita aineistoja hyödyntävässä lähestymistavassa voidaan käyttää esimerkiksi korkeusmallia ja laserkeilausdataa, maaperäaineistoja sekä maastotietokannan suo-, soistuma- ja kallioaineistoa. (Kokkila 2011).

Arbonaut Oy:n ja metsäsektorin hankkeessa (Puumalainen 2018) kehitetään parhaillaan sorateiden kuljetuskelpoisuusmallia. Sen avulla metsäyhtiöt ja puun korjuu- ja kuljetusyritykset pystyisivät kohdentamaan liikennöintiä tiestön eri osiin tiestön ominaisuuksien mukaan. Mallin staattinen osuus perustuu julkisiin paikkatietoaineistoihin (maaperä, korkeusmalli, ojat ja ojatukokset, valuma-alueet, säteily). Mallia tullaan jatkokehittämään niin, että sisältää myös tietoa tien rakentamisesta sekä dynaamisista olosuhteista (mm. sadanta). Paikkatietojen hyödyntämistä sorateiden kunnon ennakoimisessa on selvitetty mm. myös Bussmanin (2018) opinnäytetyössä.

LÄHTEET

Alanen, J. 2000. CAN-ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. VTT Automaatio. Koneautomaatio. Tampere. Saatavissa: http://www.oamk.fi/~eeroko/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf. [Viitattu: 5.3.2018].

Blom Kartta Oy 2018a. 3D-mallinnus. Palvelut. Saatavissa: http://www.blomkartta.fi/palvelut/3d-mallinnus/. [Viitattu: 15.4.2018].

Blom Kartta Oy 2018b. Katuomaisuuden hallinta. Palvelut. Saatavissa: http://www.blomkartta.fi/palvelut/katuomaisuuden-hallinta/. [Viitattu: 20.3.2018].

Bussman, S. 2017. Paikkatiedon hyödyntäminen soratieverkon kantavuustilan arvioinnissa. Diplomityö, Aalto-yliopisto. Saatavissa: https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/29335. [Viitattu 4.1.2019].

Gregow, H., Ruosteenoja, K., Juga, I., Näsman, S., Mäkelä, M., Laapas, M. & Jylhä K. 2011. Lumettoman maan routaolojen mallintaminen ja ennustettavuus muuttuvassa ilmastossa. Raportteja 2011:5. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/28455/2011nro5.pdf?sequence=1. [Viitattu: 20.3.2018].

Holopainen, M., Tuominen, S., Karjalainen, M., Hyyppä, J., Hyyppä, H., Vastaranta, M., Hujala, T. & Tokola, T. 2009. Korkearesoluutioisten E-SAR-tutkakuvien tarkkuus puustotunnusten koealatason estimoinnissa. Metsätieteen aikakauskirja 4/2009: 309–323.

Holopainen, M., Hyyppä, J. & Vastaranta, M. 2013. Laserkeilaus metsävarojen hallinnassa. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42935/Laserkirja_painettu.pdf?sequence=2. [Viitattu: 15.3.2018].

Honkavaara, E., Markelin, L. & Numrinen, K. 2011. Digitaalinen ilmakuvaus ja sen mahdollisuudet. Geodeettinen laitos. Kaukokartoituksen ja fotogrammetrian osasto. Saatavissa: https://foto.aalto.fi/seura/julkaisut/pjf/pjf_e/2011/PJF2011_3_Honkavaara_et_al.pdf. [Viitattu: 20.3.2018].

Hyyrynen, J. 2006. Tiedonkeruu linja-auton CAN-väylästä. Opinnäytetyö. Tietoliikennetekniikka. Tietotekniikka. Lahden ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11859/2006-08-17-14.pdf?sequence=1. [Viitattu: 5.3.2018].

Hämäläinen, E. & Rahja, J. (toim.). 2012. Yksityisteiden kunnossapito – Kunnossapitotöiden suunnittelun ja toteuttamisen perusteet. Saatavissa: http://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1366/ytienkunnpitosss.pdf. [Viitattu 7.3.2018].

Hämäläinen, E. 2015. Yksityisteiden hallinto – Tiekunta ja tieosakas 2015. Suomen Tieyhdistys – Yksityistiejulkaisut. Painojussit Oy, Kerava.

Ilmatieteen laitos. 2013. Maankosteuden ja roudan havaitseminen mikroaaltoalueen satelliittitutkilla. Tiedeuutisten arkisto. Tutkimustoiminta. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedeuutisten-arkisto. [Viitattu: 13.3.2018].

Ilmatieteen laitos. 2018a. Droonit – meteorologian pienet apulaiset. Verkkoartikkeli. Saatavissa: https://atmoslehti.fi/teema/droonit-meteorologian-pienet-apulaiset/. [Viitattu 4.1.2019].

Ilmatieteen laitos. 2018b. Sodankylän ajoneuvotestausalue ja 5G-testiverkko valmistunut. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/tiedotearkisto/-/journal_content/56/30106/478206227. [Viitattu: 21.3.2018].

Ilmatieteen laitos. 2018c. Tiesäämalli. Sääsovellusmallit. Mallinnus. Saatavissa: http://ilmatieteenlaitos.fi/tiesaamalli. [Viitattu: 13.2.2018].

Jacobsen, K., 2011. Images of change. Geospatial World, January 2011.

Jones, J. 2017. California bearing ratio typical values. CBR Testing UK. Saatavissa: https://www.cbrtesting.com/california-bearing-ratio-typical-values/. [Viitattu: 5.3.2018].

Kaakkurivaara, T. & Uusitalo, J. 2011. Kelirikkoaikaisen puunkuljetuksen haasteet – Ratkaisuja metsäteiden kuljetuskelpoisuuden ongelmiin sekä metsäteiden kantavuuden mittaukseen ja kunnostamiseen. Metlan työraportteja 200. Saatavissa: http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp200.htm. [Viitattu: 5.3.2018].

Kailio, A. 2018. Posti ryhtyy tarkkailemaan teiden kuntoa Vaisalan konenäöllä - ”Vaisala haastaa reaaliaikaisesti Googlen Street View -palvelun”. Internetartikkeli. Tekniikka&Talous 29.6.2018. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/liikenne/posti-ryhtyy-tarkkailemaan-teiden-kuntoa-vaisalan-konenaolla-vaisala-haastaa-reaaliaikaisesti-googlen-street-view-palvelun-6731575?utm_source=Teta_Aamukirje&utm_medium=email&utm_campaign=Teta_Aamukirje. [Viitattu 4.1.2019].

Karkimo, A. 2018. Posti nuuskii teiden kuopat ja pitää espoolaiset tolpillaan. Tivi. . Saatavissa: https://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/posti-nuuskii-teiden-kuopat-ja-pitaa-espoolaiset-tolpillaan-6707449. [Viitattu: 3.4.2018].

Kiss, K., Malinen, J. & Tokola, T. 2015. Forest road quality control using ALS data. Saatavissa: http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjfr-2015-0067#.WsyltS5uZmM. [Viitattu: 15.4.2018].

Kokkila, M. 2011. Maastoa ja tiestöä kuvaavan monilähdeinformaation hyödyntämismahdollisuudet puunhankinnassa. Metsätehon raportti 202. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_217_Maastoa_ja_tiestoa_kuvaavan_monilahdeinformaation_mk.pdf. [Viitattu: 23.3.2018].

Korpilahti, A. 2008. Metsäteiden kuntoinventoinnin ja kuntotiedon hyödyntämisen toimintamalli. Metsätehon raportti 202. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2015/02/Raportti_202_AK.pdf. [Viitattu: 20.3.2018].

Korpisaari, P. 2018. Henkilötiedot ja paikkatiedot - Miten tietosuojalainsäädäntö vaikuttaa paikkatietojen julkaisemiseen ja luovuttamiseen. Ympäristöministeriön raportteja 10/2018. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160578/YMra_10_2018_Henkilotiedot_ja_paikkatiedot.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Viitattu 4.1.2019].

Kähkönen, H. 22.10.2017. Suomalaiset tekivät ilmailun historiaa – dronet synnyttävät jopa 10 miljardin euron markkinat. Saatavissa: https://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/suomalaiset-tekivat-ilmailun-historiaa-dronet-synnyttavat-jopa-10-miljardin-euron-markkinat-6683415. [Viitattu: 3.3.2018].

Landa, J. & Prochazka D. 2014. Automatic Road Inventory Using LiDAR. Procedia Economics and Finance 12. s. 363–370.

Leino, R. 2017. Skannaus paljastaa tien piiloviat – riskianalyysi paljastaa kestääkö tie 140 tonnin turbiinin alla. Tekniikka & Talous 1.7.2017. Saatavissa: http://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/liikenne/skannaus-paljastaa-tien-piiloviat-riskianalyysi-paljastaa-kestaako-tie-140-tonnin-turbiinin-alla-6660876. [Viitattu: 13.3.2018].

Leinonen, J., Jaakkola, M. & Onninen, H. 2015. Ajoneuvolaserkeilaus tien painuman mittauksessa. Pilottiraportti. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-08_ajoneuvolaserkeilaus_tien_web.pdf. [Viitattu: 13.3.2018]

Lentokuva Vallas Oy 2018. Pystyilmakuvaus. Ilmakuvauspalvelut. Saatavissa: http://www.lentokuva.fi/ilmakuvauspalvelut/pystykuvaus. [Viitattu: 10.4.2018].

Liedes, T, Pylväinen, M. & Rankinen, A. 2018. Tien kulkuvastuksen joukkoistettu määrittäminen. Julkaisematon kalvosarja. Oulun yliopisto.

Liikenne- ja viestintäministeriö 2017a. Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan tietokartta. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 16/2017. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160317/LVM_16_2017_web.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Viitattu 30.12.2018].

Liikenne- ja viestintäministeriö 2017b. Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa. Toimenpideohjelma 2017–2020Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 14/2017. Saatavissa: http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/160397. [Viitattu:9.1.2019].

Liikennevirasto. 2013. Sillantarkastuskäsikirja - suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. Liikenneviraston ohjeita 26/2013. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lo_2013-26_sillantarkastuskasikirja_web.pdf. [Viitattu 25.2.2019].

Liikennevirasto. 2014. Sorateiden kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita 1/2014. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf. [Viitattu 25.2.2019].

Liikennevirasto. 2015. Maanteiden hoidon ja ylläpidon tuotekortit 30.1.2015. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/mt_hoidon_tuotekortit_2015_web.pdf. [Viitattu 25.2.2019].

Liikennevirasto. 2018a. Digiroad – Tietolajien kuvaus. Julkaisu 3/2018. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/236203/Tietolajien+kuvaus-3-2018.pdf/7f53aff8-e4a7-424d-a2bb-fe8d6ca55b00. [Viitattu 6.12.2018].

Liikennevirasto. 2018b. Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen. Liikenneviraston ohjeita 34/2018. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2018-34_kelirikkoteiden_liikenteen_web.pdf. [Viitattu 31.12.2018].

Liikennevirasto. 2018c. Maanteiden talvihoito - Laatuvaatimukset. Liikenneviraston ohjeita 33/2018. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2018-33_maanteiden_talvihoito_web.pdf. [Viitattu 4.1.2019].

Liikenteen turvallisuusvirasto. 2018. Kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennokin lennättäminen. Määräys. Saatavissa: https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1544017881/36449b3e46367e0de0a247f2f68fefa1/32674-OPS_M1-32_2018_fi_korjattu.pdf. [Viitattu: 26.2.2019].

Lukkari, E. 2018. Metsä Group vie dronet metsään. Internetartikkeli 16.5.2018. Osto&logistiikka. Saatavissa: http://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/teknologia/metsa-group-vie-dronet-metsaan. [Viitattu 7.1.2019].

Luonnonvarakeskus. 2015. Metsäteiden kantavuusmittauksilla voidaan säästää miljoonia euroja. Uutiset. Metsä. Saatavissa: https://www.luke.fi/uutiset/metsateiden-kantavuusmittauksilla-voidaan-saastaa-miljoonia-euroja/. [Viitattu: 5.3.2018].

Maanmittauslaitos. 2015. Maanmittauslaitoksen maastotietokohteet. Saatavissa: https://etsin.avointiede.fi/storage/f/2015-10-08-Paituli/mml/Maastotietokohteet.pdf. [Viitattu 30.12.2018].

Maanmittauslaitos. 2018a. Korkeusmalli. Tuotekuvaukset. Saatavissa: https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit. [Viitattu: 5.3.2018].

Maanmittauslaitos. 2018b. Laserkeilausaineisto. Tuotekuvaukset. Saatavissa: http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laserkeilausaineisto. [Viitattu: 5.3.2018].

Maanmittauslaitos. 2018c. Maastotiedon ylläpito. Maastotiedot ja niiden hankinta. Saatavissa: http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/maastotiedot-ja-niiden-hankinta/maastotiedon. [Viitattu: 5.3.2018].

Maanmittauslaitos. 2019. Kansallinen maastotietokanta KMTK – Tieliikenne – Käsitemalli.Kommentoitava luonnos. Saatavilla: https://pta-files-prod.s3.eu-west-1.amazonaws.com/kmtk-public/attachments/2019/01/kasitemalli_tieliikenne.pdf?i75YjixN9w9wnONxOI7MyD4hmGOOvrjK=. [Viitattu 25.2.2019].

Maboudia, M., Aminib, J., Malihic, S., Hahnd M. 2017. Integrating fuzzy object based image analysis and ant colony optimization for road extraction from remotely sensed images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 138. s. 151–163.

Malmivuo, M. 2016. Ajoneuvon tietoväylää hyödyntävän liukkaudentunnistuksen testaus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2016. Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2016-49_ajoneuvon_tietovaylaa_web.pdf. [Viitattu: 5.4.2018].

Metsäteho Oy. 2018. Metsätieohjeisto. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/metsatieohjeisto/. [Viitattu 30.12.2018].

Miettinen, J. 2018. Ilmatieteen laitoksen tiesää- ja olosuhdetieto. Kalvosarja 27.9.2018. Saatavissa: https://www.slideshare.net/Metsakeskus/ilmatieteen-laitoksen-ties-ja-olosuhdetieto. [Viitattu 23.1.2019].

Mulju, T. 2017. Puutavara-autojen tienkäyttötiedot – Loppuraportti. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/367242/Puutavara_autojen_tienk%C3%A4ytt%C3%B6tiedot_trimble/157eaf49-5ad0-42ae-9778-a7b64d1e02bc. [Viitattu 30.12.2018].

Murphy, P.N.C., Ogilvie, J. & Arp, P. 2009. Topographic modelling of soil moisture conditions: a comparison and verification of two models. European Journal of Soil Science 60. s. 94–109.

Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Castonguay, M., Zhang, C-F., Meng, F.-R. & Arp, P.A. 2008. Improving forest operations planning through high-resolution flowchannel and wet-areas mapping. The Forestry Chronicle. Vol. 84, July/August, no. 4. s. 568–574.

Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Meng, F.-R., White, B., Bhatti, J.S. & Arp, P.A. 2011. Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: a case study. Ecological Modeling, Article in Press.

National Satellite Data Center (NSDC). 2018. Yrityskuvaus. Saatavissa: http://nsdc.fmi.fi/about. [Viitattu: 13.3.2018].

Nevalainen, N. 2016. BIFI-projektin laajennus - sorateiden pintakelirikon tunnistaminen. Julkaisematon raportti.

Niemi, M. 2013. Metsävarojen kartoitus TerraSAR-X -stereomittauksella tuotetun 3D-tiedon avulla. Pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. Metsätieteiden laitos. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/42318/Gradu_MikkoNiemi.pdf?sequence=1. [Viitattu: 10.3.2018].

Niskanen, A. 2017. Sensing the tyre-road contact by intelligent tyre. Väitöskirja. Konetekniikan laitos. Aalto-yliopisto. Saatavissa: http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-7517-4. [Viitattu: 22.3.2018].

Oinonen, S. & Damski, J. 2010. Selvitys Ilmatieteen laitoksen ja Liikenneviraston yhteistyöstä. Saatavissa: https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121520/lr_2010_978-952-255-586-1.pdf?sequence=1. [Viitattu: 25.2.2018].

Paalijärvi, M. 2009. Maatutkaluotaus Jämijärven Lauttakankaalla 17.9.2009. Kokkola. Geologian tutkimuskeskus (GTK). Saatavissa: http://www.kankaanpaa.fi/kaavoitus/arviointimateriaali/Maatutkaluotaus%20Lauttakangas.pdf. [Viitattu: 10.4.2018].

Paikkatietoalusta. 2018a. Laser2020. Projektit ja työpaketit. Saatavissa: http://kmtk.paikkatietoalusta.fi/projektit-ja-tyopaketit/laser2020. [Viitattu: 4.3.2018].

Paikkatietoalusta. 2018b. Pidetään Suomi keilattuna. Ajankohtaista. Saatavissa: http://www.paikkatietoalusta.fi/ajankohtaista/pidetaan-suomi-keilattuna. Viitattu: [4.3.2018].

Partanen, P. 2017. Älyrengas aistii liukkauden ennalta. TEK. Saatavissa: https://lehti.tek.fi/tekniikka/alyrengas-aistii-liukkauden-ennalta. [Viitattu: 15.3.2018].

Pekkala, V. 2018. Tien rasitukset tieverkossa – HCT- ja muiden puunkuljetustenyhdistelmien vaikutusten vertailu. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Tien_rasitukset_tieverkossa_LOPPURAPORTTI_20180825_VPe.pdf. [Viitattu 25.2.2019].

Puumalainen, T. 2018. Yksityisteiden kuljetuskelpoisuusluokitus. Tietutkimusten seminaari 27.9.2018. Julkaisematon kalvosarja.

Rantanen, T., Patjas, E. & Arkima, O. 2007. Tarjouspyyntövaiheen pohjatutkimusten ja tierakenteiden selvitysten määrän ja laadun optimointi ST-–urakoissa. Tiehallinto. Saatavissa: http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139338/4542tie.pdf?sequence=1. [Viitattu: 10.4.2018].

Rautiainen, M. 2017. Taivaalta saatava data synnyttää palvelua – ”satelliittien määrä moninkertaistuu”. Tekniikka ja talous. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/talous_uutiset/yritykset/taivaalta-saatava-data-synnyttaa-palvelua-satelliittien-maara-moninkertaistuu-6691283. [Viitattu: 25.2.2018]

Road Cloud. 2018. Palvelut. Saatavissa: https://roadcloud.fi/our-offer. [Viitattu: 13.4.2018]

Roadscanners Oy. 2018. Road Doctor® Survey Van (RDSV). Tuotteet. Saatavissa: http://www.roadscanners.com/products/road-clinic-rdsv/full-rdsv-system/. [Viitattu: 13.3.2018].

RS ilmakuvaus. 2018. Kartoitus- ja maastodata. Saatavissa: https://rsilmakuvaus.com/kartoitus-ja-maastodata/. [Viitattu: 3.3.2018].

Ryynänen, T., Belt, J. & Ehrola, E. 2003. Sorateiden runkokelirikko ja kelirikon vaikeuden ennustaminen - Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelma. Tiehallinnon selvityksiä 46/2003. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200833.pdf. [Viitattu 26.2.2019].

Saarentaus, M. 2000. Satelliittikuvat paikkatiedossa. Maankäyttö 5/2000. Saatavissa: http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk500/mk500_373_saarentaus.pdf. [Viitattu: 15.3.2018].

Salo, J. 2017. Väylät haltuun panoraamakuvilla - Trimble MX7. Geotrim Oy. Saatavissa: http://www.geotrim.fi/blogiarkisto/item/455-trimble-mx7-vaylat-haltuun-panoraamakuvilla. [Viitattu: 25.4.2018].

Seies, E. & Yrjölä, E. 2003. Bridgestone saa Nokian Renkaat. Talouselämä. Saatavissa: https://www.talouselama.fi/uutiset/bridgestone-saa-nokian-renkaat/72154f85-855b-32f7-a9bb-559b5ecee6ef. [Viitattu: 22.3.2018].

Seinäjoen ammattikorkeakoulu & Metsäliitto. 2009. Piennartieopas – Kulkuyhteyksien parantaminen osana turvemaiden puun hankintaa ja metsien hoitoa.

SESAR. 2018. U-Space. Saatavissa: https://www.sesarju.eu/U-Space. [Viitattu: 3.3.2018].

Strandström 2017a. Kääntymispaikkojen mitoitukset – Metsätieohjeiston uudistettu materiaali. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/K%C3%A4%C3%A4ntymispaikat.pdf. [Viitattu 12.3.2018].

Strandström 2017b. Metsätien poikkileikkauspiirustukset - Metsätieohjeiston uudistettu materiaali. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Poikkileikkauspiirustukset.pdf. [Viitattu 12.3.2018].

Strandström, M. 2017c. Pohjamaan kantavuusluokitus – Metsätieohjeiston uudistettu materiaali. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/Pohjamaan-kantavuusluokitus.pdf. [Viitattu 7.3.2018].

Strandström, M. 2017d. Päällysrakenneluokat – Metsätieohjeiston uudistettu materiaali. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/P%C3%A4%C3%A4llysrakenneluokat.pdf. [Viitattu 7.3.2018].

Sucksdorff, Y. 2015. Copernicus lyhyesti. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.paikkatietoikkuna.fi/documents/108478/dc791612-bc23-4259-9ebf-99a4a417d080. [Viitattu: 13.3.2018].

Suokanerva, H., Cohen, J. & Sukuvaara, T. 2017. Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Routavaurioiden tunnistaminen satelliittikuvista. Päivitetty loppuraportti 11.12.2017. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/367242/Routavaurioiden+tunnistaminen+Ilmatieteen+laitos/1d622b41-4966-470f-971b-dac28458e5d5. [Viitattu: 3.4.2018].

Suomen metsäkeskus. 2018. Yksityismetsien metsävaratieto. Saatavissa: https://www.metsakeskus.fi/yksityismetsien-metsavaratieto. [Viitattu: 24.5.2018].

Suomen ympäristökeskus. 2018. Vesistömallijärjestelmä (WSFS-VEMALA). Kuvaus. Saatavissa: http://metatieto.ymparisto.fi:8080/geoportal/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7BC08C0416-6605-4BC5-8956-58AAF95F0030%7D. [Viitattu: 20.3.2018].

Tarkkinen A. 2015. Laserkeilauspistepilvestä tuotetun digitaalisen korkeusmallin soveltuvuus metsäteiden kunnostustarpeen selvittämiseksi. Metsätalouden koulutusohjelma. Karelia-ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015060312199. Viitattu: 15.3.2018].

Tarri, L. 2017. Maaperämallien luotettavuus. Opinnäytetyö. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma. Infrarakentaminen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Saatavissa: http://www.theseus.fi/handle/10024/125951. [Viitattu: 5.3.2018].

Tervo, M. 2017. Dronet tienpidossa. Tie & Liikenne 4/2017. Saatavissa: https://issuu.com/tieyhdistys/docs/tl_4-2017. [Viitattu: 22.3.2018].

Tiehallinto. 2008. Sorateiden pintakunnon määrittäminen. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2200055-v-08sorateiden_pintakunnon_maarittaminen.pdf. [Viitattu: 30.12.2018].

Tieto. 2018. Mobiilikartoitus pilotin yhteenveto. Julkaisematon raportti 11.10.2018.

Tsantilas, S. 2015. Bridgestone's new car tire technology detects road conditions. New Atlas. Saatavissa: https://newatlas.com/bridgestone-car-tire-cais/40832/. [Viitattu: 23.2.2018].

Tuononen, A., Niskanen, A. & Laine, J. 2018. Automaattisen tiedontuotannon kokeilu: Instrumentoitu ajoneuvolaivasto – Projektin loppuraportti 4/2018. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/367242/loppuraportti_roadcloud/54202f3a-5a3c-4ee2-bf05-0acc070ae9ae. [Viitattu 30.12.2018].

Törnqvist, J., Laaksonen, R. & Juvankoski, M. 2001. Sähköinen vastusluotaus tien painumalaskennan lähtötietojen hankkimisessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/9-vastusluotaus.pdf. [Viitattu: 10.4.2018].

Uro, T., Kaartinen, H., Hyyppä, J., Matikainen, L. & Kukko, A. 2017. 3d-karttatuotanto siirtyy vihdoin väri-TV-aikaan – lupaa yhteiskunnalle merkittäviä säästöjä. Tekniikka & Talous 31.8.2017. Saatavissa: http://www.tekniikkatalous.fi/teknologiamurrokset/3d-karttatuotanto-siirtyy-vihdoin-mustavalkomaailmasta-vari-tv-aikaan-lupaa-yhteiskunnalle-merkittavia-saastoja-6673032. [Viitattu: 3.3.2018]

Venäläinen, P., Raatevaara, A., Pihlajisto, I., Melander, M., Heinonen, P., Hämäläinen, J., Strandström, M. 2017. Tilannekuva ja automatisoitu tiedontuotanto metsäsektorin kuljetuksista. Metsätehon raportti 244. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/367242/Raportti_244_Tilannekuva-ja-automatisoitu-tiedontuotanto_mets%C3%A4teho_vionice/398a5a45-e553-4efc-8e38-7444d4f6d8f6. [Viitattu: 14.2.2018].

Wilson, J.P. & Gallant, J.C. 2000. Terrain analysis: principles and applications. Wiley & Sons.

VTT Oy. 2012. Ajoneuvojen kommunikaatiojärjestelmistä. Uutiset. Saatavissa: http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/uusi-ajoneuvojen-v%C3%A4linen-kommunikaatioj%C3%A4rjestelm%C3%A4-kertoo-kuljettajalle-keliolosuhteista. [Viitattu: 21.3.2018].

VTT Oy. 2015. Yhteistoiminnallinen ajaminen yleistyy - autojen ja tieverkoston välinen tiedonvaihto lisää liikenneturvallisuutta. Uutiset. Saatavissa: http://www.vtt.fi/medialle/autojen-

ja-tieverkoston-v%C3%A4linen-tiedonvaihto-lis%C3%A4%C3%A4-liikenneturvallisuutta. [Viitattu: 15.3.2018].

Vuorimies, N., Kalliainen, A., Rossi, J., Kurki, A., Kolisoja, P., Varin, P. & Saarenketo, T. 2018.Tierakenteen rasittuminen yli 76 tonnin HCT-yhdistelmien koekuormituksissa vuosina 2015-2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 63/2018. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2018-63_tierakenteen_rasittuminen_web.pdf. [Viitattu 25.2.2019].

Väylä. 2019a. NordicWay2. Internetsivusto. Saatavissa: https://vayla.fi/web/en/projects/pilots/nordicway2#.XHVWH4gzZaQ. [Viitattu 4.1.2019].

Väylä. 2019b. Tietosisällön kuvaus. Saatavissa: https://julkaisut.liikennevirasto.fi/tierekisteri/tierekisteri_tietosisallon_kuvaus.pdf. [Viitattu 25.2.2019].

Väylä. 2019c. Yksityistietietojen ilmoittaminen Digiroadiin. Saatavissa: https://vayla.fi/avoindata/digiroad/yksityistietietojen-lisaaminen-digiroadiin#.XDNuWFwzZaR. [Viitattu 7.1.2019].

YIT & Tietomekka Oy. 2017. Paikkatiedolla rikastetun 360° videokuvan tuottaminen ja hyödyntäminen pilvipalvelussa. Loppuraportti. Saatavissa: https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/367242/360_videokuvan_tuottaminen_ja_hy%C3%B6dynt%C3%A4minen_pilvipalvelussa_loppuraportti/5eab4baf-d921-441e-8973-118fcb43f67c. [Viitattu: 11.4.2018].

Päätietoryhmä	Tietoryhmät	Kuvaus	Määrittelijä	Lähteitä	Sisältääkö henkilötietoja*
Pysyvä tietieto	Esterakennelma	KMTK/Digiroad	MML/Väylä	a) Tiekunta b) Kunta c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Hallinnollinen luokka	Digiroad	Väylä	Tien omistajat	
Pysyvä tietieto	ID	KMTK/Digiroad	MML/Väylä	MML/Väylä	
Pysyvä tietieto	Kantavuus	Metsätieohjeisto/YTPA	Metsäteho/YTPA	Tiekunta	
Pysyvä tietieto	Keskilinjageometria	Digiroad	MML/Väylä	MML	
Pysyvä tietieto	Kohtaamispaikka	KMTK/Metsätieohjeisto	MML/YTPA	a) Tiekunta b) MML:n ilmalaserkeilaus (potentiaalisesti) c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Käyttöoikeus	Metsätieohjeisto/YTPA	Metsäteho/YTPA	a) Tiekunta b) Avustusten myöntäjät	
Pysyvä tietieto	Kääntöpaikka (sijainti)	KMTK/Digiroad	MML/Väylä	a) MML:n inventointi b) Tiekunta c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Kääntöpaikka (ominaisuudet)	YTPA	YTPA	a) Tiekunta b) Muut toimijat (esim. metsäyhtiöt) c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Leveys ja Kapea kohta	KMTK/Digiroad	MML/Väylä	a) Tiekunta b) MML (ilmalaserkeilaus jatkossa) c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Näkemäalueet	Metsätieohjeisto Tieyhdistyksen oppaat	Metsäteho Suomen tieyhdistys	a) Tiekunta b) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Osoitetieto/Tienimitiedot	KMTK (Osoite)	MML		
Pysyvä tietieto	Pituuskaltevuus	Metsätieohjeisto/YTPA	Metsäteho/YTPA	a) MML:n korkeusmalli b) Tiekunta c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Puun yleinen välivarasto	Velho (tulossa)		Ely-keskukset	
Pysyvä tietieto	Puuterminaali	Terminaalikartta	Suomen metsäkeskus	Terminaaliyrittäjät/omistajat	

Pysyvä tietieto	Raskaan liikenteen ajo-rajoite	Digiroad	Väylä	a) Tiekunta/kunta b) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Sillat ja rummut	Metsätieohjeisto Tierekisteri (Velho)	Metsäteho Väylä	a) Tiekunta b) Vesistömallit b) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Sivukaltevuus	Metsätieohjeisto Tieyhdistyksen oppaat	Metsäteho Suomen tieyhdistys	a) Tiekunta b) MML:n korkeusmalli (jatkossa) c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Suurin sallittu -rajoituk-set	Digiroad	Väylä	a) Tiekunta b) Kunta c) Joukkoistettu tiedonkeruu	
Pysyvä tietieto	Sähkölinja, Johdot ja kaapelit	KMTK (2019) Tierekisteri (Velho)	MML Väylä	Esim. Johtotieto Oy	
Pysyvä tietieto	Talvitiet Jäätiet Piennartiet	Metsätieohjeisto/YTPA KMTK/YTPA YTPA	Metsäteho/YTPA MML/YTPA YTPA	a) Tiekunta b) MML c) Avustusten myöntäjät d) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Pysyvä tietieto	Tiekuntien yhteystiedot	Yksityistierekisteri	MML	a) Tiekunta b) Vihjetiedot	x
Pysyvä tietieto	Toiminnallinen luokka	Digiroad	Väylä	a) Tiekunta b) Väylä c) Joukkoistettu tiedonkeruu (jat-kossa)	
Pysyvä tietieto (muutostieto)	Uudet ja poistuneet kohteet	KMTK	MML	a) MML b) Vihjetiedot	
Keli ja esteet	Liukkaus	Väylän ohjeet	Väylä	a) Sääennustepalvelut b) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Keli ja esteet	Lumen määrä	Väylän ohjeet	Väylä	Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Kuntotieto	Avustusajankohta	YTPA	YTPA	a) Avustuksen myöntäjät; Metsäkeskus (Kemera), ELY-keskukset, kunnat b) Tiekunta	
Kuntotieto	Kelirikko (alttius)	Digiroad Tierekisteri (Velho)	Väylä	a) Tiekunta b) Kelirikkomallit	
Kuntotieto	Useita alaluokkia: kivet, kuopat, vesakoitumi-nen, tien tasaisuus ym.)	Väylän ohjeet Korpilahti 2008	Väylä Metsäteho Oy		

Kuntotieto	Talvihoidon tilanne	Liikennetilanne	Väylä/YTPA	a) Talvihoitourakoitsijat b) Avustusvuosi/pysyvä asutus => säännöllinen auraus	
Kuntotieto	Tienpidon toimenpiteet	YTPA/MMM lomake	YTPA	a) Tiekunta b) Avustusten myöntäjät	
Kuntotieto	Vaihtuvat painorajoitukset	YTPA (toistuvat Digiroad; tulossa)	YTPA (toistuvat Väylä)	a) Tiekunta b) Joukkoistettu tiedonkeruu (jatkossa)	
Muu tieto	Liikennemäärä (raskas liikenne)	YTPA	YTPA	a) Tiekunta b) Kuljetusyritykset tai kuljetuksen antajat	x (yksittäisen kuljetuksen osalta)

**Yksityisteihin liittyy todennäköisesti enemmänkin henkilötietoja, mutta tulkintaa siitä, onko kyseessä henkilötieto tai vaatiiko henkilötieto salaamista, ei ole tässä vaiheessa tehty (ks. paikka- ja henkilötietojen yhteydestä Korpisaari 2018). Henkilötietoja sisältyy tietoryhmiin mm. silloin, jos tiedonkeruu toteutetaan kuvaamalla (muut liikkujat tiestöllä).*

Yhteenveto raportissa kuvattujen keruumenetelmien soveltuvuudesta eri tiestötietojen keräämiseen (yksittäistenkin menetelmien soveltuvuudessa on eroja riippuen käytössä olevasta laitteistosta).

	Satel-liitti-kuvaus	**Ilma-kuvaus**	**Ilma-laser-keilaus**	**Droonikuvaus/ -keilaus**	**Ajo-neuvo-mittaus**	**Kannet-tavat mitta-laitteet**	**Ajoneuvo-tietokoneiden data (ml. pai-kannus)**	**Ajoneuvo-jen kuva- ja anturidata**	**Älyrenkaat**	**Säämallit ja -ennus-teet**	**Maaperä-, vesistö- ja korkeus-mallit**
Esterakennelma			x	x	x			x			
Kantavuus					x	x					
Keskilinja-geometria	x	x	x	x	x		(x)	(x)			
Kohtaamispaikka		x	x	(x)	x			x			
Kääntöpaikka	x	x	x	(x)	x			x			
Leveys, Kapea kohta	x	x	x	x	x			x			
Näkemäalueet				x	(x)			x			
Piennartie				x							
Pituuskaltevuus			x	x	x		(x)	x			x
Raskaan liiken-teen -ajorajoite*								x			
Sillat ja rummut	x	x	x	x	x			x			(x)
Sivukaltevuus			x	(x)	x	x		x			x
Suurin sallittu -rajoitukset*								x			
Talvihoidon ti-lanne								x	x		
Uudet ja poistu-neet kohteet	x	x	x	x	x		x	x			
Keli ja esteet											
- Kosteus	x				x			x	x	x	x
- Liukkaus					x		x	x	x	x	
- Lumisuus (määrä)	x						(x)	x		x	
- Routa	x										
Tien kunto (esimerkkejä)		(x)	x	x	x	x	x	x	x	x	x
- Kivet				x	x			x	(x)		
- Kuopat					x			x	x		
- Kelirikko				x	x	x	(x)	x			

	Satel-liitti-kuvaus	**Ilma-kuvaus**	**Ilma-laser-keilaus**	**Droonikuvaus/ -keilaus**	**Ajo-neuvo-mittaus**	**Kannet-tavat mitta-laitteet**	**Ajoneuvo-tietokoneiden data (ml. pai-kannus)**	**Ajoneuvo-jen kuva- ja anturidata**	**Älyrenkaat**	**Säämallit ja -ennus-teet**	**Maaperä-, vesistö- ja korkeus-mallit**
- Vesakot	(x)	x	x	x	x			x			
Vaihtuvat paino-rajoitukset*					(x)			x			
Maaperä / pohja-maa	x		x	x	x	x		x		x	x
Ojat		x	x	x	x			x			
Pintarakenne			x	x	x	x	x	x	x		x
Tierunko					x	x					

**Liikennemerkki*