

Metsätehon raportti 217
14.6.2011

**Maastoa ja tiestöä kuvaavan
monilähdeinformaation
hyödyntämismahdollisuudet
puunhankinnassa**

Esiselvitys

Mervi Kokkila

ISSN 1796-2374 (Verkojulkaisu)

METSÄTEHO OY
PL 101 (Snellmaninkatu 13)
00171 Helsinki

www.metsateho.fi

Maastoa ja tiestöä kuvaavan monilähde- informaation hyödyntämismahdollisuudet puunhankinnassa

Esiselvitys

Mervi Kokkila

Metsätehon raportti 217
14.6.2011

ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)

© Metsäteho Oy

Helsinki 2011

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	4
SUMMARY	6
1 TAUSTA JA TYÖN TAVOITE	8
2 PUUNHANKINNAN MAASTOON JA TIESTÖÖN LIITTYVÄT TIETOTARPEET	10
3 TIETOAINEISTOT JA MALLINUS	12
3.1 Yleistä	12
3.2 Korkeustiedot.....	12
3.2.1 Korkeusmallit	12
3.2.2 Laserkeilausdata	13
3.2.3 Laserkeilausdatan ja korkeusmallin hyödyntämismahdollisuuksista	13
3.3 Maaperää kuvaavat aineistot.....	15
3.3.1 Maaperän peruskartta 1:20 000	15
3.3.2 Maaperän yleiskartta 1:200 000	16
3.3.3 Lentogeofysikaaliset mittausaineistot	16
3.3.4 Maaperää kuvaavien aineistojen hyödyntämismahdollisuuksista puunhankinnassa	17
3.4 Tiestö.....	20
3.4.1 Maastotietokanta ja Digiroad	20
4 OLOSUHTEIDEN SPATIAALINEN JA AJALLINEN VAIHTELU	21
4.1 Tiestön olosuhteiden kuvaaminen.....	21
4.2 Maaperän kosteuden kaukokartoitus.....	22
4.3 Roudan kaukokartoitus	24
4.4 Lumen kaukokartoitus	25
4.5 Olosuhteiden seurannan kaukokartoitustuotteista Suomessa.....	26
4.6 Sääennusteet.....	27
5 AIHEALUEEN TUTKIMUSORGANISAATIOITA JA -HANKKEITA	27
5.1 Ilmatieteen laitos	27
5.2 Geologian tutkimuskeskus	28
5.3 Geodeettinen laitos.....	29
5.4 Yliopistot.....	29
6 TARKASTELU	29
LÄHTEET	31

TIIVISTELMÄ

Nykyisin saatavilla on runsaasti erilaisia maastoa ja tiestöä kuvaavia paikkatietoaineistoja ja kaukokartoitusmenetelmien kehittymisen myötä myös olosuhteiden seuranta on mahdollista. Tämän selvityksen tavoitteena olikin kartoittaa puunhankinnan näkökulmasta olennaiset maastoa ja tiestöä kuvaavat paikkatietoaineistot ja tiedontuotannon menetelmien nykytila. Tässä yhteydessä on syytä ottaa huomioon, että puunhankinnassa maasto- ja tiestötieto on pääosin sekä ajan että paikan suhteen muuttuvaa, ”elävää” tietoa, johon pelkillä perinteisillä muuttumattomia ominaisuuksia kuvaavilla aineistoilla (esim. maalaji, topografia) ei päästä käsiksi. Tämän vuoksi selvityksessä tarkasteltiin erityisesti kaukokartoituksen mahdollisuuksia aika- ja paikkatiedon tuottamiseen. Tutkimus kuuluu Metsäklusteri Oy:n EffFibre-tutkimusohjelmaan.

Tietoaineistoja ja menetelmiä käytiin läpi työn alkuvaiheessa puunhankintaorganisaatioille tehdyn tietotarvekartoituksen pohjalta. Tietotarpeiden keskeisin teema oli olosuhteiden ajallisen ja spatiaalisen vaihtelun kuvaaminen. Puunhankinnan kannalta olennaisia olosuhdemuutoksia tulisi pystyä seuraamaan ja ennakoimaan nykyistä paremmin, jotta reagointi muutoksiin saataisiin oikea-aikaiseksi. Tehokas olosuhdemuutoksiin reagointi edellyttää lisäksi kattavaa tietoa reagoinnin kannalta olennaisista korjuukohteen ominaisuuksista sekä parhaiden toimintatapojen määrittelyä eri olosuhteisiin. Tällöin avainasemaan koko puunhankinnan toimitusketjun kannalta nousevat korjuukohteen oston yhteydessä tehtävät korjuukohteen kulkukelpoisuuden, varastopaikkojen sekä tiestön ominaisuusmäärittelyt. Näitä määrittelyjä hankintaorganisaatiot toivoivat voivansa tehdä entistä enemmän erilaisen paikkatietoaineistojen pohjalta, jotta maastossa tehtävää suunnittelutyötä voitaisiin vähentää. Korjuun toteutusta varten korjuukohteen sisäistä ominaisuusvaihtelua tulisi myös kyetä kuvaamaan nykyistä tarkemmin.

Selvityksessä tarkastellaan muuttumattomien tai hitaasti muuttuvien aineistojen (korkeusmalli, maaperäaineistot) ohella erityisesti kaukokartoituksen tarjoamia mahdollisuuksia olosuhteiden seurantaan. Lisäksi työssä on selvitetty tiestön olosuhdemallinnuksen mahdollisuuksia ja sääennusteiden nykytilaa sekä kartoitettu selvityksen aihepiiriin kuuluvien tutkimuslaitosten tutkimussuuntia sekä tutkimushankkeiden sisältöä.

Potentiaalisin uutta maastoinformaatiota tarjoava aineisto on uusi laserkeilaukseen perustuva 2 m x 2 m korkeusmalli. Tämän aineiston tarjoamien monenlaisten mahdollisuuksien informaatioarvo puunhankintaan kannattaa selvittää ensimmäisenä. Korkeusmallin ohella myös Geologian tutkimuskeskuksen (GTK) maaperäaineistojen, erityisesti lentogeofysikaalisten aineistojen käyttöarvoa puunhankinnan tarpeisiin kannattaa selvittää yhteistyössä GTK:n kanssa. Nämä aineistot ovat kattavasti numeerisena saatavilla ja vaikka niillä ei pystytäkään pistekohtaiseen ominaisuustarkasteluun, ne voivat antaa korkeusmalliin yhdistettynä arvokasta alueellista tietoa erityisesti turvemaiden ominaisuusvaihtelusta. GTK:lla on paras asiantuntemus Suomen maaperän piirteistä, maaperäaineistoista ja maaperäkartoituksen

mahdollisuuksista, joten se on luontevin yhteistyötaho kulkukelpoisuuden kannalta olennaisen maaperätiedon tuottamiseen tähtäävissä hankkeissa.

Mahdollisuudet puunhankinnan tarpeisiin räätälöityjen sääennustepalveluiden kehittämiseen olivat myös hyvät. Monipuolisuutensa vuoksi paras yhteistyötaho puunhankinnan olosuhteiden seurannan ja ennakkoinnin menetelmä- ja palvelukehitystä pohdittaessa on Ilmatieteen laitos, jolla on laaja-alaista säähän ja olosuhteiden seurantaan liittyvää palvelu- ja tutkimustointaa. Laitoksella mm. tuotetaan sääpalveluita eri toimialoille, tehdään kielirikkoennustamiseen liittyvää mallinnusta ja simulointia sekä tutkitaan kaukokartoituksen mahdollisuuksia maaperän kosteuden, roudan ja lumen kuvaamiseen.

THE USE POTENTIAL OF TERRAIN AND ROAD MAPPING MULTI-SOURCE DATA IN WOOD PROCUREMENT

Preliminary study

SUMMARY

The range of geographical data available for terrain and road mapping purposes is considerable, and with the development of remote sensing techniques, field conditions monitoring is now also a reality. The aim of this study was to examine the most important spatial data sets used for terrain and road mapping with respect to wood procurement, and to assess the current status of contemporary data production methods. Within the wood supply context, the vast majority of forest terrain and road data consists of both temporally and spatially variable ‘living’ information which cannot be obtained solely from conventional data sets that describe fixed, unchanging properties (e.g. soil, topography). For this reason, the study focused on the potential offered by remote sensing in the production of spatio-temporal geographical information. This study was carried out as part of Forestcluster Ltd’s EffFibre (Value Through Intensive and Efficient Fibre Supply) research programme.

During the first phase of the study, data sets and methods were examined based on an information needs analysis conducted with a number of wood supply organisations. The main theme emerging from the analysis results was the need for mapping temporal and spatial variation in site conditions. Essential condition changes with respect to wood procurement need to be monitored and better anticipated so that reaction to these changes can be appropriately timed. In addition, the ability to react efficiently to condition changes requires comprehensive information about the relevant key characteristics of the harvesting site, as well as the definition of best practices specific to different site conditions. The appraisals of harvesting site trafficability, landing areas and roads carried out during site purchasing are therefore crucial with respect to the wood supply chain as a whole. The procurement organisations included in the study expressed a need to be able to carry out these appraisals on a geographical data basis where possible in order to reduce the amount of survey work needed in the field. For harvesting purposes, the variability of harvesting site characteristics should also be mappable in more detail.

In addition to unchanging or slowly changing data sets (elevation model, soil data sets), the study also examines the potential for conditions monitoring offered in particular by remote sensing. In addition, the study investigated the potential for road condition modelling, assessed the current status of weather forecasting, and examined the research orientation and content of research projects conducted by the research institutions falling within the subject scope of the study.

The data set with the most potential in terms of offering new terrain data is the new laser scanning based 2 m x 2 m elevation model. The information value offered by this data set with respect to wood procurement should first be clarified. In addition to the elevation model, also the utility value of the soil databanks and, particularly, airborne geophysical data sets of the Geological Survey of Finland (GTK) with respect to the needs of wood procurement need to be clarified in cooperation with GTK. The data sets are fully digital and, although they cannot be used for point-specific examination of site characteristics, they can, when combined with the elevation model, provide valuable area information, particularly regarding variation of peatland site parameters. GTK is the leading expert on Finnish soil characteristics, soil data sets and soil mapping potential, and is therefore a natural cooperation partner for projects aiming at the production of soil data for trafficability assessment.

The opportunities for developing tailored weather forecasting services for the needs of wood procurement were also found to be good. Due to its versatility, the leading cooperation partner with respect to the development of methods and services for the monitoring and forecasting of wood procurement conditions is the Finnish Meteorological Institute, which conducts extensive weather and conditions monitoring service and research activities. The institute produces tailored weather services for different industrial sectors, conducts frost damage forecasting modelling and simulations, and investigates potential uses for remote sensing in soil moisture, frost and snow mapping.

1 TAUSTA JA TYÖN TAVOITE

Tietojärjestelmät ja niiden välittämät tiedot ovat nousseet keskeiseksi tekijäksi puunhankinnassa. Nykyisillä puunkäyttötavoilla ja raaka-aineen laatuvaatimuksilla pienistä ja hajallaan sijaitsevista yksittäisistä metsäkohteista muodostuvaa varantoa ja pienistä metsäteiden varsilla sijaitsevista puutavaraeristä muodostuvaa raaka-ainevarastoa olisi mahdotonta ohjata oikeisiin käyttöpaikkoihin ilman ajantasaista tietovarastoa, tiedon hallinnan mahdollistavia laitteita ja ohjelmistoja sekä toimivaa ja määrämuotoista tiedonvälittämistä. Tietojärjestelmät ovat mullistaneet myös työn sisällön hankintaprosessin eri vaiheissa. Järjestelmät ovat mahdollistaneet uudenlaisen pääsyn koottuun tietoon hankintaprosessin eri toimijoille. Tämä on puolestaan mahdollistanut työtehtävien ja työn vastuiden uudenlaisen jaon. Järjestelmien myötä myös aiemmin kasvokkain tapahtuneesta tiedonvälityksestä on siirrytty yhä enemmän tietojärjestelmien välityksellä tapahtuvaan tiedonvälitykseen. Tällainen tietoon perustuva raaka-aineen tuotantoprosessi voi toimia hyvin vain kun järjestelmän käsittelemä tieto on laadukasta.

Tiedon laadun käsite on moniulotteinen. Pohjimmiltaan kyse on kuitenkin siitä, että päätöksenteon kannalta oleelliset tiedot ovat saatavilla oikeaan aikaan ja niitä voidaan pitää luotettavina päätöksen merkittävyys huomioon ottaen. Määritelmä pitää sisällään tiedon oleellisuuden, saatavuuden, oikea-aikaisuuden ja luotettavuuden. Tiedon luotettavuutta voidaan puolestaan ajatella päätöksentekijän roolin kautta: voinko tiedonkäyttäjänä luottaa, että tieto on koottu ja tallennettu oikein ja se on ajantasaista? Tiedon laadun käsite muodostaa hyödyllisen pohjan pohdittaessa puunhankinnan prosessien tietotarpeita ja tietojen laadun nykyistä tasoa. Tällaisessa tarkastelussa on hyvä arvioida myös tiedon merkittävyyttä koko tuotantoprosessin onnistumisen kannalta. Tällöin on mahdollista tunnistaa tärkeimmät tietovajeet ja löytää tiedon laadun kannalta arvokkaimmat kehittämiskohteet.

Puunhankinnan onnistumisen yhtenä edellytyksenä on puuraaka-aineen korjuun ja kuljetuksen oikea ajoittaminen suhteessa luonnonolojen spatiaaliseen ja ajalliseen vaihteluun. Perinteisesti tätä vaihtelua on kuvattu esimerkiksi metsäsuunnitelman 3-portaisella metsikkökuvioiden korjuukelpoisuusluokituksella, jossa metsikkökuviointi muodostaa spatiaalisen aluejaon ja ajoittamisen perustana on kohteen saavutettavuus, puulajin vaurioherkkyys sekä maaperän kantavuus eri vuodenaikoina. Puunhankinnan toimintaympäristön muutokset ovat kuitenkin luomassa tarpeen aiempaa hienopiirteisemmälle korjuukelpoisuusluokitukselle ja toisaalta uudet maastoa ja sen olosuhteita sekä metsää kuvaavan informaation tuotantotavat sekä korjuuteknologian monipuolistuminen saattaisivat tällaisen luokituksen myös mahdollistaa.

Turvemaiden lisääntyvät harvennusalat, ilmastonmuutos sekä energiapuun korjuu ovat esimerkkejä puunhankinnan toimintaympäristön muutoksista, joissa hienopiirteisemmästä korjuukelpoisuuden luokituksesta olisi hyötyä. Hienojakoisemmalla luokituksella pitäisi pystyä erottelemaan ja rajaamaan esimerkiksi turvemaiden korjuukohteista potentiaaliset kesäkorjuukohteet. Ilmaston muuttuminen lämpimämmäksi ja sateisemmäksi puolestaan vesittää nykyisin käytetyn luokittelun perusteita kun talvikorjuuolot harvinaistu-

vat ja kelirikkokaudet yleistyvät ja toisaalta loppukesien kuivina jaksoina korjuuolot voivat parantua monilla nykyisin heikosti kantavilla kohteilla. Osaltaan hienopiirteisemmälle korjuukelpoisuusluokitukselle ja maaperän vahvistamista tarvitsevien riskikohteiden kartoitukselle olisi käyttöä myös energiapuun korjuussa, joka on siirtänyt aiemmin kuormatraktorin kulkualustan vahvistamiseen käytettyä materiaalia kuormatraktorin kuljetettavaksi ja kulkualustaa kuormittavaksi tekijäksi. Nämä puunhankinnan toimintaympäristön muutokset merkitsevät siten talvikorjuukelpoisiksi määriteltujen korjuukohteiden karsintaa, kelirikkokelpoisten kohteiden määrän lisäämistä sekä tarvetta maaperän vahvistamistarpeen pienipiirteisemmälle määrittelylle.

Suomessa korjuukoneiden kehitystyöllä on pitkät ja vahvat perinteet ja työn tuloksena kokoluokaltaan, alustaratkaisuiltaan ja varustelultaan erilaisia korjuukoneratkaisuja on tarjolla runsaasti. Erikoiskoneiden lisäksi kehitystyön yksi suuntaus on ollut yleiskäyttöisten korjuukoneiden muunneltavuuden lisääminen, jolloin korjuukone voidaan varusteratkaisuilla sopeuttaa erityyppisille korjuukohteille. Korjuuteknologian kehittyminen mahdollistaa siten osaltaan mm. nykyisin talvikorjuukelpoisiksi korjuukohteiksi määriteltujen korjuukohteiden sulan maan aikaista puunkorjuuta. Tällöin on tärkeää pystyä kuvaamaan korjuukohteiden olosuhteita ja määrittelemään millaisia korjuukoneiden ominaisuuksia puunkorjuukohteilla edellyttää.

Avainasemassa hienopiirteisemmässä luokituksessa on maastoa ja metsää kuvaavan informaation hyödyntäminen. Saatavilla on runsaasti eri organisaatioissa tuotettuja paikkatietoaineistoja ja metsiä sekä maastoa kuvaavien kaukokartoitusmenetelmien kehitystyö luo mahdollisuuksia uusille aineistoille. Puunhankinnan osalta ei kuitenkaan ole kartoitettu hankintaprosessiin liittyvän metsätiedon nykytarpeita tai arvioitu saatavilla olevien informaatiolähteiden käyttöarvoa tietotarpeiden täyttämässä. Puunhankinnan näkökulmasta ei ole myöskään tarkasteltu uusimpien aihealuetta palvelevien tiedonkeruumenetelmien nykytilaa tai kehitysnäkymiä. Tämän seurauksena, olemassa olevaa informaatiota ei luultavasti hyödynnetä puunhankinnan suunnittelussa täysimääräisesti eikä tutkimuspanosta pystytä suuntaamaan aihealuetta parhaiten palveleville hankkeille ja lisäksi tutkimusyhteistyö, joka on keskeistä tutkimustiedon uusien sovelluskohteiden löytämisessä, jää helposti puutteelliseksi.

Tämän selvityksen tavoitteena on

- kuvata puunhankinnan eri vaiheissa tarvittavan maasto- ja tiestötiedon nykyiset tietotarpeet ja pyrkiä arvioimaan tietotarpeiden lähitulevaisuuden muutossuuntia
- kartoittaa tietotarpeiden perusteella eri organisaatioiden tuottamat paikkatietoaineistot ja arvioida niiden hyödyntämismahdollisuuksia puunhankinnassa tarvittavan metsätiedon tuottamiseen asiantuntija-arvioiden ja tutkimustiedon perusteella

- selvittää aihealueelta eri organisaatioiden keskeiset tutkimus- ja kehityshankkeet sekä arvioida niiden hyödyntämismahdollisuuksia puunhankinnan suunnittelussa tarvittavan metsätiedon tuottamiseen. Tietolähteenä käytetään hanketietokantoja, tutkimusjulkaisuja sekä asiantuntija-arvioita.

Tutkimus kuuluu Metsäklusteri Oy:n EffFibre-tutkimusohjelmaan.

2 PUUNHANKINNAN MAASTOON JA TIESTÖÖN LIITTYVÄT TIETOTARPEET

Puuraaka-aineen hankinta poikkeaa monen muun raaka-aineen hankinnasta vahvalla olosuhdesidonaisuudellaan. Hankinnassa tasapainoillaan raaka-aineen määrään ja laatuun liittyvien vaatimusten sekä ajallisesti vaihtelevien raaka-aineen laatutekijöiden ja korjuu- ja kuljetusmahdollisuuksien välissä. Tällöin olosuhdemuutosten ennakointi ja oikea-aikainen reagointi hankinnan kannalta merkittäviin olosuhdemuutoksiin sekä olosuhteisiin sopivien toimintatapojen käyttö ovat avainasemassa, jos olosuhteiden tuomia mahdollisuuksia ja rajoitteita halutaan ottaa puunhankinnassa nykyistä paremmin huomioon. Käytännössä tämä edellyttää maastoa ja tiestöä kuvaavan hyvälaatuisen paikkatiedon määrän lisäämistä, hankinnan kannalta merkittävän olosuhdevaihtelun kuvaamista erilaisten spatiaalisten aineistojen ja mallien yhdistelmällä sekä luotettavia kriteereitä puunhankinnan kannalta merkittävien olosuhdemuutosten tunnistamiseen. Tämän lisäksi hankintaorganisaation olisi hyvä määritellä toimivimmat käytännöt erilaisiin olosuhteisiin, jotta olosuhdemuutoksiin reagointi saadaan mahdollisimman nopeaksi ja tehokkaaksi.

Ajallisen olosuhdevaihtelun lisäksi hankinnan olosuhteet vaihtelevat Suomen tasolla myös alueellisesti. Alueiden erityispiirteiden yhtenäinen paikkatietoon pohjautuva analysointi on toisaalta alueiden hankintatavoitteiden asettamisen perusta mutta sitä tarvitaan myös arvioitaessa alueen puunhankinnan herkkyyttä erilaisiin poikkeaviin olosuhteisiin sekä määriteltäessä alueiden erityispiirteisiin parhaiten sopeutettuja puunkorjuun ja puutavaran kuljetuksen käytäntöjä. Väistämättä poikkeavat olosuhteet aiheuttavat enemmän muutoksia puunhankintaan esimerkiksi alueilla, joilla tietiheys on alhainen ja turvemaita on paljon, kuin alueilla, joilla on kattava ja kantava tieverkko sekä runsaasti kantavuudeltaan hyviä kovapohjaisia kivennäismaita. Näin ollen voidaan olettaa, että häiriöherkillä alueilla olosuhteiden seuranta, hyvä reagointivalmius ja toimivien käytäntöjen määrittely on vieläkin tärkeämpää kuin alueilla, joilla poikkeavat olosuhteet vaikuttavat hankintaan vähemmän. Alueiden maastoon ja tiestöön liittyvien erityispiirteiden ja olosuhdeherkkyyden analysoinnissa tarvitaan tietoja alueen tiestöstä, vesistöistä, turvemaiden ja metsätalousmaalla esiintyvien hienojakoisten kivennäismaiden määristä sekä puunkorjuuseen ja puutavaran kuljetukseen vaikuttavasta kiinteistö rakenteesta, asutuksesta ja maanviljelyksestä.

Tietotarve kertoo jo terminä, että tieto on käyttäjän päätöksenteon ja toiminnan kannalta arvokasta. Tästä tiedonkäyttäjän näkökulmasta tarkasteluna puunhankinnan lisätiedon tarpeet kohdentuvat ostoiesimiehen ja korjuuyrittäjän päätöksenteon tukemiseen. Ostoiesimiehen tekemät määräykset kohteen kuljetus- ja korjuukelpoisuudesta ovat avainasemassa hankinnan operatiivisessa toteutuksessa. Siten tässä työvaiheessa tarvitaan luotettavaa kohdetta kuvaavaa maasto- ja tiestötietoa, joka auttaa sekä maastossa tehtävän tiedonkeruun kohdentamisessa korjuun tai kuljetuksen kannalta olennaisiin seikkoihin että kohteelle sopivimpien toimintatapojen määrittelyssä. Tällä tavoin määritellyt kohteelle sopivimmat käytännöt ovat myös paremmin perusteltavissa puunmyyjälle. Samalla voidaan välttää kategoriset toimintamallit esim. ”kaikki harvennukset tehdään talvella” ja lisätä operatiivisen toiminnan ajoittamisen mahdollisuuksia. Olosuhteiden osalta kohteiden korjuujärjestyksen peruseriaatteena on, että ensin korjataan heikoimmat korjattavissa olevista kohteista. Hyvälaatuinen kohdetieto auttaa siten myös korjuuesimiestä ohjaamaan eri olosuhteisiin sopivat kohteet oikeaan aikaan korjuuyrittäjälle korjuuohjelman tekoa ja korjuun toteutusta varten.

Korjuujärjestyksen määrittämisen jälkeen maasto- ja tiestötiedon käytössä siirrytään kohteiden välisten erojen vertailusta kohteen sisäistä ominaisuusvaihtelua kuvaavien tietojen käyttöön. Tällöin paikkatiedolla täytyy pystyä esittämään puunkorjuun toteutuksen kannalta merkittävä spatiaalinen vaihtelu kohteella. Tällöin merkittäviä tekijöitä ovat esimerkiksi kohteen maalajivaihtelu, mahdollisen turvekerroksen paksuus ja ohutturpeisilla paikoilla myös turvekerroksen alla olevan maalajin vaihtelu, maaperän kosteusvaihtelu, pienten vesiuomien sijainti, rinnekaltevuus ja johtoyhteyksien sijaintitiedot.

Tässä selvityksessä tehtävän tietotarpeiden kartoituksen tavoitteena on löytää keskeisimmät maasto- ja tiestötiedon tietovajeet. Yksi tärkeimmistä teemoista, joka kartoituksessa on tullut esiin, on tietotarve olosuhteiden vaihtelusta. Ajallisen olosuhdevaihtelun kuvaaminen liittyy keskeisimmin jakso-/kausitason suunnitteluun sekä operatiiviseen suunnitteluun ja se kulminoituu toiminnan kannalta korjuu- ja kuljetusohjelmien laatimiseen. Toinen keskeinen teema on korjuukohteiden sisäisen vaihtelun kuvaaminen. Osaa näistä tiedoista tarvitaan pohjatietona olosuhdevaihtelun kuvaamisessa ja osaa käytetään pohjatietona korjuun toteutuksessa. Konkreettisia lisätiedon tarpeita ovat mm. ennakkoraivaustarpeen arviointi sekä turvemaiden vähäpuustoisten alueiden ja ojaverkon kuvaaminen. Kuten edellä on mainittu, myös puro- ja norouomien sijainnista ja johtoyhteyksistä tarvitaan lisätietoa.

Tässä selvityksessä tarkastellaan seuraavia, tietotarpeiden kartoituksen pohjalta määriteltyjä aihepiirejä:

- Ohut- ja paksuturpeisten alueiden rajaaminen
- Kivennäismaalajien spatiaalisen vaihtelun kuvaaminen (hienojakoisten kivennäismaiden erottaminen, pehmeikköjen kartoitus, kivisyyden kartoitus)
- Maaperän kosteusolojen ajallisen ja spatiaalisen vaihtelun kuvaaminen

- Pienten vesiuomien kartoitus
- Tiestö, tiestön kuntokartoitus ja tiestön ajallisen ja spatiaalisen olosuhdevaihdelun kuvaaminen sekä puunhankinnan kannalta kriittisten tiestöosien määrittäminen
- Olosuhteiden seurannan ja ennustaminen menetelmät (roudan mallintaminen, lumen ominaisuudet, spatiaaliset säähavaintoaineistot, erilaiset sääennusteet
- Johtoyhteydet.

Tässä työssä ei käsitellä turvemaiden puustomäärän spatiaalisen vaihtelun kuvaamista eikä ennakkoraivaustarpeen arviointia, koska nämä ovat puustoon liittyvinä selkeästi tämän selvityksen aihealueen ulkopuolella. Lisätietoja näistä aiheista on saatavilla metsänarvioinnin tutkimusartikkeleista sekä eri laitosten tutkijoilta (esim. Helsingin ja Joensuun yliopistoista, Metsän tutkimuslaitoksesta sekä Metsätehosta).

3 TIETOAINESTOT JA MALLINNUKSEKSI

3.1 Yleistä

Keskeisimmät paikkatiedon tuottajat puunhankinnan näkökulmasta ovat maanmittauslaitos (MML), geologian tutkimuskeskus (GTK) sekä ilmatieteen laitos. Maanmittauslaitoksen aineistoista tässä selvityksessä tarkastellaan numeerisia korkeusmalleja, laserkeilausdataa sekä maastotietokannan tietosisältöä. Geologian tutkimuskeskus tuottaa tietoa maa- ja kallioperästä yhteiskunnan ja elinkeinoelämän tarpeisiin. Tässä selvityksessä tarkastellaan GTK:n tuottamista aineistoista maaperäkartoja sekä lentogeofysikaalisia mittausaineistoja. Ilmatieteen laitos on puolestaan liikenne- ja viestintäministeriön alainen palvelu- ja tutkimuslaitos, joka tuottaa tutkimukseen ja havaintoaineistoihin pohjautuvia sää-, meri- ja ilmastopalveluja. Tässä selvityksessä tarkastellaan Ilmatieteen laitoksen sääennusteita ja tiesäämallia sekä olosuhteiden seurannan tutkimusta lumen, roudan, maaperän kosteuden osalta.

3.2 Korkeustiedot

3.2.1 Korkeusmallit

Maastokartan korkeuskäyrien lisäksi kohteen topografiaa voidaan puunhankinnan tarpeisiin kuvata myös erilaisilla korkeusmalleilla, joista rasterikorkeusmalli on yleisimmin käytetty mallityyppi. Ruutu- eli rasterimallissa ruudun koko (esim. 2 m x 2 m) ilmaisee korkeusasemia kuvaavan pisteistön pistevälin. Rasterikorkeusmallin etuna on sen helppokäyttöisyys erilaisissa analyyseissä. Suuren ruutukoon malleissa puutteena on kuitenkin se, että maaston pienipiirteinen vaihtelu suodattuu pois mallista. Aiemmin rasterikorkeusmallit on tuotettu korkeuskäyräaineistosta, mutta maanmittauslaitoksen uusimman korkeusmallin (2 m) mallituotanto perustuu maanpinnan laserkeilausdataan.

Maanmittauslaitos on tuottanut Suomesta koko maan kattavana 1990-luvulla 25 m x 25 m korkeusmallin sekä pääosin maastotietokannan ajantasaistuksen yhteydessä 10 m x 10 m korkeusmallin. Molemmat mallit perustuvat korkeuskäyriin, mutta 10 m:n malli on tuotettu noin 75 prosenttisesti maastotietokannan ajantasaistuksessa tarkennetuista korkeuskäyristä ja vain loppuosaltaan päivittämättömistä korkeuskäyristä. Korkeusmalli 10 m on tällä hetkellä tarkin koko maan kattava korkeusmalli. Malli tarkentuu vähitellen sitä mukaa kun 2 m:n korkeusmalli valmistuu. 10 m:n korkeusmallin korkeustarkkuus on n. 2 m ja uuden tarkemman 2 m:n mallin korkeustarkkuus on 0,3 m. (MML, 2011) (Laaksonen, 2009) Tällä hetkellä 2 m:n malli kattaa lähinnä tulvaherkkiä rannikkoalueita, mutta Maa- ja metsätalousministeriön Korkeustieto –yhteistyöryhmän loppuraportin mukaan, tavoitteena pidetään valtakunnallista kattavuutta v. 2020 mennessä (MMM, 2009)

3.2.2 Laserkeilausdata

Laserkeilauksessa aktiivinen sensori, laserkeilain, lähettää laserpulseja kohteeseen, josta pulssit heijastuvat takaisin sensoriin. Pulssiosumia saaneen kohteen sijainti ja korkeus voidaan määrittää, laserkeilaimen tarkan sijaintitiedon ja laserpulssin kulkeman ajan perusteella. Laserkeilain mittaa myös paluupulssin voimakkuuden eli intensiteetin. Tällä tavoin määritettyjen kohteiden pistejoukko (pistepilvi) edustaa kaikkia niitä kohteita, joihin laserkeilaimesta lähtenyt laserpulssi on osunut ja lähettänyt kaiut eli paluupulssit. Viimeisin kaiku tulee kohteesta, jota pulssi ei pysty läpäisemään. (Laaksonen, 2009) Korkeusmallin tuotannossa käytetty laserkeilausdata on hankittavissa maanmittauslaitokselta. Aineisto on saatavilla myös automaattisesti maanpintaluokiteltuna, jolloin aineistosta on etsitty maanpintaa edustavat laserpulssien osumat. (MML, 2011)

Suomessa mm. geodeettinen laitos keskittyy laserkeilausmenetelmien ja -prosessien kehittämiseen sekä laserkeilauksen intensiteettidatan käyttömahdollisuuksien arviointiin. Laitoksella tutkitaan myös ns. superjatkumolaser-teknikkaa, joka mahdollistaisi entistä monipuolisemman informaation tuottamisen laserkeilauksella. (GL, 2011)

3.2.3 Laserkeilausdatan ja korkeusmallin hyödyntämismahdollisuuksista

Laserkeilausdataa voidaan tulevaisuudessa hyödyntää puunhankinnassa muuhunkin kuin puuston arviointiin. Laserkeilauksella tuotettu maastomalli antaa maaston topografiasta nykyistä huomattavasti tarkemman kuvan. Uusi korkeusmalli antaa myös joissakin tapauksissa hyvin havainnollista ja suoraa uutta informaatiota alueen maaperän maalajivaihtelusta paljastaessaan maaperää kuvastavia topografian piirteitä, joita ei ole aiemmin kyetty havaitsemaan edes maaperäkartan maastotöissä. (GTK, vierailu 2011)

Paikkatieto-ohjelmistojen uudet työkalut (mm. ArcGIS10 3D Analyst -laajennus) mahdollistavat kolmiulotteisen mallin tekemisen suoraan laserkeilausdatan pistepilvestä sekä uusien kohteiden sijoittamisen malliin. (Esri,

2011) Menetelmä on kiinnostava muihin aineistoihin yhdistettynä esim. korjuukohteen visualisoinnin näkökulmasta. Laserkeilauksella saadaan myös puunkorjuun ajourasuunnittelua varten maastokarttaa luotettavimmat tiedot ojien sijainnista. Aineistosta voisi olla myös mahdollista hahmottaa maanpinnan kivisyyttä eräänlaisen ”roughness” -indeksin avulla (GTK, vierailu 2011) ja mm. Davenport (2003) on esittänyt tämänkaltaista laserkeilausdatan käyttämistä maanpinnan karkeuden kuvaamiseen. Paluupulssin voimakkuuden eli intensiteetin käyttömahdollisuuksia kannattaa myös selvittää, koska kohteen pinnan ominaisuudet ja kohteen koko vaikuttavat pinnan sitomaan ja heijastamaan sekä sirottamaan säteilyyn.

Korkeusmallia voidaan helposti hyödyntää korjuukohteiden rinnekaltevuu- den visualisointiin. Tämän lisäksi tarkka korkeusmalli on olennainen osa esimerkiksi Suvinen (2006) ja Suvinen ym. (2009) esittämässä maaston kul- kukelpoisuuden paikkatietopohjaisessa mallinnuksessa. Puunhankinnan nä- kökulmasta mallia voidaan käyttää myös pienten vesiuomien tunnistami- seen, kun koekartoituksella on aluksi selvitetty valuma-alueen pinta-ala, jo- ka vesiuoman muodostumiseen tarvitaan. Esimerkiksi tutkimusalueella Ka- nadassa tämä pinta-ala on ollut 4 hehtaaria (Murphy ym. 2009) ja ruotsalai- sessa tutkimuksessa 15 hehtaaria (Rodhe ja Seibert, 1999). Valuma-alueen laskenta ja vedenreititys korkeusmallipinnalla tehdään algoritmilla, joka rei- tittää jokaisesta pikselisolusta laskennallisen veden joko jyrkimmän pudot-uksen suuntaan (F8-algoritmi) tai suositeltavammassa tavassa kaikkien alempana sijaitsevien pikseleiden suuntaan pudotusten suhteessa (ns. FD8- algoritmi) (Wilson ja Gallant, 2000).

Korkeusmallia voidaan kuitenkin soveltaa myös veden kertymisen kuvaami- seen. Tällöin perusoletuksena on, että topografia ohjaa vedenkulkua. Suo- men oloissa tämän oletuksen voi olettaa pitävän paikkansa varsin hyvin, koska täällä yleisenä esiintyvillä moreenimailla maaperän vedenjohtavuus alenee syvemmälle maaprofiiliin mentäessä (Lind ja Lundin, 1990), mikä ohjaa veden kulkemaan pinnansuuntaisesti.

Topografian vaikutusta kosteiden alueiden muodostumiseen on useissa tut- kimuksissa hahmoteltu erilaisten kosteusindeksien avulla. Näistä tavallisin on ns. SWI-indeksi ($SWI = \ln(A/\tan\beta)$), jossa A on laskentapisteen yläpuoli- sen valuma-alueen pinta-ala ja $\tan\beta$ rinnekaltevuus laskentapisteessä (mm. Wilson ja Gallant, 2000). Näin ollen indeksi saa suuren arvon kun valuma- alueen koko on suuri ja rinnekaltevuus pieni. Indeksillä on muodostamistaval- taan looginen ja sen voisi olettaa toimivan kosteiden alueiden paikantami- sessa. Indeksissä on kuitenkin taustaoletuksia, jotka heikentävät sen toimi- vuutta. Indeksissä oletetaan, että jokainen alueen piste on koko ajan yhtey- dessä koko yläpuoliseen valuma-alueeseensa. Indeksillä ei siten edes peri- aatteessa kyettä kuvaamaan alueen ajallista kosteusvaihtelua, jossa todellisen valuma-alueen koko vaihtelee, mutta indeksi voi kuitenkin auttaa hahmot- tamaan veden kertymiselle alttiita maastonkohtia.

Huomattavasti merkittävämpi rajoite SWI-indeksin käyttökelpoisuuteen on se, että em. perusmuodossaan indeksi ei ota huomioon alapuolisen valuma- alueen vaikutusta laskentapisteen kosteusoloihin. Kuitenkin rinteiden alaosan

koveruus tai kuperaus käytännössä vaikuttaa myös jonkin verran korkeammalla tasolla sijaitsevien alueiden kosteustilanteeseen. Hjerdt ym. (2004) ja Murphy ym. (2009) ovatkin esittäneet viimeisimpiä parannusehdotuksia indeksiin, joissa molemmissa otetaan hieman eri tavoin huomioon alapuolisen valuma-alueen vaikutus laskentapisteen kosteustilanteeseen. Verrattuna SWI-indeksiin Hjerdt ym. (2004) esittämä $\tan \alpha_d$ -indeksi paransi suoalueiden laskennallista rajausta Ruotsin keskiosassa sijaitsevalla tutkimusalueella. Myös Murphy ym. (2009) esittämä DTW-indeksi, joka kuvaa laskentapisteen pienintä korkeuseroa alapuolisen vesiuoman korkeusasemaan, korreloi joiltain osin paremmin maaperän ominaisuuksien kanssa kuin tavallinen SWI-indeksi (Murphy, 2011). Kanadassa sijaitsevalla tutkimusalueella DTW-indeksin sama-arvokäyrät olivat yhdensuuntaisia kartoitettujen kosteiden alueiden rajauksien kanssa ja $DTW_{1,5\text{ m}}$ selitti 71 % kartoitettujen kosteiden alueiden jakaumasta kun korkeusmallina käytettiin LiDAR:lla tuotettua korkeusmallia (Murphy, 2009).

Suomalaisen puunhankinnan näkökulmasta on mielenkiintoista, että korkeusmalliin, kartoitettuihin vaka- ja virtavesiin sekä näiden avulla määritettyyn DWT-indeksiin perustuvaa maaston kosteiden alueiden sekä pienten vesiuomien kartoitusta hyödynnetään jo operatiivisessa puunhankinnassa Kanadassa ja Yhdysvalloissa (Murphy ym. 2008). Menetelmällä saatavat lisätiedot riskialueista ovat osoittautumassa hyödyllisiksi puunhankinnan suunnittelussa ja toteutuksessa mm. ennestään tuntemattomien vesiuomien ja kosteikkojen paikantamisessa, tiestön suunnittelussa ja rakentamisessa kartoitettaessa vesiuomien ja tiestön leikkauskohtia sekä kartoitettaessa puunhankintaa rajoittavia kosteikkojen luontokohteita. Tällä hetkellä menetelmällä on kartoitettu kosteat alueet ja vesiuomat jo 70 milj. hehtaarin alueelta. Jatkossa menetelmää on tarkoitus soveltaa nykyistä pienipiirteisemmän maaperää kuvaavan ominaisuustiedon tuottamiseen sekä tätä kautta myös maaston korjuukonekohtaisen kulkukelpoisuuden arviointiin (Vega-Nieva ym. 2009) mm. Helsingin yliopistossa tehtyyn terramekaniikan tutkimustyöhön pohjautuen.

3.3 Maaperää kuvaavat aineistot

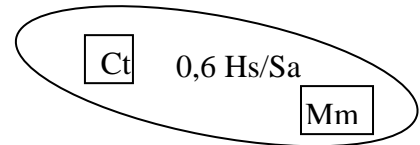
3.3.1 Maaperän peruskartta 1:20 000

Maaperää kuvaavan peruskartan tuotanto aloitettiin GTK:n ja maanmittauslaitoksen yhteistyönä v. 1979. Yhteistyö kuitenkin päättyi v. 1995, jolloin Suomesta oli peruskarttamittakaavaan ehditty kartoittaa noin kolmannes. Tämän jälkeen GTK:n tekemässä maaperän peruskartoitustyössä on keskitytty tarvelähtöisesti taajamien ja niiden kasvuympäristöjen sekä suunnitella olevien kulkuyhteysalueiden maaperän kartoittamiseen. (GTK, 2011 b)

Maaperäkartan tietosisältö:

- Maaperäkuvioiden vähimmäiskoko on yleensä 2 ha (erityistapauksissa kartalla esitetään pienempiäkin kuvioita, ehdottoman minimikoon ollessa 0,1 ha)
- Kapean kuvion vähimmäisleveys 30 m

- Maaperäkarttaan kuvataan 1 metrin syvyydessä oleva maalaji (ns. pohjamaa)
- Pohjamaan päällä oleva 0,4 – 0,9 metrin paksuinen maakerros kuvataan pintamaana; kuviokoon on tällöin oltava vähintään 4 ha
- Pohjamaan päällä oleva yleensä alle 0,4 m:n paksu tai vaikeasti rajattava kerros (ns. peittävä kerros) mainitaan kartassa laatikkokuvauksella ilman kuviorajoja ja paksuuslukuja; kuviokoon on yleensä oltava vähintään 4 ha
- Maalajiluokituksena käytetään rakennusteknistä (RT) maalajiluokitusta, joka vastaa maa- ja metsätaloudessa käytettyä maalajiluokitusta
- Maalajikuviointissa ei näy sellaista maaperätietoa, joka on tulkittavissa pohjakartan pohjakuvioaineistoista (avokalliot, pienet alle 2 ha:n suot, ohutturpeiset alle 0,4 m:n paksuiset soistumat sekä kivikot ja louhikot
- esimerkki kuvauksesta : kuvion pohjamaa on savea (Sa) ja pintamaa hiesua (Hs). Kuvion luoteisosassa on peittävänä kerroksena saravaltaista turvetta Ct ja kaakkoisosassa multamaata (Mm). Pintakerrosten yhteispaksuus on 0,6 m.



3.3.2 Maaperän yleiskartta 1:200 000

Maaperän yleiskarttahankkeessa on 2000-luvulla tuotettu koko maan kattava digitaalinen maaperäkartta-aineisto mittakaavassa 1:200 000. Karttoitusohjelmassa tuotettiin numeeriset maalajikuviot ja niihin liittyvät ominaisuus- ja laatutiedot etupäässä tulkitsemalla, muokkaamalla ja yleistämällä olemassa olevia aineistoja GIS- ja kuvankäsittelytekniikoita käyttäen. Karttoituksessa tehtiin myös maastotarkistuksia. Maaperän yleiskartta soveltuu käytettäväksi mittakaavassa 1:100 000 ja käytössä on otettava huomioon, että kartan maalajikuviointi on yleistys ja tulkinta todellisesta maalajista ja maalajivaihtelusta alueella. (Paikkatietoikkuna, 2011) (GTK, 2011 b)

Kartan tietosisältö

- Maaperäkuvioiden vähimmäiskoko on 6,25 ha
- Kartassa näkyvät pintamaiden maalajikuviot, ohuet turpeet, soistumat ja pohjamaat, kalliopaljastumat, kallioidet maa-alueet, kivikot, moreenit, karkearakeiset sorat, hiekka-alueet, savet, paksut turpeet ja liejuiset maat
- Suo- ja soistuma-alueiden rajauksessa on hyödynnetty maanmittauslaitoksen maastotietokantaa ja turvekerroksen paksuuden määrittämisessä lentogeofysiikan aineistoja.

3.3.3 Lentogeofysikaaliset mittausaineistot

GTK:n valtakunnallinen lentogeofysikaalinen karttoitusohjelma on tuottanut magneettiset, sähköiset sekä radiometriset mittausaineistot koko Suomen alueelta. Vuonna 1972 alkaneiden karttoituslentojen nimellisenä lentokorkeutena on käytetty 30 metriä, ja normaali lentolinjojen väli on ollut 200 m.

Aineistot on interpoloitu 50 metrin pikselikokoon ja ne ovat saatavina numeerisena. Aineistoista sähköiset ja radiometriset mittaukset antavat tietoa maaperän ominaisuuksista. (Hyvönen ym., 2005)

Sähköinen aineisto kuvastaa maankamaran pintaosien sähkönjohtavuusominaisuuksia ja sillä voidaan erottaa johtavat sulfidi/liejusavet, eloperäiset pohjakerrostumat sekä kosteikot. Radiometrisessä mittauksessa havainnoidaan maaperässä luonnostaan esiintyvien radioaktiivisten isotooppien (kalium, thorium ja uraani) emittoimaa gammasäteilyä. Radiometrisen aineiston kalium- ja totaalisäteilyn komponentteja voidaan käyttää soiden turvekerroksen paksuuden ja kosteikkojen arviointiin kun hyödynnetään tietoa gammasäteilyn vaimenemisesta vesikerroksessa. Teoreettisesti laskettuna vedessä säteily heikkenee siten, että noin 60 cm paksun vesikerroksen alta säteilyä ei enää käytännössä voida mitata (Virtanen ja Vironmäki, 1985). Luonnontilaisessa turpeessa vesipitoisuus on keskimäärin 90 %, joten yleistään voidaan sanoa, että luonnonkosteudessa olevilta soilta gammasäteilyä ei enää voida havaita mikäli turvekerroksen paksuus on yli 0,6–0,7 m. Tätä rajaa hyödynnetään GTK:n turvekartoituksessa erottelemaan ohut- ja paksuturpeiset suot toisistaan ja jaottelu näkyy kuviokoon sallimissa rajoissa myös em. maaperän yleiskartalla. (Hyvönen ym., 2005; Peronius ym., 1998; Lilja ym., 2006)

Gammasäteilykartoilla paksuturpeisten soiden turvekerros vaimentaa gammasäteilyn ja ne näkyvät yleisesti säteilyn minimialueina. Ohutturpeiset suot päästävät osan gammasäteilystä läpi, jolloin ne tulevat esiin heikon säteilyn alueina. Mineraalimailla säteily on täysin esteetöntä. Tällöin edellytyksenä on, että suon pohjamaa on säteilevää. Näin ollen esimerkiksi ohutturpeiset liejupohjaiset alueet eivät näy gammasäteilykartoilla ohutturpeisinä. (Peronius ym. 1998) Puunhankinnan näkökulmasta tämä on oikeastaan etu, koska tällöin ohutturpeisiksi eivät luokituta alueet, joilla soistuman pohjamaa on huonosti kantavaa liejua.

3.3.4 Maaperää kuvaavien aineistojen hyödyntämismahdollisuuksista puunhankinnassa

Maaperäkartan (1:20 000) käytettävyyttä metsäsuunnittelun ja puunhankinnan tarpeisiin heikentää kartan painottuminen pohjamaan kuvaamiseen, suurehko kuviokoko erityisesti pintamaalajien kuvauksessa sekä puutteet kartan alueellisessa kattavuudessa. Tämä on todettu mm. Geologian tutkimuskeskuksen kokeilussa, jossa tehtiin metsätaloudellista maaperäkarttaa Pohjois-Savon Varpaisjärvellä. (Partanen ja Saarelainen, 1992) Kokeilukartoitus tehtiin huomattavasti yksityiskohtaisemmin kuin tavallinen maaperäkartta. Kartoitusmittakaava oli 1:10 000 ja pienimmät kartalla kuvattavat kuviot olivat myös pintamaalajien osalta 0,5 ha. Kokeilun perusteella tavalliselta maaperäkartalta on kuitenkin saatavissa alustavaa tietoa mm. kartta-alueen moreenimaalajeista, kaksoismaalajien yleisyydestä ja maalajikuvioiden rikkonaisuudesta. (Saarelainen, 1998) Maaperäkartta voi myös antaa hyödyllistä lisäinformaatiota hienojakoisten kivennäismaiden esiintymisestä tarkasteltavalta alueella, varsinkin kun kartta pääosin kattaa alueet, joilla hiesuja ja savia esiintyy. Sen sijaan pienten soiden (alle 2 ha) sekä ohutturpeisten sois-

tumien (turvekerroksen paksuus alle 0,4 m) osalta maaperäkartan tietosisältö on pienempi kuin maastokartan, koska maaperäkarttaa on ajateltu käytettävän yhdessä nämä maastokohteet sisältävän maastokartan kanssa.

Kokeilukartoituksen lisäksi Geologian tutkimuskeskuksessa on harkittu maaperäkartoitustiedon hankkimista metsäsuunnittelun yhteydessä. Maaperäkartoitus edellyttää kuitenkin hyviä geologisia perustietoja sekä maaston tulkintataitoja eikä se siten helposti sovellu liitettäväksi metsäsuunnittelijan tekemiin maastotöihin. (GTK, vierailu 2011)

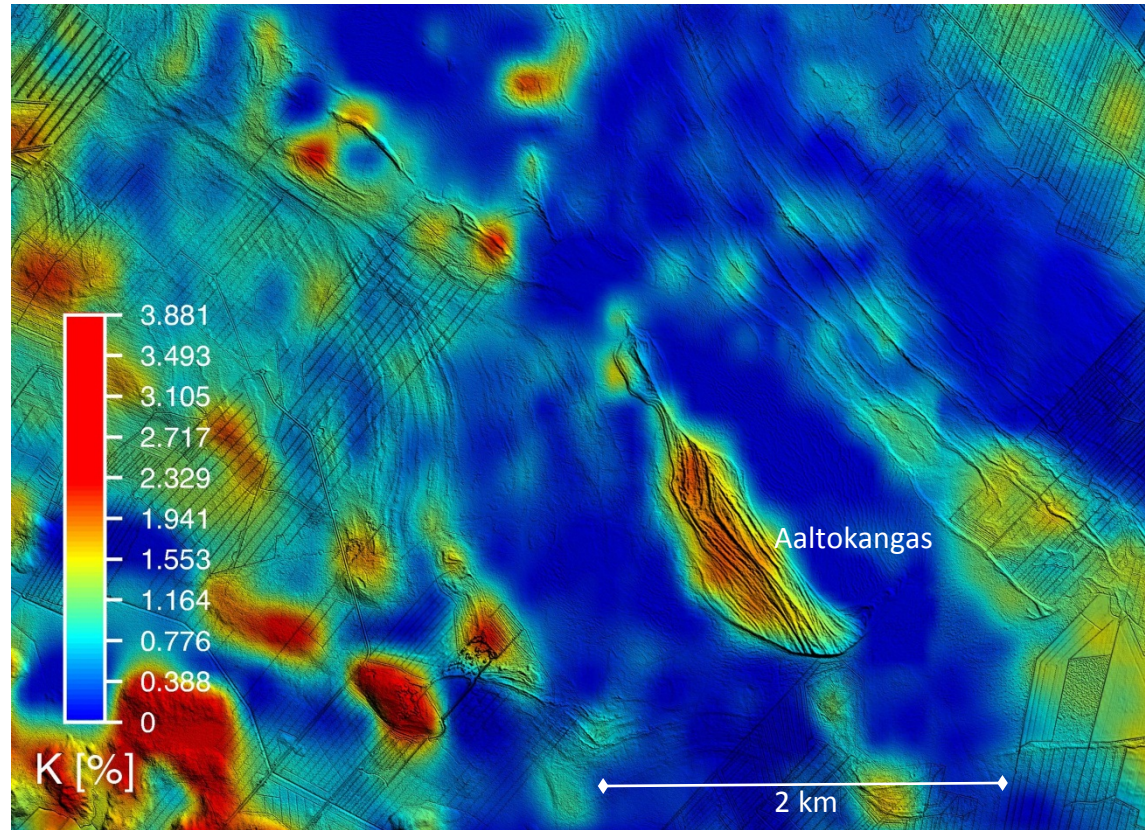
Maaperän yleiskartta (1:200 000) soveltuu suuren kuviokokonsa vuoksi puunhankinnan näkökulmasta lähinnä aluetason tarkastelujen pohjaksi. Turvemaiden osalta kartta on kuitenkin tuotettu yhdistämällä maastotietokannan suo- ja soistuma-aineisto lentogeofysikaalisiin aineistoihin, jolloin kartta sisältää maastokarttaan verrattuna lisäinformaatiota turvemaiden turvekerrosten paksuudesta. Turvekerrostumienkin osalta kartan suositeltu käyttömittakaava (1:100 000) on kuitenkin yksityiskohtaiseen suunnitteluun riittämätön.

Gammasäteilyaineistoa on turvekartoitusten lisäksi onnistuneesti kokeiltu metsätalousmaiden kartoitukseen puulajivalinnan (mänty) näkökulmasta Lapissa (Hyvönen ym., 2003) sekä sotilasgeologiseen maaperäkartoitukseen (Nenonen ja Nevalainen, 1999). Lentogeofysikaaliset aineistot soveltuvat erotuskykynsä puolesta alueelliseen tarkasteluun ja niitä voidaan hyödyntää maastotarkastusten kohdentamisessa mutta niitä ei voida käyttää pistekohtaiseen tarkasteluun, koska aineisto on interpoloitua ja mitattu säteily on aina laajan alueen keskiarvo (Peronius ym. 1998).

Rajoitteista huolimatta gammasäteilyaineiston käyttömahdollisuuksia turvemaiden kulkukelpoisuusvaihtelun spatiaaliseen kuvaamiseen kannattaisi kuitenkin kokeilla, koska aineisto on kattavasti numeerisena saatavissa koko Suomesta. Esimerkiksi aineistoyhdistelmä, jossa olisivat numeerinen gammasäteilyn kartta-aineisto, maastokartan suot, soistumat ja vesiuomat sekä laserkeilattu korkeusmalli, voisi antaa lisäinformaatiota turvekerrosten paksuudesta ja ohutturpeisten maiden pohjamaalajista sekä veden kulkureiteistä ja kertymisestä erityisesti sellaisilla alueilla, joilla maaperän peruskarttaa ei ole saatavilla. Alueilla, joille on saatavissa maaperän peruskartta voitaisiin puolestaan kokeilla GTK:n ja Tapion ”Hajakuormituksen hallinta metsätaloudessa” -hankkeessa esittämää maastokartan soiden ja soistumien luokiteltua turvekerroksen paksuuden ja pohjamaalajin mukaan (GTK, 2011).

Maaperäkartoituksen kannalta myös alati tarkentuvat kaukokartoitusaineistot tarjoavat mielenkiintoisia sovellusmahdollisuuksia. Näihin viittaavat mm. Pasanen ja Parviainen (2005) spatiaalista tiedonlouhintaa ja maaperäkartoituksen kehittämistä käsittelevässä tutkimushankkeessa, jossa yhtenä aineistona käytettiin Landsat 7 -harmaasävykuvia ja JERS-1 (L-band) matalataajuisia tutkasatelliitin kuvia. L-band taajuuden on sanottu sopivan erityisen hyvin maaperän analysointiin, koska sen syvyysulottuvuus maanpinnasta on joissakin tapauksissa jopa metrin luokkaa ja signaaliin eivät juurikaan vaikuta kasvillisuus tai pilvet. Myös Saarelainen ja Törnqvist (2004) ovat

kokeilleet satelliitin luotainta vastaavan Landsat-skannerin käyttöä maaperän ominaisuuksien tulkinnassa. Tämän tutkimuksen mukaan satelliittikuvi-
en avulla voitaisiin arvioida esim. tielinjan ympäristön maasto-oloja.



Copyright © Maanmittauslaitos 13/MML/11 /
Copyright © GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

Kuva 1. GTK:n radiometrisen lentomittausaineiston (gammasaäteily) kalium-
komponentti sekä viistovalaistu Maanmittauslaitoksen laserkeilaukseen perustuva
korkeusmalli, Siikajoki.

Sinisellä kuvattu alueet, joilla turvekerros on vaimentanut gammasäteilyn
(paksuturpeiset alueet).

Punaisella kuvattu alueet, joilla maaperän gammasäteily on esteetöntä
(ei turvetta).

Alueet, joilla gammasäteily on jonkin verran vaimentunut (ohutturpeiset alueet) on
kuvattu turkoosin/keltaisen sävyin.

Laserkeilausaineisto antaa viitteitä alueen maalajista sekä huomattavasti nykyistä
tarkemman kuvan pinnanmuotojen vaihtelusta esim. Aaltokankaan alueella. Myös
turvekerroksen alapuolisesta maalajista saadaan viitteitä (ks. kaakko-luode ja ete-
lä-pohjoinen -suuntaiset aaltomaiset pinnanmuodot Aaltokangasta ympäröivän
suoalueen reunoilla).

3.4 Tiestö

3.4.1 Maastotietokanta ja Digiroad

Paikkatietoa tiestöstä on saatavissa maanmittauslaitoksen maastotietokannasta aineistoista ”Liikenneverkko” ja ”Tiestö osoitteilla” sekä Liikenneviraston kehittämästä yhtenäisestä Digiroad-tietojärjestelmästä eli kansallisesta tie- ja katutietojärjestelmästä. Maastotietokannan tiedot ovat yksi tärkeimmistä Digiroad-aineiston tietolähteistä, mutta tämän lisäksi aineistoon kootaan tietoa Liikennevirastosta (mm. maanteiden ominaisuustietoja) ja kunnista (mm. kuntien hoitamien yksityisteiden ominaisuustietoja). Digiroad-aineisto voi sisältää myös tietoa kelirikosta, jolloin kelirikkoiseksi kuvataan tieverkon osa, jolla on todettu taipumusta kelirikkoon. Maastotietokannasta tiestöä kuvaavat tiedot ovat hankittavissa kerran vuodessa päivittyvänä vuosiversiona. Sen sijaan Digiroad-aineiston automatisoitu päivityssiirto tehdään 3 kk:n välein (geometria- ja osoitetietojen osalta) sekä kerran vuodessa maanteiden tierekisteritietojen osalta. (MML, 2011; Keski-Suomen ELY-keskus, 2010; Digiroad, 2011)

Maanmittauslaitoksen ja Liikenneviraston lisäksi myös lukuisilla muilla toimijoilla on yksityistieasioihin liittyviä tietojärjestelmiä ja kehittämishankkeita. Tämän vuoksi Keski-Suomen ELY-keskuksessa, joka on Liikenneviraston yksityistieasioihin erikoistuva yksikkö, on selvitetty eri toimijoiden roolijakoa ja yksityisteitä koskevien tietojen yhteiskäytön kehittämismahdollisuuksia. Tavoitteena on, että tulevaisuudessa maanmittauslaitos ylläpitää yksityistietietojärjestelmää, johon on yhdistetty eri toimijoiden yksityistieaineistot. Uusi järjestelmä on lähinnä tiedon keskitetty jakelukanava, joka pohjautuu jo olemassa oleviin aineistoihin. Ensimmäisessä vaiheessa nykyisiin järjestelmiin ei ole tarkoitus lisätä uusia tietolajeja vaan järjestelmä muodostuu MML:n maastotietokannan tiestöaineistosta ja kiinteistötietojärjestelmästä sekä Digiroad-aineistosta. Selvityksessä todetaan kuitenkin, että jatkossa on tarpeen varmistaa yksityisteiden kunto- ja vauriotietojen kokoaminen ja hyödyntäminen teiden parantamis- ja rakentamissuunnitelmien teossa. (Keski-Suomen ELY-keskus, 2010)

Maanmittauslaitoksen maastotietokannan ”Liikenneverkko”-aineistoon sisältyvät ajokelpoisten teiden, katujen ja kevyen liikenteen väylien lisäksi mm. polut, rautatiet, lautat ja lossit, vesikulkuväylät sekä näihin liittyvät laitteet. Autoteistä on tallennettu mm. autotien luokka ja tien keskiviiva. Maastotietokannassa liikenneverkon tiestön ylläpito on jatkuvaa ja muut kohteet päivitetään karttalehdittäin määräaikaisen ajantasaistuksen yhteydessä 5-10 vuoden välein. Tietojen sijaintitarkkuus on noin 5 m. Saman tietokannan aineisto ”Tiestö osoitteilla” sisältää muut edelliseen aineistoon kuuluvat kohteet paitsi vesikulkuväylät. Tiestön ominaisuustietona ovat em. tietojen lisäksi myös teiden ja katujen nimet sekä tieviivojen solmukohtiin kiinnitetyt osoitenumerot. (MML, 2011)

Digiroad-aineistossa toiminnallisella luokalla on tarkoitus kuvata väylän palvelutasoa liikenteelle. Aineistossa yksityistiet kuuluvat kahteen toiminnalliseen luokkaan, joista ylemmässä yksityistien käyttö on yleisesti sallittua

ja se on liikennöitävissä ympäri vuoden. Tyypillisesti tällaisella tiellä on paikkakunnalla huomattava merkitys ja tien hoitoa varten on perustettu tiekunta, joka on saanut valtion tai kunnan avustusta. Alempaan yksityisteiden luokkaan kuuluvat kaikki muut yksityis- ja metsätiet, jotka ovat autolla ajettavissa. (Digiroad, 2011)

Tiestötiedon ongelmana metsäteiden osalta on, että tiestöstä ei ole saatavilla kattavaa perustietoa kuntotietoineen. Näin ollen metsätiestön perustarvusten kohdentaminen ja priorisointi on vaikeaa. Metsätehon v. 2008 koordinoimassa hankkeessa kehitettiin menettelytapa kuntoinventoinnin tekemiseksi metsätiestölle ja menetelmää kokeiltiin Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. (Korpilahti (toim.). 2008) Menetelmää ei ole kuitenkaan otettu käyttöön muiden metsäkeskusten alueella eikä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapiolla ole halukkuutta lähteä kuntoinventointityön vastuutahoksi (Keski-Suomen ELY-keskus, 2010).

Inventointimenetelmässä tie tarkastetaan havainnoimalla tien kuntoa inventointiajossa sekä kuvaamalla tie ajon aikana digikameralla. Menetelmään liittyy myös tien vaikutusalueen paikkatietopohjainen tarkastelu, jonka avulla voidaan priorisoida kunnostushankkeita tien metsätaloudellisen merkityksen perusteella. Inventointimenetelmää voitaisiin kenties kehittää liittämällä menetelmään ennakkotyövaihe, jossa kartoitettaisiin olemassa olevien paikkatietoaineistojen pohjalta potentiaalisimmat vaurioalttiit metsätiet ja metsäteiden osat. Tällöin maastotyöt voitaisiin kohdentaa ainakin ensivaiheessa sille tiestön osalle, jolla kuntopuutteita voidaan olettaa olevan eniten.

Aineistona ennakkotyövaiheessa voitaisiin käyttää mm. korkeusmallia ja laserkeilausdataa, maaperäaineistoja sekä maastotietokannan suo-, soistuma- ja kallioaineistoa. Perusajatuksena olisi tarkastella näiden aineistojen perusteella tielinjan ympäristön ja tierakenteen kosteustilaa ja arvioida mahdollisia kuivatuspuutteita sekä pohjamaan kantavuutta ja routimisherkkyyttä, koska näillä tekijöillä tiedetään olevan merkittävä vaikutus tien urautumiseen ja vaurioitumiseen sekä vaurioitumisnopeuteen. Rantanen ym. (2005) tarjoavat tästä näkökulmasta paljon paikkatiedon analyysiavaimia vähäliikenteisten teiden kuivatuspuutteiden tunnistamiseen. Myös Saarelainen ja Törnqvist (2004) esittävät vastaavia avaimia kevätkantavuuden kannalta ongelmallisten tieosien rajaamiseen selvityksessä, jossa tarkastellaan painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittämistä alempiasteisille teille.

4 OLOSUHTEIDEN SPATIAALINEN JA AJALLINEN VAIHTELU

4.1 Tiestön olosuhteiden kuvaaminen

Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelmassa on tehty paljon kelirikoon liittyvää tutkimusta ja kehitystyötä. Ryyänen ym. (2003) ovat tarkastelleet sorateiden runkokelirikkoa ja kelirikon vaikeuden ennustamista ja Saarelainen ja Törnqvist (2004) ovat puolestaan pyrkineet synteysiin siitä, kuinka alempiasteisille teille tulisi asettaa painorajoituksia.

Kelirikoon vaikuttavien tekijöiden osalta roudan ja sulamisen syvyyden arviointi on suhteellisen luotettavaa tienpinnan mitatun pakkasmäärän ja lämpöastesumman perusteella. Kelirikon vaikeutta voidaan puolestaan arvioida syystalven roudantumisnopeudella, koska hidas roudantuminen mahdollistaa hienojakoisilla pohjamailla kapillaarisen vedennousun ja kelirikkoa vaikeuttavien jäälinssien muodostumisen tierakenteeseen. Sulamisajan pituutta voidaan arvioida lopputalvella toteutuneen pakkasmäärän perusteella. Sulamisen aikana arviota voidaan tarkentaa tienpinnan lämpöastesumman ja tilastoista määritetyn ennusteen perusteella. (Ryynänen ym. 2003; Saarelainen ja Törnqvist, 2004)

Roudan ja kelirikon mallintaminen ja spatiaalinen kuvaaminen on siis mahdollista ja voidaan olettaa, että panostamalla edelleen aihealueen tutkimus- ja kehitystyöhön voidaan jatkossa tuottaa entistä täsmällisempiä kelirikoennusteita myös alemmalle tieverkolle. Tällöin tarvitaan kuitenkin myös entistä parempaa perustietoa metsäteiden tierakenteista.

Ilmatieteen laitoksen tiesäämallin (Kangas ym. 2006) hyödyntämismahdollisuuksia erityisesti alemman tieverkon olosuhteiden kuvaamiseen ja lyhyen aikavälin ennustamiseen kannattaisi myös arvioida tarkemmin. Mallilla voidaan arvioida tienpinnan ja tieprofiilin kerrosten lämpötilaa sekä tuottaa tienpinnan keliennusteita. Tällä hetkellä tiesäämallilla tuotetaan pääteiden olosuhde-ennusteita koko Suomeen, eikä malliin ole kuvattu soratien profiilia.

4.2 Maaperän kosteuden kaukokartoitus

Maaperän pintakerroksen kosteuden kaukokartoituksella on jo lähes 40 vuoden mittaiset perinteet. Tänä aikana lukuisat tutkimukset ovat osoittaneet, että maaperän pintakerroksen vesipitoisuutta voidaan kuvata useimmilla elektromagneettisen säteilyn aallonpituusalueilla näkyvästä valosta mikroaaltosäteilyyn saakka. Tällöin on kuitenkin syytä ottaa huomioon, että mikään kaukokartoituksessa käytettävistä sensoreista ei mittaa suoraan vesipitoisuutta, joten yhteys mitatun säteilyn ja vesipitoisuuden välillä täytyy muodostaa erikseen. Wang ja Qu (2009) sekä Anderson ja Croft (2009) ovat koonneet katsaukset aihealueen tutkimuksesta, menetelmistä sekä kehitysnäkymistä.

Optisessa menetelmässä mitataan maanpinnasta heijastuvan auringonsäteilyn määrää aallonpituusalueella 0,4–2,5 μm . Menetelmä perustuu maanpinnan heijastavuuden pienentymiseen kun pintamaan kosteus lisääntyy. Menetelmällä saadaan kuitenkin tietoa vain aivan maan pinnasta, pilvisyys estää mittaukset kokonaan ja muiden heijastavuuteen vaikuttavien tekijöiden vaikutusta ei voida tehokkaasti minimoida. (Wang ja Qu, 2009)

Infrapunamenetelmässä sensorilla mitataan maan lämpösäteilyä aallonpituusalueella 3,5–14 μm . Menetelmä perustuu siihen, että maanpinnan kosteus vaikuttaa voimakkaasti maaperän termisiin ominaisuuksiin ja siten maanpinnan lämpötilaan. Menetelmällä on selvä fysikaalinen perusta, mutta

tässäkin rajoituksena on, että menetelmällä saadaan tietoa vain aivan maan pinnasta, pilvisyys estää mittaukset ja paikalliset meteorologiset tekijät vaikuttavat tuloksiin. (Wang ja Qu, 2009)

Mikroaaltosäteilyn käyttö maaperän vesipitoisuuden arvioinnissa perustuu veden ja maahiukkasten erilaiseen dielektrisyteen. Vedellä dielektrisyden arvo on n. 80 ja maahiukkasilla alle 4. Kun maaperän vesipitoisuus kasvaa, vedestä ja maahiukkasista muodostuvan maaseoksen dielektrisyys kasvaa ja tämä muutos säteilyn intensiteetissä voidaan havaita mikroaaltosensoreilla. Mikroaaltoihin perustuvien menetelmien etuna onkin vahva fysikaalinen perusta sekä se, ettei sää tai vuorokaudenaika rajoita menetelmän käyttöä. Tiheä kasvipeite muodostaa kuitenkin ongelmia menetelmien käytölle. (Wang ja Qu, 2009) (Anderson ja Croft, 2009)

Passiivisessa mikroaaltomenetelmässä sensorilla havaitaan maaperän emittoiman mikroaaltosäteilyn voimakkuus. Menetelmän etuna on sen korkea temporaalinen resoluutio (lyhyt mittausten toistoväli) mutta puutteena voidaan puunhankinnan näkökulmasta pitää menetelmän karkeaa spatiaalista resoluutiota (n. 10–30 km). (Wang ja Qu, 2009) (Anderson ja Croft, 2009)

Aktiivisessa mikroaaltomenetelmässä satelliitin laitteisto lähettää mikroaaltopulssin maahan ja sensori havainnoi paluupulssin voimakkuutta. Kuten passiivisessäkin menetelmässä tämä takaisinsironta on verrannollinen pinnan dielektrisyteen. Yleisin kuvantava aktiivinen mikroaaltomenetelmä on SAR-tutka (synthetic aperture radar). SAR-järjestelmillä on aiemmin päästy suuruusluokaltaan kymmenien metrien spatiaaliseen resoluutioon mutta menetelmän käytettävyyttä on heikentänyt huono temporaalinen resoluutio (esim. ERS-järjestelmällä 35 vrk). (Wang ja Qu, 2009) (Anderson ja Croft, 2009)

Eräs mahdollisuus huonon temporaalisen resoluution kompensointiin on Sass ja Creed (2008) esittämä arkistoitujen tutkakuvien (ERS-1 ja ERS-2) käyttö yli 10 vuoden ajalta. Tutkakuvien spatiaalinen resoluutio oli 25 metriä. Menetelmällä pystyttiin tutkimuksessa kuvaamaan loppukesän kosteiden alueiden sijaintia tutkimusalueella Kanadassa sademääriltään erilaisina kausina (märkä, normaali, kuiva). Tämän lisäksi kuvien perusteella määritettiin tutkimusalueen eri osien todennäköisyys kostean maan esiintymiselle heinä-elokuussa. Tällaiset kosteusskenaariot voisivat olla puunhankinnan näkökulmasta yksi mahdollisuus SAR-tutkakuvien hyödyntämiseen maanpinnan kosteustilanteen kartoituksessa.

Viime aikoina SAR-menetelmässä on tapahtunut huomattavaa kehitystä sekä spatiaalisen mutta erityisesti temporaalisen resoluution osalta. Esim. Terra SAR-X sensoreilla spatiaalinen erotuskyky on tarkimmillaan 1 m ja yhdessä muiden uusien SAR-järjestelmien (mm. Cosmo SkyMed) kanssa temporaalisessa resoluutiossa on päästy jo muutamien päivien toistoväliin. Menetelmän rajoitteena on kuitenkin edelleen se, että tiheän kasvipeitteen alueelta takaisinsironta on suurelta osin peräisin kasvipeitteen latvuksista. Vähemmän peitteisillä pinnoilla SAR-tutkaan perustuva menetelmä sen sijaan toimii paremmin maanpinnan kosteuden kuvaamisessa ja tuoreen tutkimuk-

sen, Kseneman ym. 2011, mukaan Terra SAR-X aineistolla pystyttiin hyvin arvioimaan paljaan maan vesipitoisuutta. Näin ollen on perusteltua olettaa, että tulevaisuudessa myös esim. tiestön olosuhteista olisi mahdollista saada kaukokartoitukseen perustuvaa informaatiota.

Maanpinnan kosteuden kaukokartoitusmenetelmät yhdistettynä muihin aineistoihin (esim. maankosteuden havaintoaineistot ja maankäyttöaineistot) lienevät tulevaisuudessa puunhankinnan näkökulmasta käyttökelpoisimpia tapoja maanpinnan kosteustilanteen seurantaan. Menetelmät vaativat kuitenkin vielä kehitystyötä, jota Suomessa tehdään esimerkiksi Ilmatieteen laitoksessa ja SYKE:ssä (Kärnä ym. 2010). Nykyisellään menetelmien käytettävyyttä operatiiviseen toimintaan rajoittavat myös satelliittikuvien korkeat hinnat mutta uusien satelliittijärjestelmien myötä hintatason voidaan olettaa laskevan noin 5–10 vuoden aikajänteellä. Kuitenkin jo lähivuosina Suomesta voi olla saatavissa puunhankinnan näkökulmasta käyttökelpoista kaukokartoitukseen ja muihin aineistoihin perustuvaa maaperän kosteusinformaatiota muutaman päivän temporaalisella mutta varsin karkealla spatioalisella resoluutiolla. Tällaista informaatiota voitaneen hyödyntää esim. laajan hankinta-alueen eri osissa toimivien tiimien ja avainyrittäjien toiminnan ohjauksessa.

4.3 Roudan kaukokartoitus

Roudan kaukokartoituksen mahdollisuuksia on aivan viime aikoja lukuun ottamatta tutkittu suhteellisen vähän (Duguay ym. 2005). Tämä voi johtua siitä, että kaikista jäätymiseen liittyvistä ilmiöistä (lumi, jäätiköt, merten ja vesistöjen jäätyminen yms.) maaperän routa ja erityisesti ikirouta ovat vaikeimmin kaukokartoitusmenetelmillä kuvattavia ja seurattavia. Tällöinhän tietoa tarvitaan pinnanalaisista maaperän ilmiöistä ja tyypillisesti kaukokartoitusmenetelmien syvyysulottuvuus on varsin huono. Kuitenkin erityisesti viimeaikainen kehitys aktiivisissa ja passiivisissa mikroaaltomenetelmissä on mahdollistanut maaperän pintakerroksen routa- ja sulamistilanteen aluetasoisien seurannan (Duguay ym. 2005). Tämän lisäksi myös kiinnostus routatutkimukseen on lisääntynyt ilmastonmuutoksen ja hiilenkierron arviointitarpeen myötä, mikä osaltaan on lisännyt roudan kaukokartoitusmahdollisuuksien arviointia.

Mikroaaltomenetelmien käyttö maaperän pintakerroksen roudan muodostumisen ja sulamisen arviointiin perustuu jäätymisessä ja sulamisessa tapahtuviin maaperän dielektrisyiden muutoksiin. Maan jäätyessä nestemäisen veden määrä maaperässä vähenee ja sen myötä maakerroksen dielektrisyys pienenee. Tämä muutos voidaan havaita mikroaaltoalueen satelliittinstrumenteilla. Siten routaantunut maa vertautuu mikroaaltoalueen menetelmissä kuivaan maahan, jossa nestemäisen veden määrä on myös vähäinen. (Duguay ym. 2005; Kimball ym. 2004)

Sekä aktiivisilla mikroaaltomenetelmillä (SAR-tutka ja skatterometri) että passiivisilla menetelmillä (radiometri) saadaan informaatiota maaperän pintakerroksen routatilanteesta. Skatterometrien rajoitteena on niiden tarjoaman informaation karkea resoluutio (25–50 km) ja myös radiometreillä on sa-

manlaisia rajoitteita. SAR-tutkaan perustuvilla menetelmillä voidaan sen sijaan päästä jo nykyisinkin huomattavasti em. parempaan spatiaaliseen erotuskykyyn ja spatiaalinen erotuskyky on edelleen paranemassa lähitulevaisuudessa (Pulliainen haastattelu, 2011). Myös menetelmien kehittyminen sekä muiden aineistojen (mm. erilaiset havaintoaineistot, maanpeite- ja puustokuvaukset) yhdistäminen satelliittiaineistoihin tukevat tätä tavoitetta (Pulliainen haastattelu, 2011; Pulliainen, 2004; Duguay ym. 2005). Roudan osalta on kuitenkin syytä ottaa huomioon, että roudan määrä vaihtelee huomattavasti monien maaperään, topografiaan sekä kasvillisuuteen liittyvien tekijöiden vuoksi (Entekhabi ym. 2004) ja toisaalta pienipiirteistä informaatiota tuottavat satelliittiaineistot ovat ainakin vielä varsin kalliita (Pulliainen haastattelu, 2011).

Kaukokartoituksella saadaan informaatiota mm. routautumisen alkamisesta, roudan syvenemisestä alkutalvella sekä sulamisen alkamisesta (Pulliainen haastattelu, 2011). Vaikka operatiivista routatuotetta ei Suomesta vielä tällä hetkellä ole saatavilla, on täällä käynnissä olevassa FloodFore-hankkeessa tarkoitus vielä tämän vuoden puolella tuottaa routaa kuvaava demotuote. Yleisesti ottaen menetelmien kehittyminen sekä uudet satelliittijärjestelmät mm. ESA:n ja EU:n GMES Sentinel 1–5 tulevat lähivuosina lisäämään hydrologiaan liittyvien operatiivisten kaukokartoitustuotteiden määrää ja laatua myös Suomessa.

4.4 Lumen kaukokartoitus

Lumen kaukokartoituksella on pitkät perinteet, kuten maaperän pintakerroksen kosteudenkin kaukokartoituksella. Tämä on luonnollista, sillä satelliitit soveltuvat lumen eri ominaisuuksien kaukokartoitukseen erinomaisesti. Viime aikoina parantunut satelliittikuvien saatavuus ja tutkateknologian kehitys ovat myös lisänneet lumen kaukokartoitustutkimusta erityisesti lumen spatiotemporaalisten ja syvyys/tiheysominaisuuksien osalta. (Linde ja Grab, 2011) Lumen osalta etuna on myös se, että kartoituksessa voidaan käyttää hyväksi sekä optisen että mikroaaltoalueen instrumentteja.

Yleisesti voidaan todeta, että kaikista puunhankinnan näkökulmasta kiinnostavista lumen ominaisuuksista (lumikerroksen paksuus, lumen peittoala, raekoko, vesiarvo ja lumipeitteen kosteus) saadaan informaatiota kaukokartoituksella hyvällä temporaalisella resoluutiolla. Käytännön rajoitteen aineistojen monipuoliseen hyödyntämiseen voi kuitenkin muodostaa monien muuttujien osalta informaation karkea resoluutio. Esimerkiksi lumen vesiarvo lasketaan päivittäin, mutta aineiston spatiaalinen resoluutio on karkea (5 km). Kuten muidenkin olosuhdemuuttujien osalta tämän voidaan olettaa muuttuvan uusien satelliittijärjestelmien (esim. 2010-luvun alkupuolella käynnistyvä GMES Sentinel -ohjelman) sekä menetelmien kehittymisen myötä. Tarkoituksena on esimerkiksi parantaa lumen ominaisuuksia kuvaavien tuotteiden tarkkuutta hyödyntämällä tiedontuotannossa kasvillisuus- ja maankäyttödataa. Tällä tavoin aineistoja yhdistämällä voidaan kuvata alueen lumiominaisuuksia erikseen metsissä ja soilla. (Pulliainen haastattelu, 2011)

Optisen alueen spektrometrit ja IR-sensorit (infrared) soveltuvat lumipeitteen laajuuden ja lumen peittoalaosuuden määrittämiseen (pälvisyys). Menetelmät soveltuvat käytännön monitorointiin, mutta pilvisyys, valaistusolosuhteet ja metsät tuovat ongelmia menetelmien soveltamiseen. Menetelmien etuna on, että karkean ja keskiresoluution (> 250 m) havaintoaineistoja on saatavilla vapaasti päivittäin (esim. NASA:n MODIS-spektrometri). (Pulliainen, 2004) Joitakin optisen alueen menetelmien ongelmia voidaan myös vähentää aineistoyhdistelmillä (esim. yhdistämällä MODIS-aineistoon karkean resoluution AMSR-E-mikroaaltoalueen dataa, jolloin pilvisyyden vaikutusta havaintoihin voidaan vähentää (Linde ja Grab, 2011).

Mikroaaltoalueella radiometrillä voidaan saada informaatiota lumipeitteen laajuudesta, vesiarvosta ja syvyydestä sekä lämpötilasta. Menetelmän etuna on, että päivittäistä dataa on saatavilla vapaasti, mutta rajoitteena on aineistojen karkea resoluutio (5–50 km aallonpituuden mukaan). SAR-tutkilla sen sijaan päästään edelliseen verrattuna huomattavasti parempaan resoluutioon (n. 5–150 m), mutta tällä hetkellä nämä aineistot ovat vielä varsin kalliita. (Pulliainen, 2004)

4.5 Olosuhteiden seurannan kaukokartoitustuotteista Suomessa

Suomessa edellä kuvattuja kaukokartoitusmenetelmiä hyödynnetään lähtötietojen tuottamiseen SYKE:n vesistömallijärjestelmään (WSWF, watershed simulation and forecasting system) ja tiedontuotannon menetelmää on kehitetty mm. FloodFore-hankkeessa. Monilähdemenetelmässä havaintoaineistot ja kaukokartoitusaineistot yhdistetään yksityiskohtaiseen maanpeiteinformaatioon. Tavoitteena on tuottaa uudella menetelmällä informaatiota mm. jokien virtaama- ja tulvaennusteita varten, mutta käsiteltävät muuttujat ovat olennaisia myös puunhankinnan näkökulmasta (lumen vesiarvo, vuorokauden sadekertymä, lumen peittoalaosuus sulamiskaudella, maaperän kosteus sekä routa). (Kärnä ym. 2010)

Kaukokartoitusaineistona menetelmässä käytetään tällä hetkellä mm. mikroaaltoalueen SAR-tutkia (esim. Envisat ASAR, Radarsat-2, Terra SAR-X, Cosmo SkyMed ja ALOS PALSAR), optisen alueen instrumentteja (MODIS ja MERIS), mikroaaltoradiometrejä (AMSR-E ja SMOS) sekä skatterometrejä (QuickSCAT). (Kärnä ym. 2010)

Tällä hetkellä esim. lumen suhteellinen peittoala ja lumen vesiarvo ovat operatiivisina tuotteina saatavissa käyttöön 5 km:n resoluutiolla ja osa em. muuttujista on demotuotevaiheessa (Pulliainen haastattelu, 2011). Tämän lisäksi SYKE:n internetsivuilla on joukko vesistömallijärjestelmällä tehtyjä mm. kaukokartoitusaineistoihin, havaintoaineistoihin sekä sääennusteisiin perustuvia vesistöennusteita (Syke).

FloodFore-hanke päättyy vuoden 2011 loppupuolella ja tällä hetkellä hankkeessa kartoitetaan mm. pääkäyttäjryhmä (vesivoimayhtiöt) ulkopuolisia potentiaalisia käyttäjiä sekä järjestelmän jatkokehitystarpeita.

4.6 Sääennusteet

Säätä ennustavilla laitoksilla ja yrityksillä on nykyisin hyvät valmiudet (asiantuntemus, mallit, laskentakapasiteetti) kehittää myös puunhankinnan tarpeisiin räätälöity sääpalvelu. Esimerkiksi Ilmatieteen laitos on tuottanut lukuisia asiakastarpeet täyttäviä sääpalveluita tienpidolle, maataloudelle sekä kaupan alalle. Laitoksella on myös asiantuntemusta ja työkaluja kelirikkomallinnukseen sekä tiesääennusteiden laatimiseen. Laitoksella tuotetaan esimerkiksi Liikennevirastolle runkokelirikkoennusteita sekä tiesääennusteita päätieverkolle. (Bernstöm, 2011 haastattelu)

Yleisimpien 5 vuorokauden sääennusteiden lisäksi nykyisin voidaan tuottaa 10–15 vuorokauden ja tätä pidempiäkin ennusteita. Pidemmällä ennustejaksolla ennusteet ovat perinteisistä ennusteista poikkeavia ns. ryväs-/parviennusteita (ensemble forecasting), joissa ennustemalliajo tehdään yhden ajon sijaan esimerkiksi 50 kertaa hieman erilaisilla lähtöarvoilla. Tällöin saadaan perinteisiä ennusteita parempi kuva ennusteen epävarmuudesta ja siitä, kuinka pitkälle säätä voidaan kyseisellä hetkellä ylipäättään ennustaa (mikäli ennusteajojen tulosten vaihteluväli kasvaa suureksi ei sää ole ennustettavissa pidemmälle). Ryväsennuste voidaan tulkita todennäköisyytenä, jolloin ennuste kertoo esimerkiksi miten todennäköisesti tarkasteltava muuttuja ennustejakson kuluessa saavuttaa jonkin kriittisen rajan (vaikkapa lämpötila ylittää 0 °C tai yöllä esiintyy yöpakkasia). Sääennustepalvelu voidaan siten rakentaa ottamaan huomioon puunhankinnan eri vuodenaikojen kriittiset sähän liittyvät tilanteet (Bernström, 2011 haastattelu). Gneiting ja Raftery (2005) sekä Whang ja Pu (2010) tarjoavat perustietoa ryväsennusteista.

5 AIHEALUEEN TUTKIMUSORGANISAATIOITA JA -HANKKEITA

5.1 Ilmatieteen laitos

Ilmatieteen laitoksessa tehdään meteorologisen tutkimuksen lisäksi myös uusiin havaintomenetelmiin (mm. maanpinnan kaukokartoitus) sekä arktisen alueen erityisoloihin liittyvää tutkimusta. Ilmatieteen laitoksen tutkimustointaa on kuvattu internetsivuilla (Ilmatieteen laitos, 2011), josta seuraavat tutkimus- ja hanketiedot on poimittu.

Meteorologisen tutkimuksen aihealueita ovat meteorologiset sovellukset, sääsatelliitti- ja tutkasovellukset sekä sääennustemallit. Näistä sääsatelliitteihin ja tutkasovelluksiin keskittyvän tutkimusryhmän tehtävänä ovat meteorologiset kaukokartoitussovellukset. Meteorologisten sovellusten aihepiiriin kuuluvat puolestaan mm. sääpalvelua tukevat meteorologisten menetelmien kehityshankkeet, ympäristön tilan ja monitoroinnin tutkimussovellusten kehittäminen sekä uudet telemaattiset palvelut (esim. älyliikenne). Älyliikenteeseen liittyvää tutkimus- ja kehitystyötä Ilmatieteen laitos tekee mm. kansainvälisessä WiSafeCar-projektissa, jossa kehitetään autojen välistä reaaliaikaista tietoverkkopalvelualustaa sähän ja turvallisuuteen liittyvi-

ne esimerkkipalveluineen. Tällaisia palveluja voisivat olla esimerkiksi paikallinen tiesää, ajoreittisää sekä liukkaus- ja onnettomuusvaroitukset.

Maanpinnan kaukokartoitukseen keskittyvä ryhmä tutkii eri maanpintasuurteiden määrittämistä satelliittidatasta. Tarkasteltavia suureita ovat esimerkiksi pinta-albedo, lumipeitteen laajuus sekä lumen kosteus. Suurin osa tutkimustyöstä tehdään kansainvälisissä EUMETSAT:in tukemissa SAF-tutkimushankkeissa (satellite application facility).

Arktisessa tutkimuskeskuksessa keskitytään kylmän ilmanalan havaintotoimintaan ja tutkimukseen. Näin ollen keskiössä ovat mm. lumeen ja jäätymiseen liittyvät ilmiöt. Sodankylässä sijaitsevassa Lapin ilmatieteellisessä tutkimuskeskuksessa toimii myös satelliittidatan vastaanottoasema, joka kerää, prosessoi ja arkistoi ilmakehän kaukokartoitusmittauksia. Vastaanottoasemaa pyritään koko ajan kehittämään, jotta se pystyy jatkossa yhä paremmin palvelemaan esim. jää- ja lumetilannetta monitoroivia kaukokartoitushankkeita.

5.2 Geologian tutkimuskeskus

Geologian tutkimuskeskuksen tutkimusohjelmia ovat mm. ympäristövaikutusten, mittauksen ja mallinnuksen sekä geoinformaation tutkimusohjelmat. Tutkimusohjelmista saa lisätietoa GTK:n internetsivuilta (www.gtk.fi), josta seuraavat kuvaukset on poimittu.

Ympäristövaikutusten tutkimusohjelmaan kuuluvista tutkimushankkeista ”Metsämaa ja globaalimuutos” -hankkeessa tutkitaan maaperän ominaisuuksia muuttuvissa ilmasto-oloissa ja toisessa tutkimusohjelmaan kuuluvassa hankkeessa ”Hajakuormituksen hallinta metsätaloudessa” selvitetään geologisia valuma-alueominaisuuksia. Hankkeessa ovat GTK:n lisäksi mukana Metla, Tapio, metsäkeskukset ja SYKE. Vaikka hankkeessa nimensä mukaisesti keskitytään valuma-aluehuuhtoumiin, on hankkeessa kuvattu puunhankinnan näkökulmastakin kiinnostavaa maapohjan luokittelua maaperätiedon ja maastokartan tietojen avulla.

Mittaus ja mallinnus -tutkimusohjelmassa sovelletaan geofysiikan menetelmiä maa- ja kallioperän luonnonvarojen arviointiin, yhdyskuntarakentamisen ja ympäristön monitoroinnin tarpeisiin. Keskeisinä tavoitteina ovat mm. lentogeofysikaalisten aineistojen tulkinnan kehittäminen ja lentomittauksen uusien sovellusten kehittäminen sekä pehmeikköjen paksuustulkinnan tuoteistaminen.

Geoinformaation tutkimusohjelman yleisenä tavoitteena on geologisen tiedon hyödynnettävyyden edistäminen. Tähän pyritään kehittämällä tiedon keruuta, käsittelyä ja tuotteistusta tiedonkäyttäjän tarpeet huomioiden. Ohjelmassa kehitetään ja otetaan käyttöön uusia mallinnuksen, visualisoinnin ja tiedonlouhinnan menetelmiä sekä tarkastellaan tähän olennaisesti kuuluvaa tiedon laatua.

5.3 Geodeettinen laitos

Geodeettisessa laitoksessa (FGI, 2011) tutkitaan mm. laserkeilausta sekä SAR-kuvien tulkintaa ja prosessointia. Laserkeilauksen osalta tutkitaan mm. keilauksessa tuotettavan intensiteettitiedon hyödyntämistä, laserkeilauksen menetelmiä ja algoritmeja sekä kansallisen laserkeilausaineiston käyttömahdollisuuksia. SAR-kuvien osalta tutkitaan mm. suuren erotuskyvyn SAR-tutkien suorituskykyä erilaisissa sovelluksissa sekä monen ajankohdan SAR-kuvien maataloussovelluksia. Lisätietoja hankkeista on saatavissa Geodeettisen laitoksen internetsivuilta.

5.4 Yliopistot

Oulun yliopiston maantieteen laitoksella tutkijatohtorina työskentelevän Harri Antikaisen väitöskirjan (Antikainen, 2009) aiheena oli reittien optimointi maastossa ja muina hänen tutkimuskohteinaan ovat mm. paikannukseen perustuvat mobiilisovellukset sekä lisätoimintojen kehittäminen ArcGIS-ohjelmiston yhteyteen. Uutena aihealueen hankkeena on vuoden 2011 alussa käynnistynyt 3-vuotinen Suomen Akatemian rahoittama tutkimus ”GIS-pohjainen maastoreitinoptimointi käyttäen hierarkkista hybridimaastomallia”. Hankkeen tavoitteena on parantaa maastoreittien optimointia uudentyyppisiin tietorakenteisiin ja niihin liittyviin tekniikoihin perustuen sekä ohjelmoida uudet ratkaisutavat GIS-ympäristöön. Hankkeen tuloksena maastoreittien optimoinnin sovellettavuuden useilla eri tieteenaloilla sekä myös monissa käytännön sovelluksissa oletetaan parantuvat huomattavasti. (Suomen Akatemia, 2010)

Aalto-yliopiston maanmittaustieteiden laitoksen geomatiikan tutkimusryhmän opetus- ja tutkimusaloihin kuuluvat fotogrammetria ja kaukokartoitus, geodesia sekä geoinformatiikka ja kartografia (Aalto-yliopisto, 2010). Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen tutkimusaiheet liittyvät mm. laserkeilaukseen sekä mobiilikartoitukseen. Tämän lisäksi tutkimusta on tehty kaukokartoitusmenetelmien hyödyntämisessä mm. boreaalisen metsäympäristön seurantaan ja tähän liittyen myös maaperän kosteuden ja roudan kuvaamiseen (Törmä ym. 2003). Geoinformatiikan osalta laitoksen painopistealueita ovat spatiaalinen data-analyysi, mallinnus sekä visualisointi ja tärkeä sovellusalue on mm. maanpuolustus. Aihealueen diplomitöissä on tutkittu mm. algoritmin ja korkeusmallin resoluution vaikutusta valuma-alueen laskentatulokseen (Sippel, 2010).

6 TARKASTELU

Tämän esiselvityksen tavoitteena oli kartoittaa maaston ja tiestön ominaisuuksia ja olosuhdevaihtelua kuvaavia paikkatietoaineistoja sekä tiedontuotannon menetelmiä, joita voidaan hyödyntää puunhankinnan suunnittelussa ja toteutuksessa. Tällöin tarkasteltavaksi ovat tulleet ajan suhteen muuttomattomien tai hitaasti muuttuvien paikkatietoaineistojen lisäksi myös aineistot ja menetelmät, joilla voidaan kuvata maaston ja tiestön ominaisuuksien spatiotemporaalista vaihtelua. Tässä työssä ei ole voitu syventyä yksityis-

kohtaisesti aineistojen ja menetelmien erityispiirteisiin vaan tavoitteena on ollut kattavan yleiskuvan luominen. Tällöin aihepiirin jatkotarkastelut voidaan toivottavasti kohdentaa kiinnostavimpiin aineistoihin ja menetelmiin.

Puunhankinnan näkökulmasta yksi käyttökelpoisimmista aineistoista on korkeusmalli. Laserkeilauksella tuotetun mallin erotuskyky on riittävä korjuukohteen sisäisen topografiavaihtelun kuvaamiseen, joten mallin avulla voidaan visualisoida korjuukohteen topografiaa korjuukoneen kuljettajalle ja korkeusmallin tietoja voidaan hyödyntää myös laskennallisessa korjuukoneiden maastoreitityksessä sekä esimerkiksi korjuukohteen pienten vesiuomien paikantamisessa. Korkeusmalli paljastaa myös maaperätietoa, jota ei aiemmin ole ollut hahmotettavissa maaperäkartoituksessa ja tämän lisäksi mallin avulla voidaan tarkentaa osin puutteellista ojatietoa. Korkeusmallin käyttökelpoisuutta tiestötiedon lähteenä kannattaa myös arvioida, koska mallin avulla voidaan määrittää esimerkiksi tiestön pituusprofiili, tien sulamiseen ja kuivumiseen vaikuttava rinnesuunta sekä kuivatustilanteeseen vaikuttavat veden virtausreitit suhteessa tielinjaan ja tierumpuihin. Laserkeilausaineistosta voidaan lisäksi tarkastella mahdollisuuksia kivisyysinformaation hankintaan esimerkiksi eräänlaisen ”roughness”-indeksin muodossa sekä intensiteettitiedon hyödyntämiseen maanpinnan ominaisuuksien kuvaamisessa. Uuden mallin mahdollisimman monipuolinen käytännön informaatioarvon selvittäminen onkin tärkein jatkotarkastelun kohde.

Metsätaloudessa maapohjan kuvaus on perinteisesti jäänyt hämmästyttävän vähälle huomiolle vaikka maaperän ominaisuudet vaikuttavat kaikkien metsätalouteen liittyvien toimien tuloksellisuuteen. Toisaalta myöskään maaperäkartoituksessa ei ole metsätalouden maiden osalta otettu tarpeeksi huomioon kartan käyttäjien tietotarpeita, joten esimerkiksi maaperän peruskartta on puunhankinnan näkökulmasta lähinnä suuntaa antava maaperäaineisto. Asiantuntemusta suomalaisen maaperän piirteistä ja alueellisesta vaihtelusta on kuitenkin saatavissa geologian tutkimuskeskuksesta. Tätä asiantuntemusta kannattaisi ehdottomasti hyödyntää esimerkiksi kokeilemalla jollakin tähän tutkimusohjelmaan kuuluvalla maastokoealueella puunhankinnassa tarvittavan maaperätiedon tuottamista GTK:n aineistojen sekä laserkeilauksen avulla. Tällöin kannattaisi myös selvittää voitaisiinko laserkeilauslennon yhteydessä samalla kerätä jollakin mittausinstrumentilla myös spesifiä maaperäkartoituksessa tarvittavaa informaatiota. Rajoitteen tällaiselle aineiston keruutavalle voi kuitenkin muodostaa laserkeilauslennon verraten suuri lentokorkeus.

Olosuhteiden seurannassa ja ennakoinnissa kaukokartoitusmenetelmät sekä sään numeerinen ennustaminen ovat kehittyneet voimakkaasti viimeisten 10–15 vuoden aikana. Suunnitteilla on edelleen uusia satelliittijärjestelmiä sekä mittausinstrumentteja ja tutkimus aihealueella on aktiivista. Tämän lisäksi erityisesti sään numeerinen ennustaminen on hyötynyt ja hyöttyy super tietokoneiden tuomasta laskentatehosta. Suomessa on erittäin hyvää osaamista esimerkiksi lumen ja roudan kaukokartoituksesta ja saatavilla on myös operatiivisia kaukokartoitusaineistoihin perustuvia olosuhteiden seurantaan sopivia karttatuotteita. Ilmatieteen laitoksella on lisäksi erityisosaamista tiestön keliolojen ja tieprofiilien olosuhteiden mallinnuksesta. Olosuh-

teiden seurannan ohella myös sään ennustamiseen on nykyisin saatavissa tuotteita, joilla voidaan perinteisiä sääennusteita paremmin hahmottaa ennusteiden epävarmuutta ja todennäköisyyttä tietyn säätilanteen esiintymiselle. Nyt lieneekin oikea aika selvittää Ilmatieteen laitoksen kanssa tarkemmin mahdollisuudet tuottaa puunhankinnan tarpeisiin räätälöityjä olosuhteiden seurannan ja sään ennustamisen palveluita.

Maastoa ja tiestöä kuvaavaa paikkatietoa puunhankinnan tarpeisiin tuotetaan pääosin muualla kuin perinteisissä metsäalan organisaatioissa. Tämän tiedon yhdistelyssä ja kytkemisessä osaksi puunhankinnan käytäntöjä tarvitaan tavoitteellista ja hyvin koordinoitua eri toimijoiden yhteistyötä. Joiltain osin uutta tietoa voi olla saatavissa suhteellisen helposti olemassa olevia aineistoja yhdistämällä, mutta osittain tiedontuottaminen on nähtävä pitkäjänteisenä tiedontuottajan ja tiedontarvitsijan välisenä kehitystyönä, jossa myös soveltavalla tutkimuksella on tärkeä sija.

LÄHTEET

- Aalto-yliopisto, 2010. Aalto-yliopiston maanmittaustieteiden laitoksen geomatiikan tutkimusryhmän internetsivut alasivuineen.
http://maa.tkk.fi/fi/geomatiikan_tutkimusryhma-gma/ , haettu 2.5.2011.
- Antikainen, H. 2009. Terrain path optimization using the connectivity graph approach applied to GIS data structures. *Nordia Geographical Publications* 38:3.
- Anderson, K ja Croft, H. 2009. Remote sensing of soil surface properties. *Progress in Physical Geography* 33(4). s. 457–473.
- Bernström, R. 2011 haastattelu. Vierailu Ilmatieteen laitoksella (sääennusteet ja sääpalvelut), Riitta Bernström, 5.5.2011.
- Digiroad, 2011. Digiroad-aineiston verkkosivut, www.digiroad.fi; haettu 25.4.2011
- Duguay, C.R., Zhang, T., Leverington, D.W. ja Romanovsky, V. E. 2005. Satellite remote sensing of permafrost and seasonally frozen ground. Teoksessa Duguay, C.R. ja Pietroniro, A. (toim.). *Remote sensing in Northern hydrology: measuring environmental change. Geographical monograph*; 163.
- Entekhabi, D., Njoku, E.G., Houser, P., Spencer, M., Poiron, T., Kim, Y., Smith, J., Gerard, R., Belair, S., Crow, W., Jackson, T.J., Kerr, Y.H., Kimball, J.S., Koster, K., McDonald, K.C., O'Neill, P.E., Pultz, T., Wood, E. ja van Zun, J. 2004. The hydrosphere state (Hydros) satellite mission: an earth system pathfinder for global mapping of soil moisture and land freeze/thaw. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. Vol. 42. No. 10. Oct. 2004. s. 2184–2195.
- Esri, 2011. ArcGIS monipuolistaa ja tehostaa 3D-mallinnusta. *Esri Finland asiakaslehti* 1/2011. s. 33.

- FGI, 2011. Geodeettisen laitoksen internetsivut, tutkimusaiheita, <http://www.fgi.fi/tutkimus/aiheita.php> , haettu 11.4.2011.
- Gneiting, T. ja Raftery, A. 2005. Weather forecasting with ensemble methods. Science 14 October 2005: Vol. 310 no 5746, s. 248–249.
- GTK, 2011. Tutkimus ja kehittäminen, Tutkimusohjelmat, Ympäristövaikutukset, Geologisten tekijöiden vaikutus valuma-aluehuuhtoumiin. <http://www.gsf.fi/export/sites/fi/tutkimus2/tutkimusohjelmat/kuvat/maape-raaineistot.pdf> , haettu 13.4.2011.
- GTK, vierailu 2011. Vierailu Geologian tutkimuskeskus, Kuopio 24.2.2011, yhteishenkilö Jouko Saarelainen
- Hjerdt, K.N., McDonnell, J.J., Seibert, J. ja Rodhe, A. 2004. A new topographic index to quantify downslope controls on local drainage. Water Resources Research vol. 40. W05602, doi:10.1029/2004WR003130, 2004
- Hyvönen, E., Päänttjä, M., Sutinen, M.-L. ja Sutinen, R. 2003. Assessing site suitability for Scots pine using airborne and terrestrial gamma-ray measurements in Finnish Lapland. Can. J. For. Res. 33. s. 796–806.
- Hyvönen, E., Turunen, P., Vanhanen, E., Arkimaa H. ja Sutinen, R. 2005. Airborne gamma-ray surveys in Finland. Teoksessa Airo, M.-L. (toim.). Aerogeophysics in Finland 1972-2004. Methods, system characteristics and applications. Geological survey of Finland, Special paper 39. s. 119–134.
- Ilmatieteen laitos, 2011. Ilmatieteen laitoksen internetsivut, tutkimustoiminta <http://ilmatieteenlaitos.fi/tutkimustoiminta> , haettu 05/2011
- Kangas, M., Hippi, M., Ruotsalainen, J., Näsman, S., Ruuhela, R., Venäläinen, A. ja Heikinheimo, M. 2006. The FMI road weather model. HIRLAM Newsletter no. 51, October 2006. 7 s.
- Keski-Suomen ELY-keskus. 2010. Yksityistiearkkitehtuuri ja yksityisteiden tietoarkkitehtuuri. Tehtävät, vastuut ja tietojärjestelmät – nykytila ja kehittämismahdollisuudet. Keski-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen julkaisuja 5/2010. 76 s.
- Kimball, J.S., McDonald, K.C., Froking, S. ja Running, S.W. 2004. Radar remote sensing of the spring thaw transition across a boreal landscape. Remote sensing of environment 89 (2004) s. 163–175.
- Korpilahti, A. (toim.) 2008. Metsäteiden kuntoinventoinnin ja kuntotiedon hyödyntämisen toimintamalli. Metsätehon raportti 202. Metsäteho Oy, Helsinki 2008. 60 s.
- Kseneman, M., Gleich, D. ja Cucej, Z. 2011. Soil moisture estimation using high-resolution spotlight TerraSAR-X data. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. Vol. 8. No. 4 July 2011 (article accepted for inclusion in a future issue of this journal).
- Kärnä, J.-P., Huttunen, M., Metsämäki, S., Vehviläinen, B., Podsechin, V., Pulliainen, J., Lemmetyinen, J., Kuitunen, T., Rauste, Y. ja Berglund, R. 2010. Improving hydrological forecasting using multi-source remote sensing data together with in situ measurements.

- Laaksonen, H. 2009. Maanmittauslaitoksen uusi valtakunnallinen korkeusmalli laserkeilaamalla: hyöty ja mahdollisuudet. Pro gradu -työ, Helsingin yliopisto, Maantieteen laitos. 68 s.
- Lilja, H., Uusitalo, R., Yli-Halla, M., Nevalainen, R., Väänänen, T. ja Tamminen, P. 2006. Suomen maannostietokanta, maannoskartta 1:250 000 ja maaperän ominaisuuksia. MTT:n selvityksiä 114. 70 s.
- Lind, B.B. ja Lundin, L. 1990. Saturated hydraulic conductivity of Scandinavian tills. *Nordic Hydrology*, 21. s. 107–118.
- Linde, J. ja Grab, S. 2011. The changing trajectory of snow mapping. *Progress in Physical Geography* 35(2). S. 139–160.
- MML, 2011. Maanmittauslaitoksen internetsivut, aineistokuvauksia (www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/)
- MMM, 2009. Korkeustieto-yhteistyöryhmän loppuraportti, Helsinki 31.12.2008. Työryhmämuistio mmm 2009:2. 30 s + liitteet (verkkojulkaisu http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2009/5Edo9SybD/Korkeustieto-yhteistyoryhman_loppuraportti.pdf)
- Murphy, P.N.C., Ogilvie, J., Castonguay, M., Zhang, C-f., Meng, F.-R. ja Arp, P.A. 2008. Improving forest operations planning through high-resolution flow-channel and wet-areas mapping. *The Forestry Chronicle*. Vol. 84, July/August, no. 4. s. 568–574.
- Murphy, P.N.C., Ogilvie, J. ja 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., Meng, F.-R., White, B., Bhatti, J.S. ja Arp, P.A. 2011. Modelling and mapping topographic variations in forest soils at high resolution: a case study. *Ecological Modeling*, Article in Press. 19 s.
- Nenonen, K. ja Nevalainen, R. 1999. Geologisen ja lentogeofysikaalisen kartoitusaineiston käyttö sotilasgeologisessa kartoituksessa kallion ja pohjaveden pinnan määrittämiseen. Maanpuolustuksen tieteellinen neuvottelukunta, Raporttisarja A 1999/2. 39 s.
- Partanen, T. ja Saarelainen, J. 1992. Metsäsuunnittelun ja maaperäkartoituksen yhteensovittaminen Varpaisjärven Korpijärvellä. Moniste. Geologian tutkimuskeskus – Pohjois-Savon metsäkeskus. 25 s.
- Pasanen, K ja Parviainen, J. 2005. Spatiaalinen tiedonlouhinta ja maaperäkartoituksen menetelmien kehittäminen. iEnvironment2 – Geo1. Loppuraportti. Kuopion yliopisto, Ympäristöinformatiikka. Tekes. 48 s.
- Peronius, P., Virtanen, K., Leino, J. ja Lerssi, J. 1998. Inventointimenetelmät suo- peltojen kartoituksessa. Suo Oy. Oulu 49 s +13 liitettä
- Pulliainen, J. 2004. Kaukokartoitus vesistöjen seurannassa, seminaariesitelmä. Teknillinen korkeakoulu, Avaruustekniikan laboratorio.
- Pulliainen, J. haastattelu. 2011. Professori Jouni Pulliaisen haastattelu Ilmatieteen laitoksella 6.4.2011.

- Rantanen, T., Turunen, J. ja Nousiainen, A. 2005. Vähäliikenteisten teiden kuivatus, ominaispiirteet ja kunnostaminen. Tiehallinnon selvityksiä 65/2005. Helsinki, 2005. Tiehallinto. 38 s + 18 s. liitteitä.
- Rodhe, A. ja Seibert, J. 1999. Wetland occurrence in relation to topography: a test of topographic indices as moisture indicators. *Agricultural and Forest Meteorology* 98–99. s. 325–340.
- Saarelainen, J. 1998. Maaperäkartoituksen maalajikuvioinnit metsäsuunnittelun avuksi. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/1998. s. 480–484.
- Saarelainen, S. ja Törnqvist, J. 2004. Painorajoituksen ajoituksen ja suuruuden määrittäminen. Alempiasteisten teiden taloudellinen ylläpito. *Esiselvitys. Tiehallinnon selvityksiä* 8/2004. 63 s. + 18 s. liitteitä.
- Sass, G.Z. ja Creed, I.F. 2008. Characterizing hydrodynamics on boreal landscapes using archived synthetic aperture radar imagery. *Hydrological Processes* 22. s. 1687–1699.
- Sippel, K. 2010. Algoritmin ja korkeusmallin resoluution vaikutus valuma-alueen laskentatulokseen. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, maanmittaustieteiden laitos. 57 + 16 s.
- Suomen Akatemia, 2010. Rahoituspäätös 14.9.2010 ja hankkeen julkinen kuvaus. Antikainen Harri, Oulun yliopisto.
- Suvinen, A. 2006. A GIS-based simulation model for terrain tractability. *Journal of Terramechanics*. 43(4). s. 427–449.
- Suvinen, A., Tokola, T. ja Saarilahti, M. 2009. Terrain trafficability prediction with GIS analysis. *Forest Science* 55(5). s. 433–442.
- Törmä, J., Lumme, J. ja Karila, K. 2003. Retrieval of boreal forest and surface characteristics from ENVISAT multisensor data. Tutkimusprojektin kuvaus. Päivitetty 23.9.2003.
http://www.foto.hut.fi/research/projects/pr_Retrieval_of_boreal_forest_and_surface_characteristics_from_ENVISAT_multisensor_data.html , haettu 2.5.2011.
- Vega-Nieva, D.J., Murphy, P.N.C., Castonguay, M., Ogilvie, J. ja Arp, P.A. 2009. A modular terrain model for daily variations in machine-specific forest soil trafficability. *Canadian Journal of Soil Science* 89. s. 93–109.
- Wang, L. ja Qu, J.J. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Front. Earth. Sci. China* 2009 3(2). s. 237–247.
- Wilson, J.P. ja Gallant, J.C. 2000. *Terrain analysis: principles and applications*. Wiley & Sons. 485 s.
- Zhang, H. ja Pu, Z. 2010. Beating the uncertainties: Ensemble forecasting and ensemble-based data assimilation in modern numerical weather prediction – review article. *Advances in meteorology*. Volume 2010, article ID 432160. 10 s.