

Risto Nurmi

Mittatarkkuutta puhelintekniikalla? Trimble TDC150 -maastotallentimen soveltuvuus arkeologisissa maastodokumentoinneissa

Tässä artikkelissa tarkastellaan Trimble TDC150 Handheld -maastotallentimen sovellettavuutta arkeologisten maastotöiden mittaustehtäviin kolmen tapaustutkimuksen avulla. Kukin tapaustutkimus edustaa yhtä arkeologisten maastotöiden kolmesta päätyyppistä: inventointia, prospektointia ja kaivaustutkimusta. Koetutkimukset suoritettiin osana Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen tutkimus- ja opetustoimintaa. Koetutkimusten perusteella voidaan todeta, että Trimble TDC on käyttökelpoinen ja riittävän mittatarkka dokumentointilaitte arkeologisiin inventointi- ja prospektointitehtäviin, mutta tasokaivaustutkimusten mittaustehtäviin sitä ei voi tarkastelun perusteella suositella, sillä mittaustarkkuus käytännön olosuhteissa ei ole riittävä

Mättningsprecision med telefonteknik? Trimble TDC150-fältdatorns duglighet för arkeologisk fältdokumentation

I den här artikeln granskas Trimble TDC150 Handheld-fältdatorns användbarhet för mätningssuppgifter i arkeologiskt fältarbete med hjälp av tre fallstudier. Var fallstudie representerar en av huvudtyperna i arkeologiskt fältarbete: inventering, prospektering och grävundersökning. Provundersökningarna utfördes som del av forsknings- och utbildningsverksamheten på Uleåborgs universitets arkeologiska läroämne. Utgående från provundersökningarna kan det konstateras att Trimble TDC är ett användbart dokumenteringsinstrument med tillräcklig mättningsprecision för inventerings- och prospekteringsuppgifter, men utgående från granskningen kan den inte rekommenderas för mätningssuppgifter i samband med stickgrävningar, eftersom mättningsprecisionen inte är tillräcklig i de praktiska omständigheterna.

Johdanto

Erilaisten digitaalisten mittaus- ja kuvantamislaitteistojen käyttö arkeologisissa kenttätutkimuksessa on yleistynyt huomattavasti viimeisen 15–20 vuoden aikana. Tänä päivänä takymetrit ovat laajalti syrjäyttäneet mittanauhat ja vaaituskojeet arkeologisten kaivaustutkimusten mittalaitteena ja maastoinventoinneissa kohteet paikannetaan nykyään pääsääntöisesti GNSS-paikantimilla, monesti suoraan mat-

kapuhelimella. Aivan viime vuosina myös laserkeilainten ja fotogrammetristen kuvantamislaitteiden käyttöä on alettu soveltamaan tutkimuskohteiden dokumentoinnissa (Esim. Debenjak 2015; Lehto & Uotila 2017; Seitsonen 2018) kaivausalueet saatetaan valokuvata filmikameran sijaan nelikopterilla (esim. Ikäheimo 2024) ja inventoinnissa hyödynnetään enemmän ja enemmän saatavilla olevaa ja laadultaan koko ajan paranevaa lidar-aineistoa (Anttiroiko et al. 2023; Seitsonen & Ikäheimo

2021). Uusien menetelmien omaksuminen on parantanut mittaamisen laatua, mutta ennen kaikkea uudet menetelmät ovat nopeuttaneet dokumentaatioprosessia, mikä on arkeologisessa kenttätutkimuksessa erittäin tervetullutta.

GNSS-tekniikkaan perustuvaa satelliittipaikannusta on käytetty arkeologisessa kenttätutkimuksessa jo pitkään. GNSS-tekniikka (*Global Navigation Satellite System*) tarkoittaa paikannukseen tarkoitettujen tietoliikennesatelliittien signaaleihin perustuvaa paikatiedon määrittämistä. Alun perin järjestelmä perustuu Yhdysvaltain puolustushallinnon 1960-luvulta alkaen kehittämään ja 1980-luvulla toimintavalmiiksi saatettuun GPS-järjestelmään (*Global Positioning System*) (Poutanen 2016: 11; Vermeer 2019: 277–278). Nykyään järjestelmä kattaa useiden valtioiden hallinnoimia satelliittijärjestelmiä, joten on suositeltavampaa käyttää GNSS-termiä, vaikka GPS onkin ajan myötä muodostunut käytännössä järjestelmän kansankieliseksi synonyymiksi (Matilainen 2020: 2).

GNSS-paikannuksen tarkkuus on ilmakehän rakenteesta, satelliittigeometriasta ja muista signaalin viiveeseen vaikuttavista tekijöistä, sekä yksinkertaistetusta (ja siten nopeammasta) laskentamenetelmästä johtuen käytännössä noin viiden metrin luokkaa horisontaalisessa ja 10 metrin luokkaa vertikaalisessa tasossa (Laurila 2012: 291–293, 305–306; Poutanen 2016: 14–15, 26). Mittaustarkkuutta voidaan kuitenkin tarkentaa erilaisilla korjausjärjestelmillä (ks. esim. Matilainen 2020), joista verkko-RTK -järjestelmä on ollut viime aikoina suosituin. RTK (*Real Time Kinematic*) -järjestelmässä mittausalueella on, tai alueelle rakennetaan, kiinteä tukiasema, jonka paikatieto tunnetaan tarkasti. Tukiasema laskee satelliittisignaalien perusteella korjausdataa ja lähettää sen tietoliikenneyhteyden kautta varsinaiselle mittalaitteelle. RTK-järjestelmä on tarkka, sillä päästää jopa parin senttimetrin mittatarkkuuteen. Järjestelmän Akilleen kantapää oli kuitenkin sen rajallinen toimintamatka (max. 10 km) sekä järjestelmän kalleus ja työläys, silloin jos tukiasema joudutaan raken-

tamaan erikseen mittausta varten. Trimblen reilut parikymmentä vuotta sitten kehittämä verkko-RTK -järjestelmä kuitenkin vapautti RTK-mittauksen näistä molemmista kahleista (Vollant et al. 2002). Verkko-RTK -järjestelmä perustuu kattavaan tukiasemien verkostoon, jotka pystyvät luomaan minne tahansa kattamalleen alueelle virtuaalitukiaseman mittausta varten. Korjausdata lähetetään mittalaitteelle nopealla tietoliikenneyhteydellä, joten niin kauan kuin mittausalue on verkko-RTK -järjestelmän kattamalla alueella, esteettömiä satelliittiyhteyksiä on tarpeeksi ja mittalaitteella on jatkuva nopea tietoliikenneyhteys, on senttitarkka satelliittipaikannus mahdollista. Sitä mukaa kun verkko-RTK tukiasemajärjestelmät yleistyivät ja tekniikkaa kehitettiin edelleen, kasvoi myös järjestelmän suosio. Trimblen VRS (*Virtual Reference Station*) -järjestelmästä tuli ajan myötä käytännössä samalla tavalla verkko-RTK järjestelmää tarkoittava synonyymi kuin GPS on ollut satelliittipaikannukselle. Nykyään Suomenkin alueella on saatavissa useita koko maan kattavia tai paikallisia verkko-RTK-järjestelmiä, joista suurin osa on maksullisia.

Senttitarkkaa RTK GNSS-paikannusta on käytetty arkeologisissa kenttätöissä jo pitkään tutkimusalueiden mittauksissa (esim. Fitts 2005). Laitetta on käytetty myös maastossa inventoinneissa ja muinaisjäännösalueiden dokumentoinnissa, mutta laitteen käyttöä laaja-alaisemmissa inventointiprojekteissa on rajoittanut laitteen suhteellisen suuri koko ja hankala käytettävyys ja liikuteltavuus peitteisessä ja vaikeakulkuisessa maastossa verkko-RTK-järjestelmän yleistymisestä huolimatta. Laitteiden yleistymistä on käytettävyyss rajoitusten lisäksi rajoittanut myös laitteiden suhteellisen korkea hankintahinta. RTK-paikannuksen tarkkuus ei ole muuttunut juurikaan viimeiseen 20 vuoteen. Sen sijaan laitteistojen koko, hinta ja mittausnopeus sekä satelliittijärjestelmän kattavuus ovat kehittyneet paljon. Mittausnopeus saavutti nykytason verkko-RTK:n myötä noin kymmenisen vuotta sitten (Limp & Barres 2014: 138). Pian tämän jälkeen alkoi

markkinoille ilmaantua myös ensimmäisiä budjettiluokan mittalaitteita (Hill et al. 2019).

Vuonna 2019 Trimble toi markkinoille ensimmäisen budjettiluokan kompaktin GNSS-maastotallentimen, TDC150 Handheld -maastotallentimen. Laite hyödyntää verkko-RTK-tekniikkaa ja sille luvataan ideaalissa olosuhteissa jopa 10/15 (vertikaali/horisontaali) millimetrin mittaustarkkuus (Trimble 2019). Oulun yliopiston arkeologian laboratorio hankki keväällä 2021 kyseisen laitteen inventointi- ja maastotarkastustehtävien dokumentaatioita varten. Tässä artikkelissa tarkastellaan Trimble TDC150 Handheld -maastotallentimen (kuva 1) soveltuvuutta erilaisten arkeologisten kenttätutkimusten mittaus- ja dokumentointitarpeisiin. Maastotallentimen soveltuvuutta tarkasteltiin kolmen tapaustutkimuksen avulla, joista kukin vastasi yhtä kolmesta arkeologisten kenttätutkimusten pääluokasta (vrt. Halinen et al. 2009: 185–225).



Kuva 1. Trimble TDC150 Handheld -maastotallennin käyttökunnossa (Kuva: R. Nurmi)

Tapaustutkimuksessa 1 testattiin laitteen soveltuvuutta arkeologisen inventoinnin tiedonkeruussa, tapaustutkimuksessa 2 laitetta käytettiin prospektointiin liittyvässä uuden kohteen kohdeinventoinnissa ja tapaustutkimuksessa 3 laiteella mitattiin tasokaivaustutkimusten mitausdokumentaatio rinnan takymetrin kanssa. Tavoitteena oli selvittää, onko laite ominaisuuksiltaan käyttökelpoinen arkeologisiin kenttätutkimuksiin mittatarkkuuden ja käytettävyyden osalta sekä tarkastella, tuoko laite kustannustehokkuuteen vaikuttavia merkittäviä etuja arkeologiseen kenttätutkimukseen. Tapaustutkimukset toteutettiin osana Museoviraston ja Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen yhteistyössä toteuttamaa LIDARK-hanketta¹ sekä Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen opetusta.

Trimble TDC150 Handheld -maastotallennin

Vuonna 2019 Trimble toi markkinoille ensimmäisen budjettiluokan kompaktin senttitarkan maastotallentimen. Budjettiluokan GNSS-paikantimia on toki ollut saatavilla jo aiemmin (ks. yllä), mutta TDC150 on ensimmäinen kompaktin kokoluokan laite, jossa kaikki tekniikka on pakattu yhteen kämmenessä pidettävään koteloon. Trimble TDC150 Handheld -maastotallennin on käytännössä Android-matkapuhelimen ja tavanomaista paremman GNSS-antennin yhdistelmä pakattuna yhtenäiseen IP67-luokiteltuun pölyn-, veden- ja iskunkestävään kuoreen. Laitteen mitat ovat 29,5 x 12 x 4,5 senttimetriä ja se painaa ilman jalkaa 850 grammaa. Laitteessa on vaihdettava 6400 mAh Li-Ion akku, jolla laitteelle luvataan 8 tunnin käyttöaika GNSS päälle kytkettynä 20° C lämpötilassa (Trimble 2019). Laitteen käyttöliittymänä toimii 5,3 tuuman kapasitiivinen kosketusnäyttö ja lisäksi laitteen sivussa on kaksi fyysistä näppäintä, joihin käyttäjä voi valita toimintoja annetusta valikosta. Laitteen varustevalikoimaan kuuluu kämmenhihna, mikro-usb-johto ja laturi. Lisävarusteena on

saatavilla, vara-akku, hiilikuituinen monopole-jalka sekä sen kiinnitysadapteri.

Laitteen GNSS-vastaanottimessa on 240 kanavaa ja se on yhteensopiva kaikkien maata kiertävien GNSS-satelliittijärjestelmien kanssa. Laitteen mittaustarkkuudeksi RTK-mittauksissa luvataan jopa alle 10/15 mm (horisontaali/vertikaali). Tarkkuuden saavuttamisen edellytyksenä on, että laitetta käytetään yhdessä lisävarusteena saatavilla olevan monopole-jalan kanssa. Laitteessa on tallennuskapasiteettia 16 GB sekä lisäksi MicroSD-HC-muistikorttipaikka, joka tukee enintään 64 GB muistikorttia. Laitteessa on myös kaksi kameraa.

Laitteen käyttöjärjestelmänä toimii Android 6.0 ja siten mittaushoelmistoina voidaan käyttää Android-alustalle perustuvia sovelluksia. Tässä koetutkimuksessa käytettiin *Penmap for Android* -sovellusta, joka on pilvipohjainen sovellus maastomittaukseen ja paikkatiedon keruuseen Android-laitteilla (Geotrim 2023a). Ohjelma on ladattavissa suoraan Android sovelluskaupasta ja sen perusversio on ilmaissovellus. Sovelluksen maksullinen versio ja *Trimble Access* -tilin luominen kuitenkin tarvitaan, jotta voidaan ottaa käyttöön koko infrastruktuuri ja verkko-RTK-korjausdata. Penmap on kokonaisuutena kolmesta pääosasta koostuva paikkatietoinfrastruktuuri. Infrastruktuurin pääosat ovat laitteella käytettävä Penmap for Android käyttöliittymäsovellus, *Trimble Connect* -pilvitalennustila ja Windows-tietokoneella operoitava *Penmap Project Manager* -projektinhallintaohjelmisto. Lisäksi infrastruktuuri käyttää valittua verkko-RTK-korjausdataa sekä GNSS-satelliittijärjestelmiä. Koetutkimuksissa laitteessa käytettiin Geotrimin ylläpitämää Trimblen Trimnet VRS-palvelua ja sen tarkinta VRS RTK -palvelumuotoa, jolle luvataan hyvissä olosuhteissa 2 senttimetrin mittaustarkkuus.

Ennen varsinaisten mittausten aloittamista laitteelle luotiin etukäteen dokumentointilomakkeet ja ladattiin tarvittavat ennakoaineistot. Dokumentointilomakkeet voidaan luoda suoraan laitteella Penmap-sovelluksessa,

mutta Windows-tietokoneessa toimiva *Penmap project manager* on tähän tarkoitukseen huomattavasti kätevämpi ohjelma. Project manager -ohjelman avulla ladataan laitteen sovellukselle myös tarvittavat ennakoaineistot. Penmap-infrastruktuuri tukee ennakoaineistoina vain dxf, dwg ja shapefile -tiedostomuotoja (tarkemmin projektien luomisesta, ks. Trimble 2020). Ohjelma ei tue rasterimuotoista aineistoa, joten taustakarttoja voi käyttää vain WMS-rajapinnan kautta. Ohjelman esioletuskartasto ei ole kovin laaja, joten maastokarttapohjana kannattaa käyttää esimerkiksi Kapsi ry:n (Kapsi 2021) tarjoamia rajapintoja, joita käytettiin myös tässä koetutkimuksessa. Penmap ei näytä tukevan aivan uusimpia rajapintastandardeja, joten esimerkiksi Maanmittauslaitoksen WMS-palvelua ei laitteessa saatu toimimaan. Aineisto liikkuu laitteen Penmap-sovelluksen ja tietokoneen Project Manager -ohjelman välillä molempiin suuntiin Trimble Connect -pilvipalvelun kautta. Laite tallentaa kaikki mittaukset automaattisesti Penmap-projekteihin laitteen muistiin, josta ne voidaan siirtää aina haluttaessa pilveen ja ottaa vuorostaan pilvestä tietokoneelle joko shapefile- tai cvs-tiedostomuodossa.

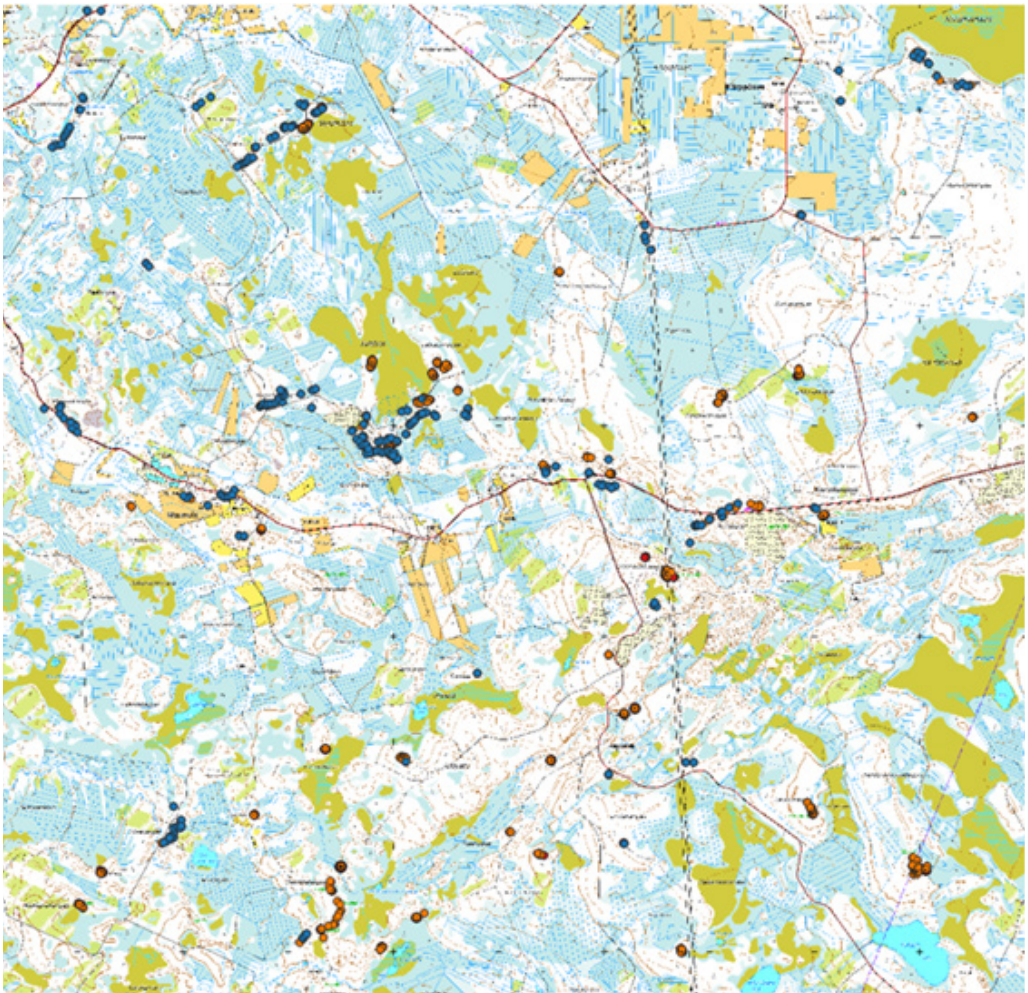
Tapaustutkimus 1: LIDARK -hankkeen maastotarkastukset

Tapaustutkimus 1 on osa Museoviraston ja Oulun yliopiston arkeologian laboratorion vuonna 2021 aloittamaa LIDARK-tutkimushanketta, missä tavoitteena oli kehittää automaattisia menetelmiä muinaisjäännösten tunnistamiseen laserkeilausaineistosta. Arkeologinen maastointiventointi ja muinaisjäännöskohteiden maastotarkastukset ovat tänä päivänä hyvin työvoimaresursseja kuluttavaa ja aikaa vievää työtä. Inventointimenetelmien automatisoinnilla saavutettaisiin siten merkittävää taloudellisten ja ajallisten resurssien säästöä, mikäli menetelmä saataisiin kehitettyä riittävän luotettavaksi. LIDARK-hankkeen päätavoitteena oli kehittää tietokonealgoritmi,

jonka avulla koneäly pystyy havainnoimaan laserkeilausaineistosta muinaisjäännöskohteita riittävän luotettavasti. Pitkän aikavälin tavoitteena on luoda laserkeilausaineiston tulkintaan perustuva kustannustehokas ammattilaistyökalu muinaisjäännöskohteiden kartoittamisen, suojelun ja tutkimuksen tarpeisiin (Anttiroiko 2022; Seitsonen 2022; Anttiroiko et al. 2023).

Tapaustutkimuksen koealueena käytettiin Iin Yli-Olhavan Kärppäsuo 3512 05 peruskarttalehden kattamaa 10 x 10 kilomet-

rin aluetta (kuva 2). Tavoitteena oli hankkeen alkuvaiheessa selvittää mitä erilaiset laserkeilausaineistosta havaitut ja muinaisjäännöksiksi tulkitut ilmiöt todellisuudessa ovat, ja minkälaisiin kohdetyppeihin algoritmin opetusajo kannattaa kohdentaa. Alue sijoittuu MML:n 5p/m2 laserkeilausaineiston Kuivaniemen tuotantoalueelle, joka oli yksi ensimmäisistä Kansallisessa laserkeilausohjelmassa tuotetuista aineistoista (Maanmittauslaitos 2023).



Kuva 2. Iin Yli-Olhavan koealue ja alueelta 5p-lidar -aineistosta havaitut tarkastettavat kohteet (Kuva: J. Ikäheimo; taustakartta: Maanmittauslaitos).

Koealueen laserkeilausaineistosta tehtiin maastomallinnus Blast2dem ja Relief Visualisation Tool -mallinnusohjelmilla. Laaditusta mallinnuksesta havainnoitiin visuaalisesti siitä löytyvät tunnetut muinaisjäännekohteet sekä havaitut mahdolliset uudet muinaisjäännekohteet. Uusien kohteiden tulkinnat tehtiin tunnettujen kohteiden perusteella. Tutkimusalueelta havaittiin runsaasti erilaisia kuoppajäännekohteita sekä lisäksi muutamia tervahautoiksi ja esihistoriallisiksi asuinpaikanteiksi tulkittuja kohteita. Kaikki havainnot pyrittiin tunnistamaan ja niiden paikkatiedoista tehtiin QGIS-ohjelmassa shapefile-tasot, jotka ladattiin ennakoaineistona maastotalentimelle.

Tutkimusalueelta laserkeilausaineistosta havaittujen kohteiden maastoverifioinnit suoritettiin 5.–31.7.2021. Jokainen kohdepiste käytiin tarkistamassa ja tunnistamassa paikan päällä. Kohteiden paikannukseen käytettiin Penmap-sovellusta joko taustakartan avulla suunnistamalla tai käyttämällä sovelluksen tarkista piste -toimintoa, joka opastaa kompassin tavoin valitulle näytöltä valitulle pisteelle. Havaitut ja tavoitetut kohteet mitattiin maastotalentimen mittausominaisuuksilla paikoilleen ja kohteeseen liittyvät havainnot dokumentoitiin mittausprojektiin dokumentointilomakkeeseen.

Jo pian maastotöiden edetessä laitteen dokumentointiominaisuudet todettiin varsin sujuviksi ja nopeiksi käyttää. Ennalta laadittuun projektipohjaan oli luotu valmiit mittaustilat erilaisille mittaustyypeille sen mukaan, halutaanko kohde mitata pisteenä, ympyränä vai monimuotoisempana rakenteena. Penmapin valikosta löytyy useita mittaustilannetta huomattavasti nopeuttavia mittaustapoja eri muotoisten ilmiöiden mittaamiseen. Kaikille mittaustyypeille oli luotu oma yksilöllinen dokumenttilomake, joka avautui automaattisesti mittauksen päätyttyä. Lomakkeen täyttö oli suunniteltu valintaruuduilla ja numeerisella tiedolla käytettäväksi, joten lomakkeen täyttö oli hyvin nopea toimenpide. Ainoastaan lisätietoja sarakkeeseen voitiin tarvittaessa lisätä tekstiä. Maastomittausten jälkeen mitattu ja

pilveen siirretty data ladattiin Penmap Project Managerin avulla ulos pilvestä QGIS-ohjelmassa tapahtuvaa loppukäsittelyä varten.

Kaikki laserkeilausaineistosta havaitut kohteet löydettiin ja tunnistettiin. Hyvin suuri osa aiemmin tuntemattomista kuoppajäännekohteista osoittautui erilaisiksi modernin ihmistoinnin jäljiksi, mutta mukana oli myös muutamia uusia muinaisjäännekohteita. Kohteiden paikantaminen tosin osoittautui välillä, jos ei haasteelliseksi, niin ainakin mutkikkaaksi. Kohteiden löytämiseen ja joskus jopa kohteelta pois pääsemiseen jouduttiin nimittäin välillä käyttämään jopa matkapuhelimen karttasovellusta. Koealue on osittain laajalti 4G-matkapuhelinverkon katvealueella. Maastotöiden yhteydessä havaittiin, että laite on käytännössä täysin riippuvainen riittävän voimakkaasta 4G-dataverkosta, ja koska sille ei voi ladata offline-karttoja, häviää sen näytöltä myös WMS-taustakartta datayhteyden katketessa.

Datayhteyden toimiessa kohteiden paikallistaminen laitteen avulla oli kuitenkin pääsääntöisesti helppoa. Penmap-sovellus mahdollistaa kohteen paikantamisen joko taustakartalla näkyvän omaa paikkatietoa osoittavan tähtäinkehän avulla suunnistamalla tai käyttämällä ohjelman *tarkista piste* -toimintoa. Kartan avulla suunnistaminen oli varsin helppo menetelmä silloin, kun datayhteys oli hyvä, eikä maasto ollut kovin pahasti peitteistä. Tällöin laite näytti oman sijainnin kartalla hyvin tarkasti ja suunnistaminen ja haluttujen kohteiden paikantaminen maastossa oli mutkatonta. Peitteisessä maastossa ja katvealueella laitteen tarkkuus kuitenkin heikkeni merkittävästi ja joidenkin kohteiden paikantaminen saattoi olla hyvinkin haasteellista. Tarkista piste -toimintoa käytettäessä näytölle ilmestyy omasta sijainnista valitulle kohteelle osoittava nuoli ja etäisyys pisteestä. Maastossa liikuttaessa nuoli osoittaa koko ajan suuntaa valitulle kohteelle ja toimii siten ikään kuin kohteelle ohjaavana kompassina. Periaatteessa toiminto on äärimmäisen kätevä, etenkin silloin, jos jostain syystä laitteen taustakartat eivät ole käytettävissä. Koetutkimuksissa toiminnossa

havaittiin kuitenkin selkeä toistuva virhe, joka todennäköisesti johtui sovellusvirheestä. Toiminto nimittäin ohjasi pisteelle systemaattisesti vasemmalta ohi. Kohde saavutettiin siis joka kerta spiraalimaisesti oikealle kaartaen. Joskus laite saattoi kierrättää jopa täyden kierroksen kohteen ympäri.

Pois lukien ohjelmiston tietynlaiseen keskeneräisyyteen viittaavat havaitut ongelmat (ks. alla), TDC150 ja Penmap for Android havaittiin kokonaisuutena varsin toimivaksi työkaluksi arkeologisessa maastoinventoinnissa. Maastoinventointitehtävissä laitteen senttitarkka paikannustarkkuus ei kuitenkaan ole niin merkittävä ominaisuus. Laitteen vahvuuksia inventointitehtävissä ovat sen kompakti koko ja dokumentointiominaisuudet. Laite ohjelmistoinen muodostaa yhden tiiviin työkalupaketin, jossa on mukana kaikki arkeologisessa maastoinventoinnissa tarvittavat työkalut paikannukseen ja dokumentointiin ja siinä on mukana myös kaikki tarvittava kartta-aineisto ja oheisaineistot.

Edellä mainituista puutteista ja keskeneräisyyksistä huolimatta yleiskuva laitteen soveltuvuudesta inventointitehtäviin jäi positiiviseksi. Project managerilla luotavien dokumentointilomakkeiden monipuolisuus ja joustavuus, sekä niiden osittain automatisoitu käyttöliittymä tekevät kohteen dokumentoinnista erittäin sujuvaa ja nopeaa. Laitteen tekniikkaan on satsattu riittävästi ja laite on erittäin hyvin suojattu kosteutta, pölyä ja iskuja vastaan. Laitteen näyttö on kosketusominaisuuksiltaan ja ennen kaikkea valaistukseltaan erinomaisen selkeä. Ainoastaan laitteen 4G-riippuvuus syö selkeästi laitteen käyttökelpoisuutta etenkin Pohjois-Suomen olosuhteissa.

Tapaustutkimus 2: Raahen Ojastenojan jätinkirkon arkeologinen tarkastus

Elokuussa 2022 sanomalehti Kaleva uutisoi Raahen Piehingistä vastikään löytyneestä uudesta jätinkirkosta (Huoviala 2022). Oulun

yliopiston arkeologian laboratorion LIDARK-hankkeen yhteydessä kiinnostuttiin myös tästä uudesta kohteesta. MML:n tuottamassa rinnevarjosteessa alueella oli kyllä havaittavissa viitteitä jätinkirkkokohteesta, mutta ilmakuvien ja paikan päältä otettujen kuvien perusteella se ei kuitenkaan vaikuttanut tyypilliseltä jätinkirkkokohteelta. Kohde sijaitsi kuitenkin jätinkirkkoille tyypillisessä maastossa ja niille tyypillisellä korkeudella meren pinnan yläpuolella. Lisäksi paikka sijaitsee vain kaksi kilometriä lounaaseen laajasta ja tunnetusta Raahen Laivakan-kaan muinaisjäännekeskittymästä, joka käsittää muun muassa kaksi aiemmin todennettua jätinkirkkoa.

Kohteella päätettiin suorittaa tarkastuskäynti tyyppin todentamiseksi ja muinaisjäännealueen laajuuden selvittämiseksi. Kohteen tarkastus ja mittaus suoritettiin 16. syyskuuta 2022 allekirjoittaneen ja arkeologian lehtori Janne Ikäheimon toimesta. Kohde sijaitsee pienen, hyvin kivikkoisen harjanteen kaakkoisreunalla, harjanteen korkeimmalla kohdalla. Maasto oli vastikään hakattua ja äestettyä avohakattua metsämaata. Aluksi alueella tehtiin silmämääräinen tarkastus. Heti todettiin, ettei paikka täytä tyyppillisen jätinkirkkokohteen tunnusmerkkejä. Jätinkirkkokohteen tunnusomainen kivistä koottu selkeästi erottuva suorakaiteen muotoinen kehävalli porttiaukkoineen ei ollut havaittavissa. Sen sijaan paikalla havaittiin heti kolme kappaletta selkeitä kivilatomuksia. Näistä kaksi oli ajettu metsän äestyksessä rikki, mutta kolmas, suurin ja selkein, oli kierretty. Myös puustoa oli jätetty latomuksen ympärillä pystyyn, mikä viittaa siihen, että metsäkoneen kuljettaja on tunnistanut rakenteen ja jättänyt sen tietoisesti koskemattomaksi.

Edellä mainitut latomukset muodostavat Maanmittauslaitoksen 0,5p-laserkeilausaineistossa erottuvan kehävallimaisen rakenteen kaakkoisrivun ja koillispuolelta. Mahdollisen kehävallin luoteisrivi sen sijaan muodostuu luontaisesta moreeniharjanteesta. Lounaispuolella rakenteessa ei ole havaittavissa ollenkaan. Tässä vaiheessa oli siis selvää, että kyseessä on esihistoriallinen muinaisjäänne-

kohde, mutta tyypillisen jätinkirkkokohteen tunnusmerkkejä se ei täyttänyt. Aluetta laajemmin tarkasteltaessa kuitenkin havaittiin, että jo laserkeilausaineistossa havaittu kumpurivistö aivan harjanteen kaakkoisreunalla muodostuu todellisuudessa noin 60 metriä pitkistä rikkipalaneista kivistä kasatusta rakenteesta. Rakenne oli rikkoutunut pahoin äestyksessä. Palaneiden kivien kummut ovat kiinteästi jätinkirkkokohteeseen liittyviä muinaisjäännytystyyppejä (Halinen 2019: 116). Niitä on havaittu lähes kaikilta jätinkirkkokohteilta, eikä juurikaan muualta, joten ne liittyvät kiinteästi juuri jätinkirkkokohteilla tapahtuneeseen esihistorialliseen toimintaan. Palaneiden kivien kumpujen lisäksi alueelta havaittiin vielä neljäs rikkiäestetty latomus mahdollisen jätinkirkkorakenteen lounaispuolelta. Äestysurista havaittiin paikoin runsaastikin kivikautisille kohteille tyypillisiä kvartsi-iskoksia ja palaneiden kivien kappaleita.

Kohde päätettiin dokumentoida sekä maastotallentimella että ilmakuvauksella. Ilmakuvauksella suoritettiin DJI Mini 3 Pro -nelikopterilla. Alue kuvattiin 20 metrin korkeudesta. Kaikki havaitut rakenteet sekä mahdollisen jätinkirkkorakenteen sijainti dokumentoitiin ja mitattiin maastotallentimella. Latomusten keskipisteet mitattiin paikoilleen. Lisäksi kartoitettiin kaikki alueella ja etenkin äestysurissa havaitut arkeologiset löydöt, joista suurin osa oli kvartsi-iskoksia. Iskosten lisäksi alueelta havaittiin pienempiä määriä kvartsiytimiä, kvartsikaapimia, palanutta luuta sekä palaneita kiviä. Suurin osa havaituista löydöistä mitattiin yksilöllisesti paikoilleen. Muutamissa kohdissa kuitenkin oli järkevää mitata tiheämpi löytökeskittymä alueena paikoilleen. Kaiken kaikkiaan alueelta dokumentointiin rakenteiden lisäksi yhteensä 358 pistettä (kuva 3).



Kuva 3. Raahen Ojastenojan kohteen mittaustulokset siirrettyinä kartalle (Kuva: R. Nurmi; taustakartta: Maanmittauslaitos).

Maastotöiden jälkeen mittausdata ajettiin QGIS:ssä shapefile-tasona kartta-aineiston päälle. Aineisto osoitti, että paikannukset asetuvat varsin tarkasti havaittujen rakenteiden kanssa yksiin. Mittauksen tarkkuus on siis täysin riittävä arkeologisen kohteen tarkastuksen tarpeisiin ja kohteen muinaisjäännösalueen rajausta voidaan dokumentointiaineiston perusteella määrittää riittävän tarkasti ja luotettavasti. Mittaustarkkuutta paransi huomattavasti se seikka, että alue oli kokonaisuudessaan avointa peitteetöntä avohakkuuta ja 4G-dataverkon kattavuus oli alueella hyvä. Merkittävin etu tutkimuskohteen kaltaisella kohteella oli laitteen dokumentointiprosessin nopeus. Vaikka alueelta mitattiin lähes neljäsataa yksittäistä pistettä ja rakennetta, joiden kaikkien metadata dokumentointiin ja tallennettiin laitteelle yksittäin, kesti varsinainen mittausprosessi kokonaisuudessaan vain pari tuntia ja dataa saatiin kerättyä huomattavasti enemmän kuin perinteisessä tarkastuksessa olisi saatu. Datatän jälkikäsitteily paikkatieto-ohjelmistoilla on myös hyvin nopeaa ja sujuvaa.

Mutta mikä oli lopulta tarkastuksen tulos – oliko kyseessä jätinkirkko vai ei? Jätinkirkkokohde on useammasta toisistaan kiinteästi liittyvästä muinaisjäännöskokonaisuudesta muodostuva muinaisjäännöskokonaisuus. Itse jätinkirkkorakenne on näistä vain yksi, joskin varsin keskeinen (Okkonen 2003: 30). Ojastenojan tapauksessa kohde sisältää kaikki jätinkirkkokohteelle tyypilliset ilmiöt lukuun ottamatta itse varsinaista kivistä ladottua suorakaiteen muotoista kehävallia. Alueelta löytyy kivilatamuksia ja vahvat merkit kiviesineiden työstöstä ja valmistuksesta sekä erityisesti jätinkirkkokohteiden yhteyteen liittyvät palaneiden kivien kummut. Lisäksi lähistöltä tunnetaan kivikautinen asuinpaikka. Kokonaisuutena tullaan siihen johtopäätökseen, että kyseessä on jätinkirkkokohde ilman jätinkirkkoa. Eli kohde liittyy samanlaiseen ja samanaikaiseen toimintaan kuin muutkin jätinkirkkokohteet, mutta Ojastenojan kohteen tapauksessa tunnusomainen kehävalli on jätetty jostain syystä rakentamatta. Kyseessä on siis todennäköisesti

poikkeava variaatio, tai mahdollisesti ensimmäinen tunnistettu muoto tällaisesta variaatiosta. Kivistä ladottua kehävallia vastaava elementti on toki tavallaan havaittavissa myös Ojastenojan kohteella. Kyseessä on alun perin rinnevarjosteesta jätinkirkoksi tunnistettu noin 35 x 20 metrin kokoinen hevosenkengän muotoinen ilmiö, joka kuitenkin Ojastenojan tapauksessa muodostuu kolmesta rakennetusta kivilatamuksesta ja luontaisesta moreenivallista. On hyvin mahdollista, että maaperää on rakentamisen ja käytön aikana myös jonkin verran muokattu, joten maaperässä erottuvalla rakenteella (kuva 4) on voinut olla ainakin osittain sama funktio kuin kivistä ladotuilla kehävallilla.

Tapaustutkimus 3: Oulun Peurasuon tasokaivaus- alueen dokumentointi

Arkeologisista kenttädokumentoinneista kaivaustutkimus on mittatarkkuusvaatimuksiltaan suurin. Etenkin tasokaivaustutkimuksissa jokainen löytö ja ilmiö tulisi saada dokumentoitua mahdollisimman tarkasti paikoilleen (Halinen et al. 2009: 206). Näin ollen mittatarkkuuden on oltava riittävän hyvä sekä XY- että Z-koordinaatistossa. Manuaalisen mittaustavan aikana kohteet pyrittiin mittaamaan paikoilleen mittanauhoin ja vaaituskojeella senttimetrin tarkkuudella (Takala 1998: 179). Nykyään kaivaustutkimuksissa käytetään pääsääntöisesti takymetrimittausta ja kiintopisteet määritetään vaaituskojeella tehtävän korkeuden siirron sijaan GNSS-vastaanottimilla (ks. esim. Takala 1998: 21–23; Halinen et al. 2009: 214).

Kolmannessa tapaustutkimuksessa tarkasteltiin riittääkö Trimble TDC150 -maastotallentimen mittaustarkkuus arkeologisten kaivaustutkimusten tarpeisiin. Koetutkimuksessa mitattiin Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen ”Arkeologinen tiedonhallinta ja -käsitteily II” -kurssin opetusaikavuosissa dokumentoitavan tutkimusalueen kaikki mittaukset sekä takymetrillä että maastotallentimella.



Kuva 4. Raahen Ojastenojan kohde kuvattuna ilmasta. Jätinkirkkomainen rakenne erottuu kuvan keskellä hevosenkengän muotoisena ilmiönä (Kuva: J. Ikäheimo).

Tavoitteena oli vertailla molempien laitteiden mittaustuloksia toisiinsa ja sitä kautta pohtia mittaustulosten suhteellista tarkkuutta. Opetuskaivaukset toteutettiin 12.–22.6.2023 Oulun Pikkaralan Peurasuon pronssikautisella (n. 1500 eKr) asuinpaikalla (Hakonen 2017: 8). Nykyään kohde sijaitsee kuivattuun suopeltoon viettävällä hiekkapohjaisella metsäisellä etelärinteellä Oulujoen pohjoispuolella. Kohdeelta tunnetaan kaksi osittain maahan kaivetun asumuksen jäännöstä ja siellä on tehty aiempia kaivaustutkimuksia vuosina 1997–1999 (Alakärppä et al. 1998; Alakärppä & Ojanlatva 1998; 1999; Ojanlatva & Alakärppä 2002: 109).

Vuoden 2023 kaivausten kaivausalue sijoittuu aiemmin laajalti dokumentoidun asuinpainanteen pohjoispuolella sijaitsevalle pienelle terassimaiselle tasanteelle, jolle oli tehty koetutkimuksia aiemmissa tutkimuksissa.

Vuoden 2023 kaivauksissa vuoden 1999 koeojaa laajennettiin pohjois- ja eteläsuuntaan 5 x 6 metrin kokoiseksi tasokaivausalueeksi. Kaivausmetodina käytettiin niin sanottua sovellettua tasokaivausta. Sovelletussa tasokaivauksessa maakerroksia poistetaan valitun paksuisina kerroksina luonnollista maanpintaa mukaillen (Takala 1998: 124–128). Kohteella aiemmin tehdyt kaivaustutkimukset oli toteutettu teknisinä kerroksina (Alakärppä et al. 1998; Alakärppä & Ojanlatva 1998; 1999).

Kaivaustasojen vahvuudeksi valittiin kivitautisten kohteiden kaivauksissa tyypillisesti käytetty viisi senttimetriä. Pintaturpeen poiston ja jokaisen poiskaivetun tason jälkeen kaivausalueen pinnasta mitattiin piste puolen metrin välein. Tasoja ei vaaittu vaaituskojeella vaan mittaamiseen käytettiin ainoastaan takymetriä ja maastotallenninta. Aiempien

kaivausten perusteella oli tiedossa, että alueen löytöodottama on hyvin vähäinen. Kaikki kaivauksissa tehty löytö ja havaitut ilmiöt mitattiin paikoilleen sekä takymetrillä että maastotallentimella Mittauksissa käytettiin Trimble TDC150 -maastotallentimen lisäksi Trimble S5 -robottitakymetriä, Trimble R8 GNSS-vastaanotinta ja Trimble TSC3 -maastotietokonetta. Ennen kaivausten aloittamista kiintopisteet mitattiin R8-vastaanottimella.

Mittaustulosten analyysissä oli tavoitteena tarkastella molemmilla mittalaitteilla mitattujen pisteiden keskinäistä etäisyyttä XY- ja Z-tasoissa. Jotta mitaustuloksia päästään vertaamaan on takymetrillä ja maastotallentimella mitatut pisteet pystyttävä kohdistamaan toisiinsa riittävän luotettavasti. Laitteilta ulos ladattava data on molemmissa laitteissa ladattavissa sekä shapefile- että CSV-tiedostomuodossa, joten lähtöaineistoja ei tarvinnut aluksi konvertoida samaan muotoon. Mittausten aineistot ladattiin aluksi QGIS-ohjelmaan muokkaamattomina shapefile-tasoina ja niitä tarkasteltiin ja verrattiin alustavasti näytöllä. Tämän karkean vertailun perustella valittiin ne mitaustipetyypit, joita tultaisiin käyttämään varsinaisessa vertailuanalyysissä. Mitattaviksi pistetyypeiksi pyrittiin valitsemaan sellaisia tasoja, joissa kaikki tai lähes kaikki pisteet on mitattu sekä takymetrillä että maastotallentimella. Tällaisia tasoja muodostettiin lopulta yhteensä kuusi kappaletta. Kaivausten löytöjen lisäksi vertailussa oli mukana yhteensä viisi pintavaaitustasoa (Taulukko 1).

Takymetrillä ja maastotallentimella mitattu data muokattiin keskenään vertailukelpoiseksi QGIS-ohjelman attribuuttityökaluilla, minkä jälkeen QGIS-ohjelmistolla muokattu mittausdata käsiteltiin loppuun Excelillä (tarkempi prosessikuvaus, ks. Nurmi 2024). Koska vertailussa vain pisteiden keskinäisellä etäisyydellä on merkitystä, ei sen suunnalla, muutettiin Z-tason etäisyyslaskennan negatiiviset tulokset positiivisiksi. Tämän jälkeen kaikkien kuuden mitaustaso aineistoista laskettiin pisteparien keskinäisten etäisyyksien keskiarvot ja keskihajonnat erikseen XY- ja Z-tasoissa. Laskennan tulokset on esitetty oheisessa taulukossa (taulukko 1).

Mittaustulosten käsittelyn yhteydessä alkoi hyvin pian käydä ilmi, että takymetri- ja maastotallenninmittauksissa on suuria eroja ja heittelyä. Taulukosta 1 nähdään, että vertailutasojen pisteiden keskimääräinen etäisyys XY-tasossa vaihtelee noin 4–8 senttimetrin sisällä ollen kokonaisuutena keskimäärin noin 6 senttimetriä. XY-tasojen keskihajonnan pieni arvo viittaa siihen, että mitausten välinen etäisyys on hyvin systemaattista. Korkeussuunnassa etäisyyksien vaihteluväli on hieman suurempi 4–11 senttimetrin välillä, mikä oli odotettavissa, sillä GNSS-mittauksen keskivirhe on korkeussuunnassa tasoa suurempi (Laurila 2012: 305–315). Korkeussuunnan keskihajontalukemat ovat myös hyvin suuria, mikä viittaa siihen, että mitaustuloksissa on hyvin suurta etäisyyden vaihtelua.

Taulukko1. Vertailutasojen mitattujen pisteiden keskinäisten etäisyyksien keskiarvot ja keskihajonnat vertikaali- ja horisontaalitasossa (arvot metreinä).

Vertailutaso	KA XY	KH XY	KA Z	KH Z
Pinta	0,082977963	0,049009292		
Taso 1	0,074391323	0,063696775	0,117518581	0,197580725
Taso 2	0,072216005	0,028055367	0,042185982	0,033126183
Taso 3	0,041396791	0,025613001	0,097459286	0,037465526
Taso 4	0,059101612	0,049099379	0,066452448	0,087304622
löydöt	0,047242171	0,025733402	0,061304378	0,068038028
KA	0,062887644	0,040201203	0,076984135	0,084703017

Koska tasokaivausdokumentoinnissa edellytetään mahdollisimman suurta paikkatietodokumentoinnin tarkkuutta, eivät koetutkimuksen tulokset tue kovin vahvasti maastotallentimen käyttöä ainakaan tutkimusten ainoana paikkatietomittalaitteistona. Kaivaustutkimuksissa on perinteisesti pyritty noin senttimetrin mittatarkkuuteen jo manuaalisella mittaustavalla. Jos oletetaan, että takymetri antama mittausdokumentaatio on hyvin tarkkaa, ja sen tuloksia voidaan pitää laadullisesti vertailun lähtötietoina, on maastotallentimen tarkkuus tasokaivausolosuhteissa korkeintaan noin 5 senttimetrin luokkaa ja korkeussuunnassa vielä hieman enemmän.

Edellä mainituissa arviossa on kuitenkin otettava huomioon myös inhimilliset vaikutukset mittaustarkkuuteen. Kaikki pisteet mitattiin molemmilla mittalaitteilla käsivaraisesti hyvin pehmeässä hiekkaisessa maaperässä laitteiden omaa vaakainta käyttäen. Vaakaimesta huolimatta käsivaraisella prisma-/maastotallenninmittauksella jo pelkästään mittakepin vinoudesta ja huojumisesta aiheutuva epätarkkuus on noin 3 senttimetrin luokkaa XY-tasossa (Fitts 2005: 181). Lisäksi pehmeä maaperä aiheutti sen, että mittakepit ja maastotallentimen jalan mittauskätki eivät todennäköisesti juuri koskaan asettuneet samaan korkeuteen pois lukien mittauspisteet, jotka mitattiin kiinteältä pinnalta, kuten esimerkiksi kiven päältä. Molemmat tekijät aiheuttavat huomattavaa epätarkkuutta mittaustuloksiin, mutta todennäköisyys virheelle oli kuitenkin molemmilla mittalaitteilla sama.

Vaikka tämän koetutkimuksen perusteella maastotallenninta ei voi suositella arkeologisen tasokaivaustutkimuksen paikkatiedon dokumentointivälineeksi, olisi koetilanne syytä mallintaa vielä uusiksi siten, että edellä mainitut merkittävät ja todennäköiset virhelähteet minimoitaisiin. Tosin tällöin koetilanne ei kuitenkaan olisi todellisen kaivaustutkimustilanteen kaltainen. Mallinnetussa koetilanteessa mittaus tulisi suorittaa siten, että sekä takymetrin mittasauva että maastotallennin asetetaan kiinteän mittauspisteen

päälle telineeseen tuettuna ja koemittaukset suoritettaisiin sekä avoimessa että peitteisessä maastossa. Tällä tavalla mitattuja vertailulukemia voitaisiin sitten verrata esimerkiksi tämän koetutkimuksen tuloksiin ja pohtia, kuinka suuri vaikutus todellisen tutkimuskaivaustilanteen maastollisilla ja inhimillisillä tekijöillä on mittaustarkkuuteen verrattuna simuloituun koetilanteeseen.

Huomioita ja pohdintaa TDC150 maastotallentimesta ja sen soveltuvuudesta arkeologisiin kenttädokumentointeihin

TDC150-maastotallennin edusti markkinoille tullessaan uutta konseptia. Se oli suunniteltu kompaktius, käytettävyys ja edullisuus edellä ja toteutettu avoimeen matkapuhelininfrastruktuuriin. On siis ymmärrettävää ja odotettuakin, että tuotekokonaisuus kantaa mukanaan vielä mahdollisia suunnittelu- ja ohjelmistovirheitä. Näitä koetutkimusten yhteydessä myös havaittiin. Pääasiassa ongelmat liittyivät Penmap for Android -ohjelmistosovellukseen. Itse laite todettiin tutkimusten yhteydessä erittäin laadukkaaksi ja lupauksensa täyttäväksi kokonaisuudeksi – laitteen kuori on luja ja tiivis, näytön laatu on erittäin hyvä niin kosketus- kuin valaistusominaisuuksiltaan. Laite on todella kätevän kokoinen ja helposti mukana kuljetettava vaativimmissakin maasto-olosuhteissa. Sen käyttöönotto sekä mittaussnopeus ja tarkkuus ovat hyvissä olosuhteissa erittäin nopeita.

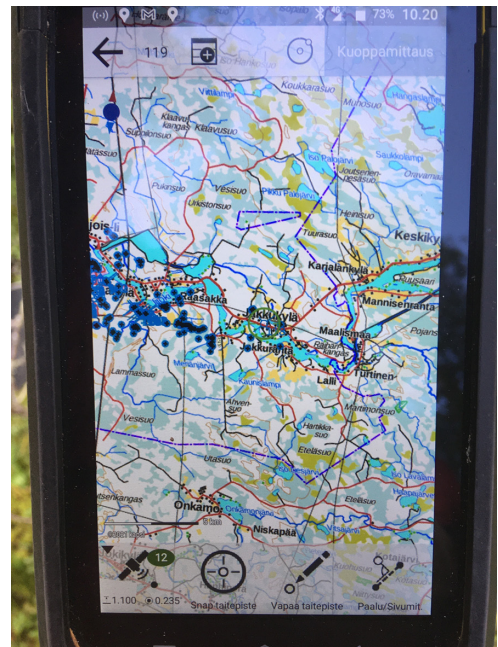
Myös laitteen akun kesto osoittautui ennakoitua paremmaksi. Laitteella pystyi parhaimmillaan mittaamaan täyden työpäivän yhdellä akulla silloin, kun laite, tai vähintään Penmap-sovelluksen GNSS-paikannus, sammutettiin siirtymien ajaksi. Kaksi akkua riittää erittäin hyvin pitkienkin mittauspäivien tarpeisiin. Laitteen ainoa selkeä tekninen heikkous on se, ettei sille ole saatavissa ulkoista akkulaturia. Tämä on laitteen käytettävyyden kannalta puute, sillä akku on ladattava laitteessa kiinni micro-usb -portin kautta ja latausai-

ka on pitkä. Vara-akkaa ei siis voi ladata yhtä aikaa laitetta käytettäessä. Käytännössä akut oli päivittäin ladattava siten, että toinen akku ladattiin illalla työpäivän jälkeen ja toinen kytettiin lataukseen yön ajaksi.

Koetutkimuksissa mittausohjelmiston käytetty Penmap for Android -sovellus sen sijaan sisälsi etenkin koetutkimusten alkuvaiheessa runsaasti ohjelmistovirheitä, jotka kielivät sovelluksen keskeneräisyydestä. Ilmiö on hyvin yleinen ohjelmistotalalla (esim. Yli-Huumo et al. 2015). Virheistä yksikään ei aiheuttanut vakavia ongelmia tai aineiston menetyksiä, mutta ne vaikeuttivat ja hidastivat maastotöitä. Ohjelmistovirheitä oli eri tasoisia. Lievimpänä voitaneen pitää sovelluksen zoomaustoimintoa, joka ei oikeastaan ole vika, vaan suunnittelussa huomioimatta jäänyt seikka. Ohjelman näyttöä pystyi zoomaamaan vain joko kahdella sormella liu'uttamalla tai suurentamaan kaksoisnapauttamalla. Käytännössä zoomin käyttö styluksella oli erittäin hankalaa. Maastotyöt suoritettiin loppukesästä, jolloin purevien ja pistävien hyönteisten määrät ovat suuria, ja niitä vastaan on suojauduttava siten, ettei laitetta voinut operoida paljain käsin. Ohjelman näytön zoomaustoimintoon liittyvä selkeä vika sen sijaan oli lomakepohjien käyttöön liittyvä virhe, jonka takia näytön zoomaus muuttui sattumanvaraisesti lomakkeen tallentamisen jälkeen.

Zoomaustoiminnon käytön heikoutta vakavampia vikoja olivat esiaineistoina ladattavien shapefile-tiedostojen paikannuksen koordinaatiovirheet (kuva 5) sekä työprojektien korruptoituminen. Maastotöiden yhteydessä havaittiin silloin tällöin, että projektiin ladattu ennakkoinaisto ei ole oikealla paikallaan, vaan on kokonaisuutena siirtynyt eri kohtaan karttapohjalla. Tällaisissa tapauksissa tilanteen korjaus onnistui ainoastaan käynnistämällä projekti uudelleen. Projektien korruptoituminen oli laitteen havaituista ohjelmistovirheistä ehkä vakavin. Korruptoitunutta projektia ei voinut käynnistää laitteella enää ollenkaan. Ainoa tapa jatkaa työtä oli laatia Project Manager -ohjelmalla uusi projekti ja ladata se pilven kautta laitteelle. Onneksi korruptoi-

tuneen projektin pystyi kuitenkin tallentamaan laitteelta pilveen ja Project Managerin avulla siitä pystyttiin tallentamaan siihen mennessä mitattu data talteen, joten uuden projektin luomisen jälkeen ei tarvinnut aloittaa mittaamista alusta, vaan voitiin jatkaa eteenpäin siitä, mihin projektin korruptoituminen oli keskeyttänyt mittaamisen. Projektin korruptoituminen kesken maastomittauspäivän kuitenkin osoitti konkreettisesti samalla erään Trimble Penmap -infrastruktuurin vahvuuden. Aiemmin mittalaitteen tai ohjelmiston rikkoutuminen syrjäisessä maastokohteessa olisi tarkoittanut koko mittauspäivän menettämistä. Nyt tilanteen korjaaminen onnistui noin 15 minuutissa, eikä mittauskohteelta tarvinnut poistua ollenkaan. Laitteelle luotiin arkeologian laboratoriolle uusi mittausprojekti, joka ladattiin pilvipalvelun kautta laitteelle, joten mittaamista voitiin maastossa jatkaa siitä, mihin oli jääty heti kahvitauon jälkeen.



Kuva 5. Shapefile-tason koordinaatiovirhe Penmap for Android -sovelluksen näkymässä. Ladattu ennakkoinaisto on siirtynyt kartalla viisi kilometriä länteen (Kuva: R. Nurmi).

Kaikista laitteessa esiintyneistä virheistä ja puutteista oltiin yhteydessä Trimblen asiakaspalveluun. Asiakaspalvelun vastaanotto ja toiminta ongelmien ratkaisemisen suhteen oli esimerkillistä. Trimble korjasi kaikki mainitut Penmap -ohjelmistossa havaitut virheet ja lisäsi käyttöliittymään näytölle styluksella ohjattavat zoomauspainikkeet marraskuun 2021 lopulla julkaistun versiopäivityksen yhteydessä. Ohjelmiston versiopäivityksen jälkeen edellä mainittuja ohjelmistovirheitä ei ole enää laitteen myöhemmän käytön yhteydessä havaittu ja näytön zoomauspainikkeiden lisääminen myös paransi laitteen käytettävyyttä huomattavasti.

Ohjelmistopäivityksen jälkeen maastotallennin toimi ohjelmistonsa puolesta moitteetta, mutta siihen jäi kaksi keskeistä käyttöä rajoittavaa ominaisuutta – 4G tietoliikennetyysriippuvuus ja heikko paikannustarkkuus peitteisessä maastossa. Näistä jälkimmäinen on kaikkien GNSS-tekniikkaan perustuvien laitteistojen ja järjestelmien heikkous, ja vaikka antennit ovat järjestelmän kehityksen aikana parantuneet huomattavasti, on esteetön yhteys vastaanottimen ja satelliittien välillä edelleen kriittinen edellytys luotettavan ja tarkan paikkatiedon määrittämiselle.

Sen sijaan laitteiston toiminnan riippuvuus jatkuvasta riittävän tehokkaasta tietoliikennetyksestä on ominaisuus, joka olisi todennäköisesti helpostikin korjattavissa, tosin paikannustarkkuuden kustannuksella. Tietoliikennetyhteyden katketessa laite menettää myös VRS-korjausdatan ja sen paikannustarkkuus heikkenee voimakkaasti. Korjausdatan menetys vaikuttaa myös laitteen kompassiin, josta tulee hyvin epätarkka ja epävakaa. Laitteen täydellinen riippuvuus toimivasta datayhteydestä ja sen aiheuttamat ongelmat tulevat kuitenkin esille silloin, kun laitetta yritetään käynnistää verkon katvealueella. Käytännössä Penmap for Android ei käynnisty, sillä ohjelma varmentaa Trimble Access -tilin lisenssien voimassaolon joka käynnistytyn yhteydessä internetyhteyden kautta, ja jos yhteyttä ei ole, sovelluksen käynnistys pysähtyy.

Laitteen datayhteyden täytyy olla vähintään 4G-nopeusluokkaa. Hitaammalla datayhteydellä Penmap-sovellus ei toimi ollenkaan. Havainnollistavaa on, että laitteen käynnistäminen 3G-verkossa onnistui siten, että laitteella otettiin wifi-yhteys tukiasemaksi asetettuun matkapuhelimeen, jolloin käyttöoikeuksien varmennus onnistui ja ohjelmisto käynnistyi. Todennäköisesti kyseessä on valmistajan tietoinen ratkaisu, jolla pyritään poistamaan hitaan tietoliikennetyhteyden vaikutukset paikannuksen tarkkuuteen (vrt. Poutanen 2016: 266). Täydellinen riippuvuus riittävän nopeasta datayhteydestä on joka tapauksessa erittäin merkittävä epäkohta laitteen käytettävyydelle laajamittaisissa maastoinventoinneissa Suomen olosuhteissa. Esimerkiksi tämän koetutkimuksen yhteydessä muutama syrjäinen kohde jouduttiin paikallistamaan ja dokumentoimaan kartan, kompassin, kynän ja paperin avulla, sillä kohdealueella laitetta ei saatu käynnistettyä.

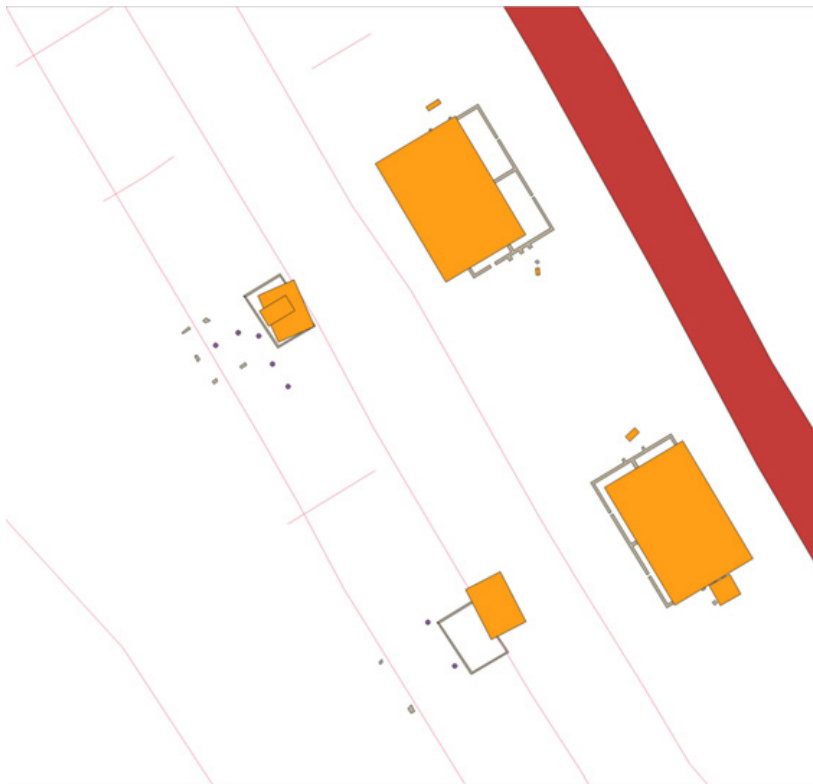
Teknisestä vakuuttavuudestaan huolimatta TDC150:kään ei edelleenkään mahdimitään yhdelle GNSS-paikannusta koko tekniikan olemassaolon ajan merkittävästi rajoitavalle ominaisuudelle. Luotettava GNSS-paikkantaminen vaatii riittävän määrä esteettömiä yhteyksiä GNSS-satelliittien ja mittalaitteen antennin välillä. Teoreettinen minimi on yhteys kolmeen satelliittiin, mutta luotettavan paikkatiedon edellytyksenä pidetään vähintään neljän satelliitin signaaleista saatua dataa (Laurila 2012: 291). Riittävän suuri signaalien määrä korostuu etenkin pohjoisilla alueilla usein heikkomman satelliittigeometrian takia (Laurila 2012: 308). Suomen olosuhteissa arkeologit työskentelevät usein peitteisessä metsämaastossa, kuten tämänkin koetutkimuksen kahdessa kolmesta tapaustutkimuksesta. Puiden latvustot peittävät tehokkaasti satelliitin radiosignaalien etenemisen ja kun pohjoisen olosuhteissa satelliitit painottuvat yleensä voimakkaasti eteläiseen horisonttiin, ovat olosuhteet paikantamiseen haastavat. Käytännössä, vaikka laitteen satelliittikartan mukaan laitteella saattoi avoimessa maastossa olla yhteys

jopa 20–30 GNSS satelliittiin yhtä aikaa, mit­taustarkkuus heikentyi metsässä oleellisesti. Jonkin verran kehitystä antennitekniikan puo­lalla näyttää toki tässäkin tapahtuneen, sillä tapaustutkimus 3:n yhteydessä havaittiin, että TDC150 pystyi paikantamaan mittauspisteitä puiden katveessa kohtuullisella tarkkuudella sellaisissa paikoissa, joissa vanhempi Trimble R8 GNSS-vastaanotin ei saanut yhteyttä yh­teenkään satelliittisignaaliin.

Maaston peitteisyys voi aiheuttaa maastotallentimen mittaustarkkuuteen hyvin­kin suuria mittavirheitä. Esimerkiksi samalla TDC150-maastotallentimella mitattiin aiem­min syksyllä 2021 Oulunsalon Varjakan sahan henkilökunnan asuntojen kivijalat. Kivijalat oli mitattu aiemmin kesällä 2019 takymetrillä (Äikäs 2023). Kuvassa 6 on esitettyä molem­

mat mittaustulokset päällekkäin asemoituina. Kuvasta nähdään, että oranssit ja violetit maas­totallentimella tehdyt mittaukset heittävät pa­himmillaan useita metrejä verrattuna harmaal­la merkittyihin takymetrimittauksiin. Varjakan kohde sijaitse erittäin sankassa vanhassa kuu­sikossa, missä satelliittien havaitseminen on­nistui vain muutamilla aukkopaidoilla, kuten kuvassa merkityllä tiellä (merkitty punaisella).

Heikot satelliitti- ja datayhteydet ai­heuttivat Penmap-sovelluksen mittaustark­kuuteen välillä huomattavia paikannusvirheitä ja mittaustarkkuusnäytön epäluotettavuutta. Parissa tapauksessa havaittiin, että laite osoittaa omaa sijaintiaan kartalla jopa 50 metriä vää­rään paikkaan verrattuna todelliseen sijaintiin, vaikka paikannustarkkuutta ilmoittava lukema laitteen näytöllä osoitti korkeintaan kahden



Kuva 6. Oulunsalon Varjakan sahan asuntojen kivijalat mitattuna takymetrillä (harmaa) ja Trimble TDC150 -maastotallentimella (oranssi/violetti) (Kuva: T. Äikäs & R. Nurmi).

metrin virhemarginaalia paikannuksen tarkkuudessa. Yleensä ottaen maastotöiden yhteydessä tehtiin se havainto, että jos laite ilmoittaa paikannustarkkuudeksi alle 50 senttimetriä, piti lukema paikkaansa, mutta sen suuremmilla, ja etenkin yli metrin paikannustarkkuuslukeilla todellinen paikannustarkkuus heitteli rajusti muutamasta metristä jopa kymmeneen metriin.

Yhteenvedona voi sanoa, että käytännössä Trimble TDC150 -maastotallentimen mittatarkkuus riittää arkeologisissa maastodokumentoinneissa hyvin inventointidokumentointeihin. Näihin dokumentointeihin riittää hyvin laitteen käytännössä noin 5 senttimetrin mittatarkkuus. Tapaustutkimuksessa 3 tehdyn vertailun perusteella laitteen mittatarkkuus vaihtelee XY-tasossa 4–8 senttimetrin ja Z-tasossa 4–11 senttimetrin välillä. Maaston peitteisyys, laitteen käyttäjän huolellisuus, tietoliikenneyhteyden vahvuus ja hetkellinen satelliittigeometria vaikuttavat merkittävästi mittaustulosten tarkkuuteen, eikä laitteen ilmoittamaan hetkelliseen mittatarkkuuteen voi sokeasti luottaa. Tarkempaa senttitarkkaa mittaustarkkuutta vaativiin tasokaivausdokumentointeihin laitetta ei voi varauksetta suositella, tai ainakin todellisen mittatarkkuuden selvittäminen vaatisi tarkempia lisätutkimuksia ennen käyttöönottoa tasokaivaututkimuksissa. Laitteen muut dokumentointiominaisuudet ansaitsevat kiitosta. Penmap for Android -dokumentointisovellus lomaketoimintoinen on erittäin näppärä ja nopeuttaa maastodokumentointia huomattavasti ja sen käytön oppii nopeasti. Lukuisat ohjelmistovirheet ja puutteet kielivät kuitenkin vielä ohjelmiston keskeneräisyydestä. Valmistaja onneksi kuuntelee käyttäjiä herkillä korvalla ja on valmis reagoimaan palautteeseen nopeasti.

Kehitettävää ja tulevaisuudennäkymiä

Trimble TDC150 -maastotallennin on nyt jo poistunut myynnistä. Valmistaja on korvannut sen uudella Trimble TDC650 -maastotal-

lentimella. Uusi laite on fyysisiltä mitoiltaan hyvin samankokoinen kuin nyt testattavana ollut TDC150, mutta siinä on tehokkaampi prosessori, enemmän muistia, suurempi näyttö ja suurempikapasiteettinen akku ja se on kokonaisuutena hieman vanhempaa mallia kevyempi (Trimble 2022). Lisäksi TDC650 tukee PPP-tekniikkaan (Precise Point Positioning) perustuvaa RTX-paikannusta, mikä mahdollistaa tarkan paikannuksen ilman tietoliikenneyhteyttä. Trimble on tuonut markkinoille myös huomattavasti edullisemman Catalyst DA2 GNSS -vastaanottimen, jota voidaan käyttää yhdessä minkä tahansa nykysukupolven matkapuhelimen kanssa (Trimble 2024b). Tulevaisuudessa kuluttajaluokan laitteistojen paikannustarkkuus tulee myös todennäköisesti paranemaan ja laitevalikoima laajenemaan. Uuden sukupolven kaksitaajuusvastaanottimilla varustettujen matkapuhelimien GNSS-paikannustarkkuus on koetutkimuksissa todettu pääsevän jo senttimetritasolle (Crosta et al. 2019; Lachlan 2019; Retscher & Weigert 2022) ja yksinkertaisempiin mittauksiin on tarjolla jo hyvinkin kompakteja budjettiluokan mittalaitteita (ks. Kuusela ja Matilainen 2024).

Eniten kehitettävää on Penmap for Android -sovelluksessa. Penmapin laiteinfrastruktuuri pilvipalveluineen ja erillisine projektinluontiohjelmistoinen on toimiva. Penmap Project Manager -dokumentinluontiohjelmiston käyttöliittymää ja käytettävyyttä voisi tosin kehittää modernimmaksi. Se on ulkoasultaan ja käyttölogiikaltaan jo varsin vanhahtava. Offline-karttojen ja rasterimuotoisen ennakodatan käyttömahdollisuus sekä käytön riippumattomuus jatkuvasti toimivasta datayhteydestä olisivat ensisijaisia kehityskohteita. Vastaavia kilpailevia sovelluksia on jo olemassa. Esimerkiksi Avenza-maps-sovelluksen maksullisessa versiossa voidaan käyttää taustakarttana georeferoituja pintamalleja offline-tilassa, jolloin säästetään monta turhaa välivaihetta ennakoaineiston käsittely ja taustakarttojen käyttömahdollisuudet olisivat paljon monipuolisempia. Samoin avoimen lähdekoodin QField-sovellus, joka keskustelee

suoraan QGIS-ohjelmiston kanssa pilvipalvelun kautta (QField 2024), tarjoaa vastaavanlaisia dokumentointimomintoja ja ottaa vastaan myös rasterimuotoista tausta-aineistoa. QFieldin vahvuus on se, että se keskustelee suoraan QGIS:in kanssa. QGIS-ohjelmistolla luodut projektit voidaan suoraan ladata sovellukseen ja päinvastoin, jolloin säästyy monta välivaihetta tiedostomuotojen konvertoinnissa ja siirtelyssä eri ohjelmistojen kesken.

Kolmannen osapuolen ohjelmistojen käyttö TDC150 maastotallentimessa on mahdollista S­Pace-apuohjelman avulla. Apuohjelman avulla Android-pohjaisissa laitteissa voidaan käyttää laitteen oman GNSS-antennin sijasta Trimblen tarkempaa joko ulkoista tai sisäistä antennia. QField on myös avoimen lähdekoodin sovelluksena täysin ilmainen. Ainoastaan pilvitallennustila on maksullinen. Pilvipalveluun voi tehdä toki myös ilmaistilin, mutta sen ilmainen tallennustila on hyvin rajallinen. Se kuitenkin mahdollistaa sovellukseen tutustumisen ja pienimuotoisen käytön. QField-sovellusta ei ole vielä päästy koekäyttämään yhdessä TDC150 maastotallentimen kanssa maasto-olosuhteissa. Alustavan tarkastelun perusteella kuitenkin vaikuttaa, ettei dokumentointilomakkeiden luontimominto eivätkä ohjelman mittausparametrivaihtoehdot ole lähellekään niin monipuolisia kuin Penmap for Android -sovelluksessa tällä hetkellä.

Jos Penmap for Android -sovelluksesta kehitettäisiin versio, joka pystyisi toimimaan myös verkkoyhteyden ulkopuolella (ymmärrettävästi mittatarkkuuden kustannuksella), laitteen käyttömahdollisuudet parantuisivat oleellisesti. Tämä ei liene kuitenkaan sovelluskehittäjien työlliställä, sillä internetyhteyksiin riippuvuuden tuomat ongelmat tulenevat vähenemään tulevaisuudessa uuden sukupolven PPP-tekniikan yleistymisen ja ennen kaikkea nopeutumisen myötä. PPP on toki tekniikkana ollut jo pitkään käytössä, mutta se on laskentatehovaatimustensa takia ollut hyvin hidas ja staattista mittauksena vaativa menetelmä. Tekniikan kehityksen myötä PPP-mittauksen

yhden pisteen mittausaika luotettavalla tarkkuudella on kuitenkin saatu lyhennettyä jo alle viiteen minuuttiin (Koivuniemi 2022), ja tekniikkaan sovelletaan jo kovaa vauhtia matkapuhelin­teknologiaan (esim. Shingal & Bisnath 2021; Yang et al. 2022), joten teknologia riittävän tarkkaan ja nopeaan PPP-tekniikan soveltamiseen saavutettaneen jo lähitulevaisuudessa. PPP-mittauksessa ei käytetä apuna tukiasemien korjausdataa, vaan vastaanotin laskee kaikki korjaukset satelliiteista saamiensa signaalien avulla. Kaupalliset PPP-satelliittiverkot yltyvät jo Suomenkin alueelle (ks. Koivuniemi 2022), mutta laskennallisesti menetelmä on kuitenkin vielä RTK-mittauksien raskaampi ja vaatii laitteelta suurta laskentatehoa, jotta reaaliaikaisiin mittauksiin päästään (Poutanen 2016: 268–269). PPP-mittaus ei myöskään ole vielä aivan yhtä tarkka menetelmä kuin VRS-mittaus, mutta inventoinnin tarkkuusvaatimuksiin täysin riittävä. Laitteiston puolesta tähän on jo valmiudet, sillä uuden sukupolven Trimble TDC650 -maastotallentimessa on mainittu PPP-tekniikkaan perustuvan RTX (Real Time eXtended) -paikannuksen tuki, joten sillä voidaan saavuttaa jopa 10 senttimetrin paikannustarkkuus XY-tasossa ilman datayhteyttä ja VRS-korjausdataa. Tosin esimerkiksi Trimblen RTX-tukipalvelun kattavuus ei vielä yllä Pohjois-Suomen alueelle (Trimble 2024a), mutta vastaavasti Leica HxGN SmartNet Pro:n PPP-tuki kattaa jo koko Suomen alueen (Koivuniemi 2022).

Bibliografia

- Alakärppä, J., Ikäheimo, J. & Ojanlatva, E. 1998. Oulun Peurasuo 1997 – myöhäiskivikautisen asuinpainanteen kaivaustutkimus. Meteli – Oulun yliopiston arkeologian laboratorion tutkimusraportti 15. Oulu: Oulun yliopisto, arkeologian laboratorio.
- Alakärppä, J. & Ojanlatva, E. 1998. Oulu [48] Peurasuo. Myöhäiskivikautisen asuinpainanteen kaivaus 1998. Tutkimusraportti. Oulu: Oulun yliopisto. https://www.kyppi.fi/palveluikkuna/raportti/read/asp/hae_liite.aspx?id=103421&tyyppi=pdf&kansio_id=564
- Alakärppä, J. & Ojanlatva, E. 1999. Oulu [48] Peurasuo. Myöhäiskivikautisen asuinpaikan kaivaus 1999. Tutkimusraportti. Oulu: Oulun yliopisto. https://www.kyppi.fi/palveluikkuna/raport-ti/read/asp/hae_liite.aspx?id=103413&tyyppi=pdf&kansio_id=564.
- Anttiroiko, N. 2022. LIDARK: Arkeologisten kohteiden automaattinen tunnistaminen laserkeilausdatasta. Hanke-esittely 12.12.2022. Museovirasto, Helsinki. <https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/kulttuuriymparistopalvelut-tehtavaja-yhteistyotutkimus-ja-kehittaminen/lidark> (Luettu 8.2.2024)
- Anttiroiko, N., Groesz, F. J., Ikäheimo, J., Kelloniemmi, A., Nurmi, R., Rostad, S. & Seitsonen, O. 2023. Detecting the archaeological traces of tar production kilns in the northern boreal forests based on airborne laser scanning and deep learning. *Remote Sensing* 15(7): 1799. <https://doi.org/10.3390/rs15071799>
- Crosta, P., Galluzzo, G., Rodriguez, R. L., Otero, X., Zoccarato, P., De Pasquale, G. & Melara, A. 2019. Galileo Hits the Spot: Testing GNSS dual frequency with smartphones. *Inside GNSS, Global Navigation Satellite Systems Engineering, Policy, and Design*. <https://insidegnss.com/galileo-hits-the-spot-testing-gnss-dual-frequency-with-smartphones/> (Luettu 17.1.2024)
- Debenjak, A. 2015. 3D-mallintaminen osana arkeologista arkea? Digitaalisen fotogrammetrian käyttö arkeologisessa dokumentoinnissa ja tutkimuksessa. *Muinaistutkija* 1/2015: 24–34.
- Fitts, W. R. 2005. Precision GPS surveying at medieval Cottam, East Yorkshire, England. *Journal of Field Archaeology* 30(2): 181–190. <https://doi.org/10.1179/009346905791072387>
- Geotrim 2023a. Trimble Penmap. <https://geotrim.fi/tuotteet/ohjelmistot/trimble-penmap/> (Luettu 24.11.2023)
- Hakonen, A. 2017. Shoreline displacement of the Finnish Bothnian Bay coast and the spatial patterns of the coastal archaeological record of 4000 BCE – 500 CE. *Fennoscandia Archaeologica* XXXIV: 5–31.
- Halinen, P. 2019. Kivikausi. G. Haggrén, P. Halinen, M. Lavento, S. Raninen & A. Wessman (toim.) *Muinaisuutemme jäljet. Suomen esi- ja varhaishistoria kivikaudelta keskiajalle*: 19–121. Helsinki: Gaudeamus.
- Halinen, P., Immonen, V., Lavento, M., Mikkola, T., Siiriäinen, A. & Uino P. 2009. *Johdatus arkeologiaan*. Helsinki: Gaudeamus.
- Hill, A. C., Limp, F., Casana, J., Jakoby Laugier, E. & Williamson, M. 2019. A new era in spatial data recording: low-cost GNSS. *Advances in Archaeological Practice* 7(2): 169–177. <https://doi.org/10.1017/aap.2018.50>
- Huoviala, T. 2022. Merkittävä rakennelma meren rannalla. *Kaleva* 10.9.2022. <https://www.kaleva.fi/raahesta-loytyi-valtava-kivikautinen-rakennelma-ku/4916570> (Luettu 8.2.2024)
- Ikäheimo, J. *valmisteilla*. Oulu Peurasuo. Tutkimuskertomus varhaispronssikautisella rannikkoasuinpaikalla 12.–22.6.2023 suorituista arkeologisista kaivauksista (OP-23). Tutkimusraportti, Arkeologian laboratorio, Oulun yliopisto.
- Kapsi 2021. Aineistot. <https://kartat.kapsi.fi/> (Luettu 12.7.2021)
- Koivuniemi, J. 2022. PPP-satelliittikorjauksen hyödyntäminen Maanmittauslaitoksessa. Opinäytetyö, Maanmittaustekniikka. Rovaniemi: Lapin ammattikorkeakoulu.
- Kuusela, J.-M. & Matilainen, J. 2024. Tarkkuusinventointeja Itä-Lapin rautakautisilla kohteilla Savukoskella ja Sallassa: Metallinilmaisimen käyttö kaistainventoinnissa. *Muinaistutkija* 1/2024: 12–26. <https://doi.org/10.61258/mt.140935>.
- Lachlan, L. Ng. 2019. Positioning performance evaluation of dual-frequency GNSS observations from a smartphone. Dept. of Infrastructure Engineering. Research Paper for CVEN90064. https://frontiersi.com.au/wp-content/uploads/2020/06/Ng_2019_positioning_performance_evaluation_dual_frequency_gnss_smartphone.pdf (Luettu 23.1.2024)

- Laurila, P. 2012. *Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet*. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- Limp, W. F. & Barnes, A. 2014. Solving the grid-to-ground problem when using high precision GNSS in archaeological mapping. *Advances in Archaeological Practice* 2(2): 138–143. <https://doi.org/10.7183/2326-3768.2.2.138>
- Maanmittauslaitos 2023. Tuotannon tilannekartta. <https://tilannekartta.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus> (Luettu 2.12.2023)
- Matilainen, J. 2020. Satelliittipaikannus kuluttajalaitteilla. *Lumen* 2: 1–11.
- Nurmi, Risto 2024. "Observations stored": Trimble TDC150 -maastotallentimen soveltuvuus arkeologisissa maastodokumentoinneissa. Opinnäytetyö, Maanmittaustekniikka, Lapin ammattikorkeakoulu. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202401262013>
- Lehto, H. & Uotila, K. 2017. Laserkeilaus dokumentointitapana hautakaivauksilla – Esimerkki Rauman rauniokirkolta vuodelta 2016. *Muinaistutkija* 3/2017: 9–18.
- Ojanlatva, E. & Alakärppä, J., 2002. Interpretation of the Peurasuo house pit in Oulu. H. Ranta (toim.) *Huts and Houses. Stone Age and Early Metal Age Buildings in Finland*: 109–122. Helsinki: Museovirasto.
- Okkonen, J. 2003. *Jättiläisen hautoja ja hirveitä kivi-
röykkiöitä: Pohjanmaan muinaisten kivirakennelmien arkeologiaa*. Oulu: Oulun yliopisto.
- Poutanen, M. 2016. *Satelliittipaikannus*. Helsinki: URSA.
- QField 2024. QField Ecosystem Documentation. <https://docs.qfield.org/> (Luettu 25.4. 2024).
- Retscher, G. & Weigert, T. 2022. Assessment of a dual-frequency multi-GNSS smartphone for surveying applications. *Applied Geomatics* 14: 765–784. <https://doi.org/10.1007/s12518-022-00467-7>
- Seitonen, O. 2018. Lappeenrannan Huhtiniemi ja fotogrammetrinen dokumentointi: Ten Years After. *Muinaistutkija* 1/2018: 55–62.
- Seitonen, O. 2022. Tekoäly arkeologisen suojelun ja tutkimuksen tukena. *Positio* 11.5.2022. <https://positio-lehti.fi/2022/05/tekoaly-arkeologisen-suojelun-ja-tutkimuksen-tukena/> (Luettu 29.12.2023)
- Seitonen, O. & Ikäheimo, J. 2021. Detecting archaeological features with air-borne laser scanning in the Alpine tundra of Sápmi, Northern Finland. *Remote Sensing* 13(8): 1599. <https://doi.org/10.3390/rs13081599>
- Shingal, G. & Bisnath, S. 2021. Conditioning and PPP processing of smartphone GNSS measurements in realistic environments. *Satellite Navigation* 2(10): 1–17. <https://doi.org/10.1186/s43020-021-00042-2>
- Takala, H. 1998. *Arkeologian maastotöiden perusteet*. Helsinki: Helsingin yliopisto.
- Trimble 2019. Trimble TDC150 Handheld datasheet. Westminster: Trimble Inc. <https://www.geometius.nl/wp-content/uploads/2019/04/Brochure-Trimble-TDC150.pdf>
- Trimble 2020. Trimble Penmap Project Manager getting started guide. S.L.: Trimble Inc.
- Trimble 2022. Trimble TDC650 Handheld datasheet. Westminster: Trimble Inc.
- Trimble 2024a. About Trimble CenterPoint RTX. <https://advancedairmobility.trimble.com/centerpoint.html> (Luettu 24.1.2024)
- Trimble 2024b. Trimble Catalyst. <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-catalyst> (Luettu 17.1.2024).
- Vermeer, M. 2019. *Geodesia – Kaiken perusta*. Helsinki: Aalto-yliopisto.
- Vollant, U., Landau, H. & Cheng, X. 2002. Network RTK – Concept and Performance. VOL-LATH, Ulrich; LANDAU, Herbert; CHEN, Xiaoming. Network RTK–concept and performance. *Proceedings of the GNSS Symposium, Wuhan, China, 2002*: 27–30.
- Yang, S., Xu, Y., Xu, T. & Jiang, N. 2022. Analysis on the PPP performance of Android smartphone: a case study of Huawei P40 Pro. C. Yang & J. Xie (toim.) *China Satellite Navigation Conference (CSNC 2022) Proceedings*. CSNC 2022. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 908: 363–373. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2588-7_34
- Yli-Huumo, J., Maglays, A. & Smolander, K. 2015. The benefits and consequences of workarounds in software development projects. J. Fernandes, R. Machado & K. Wnuk (toim.) *Software Business*. ICSOB 2015. Lecture Notes in Business Information Processing, 210: 1–16. Cham: Springer https://doi.org/10.1007/978-3-319-19593-3_1.
- Äikäs, T. 2023. Oulu Oulunsalon Varjakka. Historiallisen ajan sahayhteisön asuinpaikan kartoitus ja koekaivaukset 2018, 2019 ja 2021. Tutkimusraportti, Oulu: Oulun yliopisto, arkeologia.

FT, Insinööri (AMK), Risto Nurmi on toiminut useissa arkeologian alan tehtävissä Pohjois-Suomessa yli 20 vuoden ajan. Viimeksi hän toimi tutkijatohtorina Oulun yliopiston arkeologian oppiaineessa Suomen Akatemian rahoittamassa *Kaivostoiminta ja outo maanlainen maailma: Kulttuuri, kulttuuriperintö ja kaivostoiminnan vaikutukset pohjoisimmassa Euroopassa* -tutkimushankkeessa. nurmi.risto@gmail.com

Loppuviite

- 1 Vuosina 2021–2022 toteutettu LIDARK-hanke oli pilottihanke, jonka tavoitteena oli tarkastella arkeologisten kohteiden automaattista tunnistamista laserkeilausaineistosta ja kehittää automatisoidun tunnistamisen tekniikkaa koetutkimusten avulla. Hakkeen yhteistyötahoina toimivat Blom Kartta Oy, Metsähallitus ja Maanmittauslaitos ja hankkeen rahoittajana toimi maa- ja metsätalousministeriö (Anttiroiko et al. 2022; Museovirasto 2023).