

RAJAMERKKIEN SIJAIN TITARKKUUDEN
PARANTAMINEN JOUKKOISTETUILLA
ÄLYPUHELINMITTAUKSILLA

Luore/es-projekti 2021, Maanmittauslaitos

Kontiokoski Anuliina

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2022

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Anuliina Kontiokoski	Vuosi	2022
Ohjaaja	Sami Porsanger Pyy Kettunen (MML)		
Toimeksiantaja	Maanmittauslaitos		
Työn nimi	Rajamerkkien sijaintitarkkuuden parantaminen joukkoistetuilla älypuhelinmittauksilla		
Sivu- ja liitesivumäärä	44		

Tämä opinnäytetyö toteutettiin osana Maanmittauslaitoksen Luotettavaa tietoa kiinteistörekisteristä (Luore/es) -projektia. Kyseisessä pilottiprojektissa selvitettiin Pyykkijahti-pelin kautta, voivatko joukkoistaminen ja pelillistäminen toimia ratkaisuna rajamerkkien sijaintitiedon tarkentamiseksi kiinteistörekisterikartalla. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia älypuhelinmittauksilla kerätyn sijaintitiedon tarkkuutta sekä arvioida, voidaanko sitä hyödyntää kiinteistörekisterikartan peruspäivityksessä.

Älypuhelinmittausten tarkkuutta selvitettiin kartoitustyön ohella maastossa suoritettujen vertausmittausten avulla. Paikannusvirheen suuruutta tutkittiin vertaamalla Luore/es-projektissa kehitetyssä Pyykkijahti-pelissä kerättyä rajamerkkien sijaintitietoa niiden tarkkaan, RTK-mitattuun sijaintiin. Älypuhelinmittausten hyötyä kiinteistörekisterin tarkentamisessa tutkittiin vertailemalla älypuhelinmittauksen paikannusvirhettä rajamerkin kiinteistörekisterissä olevaan sijaintivirheeseen. Näiden lisäksi Pyykkijahdistä kerätystä kuva-aineistosta otettiin 400 kuvan satunnaisotanta, jonka avulla pyrittiin selvittämään, olivatko Pyykkijahdin pelaajien tallentamat kohteet oikeita rajamerkkejä. Kuva-aineistolle tehdyn luokittelun perusteella pelaajat olivat löytäneet oikeita rajamerkkejä hyvällä menestyksellä.

Opinnäytetyö toi arvoa Luore/es-projektille selvittämällä alustavasti älypuhelinpaikannuksen tarkkuutta. Vertausmittausaineiston ja älypuhelinmittausten vertailusta saatujen tulosten perusteella Pyykkijahdistä kerätty rajamerkkien sijaintitieto ei ollut riittävän tarkkaa, jotta sitä voisi hyödyntää kiinteistörekisterikartan tarkentamisessa. Työstä ja projektista saatujen tulosten perusteella Maanmittauslaitos on käynnistämässä jatkoprojektin, joka keskittyy älypuhelinmittausten tarkkuuden parantamiseen.

Avainsanat

älypuhelinpaikannus, Pyykkijahti, Maanmittauslaitos, joukkoistaminen, kiinteistörekisterikartta

Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Anuliina Kontiokoski	Year	2022
Supervisor	Sami Porsanger Pyrö Kettunen (NLS)		
Commissioned by	National Land Survey of Finland		
Subject of thesis	Enhancing Location Accuracy of Boundary Markers by Crowdsourced Smartphone Positioning		
Number of pages	44		

This thesis was commissioned by National Land Survey of Finland (NLS) and it was implemented as part of the Luore/es-project. The purpose of the project was to explore the possibilities of crowdsourcing and gamification as an alternative way to enhance boundary markers' location accuracy in the cadastre. In the project NLS developed the application called Pyykkijahti, a game that enables citizens to find and locate inaccurate markers by using their smartphones. The target of this thesis was to study how accurate geographic data can be collected by smartphone GNSS positioning and could the collected data be used to refine the location accuracy of cadastre border markers.

The accuracy of smartphone GNSS positioning was examined by comparing the data collected by smartphone GNSS measurements and real-time kinematic surveys performed in terrain. Finding out the inaccuracy of the smartphone GNSS positioning helped to estimate if the collected geographic data could be used to refine the location accuracy of the cadastre. Random sampling of 400 images collected from Pyykkijahti was also taken for the thesis. Images were used to estimate if the players had found real boundary markers from the terrain.

According to the results, smartphone GNSS positioning needs to be more accurate than the collected data to reach the wanted accuracy of the cadastre. Results show that citizens found boundary markers well and crowdsourcing is a potential way to help enhance accuracy of the cadastre. Based on the results of the thesis study and the project, NLS is starting a new project which concentrates on exploring the ways to refine the accuracy of smartphone GNSS positioning.

Key words

smartphone GNSS positioning, Pyykkijahti, NLS National Land Survey of Finland, crowdsourcing, cadastre

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 TAUSTAA	9
2.1 Yleistä älypuhelinpaikannuksesta	9
2.2 Maanmittauslaitos ja Suomen kiinteistörekisteri.....	11
2.3 Pyykkijahti.....	12
3 AINEISTO JA VERTAUSMITTAUKSET	15
3.1 Työn toteutus	15
3.2 Käytetty aineisto, ohjelmat ja tutkimusmenetelmät	15
3.3 Vertausmittaukset ja älypuhelinhavainnot.....	18
3.4 Joukosta poikkeavat havainnot.....	20
3.5 Paikannuskorjaus.....	22
4 ÄLYPUHELINMITTAUKSEN TARKKUUS JA HYÖDYNNETTÄVYYS	26
4.1 Älypuhelinmittauksen tarkkuus.....	26
4.2 Kiinteistöeksterikartan tarkentuminen	30
4.3 Kuva-aineisto	34
5 YHTEENVETO JA POHDINTA.....	37
5.1 Toteutus ja aineisto.....	37
5.2 Paikannusvirheet ja älypuhelinmittauksista saatu hyöty	38
5.3 Pyykkijahdilla kerätyn aineiston luotettavuus	40
6 JOHTOPÄÄTÖKSET	42
LÄHTEET	43

ALKUSANAT

Haluan kiittää Maanmittauslaitosta tästä mahdollisuudesta ryhtyä mielenkiintoiseen ja antoisaan opinnäytetyöprojektiin. Kiitos myös kaikille maastossa Pyykki-jahhti-mittauksia tehneille Maanmittauslaitoksen työntekijöille, joiden avulla vertausmittausaineistosta saatiin odotettua laajempi.

Kiitos koko Luore/es-projektiryhmälle, jonka jäseniltä sain neuvoa ja tukea opinnäytetyöprosessin ajan. Erityiskiitokset ohjaajanani toimineelle Pyry Kettuselle, jolta sain aktiivista ohjausta ja tukea sekä asiantuntevia neuvoja opinnäytetyöni sisältöön.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Rajamerkki	Maastossa oleva fyysinen merkki, joka osoittaa kiinteistörajan sijainnin. Rajamerkkejä eli rajapyykkejä on olemassa useita erilaisia. Yleisimmät tyypit ovat metallinen putkipyykki, kivistä tai puupaaluista rakennettu sekä betoninen rajamerkki.
RSK-luku	Rajamerkin sijainnin pistekeskivirhe on luku, joka kuvaa rajamerkin kiinteistörekisterikartalla olevan sijainnin arvoitua tarkkuutta (Kiinteistörekisterikartan rajamerkkien sijaintitarkkuus 2012, 7).
JAKO-järjestelmä	Maanmittauslaitoksen tietojärjestelmä, jolla ylläpidetään kiinteistörekisteriä.
Älypuhelinhavainto	Tässä työssä älypuhelinhavainnolla tarkoitetaan Pyykkijahti-websovelluksella kerättyä yksittäistä mittausta, jonka pelaaja ottaa tallentaessaan rajamerkin sijainnin.
Pyykkijahti-mittaus	Yhdestä tai useammasta Pyykkijahti-websovelluksella kerätystä älypuhelinhavainnosta muodostuva sijainti rajamerkille.
GNSS	Global Navigation Satellite System eli maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä.
FinnRef	GNSS-tukiasemista muodostuva Suomen valtakunnallinen tukiverkko (Maanmittauslaitos 2022a).
DGNSS	Differential GNSS-palvelu perustuu FinnRef-verkon tukiasemien perusteella tehtyihin sijaintikorjauksiin, joita käyttäjän vastaanotin hyödyntää paikantaessaan sijaintia (Maanmittauslaitos 2022b).
RTK-mittaus	Real Time Kinematics eli GNSS-mittaukseen perustuva tarkka mittaus, jossa sijainti lasketaan paikannuksen ja tukiaseman antamien reaaliaikaisten korjausten avulla (ESA 2011).
ETRS-TM35FIN	EUREF-FIN-datumiin pohjautuva, julkisen hallinnon suositusten mukainen Suomen kattava tasokoordinaattijärjestelmä (JHS 197 2016).

WGS-84

World Geodetic System. Maailmanlaajuisesti käytössä oleva koordinaattijärjestelmä. (GISGeography 2021.)

1 JOHDANTO

Maanmittauslaitoksen ylläpitämässä kiinteistörekisterissä on noin kolme miljoonaa rajamerkkiä, joiden tarkkaa sijaintia ei tunneta (Maanmittauslaitos 2021a). Kyseisten rajamerkkien sijaintia ei ole koskaan mitattu nykyaikaisilla mittalaitteilla, vaan niiden arvioitu sijaintitieto on tuotu rekisterikartalle esimerkiksi digitoimalla vanhoilta toimituskartoilta. Rajamerkkejä myös katoaa maastosta muun muassa metsähakkuiden ja ojankaivuiden myötä. Rajamerkkien epätarkka sijainti kiinteistörekisterikartalla aiheuttaa epäselvyyttä erityisesti kiinteistönomistajien keskuudessa, sillä kiinteistöjen rajat voivat poiketa kartalla todellisuudesta useita, jopa kymmeniä metrejä.

Marraskuussa 2020 Maanmittauslaitos käynnisti Luotettavaa tietoa kiinteistörekisteristä (Luore/es) -pilottiprojektin, jonka tarkoituksena oli selvittää, saadaanko kiinteistörekisterikarttaa tarkennettua joukkoistamisen ja pelillistämisen keinoin. Projektin myötä Maanmittauslaitos kehitti Pyykkijahti-nimisen, verkkoselainpohjaisen pelin, joka otettiin käyttöön 17.6.2021. Pelin toteutuksessa konsultoitiin Zoneatlas Oy:tä. Pyykkijahdissa pelaaja etsii maastosta sijaintitiedoltaan epätarkkoja rajamerkkejä ja tallentaa niiden todellisen sijainnin omalla älypuhelimellaan.

Opinnäytetyö on osa Luore/es-projektia ja se on tehty toimeksiantona Maanmittauslaitokselle. Projektille opinnäytetyö antaa lisäarvoa tutkimalla alustavasti älypuhelinpaikannuksen sijaintitarkkuutta ja luotettavuutta. Pyykkijahdin potentiaalin selvittämiseksi on tärkeää tietää, onko älypuhelimella mahdollista kerätä riittävän tarkkaa sijaintitietoa kiinteistörekisterikartan tarkentamiseksi.

Opinnäytetyö keskittyy selvittämään Pyykkijahdista kerätyn, älypuhelimella tallennetun sijaintitiedon tarkkuutta ja luotettavuutta vertaamalla sitä GNSS-paikantimella tehtyihin RTK-mittauksiin. Tämän lisäksi Pyykkijahdista kerätyn aineiston luotettavuutta arvioidaan analysoimalla kerättyä kuva-aineistoa. Joulukuussa 2021 päättyneestä alkuperäisestä projektista, jota tämä opinnäytetyö koskee, saatujen tulosten perusteella Maanmittauslaitos on käynnistämässä jatkoprojektin vuonna 2022. Jatko projekti keskittyy tarkemmin älypuhelinpaikannuksen tarkkuuden selvittämiseen sekä parantamiseen jälkilaskennan avulla.

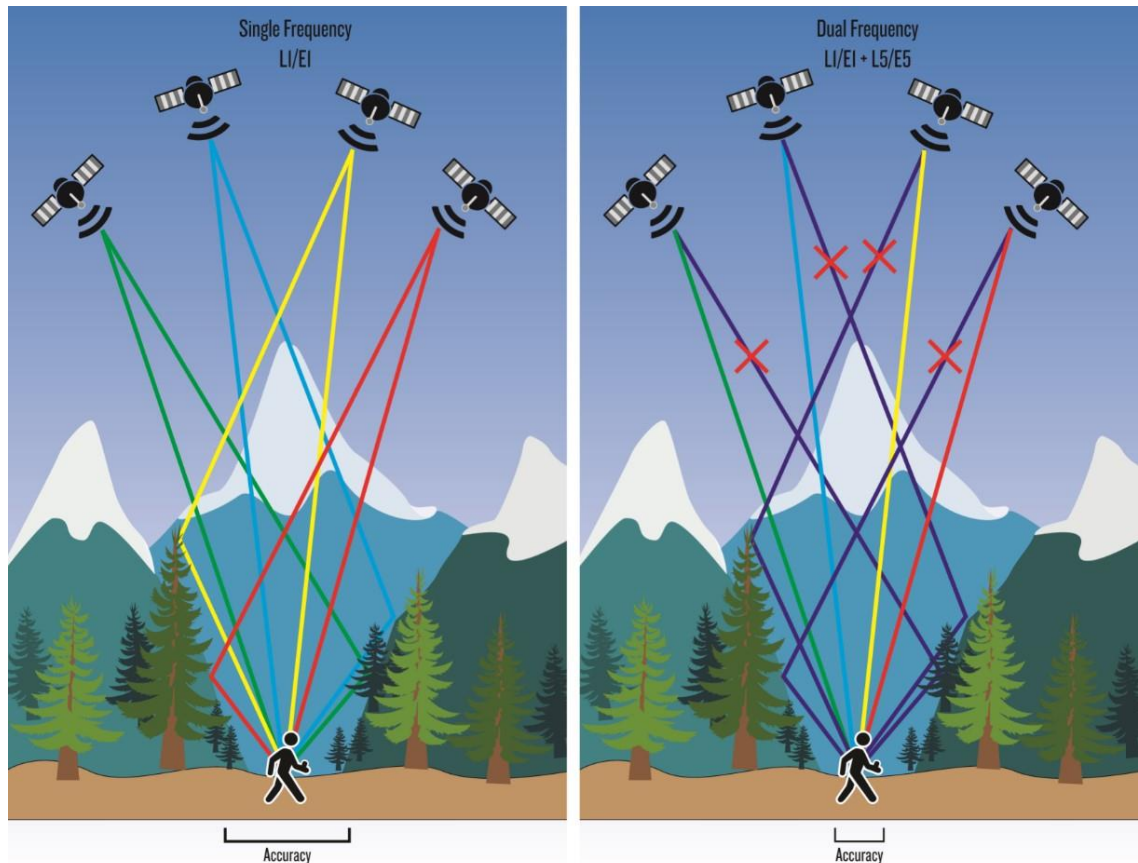
2 TAUSTAA

2.1 Yleistä älypuhelinpaikannuksesta

Älypuhelinpaikannustekniikan parantaminen tarkemman paikannustarkkuuden saavuttamiseksi on ollut laitevalmistajien ja tutkijoiden mielenkiinnon kohteena useita vuosia. Yleisesti käytössä olevalla tekniikalla älypuhelinpaikannuksen tarkkuus on vaihdellut 3–5 metrin välillä hyvissä olosuhteissa ja haastavissa olosuhteissa yli kymmenessä metrissä. Viime vuosina on tehty paljon kansainvälistä tutkimustyötä (mm. GSA:n GNSS Raw Measurements Task Force) desimetrin tai jopa senttimetrin tarkkuudella toimivan GNSS-paikannuksen tuomiseksi kuluttajien käyttöön älypuhelimissa. (Zangenehnejad & Gao 2021.)

Vuonna 2016 julkaistiin ensimmäinen käyttöliittymä (Android 7.0), joka mahdollisti GNSS-mittaukset älypuhelimella. Tämä käynnisti tutkijoiden kiinnostuksen kehittää tarkempaa GNSS-paikannusta suurille älypuhelinmarkkinoille. Vuonna 2018 julkaistiin ensimmäinen älypuhelin, joka käyttää kaksitaajuisia GNSS-paikannusta (E1/L1+E5/L5). Kyseisellä paikannustekniikalla voidaan poistaa esimerkiksi ionosfäärin tekemät vaikutukset paikannustulokseen. Tätä aiemmin älypuhelinpaikannustekniikka on perustunut yksitaajuiseseen GNSS-paikannukseen (E1/L1), joka mahdollistaa paikannuksen parhaimmillaan muutamien metrien tarkkuudella. (Zangenehnejad & Gao 2021.) Kaksitaajuinen paikannustekniikka on jo käytössä esimerkiksi valtaosassa uusimmista Android-älypuhelinmallissa (Dual-frequency GNSS on Android 2021).

Yksi- ja kaksitaajuisen paikannuksen erot on havainnollistettu kuviossa 1. Yksitaajuinen paikannus vastaanottaa yhdeltä satelliitilta vain yhden signaalin. Tästä poiketen kaksitaajuinen paikannus vastaanottaa useita signaaleja eri taajuuksista käyttäen ja on tekniikaltaan toimivampi haastavammassakin ympäristössä. Paikannustekniikka tunnistaa epätarkat, maastossa olevien kohteiden kautta heijastuvat signaalit, jolloin niiden paikannustarkkuutta heikentävä vaikutus saadaan poistettua. (Zangenehnejad & Gao 2021.)



Kuvio 1. Yksitaajuisen (single frequency) ja kaksitaajuisen (dual frequency) paikannustekniikan erot kuvattuna (Garmin 2022)

Aktiivisesta kehitystyöstä huolimatta älypuhelinpaikannuksen tarkentuminen senttimetritasolle ei ole aivan vielä ajankohtaista. Ensin tutkijoilla ja laitevalmistajilla on ratkaistavana useita ongelmia liittyen älypuhelimien tekniikkaan ja GNSS-havaintoihin, ympäristön tuomiin haasteisiin ja algoritmien kehittämiseen. Älypuhelimien antennitekniikkaa ja paikannukseen tehtäviä korjauksia on kehitettävä edelleen. (Zangenehnejad & Gao 2021.)

Tähän asti älypuhelinpaikannuksen tarkkuutta on testattu lähinnä hyvissä olosuhteissa ilman katvealueita, joten paikannuksen toimimisesta peitteisessä maastossa on vielä vähän kokemusta. Haasteista huolimatta älypuhelinpaikannuksen tarkentuminen ainakin desimetritarkkuuteen on vain ajan kysymys, sillä paikannustarkkuuden kehittämisestä ovat kiinnostuneet tutkijat, laitevalmistajat sekä teollisuuden toimijat. (Zangenehnejad & Gao 2021.)

2.2 Maanmittauslaitos ja Suomen kiinteistörekisteri

Maanmittauslaitos on maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalaan kuuluva valtion virasto, jonka perustehtävät on säädetty laissa Maanmittauslaitoksesta 1025/2018. Sen perustehtäviin kuuluvat muun muassa kiinteistötoimituksien suorittaminen, rekisterien ylläpitäminen, peruspaikkatietojen ja asiantuntijapalvelujen tuottaminen sekä tieteellisen tutkimus- ja kehittämistoiminnan harjoittaminen. (Laki Maanmittauslaitoksesta 1025/2018 2 §.)

Maanmittauslaitoksella työskentelee noin 1600 työntekijää 36 paikkakunnalla Suomessa (Maanmittauslaitos 2022c). Vuonna 2015 Geodeettinen laitos yhdistettiin Maanmittauslaitokseen ja sen nimeksi muutettiin Paikkatietokeskus FGI (Maanmittauslaitos 2022d). Paikkatietokeskuksen toiminta keskittyy paikkatietoalan tutkimuksiin sekä asiantuntijatyöhön (Maanmittauslaitos 2022e).

Suomen kiinteistörekisteri on Maanmittauslaitoksen ja useiden kiinteistörekisteriä pitävien kuntien yhdessä ylläpitämä rekisteri, joka sisältää kiinteistöjen sijainti- ja ominaisuustiedot. Kiinteistörekisteri on osa kiinteistötietojärjestelmää ja sen pitämisestä on säädetty kiinteistörekisterilaissa 392/1985. (Maanmittauslaitos 2022f.)

Suomen maanmittauksen historia ulottuu 1600-luvulle saakka. Nykyinen kiinteistörekisteri muodostuu eri aikoina tuotetusta ja yhteen kerätystä tiedosta, josta johtuen rekisterissä on edelleen paljon epätarkkuuksia ja puutteita muun muassa kiinteistöjen sijaintitiedoissa ja pinta-alatiedoissa (Maanmittauslaitos 2022f). Vanhimmat olemassa olevat rajamerkit on perustettu maastoon reilusti yli sata vuotta sitten, eikä niitä kaikkia ole mitattu nykyaikaisilla GNSS-paikantimilla tai takymetreilla. Tästä johtuen rajamerkkien sijaintitieto kiinteistörekisterissä voi olla hyvin epätarkkaa.

Näitä sijaintitiedoltaan epätarkkoja rajamerkkejä on Suomessa noin kolme miljoonaa (Maanmittauslaitos 2021a). Kiinteistörekisterikartan sijaintitarkkuutta on perusparannettu tähän asti kartoittamalla kiinteistötoimitusten yhteydessä vanhoja, maastossa olevia rajamerkkejä. Tämä on kuitenkin hidas ja kallis tapa parantaa kiinteistörekisterin tarkkuutta. (Maanmittauslaitos 2021b). Nykyaikana yksityiset henkilöt pääosin luottavat Maanmittauslaitoksen tuottaman sähköisen

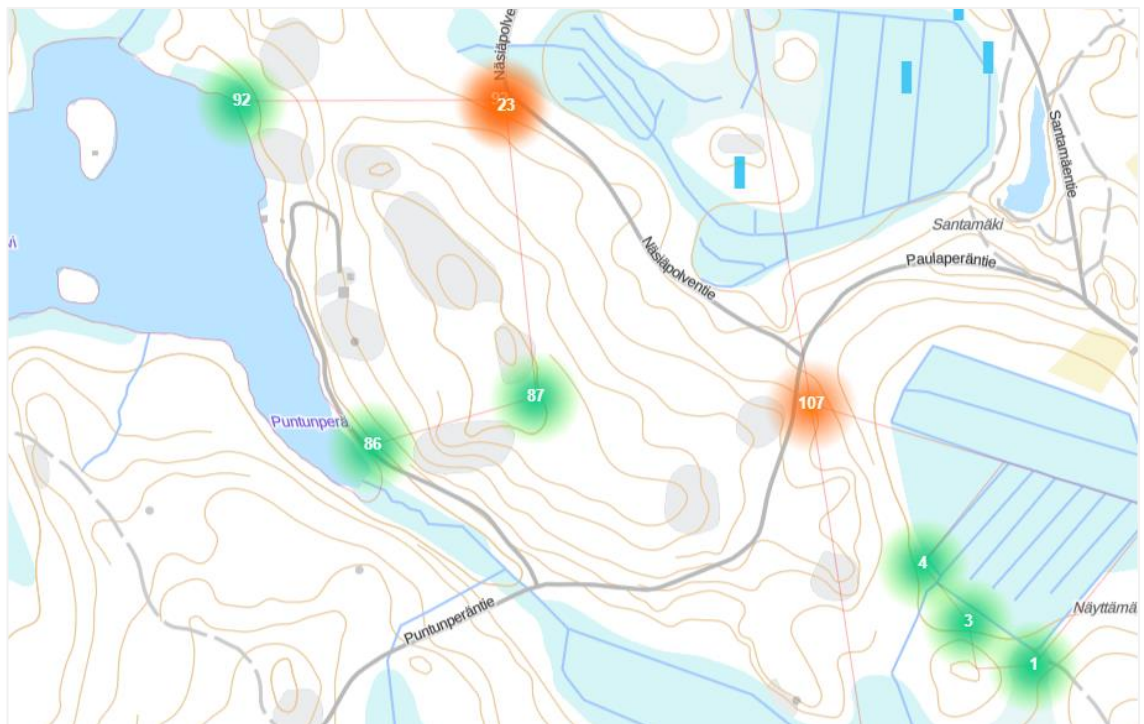
kiinteistörekisterikartan sisältämään sijaintitietoon kiinteistöjen rajoista, vaikka todelliset kiinteistörajojen sijainnit selviävät maastossa olevista rajamerkeistä.

Suomen kiinteistörekisteriin sisältyvällä kiinteistörekisterikartalla kuvataan rajamerkkien arvioitua koordinaattien tarkkuutta RSK-lukujen avulla. Rajamerkkien RSK-luvun määrittämiseksi Maanmittauslaitos on listannut vakiintuneet arvot, jotka on tallennettu rajamerkkien tietoihin JAKO-järjestelmään. Huonoimman RSK-arvon, 4 ja 8 metriä, omaavien rajamerkkien arvioitu sijaintitieto on tuotu järjestelmään digitoimalla sijainti vanhoilta toimituskartoilta. Takymetrilla maastomitatut rajamerkit, joiden mittausta ei ole voitu sitoa tarkkoihin lähtöpisteisiin, ovat RSK-luvuiltaan 0,5–1 metriä. Signaloitujen rajamerkkien, joiden sijainti on mitattu ilmakuvien perusteella, RSK-luku on 0,25 metriä. Nykyaikaisin menetelmin, eli takymetri- tai RTK-mittauksin kartoitettujen rajamerkkien RSK-luvuksi merkitään 0,10–0,20 metriä. RSK-luku ilmaisee rajamerkin sijainnin laskennallista keskivirhettä. (Kiinteistörekisterikartan rajamerkkien sijaintitarkkuus 2012, 5.) Sen perusteella ei siis voida suoraan päätellä, montako metriä rajamerkin todellinen sijainti eroaa rekisterikartalla olevasta koordinaatista. Esimerkiksi joillain alueilla RSK-luvulla 4 ja 8 olevat rajamerkit voivat erota sijainniltaan rekisterikartalla jopa kymmeniä metrejä todellisuuteen nähden.

2.3 Pyykkijahti

Pyykkijahti on Maanmittauslaitoksen ja Zoneatlas Oy:n yhteistyössä kehittämä websovellus, jonka tarkoituksena on tutkia ja pilotoida joukkoistamista keinona kiinteistörajojen sijainnin tarkentamiseksi kiinteistörekisterissä. Sen kehittäminen kuului Maanmittauslaitoksen Luotettavaa tietoa kiinteistörekisteristä (Luore/es) -projektiin, joka käynnistyi 26.11.2020. Pyykkijahdissa ideana on, että pelaajat etsivät maastosta Pyykkijahdissa näkyviä, kartoittamattomia rajamerkkejä, joiden sijaintitarkkuus rekisterissä (RSK-luku) on yli yksi metri. Rajamerkin löydettyään pelaaja ottaa rajamerkistä kuvan sekä paikantaa ja tallentaa sen sijainnin älypuhelimellaan selaimessa toimivaan Pyykkijahti-sovellukseen. Jos rajamerkkiä ei löydy maastosta, sen voi ilmoittaa sovelluksessa kadonneeksi.

Jokaisesta löydetystä ja bongatusta rajamerkistä pelaaja saa kaksi pistettä. Tavoitteena on, että Pyykkijahdissa samalta rajamerkiltä kerättäisiin useampi havainto eri käyttäjiltä, jolloin kerättyä sijaintitietoa saadaan tarkennettua useamman älypuhelinmittauksen myötä. Pyykkijahti-pelaaja saa kerättyä itselleen yhden pisteen, mikäli hän käy mittaamassa jonkun toisen pelaajan jo aiemmin löytämän rajamerkin. Rekisteröityneiden pelaajien keräämät pisteet näkyvät sovelluksen pistetaulukossa. Kuviossa 2 on kuva Pyykkijahdin karttanäkymästä. Vihreät pisteet kuvaavat epätarkkoja rajamerkkejä, joita ei ole vielä mitattu kenenkään pelaajan toimesta. Mitatut rajamerkit näkyvät kartalla oransseina.



Kuvio 2. Pyykkijahti-pelin karttanäkymä (Pyykkijahti 2022)

Pyykkijahdin pilotti lanseerattiin 17.6.2021, jolloin käynnistyi myös elokuun loppuun kestänyt Pyykkijahti-haaste. Kilpailua markkinoitiin Pyykkijahdin ja Maanmittauslaitoksen verkkosivuilla, radiossa, uutisissa, eri lehtijulkaisuissa sekä sosiaalisessa mediassa. Lisäksi markkinointia kohdennettiin Pirkanmaalle Ylöjärven alueelle, jossa paikallisille maanomistajille lähetettiin mainoskirje Pyykkijahdistä. (Luore/es-loppuraportti 2022.)

Yksittäisiä älypuhelinmittauksia oli kertynyt Pyykkijahdissa 28.10.2021 mennessä noin 22 000 ja pelissä mitattuja rajamerkkejä yhteensä noin 17 000 kappaletta. Pelin suosio oli siis kohtuullisen suurta ja saapunut asiakaspalaute oli pääosin positiivista. Pilottiprojektista saatua sijaintitietoa ei ole toistaiseksi käytetty kiinteistörekisterin perusparantamiseen. (Luore/es-loppuraportti 2022.)

3 AINEISTO JA VERTAUSMITTAUKSET

3.1 Työn toteutus

Tässä opinnäytetyössä tutkimus älypuhelinpaikannuksen paikannustarkkuudesta ja hyödyllisyydestä kiinteistörekisterin tarkentamisessa on toteutettu suoritettujen vertausmittausten (luku 3.3) sekä niiden ohessa tehtyjen älypuhelinmittausten pohjalta. Kyseessä on määrällinen tutkimus, jossa Pyykkijahdistä kerättyä paikannustietoa on verrattu rajamerkkien tarkkaan, RTK-mitattuun sijaintiin sekä kiinteistörekisterissä olleeseen rajamerkin sijaintivirheeseen.

Maanmittauslaitoksen Luore/es-projektia varten älypuhelinpaikannuksen tarkkuudesta laadittiin erillinen Pyykkijahti-mittausten mittaustarkkuus ja luotettavuus-niminen raportti, joka on osa opinnäytetyötä. Opinnäytetyö sisältää raportin tekstejä, kuvioita ja taulukoita.

Saatujen tulosten havainnointi sekä niiden tulkinta on tehty pyrkien objektiivisyyteen ja puolueettomuuteen. Mahdolliset tilastoharhat on pyritty tunnistamaan ja huomioimaan tulosten kuvaamisessa. Vertausmittausaineiston käsittely ja tietojen suodattaminen vaativat erityistä tarkkuutta virheiden välttämiseksi. Aineistoa käsitellessä virheet on pyritty minimoimaan aineiston huolellisella tarkastelulla ja useilla tarkistuksilla.

3.2 Käytetty aineisto, ohjelmat ja tutkimusmenetelmät

Älypuhelinmittausten mittaustarkkuuden tutkimisessa lähtöaineistona käytettiin Pyykkijahdistä kerättyä aineistoa. Aineisto sisältää Pyykkijahdissa 28.10.2021 saakka kerätyn datan. Tämän opinnäytetyön suorittamiseksi tärkeimmät Pyykkijahti-aineiston sisältämät tiedot ovat rajamerkkien tunnistetiedot, koordinaatit ja paikannuskorjaus sekä niiltä otetut valokuvat. Lähtöaineistossa älypuhelinmittausten koordinaatit ovat WGS84-koordinaatistossa (EPSG:4326). Vertausmitattujen rajamerkkien osalta näille koordinaateille lisättiin QGIS:n koordinaattimuutostyökalulla arvot myös ETRS-TM35FIN-koordinaatistossa (EPSG:3067), jossa vertausmittausaineisto on. Kuviossa 3 on Pyykkijahdistä kerättyä aineistoa QGIS-ohjelman attribuuttitaulussa.

Uusi materiaali xy — Kohteita yhteensä: 22166, Suodatettu: 22166, Valittu: 0

123 fid = 123

	dmarl	landmarkNumber	mark	landmarkMaterial	geolocation	x	y	
6109	132...	71	3	Yksikivinen	(2:22.84346558153629,68....	329096,1077249...	7589461,140125...	{ "ea
6110	110...	34	0	Ei määritelty	(2:22.8460762,61.811623)	281192,8374067...	6860190,503082...	{ "ea
6111	110...	36	0	Ei määritelty	(2:22.8474942,61.8123728)	281272,7949193...	6860269,13174862	{ "ea
6112	507...	11	0	Ei määritelty	(2:22.847744,60.582029)	272580,0808557...	6723416,043836...	{ "ea
6113	507...	81	0	Ei määritelty	(2:22.8478633,60.581821)	272585,146063218	6723392,496011...	{ "ea
6114	507...	17	0	Ei määritelty	(2:22.8486943,60.5821701)	272633,0739587...	6723428,449829...	{ "ea
6115	110...	2	3	Yksikivinen	(2:22.8499377,61.8100322)	281384,7269462...	6860000,547121...	{ "ea
6116	430...	15	0	Ei määritelty	(2:22.8499378,60.9542108)	275321,3303676...	6764805,362820...	{ "ea
6117	110...	20	0	Ei määritelty	(2:22.8506144,61.8113263)	281429,5438731...	6860142,220261...	{ "ea
6118	155...	91	1	Putki	(2:22.8518669,60.9534217)	275420,1074946...	6764710,974529...	{ "ea
6119	155...	61	1	Putki	(2:22.8521049,60.9526651)	275427,6454165...	6764626,002249...	{ "ea

Kuvio 3. Pyykkijahdista kerättyä aineistoa QGIS attribuuttitaulussa

ETRS-TM35FIN-koordinaattien lisäyksen jälkeen aineisto vietiin Excel-tiedostoon. Samaan tiedostoon koottiin lisäksi vertausmitattujen rajamerkkien tarkat sijainnit sekä rekisterikartalla olevat vanhat epätarkat sijainnit, jotka tuotiin Maanmittauslaitoksen käyttämästä JAKO-järjestelmästä. Käsiteltävän vertausmittausaineiston kohdalla Microsoft Excel todettiin riittäväksi ja ominaisuuksiltaan taipuvaksi ohjelmistoksi aineiston vertailulle.

QGIS:lla tehty koordinaattimuunnos ei ota ajantasaisesti huomioon koordinaatteihin vaikuttavaa, maankohoamisen ja laattaliikkeiden tuomaa muutosta. Tästä johtuen vertausmittausaineistossa on huomioitu kyseiset muutokset vakiokorjauksena, joka lisättiin jokaiseen älypuhelinhavainnon koordinaattiin. Kyseisen korjauksen vaihtelun havaittiin olevan Pohjois- ja Etelä-Suomen välillä muutamia senttimetrejä, joten vertausmittausaineistossa päädyttiin käyttämään yhtä vakio- korjausta kaikille koordinaateille. Vakiokorjaus on -0,61 metriä pohjoiskoordinaatilla ja -0,48 metriä itäkoordinaatilla, etäisyytenä 0,78 metriä. Vertausmittausaineistossa se pienensi keskimääräistä älypuhelinmittausten paikannusvirhettä 0,18 metriä, eli korjaus siirsi mitattua havaintoa lähemmäksi rajamerkin tarkkaa sijaintia.

Älypuhelinhavaintojen sekä rajamerkin tarkan ja vanhan epätarkan sijainnin välistä etäisyyksiä laskettiin Excelissä suorakulmaisena etäisyyslaskentana Pythagoraan lauseen mukaisesti. Kuvion 4 ylälaidassa on näkyvillä Exceliin syötetty kaava, jolla laskettiin älypuhelinmittauksen ja rajamerkin tarkaksi tiedetyn sijainnin välimatka eli paikannusvirhe.

P5 X ✓ fx =NELIÖJUURI(POTENSSI(L5-J5;2)+POTENSSI(M5-K5;2))								
	I	J	K	L	M	N	O	P
4	havainnot	ka (E)	ka (N)	GNSS (E)	GNSS (N)	vanha RSK (E)	vanha RSK (N)	paikannusvirhe ka - GNSS
5	3	316775,898	6774617,008	316776,529	6774614,738	316776,710	6774609,432	2,356
6								
7								
8	3	316781,249	6774666,570	316782,547	6774661,476	316783,001	6774660,054	5,257
9								
10								
11	4	320953,404	6826457,007	320948,715	6826454,565	320949,108	6826454,259	5,286
12								
13								
14								
15	3	327072,911	6866398,587	327070,889	6866400,407	327070,702	6866399,986	2,721
16								
17								
18	2	327177,693	6866378,592	327180,574	6866377,002	327180,307	6866376,731	3,290
19								
20	2	327920,508	6865143,080	327920,612	6865141,935	327921,311	6865141,268	1,150
21								

Kuvio 4. Älypuhelinmittauksen paikannusvirheen laskeminen Excel-ohjelmalla

Aineiston vertailussa ja tulosten analysoimisessa tärkeimpiä käytettyjä funktioita ovat keskiarvo, keskihajonta sekä mediaani. Keskihajonta on laskettu Excelin KESKIAJONTA.S-funktiolla, joka arvioi populaation keskihajonnan otoksen perusteella. Funktio käyttää laskennassa seuraavaa kaavaa:

$$\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (1)$$

missä

x on otoksen keskiarvo

n on otoksen suuruus.

3.3 Vertausmittaukset ja älypuhelinhavainnot

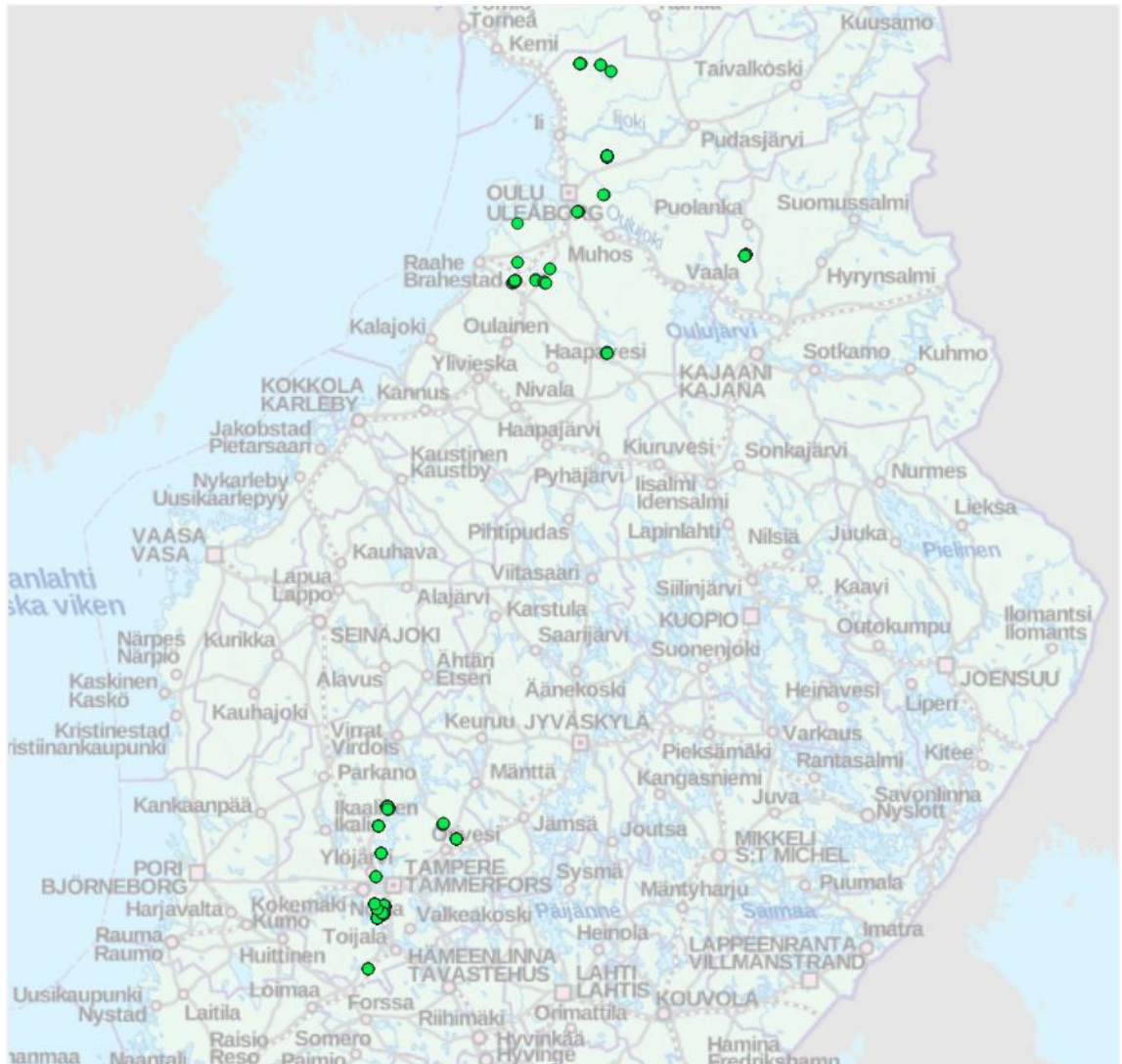
Vertausmittausaineistoa kerättiin kesän 2021 aikana kuuden Maanmittauslaitoksen työntekijän kartoitustyössä suorittamista Pyykkijahti-mittauksista. Vertausmitattujen rajamerkkien tarkka sijainti mitattiin GNSS-paikantimilla (Topcon Hiper HR) otetuilla RTK-mittauksilla (kuvio 5). Lisäksi rajamerkeiltä tallennettiin yksi tai useampi älypuhelinhavainto Pyykkijahti-sovelluksessa. Vertausmittauksia suoritettiin muiden kartoitustöiden ohessa satunnaisesti sopivassa mittaustilanteessa.



Kuvio 5. Rajamerkin kartoittaminen RTK-mittauksella (Heikkilä 2021)

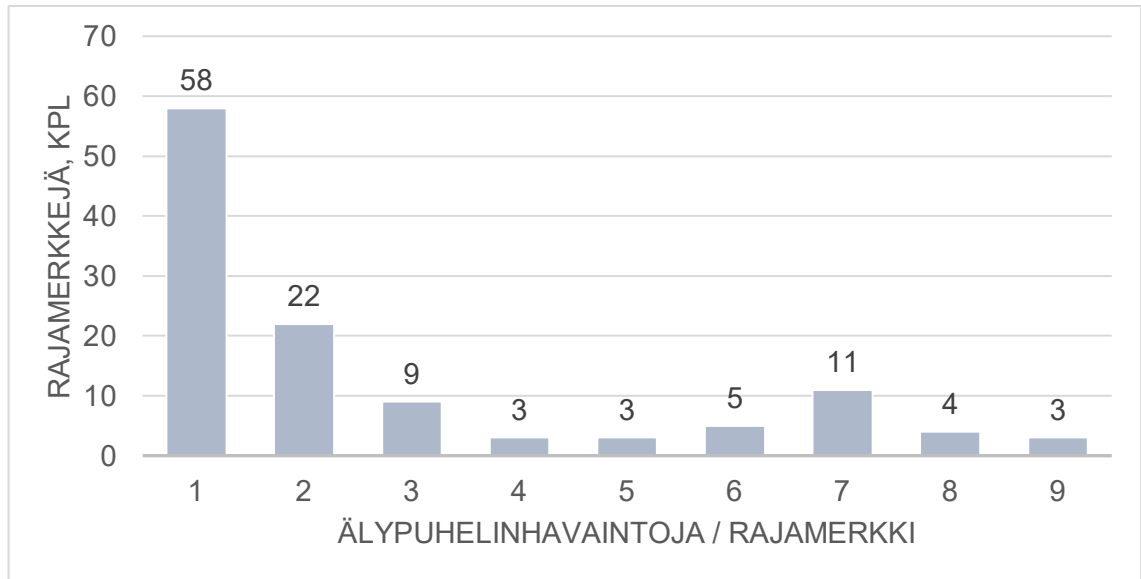
Vertausmitattujen rajamerkkien älypuhelinhavainnot on suurimmin osin kerätty samana ajankohtana ottaen yhdellä tai kahdella älypuhelimella 1–9 havaintoa rajamerkiltä Pyykkijahti-sovelluksessa. Tästä johtuen vertausmitatuilta rajamerkeiltä kerätty Pyykkijahtiaineisto ei vastaa täysin ajateltua normaalitilannetta, jolloin älypuhelinhavainnot kertyisi samalta rajamerkiltä eri ajankohtina ja useamman mittajaan toimesta.

Edellä mainituista, huomioitavista tekijöistä huolimatta vertausmitatuilta rajamerkeiltä kerättyjen Pyykkijahti-mittausten tarkastelemista voi pitää oikeaa suuntaa antavana keinona selvittää älypuhelinmittausten luotettavuutta. Kuvion 6 kartassa on kuvattu vertausmitattujen rajamerkkien sijainnit. Vertausmittauksia on suoritettu pääosin Pirkanmaan ja Pohjois-Pohjanmaan alueilla.



Kuvio 6. Vertausmitattujen rajamerkkien sijainnit kartalla

Vertausmitattuja rajamerkkejä on yhteensä 118 kappaletta, joilta on kerätty yksittäisiä älypuhelinhavaintoja yhteensä 322. Rajamerkkejä, joilta on kerätty yksi älypuhelinhavainto, on 48 % eli 58 kappaletta vertausmittausaineiston rajamerkeistä. Kahden ja sitä useamman havainnon rajamerkkejä on 60 kappaletta (52 %). Kuviossa 7 on esitetty vertausmitatuilta rajamerkeiltä kerättyjen älypuhelinhavaintojen lukumääriä.

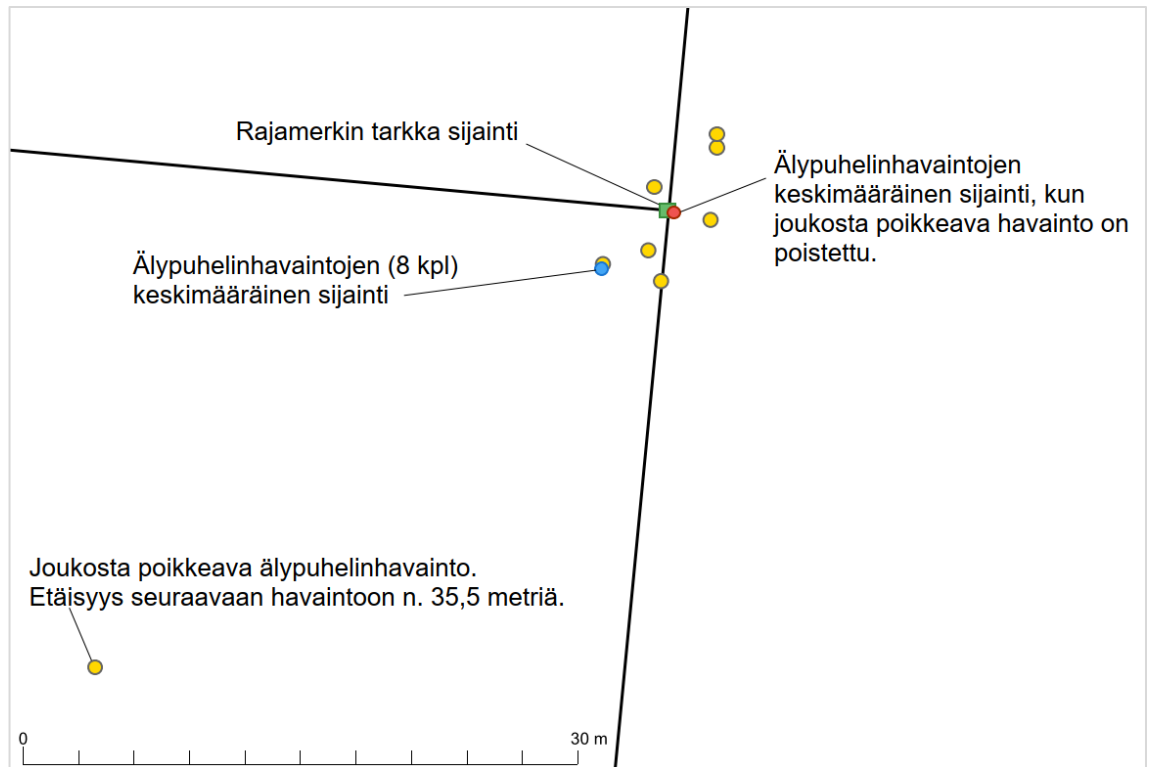


Kuvio 7. Älypuhelinhavaintojen määrän jakauma vertausmitatuilla rajamerkeillä

Kuviosta 7 ilmenee, että rajamerkkien määrä jakaantuu epätasaisesti luokkien välillä. Tästä johtuen rajamerkiltä tallennettujen älypuhelinhavaintojen lukumäärän vaikutusta mittaustarkkuuteen arvioitaessa (luku 4.1) tulee ottaa huomioon luokkien välillä oleva tilastollisen varmuuden vaihtelu.

3.4 Joukosta poikkeavat havainnot

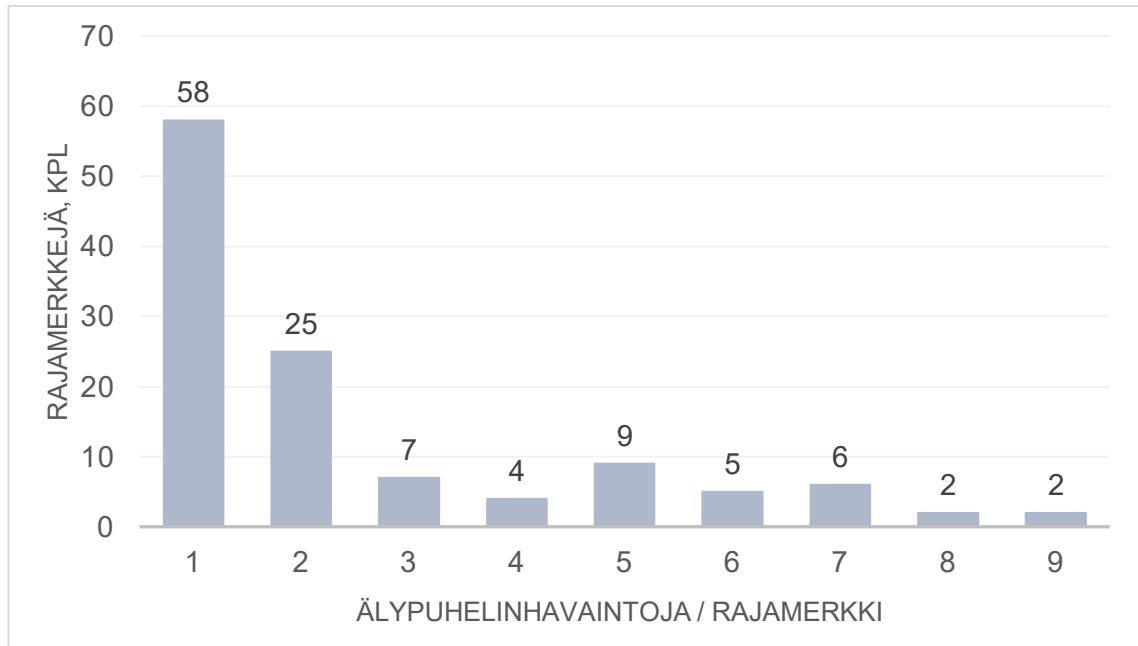
Vertausmittausaineiston älypuhelinhavaintoja tarkastellessa on huomattavissa, että 20 rajamerkillä 118:sta on yksittäisiä havaintoja, joiden sijainti eroaa selkeästi muista samalta rajamerkiltä otetuista havainnoista. Näitä joukosta poikkeavia havaintoja on vertausmittausaineistossa yhteensä 26. Tässä tarkastelussa joukosta poikkeavat havainnot on suodatettu aineistosta silmämääräisesti poimimalla vain selkeästi muista irrallaan olevat havainnot. Kuviossa 8 on 8 rajamerkiltä mitattua älypuhelinhavaintoa, joista yksi on irrallaan muusta joukosta, noin 35,5 metrin päässä seuraavasta havainnosta. Näin merkittävä ero muihin havaintoihin vaikuttaa oleellisesti mittaushavaintojen keskimääräisen sijaintiin.



Kuvio 8. Esimerkki joukosta poikkeavasta älypuhelinhavainnosta

Kun vertausmittausaineistosta poistetaan 26 joukosta poikkeavaa havaintoa, jää vertausmittausaineistoon 118 rajamerkiltä otettuja havaintoja 296 kappaletta. Poikkeavat havainnot poistamalla mittauksen keskiarvolaskennasta paikannusvirhe pieneni kyseisillä 20 rajamerkillä keskimäärin 2,37 metriä (44 %).

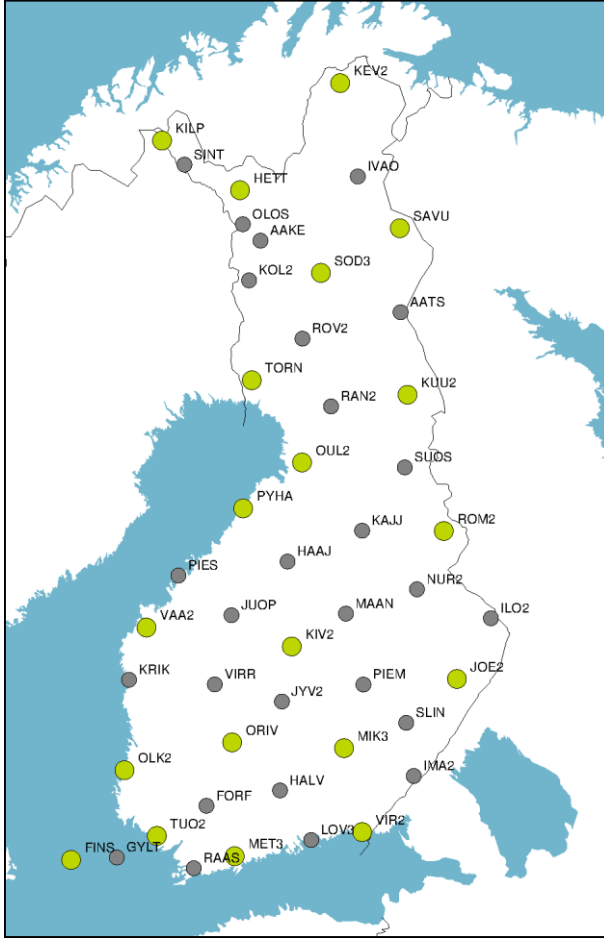
Joukosta poikkeavien havaintojen poistamisen myötä älypuhelinhavaintojen lukumäärä ja jakauma rajamerkeillä muuttuu kuvion 9 mukaisesti. Koko vertausmittausaineistoa tarkastellessa 26 joukosta poikkeavan havainnon poistaminen pienensi Pyykkijahti-mittauksen keskimääräistä sijaintivirhettä 0,40 metriä.



Kuvio 9. Mittaushavaintojen lukumäärä vertausmittausaineistossa, josta on poistettu joukosta poikkeavat havainnot

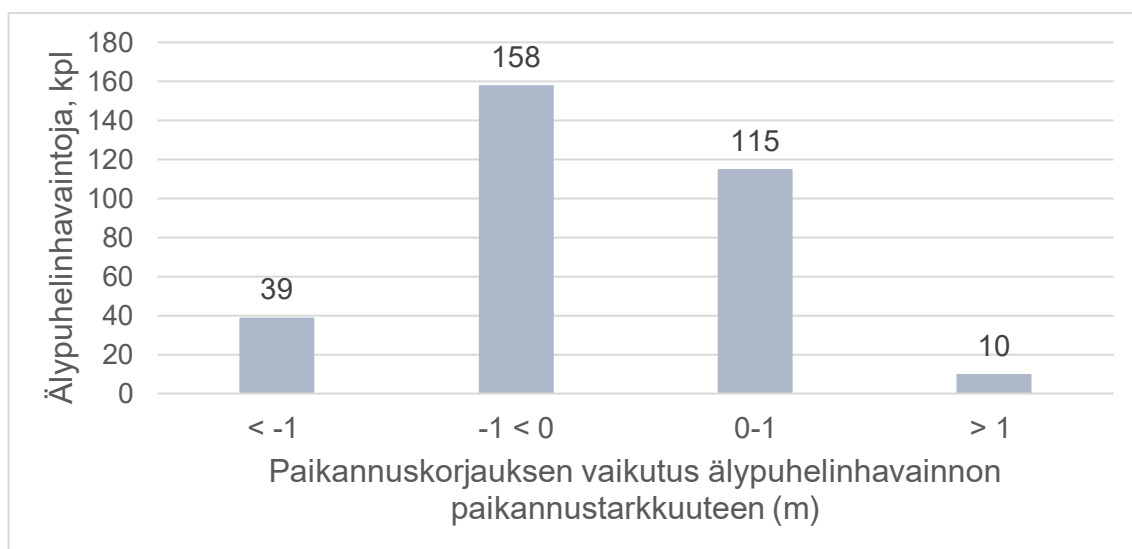
3.5 Paikannuskorjaus

Pyykkijahdin älypuhelinmittauksissa on käytetty DGNSS-paikannuskorjausta (Differential GNSS). Paikannuskorjaus perustuu Suomen valtakunnalliseen Finn-Ref-verkkoon kuuluvien tukiasemien tarkasti tunnettuihin sijainteihin ja niiden vastaanottimien laskemiin sijaintiratkaisuihin. Älypuhelinhavaintojen paikannuskorjaus muodostuu kolmen lähimmän tukiaseman muodostaman sijaintipoikkeaman painotetusta keskiarvosta käyttäjän sijainnin mukaan. Saatu paikannuskorjaus lisätään älypuhelinmittauksen pohjois- ja itäkoordinaatteihin. (Rikkinen 2021.) Kaikkien Suomen Finn-Ref-asemien sijainnit on kuvattuna kuviossa 10. Vihreät tukiasemat kuuluvat Euroopan laajuiseen EPN-tukiasemaverkostoon.



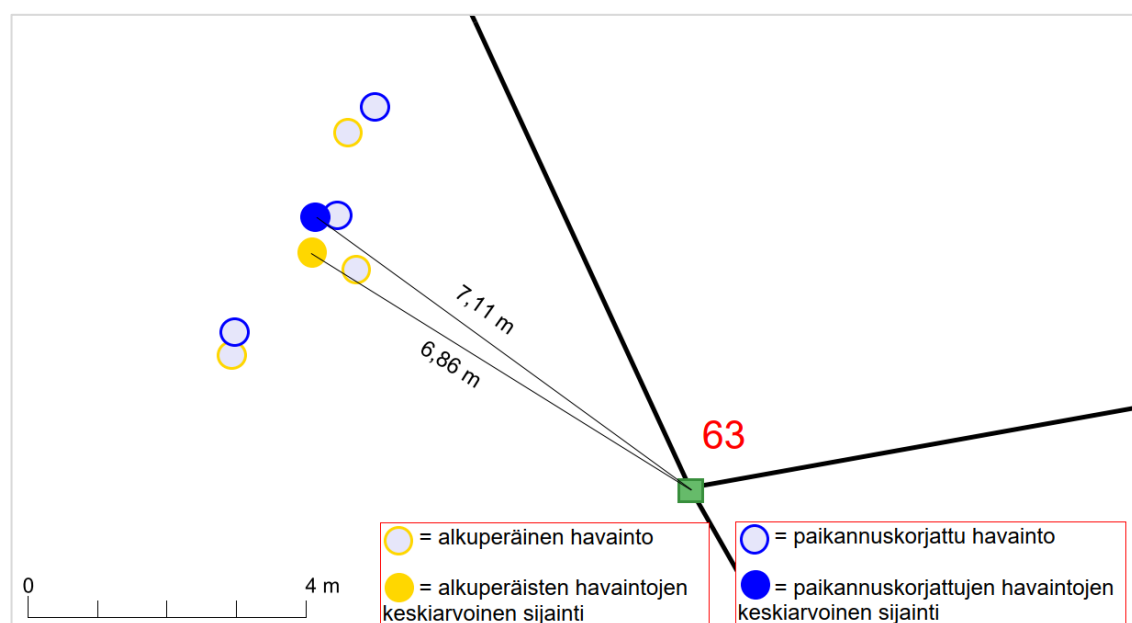
Kuvio 10. Maanmittauslaitoksen FinnRef-asemat (Maanmittauslaitos 2022a)

Vertausmitatuilla rajamerkeillä älypuhelinhavaintojen paikannuskorjauksen keskimääräinen korjaus on 0,72 m pohjoiskoordinaatilla ja 0,23 m itäkoordinaatilla, etäisyytenä 0,76 metriä. Vertausmitattujen rajamerkkien yksittäisistä 322 älypuhelinmittaushavainnosta 125 (39 %) havainnossa paikannuskorjaus joko piti etäisyyden vertausmittaukseen samana tai korjasi sijaintia vertausmittausta kohti eli sijaintitarkkuus parani. 197 (61 %) älypuhelinhavainnossa paikannuskorjaus lisäsi etäisyyttä vertausmittaukseen eli sijaintitarkkuus heikentyi. Luvut ovat kuvattuna alla olevaan kuvioon 11.



Kuvio 11. Paikannuskorjauksen antama hyöty mittaustarkkuudelle

Kuviossa 11 kuvattua paikannuskorjauksen aiheuttamaa muutosta yksittäisen älypuhelinmittauksen tarkkuudelle on tutkittu vertaamalla alkuperäisen havainnon ja korjatun sijainnin etäisyyksiä RTK-mitattuun rajamerkin tarkkaan sijaintiin. Paikannuskorjatulla koordinaatilla saavutetaan verrokkimittausaineistossa keskimäärin 0,23 metriä huonompi mittaustarkkuus, kuin koordinaateilla, jotka eivät sisällä korjausta. Paikannuskorjauksen vaikutuksen vaihteluväli (min. – max.) mittaustarkkuuteen on -2,06 – +1,95 metriä keskihajonnan ollessa 0,69 metriä. Kuvion 12 tapauksessa paikannuskorjaus kasvattaa havaintojen keskiarvoisen sijainnin paikannusvirhettä 0,25 metrillä.



Kuvio 12. Esimerkki paikannuskorjauksen vaikutuksesta mittaustulokseen

DGNSS-paikannuskorjauksessa on eri vaihtoehtoja korjauksen lähettämiseksi käyttäjän laitteelle. Yleisimmät käytössä olevat, standardoidut DGNSS-paikannustavat huomioivat virhelähteiden (mm. troposfääri, ionosfääri, satelliitin rata- ja kellovirheet) vaikutuksen mittaushavaintoon. Pyykkijahdissa on käytetty Position Domain approach -paikannuskorjausta, jossa referenssiaseman avulla muodostettu sijaintikorjaus lähetetään laitteelle, joka muuttaa sijaintinsa korjauksen mukaisesti. Tätä ei voi pitää toimivimpana korjaustapana, sillä siinä ei huomioida virhelähteiden vaikutusta yksittäiseen havaintoon. (Rikkinen 2021.)

On huomioitava, että saadut tulokset paikannuskorjauksen keskimäärin huonontavasta vaikutuksesta älypuhelinmittauksiin koskevat vain kyseistä Pyykkijahdissa käytössä ollutta korjaustekniikkaa. Seuraavissa luvuissa vertausmittausaineistona käytetään Pyykkijahti-mittausten alkuperäisiä koordinaatteja ilman paikannuskorjausta kyseisen aineiston tarkemmasta paikannustarkkuudesta johtuen.

4 ÄLYPUHELINMITTAUKSEN TARKKUUS JA HYÖDYNNETTÄVYYS

4.1 Älypuhelinmittauksen tarkkuus

Älypuhelinmittauksen paikannusvirhettä tutkitaan tässä työssä vertaamalla älypuhelinmittauksen koordinaatteja RTK-mitattuun rajamerkin sijaintiin. Paikannusvirhe on siis korjaamattoman älypuhelinhavainnon ja rajamerkin RTK-mitatun sijainnin välimatka. Rajamerkeiltä, joilta on enemmän kuin yksi älypuhelinhavainto, on laskettu havaintojen pohjois- ja itäkoordinaattien keskiarvot ja näin saatu havaintojen keskimääräinen sijainti. Paikannusvirheitä tarkastellessa lähtöaineistona on käytetty Pyykkijahti-mittauksia, joista on poistettu joukosta poikkeavat havainnot.

Taulukko 1. Pyykkijahti-mittausten keskimääräiset paikannusvirheet

Pyykkijahti-mittausten keskimääräiset paikannusvirheet			
	keskiarvo (m)	keskihajonta (m)	mediaani (m)
koko vertausmittausaineisto	4,18	3,64	3,34
1 havainto	5,45	4,55	4,43
≥ 2 havaintoa	2,95	1,78	2,78

Taulukossa 1 on listattu Pyykkijahti-mittausten keskimääräisiä paikannusvirheitä. Kaikkien vertausmitattujen rajamerkkien (118 kappaletta) keskimääräinen Pyykkijahti-mittauksen paikannusvirhe on 4,18 metriä. Keskimääräinen paikannusvirhe on 1,27 metriä suurempi, kun tarkastellaan vain yhden havainnon käsittäviä vertausmitattuja pyykkejä (58 kappaletta). Rajamerkeillä, joilla otettiin kaksi tai useampia havaintoja (60 kappaletta), keskimääräinen paikannusvirhe on 2,95 metriä. Paikannusvirheiden keskihajonnan kohdalla nähdään sama ilmiö. Kaksi tai enemmän havaintoa käsittävillä Pyykkijahti-mittauksilla on selvästi pienempi keskihajonta paikannusvirheissä kuin yhden havainnon käsittävillä rajamerkeillä.

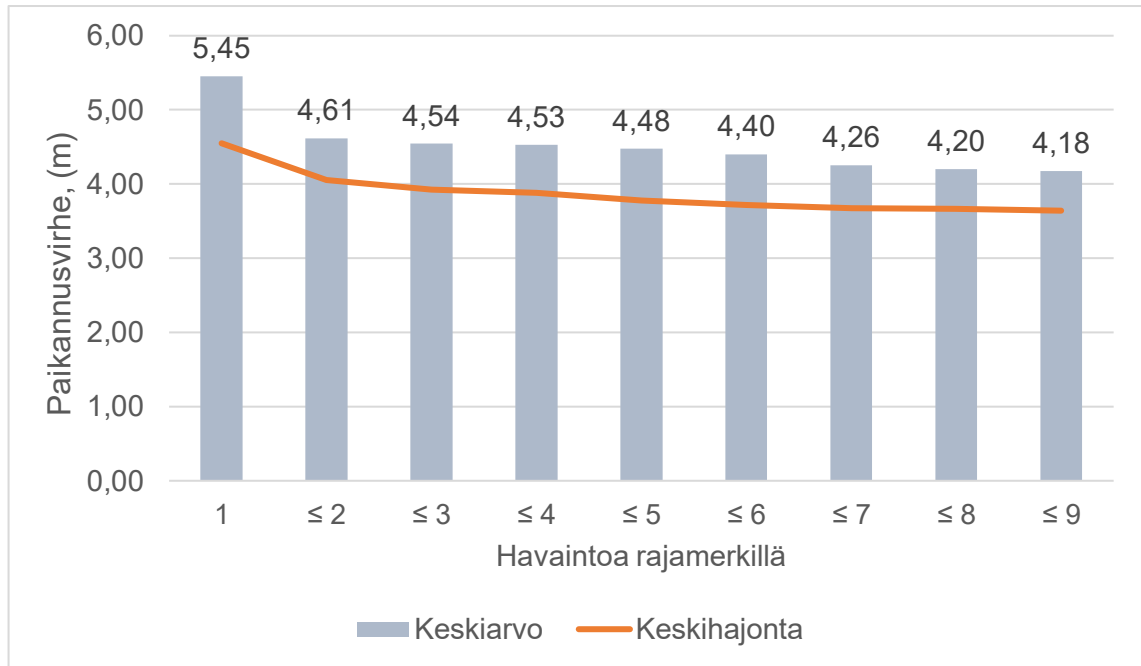
Taulukossa 1 aineistona on käytetty vertausmitatuilta rajamerkeiltä saatujen havaintojen keskimääräistä sijaintia, mikäli havaintoja on kertynyt rajamerkille kaksi tai enemmän. Rajamerkiltä saatujen älypuhelinhavaintojen keskimääräisen si-

jainnin käytön tarkentavaa vaikutusta mittauksen lopputulokseen voi tutkia vertaamalla yksittäisten havaintojen sisältämien paikannusvirheiden keskiarvoa havaintojen keskimääräisten sijaintien paikannusvirheiden keskiarvoon.

Vertausmittausaineistossa rajamerkeillä, joilta on kaksi tai useampi älypuhelinhavaintoa, yksittäisten havaintojen keskimääräinen paikannusvirhe on 4,71 metriä. Kun käytetään kaikkien rajamerkiltä otettujen älypuhelinhavaintojen keskimääräistä sijaintia, älypuhelinmittausten keskimääräinen paikannusvirhe on 2,95 metriä. Näin ollen rajamerkiltä saatujen älypuhelinhavaintojen keskimääräisten sijaintien paikannusvirhe on keskimäärin 1,76 metriä eli 37 % pienempi.

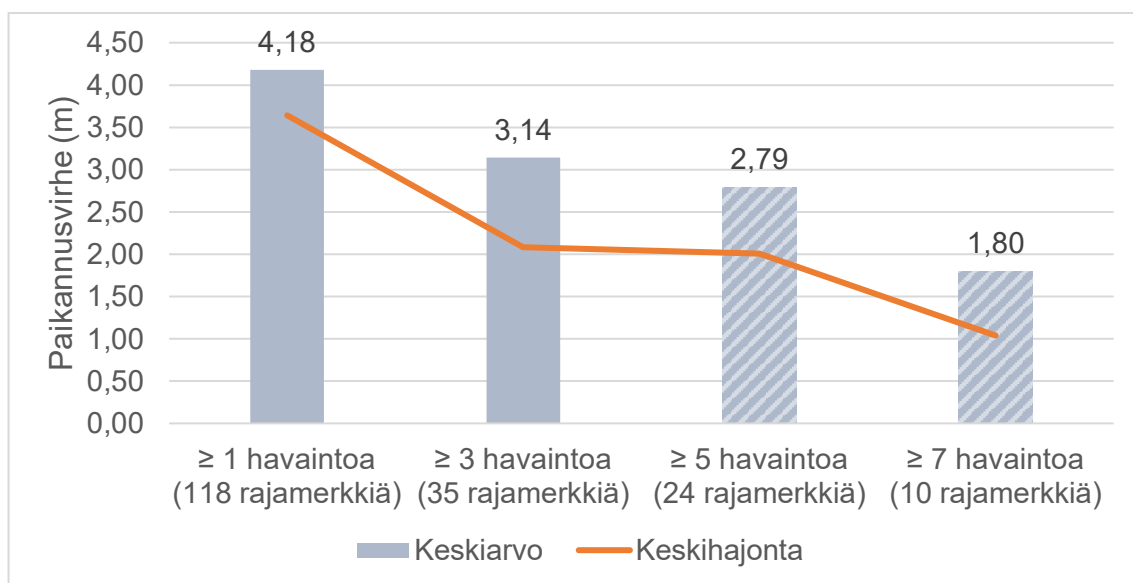
Taulukon 1 mukaan rajamerkeillä, joilta on kerätty vain yksi älypuhelinhavainto, on 2,50 metriä suurempi keskimääräinen paikannusvirhe kuin rajamerkeillä, joilta on kerätty kahden tai useamman havainnon keskimääräinen sijainti. Tästä voidaan päätellä, että havaintojen lukumäärän noustessa rajamerkillä Pyykkijahti-mittauksen keskimääräinen paikannusvirhe pienenee.

Luvussa 3.3 todettiin, että älypuhelinhavaintojen lukumäärät jakautuvat verrokkimitatuille rajamerkeille epätasaisesti niin, että usean havainnon vertausmitattuja rajamerkkejä on vähän suhteessa yhden havainnon rajamerkkeihin (kuvio 7). Keskeisen raja-arvolauseen (engl. Central Limit Theorem) mukaisesti oletettua normaalijakaumaa noudattavaa havaintojoukkoa voidaan pitää tilastollisesti kuvaavana, mikäli näytteessä on havaintoja noin 30 havainnosta ylöspäin (Ross 2021). Vertausmittausaineistossa tämä ehto täyttyy vain yhden havainnon luokassa, mutta kumulatiivinen tarkastelu tarjoaa keinon havaintomäärien lisäämisen vaikutuksen selvittämiseksi.



Kuvio 13. Älypuhelinhavaintojen lukumäärän vaikutus paikannusvirheeseen kumulatiivisella tarkastelulla

Kuviossa 13 vaaka-akselin luokat nousevat kumulatiivisesti yhdestä havainnosta aina yhdeksään ja sitä vähempään havaintoa. Paikannusvirheiden keskiarvo laskee loivasti havaintojen lukumäärän kasvaessa. Suurin vaikutus paikannusvirheen keskiarvoon on kahden ensimmäisen luokan ($1 - \leq 2$) välillä. Käyrän loivaan laskuun vaikuttaa suurempia havaintomääriä käsittävien rajamerkkien vähäisyys suhteessa pieniin havaintomääriin.



Kuvio 14. Älypuhelinmittauksen paikannusvirhe havaintojen lukumäärän kasvaessa

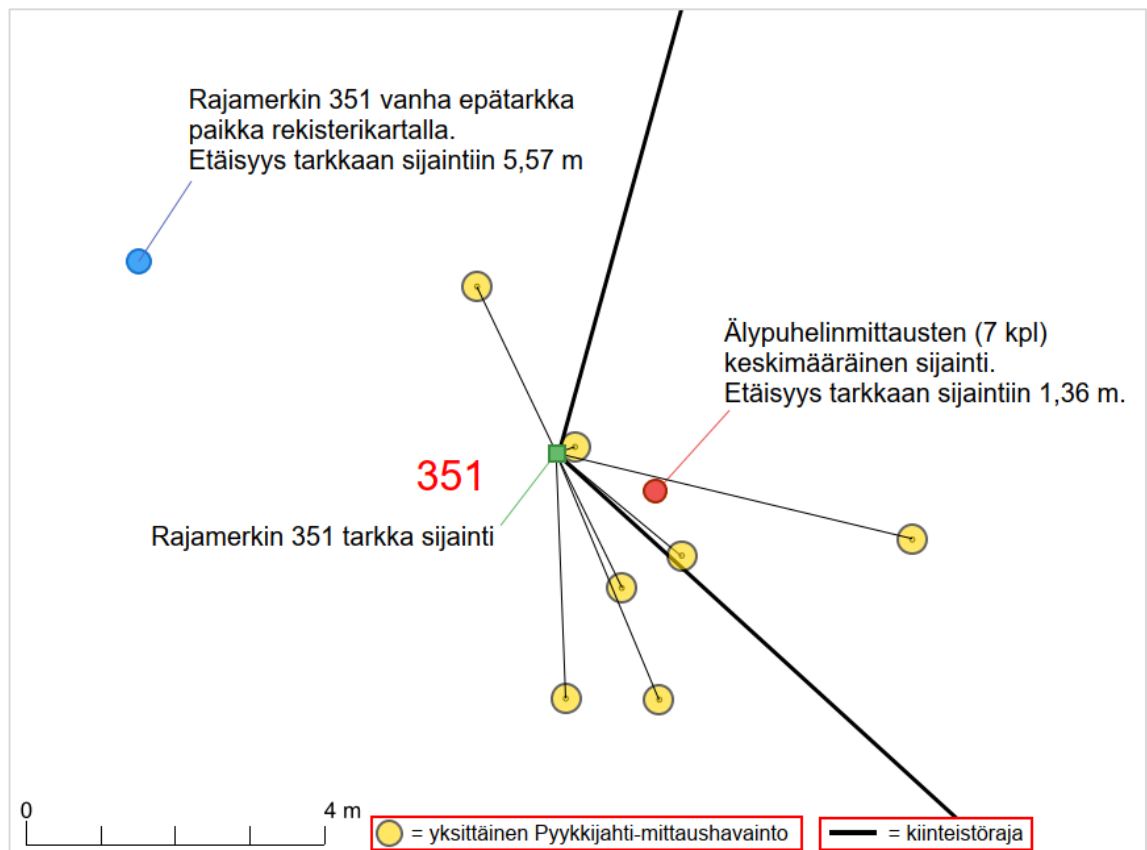
Kuviossa 14 paikannusvirheen ja älypuhelinhavaintojen lukumäärän välistä suhdetta on kuvattu yhtä suuri tai suurempi kuin -tarkastelulla. Kaaviosta selviää, että paikannusvirhe pienenee rajamerkiltä otettujen älypuhelinhavaintomäärien kasvaessa. On kiinnitettävä huomiota siihen, että luokissa ≥ 5 ja ≥ 7 havaintoa vertausmitattujen rajamerkkien vähäisen lukumäärän vuoksi taulukon tilastollinen kuvaavuus heikkenee. Tästä huolimatta kuvio auttaa hahmottamaan rajamerkeiltä otettujen havaintojen lukumäärän vaikutusta keskimääräiseen paikannusvirheeseen. Taulukossa 2 on kuviossa 14 esitetyt luvut taulukkomuodossa.

Taulukko 2. Älypuhelinhavaintojen lukumäärän vaikutus Pyykkijahti-mittauksen paikannusvirheeseen

Havaintoa / rajamerkki	Rajamerkkejä (kpl)	Paikannusvirhe	
		Keskiarvo (m)	Keskihajonta (m)
≥ 1	118	4,18	3,64
≥ 3	35	3,14	2,08
≥ 5	24	2,79	2,01
≥ 7	10	1,80	1,04

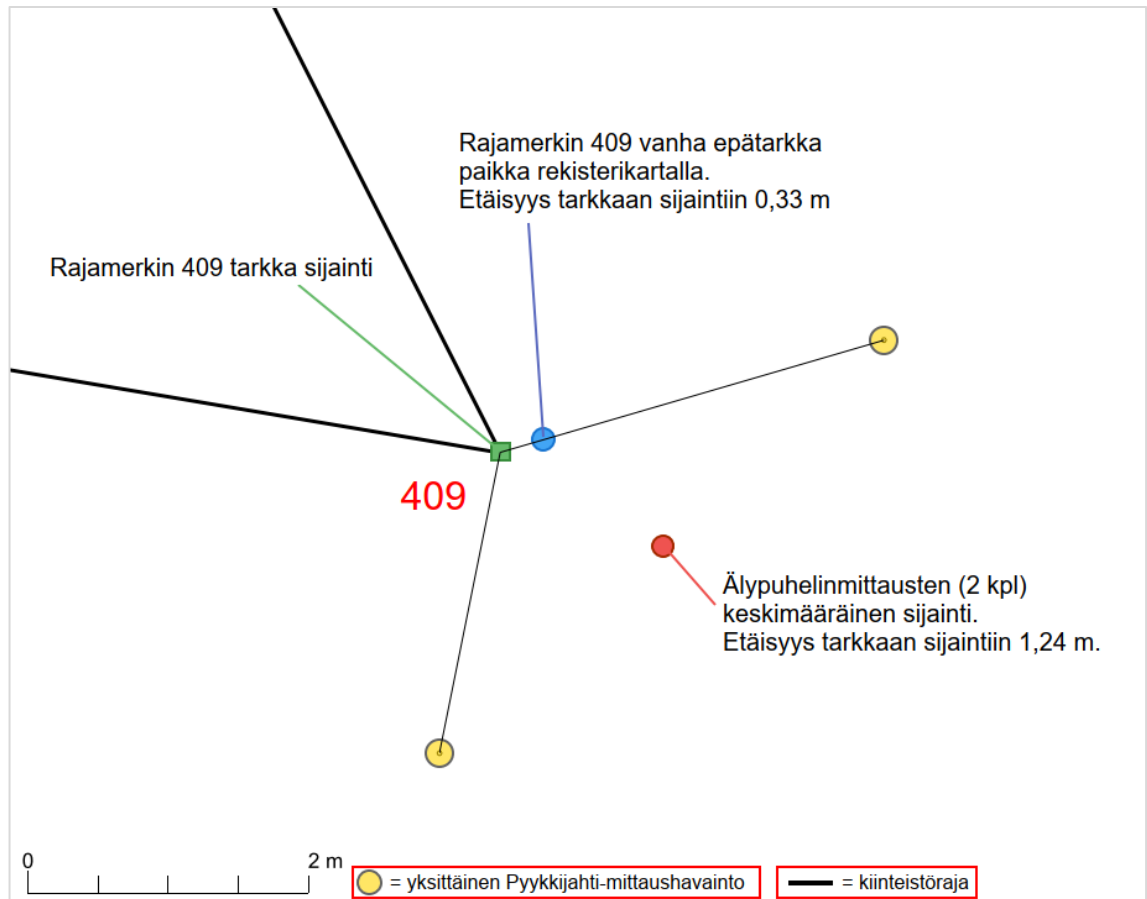
4.2 Kiinteistörekisterikartan tarkentuminen

Pyykkijahti-mittausten hyötyä kiinteistörekisterikartan tarkentamisessa tutkitaan vertailemalla älypuhelinhavaintojen keskimääräisiä paikannusvirheitä kiinteistörekisterissä oleviin sijaintivirheisiin. Kiinteistörekisterissä oleva sijaintivirhe lasketaan rajamerkin tarkaksi mitatun sijainnin ja kiinteistörekisterissä olevan vanhan sijainnin välimatkana.



Kuvio 15. Esimerkki rajamerkistä, jonka sijaintia Pyykkijahti-mittaus tarkentaa

Kuviossa 15 rajamerkiltä 351 on kerätty 7 älypuhelinhavaintoa ja niiden keskimääräinen sijainti on 1,36 metriä rajamerkin tarkasta eli RTK-mitatusta sijainnista. Sijaintivirhe kiinteistörekisterissä pienentyisi älypuhelinhavaintojen avulla 4,21 metriä. Kuva on esimerkki tilanteesta, jossa kiinteistörekisteriä saadaan tarkennettua Pyykkijahti-mittausten avulla vanhan rekisterivirheen ollessa useita metrejä ja älypuhelinhavaintojen ollessa lähellä toisiaan.



Kuvio 16. Esimerkki rajamerkistä, jonka sijainti ei tarkennu rekisterissä Pyykki-jahti-mittausten perusteella

Kuviossa 16 rajamerkiltä 409 otetun kahden älypuhelinhavainnon keskimääräinen sijainti on 1,24 metrin päässä rajamerkin RTK-mitatusta sijainnista. Pyykki-jahti-mittaus ei kuitenkaan olisi tarkentanut kiinteistörekisteriä, sillä rajamerkin vanha sijainti kiinteistörekisterissä poikkeaa sen todellisesta sijainnista vain 0,33 metriä.

Seuraavissa taulukoissa 3 ja 4 sijainnin tarkentuminen on laskettu vähentämällä virhe rekisterissä -sarakkeen arvosta havaintojen paikannusvirhe -sarakkeen arvo. Sijainnin tarkentumisen arvon ollessa positiivinen luku, on älypuhelinhavaintojen tarkkuus parempi kuin kiinteistörekisterissä olevan sijainnin. Arvon ollessa negatiivinen, kiinteistörekisterissä oleva vanha rajamerkin sijainti on tarkempi kuin älypuhelinhavaintojen sijainti.

Taulukko 3. Vertausmitattujen rajamerkkien sijaintien tarkentuminen älypuhelinmittauksilla alueen mukaan.

Tarkasteltava aineisto	Rajamerkkejä kpl	Havaintojen paikannusvirhe ka (m)	Virhe rekisterissä ka (m)	Sijainnin tarkentuminen ka (m)	Tarkentuneet rajamerkit
Koko aineisto	118	4,18	5,09	0,92	42 %
Pohjoinen	56	4,94	8,53	3,58	59 %
Etelä	62	3,48	2,00	-1,49	29 %

Taulukko 3 kuvaa älypuhelinmittausten vaikutusta kiinteistörekisterin tarkkuuteen alueittain, jos rajamerkkien koordinaatteja rekisterissä korjattaisiin Pyykkijahti-mittauksilla. Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun alueella (pohjoinen) vertausmitatuilla rajamerkeillä on selvästi suurempi keskimääräinen virhe kiinteistörekisterissä kuin Pirkanmaalla (etelä). Tästä johtuen sijainti tarkentuisi älypuhelinmittauksilla pohjoisessa paremmin kuin etelässä siitä huolimatta, että etelässä havaintojen keskimääräinen paikannusvirhe on 1,46 metriä pienempi kuin pohjoisessa. On otettava huomioon, etteivät taulukon tiedot kuvaa suoraan yleisesti alueellista tarkkuuden vaihtelua kiinteistörekisterissä, vaan kyseessä on vain vertausmitattujen rajamerkkien osalta ilmennyt tilanne.

Älypuhelinmittausten antamaa hyötyä tarkastellessa on syytä kiinnittää huomiota siihen, kuinka kiinteistörekisterissä olevia suuria sijaintiepätarkkuuksia saadaan mittausten avulla korjattua. Taulukko 4 kuvaa, kuinka kiinteistörekisterissä olevan vanhan sijaintivirheen suuruus vaikuttaa sijainnin tarkentumiseen älypuhelinmittausten avulla.

Taulukko 4. Vertausmitattujen rajamerkkien sijaintien tarkentuminen älypuhelinmittauksella kiinteistörekisterissä olevan sijaintivirheen mukaan.

Sijaintivirhe rekisterissä	Rajamerkkejä kpl	Havaintojen paikannusvirhe ka (m)	Virhe rekisterissä ka (m)	Sijainnin tarkentuminen ka (m)	Tarkentuneet rajamerkit
< 5 metriä	84	3,80	1,61	-2,19	21 %
5–10 metriä	19	3,55	7,07	3,52	95 %
> 10 metriä	15	7,11	22,13	15,02	93 %

Vertausmittausaineistossa on 15 rajamerkkiä, joiden vanha sijaintivirhe rekisterissä on yli 10 metriä. Näistä kaikilta oli kerätty vain yksi älypuhelinhavainto. 14 rajamerkin sijainti olisi tarkentunut älypuhelinhavainnolla, keskimääräisen rekisterin korjaantumisen ollessa 15,02 metriä. 12 rajamerkin (80 %) virhe pieneni älypuhelinmittauksilla alle 10 metriin.

Vertausmitattuja rajamerkkejä, joiden sijaintivirhe rekisterissä oli 5–10 metriä, on 19 kappaletta. Näiltä rajamerkeiltä oli kerätty keskimäärin 2,3 älypuhelinhavaintoa. 18 rajamerkin (95 %) sijainti olisi tarkentunut kiinteistörekisterissä älypuhelinmittauksella ja 16 rajamerkin (84 %) sijaintivirhe olisi pienentynyt alle 5 metriin. Vastaavaa hyötyä ei ole nähtävissä rajamerkeillä, joiden rekisterivirhe oli alle 5 metriä. Näistä rajamerkeistä 18 eli 21 % sijainti olisi tarkentunut älypuhelinmittauksella.

Taulukko 5. Havaintojen lukumäärän vaikutus rajamerkin sijainnin tarkentumiseen älypuhelinmittauksella.

	Rajamerkin sijainnin tarkentuminen kiinteistörekisterissä älypuhelinmittauksella				Sijaintivirhe kiinteistörekisterissä
	rajamerkkejä (kpl)	keskiarvo (m)	keskihajonta (m)	mediaani (m)	keskiarvo (m)
koko aineisto	118	0,92	7,87	-0,66	5,09
1 havainto	58	2,80	10,58	0,92	8,25
≥ 2 havaintoa	60	-0,90	2,77	-1,15	2,05
≥ 3 havaintoa	35	-0,90	3,15	-0,78	2,24

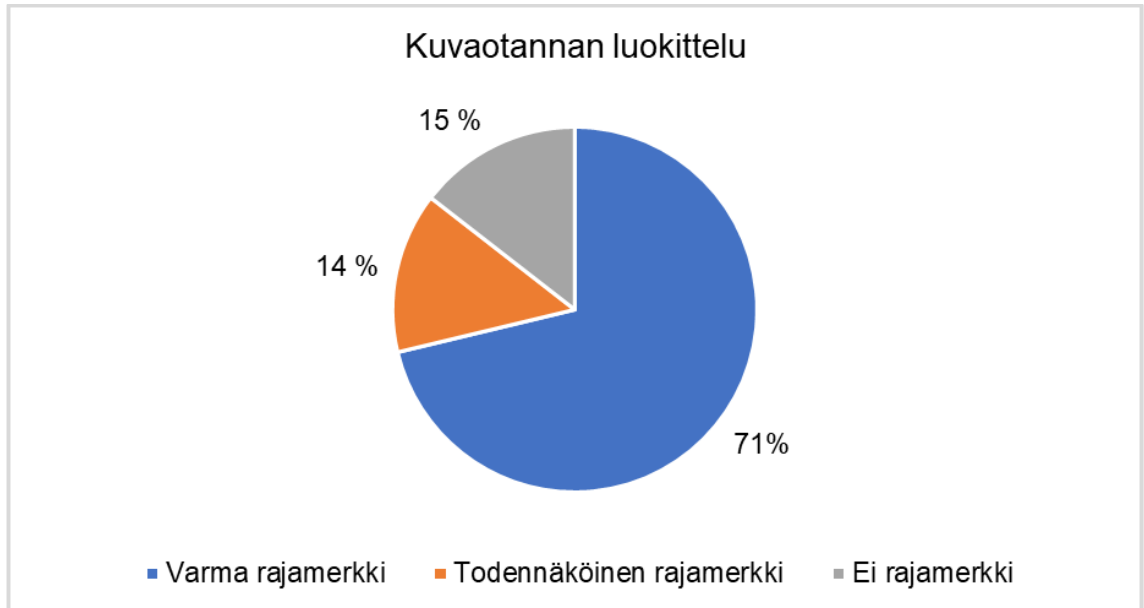
Taulukko 5 kuvaa älypuhelinhavaintojen lukumäärän vaikutusta kiinteistörekisterissä olevan sijainnin tarkentumiseen. Koko vertausmittausaineistolla keskimääräinen rajamerkin sijainnin tarkentuminen älypuhelinmittauksella on 0,92 metriä. 7,87 metrin keskihajonta kertoo suuresta havaintojen välisestä vaihtelusta sijainnin tarkentumisen suhteen. Taulukossa sijainnin tarkentumisen keskiarvon ollessa positiivinen luku, olisi älypuhelinmittauksella saatu tarkennettua kiinteistörekisterikarttaa. Negatiivinen luku taas kertoo, että vanha rekisterivirhe oli keskimäärin älypuhelinmittausten paikannusvirhettä pienempi.

1 havainnon käsittäviä rajamerkkejä (58 kpl) tarkastellessa rajamerkin tarkentuminen älypuhelinmittauksella on selvästi suurinta huolimatta siitä, että keskimääräinen paikannusvirhe on kyseisessä ryhmässä suurin (taulukko 1). Tämä selittyy tarkastellessa vanhaa sijaintivirhettä kiinteistörekisterissä, joka on keskimäärin 8,25 metriä 1 havaintoa käsittävien rajamerkkien kohdalla. Enemmän kuin 1 havaintoa käsittävien rajamerkkien (60 kpl) kohdalla tarkentumista ei tapahdu, sillä kiinteistörekisterissä oleva keskimääräinen sijaintivirhe on älypuhelinmittausten keskimääräistä paikannusvirhettä pienempi.

4.3 Kuva-aineisto

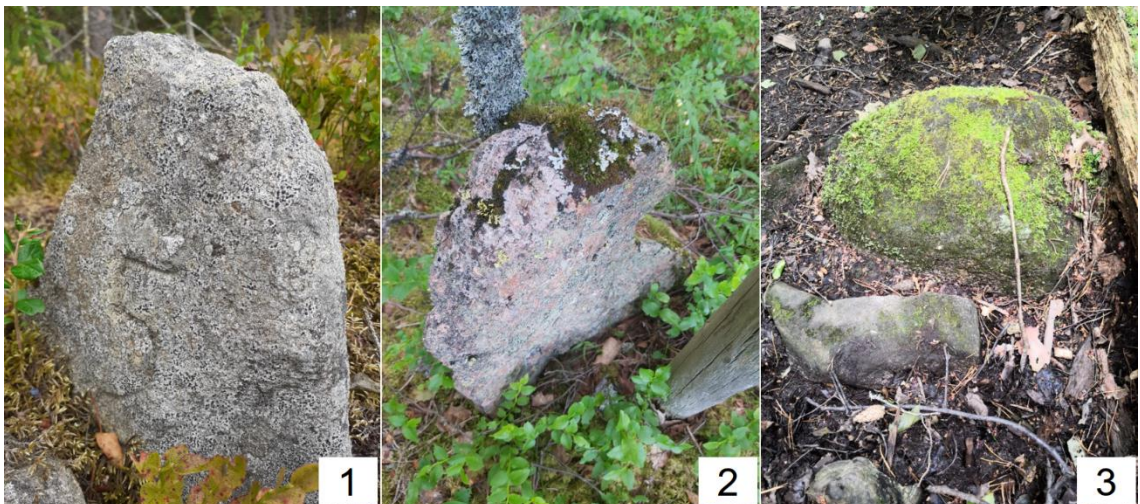
Pyykkijahdissa pelaaja ottaa mitattavasta rajamerkistä valokuvan ennen varsinaista älypuhelinmittausta. Pyykkijahtiin tallennetut valokuvat auttavat varmistamaan, onko mitattu kohde oikea rajamerkki. Kerätyn kuva-aineiston analysointia varten otettiin satunnaisotannalla Pyykkijahdista saadusta aineistosta 400 kuvaa, joissa kuvattujen rajamerkkien tunnistettavuutta arvioitiin työn kirjoittajan sekä Maanmittauslaitoksella työskentelevän toimitusinsinöörin toimesta. Kuva-aineiston kuvat jaettiin niitä läpi käydessä kolmeen eri luokkaan:

1. Varma rajamerkki: luokka sisältää valokuvat, joissa kuvattu kohde on varmasti rajamerkki.
2. Todennäköinen rajamerkki: luokka sisältää valokuvat, joissa kuvattu kohde on noin 60 % todennäköisyydellä rajamerkki. Kuvatussa kivessä ei ole selvää rajamerkin numeroa näkyvissä, mutta kiven muodon, asennon ja ympäröivän maaston perusteella kyseessä on todennäköisesti rajamerkki.
3. Ei rajamerkki: luokka sisältää valokuvat, joissa kohdetta ei voi tunnistaa todennäköiseksi rajamerkiksi tai kuvassa ei varmuudella ole kuvattu rajamerkkiä.



Kuvio 17. Kuvaotannan luokittelun tulokset

Kuviossa 17 on kuvattu kuva-aineiston lajittelun tulokset. 400 kuvan aineistossa 71 % (285 kappaletta) kuvista oli varmaksi tunnistettava rajamerkki. Todennäköisiä rajamerkkejä oli 14 % eli 57 kuvassa. Kuvia, joissa ei ollut tunnistettavaa rajamerkkiä, oli 15 % eli 58 kuvaa. On syytä ottaa huomioon, että luokittelua tekevän henkilön työtausta sekä maastotyökokemus vaikuttaa kuvien luokitteluun ja näin ollen eri henkilöiden toimesta tehty luokittelut eivät ole välttämättä yhteneväiset.



Kuvio 18. Esimerkkikuvat jokaisesta luokasta

Kuviossa 18 on kuvat kolmesta kuvaotantaan sisältyneestä kuvasta. Kuva 1 on luokiteltu varmaksi rajamerkiksi, sillä pyykkikivessä on selkeästi havaittava numero. Kuvassa 2 on todennäköinen rajamerkki kiven muodon, pystytyksen ja viereisen merkkikepin perusteella, vaikka varsinaista numeroa ei olekaan näkyvissä. Kuva 3 on esimerkki kolmanteen luokkaan kuuluvasta kuvasta. Kuvassa ei ole näkyvissä numerokiveä eikä kivi vaikuta sen muodon, asettelun tai ympäristönkään perusteella rajamerkiltä.

Pyykkijahtiin lisättiin 20.8.2021 uutena ominaisuutena kadonneen rajamerkin merkitseminen. Tämän ominaisuuden avulla Pyykkijahdin pelaajan on ollut mahdollista tallentaa tieto, mikäli rajamerkkiä ei ole löytynyt maastosta. Rajamerkin kadonneeksi merkitseminen ei suoraan tarkoita sitä, että rajamerkki olisi todellisuudessa kadonnut maastosta. Rajamerkit painuvat usein ajan saatossa maahan tai kasvillisuuden alle, jolloin niiden löytäminen voi olla Pyykkijahdin pelaajalle haastavaa. Kuvaotannassa oli 7 kuvaa, joissa oli kuvattu maastoa ilman havaittavaa rajamerkkiä tai kiveä. Kyseisistä kuvista kaikki oli kuvattu kesä- ja heinäkuun 2021 aikana ennen merkitse kadonneeksi -ominaisuuden lisäämistä, joten on mahdollista, että kuvia on otettu kadonneen rajamerkin oletetusta sijainnista.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

5.1 Toteutus ja aineisto

Vertausmittauksia suoritettiin pääosin Pohjois-Pohjanmaan ja Pirkanmaan alueella ja niitä kertyi yhteensä 118 rajamerkiltä. Mittauksia ei ollut suunniteltu etukäteen ja niitä suoritettiin satunnaisesti muiden kartoitustöiden yhteydessä. Rajamerkeiltä vertausmittausten ohella otettujen älypuhelinhavaintojen lukumäärä vaihteli yhden ja yhdeksän havainnon välillä. Rajamerkkien lukumäärät jakautuvat näiden havaintomäärien suhteen epätasaisesti. Yhden havainnon luokkaan kertyi 58 kappaletta eli 48 % vertausmitatuista rajamerkeistä. Tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon mahdolliset tilastolliset vinoumat, jotka johtuvat havaintomäärien epätasaisesta jakaumasta rajamerkkien välillä.

Älypuhelinmittausten mittaustarkkuuden selvittäminen tuli osaksi kulunutta projektia vasta opinnäytetyön toimeksiannon myötä. Opinnäytetyötä ja sen sisältöä ryhdyttiin suunnittelemaan kesäkuun lopulla 2021, joten vertausmittaukset suoritettiin vähäisellä suunnittelulla. Päättynyttä Luore/es-pilottiprojektia seuraavassa jatkoprojektissa onkin syytä kiinnittää huomiota mahdollisesti suoritettavien vertausmittausten riittävään suunnitteluun. Vertausmittauksia voidaan suorittaa laajemmin ympäri Suomea, jos useampi kartoitustyötä suorittava Maanmittauslaitoksen työntekijä tekee Pyykkijahti-mittauksia kartoitusten yhteydessä.

Myös yksittäiseltä rajamerkiltä kerättävien älypuhelinhavaintojen lukumäärään ja ajankohtaan tulee kiinnittää huomiota jatkoprojektissa. Näin voidaan varmistaa vertausmittausaineiston riittävä tilastollinen kuvaavuus ja saadaan selvitettyä älypuhelinhavaintojen keskimäärin tarvittava lukumäärä, jolla saavutetaan tarvittava mittaustarkkuus. Kun kirjataan ylös vertausmitattua rajamerkkiä ympäröivä maasto, voidaan mittaustarkkuuksia tarkastellessa tutkia myös maasto-olosuhteiden vaikutusta älypuhelinpaikannuksen tarkkuuteen.

Pyykkijahdistä kerättyä aineistoa tarkastellessa havaittiin, että osalla rajamerkeistä on selvästi muusta havaintojoukosta irrallaan olevia älypuhelinhavaintoja. Kyseisiltä rajamerkeiltä oli otettu kolme tai enemmän älypuhelinhavaintoa, joista

poikkeava havainto oli silmämääräisesti havaittavissa muusta joukosta. 26 joukosta poikkeavan havainnon poistaminen koko vertausmittausaineiston 322 havainnosta pienensi aineiston keskimääräistä paikannusvirhettä 0,40 metriä. Kun tarkastellaan vastaavaa keskimääräisen paikannusvirheen muutosta vain niiden 20 rajamerkin kohdalla, joilla oli joukosta poikkeavia havaintoja, virhe pieneni 2,37 metriä. Joukosta poikkeavien älypuhelinhavaintojen suodattamista aineistosta voi pitää näiden tulosten perusteella merkittävänä toimenä älypuhelinpaikannuksen tarkkuuden parantamiseksi.

Maanmittauslaitoksen ylläpitämään FinnRef-verkkoon kuuluviin tukiasemiin pohjautuva, Pyykkijahdissa käytössä ollut paikannuskorjaus ei keskimäärin parantanut älypuhelinhavaintojen paikannustarkkuutta vertausmittaustulosten perusteella. Paikannuskorjauksella todettiin olevan tarkkuutta heikentävä vaikutus 61 % vertausmitatuista rajamerkeistä. 322 älypuhelinhavainnolla se keskimäärin heikensi paikannustarkkuutta 0,23 metriä keskihajonnan ollessa 0,69 metriä. Paikannuskorjauksen vaikutus paikannustarkkuuteen oli -2,06 – +1,95 metriä (min. – max.). Näiden tulosten perusteella paikannuskorjausta ei ole tarkoituksenmukaista käyttää älypuhelinmittauksissa nykyisessä muodossaan, eikä sitä otettu älypuhelinmittausten tulosten vertailussa huomioon. Kuten luvussa 3.5 on todettu, paikannuskorjaukselle on olemassa myös vaihtoehtoja, jotka ottavat huomioon mittaushetkellä vallitsevat paikannusolosuhteet. Näiden vaihtoehtojen toimivuutta on syytä tutkia jatkoprojektin yhteydessä paikannustarkkuuden parantamiseksi.

5.2 Paikannusvirheet ja älypuhelinmittauksista saatu hyöty

Älypuhelinmittausten paikannusvirhettä tarkasteltiin vertausmitatun rajamerkin tarkan sijainnin ja siltä tallennettujen älypuhelinhavaintojen keskimääräisen sijainnin välimatkana. Useamman kuin yhden älypuhelinhavainnon käsittävien rajamerkkien kohdalla havaintojen keskimääräisen sijainnin käytöllä todettiin saavutettavan keskimäärin 37 % eli 1,76 metriä tarkempi mittaustulos yksittäisiin havaintoihin verrattuna.

Koko vertausmittausaineiston (118 vertausmitattua rajamerkkiä ja 322 kerättyä älypuhelinhavaintoa) keskimääräinen paikannusvirhe oli 4,18 metriä. Yhden älypuhelinhavainnon käsittävillä rajamerkeillä paikannusvirhe oli keskimäärin 5,45 metriä, kun 3–9 havaintoa käsittävillä rajamerkeillä virhe laski 3,14 metriin. Näiden lukujen perusteella älypuhelinhavaintojen lukumäärän voidaan päätellä vaikuttavan älypuhelinpaikannuksen tarkkuuteen. Tästä johtuen Pyykkijahti-pelin jatkokehityksessä on syytä kiinnittää huomiota siihen, miten peli kannustaa pelaajia mittaamaan myös muiden käyttäjien jo aiemmin löytämiä ja mittaamia rajamerkkejä. Myös yhden pelaajan ottaman havaintomäärän nostamista esimerkiksi 2–3 havaintoon olisi syytä harkita. Tällöin esimerkiksi kahden pelaajan mittaamalta rajamerkiltä olisi tallennettuna 4–6 älypuhelinhavaintoa kahdelta eri ajankohdalta.

Rajamerkkien vanhalla sijaintivirheellä tarkoitetaan kiinteistörekisterikartalla olevan alkuperäisen, epätarkan sijainnin (RSK-luku > 1 m) ja tarkan sijainnin välimatkaa. RSK-luvuiltaan epätarkkojen rajamerkkien sijaintivirheet kiinteistörekisterissä vaihtelevat paljon alueittain (taulukko 3). Sijaintivirheiden vaihtelu on syytä ottaa huomioon, kun tarkastellaan Pyykkijahti-mittausten potentiaalia rekisterin tarkentamisessa. Esimerkiksi Pyykkijahti-mittaus, jonka paikannusvirhe on 1 metri, voi tarkentaa rekisteriä huomattavasti, mutta myös heikentää sen tarkkuutta rajamerkin vanhasta sijaintivirheestä riippuen. Luvun 4.2. kuvioissa 15 ja 16 on havainnollistettu vanhan sijaintivirheen merkitystä älypuhelinmittauksesta saadulle hyödyille.

Vertausmittaustulosten pohjalta Pyykkijahti-mittaukset tarkentavat rajamerkin sijaintia rekisterikartalla 95 %:lla rajamerkeistä, joiden vanha sijaintivirhe rekisterissä on 5–10 metriä. Haasteen Pyykkijahti-mittausten hyödyn arvioimiselle tekee se, ettei Pyykkijahti-mitatun rajamerkin vanhaa rekisterissä olevaa todellista sijaintivirhettä tunneta käytännössä kuten vertausmitatuilla rajamerkeillä tunnetaan. Käytännössä Pyykkijahti-mittauksia hyödynnettäessä ei siis tiedetä, tarkentetaanko mittauksella nykyisellä tarkkuudellaan rekisterikarttaa vai heikentääkö Pyykkijahti-mittaus sen tarkkuutta entisestään. Rajamerkit, joiden vanha sijaintivirhe rekisterissä on suuri, ovat usein myös haastavampia löytää (maasto, saavutettavuus), kuin pienemmällä sijaintivirheellä olevat rajamerkit.

Vertausmittausaineiston rajamerkeistä 71 %:lla vanha sijaintivirhe rekisterikartalla oli alle viisi metriä, keskimäärin 1,6 metriä (taulukko 4). Tulosten pohjalta kyseisistä rajamerkeistä vain 21 % osalta sijainti olisi tarkentunut Pyykkijahti-mittauksella. Älypuhelinmittausten paikannustarkkuutta tulisi tästä päätellen saada huomattavasti tarkemmaksi nykyisestä, jotta Pyykkijahti-mittauksilla voitaisiin luotettavasti parantaa kiinteistörekisterikartan tarkkuutta. Älypuhelinmittausten paikannustarkkuutta tulisi tavoitella saatavaksi alle yhteen metriin, jotta kerätyn sijaintitiedon voitaisiin katsoa olevan riittävän luotettavaa käytettäväksi rekisterikartan koordinaattien päivittämiseksi. Tällöin rajamerkin sijaintitiedon päivittämisessä älypuhelinmittausten pohjalta voidaan käyttää harkintaa rajamerkiltä kerättyjen havaintojen lukumäärän sekä muiden mitattua sijaintia tukevien tietojen (rajamitat arkistoista, ilmakuvat) perusteella.

Pyykkijahdista saatavaa, mahdollisesti hyödynnettävää tietoa kertyy myös valokuvien muodossa. Itsessään tieto siitä, että rajamerkki löytyy maastosta, on hyödyllinen. Rajamerkeistä otetut valokuvat tulisi tällöin olla saatavilla Maanmittauslaitoksen työntekijöiden käytössä. Pyykkijahdista kerättävä, pelaajan antama tieto kadonneesta rajamerkistä ei ole luotettavaa johtuen maastoon peittyneiden rajamerkkien etsimisen haastavuudesta.

5.3 Pyykkijahdilla kerätyn aineiston luotettavuus

Älypuhelinmittausten käytön luotettavuuteen kiinteistörekisterikartan tarkentamiseksi vaikuttaa se, mittaavatko Pyykkijahdin pelaajat maastossa oikeita rajamerkkejä. Rajamerkin löytäminen ja tunnistaminen voi olla maallikolle vaikeaa, mikäli kivinen rajamerkki on esimerkiksi aikojen saatossa painunut näkymättömiin maan alle tai numero on kulunut ja vaikeasti havaittavissa.

Pyykkijahdista kerätystä kuva-aineistosta poimittiin 400 kuvan joukko satunnaistottamalla, jonka avulla arvioitiin sitä, kuinka suuri osa pelaajien mittaamista kohteista on tunnistettavissa oikeiksi rajamerkeiksi. Otannan kuvat lajiteltiin kolmeen luokkaan: varma, todennäköinen ja ei rajamerkki. Luokittelun tulosten mukaan 85 %:ssa kuvista oli kuvattu varma tai todennäköinen rajamerkki. 15 %:ssa kuvista kuvattua kohdetta ei voinut tunnistaa todennäköiseksi rajamerkiksi. Tulosten pe-

rusteella voidaan päätellä, että Pyykkijahdin pelaajat ovat löytäneet oikeita rajamerkkejä hyvällä menestyksellä. Varmuutta oikean rajamerkin mittaamisesta voidaan lisätä Pyykkijahdissa tarkemmalla ohjeistuksella rajamerkkien tunnistamisesta.

Rajamerkin tunnistamiseen valokuvasta vaikuttaa oleellisesti kuvakulma ja valokuvaussuunta. Rajamerkin putsaaminen tarvittaessa sekä numeron kuvaaminen on tärkeää rajamerkin tunnistamisen kannalta. Kuvasta ei aina voi päätellä, onko rajamerkki alkuperäisellä paikallaan vai onko se mahdollisesti siirtynyt, joten ympäröivän maaston kuvaaminen on hyödyksi. Myös mahdolliset maastossa näkyvät rajan sijainnista kertovat merkit, kuten raja-aukot metsässä, olisi hyödyllistä saada kuvaan mukaan varsinkin silloin, jos kivisessä rajamerkissä ei ole havaittavissa numeroa. Rajamerkin kuvaaminen optimaalisella tavalla tunnistamista ajatellen on maallikolle hankalaa, joten kuvamateriaalin laadun varmistamiseksi riittävän kattava ohjeistus rajamerkin valokuvaamiselle on tärkeää. Useamman kuvan tallentamisen mahdollisuutta tulisi myös pohtia, jotta Pyykkijahdin pelaaja voisi kuvata rajamerkin tarvittaessa useammasta suunnasta ja etäisyydeltä.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä saatiin selvitettyä vertausmittausten avulla alustavaa tietoa älypuhelinpaikannuksen tarkkuudesta ja potentiaalista kiinteistörekisterikartan tarkentamiseksi. Työstä saatujen tulosten perusteella älypuhelinmittausten paikannustarkkuuden voidaan päätellä parantuvan, kun rajamerkiltä otettujen havaintojen lukumäärä kasvaa. Tässä työssä saatujen tulosten perusteella rekisterikartalla olevia suuria epätarkkuuksia voitaisiin tarkentaa älypuhelinmittausten avulla jo nykyisellä mittaustarkkuudella. Koordinaateiltaan epätarkkojen rajamerkkien sijaintivirheen suuruutta rekisterissä ei kuitenkaan käytännössä tiedetä. Tästä johtuen älypuhelinpaikannuksen tarkkuus tulisi saada arviolta noin yhden metrin tarkkuuteen, jotta vältytään rekisterikartalla olevan sijaintitarkkuuden tahattomalta heikentämiseltä. Nämä seikat huomioiden työssä tehdyn tarkastelun perusteella saadut älypuhelinmittausten tarkkuudet eivät ole riittäviä rajamerkin sijainnin tarkentamiseksi kiinteistörekisterikartalla.

Luore/es-projektia seuraavassa jatkoprojektissa keskitytään älypuhelinpaikannuksen tarkentamiseen jälkilaskennan avulla. Tulevassa projektissa suoritettavissa vertausmittauksissa on syytä kiinnittää huomiota kerättävien älypuhelinhavaintojen lukumäärään, jotta sen vaikutusta paikannustarkkuuteen saadaan tutkittua kattavammin. Tulevassa projektissa tuleekin suunnitella suoritettavat vertausmittaukset huolellisesti.

Pyykkijahdista kerätty kuva-aineisto osoitti, että pelaajat ovat löytäneet rajamerkeiksi tunnistettavia kohteita hyvällä menestyksellä. Pelin keräämän suuren suosion ja projektissa kerättyjen kokemusten kautta Pyykkijahtia voidaan pitää tulevaisuudessa potentiaalisena tapana tarkentaa kiinteistörajojen sijaintia rekisterikartalla, mikäli älypuhelinpaikannuksen tarkkuus saadaan riittävälle tasolle. Tiedossa olevia mahdollisuuksia paikannustarkkuuden parantamiseksi on jäljellä useita ja näitä keinoja tullaan tutkimaan vuoden 2021 lopulla päättynyttä Luore/es-projektia seuraavassa jatkoprojektissa.

LÄHTEET

Dual-frequency GNSS on Android 2021. Google Sheets -tiedosto. Viitattu 8.2.2022

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1z6Yt9c4cyev1PB6VWEkbZtJG-foxAQ5UJnHyP24sFwlk/edit#gid=0>.

ESA 2011. Navipedia: Real Time Kinematics. European Space Agency. Viitattu 27.1.2022

https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Real_Time_Kinematics.

Garmin 2022. How Does Dual-Frequency Work? Viitattu 25.1.2022

<https://support.garmin.com/en-US/?faq=jptru9E32f6q0zydcdtXh9>.

GISGeography 2021. World Geodetic System (WGS84). GISGeography. Viitattu 3.2.2022

<https://gisgeography.com/wgs84-world-geodetic-system/>.

Heikkilä, M. 2021. Rajamerkin kartoittaminen RTK-mittauksella. Valokuva.

JHS 197 2016. EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmät, niihin liittyvät muunnokset ja karttalehtijako. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta. Viitattu 9.2.2022

<https://www.suomidigi.fi/ohjeet-ja-tuki/jhs-suositukset/jhs-197-euref-fin-koordinaattijarjestelmat-niihin-liittyvat-muunnokset-ja-karttalehtijako>.

Kiinteistörekisterikartan rajamerkkien sijaintitarkkuus 2012. Maanmittauslaitoksen julkaisusarja nro 112. Maanmittauslaitos, kehittämiskeskus. Viitattu 9.2.2022

https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/Nro_112_Kiinteistorekisterikartan_rajamerkkien_sijaintitarkkuus.pdf.

Laki Maanmittauslaitoksesta 23.11.2018/1025.

Luore/es-loppuraportti 2022. Luotettavaa tietoa kiinteistörekisteristä(Luore/es)-loppuraportti 02/2020. Maanmittauslaitos.

Maanmittauslaitos 2021a. Lähde pyykkijahtiin – Maanmittauslaitos kokeilee pelillistämistä rekisterikartan tarkentamiseen. Viitattu 1.2.2022

<https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/lahde-pyykkijahtiin-maanmittauslaitos-kokeilee-pelillistamista-rekisterikartan-tarkentamiseen>.

– 2021b. Kiinteistöni rajat ovat kartalla vinksallaan – onko syytä huolestua? Viitattu 8.2.2022

<https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/kiinteistoni-rajat-ovat-kartalla-vinksallaan-onko-syyta-huolestua>.

Maanmittauslaitos 2022a. FinnRef GNSS-asemat. Viitattu 1.2.2022

<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tutkimustoiminta/muut-tutkimus-ja-mittausasemat/finnref-gnss-asemat>.

- 2022b. DGNSS-paikannuspalvelu. Viitattu 8.2.2022
<https://www.maanmittauslaitos.fi/kartat-ja-paikkatieto/asiantuntevalle-kayttajalle/finpos-paikannuspalvelu/dgnss-palvelu>.
 - 2022c. Tietoa Maanmittauslaitoksesta. Viitattu 1.2.2022
<https://www.maanmittauslaitos.fi/organisaatio>.
 - 2022d. Historia. Viitattu 1.2.2022
<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/tietoa-meista/organisaatio/historia>.
 - 2022e. Tutkimus. Viitattu 1.2.2022
<https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus>.
 - 2022f. Kiinteistörekisteri. Viitattu 1.2.2022
<https://www.maanmittauslaitos.fi/huoneistot-ja-kiinteistot/asiantuntevalle-kayttajalle/kiinteistorekisteri>.
- Pyykkijahti 2022. Pyykkijahti-pelin karttanäkymä. Viitattu 8.2.2022
<https://www.pyykkijahti.fi/map>.
- Rikkinen, T. 2021. Paikannuskorjauksen perusteet. Sähköposti anuliina.koski-kangas@maanmittauslaitos.fi 16.11.2021. Tulostettu 20.11.2021.
- Zangenehnejad, F. & Gao, Y. 2021. GNSS smartphones positioning: advances, challenges, opportunities, and future perspectives. *Satellite Navigation* 2, artikkeli 24 (2021). Viitattu 9.2.2022
<https://doi.org/10.1186/s43020-021-00054-y>.