



Janne Ikäheimo & Oula Seitsonen

Maanmittauslaitoksen uusi ja tarkempi laserkeilausaineisto (Laserkeilausaineisto 5p) kuoppajäännösten tutkimuksessa

Maanmittauslaitos on tuottanut vapaasti saatavilla olevaa ilmalaserkeilausaineistoa yli kymmenen vuotta. Arkeologit ovat aktiivisesti käyttäneet Laserkeilausaineisto 2008–2019 -aineistoa tutkimuksissaan, mutta sen käyttöä on rajoittanut harva mittauspistetiheys (0,5 pistettä/m²). Kesällä 2020 tilanne muuttui merkittävästi, kun Maanmittauslaitos alkoi tuottamaan uutta, kymmenen kertaa tarkempaa Laserkeilausaineisto 5p -aineistoa, jossa nimensä mukaan on 5 pistettä/m². Museoviraston ja Oulun yliopiston LIDARK-hanke aloitti alkuvuodesta 2021 tutkimaan tämän tarkemman aineiston arkeologisia käyttömahdollisuuksia. Uusi aineisto mahdollistaa kohteiden ja arkeologisten ilmiöiden tarkan paikantamisen ja tarkkuutensa ansiosta myös mahdollisuuden tarkastella yksittäisten rakenteiden ominaisuustietoja. Esittelemme tässä artikkelissa lyhyesti Laserkeilausaineisto 5p:n käyttömahdollisuuksia kahden esimerkin kautta. Aineiston arkeologinen soveltaminen on vasta käynnistynyt ja kehitämme uusia menetelmiä ja lähestymistapoja. Tulevaisuudessa erilaisten ilmalaserkeilausaineistosta tunnistettavien kohteiden määrä maassamme tulee kasvamaan merkittävästi erityisesti vähän tutkituilla, syrjäisemmillä alueilla.

Lantmäteriverkets nya och mer precisa laserskannade material (Laserskannat material 5p) i undersökningen av groplämningar

Lantmäteriverket har framställt fritt tillgängligt flygburet laserskannat material under mer än tio år. Arkeologer har aktivt använt sig av materialet Laserskannat material 2008–2019 i sin forskning, men dess glesa mätpunktstäthet (0,5 punkter/m²) har begränsat dess användning. Sommaren 2020 ändrade situationen avsevärt, då Lantmäteriverket började framställa det nya, tio gånger mer precisa Laserskannat material 5p-materialet, vars punkttäthet likt dess namn antyder är 5 punkter/m². Museiverkets och Uleåborgs universitets LIDARK-projekt började undersöka det mer precisa materialets användningsmöjligheter under början av år 2021. Det nya materialet möjliggör en precis platsbestämning av lokaler och arkeologiska fenomen, och tack vare dess precision är det även möjligt att granska informationen i enskilda strukturers egenskaper. I denna artikel presenterar vi kort användningsmöjligheterna av Laserskannat material 5p utgående från två exempel. Tillämpningen av materialet i arkeologiska syften har bara börjat, och vi utvecklar nya metoder och tillvägagångssätt. I framtiden kommer mängden lokaler i vårt land som är identifierbara i flygburet laserskannat material att växa avsevärt särskilt i avlägsna, sparsamt undersökta områden.

Johdanto

Maanmittauslaitos aloitti ilmalaserkeilausaineiston tuottamisen Suomen alueelta vuonna 2008 ja osa maamme arkeologeista otti varsin pian sen käsittelyyn ja visualisointiin liittyvät menetelmät osaksi arkeologisten kohteiden

paikantamiseen tähtäävää menetelmäpalettiin (Kurri & Haimila 2010; Seitsonen 2011; Koivisto & Laulumaa 2012). Sittenmin aineistojen saatavuus on parantunut sekä avoimen tiedostojakelun että julkisesti saatavilla olevien visualisointien – mm. Paikkatietoikkuna ja Museokartta – myötä. Samalla aineiston hyö-

dyntäminen ja tulkinta on joukkoistunut, sillä monet ilmalaserkeilausaineiston perusteella paikannetuista kohteista ovat löytyneet arkeologian harrastajien aktiivisuuden ansiosta.

Arkeologian ammattilaisen näkökulmasta Maanmittauslaitoksen vuoteen 2019 saakka tuottama Laserkeilausaineisto 2008-2019 (termeistä, ks. Maanmittauslaitos 2021a sekä Seitsonen 2011; 2013) eli aineisto, jossa on puoli mittauspistettä neliometrillä, ei ole ollut riittävän tarkkaa. Kuopat ja kasat -tyyppisissä kohteissa se on kelvannut mainiosti tervahaudan kaltaisen suurten maarakenteiden paikallistamiseen, mutta kohteen koon pienentyessä on tulkinallinen epävarmuus vastaavasti kasvanut. Vähimmillään muinaisjäännösten sijaintia on koetettu tulkita Laserkeilausaineisto 2008-2019:sta muutaman indikaatiiviseksi tulkitun pikselin muodostaman kuvion perusteella (Ikäheimo 2021).

Kesällä 2020 tilanne kuitenkin muuttui olennaisesti, kun Maanmittauslaitos alihankkijoineen suoritti 22 tuotantoalueella uusia keilauslentoja, joissa kerättiin dataa, joka on kymmenen kertaa aiempaa tarkempaa. Tästä aineistosta käytetään nimitystä Laserkeilausaineisto 5p ja nimensä mukaisesti siinä on noin viisi mittauspistettä neliometrillä. Tätä aineistoa on ollut rajoitetusti saatavilla loppusyksystä 2020 alkaen. Keilaussuunnitelman mukaan tarkka laserkeilausaineisto kattaa koko maan pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta syksyyn 2025 mennessä (Kuva 1), minkä jälkeen tarkoituksena on käynnistää uusi keilaussykli.

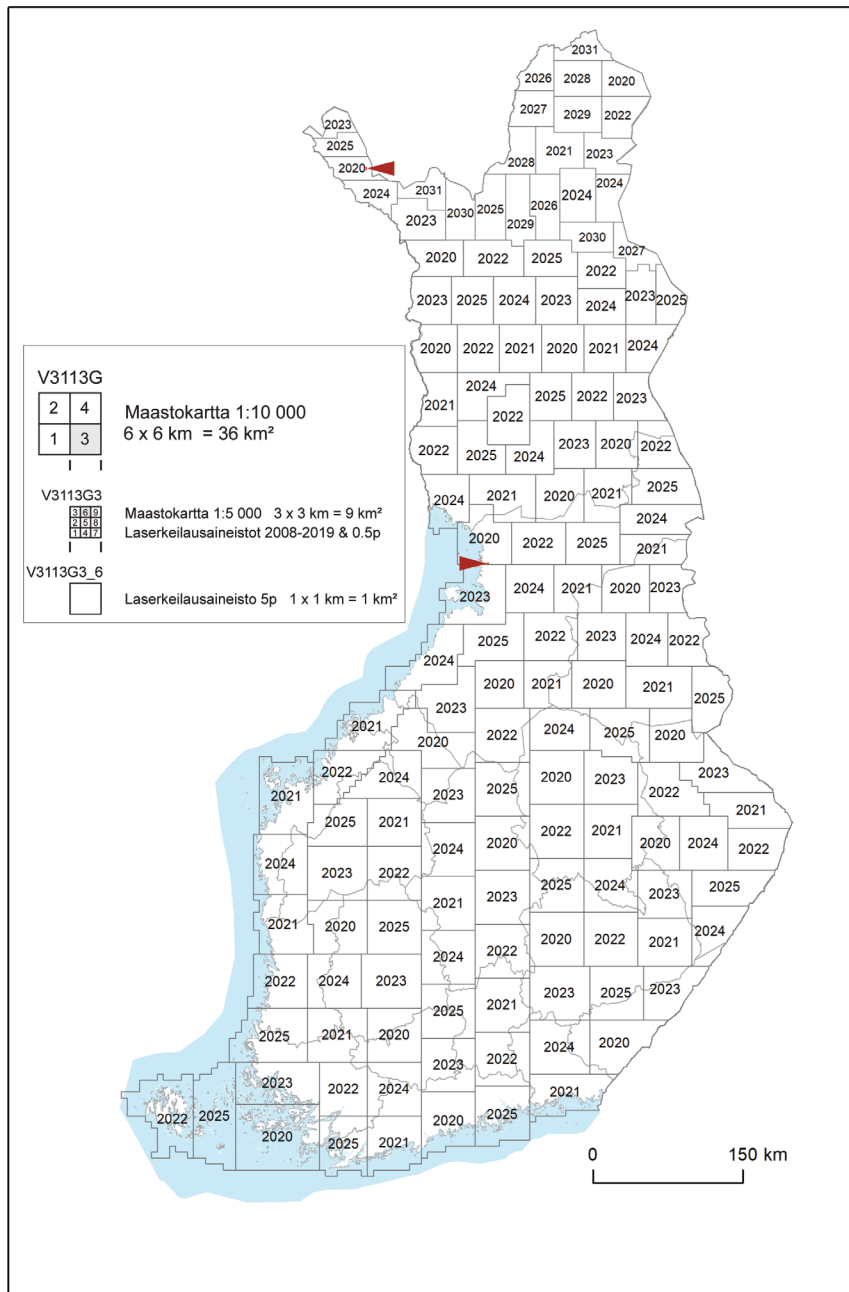
Laserkeilausaineisto 5p ei ole, ainkaan toistaiseksi, avoimesti saatavilla vaan siitä tuotetaan yleiseen jakeluun tarkkuudeltaan harvennettu Laserkeilausaineisto 0,5p. Tarkemman aineiston käyttöön on hankittava lupa, jonka käsittelymaksu on tätä kirjoitettaessa 114,10 euroa tuotantoalueelta (Maanmittauslaitos 2021a). Aineistot ladataan vahvan tunnistautumisen vaativalta Maanmittauslaitoksen serveriltä. Kun yksi tiedosto Laserkeilausaineistoa 2008-2019 sisältää Maastokartta 1:5000:n tavoin yh-

deksän neliökilometrin alan, on tarkemman aineiston ruutukokona neliökilometri. Tarkemman aineiston tunnusjärjestelmä kuitenkin noudattaa UTM-lehtijakoa ja tunnusjärjestelmää siten, että Maastokartta 1:5000:n eli UTM-5000 karttalehden numerointiin lisätään lounaisnurkasta kohti pohjoista edeten numerot 1–9 (Kuva 1).

Tämän artikkelin tarkoitus on luoda alustava katsaus Laserkeilausaineisto 5p:n käytettävyyteen esittelemällä kaksi tapaus-tutkimusta, joiden kohteena ovat Iin Kiviharjun (mj-tunnus 139010012) sekä Enontekiön Mohkkeguoikan (mj-tunnus 1000037745) kuoppajäännöksiä sisältävät muinaisjäännösalueet. Yleisenä tutkimusongelmana on kysymys uuden aineiston käyttötavoista, jonka voi purkaa viiteen kohdekeskeiseen osateemaan: tunnistaminen, paikantaminen, visualisointi, ominaisuuksien määrittely sekä säilymisasteen tulkitseminen. Aineiston ja menetelmien esittelyä seuraava käsittelyluku on rakennettu näille osateemoille, jota seuraava pohdintaosuus tiivistää aihetta koskevat yleisluontoisemmat havainnot. Loppuviitteisiin on koottu aineiston käsittelyyn liittyviä teknisiä havaintoja ja oivalluksia, joista kirjoittajien näkemyksen mukaan voi olla hyötyä laajemmaltikin.¹

Esimerkkikohteet

Tässä artikkelissa käsiteltävät kaksi muinaisjäännöskohdetta, Iin Kiviharju ja Enontekiön Mohkkeguoika, valikoituivat pilottitutkimuksen kohteeksi seuraavin perustein. Molemmat sijaitsevat vuonna 2020 laserkeilatuilla tuotantoalueilla: Kiviharju yhteensä 2800 km² laajalla Kuivaniemen tuotantoalueella ja Mohkkeguoika reilun 1000 km² kokoisella Ropijärvenperän tuotantoalueella (Kuva 1).² Kohteet ovat laajoja muinaisjäännösalueita – Kiviharjulta on inventoitu noin sata keittokuoppaa, Mohkkeguoikasta arviolta 80 pyyntikuoppaa – jotka sijoittuvat eri ajanjaksoille arkeologisen inventoinnin



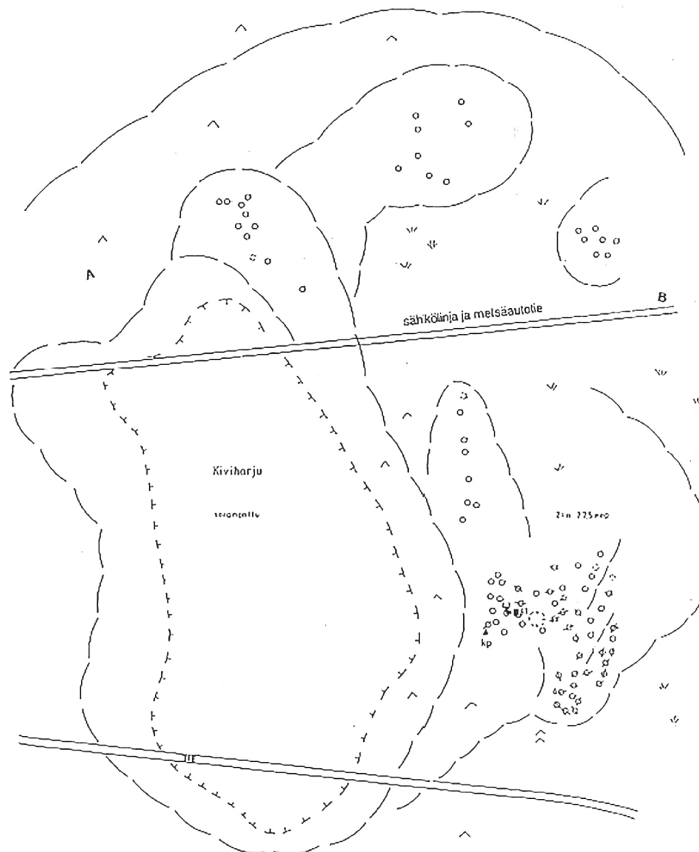
Kuva 1. Maanmittauslaitoksen laserkeilaussuunnitelma tuotantoalueittain vuosille 2020–2025 (pohjois-Lappi 2020–2031). Artikkelissa käsiteltävien alueiden sijainti osoitettu punaisilla nuolilla. Lisäksi kuvassa on esitetty Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoblokkien suhde UTM-karttalehtijakoon. Kartta: Janne Ikäheimo (sisältää Maanmittauslaitos 2021b:n paikatietoaineistoa).

Maanmittauslaitoksen uusi ja tarkempi laserkeilausaineisto (Laserkeilausaineisto 5p) kuoppajäännösten tutkimuksessa

metodisen kehityksen historiassa. Molemmat kohteet kuitenkin liittyvät Oulun yliopistossa tällä hetkellä käynnissä olevaan arkeologiseen tutkimukseen. Kohteiden erilainen sijainti – Kiviharju tyypillisessä loivapiirteisessä kangasmetsässä ja Mohkkeguoika topografialtaan jyrkkäpiirteisemmässä arktisessa tunturikoivikossa – mahdollistaa uuden laserkeilausaineiston toimivuuden tarkastelun erityyppisissä ympäristöissä. Tulevissa tutkimuksissa tarkasteluun sisällytetään lisää erityyppisiä arkeologisia kohteita erilaisissa ympäristöissä.

Iin Kiviharju tuli arkeologien tietoisuuteen viimeistään 1979 Paula Purhosen

suorittaman tarkastuskäynnin kautta (Purhonen 1979). Purhonen havaitsi kohteesta yli 50 kuoppajäännöstä, jotka hän tulkitsi pyyntikuopiksi. Kokonaisuutta hän piti niin merkittävänä, että se luokiteltiin valtakunnallisesti merkittäväksi muinaisjäännökseksi. Kohteen kartoituksen suoritti 1987 Markku Korteniemi, aikana, jolloin satelliittipaikannus oli menetelmänä vielä tuntematonta lähitulevaisuutta. Alakohteista, joiden määrä kasvoi kartoituksen myötä lähemmäs sataa, ei siksi ole aiemmin tallennettu koordinaattitietoja. Korteniemen kartoituksen keskeisin tulos oli yleiskartta (Kuva 2), jos-



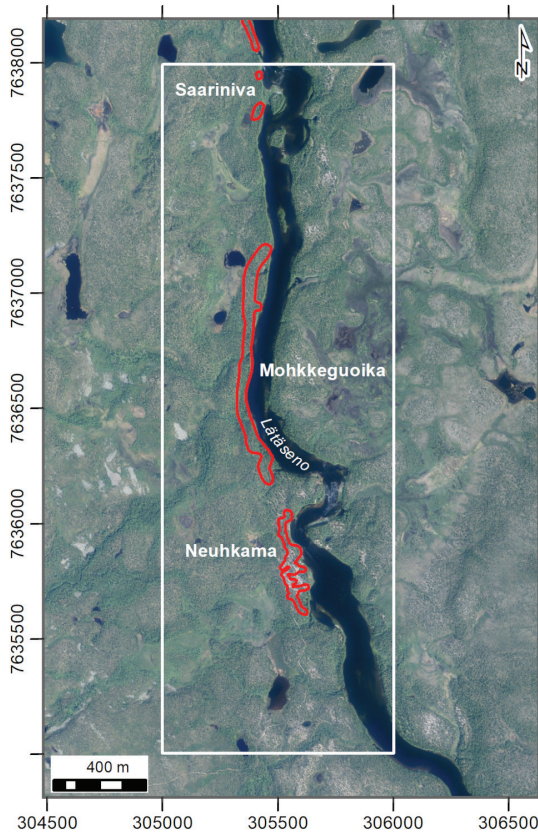
Kuva 2. Iin Kiviharjun kuoppajäännöskohteen yleiskartta, joka perustuu Markku Korteniemen vuonna 1987 suorittamaan kartoitukseen. Lähde: Kortenniemi 1999, kartta 3 (muokkaus Janne Ikäheimo).

sa kuoppajäännösten nähdään sijoittuvan noin 10 hehtaarin alalle neljään tai viiteen klusteriin Kiviharjun itä- ja pohjoisreunalle. Vuonna 1998 hän tutki arkeologisin kaivauksin kaksi keittokuopaksi tai maauuniksi osoittautunutta kuoppajäännöstä (alakohteet 41 & 43), joiden radiohiiliajoitukset (Beta-123180 2410±80 BP ja Beta-123181 2270±60 BP) kertovat pronssikauden lopun ja esiroomalaisen rautakauden alkupuolen aktiviteeteista (Korteniemi 1999).

Enontekiön Mohkkeguoikan pyyntikuoppakohteen dokumentoi Metsähallituksen Lapin luontopalveluille työskennellyt Sami Viljanmaa vuonna 2014 (Viljanmaa 2014). Pyyntikuoppien olemassaolo oli tiedetty jo aikaisemmin, sillä ne oli merkitty Maanmittauslaitoksen karttoihin, vaikka

niitä ei ollut vielä tuolloin viety Muinaisjäännösrekisteriin. Viljanmaa kartoitti paikalta 80 kuoppaa, jotka muodostavat pohjois-eteläsuuntaisen ja noin kilometrin pituisen jonon Lätäsenon länsirannalla (Kuva 3). Halkaisijaltaan pyyntikuopat ovat valtaosaltaan noin nelimetrisiä, matalan vallin ympäröimiä ja syvyydeltään 0,5–1,5 metriä. Tarkastusmatkansa yhteydessä Viljanmaa määrittä kuoppajäännösten sijaintikoordinaatit GPS-vastaanottimella, mutta ei ajanpuutteen vuoksi kirjannut niistä alakohdekohtaisia ominaisuustietoja.

Mohkkeguoikan pyyntikuopat ovat osa laajempialaista kokonaisuutta, josta Viljanmaa dokumentoi 278 kuoppaa useamman kilometrin matkalta Lätäsenon varrelta. Välittömästi Mohkkeguoikan eteläpuolella



Kuva 3. Mohkkeguoikan ja ympäröivien pyyntikuoppakohteiden rajaukset muinaisjäännösrekisterin perusteella (punaisella), tarkasteltujen ruutujen alue rajattu valkoisella, taustalla Maanmittauslaitoksen ilmakuva (Maanmittauslaitos CC BY 4.0). Kartta: Oula Seitsonen.

sijaitsevalta Neuhkaman pyyntikuoppa- ja asuinpaikkakohteelta on saatu vastikään radiohiiliajoitus lieteen tehdystä koekuopasta löytyneistä palaneista luista. Radiohiiliajoitus ajoittaa tulisijasta löytyneet luut varhaismetallikaudelle, 1500–1300-luvulle eKr. (D-AMS-038047 3148±33 BP). Tulisija voi mahdollisesti ajoittaa myös ympäröiviä pyyntikuoppia (ks. Halinen 2005, etelämpänä Enontekiöllä), mutta toistaiseksi tältä alueelta ei ole ajoitettu yhtään kuoppajäännöstä.

Aineisto ja menetelmät

Molempien kohteiden tarkasteluun käytettiin useampaa neliökilometrin laajuista laserkeilausblokkia (termistä, ks. Maanmittauslaitos 2021c; en. *tile*). Iin Kiviharjulla (blokit S4313A1_9 ja S4313A3_3) näin menetellen on mahdollista tarkastella geologista muodostumaa kokonaisuudessaan, vaikka kaikki kuoppajäännökset sijaitsevatkin itäisemmällä blokilla. Enontekiön Mohkkeguoikan (blokit W3333H4_1-3) tapauksessa kolmen ruudun käyttäminen oli välttämätöntä koko laajan kohteen tarkastelemiseksi. Näistä laztiedostomuotoon pakatuista blokeista tuotettiin suoraan pikselikooltaan 0,2 x 0,2 metrin maastomalli (DTM), jossa pikselikoon valinta perustui Laserkeilausaineisto 5p:n tiheyden lisäksi sillä suoritettuihin alustaviin visualisointikokeisiin. Käytännössä pistepilvien interpolointi maastomalliksi tapahtui käyttämällä rapidlasso GmbH:n LAsTools-pakettiin sisältyvää blast2dem-algoritmia ja sen tarjoamaa luokittelufiltteriä. Rajaamalla malliin otettavat pisteet luokkaan 2, jäljelle jäivät Maanmittauslaitoksen automaattiluokitteleman aineiston maanpintaa kuvaavat mittauspisteet.³

Kaikki tutkimustavoitteet (tunnistaminen, paikantaminen, visualisoiminen, ominaisuuksien määrittely ja säilymisasteen tulkitseminen) saavutettiin jälkikäsittelemällä näitä maastomalleja erilaisilla paikkatieto- ja visualisointiohjelmilla. Kohteiden

tunnistaminen perustui ensi sijassa Relief Visualization Toolbox 2.2.1 -ohjelmalla (Zakšek et al. 2011; Kokalj & Somrak 2019) tuotettuihin visualisointeihin, joita käytettiin yhdessä alkuperäisen maastomallin kanssa hyödyksi ArcMap 10.7.1:ssä tapahtuneeseen kohteiden paikantamiseen. ArcMap 10.7.1 toimi myös alustana kohteiden ominaisuustietojen ja säilymisasteen määrittelylle. Lisäksi viimeksi mainittuun tarkoitukseen sekä yleiseen visualisointiin kokeiltiin hyvällä menestyksellä avoimesti saatavilla olevaa 3D Rinnevarjo 1.2.0 -nimistä ohjelmaa (MacGyver 2018) yhdistämällä siihen Maanmittauslaitoksen tarjoamia erilaisia kartta-aineistoja⁴ (ks. myös Risbøl et al. 2020).

Laajojen alueiden tarkastaminen visuaalisesti on kuitenkin suhteellisen aikaa vievää ja tulokset riippuvat monista tekijöistä, esimerkiksi tarkastelijan kokemuksesta ja tarkkaavaisuudesta. Kohteiden paikantamiseksi ja niiden ominaisuustietojen kokoamiseksi onkin mahdollista kehittää myös erilaisia, esimerkiksi koneoppimiseen perustuvia automatisoituja algoritmeja (esim. Lambers et al. 2019; Trier et al. 2021). Ne mahdollistavat laajojen alueiden analysoimisen samalla tarkkuudella ja hyvin nopeasti visuaaliseen tarkasteluun verrattuna. Erilaisten ilmiöiden tunnistamiseen (*feature detection*) on nykyisin olemassa eri kaupallisten tarjoajien valmiita sovelluksia (esim. www.Picterra.ch). Lisäksi eri tutkimushankkeet ovat kehittäneet omiin erityistarpeisiinsa soveltuvia lähestymistapoja esimerkiksi konfliktiarkeologisille (de Matos-Machado et al. 2019) ja teollisuusperintöön kuuluville (Galloway et al. 2019) kohteille. Kohteentunnistusalgoritmeja voi ohjelmoida mittatilaustyönä esimerkiksi Google Earth Engine -paikkatietoalustan avulla ja jakaa muiden jatkokäytettäväksi ja -jalostettavaksi (ks. Orengo et al. 2020). Ensimmäisiin uusien kohteiden algoritmipohjaisiin paikannuksiin sovelsimme määräämällä kokeilulisenssillä Picterran selainpohjaista ja U-net-konvoluutioneuroverkkoon (menetelmästä, ks. Ronneberger et

al. 2015) perustuvaa alustaa. Arkeologit ovat aiemmin hyödyntäneet tätä resurssia menestyksekkäästi esimerkiksi kohteiden tunnistamiseen historiallisesta kartta-aineistosta (Garcia-Molsosa et al. 2021).

Tutkimustulokset

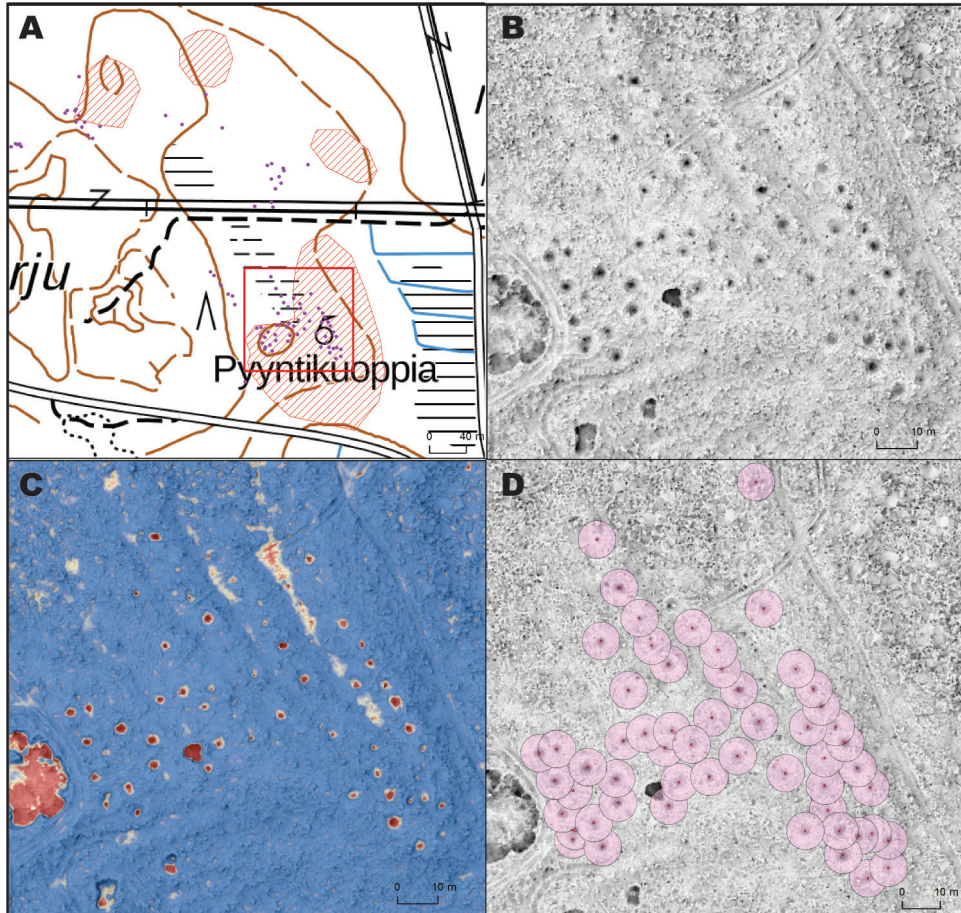
Jos Laserkeilausaineisto 2008-2019 tarjosi monenlaisia haasteita koskien tervahautaa pienempien kuoppajäännösten tunnistamista ja visualisointia, poistaa Laserkeilausaineisto 5p suurelta osin nämä ongelmat. Uudessa laserkeilausdatassa esimerkiksi Iin Kiviharjulla sijaitsevat (Kuva 4a) pienetkin kuoppajäännökset näkyvät varsin selvästi (Kuva 4b) ja niiden erottaminen esimerkiksi myöhemmin kaivetuista maa-aineksentarkistuskuoista on verrattain helppoa. Relief Visualization Toolbox 2.2.1 -ohjelmasta saatavat vinovalovarjosteet ja sky-view-factor-analyysit⁵ sellaisenaan tai eri tavoin yhdisteltynä riittävät useimmissa tapauksissa perustason tulokintaan, mutta niitä on mahdollista parantaa vielä entisestään käsittelemällä maastomallia ArcMap 10.7.1:n tarjoamin analyysien (Kuva 4c, ks. viite 6). Tässä tarkasteltujen kuoppajäännöskohteiden osalta jo visuaalinen tarkastelu mahdollisti uusien alakohteiden paikantamisen – samalla joukkoon tulivat poimituksi keskittymien ulkopuolella sijaitsevat yksittäiset kuoppajäännökset.

Jo alustavat kokeilut Picterran U-net-konvoluutioneuroverkkoalustalla tuottivat Laserkeilausaineisto 5p:llä hämmästyttävän hyviä tuloksia. Esimerkiksi Kiviharjun ja Mohkkeguoikan alueilla eri visualisointien pohjalta suoritettut nopeat ilmiön tunnistamisharjoitukset osoittavat konvoluutioneuroverkkoon perustuvan kohteentunnistusmenetelmän toimivuuden korkealla tilastollisella todennäköisyydellä ainakin suomalaisen pyyntikuoppa- ja keitokuoppa-aineiston kohdalla. Analyysien tuloksena havaittiin esimerkiksi, että Mohkkeguoikan kuopat ovat itse asiassa vain osa

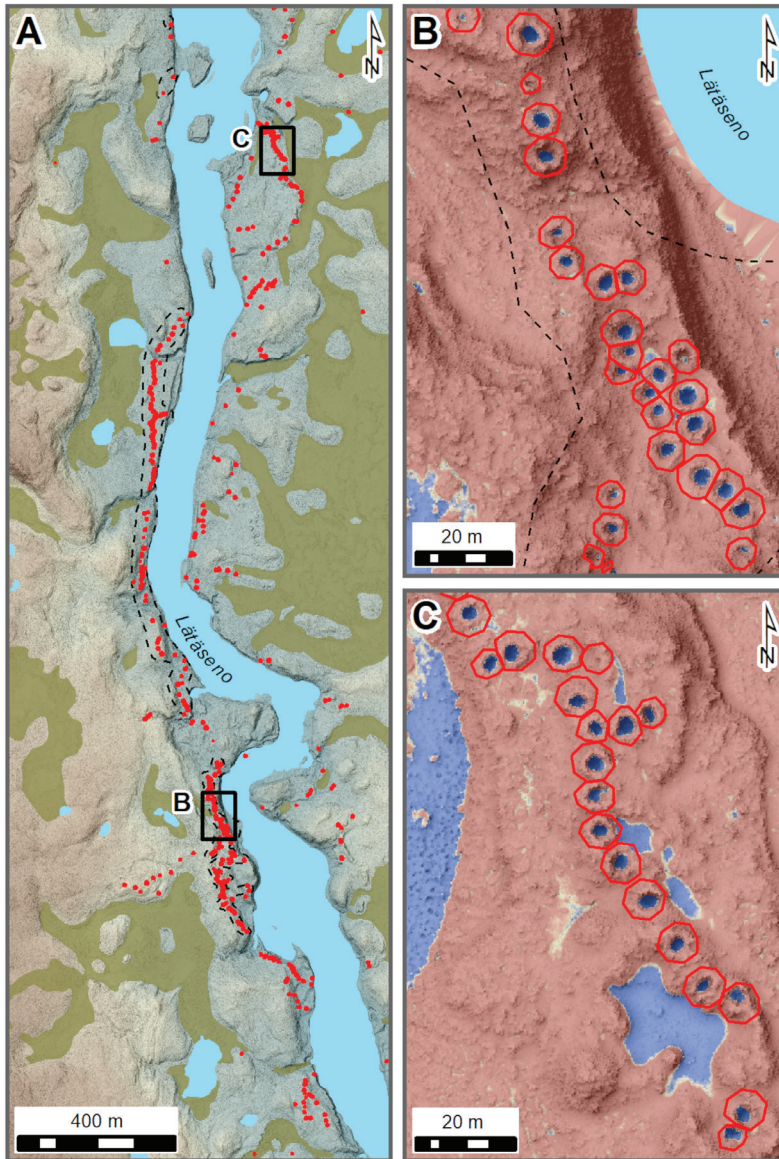
monen kilometrin mittaista lähes yhtenäistä pyyntikuoppaketjua. Siihen kuuluvat myös Mohkkeguoikan etelä- ja pohjoispuolelta vuonna 2014 inventoidut pyyntikuoppakohteet (Neuhkama [mj-tunnus 100009528] ja Saariviva [mj-tunnus 1000037452]). Jo ennestään alueelta dokumentoitujen kuoppien lisäksi tarkastellulta kolmen neliökilometrin alueelta paikannettiin konvoluutioneuroverkkoanalyysin kohteentunnistusmenetelmällä avulla parisataa uutta pyyntikuoppaa (Kuva 5). Kuopat jatkuvat vanhan Laserkeilausaineisto 2008-2019 -aineiston tarkastelun perusteella nyt analysoidun alueen ulkopuolelle sekä pohjoisessa että etelässä. Työn alla olevissa analyyseissä selvittämme laajemmin Lätäsenon alueen pyyntikuoppakesittymän laajuutta ja kuoppien levintää. Jo alustavan tarkastelun perusteella luvassa on satoja uusia pyyntikuoppia Lätäsenon molemmilta rannoilta.

Lätäsenolla laserkeilausaineistosta pieneltä alueelta tehdyt sadat uudet havainnot osoittavat havainnollisesti, mitä kaikkea varsinkin yksin liikkuvalla inventoijalla voi jäädä maastossa näkemättä. Tämä korostuu erityisesti Lapin laajoissa erämaissa kulkiesä jo pelkästään maaston ja kulkuyhteyksien asettamien rajoitusten vuoksi (ks. Seitsonen & Viljanmaa 2021). Automatisoitu kohteentunnistus tarjoaa tähän apua ja mahdollistaa sekä inventointien kustannustehokkaan suunnittelun että maastotöiden kohdentamisen varsinkin laaja-alaisilla tutkimusalueilla. Automatisoitujen algoritmien aineistosta paikantamat potentiaaliset kohteet on luonnollisesti kaikki tarkastettava, aluksi näytöltä ja loppujen lopuksi ainakin jonkinlainen otos myös maastossa.

Mitä kohteiden ja varsinkin runsaasti alakohteita sisältävien kohteiden sijaintitietojen määrittämiseen tulee, on aiheeseen kaksi mahdollista tulokulmaa: visuaalinen paikantaminen tai laskennallinen paikantaminen. Visuaalisessa paikantamisessa kohteen keskipiste arvioidaan ja digitoidaan suoraan tietokoneen näytöltä



Kuva 4. Iin Kiviharjun kuoppajäännöskohde: A. Laserkeilausaineisto 5p:n perusteella tulkitut ja maastokäynnillä verifioidut alakohteet sijoitettuna peruskartalle sekä Muinaisjäännösrekisterin aiempi alakohderajaus. Kuvissa 4b-d esitetty alue rajattu punaisella, B. visualisointi käyttäen matalasti anisotrooppista sky-view-factor-suodatinta 315° primäärisuunnalla ja 15 pikselin säteellä, C. kuvan b alle lisätty korkeuseroja väreinä visualisoiva kerros, D. kuoppajäännösten ympärille piirretty 5 metrin puskuri visualisoi ilman signaalikorjausta toimivan GNSS-vastaanottimen käytöstä aiheutuvat ongelmat alakohteita paikannettaessa. Kuva: Janne Ikäheimo (sisältää Maanmittauslaitoksen Laserkeilausaineisto 5 p -aineistoa vuodelta 2020).



Kuva 5. A. Kuoppien paikannukseen koulutetun Picterran U-net-konvoluutioneuroverkkoanalyysin perusteella Mohkkeguoikan alueelta paikannetut kohteet (ohjelma ympyröi mallista havaitut kohteet, tässä korostettu punaisella) ja alueelta ennestään tunnettujen pyyntikuoppien esiintymisalue (Muinaisjäännösrekisterin aluerajaus mustalla katkoviivalla).

B. U-net-konvoluutioneuroverkkoanalyysin paikantamia ennestään tunnettuja pyyntikuoppia punaisella rajattuina (Muinaisjäännösrekisterin aluerajaus mustalla katkoviivalla).

C. U-net-konvoluutioneuroverkkoanalyysin paikantamia ennen tuntemattomia kuoppakohteita Lätäsenon itärannalla, punaisella rajattuina. Taustat Laserkeilausaineisto 5p, A-kuvassa vinovalovarjostus ja korkeusmalli, B–C-kuvissa yhdistetty sky-view-factor- ja vinovalovarjostusvisualisointi. Kartta: Oula Seitsonen (sisältää Maanmittauslaitoksen Laserkeilausaineisto 5 p -aineistoa vuodelta 2020).

esimerkiksi ArcMapin shape-tiedostoon,⁶ laskennallisessa menetelmässä keskipiste määritetään ennen digitointia havaitsijasta riippumattomin analyysimenetelmin⁷. Molemmat ovat lähtökohtaisesti tarkempia kuin kohteen paikantaminen maastossa tavallisella GNSS-vastaanottimella, sillä laserkeilausdatan keskimääräinen horisontaalinen virhe on vain muutamia senttejä siinä missä se satelliittipaikannuksella voi olla useita metrejä. Enontekiön Mohkkeguoikan pyyntikuoppien paikannuksessa ero LiDAR- ja GNSS-paikannusten välillä oli pienimmillään kolmisenkymmentä senttiä, keskimäärin 2,7 metriä ja suurimmillaan peräti 5,7 metriä (Seitsonen & Ikäheimo 2021: table 5). Koska kyseessä on väljätkö pyyntikuoppajono, paikannustarkkuudella ei kuitenkaan ole niin suurta merkitystä kuin kohteissa, joissa alakohteet esiintyvät tiiviinä klustereina, kuten esimerkiksi Iin Kiviharjulla.

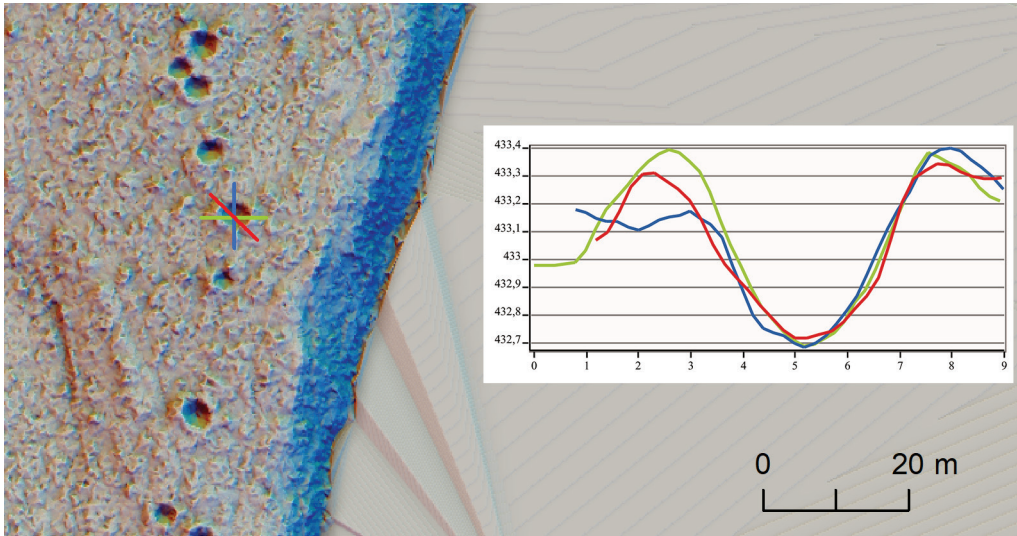
Iin Kiviharjun kaltaisessa kohteessa ilman korjaussignaalia toimivan GNSS-vastaanottimen käyttö kartoituksessa on ongelmallista, sillä vain osa alakohteista pysyy omana kokonaisuutenaan, mikäli jokaisen ympärille piirretään paikannustiedon hajontaa kuvaava viiden metrin puskuri (Kuva 4d). Kohteen tutkimuksen kannalta asialla ei liene suurempaa merkitystä, mutta täydennyskartoitusten pohjana, etenkin silloin kun pisteisiin on yhdistetty erilaista ominaisuustietoa, korjaamattoman satelliittipaikannustiedon käyttö on ongelmallista. Jatkossa tarkan paikkatiedon määrittely kannattaakin siirtää kuoppajäännöskohteille suuntautuvia maastokäyntejä edeltäväksi työvaiheeksi.⁸

Tuohon samaan työvaiheeseen on mahdollista liittää myös alakohteiden ominaisuustietojen (alustava) määrittely, joihin kuoppajäännösten kohdalla kuuluvat mm. syvyys, halkaisija ja sijaintikorkeus. Lähtökohtaisesti helppo, mutta käytännössä työläs tapa ominaisuustietojen määrittämiseen on poimia ne manuaalisesti maastomallista alakohte kerrallaan kuoppajäännöksen halki piirretyn linjan kohdalta lasketusta profiili-

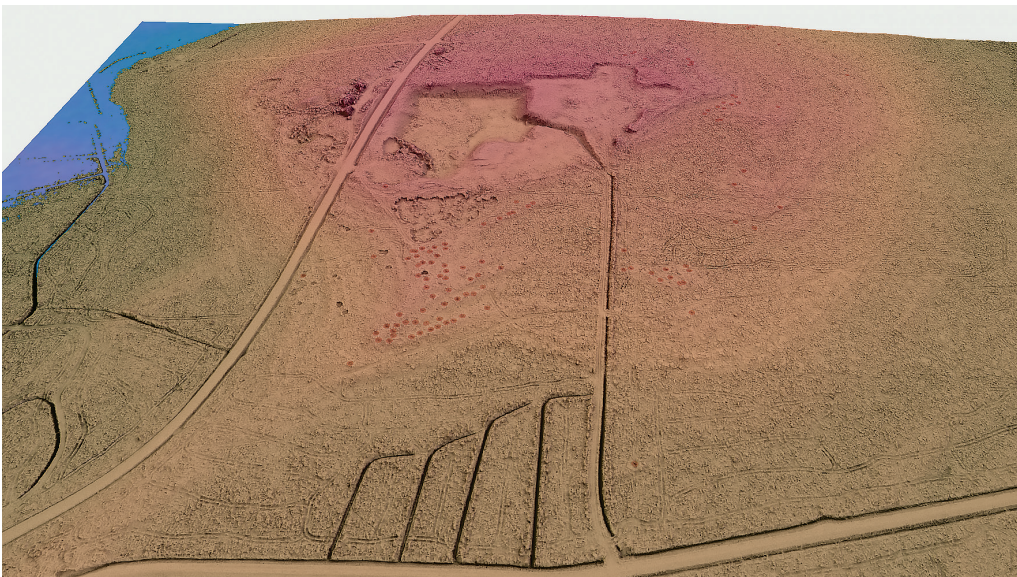
piirroksesta (Kuva 6).⁹ Tällöin ongelmaksi muodostuu helposti yksittäisen piirroksen suhde kohteeseen, sillä valitun leikkausuunnan mukaan tulokset voivat olla hyvin erilaisia. On kuitenkin todettava, että Laserkeilausaineisto 5p:n tarkkuus riittää erinomaisesti tällaisiin määrittelyihin.

Uuden laserkeilausaineiston pohjalta tämä työvaihe on kuitenkin mahdollista pitkälti automatisoida. Eräs primitiivinen mutta toimiva tapa on tasoittaa maastomalli kuoppien kohdalta ArcMapin työkaluilla ja laskea suuntaa antavat ominaisuustiedot kerralla suurimmalle osalle alakohteita käsittelemättömän ja käsitellyn mallin välisistä eroista.¹⁰ Käsitellyn mallin sijasta on mahdollista käyttää esimerkiksi Maanmittauslaitoksen tuottamaa yleistettyä, esimerkiksi 10 x 10 metrin maastomallia, joka interpoloituna samaan pikselikokoon on käyttökelpoinen vertailukohta ominaisuustietojen laskemiseksi. Laskentaan perustuva menetelmä toimi tutkimusaineistolla keskimäärin hyvin, mutta siihen sisältyy väistämättä joitain virhemääriä esimerkiksi tilanteissa, joissa kaksi lähekkäin sijaitsevaa kuoppajäännöstä leikkaa toisensa. Tämän takia selvästi poikkeavat ominaisuustiedot on tarkistettava ja korjattava käsityönä esimerkiksi tarkastelemalla niistä tuotettuja profiilipiirroksia.

Muinaisjäännöskohteen yleisestä säilymisasteesta sekä sen mahdollisesti sisältämien alakohteiden tilasta voidaan tehdä päätelmiä Laserkeilausaineisto 5p:sta tehdyistä visualisoinneista (Kuva 7), sillä niissä erottuu vaihtelevasti sekä ihmisen että luonnonvoimien vaikutus kohteeseen. Selväpiirteiset ja yksiselitteiset visualisoinnit mahdollistavat kohteiden yleisen esittämisen lisäksi alakohteiden luotettavamman paikantamisen, ellei tähän tehtävään ole käytettävissä erillistä algoritmia. Iin Kiviharjulla tämä tarkoittaa paitsi koneellisen maa-aineksenoton tuottamien suurten ja pienempien kuoppien lisäksi myös maastossa liikkuneen metsäkoneen sinne jättämiä jälkiä. Koska Maanmittauslaitoksen tarkoitus on toistaa



Kuva 6. Kolme ArcMap 10.7.1:lla tuotettua profilipiirrosta satunnaisesti valitusta Enontekiön Mohkkeguoikan pyyntikuopasta (7636864/305381). Ne osoittavat paitsi Laserkeilausaineisto 5p:n kelpoisuuden tähän tarkoitukseen myös leikkaussuunnan vaikutuksen ominaisuustietoihin (halkaisija 4–5m, syvyys 50–70 cm). Kuva: Janne Ikäheimo (sisältää Maanmittauslaitoksen Laserkeilausaineisto 5 p -aineistoa vuodelta 2020).



Kuva 7. Iin Kiviharjun alue 3D Rinnevarjo 1.2.0 -ohjelman visualisoimana idästä kohti länttä. Korkeusmallin päälle projisoidussa anisotrooppinen sky-view-factor-visualisoinnissa kuoppajäännökset on näkyvyyden parantamiseksi värjätty. Korkeuserojen korostus 10x. Kuva: Janne Ikäheimo (sisältää Maanmittauslaitoksen Laserkeilausaineisto 5 p -aineistoa vuodelta 2020).

Maanmittauslaitoksen uusi ja tarkempi laserkeilausaineisto (Laserkeilausaineisto 5p) kuoppajäännösten tutkimuksessa

tuotantoalueiden laserkeilaus 6 tai 12 vuoden sykleissä, eriaikaisia keilausaineistoja vertaamalla saadaan tietoa mahdollisten maankäyttötoimenpiteiden kohdentumisesta muinaisjäännöksiin.

Johtopäätökset

Maanmittauslaitoksen vuosittain julkaisema Laserkeilausaineisto 5p aloittaa Suomen arkeologiassa kuopat ja kasat -tyyppisten muinaisjäännösten inventoinnissa, suojelussa ja tutkimuksessa uuden aikakauden. Se on aiempaa digitaalista korkeusmalliaineistoa ja myös valtaosaa maastomittausaineistoa merkittävästi tarkempaa. Uuden aineiston keskimääräinen vaakasuuntainen paikannusvirhe on viitisen senttiä, tavallisten, ilman korjaussignaalia toimivien GNSS-yksiköiden päästessä maastossa parhaimmillaankin noin 3–5 metrin paikannustarkkuuteen. Vielä täsmällisempään sijaintitarkkuuteen päästään tietenkin VRS-RTK-korjatun GNSS:n, takymetrin tai maalaserkeilaimen avulla, mutta kuoppajäännöskohteiden paikannuksessa ja yleiskartoituksessa voi kysyä mitä lisäarvoa millintarkka sijaintitieto niiden kohdalla antaisi, varsinkin kun jokainen inventoija valitsee mittauskohdan omaan kokemukseensa ja näkemukseensä nojaten.

On myös muistettava, etteivät laserkeilausaineistot ja niiden analysointi korvaa arkeologin tekemiä maastokäyntejä. Esimerkiksi esihistorialliset asuinpaikat, joilla ei ole maanpinnalle näkyviä rakenteita, eivät tietenkään ole näillä menetelmillä löydettävissä. Laserkeilausaineisto 5p tulee kuitenkin vaikuttamaan arkeologien maastotoimintaan jo ennen kentälle jalkautumista ja maastotyöskentelyn esisuunnitteluun on syytä käyttää entistä enemmän aikaa. Uusi aineisto mahdollistaa tutkimusten suuntaamisen ja resurssien optimoimisen laserkeilausaineistosta tehtävien esihavaintojen perusteella. Monissa tapauksissa on mahdollista kohteen yleiskartan ja erilaisten työkarttojen tarkka

piirtäminen etukäteen. Maastotöitä ajatellen myös tarkastettavaksi suunniteltujen kohteiden alustavien ominaisuustietojen kokoaminen ennen kentälle lähtemistä nopeuttaa kenttätöyöskentelyä. Esimerkiksi kuoppakohteille voi etukäteen määrittää niiden halkaisijan, syvyyden ja korkeussijainnin edellä esiteltyjen menetelmien avulla. Tällöin maastossa jää arvioitavaksi ja täydennettäväksi korkeusmallin pohjalta laskettujen ominaisuuksien paikkansapitävyys.

Tällöin kenttätöissä tulee keskittyä todentamaan alustavasti havaitut ilmiöt sekä tarkentamaan tietoja maastohavaintojen pohjalta. Ominaisuustietojen perimmäinen tarkoitushan on ollut tarjota kuvailutietojen kera kohdetta koskevaa informaatiota, jotta muut pystyisivät tunnistamaan sen maastossa. Kun Suomi on kuuden vuoden – pohjoisimman Lapin tapauksessa 12 vuoden – jälkeen keilattu tarkemmin, on jokaisella mahdollisuus tuottaa Laserkeilausaineisto 5p:n avulla mittaustietoa itseään kiinnostavasta kuopasta tai kasasta juuri haluamallaan tavalla. Siksi arkeologin kannattaa kentällä keskittyä todentamaan onko visualisointien perusteella paikannettu kohde todellakin muinaisjäännös ja mikä on sen säilymisaste.

Muinaisjäännöksiä tutkivan ja niitä tulkitsevan arkeologin on puolestaan oleellista muistaa julkaisuissaan kertoa laserkeilausaineistosta hankitun mittaustiedon hankintatapa ja sen taustalla vaikuttaneet tekijät – sisäinen menetelmällinen systemaattisuus on tässä kontekstissa yhteinen etu. Jatkossa erityisesti erilaiset (puoli)automatisoidut kohteentunnistamismenetelmät tulevat mullistamaan uusien kohteiden etsimisen paikkatietoaineistoista ja mahdollistavat eri puolilla maata ja eri tekijöiden toimesta tehtävien analyysien toistettavuuden ja yhteismitallisuuden. Laserkeilausaineisto 5p:n myötä tarkentuva ja lisääntyvä tieto ei kuitenkaan aina muuta tulkinallisia peruslähtökohtia. Esimerkiksi Iin Kiviharjulta on laserkeilausaineistolle suoritetun analyysin jälkeenkin poikkeuksellisen suuri mää-

rä keittokuoppia, jotka yhdessä indikoivat poikkeuksellisen pitkäkestoista tai laajamittaista ihmistoimintaa (ks. Korteniemi 1999).

Muinaisjäännösten suojelun kannalta Laserkeilausaineisto 5p on ensiarvoinen edistysaskel. Aineistossa havaittavien kohteiden tarkat koordinaattitiedot on mahdollista määrittää joko aiempaa tarkemmin tai ensimmäistä kertaa, kuten esimerkiksi Iin Kiviharjulla jo pitkään tunnetun kohteen sisällä. Suojelun tehostaminen vaatii siis jo ennestään tunnettujen kohteiden koordinaattitietojen tarkistuksen, sillä niissä on paikoitellen suuriakin virheitä (esim. Kuva 4a). Pelkkä rekisteritietojen päivitys ei tietenkään yksin vielä riitä, vaan suojelu edellyttää myös kohteiden tarkan sijaintitiedon ajantasaista jakamista ja sitä, että maankäyttöä toteuttavat tahot myös osaavat hyödyntää aineistoa ja heillä on käytössään vaadittavalla tarkkuudella toimivat satelliittipaikantimet.

tarkastamiseen ja dokumentointiin. Osa harrastajista tekee tätä aktiivisesti jo vanhan laserkeilausaineiston pohjalta ja on hyvin kiinnostuneita myös uuden aineiston läpikäymisestä. Aivan oma erityiskysymyksensä on, miten tämä lähitulevaisuudessa hämmöittävä dramaattinen lisäys Suomen tunnettujen muinaisjäännösten määrässä ehtii vaikuttaa parhaillaan uudistettavaan muinaismuistolaikiin?

Loppusanat

Lopuksi toteamme, että Laserkeilausaineisto 5p:n myötä Suomesta paikannetaan todennäköisesti tuhansittain uusia tarkastettavia kohteita (Seitsonen & Ikäheimo 2021; ks. myös Thuestad et al. 2021) eikä ole lainkaan liioiteltua väittää, että uusien aineistojen julkaisemisen myötä alakohteiden määrä karttuu vuositasolla useilla tuhansilla. Mitä tämä sitten tulee tarkoittamaan muinaisjäännösten suojelun kannalta, jos koskemattomiksi kuvitellut viimeiset korpimaat yhtäkkiä pullistelevat potentiaalisesti ihmislähtöisiä kuoppia ja kasoja? Ainakin muinaismuistohallinnon se asettaa uuteen tilanteeseen, kun sen on löydettävä resurssit niiden tarkastamiseen ja suojeluun. Etulinjassa lienevät alueelliset vastuumuseot, mutta kerrannaisvaikutukset tullaan varmasti tuntemaan myös Museovirastossa. Yhtenä mahdollisena ratkaisukeinona voi toimia joukkoistaminen eli arkeologian harrastajien kouluttaminen kohteiden vapaaehtoiseen paikantamiseen,

Bibliografia

Arkistolähteet

- Korteniemi, M. 1999. Iin Raasakan Kiviharju. Vanhemmalle metallikaudelle ajoittuvan kuoppakentän koekaivaus – maaunit 41 ja 43. Kaivauskertomus. Oulu: Oulun yliopisto, arkeologia.
- Purhonen, P. 1979. Ii 12 Etelä-Ii, Kiviharju. Tarkastuskertomus. Helsinki: Museovirasto.
- Viljanmaa, S. 2014. 1765 Lätänenon-Hietajoen soidensuojelualue, Mohkkeguoika Pyyntikuoppia. Inventointiraportti. Rovaniemi: Metsähallitus, Lapin luontopalvelut.

Verkkoaineistot

- Ikäheimo, J. 2021. ”Vain muutaman pikselin tähden”: varhaismetallikauden pienipiirteiset muinaisjäännökset ilmalaserkeilausaineistoissa. Esitelmä arkeologisten kenttätyöiden esittelypäivillä 4.2.2021. <<https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/kulttuuriymparistopalvelut-tehtavat-ja-yhteistyö/kulttuuriymparistopalveluiden-tilaisuudet-ja-tapahtumat/arkeologisten-kenttätyöiden-esittelypäivät>> (Luettu 11.2.2021).
- Maanmittauslaitos 2021a. Näin hankit laserkeilausaineistoja. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilausaineistot>> (Luettu 11.2.2021).
- Maanmittauslaitos 2021b. Maastotiedon ylläpito. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/maastotiedonyllapito>> (Luettu 11.2.2021).
- Maanmittauslaitos 2021c. Laserkeilausaineisto 5p. <<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/tuotekuvaukset/laser-scanning-data-5-p>> (Luettu 26.5.2021).
- MacGyver 2018. 3D Rinnevarjokartta. <<https://www.aarremaanalla.com/foorumi/viewtopic.php?f=10&t=23689>> (luettu 14.2.2021).

Tutkimuskirjallisuus

- de Matos-Machado, R., Toumazet, J.-P., Bergès, J.-C., Amat, J.-P., Arnaud-Fassetta, G., Bétard, F., Bilodeau, C., Hupy, J. P., & Jacquemot, S.

2019. War landform mapping and classification on the Verdun battlefield (France) using airborne LiDAR and multivariate analysis. *Earth Surface Processes and Landforms* 44: 1430–1448.

- Gallwey, J., Eyre, M., Tonkins, M. & Coggan, J. 2019. Bringing lunar LiDAR back down to Earth: Mapping our industrial heritage through deep transfer learning. *Remote Sensing* 11(17): 1994.
- Garcia-Molsosa, A., Orenge, H. A., Lawrence, D., Philip, G., Hopper, K. & Petrie, C. A. 2021. Potential of deep learning segmentation for the extraction of archaeological features from historical map series. *Archaeological Prospection* (early view): 1–13. <<https://doi.org/10.1002/arp.1807>>
- Halinen, P. 2005. *Prehistoric Hunters of Northernmost Lapland. Settlement patterns and subsistence strategies*. Iskos 14. Helsinki: Finnish Antiquarian Society.
- Hamari, P. 2020. *Arkeologisten kohteiden automaattinen tunnistaminen laserkeilausdatasta – LIDARK*. Hankesuunnitelma. Helsinki: Museovirasto.
- Koivisto, S. & Laulumaa, V. 2012. Pistepilvessä – Metsien arkeologiset kohteet LiDAR-ilmalaserkeilausaineistoissa. J. Enqvist, J. Ruohonen & M. Suhonen (toim.) *Arkeologipäivät 2012. Suomen muinaismuistolaki 50 vuotta: Vetreä keski-ikäinen vai raihnainen vanhus? / Arkeopeda – Opetusta, opastusta, oppimista*: 51–67. Helsinki: Suomen arkeologinen seura.
- Kokalj, Ž. & Somrak, M. 2019. Why not a single image? Combining visualizations to facilitate fieldwork and on-screen mapping. *Remote Sensing* 11(7): 747.
- Kurri, I. & Haimila, M. 2010. Metsää syvemältä – Lidar-aineisto arkeologian apuvälineenä. *Muinaistutkija* 1/2010: 63–67.
- Lambers, K., Verschoof-van der Vaart, W. B. & Bourgeois, Q. P. J. 2019. Integrating Remote Sensing, Machine Learning, and Citizen Science in Dutch Archaeological Prospection. *Remote Sensing* 11: 794.
- Orenge, H. A., Conesa, F. C., Garcia-Molsosa, A., Lobo, A., Green, A. S., Madella, M. & Petrie, C. A. 2020. Automated detection of archaeological mounds using machine-learning classification of multisensor and multitemporal satellite data. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(31): 18240–18250.

- Risbøl, O., Langhammer, D., Schlosser Mauritsen, E. & Seitsonen, O. 2020. Employment, utilization, and development of airborne laser scanning in Fenno-Scandinavian archaeology – A review. *Remote Sensing* 12(9): 1411.
- Ronneberger, O., Fischer, P. & Brox T. 2015. U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. N. Navab, J. Hornegger, W. Wells & A. Frangi (toim.) *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015. Lecture Notes in Computer Science* 9351. Cham: Springer.
- Seitsonen, O. 2011. Juoksuhautoja ja asumuspainanteita: Kokemuksia Lidar-laserkeilausaineiston käytöstä kenttärkeologiassa. *Muinaistutkija* 2/2011: 36–46.
- Seitsonen, O. 2013. LiDAR-kaukokartoitusaineistojen visualisointi ja analysointi: paikkatietoalgoritmeja arkeologeille. *Muinaistutkija* 1/2013: 2–16.
- Seitsonen, O. & Ikäheimo, J. 2021. Detecting archaeological features with airborne laser scanning in the alpine tundra of Sápmi, Northern Finland. *Remote Sensing* 13: 1599.
- Seitsonen, O. & Viljanmaa S. 2021. Transnational Landscapes of Sámi Reindeer: Domestication and Herding in Northernmost Europe 700-1800 AD. *Journal of Field Archaeology* 46(3): 172–191.
- Thuestad, A. E., Risbøl, O., Kleppe, J. I., Barlindehaug, S. & Myrvoll, E. R. 2021. Archaeological surveying of Subarctic and Arctic landscapes: Comparing the performance of airborne laser scanning and remote sensing image data. *Sustainability* 13(4): 1917.
- Trier, Ø. D., Rekstena, J. H. & Løseth, K. 2021. Automated Mapping of Cultural Heritage in Norway from Airborne Lidar Data Using Faster R-CNN. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 95: 102241.
- Zakšek, K., Oštir, K. & Kokalj, Ž. 2011. Sky-View Factor as a relief visualization technique. *Remote Sensing* 3(2): 398–415.
- Arkeologian yliopistonlehtori Janne Ikäheimo on ilmalaserkeilausavusteisen arkeologian myöhäisherännäinen.
janne.ikaheimo@oulu.fi
- Sakarini-Penttilä Ilari on arkeologi ja maantieteilijä, joka työskentelee Oulun yliopistossa Domestication in Action- ja LI-DARK-hankkeissa.
oula.seitsonen@oulu.fi

Loppuviitteet

- 1 Näin menetellen kirjoittajat haluavat osaltaan toteuttaa tiedon avointa saatavuutta, joka on yksi helmikuussa 2021 käynnistyneen Arkeologisten kohteiden automaattinen tunnistaminen laserkeilausdatasta–LIDARK -kehittämishankkeen peruseriaatteista. Hankkeen toteuttaa Museovirasto hankekumppaninaan Oulun yliopisto ja yhteistyötahoina Metsähallitus sekä Blom Kartta Oy. Sen ”tavoitteena on tutkia kuinka uusi, tarkempiresoluutioinen laserkeilausaineisto mahdollistaa muinaisjäännöskohteiden helpomman tunnistamisen; kuinka aineiston avulla voidaan tarkentaa ohjelmallisesti kohdetietojen spatioalista tarkkuutta; ja kuinka laserkeilausaineistojen käsittelyä voidaan automatisoida työn tehostamiseksi” (Hamari 2020).
- 2 Artikkelin kuvitukseen on käytetty Maanmittauslaitoksen Laserkeilausaineisto 5 p -aineistoa vuodelta 2020 tuotantoalueilta Kuivaniemi (MML:n käyttölisenssi MML 43580/05 00 00/2020) ja Ropinjärvi (MML:n käyttölisenssi MML 43562/05 00 00/2020).
- 3 Maanmittauslaitoksen automaattiluokittelusta ja pisteluokista, ks. Maanmittauslaitos 2021c. Tässä tapauksessa blast2dem-algoritmia käytettiin komennolla ”blast2dem -i "C:\path\filename.laz" -keep_classification 2 -step 0.2 -elevation -otif”.
- 4 3D Rinnevarjo 1.2.0 -ohjelma on tekijän mukaan (MacGyver 2018) laadittu toimimaan Maanmittauslaitoksen 2 x 2 metrin korkeusmalliaineistolla. Tosiasiassa ohjelmalla voi visualisoida sekä suuri- että pienimittakaavaisempaa aineistoa, kunhan visualisoitava .asc-tiedosto on kooltaan 3000 x 3000 pikseliä (ncols 3000; nrows 3000) ja pikselikoko joko on tai se muutetaan manuaalisesti arvoon 2 (cellsize 2.000000). Visualisoinnin päälle projisoitavan ilmakuvan voi senkin korvata millä tahansa muulla georeferoidulla kuvatiedostolla, kunhan sen koko on 3000 x 3000 pikseliä ja tiedostomuoto 8-bittinen bitmap (BMP).
- 5 Kirjoittajien kokemuksen mukaan kuoppajäännösten visualisoinnissa erityisen hyödyllinen filtti on anisotrooppinen sky-view-factor-analyysi, jossa etsintäsäde on säädetty tarkastelukohteena olevan kuoppajäännöstyypin halkaisijaa jäljitellen. Esimerkiksi 0,2 x 0,2 metrin maastomallissa 15 pikselin etsintäsäde on kolme metriä ja optimoituu tällöin halkaisijaltaan 6 metriä tai sitä pienempien kuoppajäännösten visualisointiin. Asumuspainanteita tai muita laajempia ilmiöitä tutkittaessa säde kannattanee siis kasvattaa kaksinkertaiseksi.
- 6 Visuaalista paikantamista on mahdollista helpottaa käyttämällä ArcMap 10.7.1:n ArcToolboxin Hydrology-valikon Fill-työkalua, joka poistaa maastomallista pienet maanpinnan epätasaisuudet. Tulorasteri vähennetään sen jälkeen Raster Algebra -valikon Minus -työkalulla alkuperäisestä – korkeuseromaksimin voi tarvittaessa asettaa tutkittavan muinaisjäännöstyypin mukaisesti – ja laskutoimituksen tuloksena syntyvän rasterin liukuvärvästä ryhmittelyä keskihajontaa käyttäen (esim. Kuvat 4c ja 7c). Lopputuloksen päälle kannattaa asettaa esimerkiksi Relief Visualization Toolbox 2.2.1:lla tuotettu ja 40% läpäisevä, heikosti anisotrooppinen Sky-View-Factor visualisointi, johon on asetettu 16 etsintäsuuntaa (pääsuunta 315) viidentoista pikselin eli kolmen metrin säteellä.
- 7 Jos oletetaan, että kuopan keskipiste ja syvin kohta korreloivat keskenään, keskipisteen sijainnin voi määrittää esimerkiksi seuraavalla tavalla ArcMap 10.7.1:ssa. Pintamallista lasketaan ensin ArcToolboxin Hydrology-valikkoon kuuluvalla Flow Direction -työkalulla D8-tyypin virtausuuntarasteri. Tulorasterista lasketaan saman valikon Sink-työkalulla rasteri, jossa korostuvat ympäristöstään vettä keräävät maastonmuodot kuten kuoppajäännösten pohjat. Lopuksi kuoppajäännösten sijainnit digitoidaan niiden pohjan sijaintia osoittavien pikselien perusteella tai konvertoidaan pohjien sijainnit rasterin pohjalta suoraan vektorimuotoon.
- 8 Visualisoinnista digitoitujen ja maastomitattujen sijaintitietojen yhteismittaisuutta tarkasteltiin Iin Kiviharjun aineistolla kartoittamalla kohde 23.5.2021 VRS-RTK-korjausta käyttävällä ja lähtökohtaisesti senttitarkalla Trimblen TDC-

- 150 GNSS-paikantimella. Mittausten ero oli keskimäärin 23 cm, suurimman eron ollessa 65 cm. Tarkastettuja alakohteita oli kaikkiaan 107. Niistä kaksi osoittautui ilmalaserkeilausaineistosta havaittujen maastonpiirteiden ylitulkinnaksi; kahdeksan tulkinta keittokuopaksi alakohteen sijaintiympäristön ja ominaispiirteiden vuoksi on epävarmaa. Lisäksi maastotarkastuksessa löydettiin yksi keittokuoppa, jota LiDAR-aineistosta ei paikannettu etukäteen.
- 9 Profiilipiirrosten nopeaan tuottamiseen kannattaa käyttää esimerkiksi ArcToolboxin 3DAnalyst Tools -valikosta löytyviä Interpolate Line ja Profile Graph -työkaluja.
 - 10 Kuoppajäännösten halkaisija on mahdollista määrittää ArcToolboxin 3DAnalyst Toolsin Raster Surface -valikkoon kuuluvalla Cut Fill -filterillä, joka havainnollistaa kahden rasterin välisiä eroja laskemalla niille alan ja tilavuuden. Mikäli kuoppajäännös oletetaan muodoltaan jotakuinkin pyöreäksi, voidaan sen halkaisija D johtaa ympyrän pinta-alan määrittämiseen käytetystä lausekkeesta $A=\pi r^2$, kun muistetaan että $D=2r$. Kuoppajäännösten syvyysarvot on poimittavissa näiden kahden rasterin vähennyslaskun tulorasterista esimerkiksi niille määritettyjen keskipisteiden kohdalta käyttämällä Extraction-valikon Extract Values to Points -työkalua. Sama työkalu käy myös kuoppien absoluuttisen korkeusase-man määrittämiseen; tuolloin täytyy päät-tää, poimitaanko arvo kuopan pohjalta vai sen ylle laskennallisesti projisoidulta maan-pinnalta.