

”OBSERVATION STORED”

Trimble TDC150 -maastotallentimen soveltuvuus arkeologisissa
maastodokumentoinneissa

Oulun Yliopisto/arkeologia

Nurmi Risto

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Risto Nurmi	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	Janne Matilainen		
Toimeksiantaja	Oulun yliopisto/arkeologia		
Työn nimi	"Observations stored" - Trimble TDC150 -maastotalentimen soveltuvuus arkeologisissa maastodokumentoinneissa		
Sivu- ja liitesivumäärä	62 + 0		

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin Trimble TDC150 -maastotalentimen soveltuvuutta arkeologisen kenttädokumentoinnin tarpeisiin. Tavoitteena oli selvittää, onko laite ominaisuuksiltaan käyttökelpoinen arkeologisiin kenttätutkimuksiin mittatarkkuuden ja käytettävyyden osalta sekä tarkastella sitä, tuoko laite kustannustehokkuuteen vaikuttavia merkittäviä etuja arkeologiseen kenttätutkimukseen. Tutkimuksen yhteydessä arvioitiin myös laitteen toimivuutta ja luotettavuutta.

Tarkastelu suoritettiin kolmen käytännön tapaustutkimuksen yhteydessä. Ensimmäisessä tapaustutkimuksessa laitetta sovellettiin arkeologisen maastoinventoinnin paikannus- ja dokumentointitarpeisiin. Toisessa tapaustutkimuksessa laitetta käytettiin yksittäisen muinaisjäännöskohteen ja sen ympäristön dokumentointiin. Kolmannessa tapaustutkimuksessa laiteella dokumentoitiin arkeologisen tasokaivausalueen kaikki mittaukset rinnan takymetrin rinnalla. Dokumentoitujen aineistojen analyysissä tarkasteltiin ja pohdittiin laitteen mittatarkkuutta, maastodokumentoinnin sujuvuutta ja dokumentointiin käytettyä aikaa suhteessa aiemmin arkeologisessa maastodokumentoinnissa käytettyihin dokumentointimenetelmiin.

Tapaustutkimukset osoittivat, että Trimble TDC150 -maastotalentimen on käyttökelpoinen dokumentointilaitte maastoinventointeihin ja yksittäisten muinaisjäännöskohteiden ja niiden ympäristöjen dokumentointiin. Tarkka paikkatietoa vaati- vaan arkeologisten kaivausten dokumentointiin laitetta ei kuitenkaan voi suositella, sillä laitteen teoreettisesta mittatarkkuudesta ei käytännön olosuhteissa todennäköisesti saavuteta. Käyttöominaisuuksiltaan laite ja sen ohjelmisto on käyttökelpoinen ja tehokas lukuun ottamatta laitteen jatkuvaa tietoliikenneryhteyden riippuvuutta ja ohjelmistosovelluksen lievää keskeneräisyyttä.

Avainsanat arkeologia, kartoitus, maastodokumentointi, satelliittipaikannus

Degree Programme in Land
Surveying
Bachelor of engineering

Author	Risto Nurmi	Year	2024
Supervisor	Janne Matilainen		
Commissioned by	University of Oulu/archaeology		
Subject of thesis	"Observation stored" – The applicability of Trimble TDC150 Handheld Data Collector in archaeological field documentation		
Number of pages	62 + 0		

In this thesis, the suitability of the Trimble TDC150 Handheld Data Collector for archaeological field documentation needs was examined. The goal was to determine whether the device is functionally applicable for archaeological field research in terms of precision and usability, and to explore whether it brings significant cost-effective advantages to archaeological field studies. The study also included an assessment of the device's functionality and reliability.

The examination was conducted through three practical case studies. In the first case study, the device was applied to the positioning and documentation needs of archaeological field surveys. In the second case study, the device was used for the documentation of an individual archaeological site and its surroundings. In the third case study, the device was employed to document all measurements of an archaeological excavation area concurrently with a total station. The analysis of the documented data explored and considered the device's precision, the efficiency of field documentation, and the time spent on documentation in relation to previously used archaeological field documentation methods.

The case studies demonstrated that the Trimble TDC150 Handheld Data Collector is a useful documentation tool for field surveys and the documentation of individual archaeological sites and their surroundings. However, for archaeological excavations requiring precise spatial data documentation, the device cannot be recommended, as the theoretical precision of the device is unlikely to be achieved in practical conditions. In terms of features, the device and its software are useful and efficient, except for the device's continuous dependence on data connectivity and the slight incompleteness of the software application.

Key words archaeology, field documentation, field survey, satellite positioning

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	TEORIA, LAITTEISTO JA TUTKIMUSMETODIIKKA	10
2.1	GNSS-paikannus	10
2.2	Arkeologia ja paikkatieto	13
2.3	Dokumentaatiolaitteisto ja -ohjelmistot	18
2.3.1	Trimble TDC150	18
2.3.2	Penmap for Android	20
2.3.3	Käyttöönotto koetutkimuksia varten	22
2.4	Tutkimusmetodiikka ja kysymyksenasettelu	24
3	TAPAUSTUTKIMUKSET	26
3.1	LIDARK-maastoverifiointit	26
3.1.1	Hankkeen kuvaus	26
3.1.2	Tutkimusalue ja maastomittaustöiden valmistelut	27
3.1.3	Maastotyöt	29
3.1.4	Tulokset ja pohdinta	31
3.2	Raahen Ojastenojan jätinkirkon arkeologinen tarkastus	37
3.2.1	Kohteen kuvaus ja tausta	37
3.2.2	Tutkimusalue ja maastomittaustöiden valmistelut	38
3.2.3	Maastotyöt	39
3.2.4	Tulokset ja pohdinta	41
3.3	Oulun Peurasuon tasokaivausalueen dokumentointi	44
3.3.1	Koetutkimuksen tavoitteet	44
3.3.2	Tutkimusalueen kuvaus ja tutkimushistoria	45
3.3.3	Maastomittaustöiden valmistelut	47
3.3.4	Maastotyöt	48
3.3.5	Mittaustulosten analyysi	49
3.3.6	Tulokset ja pohdinta	53
4	YHTEENVETO	56
	LÄHTEET	59

ALKUSANAT

Kiitokset Museoviraston ja Oulun yliopiston LIDARK-hankkeessa mukana olleille henkilöille, sekä Oulun yliopiston arkeologian oppiaineelle. Erityisesti lehtori Janne Ikäheimolle, jonka alkuperäinen idea tämä opinnäytetyö oli, ja joka oli aktiivisesti mukana työn toteuttamisessa koko prosessin ajan. Lisäksi haluan kiittää Thomas Schuckeria Trimble Germany GmbH:lta hänen avustaan Penmap for Android -sovelluksen kanssa.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

CSV	Pilkuin erotetut arvot (Comma Separated Values), tiedostoformaatti, jossa arvot on erotettu toisistaan pilkulla, puolipisteellä tai rivinvaihdolla.
GNSS	(Global Navigation Satellite System), maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
ICT	Tieto- ja viestintäteknikka (Information and Communication Technology).
IRNSS	(Indian Regional Navigational Satellite System) Intian avaruustutkimuskeskuksen kehittämä ja ylläpitämä alueellinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
LIDARK	Arkeologisten kohteiden automaattinen tunnistaminen laserkeilausdatasta. Museoviraston ja Oulun yliopiston konsortiohanke vuosina 2021-2022.
NAVSTAR GPS	(NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System) Yhdysvaltain sotilashallinnon kehittämä ja hallinnoima satelliittipaikannusjärjestelmä.
MML	Maanmittauslaitos
PPP	(Precise Point Positioning). GNSS-teknologiaan perustuva yhden vastaanottimen tarkka paikannusmenetelmä
RTK	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus (Real Time Kinematic), GNSS -mittausjärjestelmä, joka hyödyntää kiinteitä tukiasemia mittaustarkkuuden parantamiseen.
RTX	(Real Time eXtended) on precise point positioning (PPP) -tekniikkaan perustuva absoluuttisen paikannuksen korjauspalvelu, joka mahdollistaa senttitarkan paikannuksen ilman tietoliikenneyhteyttä.
VRS	(Virtual Reference Station), Verkko-RTK -mittaus, missä järjestelmä käyttää useita tukiasemia ja laskee käyttäjälle oman virtuaalitukiaseman käyttöpaikan läheisyyteen.
WMS	(Web Map Service), rajapinta paikkatiedon muodostaman kartan lataamiseen kuvina tietoverkon yli.

DEM	Korkeusmalli (Digital Elevation Model) on maanpinnan muotojen numeerinen esitys, joka sisältää pinnanmuotoja kuvaavan korkeuspisteiden joukon (Maanmittauslaitos 2024a).
QZSS	(Quasi-Zenith Satellite System) Japanin avaruusjärjestön kehittämä ja ylläpitämä Tyynenmeren alueellinen satelliittipaikannusjärjestelmä.

1 JOHDANTO

Mittaamisella on ollut keskeinen merkitys arkeologisessa kenttädokumentaati-
ossa läpi koko tieteenalan historian. Perinteisesti arkeologinen tutkimus on hyö-
dyntänyt tekniikan alojen kehittämiä tutkimus- ja havainnointimetoja ja -laitteis-
toja omista tutkimusmetodeistaan. Viimeisen 10–15 vuoden aikana alalla on
enenevästi otettu käyttöön moderneja elektronisia mittaustekniikoita ja -sovelluk-
sia. Uusien menetelmien omaksuminen on parantanut mittaamisen laatua, mutta
ennen kaikkea uudet menetelmät ovat nopeuttaneet dokumentaatioprosessia,
mikä on arkeologisessa kenttätutkimuksessa erittäin tervetullutta. Arkeologinen
kenttätutkimus, etenkin kaivaustutkimus, on dokumentaation tarkkuusvaatimus-
ten takia ollut perinteisesti hyvin aikaa vievää ja työvoimaresursseja kuluttavaa
työtä.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Trimble TDC150 -maastotallentimen sovel-
tuvuutta arkeologisessa kenttädokumentaatiossa. Tavoitteena on selvittää, onko
laite ominaisuuksiltaan käyttökelpoinen arkeologisiin kenttätutkimuksiin mitta-
tarkkuuden ja käytettävyyden osalta sekä tarkastella sitä, tuoko laite kustannus-
tehokkuuteen vaikuttavia merkittäviä etuja arkeologiseen kenttätutkimukseen.
tutkimuksen yhteydessä arvioidaan myös laitteen toimivuutta ja luotettavuutta.

Arkeologiset kenttätutkimukset voidaan jakaa karkeasti kolmeen pääryhmään: in-
ventointeihin, prospektointeihin ja kaivaustutkimuksiin. Näissä kaikissa tarvitaan
mittaus- ja paikannustekniikkaa. Arkeologisessa inventoinnissa selvitetään jonkin
valitun teeman tai kysymyksen asettelun perusteella tietyn määritetyn alueen ar-
keologiset kohteet. Inventoinnin maastotarkastukset voivat rajautua yhdelle koh-
teelle tai ne voivat ulottua hyvinkin laajalle maantieteelliselle alueelle. Prospek-
toinnissa on kyse arkeologisen kohteen paikallistamisesta ja todentamisesta.
Prospektoinnin yhteydessä voidaan tehdä maata rikkovia koetutkimuksia, mutta
periaatteena on, ettei säilyneisiin kulttuurikerroksiin kajota. Kaivaustutkimuksissa
tutkimuksen alainen kohde kaivetaan ja dokumentoidaan valituilta osin kokonaan
auki ja käytännössä kohde tai sen tutkittu osa tuhoutuu pysyvästi (Halinen et al.
2009, 185–225). Tarkka mittaus- ja paikkatieto ovat ensiarvoisen tärkeitä etenkin

tuhoavassa kaivaustutkimuksessa, mutta laajemmassa mittakaavassa myös arkeologisten kohteiden paikannuksen tarkkuudella on merkitystä esimerkiksi muinaisjäännöskohteiden suojelun näkökulmasta.

Tässä opinnäytetyössä Trimble TDC150 -maastotallentimen soveltuvuutta tarkastellaan kolmen tapaustutkimuksen avulla, joista kukin vastaa yhtä edellä mainituista kolmesta arkeologisten kenttätutkimusten pääluokasta. Tapaustutkimus 1:ssä testataan laitteen soveltuvuutta arkeologisen inventoinnin tiedonkeruussa, tapaustutkimuksessa 2 laitetta käytetään prospektointiin liittyvässä uuden kohteen kohdeinventoinnissa ja tapaustutkimuksessa 3 laitetta mitataan tasokaivaustutkimusten mittausdokumentaatio rinnan takymetrin kanssa.

Opinnäytetyön tapaustutkimukset toteutettiin osana Museoviraston ja Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen yhteistyössä toteuttamaa LIDARK-hanketta sekä Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen opetusta. 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 yhteistyöhöinä toimivat Blom Kartta Oy, Metsähallitus ja Maanmittauslaitos (jatkossa MML) ja hankkeen rahoittajana toimi maa- ja metsätalousministeriö (Museovirasto 2023a).

2 TEORIA, LAITTEISTO JA TUTKIMUSMETODIIKKA

2.1 GNSS-paikannus

Satelliittipaikantamisen juuret ulottuvat kauas historiaan. Ennen keinotekoisien satelliittien kehittämistä ja laukaisemista kiertoradoilleen, ainoa tapa globaaliin paikantamiseen oli käyttää tähtitieteen metodeja (Laurila 2012, 279–280). 1960-luvulta alkaen kehitettyjä satelliitteja on hyödynnetty alusta alkaen globaaliin paikantamiseen. Aluksi sotilaskäytössä, mutta hyvin pian järjestelmiä avattiin myös siviilikäyttöön. Nykyisen GNSS (Global Navigation Satellite System) -paikannusjärjestelmä perustuu Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämään ja hallinnoimaan NAVSTAR GPS -järjestelmään, joka kehitettiin 1980-luvulla ja oli ensimmäinen todellinen globaali satelliittipaikannusjärjestelmä (Poutanen 2016, 11; Vermeer 2019, 277–278). Sittemmin GPS on saanut rinnalleen useita muita muiden maiden hallinnoimia satelliittipaikannusjärjestelmiä, joista merkittävimpiä ovat venäläinen GLONASS, yhteiseurooppalainen Galileo ja kiinalainen BeiDou. Nämä kaikki tarjoavat globaalin kattavuuden. Edellä mainittujen järjestelmien lisäksi on käytössä myös vain paikallisesti kattavia järjestelmiä, kuten japanilainen QZSS ja intialainen IRNSS. Osa satelliiteista on maata radallaan kiertäviä ja osa maan suhteen paikoillaan pysyviä. Yhdessä nämä eri järjestelmät muodostavat yhteensopivan GNSS-järjestelmän, eli satelliittipaikannuslaitteet ovat yhteen souvia kaikkien järjestelmään kuuluvien satelliittien kanssa (Poutanen 2016, 11; NovAtel 2015, 5). Eri satelliittijärjestelmien käyttämät koordinaattijärjestelmät ovat nykyään myös toisiinsa yhteensopivia vähintään senttimetritasolla (Poutanen 2016, 38–47).

GNSS:n toimintaperiaate perustuu maata kiertävien satelliittien ja vastaanottimen välisen etäisyyden avulla tehtävään kolmiomittaukseen (Leppäniemi 2020, 3; laskeperiaatteista tarkemmin, katso esim. Vermeer 2019, 277–358). Paikanmääritys onnistuu karkeasti kolmen satelliitin avulla, mutta mitä useampia satelliittia paikanmäärityksessä hyödynnetään, sen tarkemmin paikantimen sijainti pystytään todellisuudessa määrittämään (Laurila 2012, 291). GNSS järjestelmän toiminta kolmeen pääsegmenttiin: avaruussegmenttiin, hallinnointisegmenttiin ja käyttäjäsegmenttiin. Avaruussegmentti koostuu avaruudessa maata 19–36 tuhannen kilometrin korkeudessa kiertäviin satelliitteihin, jotka lähettävät maahan

tunnistus-, aika- ja paikkatietoa itsestään radiosignaalina. Hallinnointisegmentti koostuu maassa sijaitsevaan valvonta-asemien kontrolliverkosta. Valvonta-asemilta kontrolloidaan ja säädetään satelliittien liikerataa ja signaalin parametrien tarkkuutta. Käyttäjäsegmentti muodostuu laitteista, jotka vastaanottavat satelliittien signaaleja ja prosessoivat niiden avulla laitteen sijainnin (NovAtel 2015, 5–6; Poutanen 2016, 18).

Vaikka kantoaaltomittauksella päästään teoriassa jopa millimetritarkkuuteen, järjestelmän toimintavarmuuden ja yksinkertaisuusvaatimusten takia GNSS -järjestelmissä käytetään yleisesti laskentaprosessiltaan yksinkertaisempaa absoluuttista mittaussuoritusmenetelmää, joka perustuu satelliittien signaalien koodilaskentaan. Tällöin GNSS mittauksen paikannustarkkuus on suotuisissa olosuhteissa noin 4–6 metrin¹ luokkaa, mikä GPS järjestelmää kehitettäessä katsottiin järjestelmän tarpeisiin riittäväksi ja luotettavaksi tarkkuudeksi (Laurila 2012, 291–293; Poutanen 2016, 14–15, 26). Satelliittipaikannuksen tarkkuuteen vaikuttaa useita heikentäviä tekijöitä. Maapallon ja satelliittien jatkuva liike mittauksen aikana aiheuttaa kellovirhettä, satelliittien aseman määrittäytarkkuus on rajallinen, ilmakehän senhetkinen tila vaikuttaa signaalin nopeuteen, Satelliittien asema taivaalla voi olla epäedullinen, vastaanottopisteen ympäristö voi aiheuttaa heijastumia ja vastaanottimen ohjelmisto tai käyttäjä voi toimia virheellisesti (Laurila 2012, 305–306). Satelliittipaikannuksella on kuitenkin mahdollista päästä tarvittaessa myös huomattavasti tarkempiin paikannustarkkuuksiin. Parempiin paikannustarkkuuksiin päästään, kun käytetään satelliittipaikannuksen apuna tunnetuilla pisteillä sijaitsevien maantieteellisten sijaintien sijaintia (*differential GNSS* mittaus), jolloin tarkkuus paranee jo alle puolen metrin tarkkuuteen. Tämä niin sanottu korjausdata lähetetään internetverkon kautta laitteelle (Matilainen 2020, 3).

Vielä tarkempaan paikannustarkkuuteen päästään, kun paikantamisessa käytetään korjausdatan lisäksi satelliitin signaalin kooditiedon sijasta kantoaaltomittaukseen eli vaihehavaintoihin perustuvaa laskentaa (Poutanen 2016, 262; Mati-

¹ Laurilan (2012, 293) mukaan paikannustarkkuus tällä menetelmällä olisi vain noin alle 10 metrin luokka.

lainen 2020, 3). Kantoaaltoon perustuva mittaus on laskentateknisesti paljon monimutkaisempaa, ja laskentatehovaatimus on huomattavasti korkeampi. Siksi vaihevaintoihin perustuva reaaliaikainen laskenta on alkanut yleistyä paikannuslaitteissa vasta viimeisen parin vuosikymmenen aikana, kun laitteiden laskentateho on kasvanut riittäväksi (Laurila 2012, 301–302; Poutanen 2016, 14–15). Tällä hetkellä yleisimmin käytössä olevat tarkat satelliittipaikannustekniikat ovat RTK-mittaus ja siitä edelleen kehitetty VRS-mittaus (Matilainen 2020, 3).

Reaaliaikaisessa kinemaattisessa mittauksessa (RTK, *Real Time Kinematic*) paikkatieto lasketaan satelliittien kantoaaltolaskennan ja tarkkaan tunnetulla pisteellä sijaitsevan tukiaseman vaiheaaltoa määrittämisen korjausdata avulla reaaliajassa. Tukiasema siis pyrkii korjaamaan edellä mainittujen virhelähteiden kullakin hetkellä aiheuttamat systemaattiset virheet. Tukiaseman ja vastaanottimen välillä tulee olla reaaliaikainen tiedonsiirtoyhteys, joka voidaan toteuttaa joko radiomodeemilla, matkapuhelinverkolla tai nykyään yhä useammin internetyhteyden avulla (Laurila 2012, 319; NovAtel 2015, 54; Poutanen 2016, 262–263). RTK-mittaus on tarkka. Sillä voidaan päästä ammattilaitteilla jopa yhden senttimetrin tarkkuuteen XY-tasossa (Matilainen 2020, 3), mutta järjestelmän kantamalla on rajansa. Mittauksen tarkkuus heikkenee, sitä mukaa, kun tukiaseman ja liikkuvan vastaanottimen etäisyys kasvaa (Poutanen 2016, 263). Käytännössä tukiaseman ja vastaanottimen etäisyys ei saisi ylittää 20 kilometriä² (Laurila 2012, 319).

VRS-mittaus (Virtual Reference Station system, tai verkko-RTK) ratkaisee RTK-mittauksen keskeisimmän ongelman riippuvuudesta tarkkaan mitattujen kiinteiden tukiasemien sijainnista ja mahdollistaa reaaliaikaisen kinemaattisen mittauksen missä vain internetverkon kattavalla alueella. VRS-järjestelmässä algoritmi laskee olemassa olevien kiinteiden tukiasemien verkoston avulla jokaisen vastaanottimen läheisyyteen virtuaalisen tukiaseman. Näin ollen todellisten kiinteiden tukiasemien keskinäinen etäisyys voi olla niin suuri, että voidaan kustannustehokkaasti rakentaa hyvin laajoja alueita kattavia VRS-verkostoja (Laurila 2012, 321–322; Poutanen 2016, 264–266). VRS-mittaus edellyttää vastaanottimen ja

² Poutasen (2016, 263) mukaan tukiaseman ja laitteen etäisyys tulisi olla alle 10, maksimissaan 15, kilometriä.

tukiasemien laskentakeskuksen välillä nopeaa ja toimivaa tiedonsiirtoyhteyttä, sillä tiedonsiirtoyhteyden viive vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen (Poutanen 2016, 266). VRS- tukiasemaverkkoa ja laskentakeskuksia ylläpitävät yleensä kaupalliset toimijat. Suomessa on tällä hetkellä saatavilla kolme maan kattavaa VRS-tukiasemaverkkojärjestelmää, Geotrimin ylläpitämä Trimblen Trimnet-verkko (Geotrim 2023a), Hexagonin ylläpitämä Leican Smartnet-verkko (Hexagon 2023) sekä MML:n ylläpitämä FINPOS-paikannuspalvelu, joka on tällä hetkellä saatavana veloituksetta rajoitetusti tutkimuskäyttöön (Maanmittauslaitos 2023a) tai maksullisena palveluna Karera Oy:n kautta (Karera 2024).

2.2 Arkeologia ja paikkatieto

Paikkatiedolla on ollut keskeinen rooli arkeologisessa kenttätutkimuksessa ja aineiston tulkinnessa jo tieteenalan varhaisista vaiheista lähtien. Arkeologisissa kenttätutkimuksissa tehdyt havainnot pyritään mittaamaan mahdollisimman tarkasti paikoilleen. Tämä on keskeistä erityisesti kaivaustutkimuksissa, sillä arkeologinen kaivaustutkimus on luonteeltaan tuhoava metodi. Kaivetut säilyneet kulttuurikerrokset tuhoutuvat lopullisesti sitä mukaa, kun ne poistetaan kontekstista kaivausten edetessä (Takala 1998; Halinen et al. 2009, 206). Siksi on ensiarvoisen tärkeää, että tutkittavien kohteiden ilmiöt dokumentoidaan sillä tarkkuudella, että ne voidaan dokumentaatioaineiston avulla rekonstruoida jälkikäteen aineiston tutkimuksessa.

Arkeologisessa kenttätutkimuksessa on perinteisesti hyödynnetty maanmittaus- tekniikan mittaus- ja dokumentaatiomenetelmiä ja niitä on sovellettu käyttöön sitä mukaa, kun uusia metodeja ja laitteistoja on tullut saataville, tosin yleensä hienoisella viiveellä verrattuna maanmittaus- ja rakennusalojen kehitykseen. Digitaalitekniikka otettiin Suomen arkeologiassa laajemmin käyttöön 1990-luvulla takymetriä yleistyksen myötä. Alan varsinainen digitalisoituminen on kuitenkin tapahtunut vasta viimeisen 15 vuoden aikana. Tänä päivänä takymetrit, satelliittivastaanottimet, laserkeilaus sekä erilaisten paikkatieto-ohjelmistojen hyödyntäminen on arkeologisen kenttätutkimuksen peruskalustoa. (Takala 1998, 43; Halinen et al. 2009; Isotalo 2016; Kuusela & Matilainen [painossa])

Uusien paikkatiedon käsittelyyn tarkoitettujen laitteiden ja menetelmien käyttöönoton keskeisin merkitys arkeologisessa kenttätutkimuksessa on ollut niiden dokumentointiprosessia nopeuttava vaikutus. Arkeologinen kenttätutkimus, etenkin kaivaustutkimus, on luonteeltaan hyvin hidasta ja työvoimaresursseja vaativaa käsityötä. Lisäksi maamme Pohjoisissa luonnonolosuhteissa maastotutkimusta voidaan pääasiassa tehdä vain sulan maan aikana, mikä etenkin Pohjois-Suomen osalta on vain noin kuuden kuukauden mittainen ajanjakso.

Modernien paikkatieto-ohjelmistojen, -laitteistojen ja -metodien käyttöönotto on kenttätutkimusprosessin nopeutumisen lisäksi myös nähty dokumentaation tarkkuutta parantavana uudistuksena. Tässä on todennäköisesti ajatuksena, että laitteistoja soveltamalla voidaan minimoida inhimillisen tekijän vaikutusta lopputulokseen. Uusien modernien teknologioiden kaikkivoipainen laadullinen paremmuus perinteisiin menetelmiin verrattuna on kuitenkin syytä kyseenalaistaa. Esimerkiksi GNSS-teknologiaan liittyy edelleen keskivirheen käsite, jonka tarkkuutta on tekniikan kehittymisen myötä sittemmin pystytty parantamaan huomattavasti teknologian alkuajoilta 1980-luvulta tähän päivään. Kuten aiemmin mainittiin, GNSS-paikannuksen virhemarginaali on ilman korjausdataa mitattuna edelleen useita metrejä, mutta RTK-tekniikalla päästään parhaimmillaan jopa muutaman millin tarkkuuteen (Poutanen 2016, 263).

Paikkatietodatan virheet ovat yleisiä muun muassa Museoviraston ylläpitämässä Suomen muinaisjäänösrekisterissä (Museovirasto 2023b). Muinaisjäänösrekisteri sisältää kaikki Suomen alueelta tunnetut suojellut kiinteät muinaisjäänös-kohteet ja löytöpaikat. Rekisteristä löytyy kunkin kohteen metatiedot, paikkatieto ja kohteen kuvaus, sekä linkit mahdollisiin lisäaineistoihin. Virheelliset paikkatiedot johtuvat kahdesta keskeisestä syystä. Muinaisjäänösrekisteriä on ylläpidetty yhtäjaksoisesti 1800-luvun lopulta lähtien ja etenkin vanhempien kohteiden paikkatiedot ovat olleet hyvin ylimalkaisia. Rekisterin tiedot siirrettiin paperisista arkistoista sähköiseen järjestelmään vuonna 2010 ja samalla kohteiden koordinaatitiedot muutettiin EUREF-TM35FIN koordinaatistoon (Maanmittauslaitos 2024b). Koordinaatistomuunnoksessa on tapahtunut todennäköisesti runsaasti inhimillisiä virheitä tai virheet ovat voineet syntyä jo dokumentointivaiheessa, kun kohteen sijainti on määritetty kartalta. Rekisterissä on tällä hetkellä yli 50000 koh-

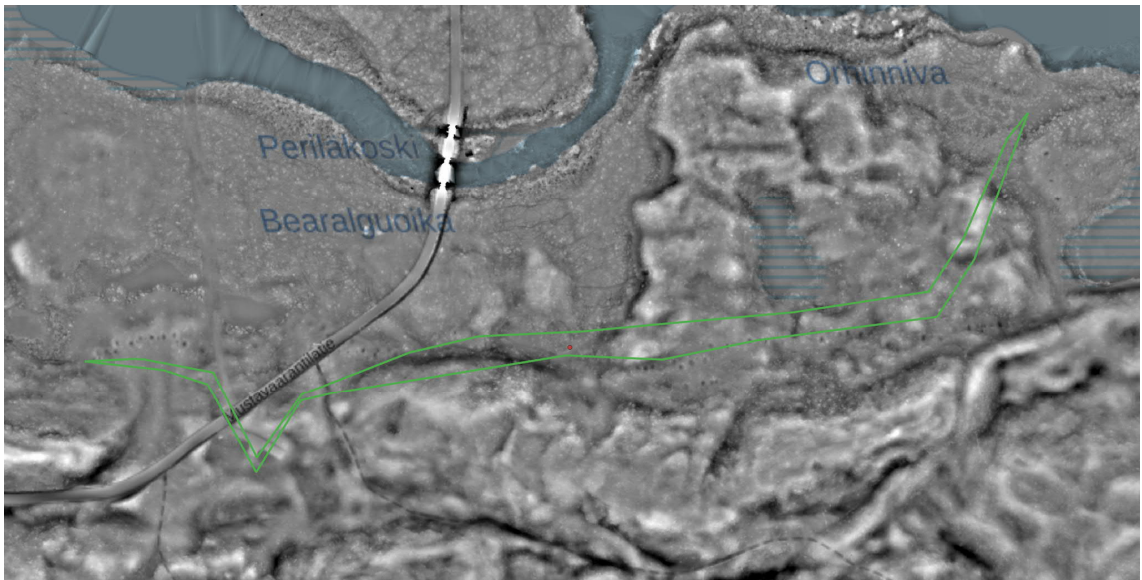
detta, joten on ymmärrettävää, ettei kohteita ole muutoksen yhteydessä maastoverifioitu. Virheellisiä paikkatietoja tulee yleensä ilmi, kun kohteelle tai sen läheisyyteen suunnitellaan maankäyttöä ja kohde tämän takia tarkastetaan.

Siirto- ja koordinaattimuutosvirheet koskevat pääasiassa vanhoja, ennen GNSS paikannusteknologian käyttöönottoa rekisteröityjä kohteita. Toinen yleinen ja toistuva paikkatietovirhe rekisterissä on GNSS-paikannuksen tarkkuuden keskivirheestä johtuva virheellinen paikkatieto. Maastoinventoinneissa kohteiden GNSS-paikkatiedot on yleensä paikannettu kannettavalla GNSS-paikantimella tai etenkin viime aikoina matkapuhelimen paikantimella. Tämän paikannus käyttää korjaamatonta GNSS dataa, ja sen keskivirhe on siten useita metrejä, jopa yli 10 metriä (Laurila 2012, 315; Poutanen 2016, 255–256). Virheellisen paikannuksen todennäköisyyttä nostaa se, että Suomessa arkeologiset muinaisjäänköhteet sijaitsevat hyvin usein peitteisessä maastossa, usein metsän siimeksessä.

Alle 10 metrin virhe muinaisjäänköhteiden paikannuksessa ei periaatteessa ole kovin merkittävä kohteiden suojelun kannalta. Muinaisjäänköksille määritetään muinaismuistolain 4 § (Muinaismuistolaki 295/1963 4 §) mukaisesti tapauskohtaisesti riittäväksi katsottava suoja-alue kohteiden säilyttämiseksi. Lisäksi kaikki maankäyttötoimenpiteet, joiden vaikutusalue ulottuu alle 200 metrin päähän muinaisjäänköhteestä tai sen määritetystä suoja-alueesta, tulee ilmoittaa museoviranomaiselle etukäteen lausuntoa ja mahdollista tarkastusta varten (Museovirasto 2023c). Samaa 200 metrin vähimmäisetäisyyttä suositellaan myös yleisesti suojaetäisyytenä muinaisjäänköksiin esimerkiksi metallinilmaisinharrastajille (Maaranen 2020, 22). Kuitenkin muinaismuistolain mukaan, jos muinaisjäänkökselle ei ole määritetty vahvistettua suoja-aluetta, on suoja-alueen lakisääteinen leveys vain kaksi metriä muinaisjäänköksen näkyvissä olevista ulkoreunoista (Muinaismuistolaki 295/163 5 §), mikä käytännössä jättää monet muinaismuistokokonaisuudet tuhoutumisuhan alle.³

³ Muinaismuistolaki on tällä hetkellä uudistettavana ja lakiehdotus on paraikaa lausuntokierroksella (Valtioneuvosto 2023). Lakiuudistuksessa ehdotetaan muutoksia myös muinaisjäänkösten suoja-alueisiin ja niiden määrittämisperusteisiin. Suoja-aluekäytännöt saattavat siis lakimuutoksen myötä muuttua lähivuosina.

Usein tulee kuitenkin vastaan tilanteita, joissa voimakasta maankäyttöä suunnitellaan hyvin lähelle Muinaisjäännösrekisteriin merkittyä muinaisjäännösaluetta. Koska monille kohteille määritellään maankäyttöluvituksessa vain 5 metrin suojavaoikeus (Skantsi 2023), ollaan jo korjaamattoman GNSS-paikannustiedon virhemarginaalin sisällä, joten teoriassa muinaisjäännöskohteen säilyminen on uhattuna, mikäli paikkatiedossa on merkittävä virhe. Etenkin, jos toimitaan vain edellä mainitun lakisääteisen kahden metrin suojaetäisyyden mukaan. Peitteisen maaston lisäksi myös maanpinnan muodot aiheuttavat korjaamattomaan GNSS-paikkatietoon systemaattista virhettä. Esimerkiksi jyrkkäpiirteinen huomattavasti kohoava rinne voi aiheuttaa hyvinkin merkittävän virheen korjaamattomalle GNSS-paikannukselle (Kuvio 1).



Kuvio 1. MML:n 5P lidar -aineistosta luotu visualisointi Enontekiön Perilänkangas [47010072] pyyntikuoppakohteesta. Vihreällä rajattu alue esittää muinaisjäännösrekisteriin merkittyä muinaisjäännösaluetta. Visualisoinnissa erottuva tummista pisteistä muodostuva jono kuvantaa itse muinaisjäännöskohdetta (pyyntikuoppaketju) maastossa. Visualisoinnista havaitaan, että suurin osa muinaisjäännöksistä sijoittuu todellisuudessa määritetyn muinaisjäännösalueen ulkopuolelle. Todennäköisin syy merkittävälle paikannusvirheelle on alueen etelälaidalla kohoava jyrkkä rinnemuodostuma, joka on muodostanut peitteen GNSS-signaalille (Kuva: Janne Ikäheimo).

Tässä tutkielmassa on tavoitteena tarkastella kannettavan maastotallentimen (Trimble TDC150) soveltuvuutta arkeologiseen kenttädokumentaatioon. Tarkoituksena on kolmen erityyppisen tapaustutkimuksen avulla selvittää laitteen yleistä soveltuvuutta kenttädokumentaatioon sekä selvittää voidaanko laitteen avulla tuottaa riittävän tarkkaa paikkatietoaineistoa arkeologisen tutkimuksen tarpeisiin. Trimble TDC150 -maastotallentimessa voidaan käyttää VRS-RTK virtuaalitusasemaverkkoa, jolloin laitteen teoreettiseksi paikannustarkkuudeksi luetaan alle 20 mm (Geotrim 2023b). Laitteen valmistaja lupaa laitteen RTK paikannustarkkuudeksi x–y tasossa jopa alle 10 mm (Trimble 2019a).

Arkeologisessa maastoinventointitehtävissä kohteen paikkatiedon tärkein kriteeri on kohteen löydettävyyden annettun paikkatiedon perusteella. Tällöin käytännössä suurimmassa osassa tapauksista riittää, että paikkatieto ohjaa kohteelle muutamien metrin tarkkuudella. Tähän tarkkuuteen riittää käytännössä kuluttajalaitteiden käyttämä avoin korjaamaton GNSS-paikannus. Riittäväksi kohteen dokumentoinnin paikannustarkkuudeksi voidaan kuitenkin ajatella vähintään noin 1-2 metrin tarkkuutta. Tällöin maastossa havaitut muinaisjäännökset saadaan paikannettua siten, että ne rajautuvat varmasti pienimpienkin määritettävien suoja-alueiden sisään.

Tutkimusdokumentoinnissa mitattavien elementtien paikannustarkkuuden tulee kuitenkin olla huomattavasti tarkempaa. Paikkatiedon tarkkuuden tarve on riippuvainen asetetuista tutkimuskysymyksistä ja tavoitteista. Laajan tutkimusalueen levintäkartoituksessa muutamien senttimetrien, jopa kymmenien senttimetrien, keskivirhe ei vielä merkittävästi vaikuta tulkintaan ja tutkimustulosten luotettavuuteen. Kaivaustutkimuksissa kuitenkin vaaditaan jo hyvin tarkkaa paikkatietoa. Stratigrafisessa kaivaustutkimuksessa, missä löytöaineistoa käsitellään visuaalisesti määritettyjen kerrosyksiköiden tasolla, yksittäisen mitattavan kohteen millitarkalla sijainnilla ei ole dokumentoinnin laatuun merkittävää vaikutusta, mutta tasokaivaustutkimuksessa, missä aineiston tulkinta perustuu oleellisesti havaittujen ilmiöiden ja löytöjen keskinäiseen suhteeseen, vaaditaan jo erittäin tarkkaa paikannustarkkuutta.

2.3 Dokumentaatiolaitteisto ja -ohjelmistot

2.3.1 Trimble TDC150

VRS-RTK -paikannusta on käytetty arkeologisessa GNSS-paikannuksessa jo pitkään etenkin tutkimusalueiden kiintopisteiden määrittämiseen. Esimerkiksi Trimblen R-sarjan GNSS-vastaanottimet ovat olleet suosittuja. GNSS-vastaanottimilla suoritettuja paikannuspalveluja on myös voitu tilata kolmansilta osapuolilta, kuten esimerkiksi kuntien liikelaitoksilta (esim. Tanska 2011). Perinteisen GNSS-vastaanottimen haittapuolena etenkin maastoinventoinneissa on ollut laitteen suurehko koko. Yli kahden metrin mittaisen raskaan ja hyvin yläpainoisen laitteen kuljettaminen pitkiä matkoja usein hyvinkin peitteisessä ja vaikeasti kuljettavassa maastossa ei ole ollut mielekästä.



Kuvio 2. Trimble TDC150 Handheld -maastotallennin (Trimble 2019b).

Vuonna 2019 Trimble lanseerasi markkinoille uuden kompaktin GNSS-kämmen-tietokoneen Trimble TDC150:n (Kuvio 2). Käytännössä kyseessä on Android-käyttöjärjestelmää käyttävän älypuhelimien ja tavanomaista puhelinta suorituskykyisemmän GNSS-vastaanottimen yhdistelmä pakattuna yhtenäiseen IP67-luokiteltuun pölyn-, veden- ja iskunkestävään kuoreen. Laitteen mitat ovat 29,5 x 12 x 4,5 cm ja se painaa ilman jalkaa 850 grammaa. Kyseessä on siis esimerkiksi R-sarjan GNSS-vastaanottiin verrattuna huomattavan kompakti laite. Laitteessa on vaihdettava 6400 mAh li-Ion akku, jolla laitteelle luvataan 8 tunnin käyttöaika GNSS päälle kytkettynä 20° lämpötilassa. Laitteen valmistajan antama käyttölämpötila-alue on -20° – +60° (Trimble 2019a).

Laitteen käyttöliittymänä toimii 5,3 tuuman kapasitiivinen kosketusnäyttö. Lisäksi laitteen sivussa on kaksi fyysistä näppäintä, joihin käyttäjä voi valita toimintoja annetusta valikosta⁴ (Trimble 2019b). Laitteen lisävarustevalikoimaan kuuluu hiihlikuituinen säädettävä monopole-jalka (Kuvio 3) ja sen kiinnitysadapteri, kämmenhihna sekä micro-usb johto ja laturi. Ulkoisen akkulaturin puute onkin heti ensimmäinen valitettava käytännön puute laitteen varustevalikoimassa. Laitteen akut eivät ole yhteensopivia Trimblen yleislatausasemien kanssa, joten vaikka laitteeseen saa vara-akkuja, on akut aina ladattava laitteeseen kiinnitettynä micro-usb-liittimen kautta. Akun latausaika on myös hyvin pitkä – valmistaja ilmoittaa latausajaksi neljä tuntia. Käytännössä siis vara-akkua ei voi ladata samaan aikaan, kun laite on käytössä.

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

⁴ Valmistaja puhuu ”ohjelmoitavista näppäimistä”, mutta käytännössä näppäimiin voi valita toimintoja hyvin rajatusta valmiista valikosta.

13 MP takakameraa käytetään myös laitteen monopole-jalan kalibroimiseen (Timble 2019b).



Kuvio 3. Hiilikuituinen monopole-jalka asennettuna TDC150 maastotallentimeen.

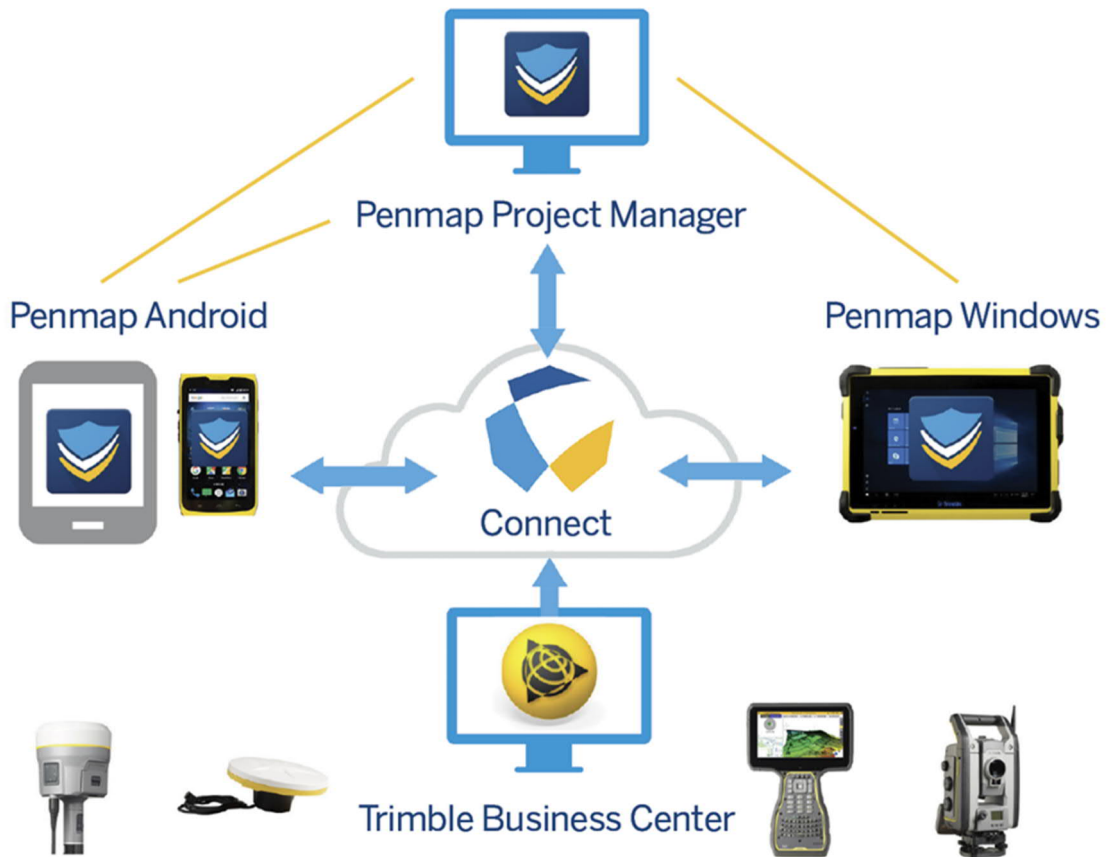
2.3.2 Penmap for Android

Mittausohjelmistona laitteessa voidaan käyttää Android-alustalle perustuvia sovelluksia. Trimble tarjoaa itse joko TerraFlex tai Penmap sovelluksia. Tässä koe-tutkimuksessa laitteessa käytetään Trimble Penmap for Android -ohjelmaa. Penmap for Android on pilvipohjainen sovellus maastomittamiseen ja paikkatiedon keruuseen Android-laitteilla (Geotrim 2023c). 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 VRS-korjausdata.

Penmap on kokonaisuutena kolmesta pääosasta koostuva paikkatietoinfrastruktuuri. Infrastruktuurin pääosat ovat laitteella käytettävä Penmap for Android käyttöliittymäsovellus, Trimblen pilvitalennustila ja Windows-tietokoneella operoitava Penmap Project Manager -projektinhallintaohjelmisto (Kuvio 4). Lisäksi infrastruktuuri käyttää valittua VRS-korjausdataa sekä GNSS-satelliittijärjestelmiä. Penmapin käyttö aloitetaan luomalla ensin ohjelmaan työprojekti. Projekti voidaan luoda suoraan laitteen käyttöliittymällä, mutta mikäli projektiin on tarvetta luoda valmiita kaavakepohjia tai tuoda siihen ennakkoaineistoja shapefile-muodossa, on syytä luoda projekti tarkoitukseen kehitetyllä Penmap Project Manager -työkalulla.

Projektin luominen tapahtuu sekä laitteen käyttöliittymästä että Project Managerilla pääpiirteissään samalla logiikalla. Uudelle projektille annetaan ensin nimi ja sen jälkeen sille määritetään koordinaatisto. Tämän jälkeen projektille voidaan luoda halutut muistiinpanokaavakepohjat ja luoda mitattaville pisteille ja elementeille valmiit ennakkotiedot etukäteen tiedossa olevan aineiston perusteella. Eri-laisilla mittausparametreilla varustettuja projektipohjia voi tallentaa Project Manageriin, jolloin uutta projektia luotaessa ei tarvitse luoda koko rakennetta kokonaan uudestaan. Projektiin voidaan ladata myös ennakkopaikkatietoa vektorigrafiikkana. Ennakkoaineisto ladataan projektiin shapefile-tiedostomuodossa (tarkemmin projektien luomisesta, ks. Trimble 2020).

Kun projekti on luotu ja sille on rakennettu halutut tiedostopohjat ja syötetty mahdollinen ennakkoaineisto, se ladataan pilvipalveluun. Tämän jälkeen laitteen Penmap-ohjelman kautta voidaan ladata luotu projekti pilvipalvelusta laitteelle. Kun ladattu projekti on avattu ja Penmap for Android -ohjelman GNSS käynnistetty, on projekti käyttövalmis ja mittaaminen voidaan aloittaa. Mittaamisen aikana sovellus tallentaa kaikki mittaukset automaattisesti laitteen muistiin. Kun mittaaminen halutaan lopettaa, projekti suljetaan, jolloin ohjelma vielä varmistaa, että projekti tallennetaan. Mitattu data on tässä vaiheessa kuitenkin tallennettu vasta laitteen muistiin. Projekti voidaan tallentaa/päivittää pilvipalveluun laitesovelluksen projektivalikosta painamalla pitkään haluttua projektia, jolloin valikko siirtyy projektiin metatietoihin. Sieltä projekti voidaan tallentaa pilveen. Tämän jälkeen projekti ja sen sisältämä data voidaan ladata pilvestä Project manageriin ja sieltä ulos jatkoprosessointia varten.



Kuvio 4. Trimble Connect infrastruktuuri (Kuva: Trimble Inc.).

2.3.3 Käyttöönotto koetuskimuksia varten.

Oulun yliopiston arkeologian oppiaine hankki toukokuussa 2021 Trimble TDC150 -maastotallentimen LIDARK-hankkeen maastoverifointien dokumentointia varten. Laitteen käyttökelpoisuudelle arkeologisessa kenttädokumentoinnissa oli myös laajempaa mielenkiintoa. Laitetta varten hankittiin samalla Geotrimiltä lisenssi, joka sisälsi käyttöoikeudet Trimble Connect -infrastruktuuriin sekä Trimnet VRS-RTK -palvelun.

Laitte käyttää taustakarttoja WMS-rajapinnan kautta. Laitteeseen ei voi asentaa offline karttoja. Laitteen asetuksissa on valmiina useita vapaan lähdekoodin taustakarttavaihtoehtoja. Koetuskimusten maastomittauksia varten haluttiin kuitenkin laitteen karttapohjaksi MML:n ajantasainen maastokartta. Useista yrityksistä huolimatta MML:n tarjoamaa WMS-palvelua ei saatu toimimaan laitteessa. MML:kään ei löydetty ratkaisua ongelmaan. Ongelman syy ei selvinnyt, mutta todennäköisimmäksi syyksi sekä MML ja Oulun yliopiston ICT-palvelut arvelivat

sitä, että Penmap-sovellus ei ole yhteensopiva uusimpien WMS-standardien kanssa (Kurth 2021).

Ratkaisuksi ongelmaan MML esitti Kapsi ry:n⁵ ylläpitämien vanhempien MML:n kartta-aineistojen käyttöä, sille ne olivat tarjolla vanhemmassa WMS-standardissa (Kapsi 2021). Tuolloin kesällä 2021 uusimmat Kapsi ry:n kautta saatavilla olevat MML:n WMS-kartta-aineistot olivat vuodelta 2018, joten ne todettiin koetutkimusten näkökulmasta riittävän ajantasaisiksi. Käytetyn kartta-aineiston etu oli myös se, että sen käyttö on täysin ilmaista ja vapaasti käytettävissä.

Ennen maastoon lähtöä ohjelmaan luotiin Penmap Project Managerilla projektit ja dokumentointikaavakelomake arkeologisia mittauksia varten. Penmapissa on oletusasetuksina valmiina muutamia mittausparametrikirjastoja, mutta ne on ensisijaisesti suunniteltu infrarakentamisen tarpeisiin. Koska ohjelmistojen käyttöönotto ei ole tämän tutkielman tutkimuskysymysten keskiössä, ei projektien ja lomakkeiden luomisprosessia käsitellä tässä tarkemmin. Prosessiin voi tutustua tarkemmin ohjelman käyttöoppaan tai tutkimuskirjallisuuden avulla (Trimble 2020; Leppäniemi 2020).

Ennen kuin varsinainen mittausprojekti saadaan luotua, tulee Project managerissa ensin luoda käyttäjättilille pääprojekti ja sille haluttu lomakepohja(t). Lomake luodaan pääprojektinäköymästä asetusvalikon⁶ kautta. Valikon välilehdeltä *Penmap Templates* avautuu lista olemassa olevista lomakepohjista sekä vaihtoehdot uuden lomakkeen luomiselle tai olemassa olevien muokkaamiselle. Lomakepohjan luomisessa on useita vaiheita ja käyttöliittymä vaati hiukan perehtymistä.

Kun halutunlainen lomakepohja on luotu, voidaan Penmapiin luoda projekti. Tämän voi tehdä joko laitteen sovelluksella tai Project managerilla. Tässä koetutkimuksessa projektit luotiin Project managerilla. Projektin luonnin yhteydessä projektille määritettiin koordinaatisto, syötettiin tarvittaessa QGIS-ohjelmalla luotu ennakoaineisto shapefile-muodossa ja ladattiin luotu projekti pilvipalveluun. Kun

⁵ Kapsi ry on vuonna 2003 perustettu vapaaehtoisvoimin toimiva yhdistys, joka tarjoaa ilmaisia internetpalveluja jäsenilleen (Kapsi 2023).

⁶ Eng. Settings

projekti on ladattu pilvipalveluun, se tulee näkyviin ladattavaksi laitteen Penmap-sovelluksen projektivalikkoon. Kun projekti on ladattu laitteelle, on ohjelmiston osalta kaikki valmista varsinaisen maastomittauksen aloittamiseen.

Koska laitteella oli tarkoitus mitata nimenomaan mahdollisimman tarkkaa paikkatietoaineistoa laajoilla koealueilla, siihen hankittiin lisävarusteena monopole-jalka ja toinen akku. Monopole-jalka asennettiin laitteeseen mukana tulleen sovitelevyn avulla ja se kalibroitiin laitteen ohjeiden mukaan. Jalan korkeudeksi säädettiin 110 senttimetriä. Näiden ennakkovalmistelujen jälkeen laite oli valmis varsinaisiin koetutkimuksiin maastossa. Ennen varsinaisten koetutkimusten maastotöitä laitteella tehtiin muutamia koemittausharjoituksia Oulun yliopiston lähimaastossa, jotta voitiin testata ja todeta luotujen parametrikirjastojen ja dokumentaatiolomakkeiden käytännön toimivuutta ja tarvittaessa vielä muokattiin niitä havaintojen perusteella.

2.4 Tutkimusmetodiikka ja kysymyksenasettelu

Koetutkimusten tapaustutkimuksiksi valittiin kolme erityyppistä arkeologista kenttädokumentaatiotyyppiä, joissa suuren paikkatietomäärän dokumentointi ja hallinta on keskeisessä roolissa. Paikkatiedon näkökulmasta keskeisin ero erityyppisten kenttädokumentaatioprosessien välillä on paikkatiedon tarkkuuden vaateissa. Ensimmäisessä tapaustutkimuksessa – laajan alueen maastoinventoinnissa – tarkkuusvaade on pienin. Maastoverifiointinissa tärkeintä on pystyä paikkatiedon perusteella löytämään kohde ja mittaamaan se paikoilleen noin metrin tarkkuudella. Toisessa tapaustutkimuksessa tehdään löytö- ja rakenneinventointi yksittäiselle muinaisjäännöskohteelle. Tarkkuusvaade mitattavien pisteiden osalta on senttimetrien luokkaa. Karkeasti arvioiden alle 10 senttimetrin tarkkuus on aineiston tulkinnan osalta riittävä. Kolmannessa tapaustutkimuksessa mitataan tasokaivausalueen löydöt ja havaitut ilmiöt paikoilleen. Tässä mittauksessa mittauksen tarkkuuden tulisi olla niin tarkkaa kuin mahdollista. Alle 5 senttimetrin tarkkuus olisi suotava vähimmäistavoite.

Mittaustarkkuuden lisäksi koetutkimuksissa tarkastellaan ja pohditaan laitteen soveltuvuutta kyseisten kenttätyömenetelmien dokumentaatiolaitteistoksi myös

yleisellä tasolla. Koetutkimusten yhteydessä tehtiin havaintoja laitteen käyttöliittymän toimivuudesta, laitteen fyysisestä koosta, luotettavuudesta ja kerätyn datan käyttökelpoisuudesta tutkimuksissa.

3 TAPAUSTUTKIMUKSET

3.1 LIDARK-maastoverifiointit

3.1.1 Hankkeen kuvaus

Tapaustutkimus 1 on osa Museoviraston ja Oulun yliopiston arkeologian laboratorion vuonna 2021 aloittamaa LIDARK-tutkimushanketta, missä tavoitteena oli kehittää automaattisia menetelmiä muinaisjäännösten tunnistamiseen laserkeilausaineistosta. Hankkeessa käytettiin aineistona MML:n vuodesta 2020 alkaen tuottamaa kansallisen laserkeilausohjelman mukaista 5p/m² pistepilviaineistoa. Kyseisen aineiston pistetiheys on 10 kertaa tarkempaa, kuin aiemmin saatavilla ollut MML:n laserkeilausaineisto. Kasvaneen pistetiheyden ansiosta monet arkeologiset kohteet erottuvat aineistosta aiempaa paremmin (Seitsonen 2022; Anttiroiko et al. 2023).

Arkeologinen maastoinventointi 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. Hankkeen alkuvaiheessa keskityttiin tarkastelemaan muun muassa eri muinaisjäännöstyyppien erottuvuutta laserkeilausaineistossa. Tarkastelussa keskityttiin lopulta kuoppamaisiin rakenteisiin, sillä ne erottuvat laserkeilausaineistossa hyvin, ja niitä on vuosituhansien aikana ollut käytössä monenlaisia ja monenlaisiin tarkoituksiin (Anttiroiko 2022; Seitsonen 2022).

Mutta jotta koneäly voi alun alkaenkaan tunnistaa haluttuja kohteita, sille täytyy opettaa, miltä halutut kohteet pistepilviaineistossa näyttävät. Tätä tarkoitusta varten vuonna 2021 saatavilla olleesta 5p/m² MML:n laserkeilausaineistosta valittiin

koealueita, joista arkeologiset kohteet havainnoitiin tunnistettiin silmämääräisesti (Ikäheimo 2021; Seitsonen & Ikäheimo 2021). Kuoppamaisista kohteista tervahaudan opetusmalli luotiin Suomussalmen Näljängän koealueen avulla (Ikäheimo 2021) ja pyyntikuoppakohteiden opetusmallin luomiseen käytettiin Enontekiön Ropinjärven ja Iin Pohjois-Iin koealueita (Seitsonen & Ikäheimo 2021). Koealueiden laserkeilausaineistosta havaitut kohteet muokattiin koneälyarkkitehtuurin ymmärtämään numeeriseen muotoon ja ajettiin algoritmiohjelman opetusaineistona (tarkempi kuvaus algoritmin opetusajosta ks. Anttiroiko et al. 2023).

3.1.2 Tutkimusalue ja maastomittaustöiden valmistelut

Tässä tapaustutkimuksessa tarkasteltavaa Iin Yli-Olhavan koealuetta käytettiin hankkeessa 5P-laserkeilausaineistosta havaittujen erilaisten kohteiden maastoverifioimiseen. Tavoitteena oli hankkeen alkuvaiheessa selvittää mitä erilaiset laserkeilausaineistosta havaitut ja muinaisjäänöksiksi tulkitut ilmiöt todellisuudessa ovat, ja minkälaisiin kohdetyyppeihin algoritmin opetusajo kannattaa kohdentaa. Iin Yli-Olhavan koealue muodostui peruskarttalehden 3512 05 Kärppäsuon rajaamasta alueesta (Kuvio 5). Koealueen kooksi muodostui näin ollen 10x10 kilometriä. Alue sijoittuu MML:n 5p/m² laserkeilausaineiston Kuivaniemen tuotantoalueelle, joka oli yksi ensimmäisistä Kansallisessa laserkeilausohjelmassa tuotetuista aineistoista (Maanmittauslaitos 2023b).

Kuivaniemen tuotantoalueen 5p/m² laserkeilausaineistosta tehtiin DEM-maastomallinnus blast2dem ja Relief Visualisation Tool -mallinnusohjelmilla. Laaditusta mallinnuksesta havainnoitiin visuaalisesti siitä löytyvät tunnetut muinaisjäänöskohteet sekä havaitut mahdolliset uudet muinaisjäänöskohteet. Uusien kohteiden tulkinnat tehtiin tunnettujen kohteiden perusteella. Tutkimusalueelta havaittiin runsaasti erilaisia kuoppajäänöskohteita sekä lisäksi muutamia tervahaudoiksi ja esihistoriallisiksi asuinpaineiksi tulkittuja kohteita. Kaikille havainnot



Kuvio 5. Koealueen laserkeilausaineistosta tunnistetut tunnetut ja uudet mahdolliset muinaisjäännöskohteet merkittynä kartalle QGIS ohjelmassa. Eri kohdetyypit on merkitty eri väreillä (taustakartta: Maanmittauslaitos).

pyrittiin tunnistamaan ja niiden paikkatiedoista tehtiin QGIS-ohjelmassa shapefile-tasot. Laaditut shapefile-tasot siirrettiin Penmap Project Manager -ohjelman avulla ennakoaineistoksi koealueen mittaamista varten luotuun Penmap projektiin ja ajettiin Trimble connect -pilveen. Laitteessa pilveen ajettu luotu projekti avattiin Penmap ohjelmassa ja tarkistettiin, että projekti toimii ja että projektiin syötetyt ennakkotiedot näkyvät oikein.

3.1.3 Maastotyöt

Tutkimusalueelta laserkeilausaineistosta havaittujen kohteiden maastoverifiointit suoritettiin 5.–31. Heinäkuuta 2021. Jokainen kohdepiste käytiin tarkistamassa ja tunnistamassa paikan päällä. Kohteille läheisyyteen siirryttiin mahdollisuuksien mukaan joko henkilöautolla tai maastomoottoripyörällä. Loppumatka tieltä kohteelle siirryttiin jalan. Kohteiden paikannukseen käytettiin Penmap-sovellusta. Penmapia voidaan käyttää kohteen paikantamiseen kahdella tapaa. Jos käytettävissä on jokin sopiva WMS-maastokartta⁷, voidaan kohteelle mennä karttaa seuraten. Kun laitteen GNSS-paikannus on käynnistetty, laitteen sijainti näkyy näytöllä vihreänä tähtäinkehänä.

Toinen mahdollinen tapa käyttää laitetta kohteen saavuttamiseen on käyttää Penmap-sovelluksessa olevaan Tarkista piste -toimintoa. Tällä toiminnolla laitteen näytöltä voidaan valita piste (joko laitteella mitattu piste tai ennakoaineistona syötetty piste), joka halutaan paikantaa. Laite ohjaa pisteelle osoittamalla kulkusuuntaa nuolella ja ilmoittamalla etäisyyden laitteen ja pisteen välillä. Maastoverifiointeissa käytettiin molempia tarkastettavien kohteiden paikannustapoja, ja molempien kanssa havaittiin myös sovelluksesta johtuvia käytännön ongelmia (ks. myöhemmin).

Kun haluttu tarkastettava kohde lopulta saavutettiin ja havaittiin maastosta, se tulkittiin ja mitattiin paikoilleen. Tulkinat ja mittaukset tallennettiin laitteella Penmap-projektiin. Tulkinat kirjattiin projektiin Penmap Project Managerilla etukäteen luotuihin lomakkeisiin. Projektiin oli luotu kolme eri kohteen tyyppin mukaan valittavaa lomaketta: piste, kuopan reunat ja rakenteen reunat. Piste -lomakkeella laite menee automaattisesti pisteenmittaustilaan ja pisteen mittaamisen jälkeen

⁷ Laitteen esioletuskartat, kuten esimerkiksi Open Topo Map, ovat suomalaisissa metsämaaolosuhteissa hyödyttömiä, sillä niissä ei ole kaavoitetun alueen ulkopuolella yleisiä teitä lukuun ottamatta muuta maastotietoa.

avautuu vapaatekstiruutu, johon pisteen tiedot voi kirjata. Piste-lomaketta käytettiin maastotöissä harvoin. Se oli tarkoitettu lähinnä varalomakkeeksi yllättäviä kohteita varten, sekä mahdollisten lisätietojen keräämiseen.

Kuopan reunat ja rakenteen reunat -lomakkeisiin oli luotu laajempi dokumentointilomake, johon oli laadittu valikot muun muassa: kohteen ajoitukselle, muinaisjäännöstyypille, maaperän laadulle sekä lisätiedoille. Lisätiedot -kenttää lukuun ottamatta lomakkeen täyttö voitiin tehdä valintaruuduilla. Tällöin maastodokumentointi on nopeaa ja kerätyt tiedot on helppo muuttaa mittausten jälkeen algoritmiohjelman ymmärtämään numeeriseen muotoon. Kuopan reunat -lomake valittaessa laitteen mittaustapa siirtyi automaattisesti esioletuksena ympyrä kahdella pisteellä -mittaustilaan ja rakenteen reunat -lomake valittuna mittaustilaletuksena oli käyränpiirtotila.

Itse kohteen dokumentointi laitteella tapahtui seuraavasti. Ensin valitaan näytöltä haluttu lomakepohja kohteen tyyppin mukaan. Laitteen monopole-jalan kärki asetetaan mitatulle pisteelle ja laite säädetään vaakatasoon. Penmap-sovelluksessa on mahdollista käyttää siihen rakennettua digitaalista vakainta, jolloin mittaustulos on tarkempi, mutta hankkeen mittaustarkkuusvaatimukset eivät sen käyttöä tässä tapauksessa edellyttäneet. Painettaessa näytön vasemmasta alalaidasta satelliitti -kuvaketta, laite mittaa pisteen koordinaatit ja ilmoittaa puheäänellä "observation stored". Mikäli mitataan kuopan reunoja tai aluetta, siirrytään seuraavalle mitattavalle pisteelle ja toistetaan edellä mainitut toimet. Kun kaikki pisteet on mitattu (kuopan reunat kahdella pistellä tai aluemittaus suljettu näytön ylälaidan valikosta) avautuu lomakepohja automaattisesti täytettäväksi. Lomakkeen tallentamisen jälkeen laite on valmis seuraavaan mittaukseen.

Kun kohde oli mitattu, siirryttiin seuraavalle kohteelle. Koska välimatkat olivat pitkiä, oli usein tapana sammuttaa Penmap-sovelluksesta vähintään GNSS-paikannus ja pidemmällä siirtymillä sammutettiin koko laite akun säästämiseksi. Siirtymillä laitetta myös ladattiin auton usb-laturilla. Tavoitteena oli, että kahdella akulla on pystyttävä suorittamaan kaikki päivän mittaukset ja paikannukset. Tämä olikin ihan hyvä toimintaperiaate, sillä peitteisessä maastossa ja heikolla GSM-signaa-

lin peittoalueella laite kulutti selkeästi runsaasti virtaa. Edellä mainitulla toimintatavalla laitteen akut riittivät hyvin päivän mittauksiin. Aina Penmap-ohjelman sammuttamisen yhteydessä tallennettiin mittausprojekti pilveen. Tällöin varmistuttiin siitä, että mahdollisen laiterikon tai ohjelmistovian yhteydessä mahdollisimman vähän mitattua ja dokumentoitua aineistoa menetettäisiin.

Maastomittausten jälkeen mitattu data ladattiin Penmap Project Managerin avulla ulos pilvestä loppukäsittelyä varten. Ulosladattu data on valmiiksi shapefile-muodossa ja se voidaan ladata suoraan QGIS-ohjelmaan. QGIS:ssa datan attribuutteja muokattiin vielä sopivammiksi opetusajoa varten sekä luotiin mitatuista kohteista kartta.

3.1.4 Tulokset ja pohdinta

Kaikki laserkeilausaineistosta havaitut kohteet löydettiin ja tunnistettiin. Hyvin suuri osa aiemmin tuntemattomista kuoppajäänöksistä osoittautui erilaisiksi modernin ihmistoiminnan jäljiksi, mutta mukana oli myös muutamia uusia muinaisjäänöksikohteita. 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. Koska laitteelle ei voi ladata offline-karttoja, häviää laitteen näytöltä myös WMS-taustakartta datayhteyden katketessa.

4G-yhteyden katketessa laite menettää myös VRS-korjausdatan ja sen paikannustarkkuus heikkenee voimakkaasti. Korjausdatan menetys vaikuttaa myös laitteen kompassiin, josta tulee hyvin epätarkka ja epävakaa. Kaikkein selvimmin laitteen täydellinen riippuvuus toimivasta datayhteydestä tulee esille silloin, kun laitetta yritetään käynnistää verkon katvealueella. Käytännössä Penmap for Android ei käynnisty, sillä ohjelma varmentaa Trimble Access -tilin lisenssien voimassaolon joka käynnistykseen yhteydessä internetyhteyden kautta, ja jos yhteyttä ei ole, sovelluksen käynnistys pysähtyy. Laitteen datayhteyden täytyy olla

vähintään 4G-nopeusluokkaa. 3G- tai hitaammalla datayhteydellä Penmap-sovellus ei toimi ollenkaan. Havainnollistavaa on, että laitteen käynnistäminen 3G-verkossa onnistui siten, että laitteella otettiin wifi-yhteys tukiasemaksi asetettuun matkapuhelimeen (iPhone SE), jolloin käyttöoikeuksien varmennus onnistui ja ohjelmisto käynnistyi. Todennäköisesti kyseessä on valmistajan tietoinen ratkaisu, jolla pyritään poistamaan hitaan tietoliikenneyhteyden 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 koetuskimuksen yhteydessä muutama syrjäinen kohde jouduttiin paikallistamaan ja dokumentoimaan niin sanotusti perinteisin menetelmin, eli kartan, kompassin, kynän ja paperin avulla, sillä kohdealueella laitetta ei saatu käynnistettyä.

Datayhteyden toimiessa kohteiden paikallistaminen laitteen avulla oli kuitenkin pääsääntöisesti helppoa. Kuten aiemmin mainittiin, koetuskimuksen yhteydessä testattiin kohteen paikallistamista sekä karttatähtäimen että ”Tarkista piste” -toiminnon avulla. ”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. Koetuskimuksissa toiminnossa havaittiin kuitenkin selkeä toistuva virhe, joka todennäköisesti johtui sovellusvirheestä. ”Tarkista piste” -toiminto nimittäin ohjasi pisteelle systemaattisesti vasemmalta ohi. Kohde saavutettiin siis joka kerta spiraalimaisesti oikealle kaartuen. Joskus laite saattoi kierrättää jopa täyden kierroksen kohteen ympäri.

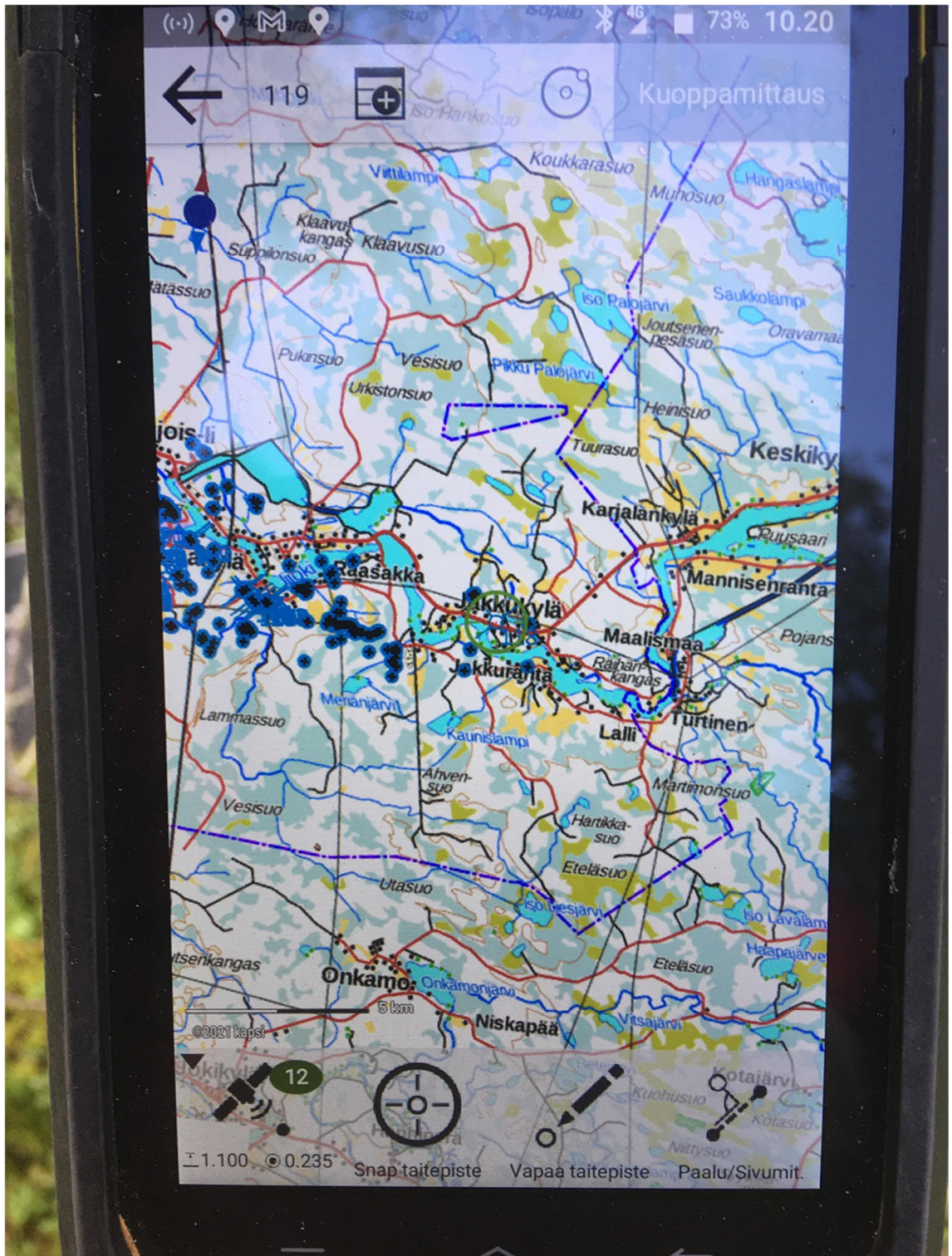
Pääsääntöisesti kohteet paikannettiin maastossa laitteen tähtäinkehän avulla suunnistamalla. Tämä oli varsin helppo menetelmä silloin, kun datayhteys oli hyvä eikä maasto ollut kovin pahasti peitteistä. Tällöin laite näytti oman sijainnin kartalla hyvin tarkasti ja suunnistaminen ja haluttujen kohteiden paikantaminen

maastossa oli mutkatonta. Peitteisessä maastossa ja katvealueella laitteen tarkkuus kuitenkin heikkeni merkittävästi ja joidenkin kohteiden paikantaminen saattoi olla hyvinkin haasteellista.

Laitteessa ilmeni myös silloin tällöin ohjelmistovirheistä johtuvia vikoja, eli niin sanottuja bugeja. 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 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 paikannustarkkuuslukemilla todellinen paikannustarkkuus heitteli rajusti muutamasta metristä jopa kymmeneen metriin. Toinen satunnaisesti esiintynyt paikannuksen sovellusvirhe oli tähtäinkehän hyppiminen pitkin näyttöä. Tässä tapauksessa laitteen sijaintia kartalla osoittava tähtäinkehä alkaa yhtäkkiä hyppiä hyvin nopealla tahdilla paikasta toiseen pitkin näyttöä. Tällaisissa tapauksissa ainoa menetelmä tilanteen korjaamiseen oli käynnistää sovellus uudelleen.

Paikannukseen liittyvien sovellusvirheiden lisäksi Penmap for Android sovelluksen käytön yhteydessä havaittiin myös liuta muita selkeästi sovelluksen ohjelmistoon liittyviä vikoja, jotka vaikeuttivat ja hidastivat maastotöitä. Sovelluksessa oli lomakepohjien käyttöön liittyvä virhe, jonka takia näytön zoomaus muuttui sattumanvaraisesti lomakkeen tallentamisen jälkeen. Lisäksi 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.

Zoomaustoiminnon käytön heikkoutta vakavampia vikoja olivat esiaineistoina ladatavien shapefile-tiedostojen paikannuksen satunnainen heittäminen (Kuvio 6) sekä työprojektien korruptoituminen. Maastotöiden yhteydessä havaittiin, silloin tällöin,



Kuvio 6. Esimerkkitapaus ennakkoaineistona Penmap sovellukseen ladattujen shapefile-tiedostojen virheellisestä sijoittumisesta laitteen näytöllä. Kuvan tapauksessa shapefile-taso on siirtynyt näytöllä noin viisi kilometriä länteen.

että projektiin ladattu ennakkoaineisto ei ole oikealla paikallaan, vaan on kokonaisuutena siirtynyt eri kohtaan karttapohjalla. Tällaisissa tapauksissa tilanteen

korjaus onnistui ainoastaan käynnistämällä projekti uudelleen. Vika ilmeni satunnaisesti, mutta pahimpina päivinä projekti täytyi tämän takia käynnistää uudelleen monta kertaa päivässä. Projektien korruptoituminen oli laitteen havaituista ohjelmistovirheistä ehkä vakavin. Näitä tapahtui koetuskimpuksen aikana onneksi vain kaksi kertaa. 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 korruptoituneen 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 lin Vuornoskankaalta tarvinnut poistua ollenkaan. Kun projekti korruptoitui, eikä sitä saatu enää avattua, tallensin projektin pilveen ja ilmoitin puhelimitse hankekollegalleni Oulun yliopiston arkeologian laboratorioon ongelmasta. Siellä data ladattiin pilvestä ulos ja todettiin, että kaikki siihen saakka mitattu data oli tallessa, laadittiin uusi projekti ja ladattiin se pilveen. En kerennyt juoda kahvikuppiani loppuun, kun sain puhelimeeni viestin, että uusi projekti on ladattavissa ja työ voi jatkaa.

Kaikista näistä edellä mainituista virheistä ja puutteista oltiin yhteydessä Trimblen asiakaspalveluun. Asiakaspalvelun vastaanotto ja toiminta ongelmien ratkaisemisen suhteen oli esimerkillistä. Trimble korjasi kaikki mainitut Penmapin ohjelmistossa esiintyneet virheet lukuun ottamatta 4G-yhteysriippuvuutta, ja sen mukanaan tuomia ongelmia 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.

Pois lukien edellä mainitut, enemmänkin ohjelmiston tietynlaiseen keskeneräisyyteen viittaavat, havaitut ongelmat, laite havaittiin kokonaisuutena varsin toimivaksi työkaluksi arkeologisessa maastoinventoinnissa. Maastoinventointitehtävissä laitteen paikannustarkkuus ei kuitenkaan ole niin merkittävä ominaisuus. Laitteen tarkkuus on toimiessaan itse asiassa aivan turhan tarkka. 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. Tulevaisuudessa myös internetyhteysriippuvuuden tuomat ongelmat tulenevat vähenemään uuden sukupolven PPP (Precise Point Positioning) -tekniikan yleistymisen myötä. PPP-mittauksessa ei käytetä apuna tukiasemien korjausdataa, vaan vastaanotin laskee kaikki korjaukset satelliiteista saamiensa signaalien avulla. Laskennallisesti menetelmä on kuitenkin vielä RTK-mittaustakin raskaampi ja vaatii laitteelta suurta laskentatehoa, jotta reaaliaikaisiin mittauksiin päästään (Poutanen 2016, 268–269). PPP-mittaus ei kuitenkaan ole aivan yhtä tarkka ja luotettava menetelmä kuin VRS-mittaus, mutta inventoinnin tarkkuusvaatimukseen täysin riittävä.

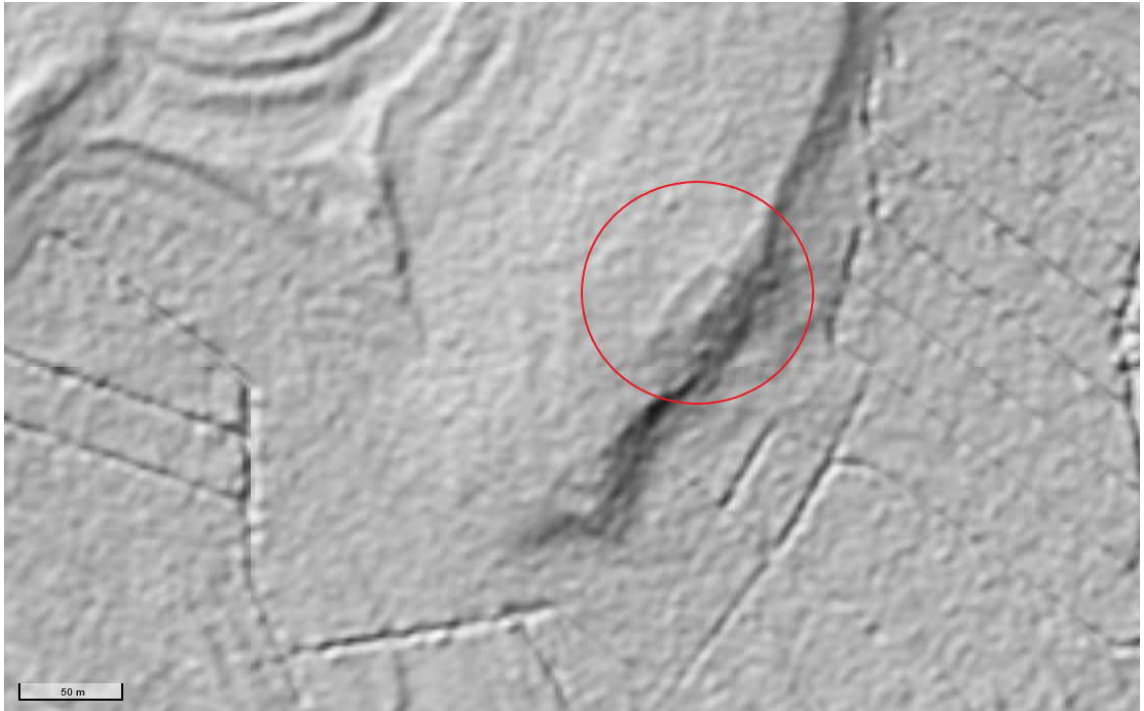
Project managerilla luotavien dokumentointilomakkeiden monipuolisuus ja joustavuus, sekä niiden sujuva, nopea ja osittain automatisoitu käyttöliittymä tekevät kohteen dokumentoinnista erittäin sujuvaa ja nopeaa. Laitteen tekniikkaan on satsattu riittävästi. Akun kesto erittäin hyvä ja laite on erittäin hyvin suojattu kosteutta, pölyä ja iskuja vastaan. Laitteen näyttö on kosketusominaisuksiltaan ja ennen kaikkea valaistukseltaan erinomaisen selkeä. Myös pilvipalvelun kautta toimivan Penmap infrastruktuurin toimivuus osoitti vahvuutensa koetutkimusten aikana.

3.2 Raahen Ojastenojan jätinkirkon arkeologinen tarkastus

3.2.1 Kohteen kuvaus ja tausta

Elokuussa 2022 sanomalehti Kaleva uutisoi Raahen Piehingistä vastikään löytyneestä uudesta Jätinkirkkokohteesta⁸ (Huoviala 2022). Jätinkirkkotutkimukseen erikoistunut tutkija Marianna Ridderstad oli havainnut MML:n avoimesta laserkeilausaineistosta Raahen Piehingin Ojastenojalta jätinkirkkoa muistuttavan kohteen, joka tarkastuksessa varmistui kivikautiseksi muinaisjäänköhteeksi. Oulun yliopiston arkeologian laboratorion LIDARK-hankkeen yhteydessä kiinnostuttiin myös tästä uudesta kohteesta. MML:n tuottamassa rinnevarjosteessa (Kuvio 7) kohde todella vaikutti tyypilliseltä jätinkirkkokohteelta, mutta ilmakuvien ja paikan päältä otettujen kuvien perusteella kohde ei vaikuttanut tyypilliseltä jätinkirkkokohteelta. Kohde sijaitsi kuitenkin jätinkirkoille tyypillisessä maastossa ja kohteille tyypillisellä korkeudella meren pinnan yläpuolella. Lisäksi kohde sijaitsee vain kaksi kilometriä lounaaseen laajasta ja tunnetusta Raahen Laivakankaan muinaisjäänkökeskittymästä, joka käsittää muun muassa kaksi aiemmin todennettua jätinkirkkoa.

⁸ Jätinkirkot ovat suurikokoisia, muodoltaan useimmiten suorakaiteen muotoisia tai nelikulmaisia, kehävalleja, joissa on yksi tai useampi porttimainen aukko. Jätinkirkkokohde käsittää todellisuudessa laajemman muinaisjäänkökokonaisuuden, johon liittyy kehävallin lisäksi erilaisia latomuksia, rakkakuoppia ja usein asuinpaikka (Okkonen 2003, 30). Jätinkirkko on Pohjanmaan rannikon ainutlaatuinen massiivinen muinaisjäänköstyppi. Niitä tunnetaan noin 40 kappaletta Yli-iin ja Närpiön väliseltä alueelta. Jätinkirkot ajoittuvat keski- ja myöhäisneoliittiselle ajalle noin 3000–2200 eKr ajanjaksoon. Jätinkirkkoja on tunnettu jo kansanperinteestä ja niitä alettiin tutkia jo 1800-luvun lopulta alkaen. Jätinkirkkojen tarkkaa funktiota ei edelleenkään tiedetä, mutta nykytutkimuksen perusteella ne vaikuttavat liittyvän Kivikauden loppujakson suurimittaiseen hylkeenpyyntiin ja pyyntiyhteisöjen toimintaan. Jätinkirkkoihin liittyy astronomisia suuntauksia, joita tavataan samaan aikaan muuallakin Euroopan megaliittikohteilla (Okkonen ja Ridderstad 2009; Halinen 2019, 116–117).



Kuvio 7. Kuvakaappaus MML:n Paikkatietoikkuna sivustolta. Ojastenojan mahdollinen jätinkirkko on havaittavissa rinnevarjostekuvassa harjanteen laella sijaitsevana suorakaiteen muotoisena ilmiönä (kohde korostettu punaisella ympyrällä).

3.2.2 Tutkimusalue ja maastomittaustöiden valmistelut

Kohteella päätettiin suorittaa tarkastuskäynti kohteen tyyppin todentamiseksi ja muinaisjäännösalueen laajuuden selvittämiseksi. Jätinkirkkokohteet ovat tyypillisesti useista eri muinaisjäännöstyypeistä koostuvia alueellisia kokonaisuuksia, joten muinaisjäännösalueen aluerajauksen määrittäminen on jätinkirkkokohteilla erityisen tärkeää. Ennen maastoon menoa alueen olemassa oleva tunnettu muinaisjäännöskanta tarkastettiin muinaisjäännösrekisteristä (Museovirasto 2023b) ja kohteen ympäristöä tarkasteltiin MML:n 0,5P-laserkeilausaineiston avulla. Tutkimusalueelta ei ollut vielä saatavissa uudempaa 5P-laserkeilausaineistoa, sillä kohteen kattavan Pyhäjoen tuotantoalueen keilaus toteutetaan vasta vuonna 2024 (Maamittauslaitos 2023b). MML:n laserkeilausaineistosta tehtiin Blast2dem ja Relief visualization toolbox -ohjelmilla alueen pintamallinnus, josta havainnointiin mahdollisia muinaisjäännöskohteita, ja niistä tehtiin QGIS-ohjelmalla shapefile-tiedosto, joka ladattiin TDC150-maastotallentimeen luotuun projektiin ennakoaineistona (Kuvio 8).

selkeästi erottuva suorakaiteen muotoinen kehävalli porttiaukkoineen ei ollut havaittavissa. Sen sijaan kohteella 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 laserkeilausaineistossa erottuvan kehävallimaisen rakenteen kaakkoissivun ja koillispäädyn. Mahdollisen kehävallin luoteissivu sen sijaan muodostuu luontaisesta moreeniharjanteesta. Lounaispäättyä rakenteessa ei ole havaittavissa ollenkaan. Tässä vaiheessa oli siis selvää, että kyseessä on esihistoriallinen muinaisjäännöskohde, mutta tyypillisen jätinkirkko-kohteen tunnusmerkkejä se ei täytä.

Seuraavaksi kohdetta tarkasteltiin laajemmalla alueella. Pian 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 jätinkirkko-kohteeseen liittyviä muinaisjäännöstyyppisiä (Halinen 2019, 116). Niitä on havaittu lähes kaikilta jätinkirkko-kohteilta, eikä juurikaan muualta, joten ne liittyvät kiinteästi juuri jätinkirkko-kohteilla 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 ilmakuvausella. Ilmakuvaus suoritettiin DJI Mini 3 Pro -dronella. Alueelle sijoitettiin 10 kappaletta signalointipisteitä, joiden sijainti mitattiin ja dokumentoitiin maastotallentimella.⁹

⁹ Asetettuja ja mitattuja signalointipisteitä ei kuitenkaan lopulta käytetty ollenkaan kuvamosaiikin prosessoinnissa, sillä käytetty Agisoft Metashape Professional -ohjelma ei tarvinnut signaalien paikkatietoja kuvamosaiikin luomiseen ja asemointiin.

Alue kuvattiin 20 metrin korkeudesta. Kaikki havaitut rakenteet sekä mahdollisen jätinkirkkorakenteen sijainti dokumentoitiin ja mitattiin maastotallentimella rakenteen reuna -lomaketta käyttäen. Latomusten keskipisteet mitattiin paikoilleen. Lisäksi päätettiin kartoittaa kaikki alueella ja etenkin äestysurissa havaitut arkeologiset löydöt, joista suurin osa oli kvartsi-iskoksia. Iskosten lisäksi alueelta löydettiin pienempiä määriä kvartsiytimiä, kvartsikaapimia, palanutta luuta sekä pala-neita kiviä. Suurin osa havaituista löydöistä mitattiin yksilöllisesti paikoilleen. muutamissa kohdissa kuitenkin oli järkevämpää mitata tiheämpi löytökeskittymä alueena paikoilleen. Kaiken kaikkiaan alueelta dokumentointiin rakenteiden lisäksi yhteensä 358 pistettä (Kuvio 9). Mittausten jälkeen projekti tallennettiin pilvipalveluun



Kuvio 9. Kohteelta mitattujen löytöjen ja rakenteiden jakauma (taustakartta: Maanmittauslaitos).

3.2.4 Tulokset ja pohdinta

Maastotöiden jälkeen mitattu aineisto ladattiin Penmap Project managerin kautta ulos pilvestä ja siirrettiin QGIS-ohjelmaan. Kun mittausdata ajettiin QGIS:ssä

shapefile-tasona kartta-aineiston päälle, voitiin todeta, että paikannukset asettuivat 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 avohakkiota 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 mittaustapa kokonaisuudessaan vain pari tuntia ja dataa saatiin kerättyä huomattavasti enemmän kuin mitä perinteisessä tarkastuksessa olisi saatu talteen. Datan jälkikäsittely paikkatieto-ohjelmistoilla on myös hyvin nopeaa ja sujuvaa.

Mutta mikä oli lopulta tarkastuksen tulos? Oliko kyseessä jätinkirkko vai ei? Kuten aiemmin mainittiin, jätinkirkkokohde on useammasta toisiinsa kiinteästi liittyvästä muinaisjäännöksestä muodostuva muinaisjäännöskokonaisuus. Itse jätinkirkkorakenne on näistä vain yksi, joskin varsin keskeinen. Ojastenojan tapauksessa kohde sisältää kaikki jätinkirkkokohteelle tyypilliset ilmiöt lukuun ottamatta itse varsinaista kivistä ladottua suorakaiteen muotoista kehävallia. Alueelta löytyy kivilatomuksia 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 kuitenkin myös tavallaan havaittavissa Ojastenojan kohteella. Kyseessä on alun perin laserkeilausaineistosta jätinkirkoksi tunnistettu noin 35x20

metrin kokoinen hevosenkengän muotoinen ilmiö, joka kuitenkin Ojastenojan tapauksessa muodostuu kolmesta rakennetusta kivilatomuksesta ja luontaisesta moreenivallista. On hyvin mahdollista, että maaperää on kohteen rakentamisen ja käytön aikana myös jonkin verran muokattu, Joten maaperässä erottuvalla rakenteella (Kuvio 10) on voinut olla ainakin osittain sama funktio kuin kivistä ladotuilla kehävalleilla.



Kuvio 10. Ojastenojan kehärakenne kuvattuna etelälounaaseen. Kohteen kehärakenne erottuu ilmakuvasta lähinnä äestysurien aiheuttamien vaurioiden avulla. Kuvan ylä laidassa puiden ympäröimänä alueen ainoa ehjänä säilynyt kivilatomus. Keskellä ja etualalla rikkoutuneet pienemmät latomukset. Oikealla nähtävissä metsäaran rikkomaa luontaista moreenivallia, joka muodostaa kehärakenteen luoteissivun (Kuva: Janne Ikäheimo).

3.3 Oulun Peurasuon tasokaivausalueen dokumentointi

3.3.1 Koetutkimuksen tavoitteet

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

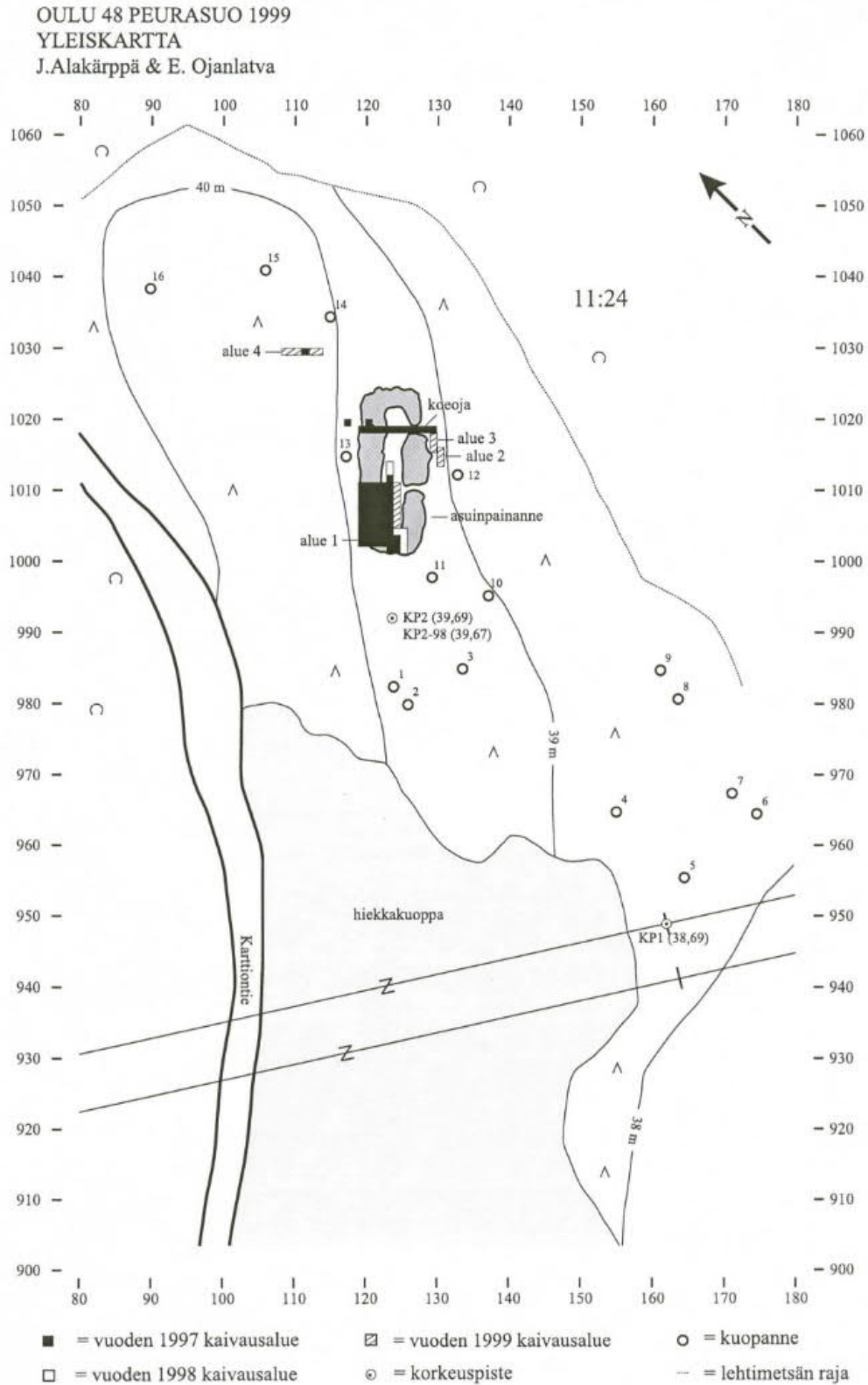
Tässä koetutkimuksessa on tarkoitus tarkastella riittääkö Trimble TDC150 -maastotallentimen mittaustarkkuus arkeologisten kaivaustutkimusten tarpeisiin. Lisäksi pohditaan sitä tuoko laite muita, esimerkiksi ajankäytöllisiä, etuja kaivausdokumentointiin. Koetutkimuksessa on tarkoitus mitata Oulun yliopiston arkeologian oppiaineen Arkeologinen tiedonhallinta ja -käsittely II -kurssin¹⁰ yhteydessä arkeologisena sovellettuna tasokaivauksena dokumentoitavan tutkimusalueen kaikki mittaukset sekä takymetrillä että maastotallentimella. Tämän jälkeen mitaustuloksia vertaamalla tarkastellaan mittaustulosten luotettavuutta ja käyttökelpoisuutta.

¹⁰ Arkeologinen tiedonhallinta ja -käsittely II -kurssi kuuluu Oulun yliopiston arkeologian aineopin-toihin. Kurssikokonaisuuden tavoitteena on, että opiskelija osaa selittää kajoavien kenttätutkimusmenetelmien merkityksen osana arkeologista tiedonhankintaa. Hän osaa käyttää ja soveltaa sekä arkeologiselle kaivaukselle kuuluvia tutkimus- ja dokumentointimenetelmiä että tutkimusvälineitä uuden arkeologisen lähdeaineiston hankkimiseen. Opiskelija osaa myös organisoida, luokitella ja arkistoida arkeologisen kenttätutkimuksen tuottaman lähdeaineiston ja dokumentaation sekä valmistaa sitä koskevan tutkimuskertomuksen (Oulun yliopisto 2023).

3.3.2 Tutkimusalueen kuvaus ja tutkimushistoria

Arkeologinen tiedonhallinta ja -käsittely II kurssiin liittyvät arkeologiset opetuskaivaukset toteutettiin 12.–22. kesäkuuta 2023 Oulun Pikkaralan Peurasuon pronssikautisella asuinpaikalla. Peurasuon asuinpaikka ajoitettiin aiemmin rannansiirtymäkronologian (ks. esim. Okkonen 2003) perusteella kivi- ja pronssikauden taitteeseen (n. 2000–1800 eKr.). Tulkinta perustui teoriaan, että kohde on sijainnut käyttöaikanaan kivikauden kohteille tyypillisesti meren välittömässä yhteydessä pienen merenlahden pohjukassa (Ojanlatva ja Alakärppä 2002, 111–112). Aineistosta myöhemmin tehtyjen radiohiiliajoitusten perusteella kohde ajoituu aavistuksen nuoremmaksi varhaiselle pronssikaudelle (n. 1500 eKr.) (Hakonen 2017, 8). Nykyään kohde sijaitsee kuivattuun suopeltoon viettävällä hiekkaisella etelärinteellä Oulujoen pohjoispuolella. Alueella kasvaa nuorta mäntymetsää. Kohteelta tunnetaan kaksi osittain maahan kaivetun asumuksen jäännöstä (Ojanlatva ja Alakärppä 2002, 109). Kohteella on tehty aiempia kaivaustutkimuksia vuosina 1997–99 (Alakärppä et al. 1998; Alakärppä ja Ojanlatva 1998; 1999). Vuoden 2023 kaivausten kaivausalue sijoittuu aiemmin laajalti dokumentoidun asuinpainanteen pohjoispuolella sijaitsevalle pienelle terassimaiselle tasanteelle (Kuvio 11). Tasanteelle oli aiemmissa tutkimuksissa tehty vuonna 1997 1x1 metrin koeuoppa, jota vuoden 1999 kaivauksissa oli laajennettu 5m² koeojaksi. Näissä aiemmissä koetutkimuksissa tasanteelta oli dokumentoitu pieniä määriä löytäjä ja nyt tasanteen funktiota haluttiin selvittää tarkemmin.

Vuoden 2023 kaivauksissa koeojaa laajennettiin pohjois- ja eteläsuuntaan 5x6 metrin kokoiseksi tasokaivausalueeksi. Kaivausmetodina käytettiin niin sanottua sovellettua tasokaivausta. Sovelletussa tasokaivauksessa maakerroksia poistetaan valitun paksuisina kerroksina luonnollista maanpintaa mukaillen. Kohteella aiemmin tehdyt kaivaustutkimukset oli toteutettu teknisinä kerroksina. Tässä tasokaivausmenetelmässä maakerrokset poistetaan valitun paksuisina horisontaa-



Kuvio 11. Oulun Peurasuon asuinpaikan yleiskartta. vuoden 2023 kaivausalue sijoittuu kartalla alueelle 4 (Alakärppä ja Ojanlatva 1999, Kartta 2).

lisina tasoina (Takala 1998, 124–128). Kaivaustasojen vahvuudeksi valittiin kivi-kautisten kohteiden kaivauksissa tyypillisesti käytetty viisi senttimetriä.¹¹ Pintaturpeen poiston ja jokaisen poiskaivetun tason jälkeen kaivausalueen pinnasta mitataan piste puolen metrin välein. Tasoja ei vaaittu vaaituskojeella vaan mittamiseen käytetään ainoastaan takymetriä ja maastotallenninta. Aiempien kaivausten perusteella oli tiedossa, että alueen löytöodottama on hyvin vähäinen. Kaikki kaivauksissa tehdyt löydöt ja havaitut ilmiöt on tarkoitus mitata paikoilleen sekä takymetrillä että maastotallentimella, jonka jälkeen ne varastoidaan laboratoriotutkimuksia varten.

3.3.3 Maastomittaustöiden valmistelut

Ennen varsinaisten kaivausten alkua tutkimusalueelle käytin tekemässä uudet kiintopisteet. Vuosien 1997–99 tutkimuksissa oli käytetty noin 500 metrin päässä sijaitsevalta korkeuskiintopisteeltä vaaituskojeella siirrettyjä korkeuskiintopisteitä (Alakärppä et al. 1998, 8). Takymetrin asemointia varten alueen halki menevän tien laitaan tehtiin kolme kiintopistettä – kaksi näistä on maahan upotettuja 20 mm alumiiniputkia ja kolmas maakiveen merkattu kiintopiste. Lisäksi tarkoituksena oli käyttää ainakin toista 1990-luvulla käytettyä kiintopistettä (KP2, Kuvio 11).

Mittauksissa käytettiin Trimble TDC150 -maastotallentimen lisäksi Trimble S5 -robottitakymetriä, Trimble R8 GNSS-vastaanotinta ja Trimble TSC3 -maastotietokonetta. Ennen kaivausten aloittamista kiintopisteet mitattiin R8-vastaanottimella. Tällöin havaittiin, että hyvin peitteisen maasto takia riittävän luotettava paikannus onnistui vain tien varteen tehdyille uusille kiintopisteille, mutta mäntymetsässä sijaitsevalle vuosien 1997–99 kiintopisteelle KP2 ei saatu riittävän tarkkaa paikannusta. Näin ollen takymetrin asemointipisteiksi valittiin tien varteen tehdyt kolme uutta kiintopistettä (Taulukko 1). Takymetriä oli tarkoitus käyttää kaivauksilla vapaaseen asemapisteeseen asemoituna. Takymetrille valittiin paikka kai-

¹¹ Myöhemmin kaivausten edetessä tasojen vahvuus korotettiin 10 senttimetriin.

vausalueen ja asemointipisteiden väliseltä alueelta siten, että laitteelta on esteetön näkyvyys koko kaivausalueelle, kaikille kolmelle asemointikiintopisteille, sekä myös vanhalle korkeuskiintopisteelle KP2¹².

Taulukko 1. Takymetrin asemointipisteiden koordinaatit (ETRS89-TM35FIN).

Kiintopiste	X-koordinaatti	Y-koordinaatti	Z-koordinaatti
A	7198733,36508	445583,81538	40,67778
B	7198717,08432	445560,47472	40,52357
D	7198773,57324	445594,53066	40,83457

Ennen kaivaustöiden aloittamista kartoitettiin maastosta vuosien 1997–99 kaivausalueet ja koeojat. Kartoitus suoritettiin maaperäkairalla haravoimalla.¹³ Kun vanhat kaivausalueet oli saatu määritettyä, ne mitattiin paikoilleen maastotallentimella. Vuoden 2023 kaivausalueelle sijoittuva vuoden 1999 koeoja merkittiin lisäksi maastoon merkkitikuilla.

3.3.4 Maastotyöt

Maastotyöt aloitettiin mittauksen osalta takymetrin asemoinnilla vapaaseen asemapisteeseen. Asemoinnissa käytettiin yhdistettyä mittausmenetelmää¹⁴ ja asemointi tehtiin ETRS-TM35FIN -koordinaatistossa. Sama asemointiprosessi suoritettiin jokaisen mittauspäivän aamuna ensimmäisenä toimenpiteenä. Takymetrin asemointi tarkistettiin joka päivä mittamalla piste vuoden 1999 kiintopisteeltä (KP2). Kaivausalue määritettiin Vuoden 1999 koeojan perusteella mittanauhoilla,

¹² Tutkimusten yhteydessä haluttiin tarkistaa, oliko vuosina 1997 ja 1999 jonovaihtuksella tehdyt korkeudensiirrot olleet onnistuneita.

¹³ Arkeologinen kaivaus tuhoaa kaikki kaivausalueen kulttuurikerrokset ja täyttövaiheessa alue peitetään sekoittuneella maa-aineksella. Kaivetun alueen maakerrokset on helppo erottaa värin ja rakenteen perusteella luontaisista koskemattomista huuhtoutumiskerroksista.

¹⁴ Yhdistetyssä mittauksessa maastotietokone on kytkettynä sekä takymetrimittalaitteeseen että GNSS-vastaanottimeen samanaikaisesti. Trimble Access -ohjelma voi vaihdella kahden kokeen välillä nopeasti saman työn sisällä (Trimble 2023).

ja merkittiin nurkkapaaluilla. Tämän jälkeen alueelta poistettiin pintaturve. Pintaturpeen poiston ja pintamaan puhdistuksen jälkeen alue kuvattiin dronella ja alueelta mitattiin pisteet ruudukkona puolen metrin välien sekä takymetrillä¹⁵ että maastotallentimella. Mittausten jälkeen aloitettiin ensimmäisen kaivaustason kaivaminen. Havaitut löydöt mitattiin paikoilleen takymetrillä ja maastotallentimella, minkä jälkeen löytö pussitettiin yhdessä tunnustekortin kanssa. Korttiin merkattiin löydön mittausdokumentoinnin mukainen juokseva numero. Mittauksen yhteydessä jokaiselle mittauspisteelle annettiin tunnustekoodi.

Kun ensimmäinen kaivaustaso oli kaivettu kauttaaltaan 5 senttimetrin syvyyteen, alue puhdistettiin, kostutettiin, kuvattiin dronella ja sen pinnasta mitattiin pisteet puolen metrin välein takymetrillä ja maastotallentimella. Tämän jälkeen aloitettiin seuraavan kaivaustason kaivaminen. Tämä prosessi toistettiin jokaisen kaivaustason kaivamisen jälkeen, kunnes todettiin, että ihmisen toiminnan aikaan saamat kerrostumat oli dokumentoitu ja voitiin todeta, että alue on kaivettu puhtaan luontaiseen pohjamaahan saakka.

3.3.5 Mittaustulosten analyysi

Mittaustulosten analyysissä oli tavoitteena tarkastella molemmilla mittalaitteilla mitattujen pisteiden keskinäistä etäisyyttä XY- ja Z-tasoissa. Analysointiin käytettiin QGIS- ja Excel-ohjelmistoja. Jotta mittauksia 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. Analyysissä käytettiin aineistojen shapefile-tiedostomuotoja. Aineistot ladattiin aluksi QGIS-ohjelmaan muokkaamattomina tasoina ja niitä tarkasteltiin ja verrattiin alustavasti näytöllä. Tämän karkean vertailun perustella valittiin ne mittauspistetyypit, joita tulitisiin

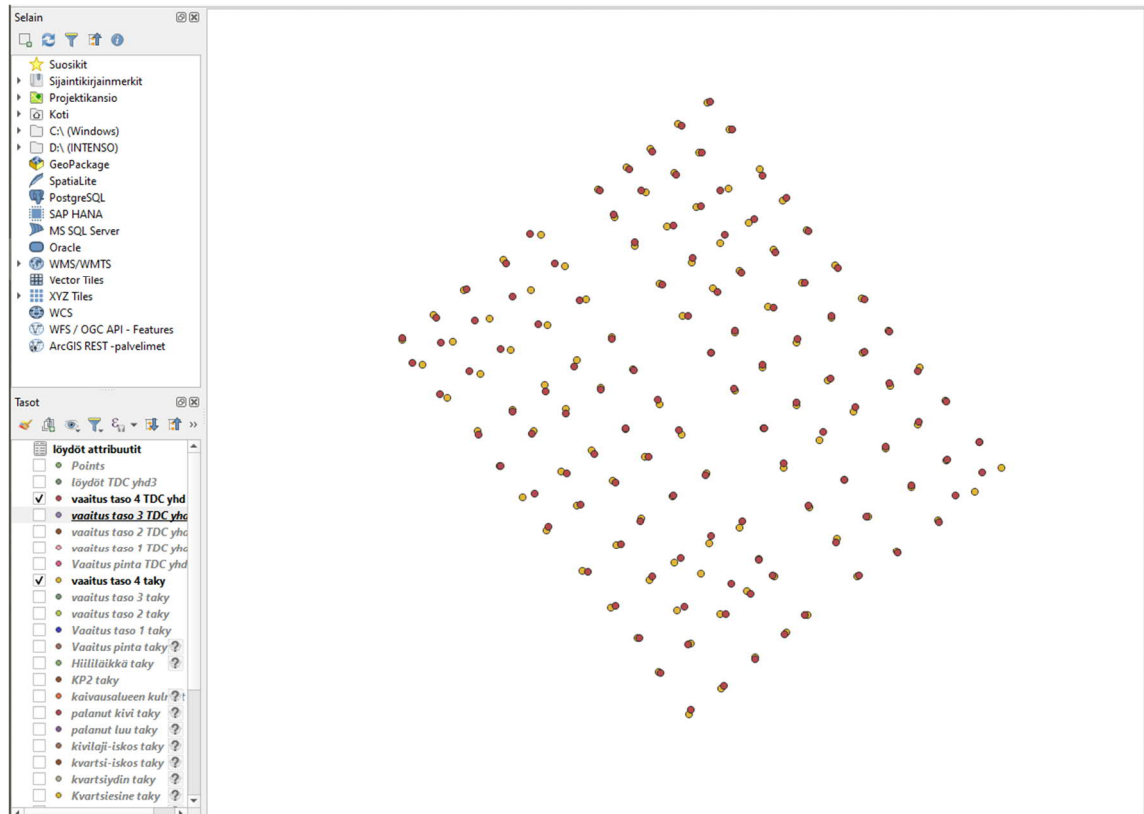
¹⁵ Jostain syystä takymetrin asemoinnissa oli tapahtunut ensimmäisenä työpäivänä jokin virhe, eikä laite mitannut ollenkaan korkeusarvoja. Näin ollen ensimmäisen päivän mittauksista on käytettävissä vain maastotallentimella mitatut korkeudet.

käyttämään varsinaisessa vertailuanalyysissä. Mitattaviksi pistetyypeiksi pyrittiin valitsemaan sellaisia tasoja, joissa kaikki tai lähes kaikki pisteet on mitattu sekä takymetrillä, että maastotallentimella. Vertailtaviksi tasoiksi valittiin kaivausten löydöt sekä kaikki kaivausalueen pintavaaitustasot.

Vaikka molempien laitteiden lähtöaineistot olivat samassa QGIS-ohjelmiston hyvin ymmärtämässä tiedostomuodossa, eivät ne olleet suoraan käytettävissä ilman muokkaamista. Takymetriltä ulos ladattu aineisto muodosti yhden kokonaisen shapefile-tiedoston, jossa eri mittauskohdetyypit pystyi erottamaan toisistaan attribuuttitaulun koodi (Code) -kentän tietojen perusteella. Maastotallentimen aineisto oli puolestaan edellä mainitun vastakohta, sillä koska mittausprojektille ei luotu omaa lomaketta, mitattiin jokainen mittauslaji omaan erilliseen projektiinsa. Näin ollen takymetrin aineisto oli ensin purettava ja maastotallentimen aineisto puolestaan yhdisteltävä haluttuihin QGIS-tasoihin, jotta aineistojen pisteet voidaan kohdistaa analyysiä varten.

Takymetrin shapefile-tiedosto purettiin QGIS-ohjelmiston prosessointityökalulla ”jaa vektoritaso kahtia (split vector layer)” attribuuttitaulun Code ID-kentän määrämänä erillisiksi tasoiksi. Näistä luoduista tasoista puolestaan yhdisteltiin tasoja ”Yhdistä (merge) vektoritasot” -työkalulla tarpeen mukaan niin, että saatiin luotua halutut vertailutasot. Esimerkiksi kaikki löytötyypit yhdistettiin yhdeksi tasoksi. Maastotallentimen lähtötiedostoissa kaikki löydöt oli tallennettu samaan projektiin, joten sitä ei tarvinnut muokata. Pintavaaitustasojen aineistoa jouduttiin hieman muokkaamaan. Taso 1:stä poistettiin osa mittauspisteistä, sillä ne oli alun perin mitattu väärällä mittaustavalla, eivätkä siten olleet kohdistettavissa takymetrillä mitattuihin pisteisiin. Tämän takia, myös takymetrimittausten taso 1:stä poistettiin 15 mittauspistettä, sillä niille ei ollut olemassa vastaavaa maastotallentimen mittausarvoa. Lisäksi pintavaaitustaso 4 oli maastotallentimella mitattu kahteen erilliseen projektiin, joissa oli mitattu osin samoja pisteitä. Yhteensä 16 mittauspistettä poistettiin tasosta duplikaatteina. Vertailtavia tasoja muodostettiin yhteensä 6 kappaletta: Löydöt, Vaaitus pinta, Vaaitus taso 1, Vaaitus taso 2, Vaaitus taso 3 ja Vaaitus taso 4.

Vertailtavien tasojen muodostamisen jälkeen tasojen pisteet on vielä kohdistettava. Alun perin kaikilla lähtöaineiston tiedostoilla on pisteille oma juokseva tunnistenumero. Koska keskenään vertailtavien tasojen toisiaan vastaavat pisteet sijoittuvat kartalla suurimmassa osassa tapauksista selkeästi pareittain lähelle toisiaan (Kuvio 12), päätettiin pisteiden kohdistamisessa käyttää QGIS ohjelmiston prosessointityökalua ”Join attributes by nearest”. Maastotallentimien mittausdatan attribuuttitauluja täyty hieman muokata ennen tasojen prosessointia työkalussa. Jostain syystä maastotallentimella mitattujen pisteiden mittausdata ei tullut automaattisesti näkyviin tasojen attribuuttitauluissa, toisin kuin takymetrimittaus- tasojen vastaavissa. Mittausdatasarakkeet saatiin kuitenkin näkyviin attribuuttitaulun ”field calculator” -työkalun avulla.



KUVIO 12. Vaaitustason 4 takymetri- ja maastotallenninmittauspisteet esitettynä QGIS-ohjelmiston näkymässä.

Pintavaaitustasoja yhdistettäessä pisteiden maksimietäisyydeksi valittiin muutama kokeilun jälkeen 30 senttimetriä ja yhdistettävien pisteiden maksimimääräksi yksi. Näin saatiin kaikki todellisuudessa molemmilla laitteilla mitatut olemassa

olevat pisteet paritettua. Löydöt-tasossa maksimietäisyydeksi valittiin 10 senttimetriä. Näin saatiin luotua taso, jonka attribuuttitaulun jokaisella rivillä on yhden pisteen molemmat mittaustiedot ja tunnisteet. Attribuuttitauluista poistettiin vertailun kannalta merkityksettömät sarakkeet sekä samaa dataa sisältävät sarakkeet, minkä jälkeen taulujen sisältö tallennettiin erilliseen tiedostokansioon CSV-muodossa Excelissä tapahtuvaa jatkokäsittelyä varten.

QGIS-ohjelmistolla muokattu mittausdata siirrettiin Exceliin laskentataulukoihin. QGIS-ohjelmiston "Join attributes by nearest" laskee automaattisesti yhdistettyjen pisteiden keskinäisen etäisyyden XY-tasossa omaan sarakkeeseensa, joten sitä ei tarvinnut vertailussa laskea enää Excelissä. Mitattujen pisteiden keskinäinen korkeusero Z-tasossa piti kuitenkin laskea Excelissä. Koska vertailussa vain pisteiden keskinäisellä etäisyydellä on merkitystä, ei sen suunnalla, muutettiin Z-tason etäisyyslaskennan negatiiviset tulokset positiivisiksi. Tämän jälkeen kaikkien kuuden mittaustaso aineistoista laskettiin pisteparien keskinäisten etäisyyksien keskiarvot ja keskihajonnat erikseen XY- ja Z-tasoissa. Havainnollistamis mielessä Z-tason laskennat tehtiin sekä negatiivisia arvoja sisältävälle etäisyys-datalle että positiiviseksi muutetulle datalle. Laskennan tulokset on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Vertailutasojen mitattujen pisteiden keskinäisten etäisyyksien keskiarvot ja keskihajonnat vertikaali- ja horisontaalitasossa (arvot metreinä).

Vertailutaso	KA xz	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

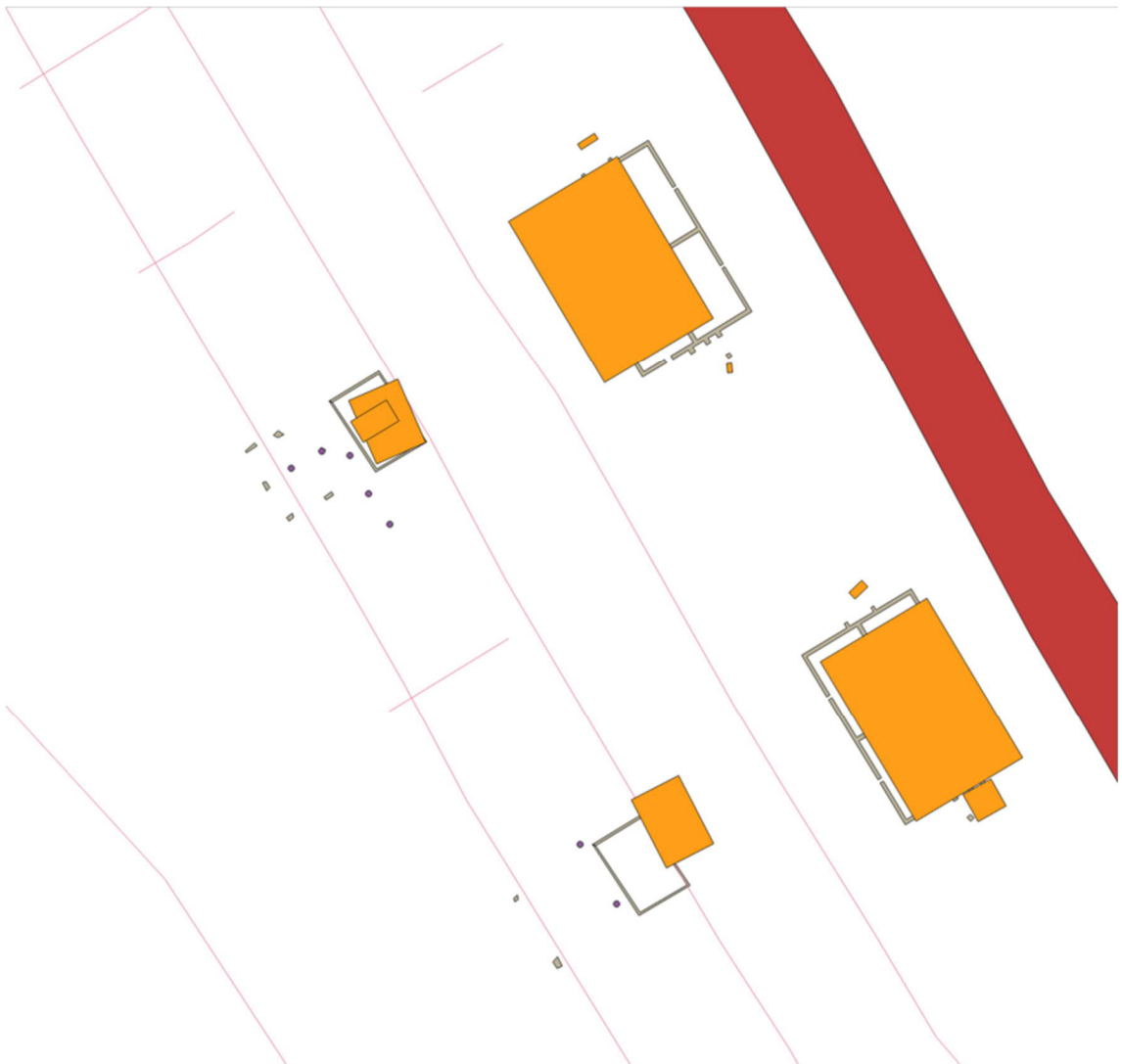
3.3.6 Tulokset ja pohdinta

Mittausaineiston käsittelyn yhteydessä alkoi hyvin pian käydä ilmi, että takymetri- ja maastotallenninmittauksissa on suuria eroja ja heittelyä. Oheisesta taulukosta (taulukko 2) 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. Z-suunnassa etäisyyksien vaihteluväli on hieman suurempi 4–11 senttimetrin välillä, mikä oli odotettavissa, sillä GNSS-mittauksen keskivirhe on korkeussuunnassa tasoa suurempi. Z-suunnan keskihajontalukemat ovat myös hyvin suuria, mikä viittaa siihen, että mittaustuloksissa on hyvin suurta etäisyyden vaihtelua.

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 mittaustulokset 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.

Mittaustulokset eivät siis tue maastotallentimen käyttöä tasokaivaustutkimuksen dokumentointilaitteena, mutta mitkä tekijät aiheuttavan laitteen selkeästi heikentyneen mittatarkkuuden verrattuna valmistajan ilmoittamaan tarkkuuteen (10mm/15mm vertikaali/horisontaali)? Virhelähteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään – mittausolosuhteisiin ja inhimillisiin tekijöihin. Mittausolosuhteista keskeisin heikentävä tekijä on peitteinen maasto. Tutkimusalue sijaitsee nuorella kasvatusvaiheessa olevassa mäntymetsässä. Maaston peitteisyys aiheutti haasteita GNSS-vastaanottimien satelliittisignaalien vastaanotossa. Maastotallentimessa käytetty Penmap for Android -sovellus ilmoitti tutkimusten aikana yllättävänkin tarkkaa tarkkuuslukemaa siihen nähden, että samassa peitteisessä maastossa R8-satelliittivastaanottimilla kiintopisteiden mittaaminen ei onnistunut ollenkaan.

Maaston peitteisyys voi aiheuttaa maastotallentimen mittaustarkkuuteen hyvinkin suuria mittavirheitä. Esimerkiksi samalla mittalaitteella mitattiin aiemmin syksyllä 2021 Oulunsalon Varjakan sahan henkilökunnan asuntojen kivijalat. Kivijalat oli mitattu aiemmin kesällä 2019 takymetrillä. Kuviossa 13 on esitettyä molemmat mittaustulokset päällekkäin asemoituina. Kuvioista näemme, että oranssit ja violetit maastotallentimella tehdyt mittaukset heittävät pahimmillaan useita metrejä verrattuna harmaalla merkittyihin takymetrimittauksiin. Varjakan kohde sijaitsee erittäin sankassa vanhassa kuusikossa, missä satelliittien havaitseminen onnistui vain muutamilla aukkopaikoilla, kuten kuviossa näkyvällä tiellä (punainen).



Kuvio 13. Oulunsalon Varjakan sahan henkilökunnan asuntojen perustukset mitattuna takymetrillä (harmaa) ja TDC150-maastotallentimella (oranssi/violetti). (Kuva: Risto Nurmi ja Tiina Äikäs)

Toinen maasto-olosuhteisiin liittyvä virhelähde oli tutkimusalueen hyvin pehmeä hiekkainen maaperä. Takymetrin ja maastotallentimen mittajalan kärjen mittauspistettä oli lähes mahdotonta saada asetettua molemmilla mittauskerroilla täsmälleen samaan pisteeseen. Tämä on todennäköisesti vaikuttanut etenkin korkeusarvojen eroon ja selittäisi osaltaan selkeästi heikommat ja vaihtelevammat Z-suunnan mittaustulokset. Mittajalkojen asettaminen mittauspisteeseen on osaltaan sekä maasto-olosuhteista johtuva, että inhimillinen virhelähde. Mittauksen suorittava henkilö kuitenkin viime kädessä päättää, miten mittajalka asetetaan ja milloin itse mittaus tehdään. Mittajalan suoruus on myös mittaustarkkuuteen vaikuttava inhimillinen tekijä. Sekä takymetrin mittajalassa että maastotallentimessa on vaakain, jonka perusteella laite asetetaan suoraan ennen mittauksen suorittamista. Maasto-olosuhteissa vapaalla kädellä mitattaessa mittauksessa tulee vaakaimista huolimatta kuitenkin todennäköisesti runsaasti laitteiden sivuttaisliikkeestä johtuvia mittavirheitä.

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 olisi todellisen kaivaustutkimustilanteen kaltainen. Mallinnetussa koetilanteessa mittaus tulisi suorittaa siten, että sekä takymetrin mittasauva, että maastotallennin asetetaan kiinteään mittauspisteen päälle telineeseen tuettuna ja koemittaukset suoritettaisiin sekä avoimessa että peitteisessä maastossa. Tällä tavalla mitattuja vertailulukemia voitaisiin sitten verrata esimerkiksi tämän koetutkimuksen tuloksiin ja voitaisiin pohtia, kuinka suuri vaikutus todellisen tutkimuskaivaustilanteen maastollisilla ja inhimillisillä tekijöillä on mittaustarkkuuteen verrattuna simuloituun koetilanteeseen.

4 YHTEENVETO

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin Trimble TDC150 -maastotallentimen soveltuvuutta arkeologisissa kenttädokumentoinneissa kolmen tavoitteiltaan ja mittatarkkuusvaatimuksiltaan toisistaan poikkeavan tapaustutkimuksen avulla. Ensimmäisessä tapaustutkimuksessa laitetta käytettiin arkeologisessa maastoinventoinnissa kohteiden paikantamiseen, mittaamisen ja dokumentointiin. Toisessa tapaustutkimuksessa laitetta käytettiin arkeologisessa kohdeinventoinnissa yksittäisen kohteen ja siihen liittyvien ilmiöiden ja elementtien dokumentointiin. Kolmannessa tapaustutkimuksessa laitetta käytettiin arkeologisen tasokaivaustutkimuksen mittausdokumentaatioon ja mittausten tuloksia verrattiin rinnalla tehtyihin takymetrimittauksiin.

Mittaustarkkuuden osalta voidaan yhteenvetona 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 ja tietoliikenneyhteyden vahvuus 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 tasokaivaustutkimuksissa.

Laitteen muut dokumentointiominaisuudet ansaitsevat kiitosta. Penmap for Android -dokumentointisovellus lomaketoimintoinen on erittäin näppärä ja nopeuttaa maastodokumentointia huomattavasti. Penmapin laiteinfrastruktuuri pilvipalveluineen ja erillisine projektinluontiohjelmistoineen on toimiva. Penmap Project Manager -dokumentinluontiohjelmiston käyttöliittymää ja käytettävyyttä voisi tosin kehittää modernimmaksi. Se on ulkoasultaan ja käyttölogiikaltaan jo varsin vanhahtava.

Eniten kehitettävää on Penmap for Android -sovelluksessa. Ohjelma itsessään on toiminnaltaan ja käyttöliittymältään varsin toimiva ja kätevä ja sen käytön oppii nopeasti. Lukuisat ohjelmistovirheet ja puutteet kielivät kuitenkin tietynlaisesta ohjelman keskeneräisyydestä. Valmistaja onneksi kuuntelee käyttäjiä herkällä korvalla ja on valmis reagoimaan palautteeseen nopeasti. Jos sovelluksesta ja laitteesta saataisiin kehitettyä versio, joka pystyisi mukautumaan myös toimimaan verkkoyhteyden ulkopuolella (ymmärrettävästi mittatarkkuuden kustannuksella), laitteen käyttömahdollisuudet parantuisivat oleellisesti. Offline-karttojen käyttömahdollisuus, rasterimuotoisen ennakkodatan käyttömahdollisuus ja käytön riippumattomuus jatkuvasti toimivasta datayhteydestä olisivat ensisijaisia parannusehdotuksia. Vastaavia kilpailevia sovelluksia on jo olemassa. Esimerkiksi Avenza-maps sovelluksen maksullisessa versiossa voidaan käyttää taustakarttana georeferoituja pintamalleja offline-tilassa, jolloin säästetään monta turhaa välivaihetta ennakkodatan muokkaamisessa Penmapin ymmärtämään shapefile-vektorimuotoon.

Trimble TDC150 -maastotallennin poistui myynnistä tämän koetutkimuksen aikana. Valmistaja on korvannut sen uudella Trimble TDC650 -maastotallentimella. Uusi laite on fyysisiltä mitoiltaan hyvin samankokoinen kuin nyt testattavana ollut TDC150. Uudessa versiossa 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 perustuvaa RTX-paikannusta, 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). Trimble on tuonut markkinoille myös huomattavasti edullisemmän 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 puhelimen 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

[painossa]). Ja kun vielä otetaan huomioon, että MML:n RTK-palvelu on ollut saatavilla vuodesta 2021 alkaen, niin voidaan todeta, että erilaiset vaihtoehdot RTK-VRS-mittausdokumentointiin maasto-olosuhteissa tulenevat tulevaisuudessa kasvamaan ja kustannustaso laskemaan.

LÄHTEET

Alakärppä, J., Ikäheimo, J. & Ojanlatva, E. 1998. Oulun Peurasuo 1997 – myöhäiskivikautisen asuinpainanteen kaivaustutkimus. Meteli – Oulun yliopiston arkeologian laboratorion tutkimusraportti 15.

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&ttyyppi=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/raportti/read/asp/hae_liite.aspx?id=103413&ttyyppi=pdf&kansio_id=564.

Anttiroiko, N. 2022. LIDARK Arkeologisten kohteiden automaattinen tunnistaminen laserkeilausdatasta. Hanke-esittely 12.12.2022. Museovirasto.

Anttiroiko, N., Groesz, F. J., Ikäheimo, J., Kelloniemi, 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* Vol. 15, No 7, 1–20.

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*. Viitattu 17.1.2024 <https://insidengss.com/galileo-hits-the-spot-testing-gnss-dual-frequency-with-smartphones/>.

Geotrim 2023a. Trimnet, satelliittipaikannuksen korjauspalvelu. Viitattu 29.12.2023 https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA-bmsBhAGEiwAoaQNmhXpU-teibr-SMiU_dtenjNcaezUIzGIX3-L181gz3trm1IF9KcGdwRoC73oQAvD_BwE.

Geotrim 2023b. 1-2 cm:n RTK-tarkkuus reaaliaikaisiin mittaussovelluksiin. Viitattu 24.11.2023 <https://geotrim.fi/palvelut/trimnet-vrs/trimnet-vrs-pro-rtk/>.

Geotrim 2023c. Trimble Penmap. Viitattu 24.11.2023 <https://geotrim.fi/tuotteet/ohjelmistot/trimble-penmap/>.

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. Teoksessa G. Haggrén, P. Halinen, M. Lavento, S. Raninen & A. Wessman (toim.) *Muinaisuutemme jäljet, Suomen esi- ja varhais-historia Kivikaudelta keskiajalle*. Helsinki: Gaudeamus, 19–121.

Halinen, P., Immonen, V., Lavento, M., Mikkola, T., Siiriäinen, A. & Uino P. 2009. *Johdatus arkeologiaan*. Helsinki: Gaudeamus.

Hexagon 2023. HxGN SmartNet -palvelut. Viitattu 29.12.2023
<https://hxgnsmartnet.com/fi-fi/services>.

Huoviala, T. 2022. Merkittävä rakennelma meren rannalla. Kaleva 10.9.2022.
<https://www.kaleva.fi/raahesta-loytyi-valtava-kivikautinen-rakennelma-ku/4916570>.

Ikäheimo, J. 2021. Tervahautojen ilmalaserkeilausavusteinen työpöytäinventointi Suomussalmella. Muinaistutkija 3/2021, 2–15.

Isotalo, K. 2016. Laserkeilaus mullisti arkeologian. Positio 3/2016, 26–27. Viitattu 15.1.2024.
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiow4TQs9-DAxU5PxAIHZ47BJgQFnoECBQQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.paikkatietoikkuna.fi%2F%2Fdocument_library%2Fget_file%3Fuuid%3D37998274-da23-4fb2-bf2a-f51c2bee0ceb%26groupId%3D108478&usg=AOvVaw3FIV-ROz6-SHp4bCbv8myVm&opi=89978449.

Kapsi 2011. Aineistot. Viitattu 12.7.2021 <https://kartat.kapsi.fi/>.

Kapsi 2023. Kapsi Internet-käyttäjät ry. Viitattu 25.11.2023
<https://www.kapsi.fi/yhdistys/>.

Karera 2024. RTKnet. Viitattu 15.1.2024 <https://karera.fi/palvelut/>.

Kurth, J. 2021. Karttapohjan lataaminen WMS-rajapinnan kautta. Sähköposti risto.nurmi@oulu.fi 12.7.2021.

Kuusela, J.-M. & Matilainen, J. (painossa). Tarkkuusinventointeja Itä-Lapin rautakautisilla kohteilla Savukoskella ja Sallassa: Metallinilmaisimen käyttö kais-tainventoinnissa. Muinaistutkija 4/2023.

Lachlan, L. Ng. 2019. Positioning Performance Evaluation of Dual-frequency GNSS Observations from a Smartphone. Dept. of Infrastructure Engineering. Research Paper for CVEN90064. Viitattu 23.1.2024 https://frontiersi.com.au/wp-content/uploads/2020/06/Ng_2019_positioning_performance_evaluation_dual_frequency_gnss_smartphone.pdf.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi: Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Leppäniemi, J. 2020. GIS-mittalaitteen modernisointi ja käyttöönotto Kartometria Finland Oy:ssä. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikka. Insinööriyö.

Maanmittauslaitos 2023a. RTK-palvelu (Real Time Kinematic). Viitattu 12.11.2023 <https://www.maanmittauslaitos.fi/finpos/rtk>.

Maanmittauslaitos 2023b. Tuotannon tilannekartta. Viitattu 2.12.2023 <https://tilannekartta.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus>

Maanmittauslaitos 2024a. Korkeusmallit. Viitattu 2.1.2024. <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematietoa/korkeusmallit>.

Maanmittauslaitos 2024b. Muinaisjäännökset (Muinaisjäännösrekisteri) Avoin data. Viitattu 15.1.2024. [https://paikkatietojuottajat-koekaytto.maanmittauslaitos.fi/aineisto/e5265f1a-48f2-4353-970e-aab2cf57a98f/muinaisj%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6kset-\(muinaisj%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6srekisteri\)](https://paikkatietojuottajat-koekaytto.maanmittauslaitos.fi/aineisto/e5265f1a-48f2-4353-970e-aab2cf57a98f/muinaisj%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6kset-(muinaisj%C3%A4%C3%A4nn%C3%B6srekisteri)).

Maaranen, P. 2020. Muinaisjäännökset ja metallinetsin: harrastajan opas. Museoviraston oppaita ja ohjeita 11.

Matilainen, J. 2020. Satelliittipaikannus kuluttajalaitteilla. *Lumen* 2/2020, 1–11. <https://blogi.eoppimispalvelut.fi/lumenlehti/2020/04/15/satelliittipaikannus-kuluttajalaitteilla/>.

Muinaismuistolaki 17.6.1963/295.

Museovirasto 2023a. Arkeologisten kohteiden automaattinen tunnistaminen laserkeilausdatasta (LIDARK). Viitattu 2.1.2024 <https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuri-ymparisto/kulttuuriymparistopalvelut-tehtavat-ja-yhteistyotutkimus-ja-kehittaminen/lidark>.

Museovirasto 2023b. Kulttuuriympäristön palveluikkuna. Viitattu 23.11.2023 <https://www.kyppi.fi/palveluikkuna/portti/read/asp/default.aspx>.

Museovirasto 2023c. Metsänkäyttö ja arkeologiset kohteet. Viitattu 2.12.2023 <https://www.museovirasto.fi/fi/kulttuuriymparisto/arkeologinen-kulttuuriperinto/arkeologisen-kulttuuriperinnon-suojelu/metsankaytto-ja-arkeologiset-kohteet>.

NovAtel 2015. An Introduction to GNSS – A primer in using Global Navigation Satellite Systems for positioning and autonomy. Calgary: NovAtel Inc.

Ojanlatva, E. & Alakärppä, J., 2002. Interpretation of the Peurasuo house pit in Oulu. Teoksessa H.Ranta (toim.) *Huts and Houses. Stone Age and Early Metal Age Buildings in Finland*. Helsinki: Museovirasto, 109–122.

Okkonen, J. 2003. Jättiläisen hautoja ja hirveitä kiviröykkiöitä: Pohjanmaan muinaisten kivirakennelmien arkeologiaa. Oulun yliopisto. *Arkeologia. Väitöskirja*. <http://urn.fi/urn:isbn:951427170X>

Okkonen, J. & Ridderstad, M. 2009 Jätinkirkkojen aurinkosuuntauksia. Teoksessa J. Ikäheimo & S. Lipponen (toim.) *Ei kiveäkään kääntämättä – juhlaKirja Pentti Koivuselle*. Oulu: Pentti Koivusen juhlaKirjatoimikunta, 129–135.

Oulun yliopisto 2023. Opinto-opas 2022–2023, 687378S Arkeologisen tiedon hyödyntäminen ja välittäminen, 5 op. Viitattu 29.12.2023 <https://opas.peppi oulu.fi/fi/opintojakso/687378S/6364?period=2022-2023>.

Poutanen, M. 2016. Satelliittipaikannus. Helsinki: URSA.

Retscher, G. & Weigert, T. 2022. Assessment of a dual-frequency multi-GNSS smartphone for surveying applications. *Applied Geomatics* Vol. 14, 765–784. Viitattu 23.1.2024 <https://link.springer.com/article/10.1007/s12518-022-00467-7>.

Seitsonen, O. 2022. Tekoäly arkeologisen suojelun ja tutkimuksen tukena. *Positio* 11.5.2022. Viitattu 29.12.2023 <https://positio-lehti.fi/2022/05/tekoaly-arkeologisen-suojelun-ja-tutkimuksen-tukena/>.

Seitsonen, O. & Ikäheimo, J. 2021. Detecting archaeological features with airborne laser scanning in the Alpine tundra of Sápmi, Northern Finland. *Remote Sensing* Vol. 13 No 8, 1599. DOI: 10.3390/rs13081599.

Skantsi, L. 2023. Suoja-alueiden määrittämisperusteista. Sähköposti risto.nurmi@oulu.fi 3.11.2023.

Takala, H. 1998. *Arkeologian maastotöiden perusteet*. Helsinki: Helsingin yliopisto.

Tanska, T. 2011. Kokkola Roosin tontti, Maaperäkairauksen valvonta 23. ja 24.5.2011. Kokkola: K.H.Renlundin museo – Keski-Pohjanmaan maakuntamuseo.

Trimble 2019a. Trimble TDC150 Handheld datasheet. Westminster: Trimble Inc. Viitattu 24.1.2024 <https://www.geometius.nl/wp-content/uploads/2019/04/Brochure-Trimble-TDC150.pdf>.

Trimble 2019b. Trimble TDC150 Handheld user guide. S.L.:Trimble Inc.

Trimble 2020. Trimble Penmap Project Manager getting started guide. S.L.: Trimble Inc.

Trimble 2022. Trimble TDC650 Handheld datasheet. Westminster: Trimble Inc. Viitattu 24.1.2024. https://www.geonovus.lt/sites/default/files/022516-625_trimble_tdc650_handheld_ds_usl_0622_lrsec.pdf.

Trimble 2023. Yhdistetyt mittaukset. Trimble Access tukiportaali. Viitattu 29.12.2023 <https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/latest/fi/Integrated-surveys.htm>.

Trimble 2024a. About Trimble CenterPoint RTX. Viitattu 24.1.2024 <https://advancedairmobility.trimble.com/centerpoint.html>.

Trimble 2024b. Trimble Catalyst. Viitattu 17.1.2024 <https://geospatial.trimble.com/en/products/software/trimble-catalyst>.

Valtioneuvosto 2023. Arkeologista kulttuuriperintöä koskevan lainsäädännön uudistaminen: Työryhmän mietintö. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja: 2023:39. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/165219>

Vermeer, M. 2019. *Geodesia – Kaiken perusta*. Helsinki: Aalto-yliopisto.