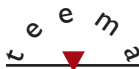


Topi Tanhuanpää, Ville Kankare, Mikko Vastaranta, Ninni Saarinen,  
Markus Holopainen, Juha Raisio, Tommi Sulander, Juha Hyyppä ja Hannu Hyyppä

## 3D-tiedosta lisäarvoa kaupunkien viher- suunnitteluun sekä katu- ja puistopuiden hoitoon

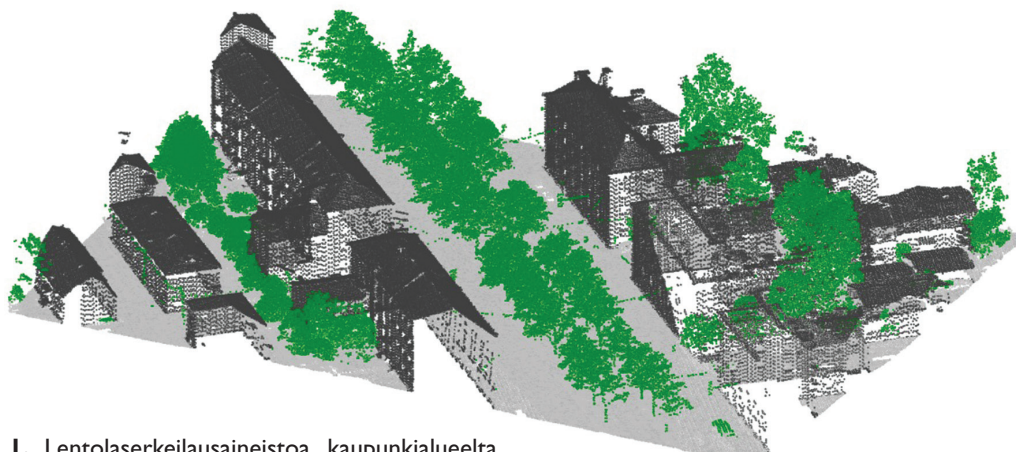


### Johdanto

**L**entolaserkeilausta on hyödynnetty kaupunkimittauksessa ja -suunnittelussa jo pitkään. Esimerkiksi Helsingistä on saatavana laserkeilausaineistoja 2000-luvun alusta lähtien. Viime vuosina maastolaserkeilaukseen perustuvat menetelmät ovat yleistyneet kovaa vauhtia etenkin rakennetun ympäristön tarkassa 3D-mittauksessa, -mallinnuksessa ja -visualisoinnissa. Sen sijaan puisto- ja kaupunkimetsien mittauksessa ja suunnittelussa uusien menetelmien hyödyntäminen on ollut vasta tutkimusasteella. 3D-/4D (x, y, z, t) -teknologia mahdollistaa jo nykyisin entistä tarkemmat ja kustannustehokkaammat mittaukset monissa kaupunkisuunnittelun sovelluksissa. Nyt on kuitenkin aika miettiä, mitä lisäarvoa kaiken aikaa tarkentuva tieto voi tulevaisuudessa tuoda. Tällöin keskeistä on sekä tutkimuksessa että operatiivisessa toiminnassa poikkitieteellinen lähestymistapa, jossa lisäarvoa haetaan eri tieteenalojen ja toimintojen rajapinnoilta. Tässä artikkelissa tutkimusryhmämme visioi mahdollisuuksia 4D-tiedon tuottamaan lisäarvoon kahdesta näkökulmasta: 1) Kaupunkipuistojen ja -metsien kartoitus ja seuranta, 2) Seurantatiedon hyödyntäminen rakennetun ympäristön, pihojen sekä kaupunkipuistojen ja -metsien hoidossa. Visiomme perustuu tähänastisiin tutkimustuloksiin.

### 3D/4D-mittaukset kaupunkipuiden kartoituksessa ja seurannassa

Metsäsuunnittelun ja metsiin liittyvän tiedon hallinnan näkökulmasta kaupunkimetsät ovat mielenkiintoinen osa suomalaista metsätaloutta. Esimerkiksi sidosryhmien osallistamista, joka on olennainen osa nykyaikaista metsäsuunnittelua, on jo pitkään käytetty kaupunkisuunnittelussa. Metsien käytön tavoitteiden ja tarpeiden kirjo lisääntyä kaiken aikaa, joten on tärkeää kehittää edelleen menetelmiä muiden kuin puuntuotannollisten arvojen huomioimiseen. Esimerkiksi Helsingin kaupungin metsiä ja niihin liittyviä paikkatietoaineistoja voidaankin pitää eräänlaisena testilaboratoriona kehitettäessä metsäsuunnitteluun liittyvien ekologisten, sosiaalisten ja kulttuuristen arvojen arviointia ja seurantaa sekä erilaisten ekosysteemipalveluiden arvottamista. Helsingin yliopiston metsätieteiden laitos onkin tehnyt jo noin kymmenen vuotta metsien kaukokartoitukseen liittyvää yhteistyötä Helsingin kaupungin rakennusviraston viherosaston kanssa. Seuraavassa esittelemme viimeisimmän, 3D- ja 4D-mittauksiin (4D:ssä mukana aikaulottuvuus) liittyvän yhteistyöprojektin.

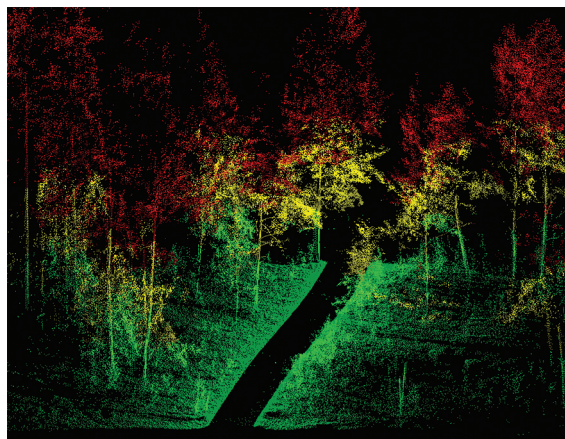


**Kuva 1.** Lentolaserkeilausaineistoa kaupunkialueelta.  
©Ville Kankare

### Laserkeilaus katu- ja puistopuiden kartoituksessa

Kaupunkimetsät, -puistot, -viheralueet ja -pihat ovat mielenkiintoinen sovellusalue laserkeilaukseen perustuvalla 3D-tiedolle. Kaupungeissa yksittäisten puiden arvo voi olla tuhansia euroja, jolloin myös puiden kartoitusta ja seuranta pitäisi tehdä ja rahoittaa huomattavasti enemmän kuin talousmetsissä. Talousmetsissä yksityiskohtaisen tiedon hyödyntämisen kynnyksysymykseksi muodostuu usein entistä tarkemman tiedon hinta. Näin ollen näkisimme 3D-mittausten ja kaupunkimetsien olevan yksi tärkeä rajapinta, jolla uusilla menetelmillä on mahdollista tuottaa merkittävää hyötyä. Tämä on ymmärretty myös Helsingin kaupungin rakennusviraston viherosastolla. Helsingin kaupunki hallinnoi noin 20 000 katupuun rekisteriä, joka on alun perin (vuonna 1999) tuotettu kaavakartoilta digitoimalla. Katupuurekisteriin oli vuosien varrella kerääntynyt runsaasti virheitä / päivitettävää, joten Helsingin kaupungin rakennusviraston viherosasto tilasi Helsingin yliopiston metsätieteiden laitokselta rekisterin päivityksen.

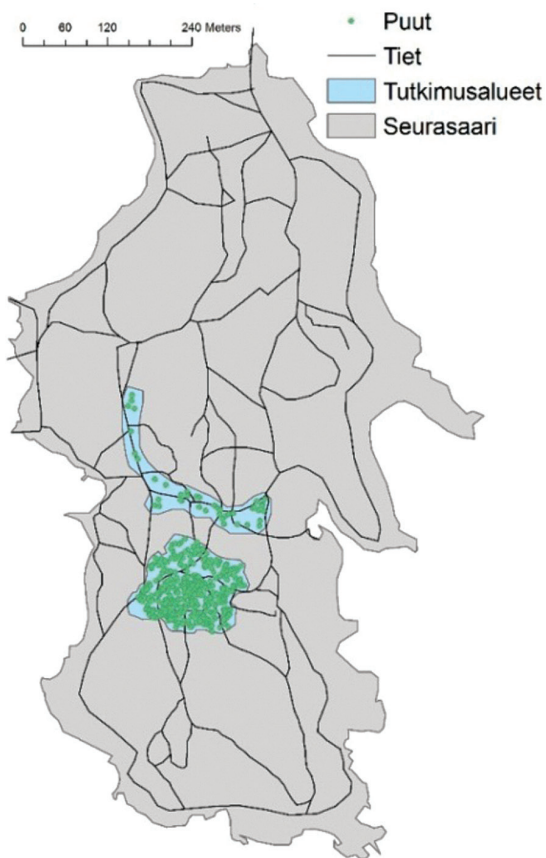
Mahdollisia perinteisiä menetelmiä katupuurekisterin päivitykseen ovat ilmakuvatulkinta tai takymetrimittaukset maastossa. Uudet laserkeilaukseen perustuvat 3D-menetelmät ovat kuitenkin kustannustehokkaampi vaihtoehto. Katupuiden kartoitukseen soveltuvia laserkeilausmenetelmiä ovat lentolaserkeilaus (*airborne laser scanning, ALS*) sekä



**Kuva 2.** Mobiili-maastolaserkeilausaineistoa Seurasaaresta. ©Ville Kankare

joko jalustalta (*terrestrial laser scanning, TLS*) (kuva 1) tai liikkuvasta autosta/mönkijästä (*mobile laser scanning, MLS*) (kuva 2) tehtävä maastolaserkeilaus.

Aloitimme projektin tutkimalla lento- ja maastolaserkeilauksen menetelmiä Helsingin Seurasaaren perustetulla n. kahden hehtaarin testialueella (kuva 3). Heterogeeninen kaupunkimetsä on itse asiassa myös laserkeilausmenetelmille ongelmallinen kohde: Puulajeja on runsaasti ja puiden latvusrakenne vaihtelee voimakkaasti jo yksittäisten puulajien sisällä. Myös aluskasvillisuutta on paikoin runsaasti. Seurasaaren tutkimuksessa testattiin puiden kartoit-

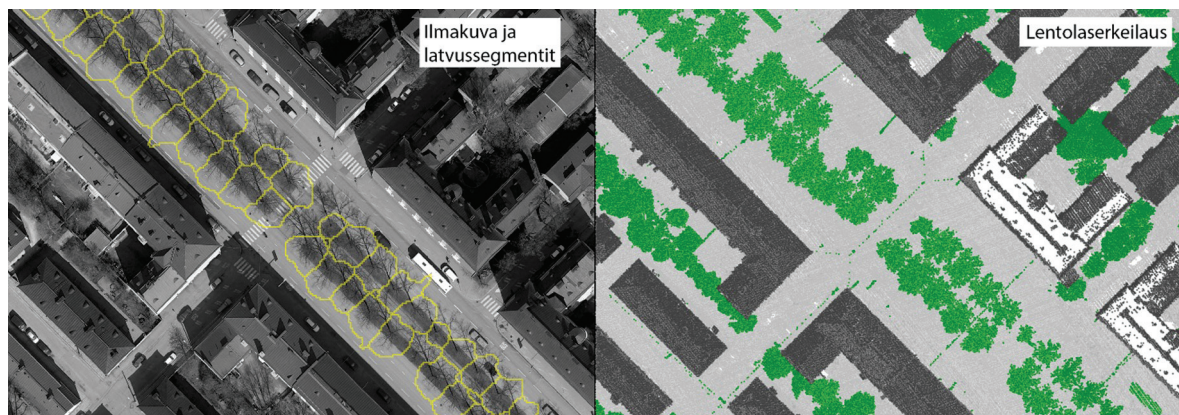


**Kuva 3.** Seurasaaren tutkimusalue. ©Ville Kankare

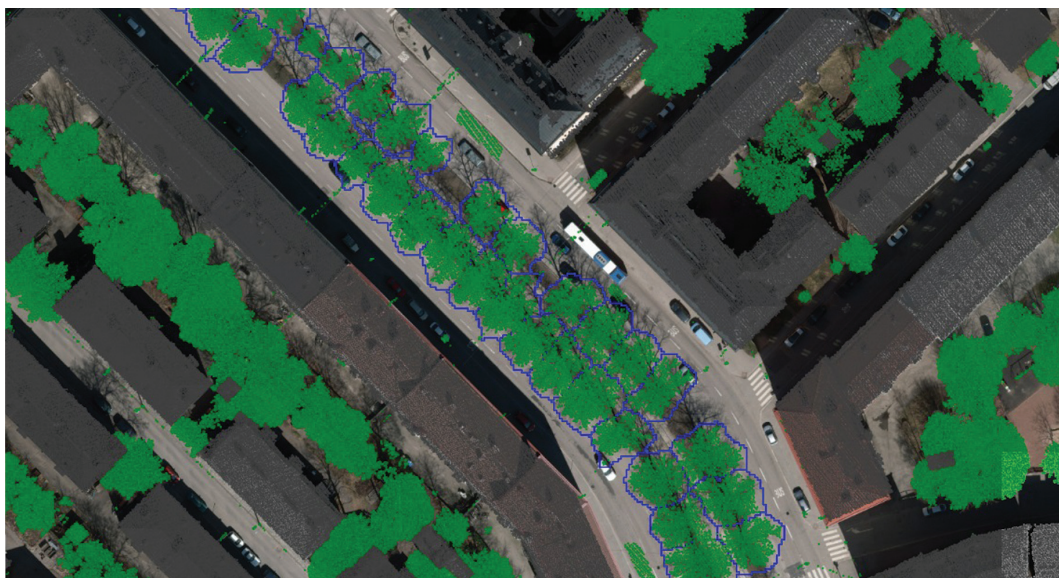
tustarkkuutta, puiden löytymistä sekä manuaalista ja automaattista puutunnusten mittaamista eri laserkeilausmenetelmillä. Testin tuloksena oli, että jalustalta tehtävät maastolaserkeilausmittaukset tuottavat selkeästi tarkimman mittaustuloksen. Puiden kartoituksen osalta sekä mobiili- että lentolaserkeilaus tuottivat esimerkiksi katupuurekisterin päivitykseen riittävän tarkkaa tietoa.

Seurasaaren testin perusteella valitsimme katupuurekisterin päivitysmenetelmäksi lentolaserkeilausmenetelmäksi. Valintaa puolsi paitsi Seurasaaren testin tuottamat tulokset myös se, että Helsingin kaupungin alueelta on saatavissa tiheäpulsiset lentolaserkeilausaineistot usealta ajankohdalta. Tulkinnan apuna käytettiin myös korkean resoluution (maastoresoluutio 5 cm) ilmakuvia (kuva 4). Katupuurekisterin päivitykseen kehitettiin puoliautomaattinen menetelmä, jonka avulla rekisterin noin 20 000 puun tiedot päivitettiin.

Päivitysprosessissa kohdatut ongelmat voidaan jakaa karkeasti ALS-pistetiedon analysointiin ja varsinaisen rekisterin päivittämiseen. ALS-tiedon käsittelyyn ja analysointiin vaikutti eniten puiden kasvuympäristö: kaupunkiympäristöön kuuluvat rakennelmat, kuten valaisintolpat, opasteet ja johtimet vaikeuttivat pisteaineiston käsittelyä ja automaattista tulkintaa. Konkreettisimmin tämä kävi ilmi kohteissa, joissa puurivien lomassa kulkevat sähkökaapelit ja vaijerit vaikuttivat tuotettujen puusegmenttien muotoon ja sitä kautta puiden sijainnin määrittä-



**Kuva 4.** Katupuiden päivittämisessä käytetyt materiaalit: Vasemmalla ilmakuva sekä puiden latvussegmentit ja oikealla lentolaserkeilausella tuotettu luokiteltu laserpistepilvi. ©Ville Kankare



**Kuva 5.** Katupuita (ilmakuva ja segmentit + ALS): Kuvan yläosassa valaisinvaijerit vaikuttavat muodostettujen segmenttien muotoon. © Ville Kankare

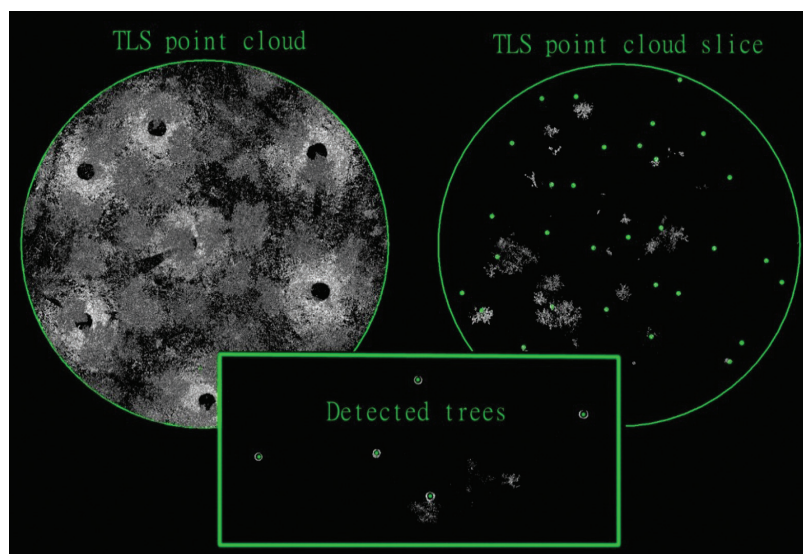
miseen (kuva 5). Myös katupuiden latvusten monimuotoisuus vaikeutti aineiston automaattista tulointaa. Eri puulajit muodostavat kasvaessaan hyvin erityyppisiä latvusrakenteita: Toisilla puulajeilla latvus pysyy suppeana ja yhtenäisenä, kun taas toisten lajien latvukset haaroittuvat voimakkaasti. Etenkin vanhojen lehtipuiden monihaaraiset latvukset jakautuivat helposti useammaksi segmentiksi. Toisaalta nuoret ja pienilatvuksiset katupuut jäivät helposti suurempien puiden muodostamien segmenttien sisään, mikäli puut sijaitsivat lähellä toisiaan.

Osa kohdatuista ongelmista ei suoraanaisesti ilmennyt ALS-mittaustiedon käsittelyssä ja analysoinnissa, vaan irrotetun tiedon yhdistämisessä olemassa olevaan rekisteriin. Rekisterin puiden paikannustarkkuus vaihteli huomattavasti: osa puista oli paikannettu senttien tarkkuudella, kun taas joidenkin puiden sijainneissa oli useiden metrien virheitä. Päivitettävän rekisterin sijaintitiedon epävarmuus hankaloitti lentolaserkeilausaineistosta laskettujen puutunnusten yhdistämistä rekisterissä oleviin puihin, koska puusegmenttiä ei pystytty automaattisesti yhdistämään mihinkään yksittäiseen rekisterin puuhun.

Katupuiden puutunnukset pystyttiin kaupunkiympäristön asettamista esteistä huolimatta ennus-

tamaan riittävällä tarkkuudella: pituuden tarkkuusestimaatin, keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE) oli 1,28 metriä (12,7 %) ja läpimitan RMSE 6,9 senttiä (29,1 %). Tuloksista on huomattava, että käytetystä ei-parametrisesta lähimmän naapurin mallinnusmenetelmästä (RandomForests) johtuen pienimpien ja suurimpien läpimittaluokkien tulokset olivat läpimitan osalta huomattavasti keskimääräistä huonompia (lpm-luokka 0–10 cm: RMSE 3,3 senttiä (40,6 %); lpm-luokka 50+ cm: 20,6 senttiä (35,9 %)). Erityisesti suurimpaan läpimittaluokkaan kuuluvia puuta oli huomattavan vähän, ja heikommat tulokset selittyivätkin suurelta osin mallinnusmenetelmän ominaisuuksilla harvinaisia ilmiöitä yleistettäessä: harvinaisimmista läpimittaluokista ei saada tarpeeksi havaintoja, jotta niitä voitaisiin mallintaa luotettavasti. Joillakin alueilla lehtipuita oli myös ”tolpattu” vuosikymmeniä sitten. Toimenpiteessä puu katkaistaan muutaman metrin korkeudelta, mikä vaikuttaa voimakkaasti latvusmuodon kehitykseen. Tällaisten puiden kohdalla läpimitan mallinnustarkkuus on varmasti keskimääräistä huonompi.

Yksittäisiä poikkeuksia lukuun ottamatta kehitetty menetelmä toimi hyvin. Päivitetyt läpimittatiedon lisäksi puurekisteriin pystyttiin lisäämään pituustieto jokaiselle päivitetylle puulle. Vasta ALS-aineis-



**Kuva 6.** Maastolaserkeilauksella tuotetusta aineistosta (*TLS point cloud*) yksittäisten puiden tunnistaminen: 1) valittiin horisontaalisesti kaikki laserpisteet noin 1,3 metrin korkeudelta (*TLS point cloud slice*); 2) etsittiin puiden rungot ja tallennettiin runkojen tarkat sijainnit (*Detected trees*). © Ville Kankare

tojen hyödyntäminen teki katupuiden pituuden mittaamisesta mielekäästä, sillä pituuden manuaalinen mittaaminen kaikille puille oli aiemmin todettu siitä saataviin hyötyihin nähden liian kalliiksi. Kuitenkin, puiden pituudella on kaupunkialueella suuri merkitys esimerkiksi näkyvyyden ja katuinfrastruktuurin (opasteet, tolpat, sähkökaapelit jne.) kannalta.

Jatkossa katupuurekisterin päivitys on tarkoitus toteuttaa ALS-aineistoihin perustuen. Helsingin kaupungin viherosasto on myös kiinnostunut rekisterin laajentamisesta puistometsiin. Kaupungin ALS-aineistojen hyödyntäminen katupuurekisterin päivityksessä voidaan nähdä erinomaisena esimerkkinä siitä, kuinka uusista 3D-lasermittauksista voidaan tuottaa todellista lisäarvoa. Katupuurekisterin päivityksen näkökulmastahan lentolaserkeilaus- ja ilmakuva-aineistot ovat tässä tapauksessa ilmaisia, koska ne hankitaan kaupunkisuunnittelun muihin tarpeisiin joka tapauksessa.

### Monilähteinen yksinpuintulkinta kaupunkiympäristössä

Jotta lento- ja maastolaserkeilausaineistoja voitaisiin hyödyntää laajemmin kaupunkipuiden päivityksessä kattamaan myös puistopuut, kehitettiin Seurasaaren testialueelta kerätyllä maasto- ja lentolaserkeilausaineistolla monilähteinen yksinpuintulkinta. Menetelmän avulla pystyttiin päivittämään Seurasaaren testialueen puille läpimittatiedon lisäksi myös pituus sekä tieto latvuksen koosta. Menetelmä vaatii olemassa olevan puustokartan, joka voidaan tuottaa maastolaserkeilauksella tunnistamalla yksittäiset puut ja tallentamalla niiden koordinaattitiedot (kuva 6).

Menetelmän avulla pystytään tuottamaan tietoa puuston läpimitta- ja pituusjakaumista sekä päivittämään tiedot yksittäisten puiden pituuksista ja latvusten mitoista. Puiden paikat, runkomuoto sekä latvuksen mitat pystytään määrittämään tarkimmin maalaserkeilausmenetelmien avulla, kun taas puiden pituuksien määrittäminen onnistuu parhaiten lentolaserkeilausaineistosta. Puutietokannan päivittämisessä voidaan käyttää mitä tahansa edellä mainituista laserkeilausmenetelmistä tai niiden yhdistelmää.



**Kuva 7.** Maastolaserkeilauksella tuotettua mittaustietoa Seurasaaresta: "Virtuaalimetsä".  
©Ville Kankare

Puukohtaista tietoa läpimitasta, pituudesta ja latvuksen koosta voidaan hyödyntää tulevia hoitotoimenpiteitä suunniteltaessa tai kartoitettaessa puita, jotka ovat heikentyneen kuntosaa vuoksi vaarallisia. Erityisesti latvustietoa hyödyntäviä sovelluksia ovat esimerkiksi risteysalueiden näkyvyysanalyysit sekä liian lähellä rakennuksia tai katuvalaisimia kasvavien oksien automaattinen paikantaminen. Puukohtaisten ominaisuustietojen lisäksi menetelmä tuottaisi samalla myös 3D-virtuaalimallia katupuista, puistoista ja rakennetusta ympäristöstä.

### Lopuksi

Seurasaaresta on tarkoitus jatkossa kehittää yksi laserkeilauksen huippuyksikön pysyvistä testialueista, jossa uusia sensoreita ja menetelmiä kehitetään sekä testataan 3D-virtuaalimallien tuottamista ja hyödyntämistä (kuva 7).

Tulevaisuudessa Helsingin kaupungin katupuurekisterin tietoja halutaan hyödyntää myös puiden terveydentilan seurannassa, hiilitaseinventoinnissa sekä erilaisissa kaupunkiympäristöön liittyvissä maisema-, melu- ja katupölyanalyysissä. Tällöin tarvitaan entistä tarkempaa tietoa paitsi puiden tarkasta sijainnista ja pituudesta, myös latvuksen 3D-rakenteesta sekä runkomuodosta. Katupuurekisterin päivitys, laajentaminen ja kehittäminen voidaankin

nähdä erinomaisena esimerkkinä siitä, kuinka monilähteistä yksinpuintulkintaa voidaan kehittää ja ottaa nopealla aikataululla operatiiviseen käyttöön.

### Kirjallisuutta

- Holopainen, M., Kankare, V., Vastaranta, M., Liang, X., Lin, Y., Vaaja, M., Yu, X., Hyypä, J., Hyypä, H., Kaartinen, H., Kukko, A., Tanhuanpää, T. & Alho, P. 2013 Tree mapping using airborne, terrestrial and mobile laser scanning – a case study in a heterogeneous urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening* 2013(12): 546–553.
- Saarinen, N., Vastaranta, M., Kankare, V., Tanhuanpää, T., Holopainen, M., Hyypä, J. & Hyypä H. 2014. Urban-tree-attribute update using multisource single-tree inventory. *Forests* 5(5): 1032–1052.
- Tanhuanpää, T., Vastaranta, M., Kankare, V., Holopainen, M., Hyypä, J., Hyypä, H., Alho, P. & Raisio, J. 2014. Mapping of urban roadside trees – a case study in the tree register update process in Helsinki City. *Urban Forestry & Urban Greening* 2014(3): 562–570.

■ Kirjoittajat: Helsingin yliopisto, Metsätieteiden laitos  
Sähköposti [topi.tanhuanpaa@helsinki.fi](mailto:topi.tanhuanpaa@helsinki.fi)