

Quuppa-paikannusjärjestelmän paikannustarkkuuden määrittäminen ja käyttöohje

Eveliina Saloranta

Opinnäytetyö
Toukokuu 2016
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Hyvinvointiteknologia

Tekijä(t) Saloranta, Eveliina	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2016
	Sivumäärä 78	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Quuppa-paikannusjärjestelmän paikannustarkkuuden määrittäminen ja käyttöohje		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Ström, Markku Siistonen, Matti		
Toimeksiantaja(t) Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Quuppa-paikannusjärjestelmän paikannustarkkuus sekä laatia yksinkertainen ja selkeä käyttöohje järjestelmälle. Toimeksiantajana oli Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, KIHU. Tavoitteena oli selvittää järjestelmän paikannustarkkuus käytännön testauksilla ja saada johtopäätökseksi, minkä tyyppisten urheilulajien käyttöön järjestelmä soveltuu parhaiten.</p> <p>Paikannustarkkuutta selvitettiin kahdella erillisellä testauksella. Ensimmäinen testaus toteutettiin melko pienellä, 10 x 10 metrin alueelle. Ensimmäisessä testauksessa oli kolme tunnettua pistettä, joihin tunniste eli tagi oli sijoitettuna paikannuksen ajan. Ensimmäisessä testauksessa tagia myös liikutettiin hitaasti suoraa viivaa pitkin kolmen metrin matkan. Toinen testaus suoritettiin suuremmalla, 25 x 40 metrin alueelle. Toisessa testauksessa oli apuna kolme testihenkilöä, joihin tagit kiinnitettiin. Testihenkilöiden avulla tutkittiin paikannustarkkuutta pelitilanteita jäljitelleellä testauksella. Järjestelmän antamia tietoja verrattiin todellisiin sijainteihin ja nopeuksiin. Todelliset sijainnit mitattiin takymetrillä tai laseretäisyysmittarilla. Testihenkilön nopeus kävely- ja juoksutesteissä mitattiin valokennoilla.</p> <p>Tuloksena saatiin laskennallisia arvoja tarkkuudesta, käyttöohje järjestelmälle sekä piste- ja viivakaavioita, joista voi arvioida visuaalisesti tagin kulkeman matkan ja reitin. Testauksia pitäisi tehdä paljon enemmän, jotta tulokset olisivat täysin luotettavia. Paikannustarkkuudeksi saatiin 18 cm poikkeamien keskiarvoista laskettuna. Suurimpien poikkeamien keskiarvo on 47 cm. Paikannustarkkuus ei ole kovin luotettava, koska suuria poikkeamia on paljon. Järjestelmän paikannustarkkuus ei ole riittävä useimpien yksilöurheilulajien käyttöön. Järjestelmä soveltuu paremmin joukkuelajeissa pelaajien paikantamiseen.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Quuppa-paikannusjärjestelmä, paikannustarkkuus, RTLS, reaaliaikainen paikannus		
Muut tiedot		

Author(s) Saloranta, Eveliina	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2016 Language of publication: Finnish
	Number of pages 78	Permission for web publication: x
Title of publication Locating accuracy of Quuppa locating system and user manual		
Degree programme Degree Programme in Wellness Technology		
Supervisor(s) Ström, Markku Siistonen, Matti		
Assigned by KIHU - Research Institute for Olympic Sports		
Abstract <p>The purpose of bachelor's thesis was to define the locating accuracy of Quuppa Intelligent Locating System. The second purpose was to write a simple and clear user manual for the system. The thesis was assigned by KIHU - Research Institute for Olympic Sports. The target was to define the locating accuracy of the locating system with two tests and to determine what kind of sports can be tracked with the system.</p> <p>The locating accuracy of the system was tested with two tests. The first test was in a small area, 10 x 10 meters. In the first testing there was three measuring points, where the tag was placed when it was being located by the system. In the first testing the tag was also moved slowly, on a straight line of three meters. The second testing was in a larger area, 25 x 40 meters. In the second testing there were three test persons and tags was attached on them. With the test persons the locating accuracy of system was tested with playing movements. The location data from the locating system was compared to real location points and speeds. The location points were measured with a tacheometer or laser range-finder. The speed of the test person in walking- and running tests was measured using photocells.</p> <p>As a result, calculated values of locating accuracy, a user manual for the system and scatter- and line charts of tags routes were achieved. More tests should be conducted to define the reliable locating accuracy. The calculated locating accuracy was 18 cm and it is average deviation. The average of the biggest deviations is 47 cm.</p> <p>The locating accuracy of the system is not very reliable, because of the amount of big deviations. The locating accuracy is not sufficient for tracking most individual sports. The locating system is more suitable for tracking players in team sports.</p>		
Keywords/tags (subjects) Quuppa Intelligent Locating System, locating accuracy, RTLS, Real Time Locating System		
Miscellaneous		

Sisältö

Termit	4
1 Opinnäytetyön lähtökohdat	5
2 KIHU.....	6
3 Paikannusmenetelmät	6
3.1 Lähipaikannusmenetelmät.....	8
3.1.1 Lähiverkkopaikannus	8
3.1.2 Bluetooth Low Energy-teknologia (BLE)	9
3.1.3 RFID-teknikka	9
3.1.4 Inertianavigointi.....	11
3.2 Vedenalainen navigointi.....	11
3.3 Inmotio-lähipaikannusmenetelmä	11
4 RTLS- reaaliaikainen paikannusmenetelmä	12
4.1 RTLS:n käyttökohteet	12
4.2 RTLS- signaalin mittaustekniikat.....	13
4.2.1 Angle of arrival-mittaustekniikka	13
4.2.2 Time of flight-mittaustekniikka	15
4.2.3 Time difference of arrival-mittaustekniikka	15
5 HAIP-teknologia.....	16
6 Power over Ethernet	18
7 Quuppa.....	18
7.1 Paikannusjärjestelmän toimintaperiaate	19
7.2 Quupan komponentit	20
7.2.1 Paikantimet eli lokaattorit	20
7.2.2 Tunniste eli tagi	21
7.2.3 Tarkennuslokaattori.....	22
7.2.4 Site Planner & Deployer-ohjelma	23
7.2.5 Quuppa Positioning Engine- paikannusohjelmisto.....	23

	2
7.2.6 Quuppa Customer Portal-verkkopalvelu	24
7.3 Paikannustarkkuus	24
8 Käyttöohje	25
9 Tutkimusmenetelmä	25
9.1 Testaus.....	25
9.1.1 Ensimmäinen testaus 4.5.2016	26
9.1.2 Toinen testaus 20.5.2016	31
9.2 Datan analysointi.....	37
9.3 Tulokset	38
9.3.1 Pistetestit	38
9.3.2 Suora, hiljaisen nopeuden etenemisliike.....	39
9.3.3 Kävely ja juoksu 15 metrin suoralla.....	39
9.3.4 Yhteenveto.....	40
10 Johtopäätökset.....	40
11 Pohdinta	41
Lähteet.....	43
Liitteet	47

Kuviot

Kuvio 1. Paikannusmenetelmät.....	7
Kuvio 2. Paikannusmenetelmien toimintaympäristö ja tarkkuus	8
Kuvio 3. Angle of arrival.	14
Kuvio 4. Quupan lokaattorit mittaavat radiosignaalin saapumiskulmaa AoA- tekniikalla.	15
Kuvio 5. Verkostokeskeinen HAIP.	17
Kuvio 6. Mobiilikeskeinen HAIP.....	17
Kuvio 7. Power over Ethernet.	18
Kuvio 8. POE-kytkin.	18

Kuvio 9. Quupan toimintaperiaate.....	19
Kuvio 10. LD-7L-lokaattori.....	20
Kuvio 11. LD-6L-lokaattori.....	21
Kuvio 12. Quuppa HAIP-tag.....	22
Kuvio 13. Tarkennuslokaattori	22
Kuvio 14. Aloitusnäkyä Site Planner & Deployer-ohjelmasta.....	23
Kuvio 15. Paikannusvirheen suuruus eri etäisyyksillä ja lokaattoreiden määrällä.	24
Kuvio 16. Ensimmäisen testauksen projekti.	27
Kuvio 17. Tagin sijainti X,Y-koordinaatistossa.....	28
Kuvio 18. Tagin korkeus metreinä.....	28
Kuvio 19. Järjestelmän mittaamien sijaintien keskiarvo-pisteet verrattuna todellisiin tagin sijainteihin.	29
Kuvio 20. Tagin liikerata 3 metrin matkalla Y-akselin suunnassa.	30
Kuvio 21. Tagin sijainti X,Y-koordinaatistossa.....	30
Kuvio 22. Tagin korkeus.....	31
Kuvio 23. Toisen testauksen projekti.	32
Kuvio 24. Tagien sijainnit aikavälillä 15:33:26-15:33:34.	33
Kuvio 25. Tagien sijainnit 6 sekunnin juoksun ajalta.....	33
Kuvio 26. Tagien sijainnit koko viivajuoksun ajalta.	34
Kuvio 27. Keskiarvoistettu tagin kulkema matka 15 metrin kävelyssä.	35
Kuvio 28. Keskiarvoistettu tagin kulkema matka ja reitti 15 metrin juoksun ajalta.	36
Kuvio 29. Pistetestin keskiarvopisteet verrattuna todelliseen sijaintiin.....	37
Taulukko 1. Pistetestien hajontaluvut ja näytteenottotaajuudet.....	38
Taulukko 2. Suoran, hiljaisen liikkeen tulokset.	39
Taulukko 3. Kävely- jajuoksutestien tulokset.....	39

Termit

AoA	Angle of Arrival. Signaalin saapumiskulman mittaukseen perustuva paikannustekniikka.
API	Application Programming Interface. Ohjelmointirajapinta, jonka avulla ohjelmat kommunikoivat keskenään.
Beacon	Bluetooth Low Energyllä toimiva "radiomajakka", joka lähettää radiosignaalia ympärilleen.
BLE	Bluetooth Low Energy, Bluetooth 4.0. Vähävirtainen langaton tiedonsiirtoteknologia.
Epoch-aika	Aika sekunteina tai millisekunteina, joka on kulunut ajasta 1.1.1970 00:00:00 UTC.
HAIP	High Accuracy Indoor Positioning. Suuren tarkkuuden sisätilapaikannus.
Hz	Hertsi. Taajuuden yksikkö, joka kertoo montako yksikköä sekunnissa on esimerkiksi näytteenottotaajuus.
JSON	JavaScript Object Notation. Yksinkertainen avoimen standardin tiedostomuoto.
LPM	Local Position Measurement. Lähipaikannusteknologia.
PoE	Power over Ethernet. Standardoitu tekniikka, jonka avulla voidaan syöttää käyttäjännite laitteelle, esimerkiksi WLAN-tukiasemalle.
RTLS	Real Time Locating System. Reaaliaikainen paikannusjärjestelmä.
TAG	Tunniste.
Transponder	Lähetin.
RFID	Radio Frequency Identification. Radioaaltojen avulla tapahtuva tunnistus.
GPS	Global Positioning System. Satelliittipaikannusjärjestelmä.

1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Opinnäytetyön päätarkoituksena oli selvittää Quuppa-paikannusjärjestelmän paikannustarkkuus. Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU). KIHUlle on hankittu Quupan paikannusjärjestelmä vuonna 2014 ja sitä on ollut tarkoitus hyödyntää urheilun tutkimus- ja kehitystyössä eri urheilulajeissa, kuten pikaluistelussa. Järjestelmän tarkkuuden kanssa on kuitenkin ollut haasteita, joten oli aiheellista selvittää tarkkuus ja se, minkälaisen urheilulajien käyttöön tarkkuus soveltuu. Lisäksi kaivattiin selkeää ja yksinkertaista käyttöohjetta järjestelmälle.

Tarkkuutta selvitettiin ensin kokoamalla kaikki saatavilla ollut tieto järjestelmän toiminnasta sekä teoreettisesta tarkkuudesta KIHUlla käytettäville Quupan komponenteille. Tietoa kerättiin valmistajan omilta nettisivuilta sekä muista lähteistä, jotka käsittelivät järjestelmän käyttämää teknologiaa yleisemmin.

Quupan paikannustarkkuutta selvitettiin käytännön testauksilla KIHUlla. Testauksista laadittiin suunnitelma, jossa otettiin ensimmäiseksi huomioon laitteen suunnittelijoilta saadut neuvot parhaan mahdollisen tarkkuuden saavuttamiseksi. Järjestelmän asennusvaiheella ja paikantimien sijoittelulla on merkitystä järjestelmän tarkkuuteen ja toimivuuteen. Ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää paikannuksen luotettavuus eli se, näyttääkö järjestelmä tagien oikean sijainnin oikeaan aikaan vai onko suurta virhettä tai vaihtelua sijaintitiedoissa. Seuraavaksi haluttiin selvittää, minkälainen paikannustarkkuus on suuremmalla alueella, nopeassa liikkeessä ja useampaa tagia käytettäessä.

Varsinaisten mittausten jälkeen saatua dataa piti käsitellä ja analysoida Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Järjestelmän antamaa dataa verrattiin takymetrillä tai laseretäisyysmittarilla mitattuihin todellisiin sijainteihin sekä valokennoilla mitattuihin aikoihin. Datan riittävän analysoinnin jälkeen tehtiin johtopäätökset tarkkuudesta ja siitä, minkälaisiin urheilulajeihin paikannusjärjestelmä soveltuisi.

2 KIHU

Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus (KIHU) on aloittanut toimintansa vuonna 1991. KIHU johtaa Suomen Olympiakomitean Huippu-urheiluyksikön Osaamisohjelmaa ja koordinoi sen toimintaa. KIHUn neljä toimintayksikköä ovat: Biotieteiden yksikkö, Käyttäytymistieteiden yksikkö, Yhteiskuntatieteiden yksikkö sekä Viestintä ja it-yksikkö. (KIHU Historia n.d.)

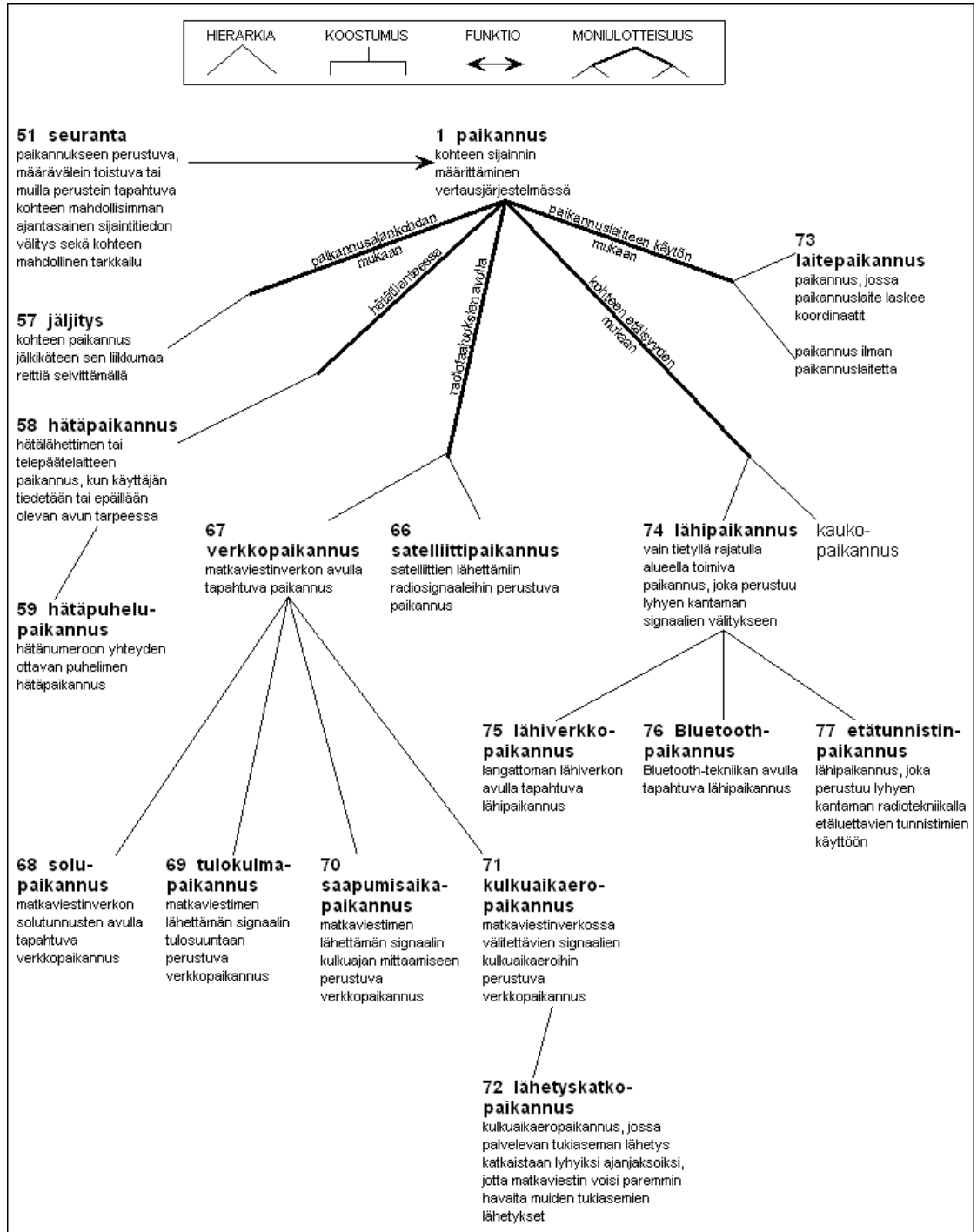
KIHUn missiona on edistää suomalaista kilpa- ja huippu-urheilua tutkimus-, kehitys- ja palvelutoiminnalla. Toimintaa ohjaavat arvot ovat: urheilun kansainvälinen menestys, korkea laatu, innovatiivisuus sekä eettisesti ja ekologisesti kestävä urheilu. (KIHU Strategia n.d.)

KIHUn asiantuntijatoiminta jakautuu kahteen vaiheeseen; lapsuus- ja valintavaiheen sekä huippuvaiheen asiantuntijatoimintaan. Lapsuus- ja valintavaiheen asiantuntijatoiminta sisältää hankkeita ja projekteja, jotka tukevat lapsen ja nuoren kasvamista urheilijaksi. Huippuvaiheessa osallistuva asiantuntijatoiminta näkyy urheilijan jokapäiväisessä valmennuksessa. Huippu-urheiluyksikön lajiryhmävastaavat, lajin asiantuntijat sekä vastuuvallmentajat suunnittelevat yhdessä toiminnan. (KIHU Asiantuntijatoiminta n.d.)

KIHUn tutkimus- ja kehitystoiminta perustuu Huippu-urheilun tutkimus- ja kehittämishjelmaan, jonka mukaan toimintaa kehitetään käytännössä urheilun arjessa syntyvien tarpeiden pohjalta. KIHU koordinoi tutkimus- ja kehitystoimintaa, johon osallistuvat KIHUn lisäksi useat tutkimuslaitokset, kuten yliopistot, ammattikorkeakoulut, urheiluopistot ja liikuntalääketieteen keskuskeskukset. (KIHU Tutkimus- ja kehitystoiminta n.d.)

3 Paikannusmenetelmät

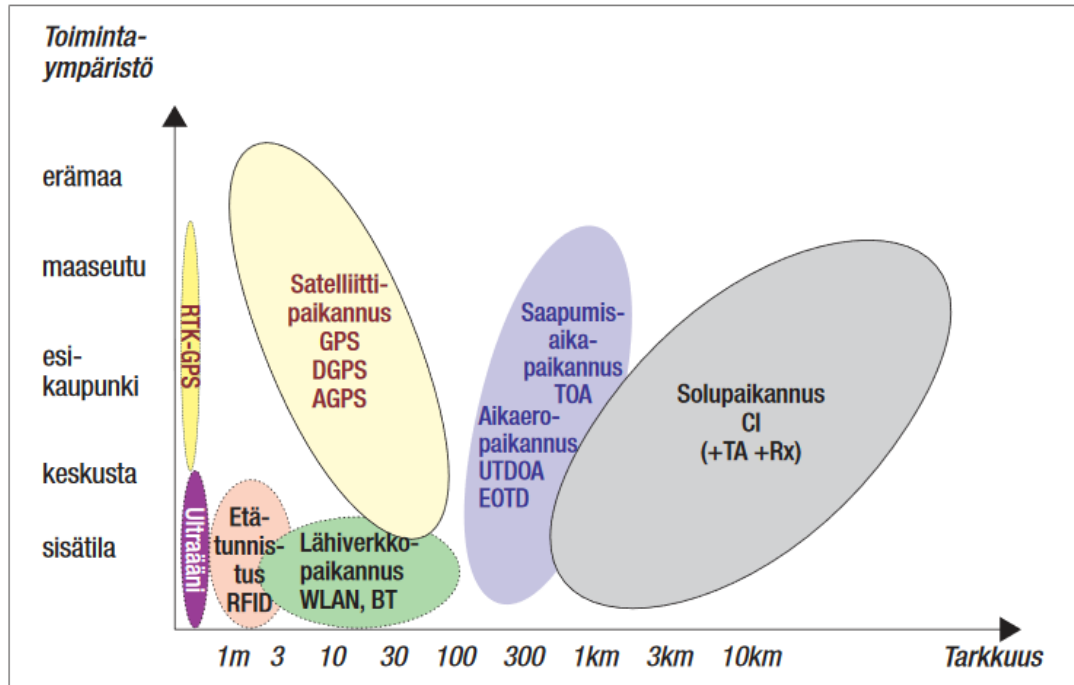
Tekniikan sanastokeskus TSK:n TEPA-termipankin määritelmän mukaan paikannus on kohteen sijainnin määrittämistä vertausjärjestelmässä. Kuviossa 1. on havainnollistettu paikannusmenetelmien suhteita. Quoppa-paikannusmenetelmä sijoittuisi lähipaikannuksen alle.



Kuvio 1. Paikannusmenetelmät. (TEPA-termipankki 2002)

Paikannusmenetelmät perustuvat yleisesti etäisyyksien määrittämiseen signaalin ominaisuuksia mittaamalla. Usein kyseessä on valon nopeudella etenevä radiosignaali, joka heijastelee rakenteista. Paikannusmenetelmät voi jakaa kolmeen pääryhmään: verkkopaikannus, lähipaikannus ja satelliittipaikannus. (Rainio 2003)

Kuviossa 2. on kuvattu vaaka-akselin suunnassa eri paikannusteknologioiden tarkkuutta ja pystyakselilla eri tekniikoiden toimintaympäristöt.



Kuvio 2. Paikannusmenetelmien toimintaympäristö ja tarkkuus. (Rainio 2003)

Satelliittipaikannus on nykyisin melko tarkkaa ja sitä hyödynnetään monissa soveluksissa, mutta sisätiloihin satelliittisignaali ei välttämättä sovellu.

Satelliittipaikannuksen apuna sisätiloihin siirryttäessä ovat inertianavigointitekniikka sekä langattomat paikannusmenetelmät. (Sisätilanavigointi n.d.)

3.1 Lähipaikannusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä on keskitytty lähipaikannusmenetelmiin. Quupan paikannusjärjestelmän voisi luokitella lähipaikannusmenetelmiin. Tässä kappaleessa on esitelty lähipaikannustekniikoita.

3.1.1 Lähiverkkopaikannus

Lähiverkkopaikannus, eli yleisimmin WLAN-yhteydellä toteutettu paikannus perustuu useimmiten signaalin voimakkuuden mittaamiseen. Signaalin voimakkuuden

mittaamiseen perustuva paikantaminen toteutetaan signaalien voimakkuuksista tehtyjen sormenjälkikarttojen avulla. Sormenjälkikartat tuotetaan havainnoimalla signaalien voimakkuuksia eri alueilla etukäteen ja tiedoista muodostetaan alueen signaalivoimakkuuskartta. Kohde paikannetaan vertaamalla signaalin reaaliaikaisia voimakkuuksia voimakkuuskarttaan. Paikannuksen tarkkuus riippuu lähellä sijaitsevien tukiasemien määrästä ja alueen voimakkuuskartan tiheydestä. (Sisätilanavigointi n.d.)

3.1.2 Bluetooth Low Energy-teknologia (BLE)

Bluetooth Low Energy (BLE) tunnetaan myös nimellä Bluetooth 4.0 tai Bluetooth Smart ja se on Bluetooth-teknologian viimeisin versio. BLE-teknologia mahdollistaa vähävirtaisen yhteyden ja tiedonsiirron. Laitteita voidaan käyttää vuoden ajan osana verkkoa, ilman paristojen vaihtamista tai akun latausta. Vähävirtaisuus perustuu siihen, että laite pidetään lepotilassa ja se herätetään vasta kun siihen luodaan yhteys. Yhteysajat ovat myös lyhyitä, muutaman millisekuntin mittaisia. Bluetoothin toimintataajuus on 2,4 GHz. Bluetooth toimii master-slave-periaatteella, jossa yksi laitteista on verkon isäntä ja muut yhdistetyt laitteet toimivat orjina. Bluetooth-teknologian tiedonsiirto perustuu taajuushyppelyyn, jossa isäntänä toimiva laite vaihtaa lähetystaajuuden tietyn aikavälin jälkeen. Aikaväli on 625 mikrosekuntia, jolloin hyppelytaajuus on 1600 hyppyä sekunnissa. (Pääkkönen 2014)

Monet nykyaikaiset langattomat laitteet käyttävät BLE-teknologiaa, esimerkiksi sykemittarit.

3.1.3 RFID-teknikka

Radio frequency identification (RFID) on yleisnimitys kaikille tekniikoille, jotka käyttävät radiotaajuuksia asioiden havainnointiin, tunnistamiseen ja yksilöintiin. RFID-termin alle mahtuu useita erilaisia teknologioita. RFID-teknikka perustuu tiedon tallentamiseen tunnisteseeseen ja sen lukemiseen langattomasti radioaaltojen avulla. (Mitä on RFID? n.d.) Ensimmäiset RFID-sovellukset on kehitetty yhdessä tutkatekniikan kanssa toisen maailman sodan aikaa. Silloin kehitettiin "Identification Friend or Foe" (IFF), jossa RF-tunniste (tag) ja "kuulustelija" (lukija) suunniteltiin tunnistamaan oman puolen lentokoneet. (Miles 2008) RFID-teknikka on

vuosikymmeniä vanha keksintö ja sitä on hyödynnetty jo pitkään erilaisissa arkipäiväisissä lukijoissa, kuten matkakorteissa ja kulkuavaimissa. Myös teollisuudessa on hyödynnetty RFID-teknologiaa, varsinkin logistiikassa tavaravirtojen seurannassa. (Miksi RFID? n.d.)

RFID-teknikkaa voidaan hyödyntää useissa eri käyttökohteissa, koska tunnisteita voidaan lukea kaukaa, nopesti, eri asennoista ja useimpien materiaalien läpi. Tiedonkeruu on RFID-teknologian avulla automaattisempaa ja manuaalista lisätyötä ei tarvita. RFID-teknikkaa voidaan soveltaa muunmuassa: kohteiden seurantaan, logistiikkaan, teollisuuden valmistusprosessien seurantaan, henkilötunnistukseen ja – seurantaan, vähittäismyyntiin, maksusovelluksiin ja kulunvalvontaan. (Miksi RFID? n.d.)

RFID-tunnisteilla on kaksi perustoimintatapaa; passiivinen ja aktiivinen tunniste. Aktiivitunnisteessa on virtalähteenä patteri, joka mahdollistaa suuremman lukuetaisyyden ja nopean tiedonsiirron. Aktiivitunniste ja lukija kommunikoivat kuin kaksi radiota tai matkapuhelinta. Lukijan antenni lähettää radioaaltoja, tunnisteen dipoliantenni vastaanottaa aallot ja heijastaa niitä takaisin sisältäen sirun tiedot. Passiivitunnisteessa taas ei ole omaa virtalähdettä ja lukuetaisyys on lyhyempi. Passiivitunniste ja lukija keskustelevat moduloimalla oskilloivaa magneettikenttää. Lukija luo oskilloivan magneettikentän johtamalla vaihtovirtaa antennisilmukkaansa ja magneettikenttä indusoi vastaavan virran tunnisteen käämiin, jos se on riittävän lähellä. Tunnisteen siru saa virtaa indusoituneesta virrasta ja sirun muistissa oleva data käytetään moduloimaan tunnisteen käämin virtaa. Tämä näkyy magneettikentän yli lukijan antennisilmukan jännitteessä. (RFID-teknikan fysikaaliset perusteet n.d.)

RFID-teknikassa tunniste ja lukija kommunikoivat keskenään tietyllä radiotaajuudella. Taajuusalueita ovat: Low Frequency (LF) joka toimii yleensä 125 kHz taajuudella, High Frequency (HF), jonka standarditaajuus on 13,56 MHz, Ultra High Frequency (UHF), jonka taajuusalue Suomessa on noin 869 MHz sekä mikroaallot, joissa yleisin taajuus on 2,4 GHz. Eri taajuusalueilla käytettävä mekanismi on erilainen. LF- ja HF-taajuusalueilla kyseessä on induktiivinen kytkentä, jossa tunniste reagoi lukijan luomaan magneettikenttään. UHF- ja mikroaaltotaajuuksilla käytössä on radioaallot. Viestintävirasto kontrolloi taajuusalueiden käyttöä Suomessa ja se voi

myös asettaa vaatimuksia RFID-laitteistoille. (RFID-tekniikan käyttämät taajuusalueet n.d.)

3.1.4 Inertianavigointi

Inertianavigointi perustuu kiihtyvyyden, kallistuksen ja suunnan mittaamiseen. Niitä mitataan kiihtyvyyssantureilla ja gyroskoopeilla. Inertianavigoinnissa mittalaitteelle annetaan tarkka lähtöpaikka, jonka jälkeen laitteen kiihtyvyyttä ja asentoa mitataan sensoreilla ja saadusta informaatiosta lasketaan paikka ja nopeus. (Paikkatietokeskus n.d.)

3.2 Vedenalainen navigointi

Suomalainen yritys Adriana Tech on kehittänyt maailman ensimmäisen veden alla toimivan navigointimenetelmän. Radiosignaaliin perustuvat paikannusmenetelmät eivät toimi veden alla, joten laitesukeltajille kehitettiin uudenlainen teknologia. Kyseessä on uintiliikkeitä ja hydrodynamiikkaa mallintava inertiasuunnistusmenetelmä. Tarkkuus on testilaitteilla ollut GPS-tekniikan tarkkuutta vastaava. (Nordgren 2016)

Järjestelmässä on 11 itsenäistä anturia, joilta laite lukee dataa ultrakorkealla näytteenottotaajuudella. Algoritmien avulla se määrittää sukeltajan suuntaa ja nopeutta tietynä ajankohtana laskettujen liikevektoreiden avulla. Sukeltaja saa laitteen LCD-näytölle sijaintitietoja ja navigointiohjeita sukelluksen aikana. (Innovation comes from science and engineering combined with imagination n.d.)

3.3 Inmotio-lähipaikannusmenetelmä

Inmotio on lähipaikannusmenetelmä (LPM, Local position measurement), joka perustuu RFID-tekniikkaan (Radio frequency identification). Urheilun, lähinnä jalkapallon, paikannukseen tarkoitettu järjestelmä koostuu antennista ja transpondereista (lähetin). Antennit sijoitetaan kentän ympärille ja transponderit kiinnitetään pelaajiin. Kuitukaapeilla LPM-serveriin ja siitä ohjelmistoon yhdistetyt antennit laskevat transponderin sijainnin reaaliajassa. Ohjelmisto prosessoi datan arvoiksi, kuten nopeus, sijainti ja kuljettu matka. Järjestelmään saa liitettyä Polarin

sykevyön, jolloin urheilijan sykkeen saa reaaliaikaisesti tietoon. Valmistajan ilmoittama suhteellinen paikannustarkkuus on 3 cm ja mittaustaajuus on korkeimmillaan 1000 Hz. (LPM Technology n.d)

4 RTLS- reaaliaikainen paikannusmenetelmä

Real-time locating system (RTLS) on vapaasti käännettynä reaaliaikainen paikannusjärjestelmä. ISO (The International Organization for Standardization) ja IEC (The International Electrotechnical Commission) ovat luoneet RTLS-standardin (ISO/IEC 24730), joka määrittelee mikä on RTLS. Standardin tarkoituksena on mahdollistaa yhteensopivuus ja edistää tuotteiden yhteentoimivuutta. Standardin mukaan RTLS on langaton järjestelmä, jolla pystyy paikantamaan kohteen sijainnin määritellyssä tilassa reaaliajassa tai hyvin lähellä sitä. Sijainti selvitetään radiolinkin fyysisiä ominaisuuksia mittaamalla. (ISO/IEC 24730 2014.)

Standardin mukaan RTLS:lle on neljä luokitusta:

- paikannus maanpäällisiä, laajalle alueelle asennettuja vastaanottimia käyttäen, esimerkiksi matkapuhelintornit, tarkkuus 200 metriä
- paikannus satelliitin välityksellä, vaatii näköyhteyden, tarkkuus on 10 metriä
- paikannus valvotulla alueella, esimerkiksi varasto, kampus, lentokenttä, (mittalaitteilla rajattu alue, josta ollaan kiinnostuneita), tarkkuus 3 metriä
- paikannus ahtaassa tai pienessä tilassa (mittalaitteilla rajattu alue, josta ollaan kiinnostuneita), tarkkuus kymmeniä senttimetrejä. (ISO/IEC 24730 2014.)

4.1 RTLS:n käyttökohteet

RTLS-teknologiaa käytetään ihmisten ja esineiden paikantamiseen sisätiloissa. Tarvetta sisätiloissa tapahtuvalle paikantamiselle syntyy esimerkiksi sairaaloissa, kun halutaan tietää missä henkilöt tai laitteet menevät. Sairaaloissa paikannuksen tarve voi liittyä myös turvallisuustekijöihin. (Alatalo 2012.)

Urheilussa hyödynnetään RTLS-teknologiaa esimerkiksi joukkuelajeissa pelaajien ja pelivälineen seuraamiseen pelin aikana. Quupan ja SportIQ:n yhdessä kehittämä teknologia on päätetty ottaa tammikuusta 2016 alkaen testikäyttöön jääkiekon SM-sarjassa, Liigassa. Quupan ja SportIQn RTLS-teknologian avulla saadaan yksityiskohtaista tilastotietoa esimerkiksi peliajoista, luistelunopeudesta, pelaajien etäisyyksistä, kiekon hallussapidoista ja laukauksien nopeuksista. (Smart Puck Enters the Finnish Hockey League 2015)

RTLS-teknologiaa hyödynnetään sisälogistiikassa. Se on kustannustehokas ja luotettava tapa paikantaa haluttuja objekteja varastossa. RTLS-teknologia mahdollistaa varastotilojen, työntekijöiden sekä ajoneuvojen tehokkaan hyödyntämisen; käyttöastetta saa parannettua, siirtymät ovat sujuvia ja pullonkaulat pystytään estämään. (Pesonen 2015)

Kauppakeskuksissa ja vähittäiskaupoissa on myös otettu RFID:n ja iBeaconin (radiomajakka, joka lähettää signaalia ympärilleen) ohelle käyttöön RTLS-teknologia, jolla voidaan seurata työntekijöiden liikkeitä ja asiakkaiden ostoskäyttäytymistä. (Revolutionizing Retail with Redpoint RTLS 2016.)

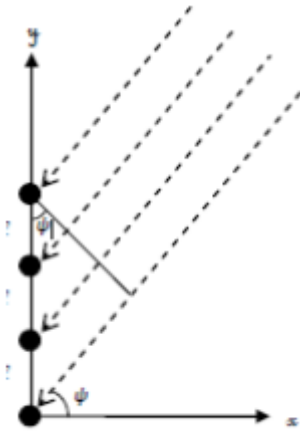
4.2 RTLS- signaalin mittaustekniikat

Erilaisia mittaustekniikoita sijainnin selvittämisessä ovat: Time of Flight Ranging Systems, Amplitude Triangulation, Time Difference of Arrival (TDOA), Cellular Triangulation, Satellite Multi-lateration ja Angle of Arrival. (ISO/IEC 24730 2014)

Edellisistä Quupan paikannusjärjestelmä käyttää Angle of arrival-mittaustekniikkaa, joka on signaalin saapumiskulmaan perustuva paikannustekniikka.

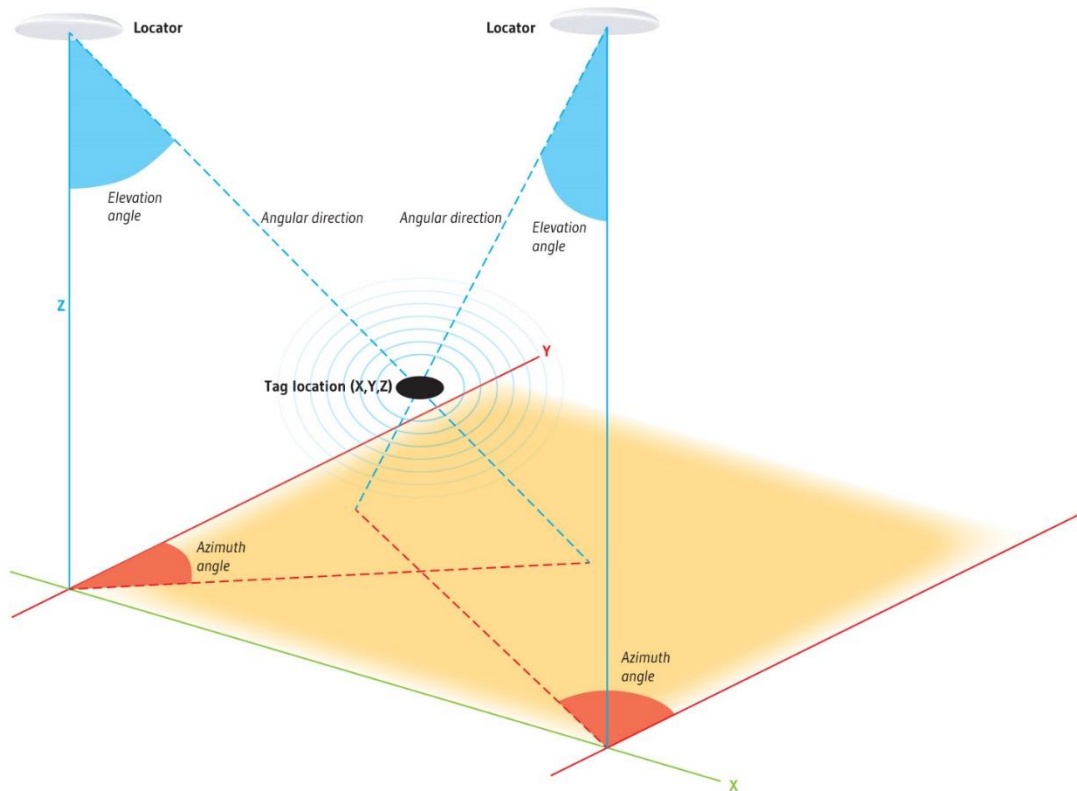
4.2.1 Angle of arrival-mittaustekniikka

Angle of arrival (AoA) on suomennettuna saapumiskulma. AoA-tekniikalla määritetään radioaallon suunta ja kulma sen saapuessa vastaanottimen antenniin. Saapumiskulma lasketaan saapuvien radioaaltojen aikaeroista. Kuvio 3. kuvaa aaltojen saapumista antenniin eri aikoihin. (Haataja 2014)



Kuvio 3. Angle of arrival. (Haataja 2014)

AoA-mittaustekniikan luotettavuus riippuu toimintasäteestä. Jos paikannin on kaukana, voi syntyä mittausvirheitä, jotka aiheuttavat paikannusvirheitä. AoA tarvitsee toimiakseen suunnattavat antennit ja paikannustarkkuus riippuu osaltaan antennien suuntauksesta. (Alatalo 2012) Kuvio 4. kuvaa mittausperiaatteen, jolla Quupan paikantimet eli lokaattorit mittaavat signaalin saapumiskulmaa.



Kuvio 4. Quupan lokaattorit mittaavat radiosignaalin saapumiskulmaa AoA-tekniikalla. (Unique Technology, 2016)

4.2.2 Time of flight-mittaustekniikka

Time of flight-mittaustekniikassa lasketaan signaalin käyttämä aika kahden laitteen välillä. Yleisimmät käytetyt signaalit ovat radioaallot ja ultraääni. Välimatkan kulkemiseen käytetty aika voidaan laskea synkronoitujen kellojen avulla tai mittaamalla edestakainen matka-aika. (Pesonen 2015)

4.2.3 Time difference of arrival-mittaustekniikka

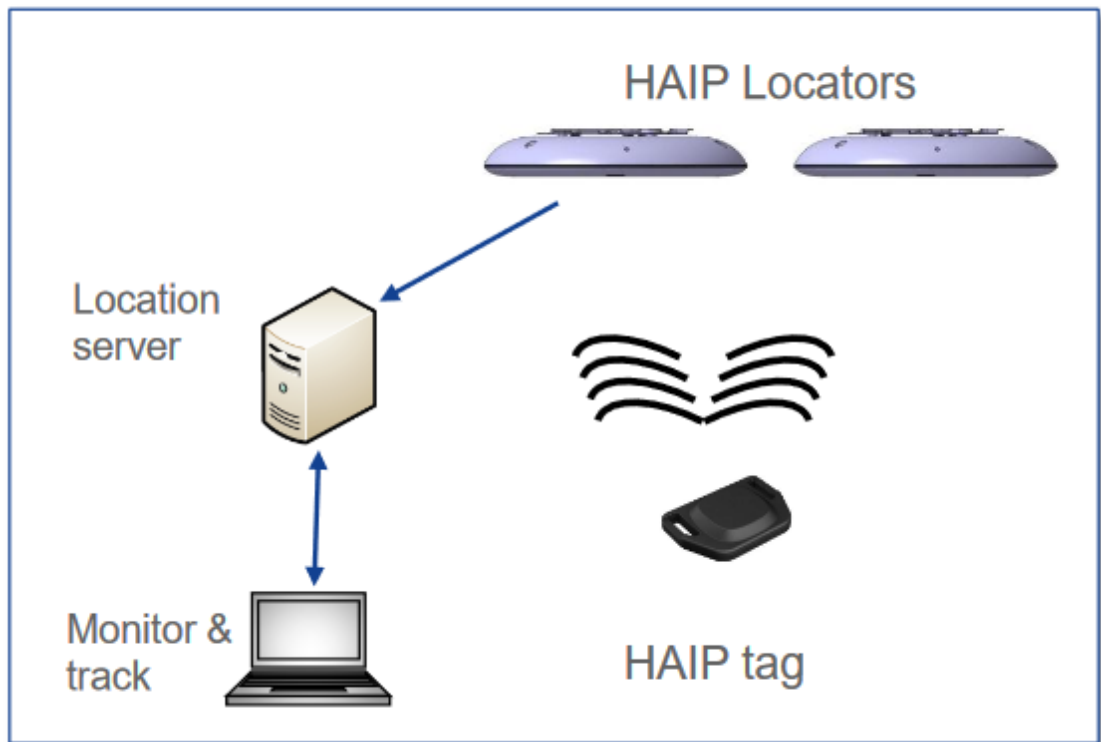
Time difference of arrival on suomennettuna aikaero signaalin saapuessa. Paikannustekniikka perustuu sijainnin laskemiseen usean vastaanottimen signaalin vastaanottoaikojen avulla. Vastaanottimet ottavat vastaan saman lähettimen signaalin ja koska vastaanottimien sijaintipisteet ovat tunnettuja, signaalin saapumisaikojen avulla voidaan laskea lähettimen sijainti. Menetelmä vaatii toimiakseen useita tunnettuja pisteitä. (Pesonen 2015)

5 HAIP-teknologia

High Accuracy Indoor Positioning (HAIP), vapaasti käännettynä suuren tarkkuuden sisätilapaikannus, on Bluetooth Low Energyllä (BLE) toimiva paikannusteknologia. HAIP on kehitetty Nokian tutkimuskeskuksella vastaamaan sisätilan paikannusteknologian tarpeeseen. HAIP perustuu suunnattaviin beaconeihin (radiomajakka), joiden avulla kännykkä pystyy paikantamaan sijaintinsa. Kännykkä mittaa beaconin lähettämän signaalin suunnan ja paikantaa itsensä. Tekniikka toimii molempiin suuntiin, eli kännykkä ja beacon voivat kumpikin toimia lähettimenä sekä vastaanottimena. Riippuen asennuskorkeudesta, yksi beacon riittää 100-2500 neliömetrin alueelle. (Kalliola 2011)

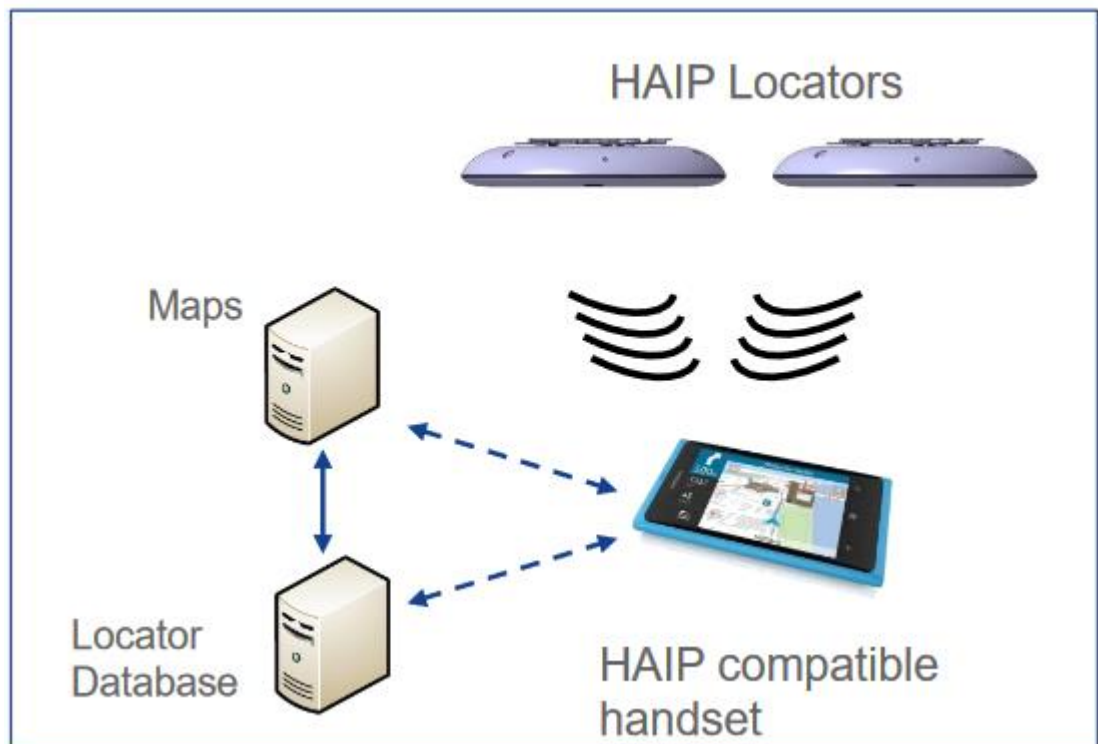
HAIP-teknologian paikannustarkkuus on 0,5-1 metriä ja 10 senttimetrin tarkkuus on mahdollista saavuttaa. HAIP-lokaattorit ovat tyypillisesti kiinnitettynä kattoon ja ne voivat toimia sekä vastaanottimena että lähettimenä järjestelmässä. HAIP:lla on kaksi toimintaperiaatetta: verkostokeskeinen, jonka toiminta kuvataan kuviossa 5. sekä mobiilikokeskeinen, jonka toiminta kuvataan kuviossa 6. Toimintaperiaatteiden suurin eroavaisuus on, että verkkokeskeisessä paikannetaan tagia ja paikannustieto luetaan tietokoneelta, kun taas mobiilikokeskeisessä järjestelmässä lokaattorit lähettävät sijaintitietoja mobiililaitteelle, josta luetaan myös paikannustieto. (Rantala 2012)

Network centric: localization of RF tags



Kuvio 5. Verkostokeskeinen HAIP. (Rantala 2012)

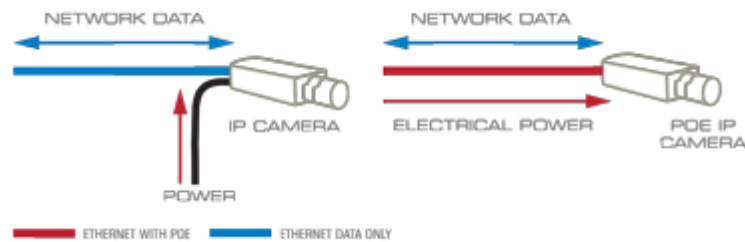
Mobile centric: positioning using mobile phones



Kuvio 6. Mobiilikeskeinen HAIP. (Rantala 2012)

6 Power over Ethernet

Power over Ethernet (POE) on teknologia, jonka avulla verkkokaapelit kuljettavat sähköä. POE mahdollistaa sekä tiedon että sähkön siirron yhdellä samalla verkkokaapelilla. POE-tekniikka helpottaa laitteiden käyttöä joissakin tapauksissa, kun ei tarvitse virtajohtoja verkkokaapelien lisäksi. (Power over Ethernet (POE) Explained, 2010) Kuvio 7. havainnollistaa POEn tarkoitusta. Kuviossa vasemmalla on verkkokaapeli ja virtajohto, oikealla molemmat ovat yhdessä kaapelissa.



Kuvio 7. Power over Ethernet. (Power over Ethernet (POE) Explained 2010)

Power over Ethernetiä käytettäessä laitteista liitetään verkkokaapelit POE-kytkimeen, jolta laitteet ottavat tarvitsemansa virran. Kuviossa 8. on samanlainen 8-paikkainen POE-kytkin kuin KIHUlla on Quupan paikannusjärjestelmän kanssa käytössä.



Kuvio 8. POE-kytkin. (PoE-kytkin 2016)

7 Quuppa

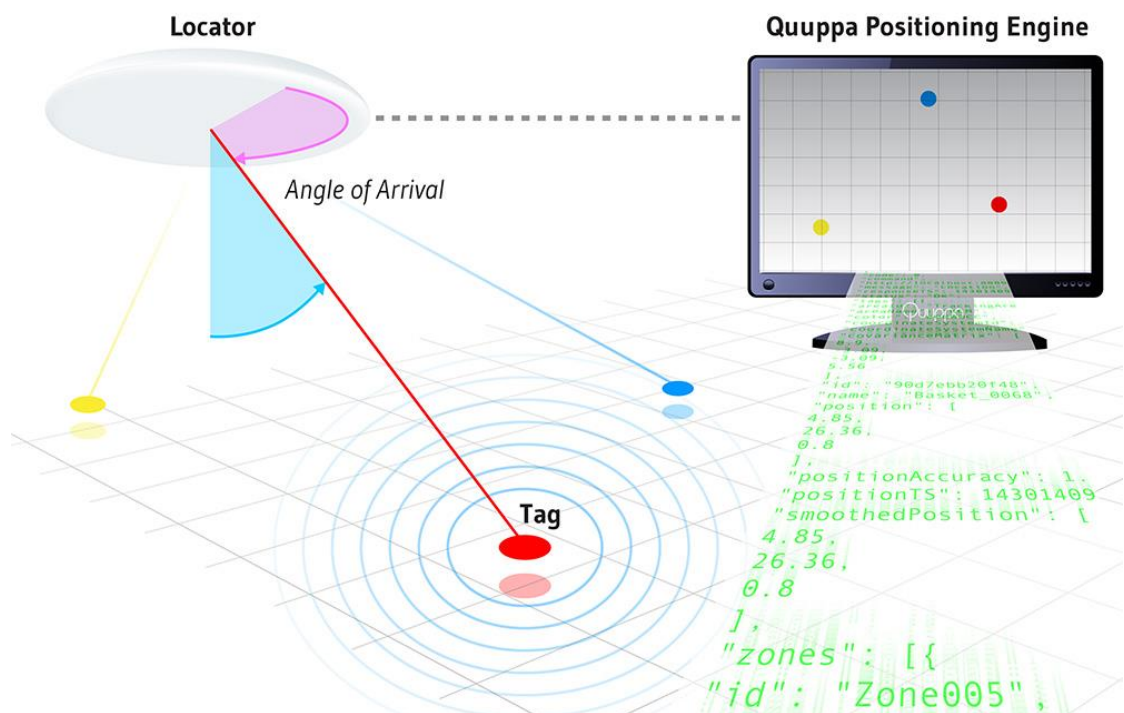
Quuppa Oy on entisten Nokian insinöörien ja tutkijoiden vuonna 2012 perustama yritys. He keksivät Nokian tutkimuskeskuksella High Accuracy Indoor Positioning-

teknologian (HAIP) ja halusivat kaupallistaa sen. Quupan tiimi on kehittänyt oman tavaramerkin, Quuppa Intelligent Locating System. Kyseessä on reaaliaikainen paikannusjärjestelmä (RTLS, Real-Time Locating System). (Quuppa, About us 2016)

7.1 Paikannusjärjestelmän toimintaperiaate

Quupan oma paikannustekniikka perustuu Bluetooth Low Energy:n (BLE), uniikin kulmamittauksen (Angle of Arrival) ja paikannusalgoritmien käyttöön. Quupan toimintaperiaate on seuraava: tagit lähettävät radiosignaalin lokaattoreille, jotka mittaavat tagin lähettämän signaalin suunnan ja lähettävät mittausdatan palvelinkoneelle ja ohjelmistoon (Quuppa Positioning Engine, QPE). Quupan käyttämä taajuusalue on 2.4 GHz. Järjestelmän viive on 100 ms ja kapasiteetti 400 paikannustapahtumaa sekunnissa kanavaa kohden. (Fact Sheet n.d.)

QPE laskee algoritmien avulla tagin sijainnin ja tulostaa tiedot halutuissa formateissa. Toimintaperiaate on esitetty kuviossa 9. (Unique Technology 2016)



Kuvio 9. Quupan toimintaperiaate. (Unique Technology 2016)

7.2 Quupan komponentit

7.2.1 Paikantimet eli lokaattorit

Quupalla on kaksi erilaista lokaattoria eli antennia, jonka tehtävänä on mitata tagien lähettämän radiosignaalin saapumiskulma. Lokaattorimallien käyttökohteet poikkeavat toisistaan. Lokaattoreita voi käyttää myös etäyhteydessä, jolloin myös konfiguroinnin voi tehdä etänä. (Complete System 2016)

KIHULLa on LD-7L-malliset lokaattorit, jotka sopivat laajemmalla alueella paikantamiseen ja myös ulkokäyttöön. Valmistajan mukaan LD-7L-lokaattoreilla pystyy paikantamaan alle metrin tarkkuudella jopa 300 metriin asti ja niillä päästään hyvään paikannustarkkuuteen myös lähietäisyydellä. (Complete System 2016)

LD-7L-lokaattori painaa 3,8 kg ja se toimii -20°C - $+60^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Se käyttää virtalähteenä Power over Ethernetiä, 2 wattia. (Fact Sheet n.d.) Kuviossa 10. on LD-7L-mallinen lokaattori.



Kuvio 10. LD-7L-lokaattori. (Complete System 2016)

LD-6L-lokaattorit on suunniteltu käytettäväksi sisätiloissa ja ne ovat kevyempiä rakenteeltaan. Kuviossa 11. on LD-6L-lokaattori. (Complete System 2016)



Kuvio 11. LD-6L-lokaattori. (Complete System 2016.)

7.2.2 Tunniste eli tagi

Quupan tagit ovat Bluetooth Low Energyllä (BLE) toimivia radiolähettämiä ja niiden tehtävä on lähettää radiopaketteja lokaattoreille. Tagi on tarkoitus kiinnittää ihmiseen tai esineeseen, jota halutaan paikantaa. Tagin sisällä on 3-akselinen kiihtyvyyssanturi, lämpömittari ja ohjelmoitava painonappi. Tagit ovat vedenkestäviä, 1 metrin syvyydessä maksimissaan 30 minuuttia. Tagit toimivat 0°C- +60°C lämpötilassa. (Quuppa LD-6T User Guide 2013.) (Complete System 2016.)

Tagissa on sisäänrakennettu CR2032 paristo, jonka varaustasoa voi seurata HAIP-järjestelmässä. BLE- teknologian ansiosta tagin paristo kestää pitkään. Kun tagi aktivoidaan vain tarvittaessa ja säilytetään muuten varasto-tilassa, sen paristo kestää useita vuosia. Tagin paristo kestää noin vuoden, jos se lähettää yhden paketin sekunnissa jatkuvasti. Quuppa paikannusjärjestelmällä on mahdollista paikantaa myös muita BLE-yhteensopivia laitteita, kuten älypuhelinta, sykevyötä tai tablettia. Kuviossa 12. on Quupan HAIP-tag. (Quuppa LD-6T User Guide 2013.) (Complete System 2016.)



Kuvio 12. Quuppa HAIP-tag. (Complete System 2016.)

7.2.3 Tarkennuslokaattori

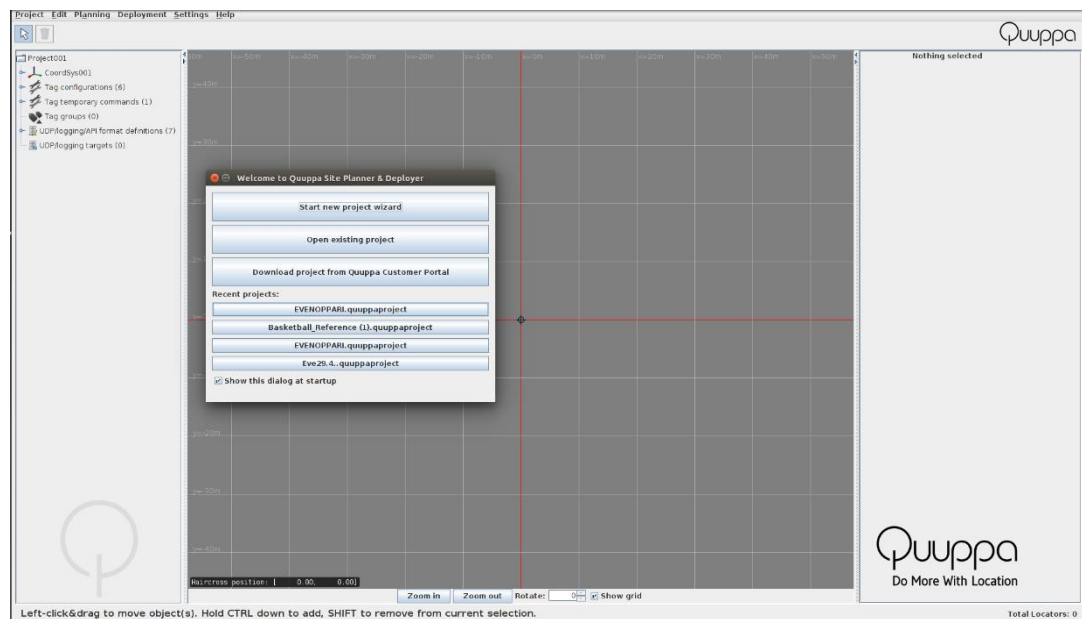
Tarkennuslokaattoria (Focusing Locator) käytetään lokaattoreiden identifioimiseen ja suuntaamiseen. Sillä myös konfiguroidaan tagit. Tarkennuslokaattori kytketään verkkokaapelilla POE-kytkimeen. Kuviossa 13. on KIHUn tarkennuslokaattori.



Kuvio 13. Tarkennuslokaattori

7.2.4 Site Planner & Deployer-ohjelma

Site Planner & Deployer (SPD) on Quuppa-järjestelmän ohjauspaneeli. Sillä tehdään suunnitelma projektista sekä järjestelmän konfigurointi ja käyttöönotto. SPD:llä pystyy luomaan uusia projekteja sekä muokkamaan jo olemassa olevia projekteja. (Complete System 2016.) Ohjelman käyttöliittymä muistuttaa CAD-ohjelmia ja sillä luodaan paikannuksesta projekti. Projektiin lisätään seuranta-alue, lokaattorit, koordinaatit ja tarvittavat mitat. Myös järjestelmän käyttöönotto ja konfigurointi tehdään ohjelmalla. Kuviossa 14. on SPD-ohjelman aloitusnäky.



Kuvio 14. Aloitusnäky Site Planner & Deployer-ohjelmasta.

7.2.5 Quuppa Positioning Engine- paikannusohjelmisto

Quuppa Positioning Engine (QPE) on järjestelmän toiminnan kannalta tärkein osa. QPE on käytössä palvelinkoneella. Se ottaa tiedot vastaan lokaattoreilta, ajaa sen paikannusalgoritmien läpi, luo datan eri formaateissa ja lähettää sen valittuun kohteeseen. QPE tarjoaa valmiin standardi-JSON/REST-pull API:n eli ohjelmointirajapinnan, jonka voi integroida muihin ohjelmiin tai muokata tarvittaessa. (Complete System 2016) Datan saa ohjelmasta ulos JSON-datana tekstimuodossa tiedostoon tai UDP-paketteina valittuun IP-osoitteeseen ja porttiin. Tagin liikettä voi myös seurata paikannuksen aikana reaaliajassa Quuppa Positioning Enginen Web-konsolin 2D- tai 3D-näkymässä.

7.2.6 Quuppa Customer Portal-verkkopalvelu

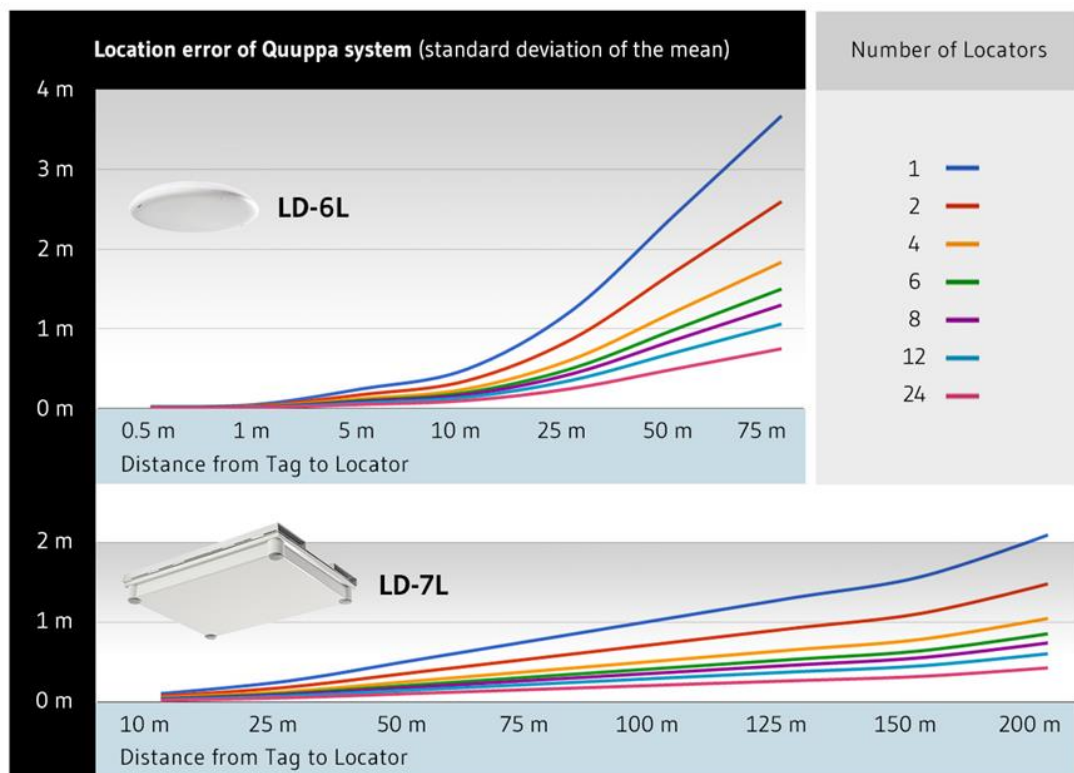
Quuppa Customer Portal on verkkopalvelu Quupan asiakkaille. Sillä pystyy hallitsemaan ja valvomaan projekteja, lisenssejä, tilauksia ja hälytyksiä sekä lukemaan ja katsomaan järjestelmän käytössä opastavia tukimateriaaleja. Quupan ohjelmistot ovat Java-pohjaisia. (Complete System 2016)

7.3 Paikannustarkkuus

Quuppa-paikannusjärjestelmän tyypillinen paikannustarkkuus on 0,5 metriä ja tarvittaessa on mahdollista saavuttaa senttimetrien tasoinen tarkkuus.

Paikannustarkkuus on suhteessa lokaattoreiden määrään sekä tagin ja lokaattorin väliseen matkaan. (Key Features 2016) Kuviossa 15. selviää, kuinka virheen suuruus riippuu tagin ja lokaattorin etäisyydestä sekä lokaattoreiden määrästä.

Paikannustarkkuus on erilainen eri lokaattori-malleilla. Pystyakselilla mustalla pohjalla näkyy paikannusvirheen suuruus ja vaaka-akselilla tagin ja lokaattorin välinen etäisyys.



Kuvio 15. Paikannusvirheen suuruus eri etäisyyksillä ja lokaattoreiden määrällä. (Key Features 2016.)

8 Käyttöohje

Quuppa-paikannusjärjestelmälle kaivattiin KIHUlla selkeää käyttöohjetta, jonka avulla melkein kuka vain pystyisi käyttämään järjestelmää. Kyseessä on monimutkainen järjestelmä, mutta käyttöohjeesta yritettiin tehdä mahdollisimman yksinkertainen ja selkeä.

Käyttöohjeen ensimmäiselle versiolle tehtiin testikäyttö Quupan ensimmäisen testauksen aikana. Siinä huomattiin puutteita ja virheitä, joita kirjattiin ylös ja korjattiin seuraavaan versioon. Käyttöohjeeseen päätettiin lisätä kuvia, koska kuvilla saa helpommin kuvattua, mitä on tarkoitus tehdä.

Käyttöohjeen sisältö jaettiin viiteen päävaiheeseen, joiden mukaan järjestelmän käyttöönotto etenee. Ensimmäinen vaihe on suunnittelu, toisena järjestelmän fyysinen asennus, kolmantena tehdään järjestelmän käyttöönotto, neljäntenä valitaan tai luodaan sopiva formaatti sekä datan kohde ja viimeisenä tehdään käytettävälle tageille konfigurointi. Käyttöohje on opinnäytetyön 2. liitteenä.

9 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyöhön sisältyi teoreettinen osuus sekä käytännön osuus. Teoriaosassa perehdyttiin Quupan paikannusjärjestelmän käyttämään teknologiaan ja siihen, millainen paikannustarkkuuden pitäisi teoriassa olla ja mitkä tekijät tarkkuuteen vaikuttavat. Käytännön osiossa järjestelmä pystytettiin kahtena eri päivänä ja sillä tehtiin testikäyttöjä, joilla selvitettiin todellista tarkkuutta.

9.1 Testaus

Opinnäytetyöhön sisältyneet paikannustarkkuuden testaukset suoritettiin toukokuun 2016 aikana Hipposhallissa. Tavoitteena oli selvittää järjestelmän paikannustarkkuus niin, että tuloksista voidaan tehdä johtopäätökset, minkä tyyppisten urheilulajien käyttöön järjestelmä soveltuu. Tarkkuutta testattiin kahdella tavalla; aluksi niin, että tagi oli paikoillaan ja sen jälkeen hitaassa liikkeessä lattian pinnassa, ja toisena niin, että tagi oli kiinnitettynä ihmiseen, joka käveli, juoksi ja teki nopeita liikkeitä. Tällä tavoin saatiin tarkkuutta testattua ja verrattua erilaisessa toiminnassa. Yksi

testauksen kohde oli vaikuttaako tagien lukumäärä toteutuneeseen näytteenottotaajuuteen.

Ensimmäistä testausta suunniteltaessa oltiin yhteydessä Quupan asiantuntijaan, jolta saatiin neuvoja testauksen suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi lokaattoreiden korkeuteen ja sijoitteluun saatiin neuvoja. Tarkkuuteen vaikuttavat järjestelmän käyttöönottovaiheen mittaukset ja lokaattoreiden identifiointi. Koordinaattien mittausmenetelmällä on merkitystä. Paikannusalueeseen luodaan X,Y-koordinaatisto ja määritetään origo. Takymetrillä saa parhaan tarkkuuden, eikä tarvitse tehdä Site Planner & Deployer-ohjelmalla käyttöönottovaiheessa trilateraatiomittauksia, joilla määritetään lokaattoreiden paikat.

Koordinaattien mittauksessa päätettiin käyttää takymetriä, jotta mittaukset olisivat mahdollisimman tarkat. Testauksissa käytettiin asetuksena 50Hz näytteenottotaajuutta ja tuloksista laskettiin todelliseksi näytteenottotaajuudeksi 37-45 Hz. Näytteenottotaajuudet laskettiin suhteuttamalla saatujen näytteiden määrä Epoch-aikaleimojen avulla laksettuun aikaväliin, jonka aikana näytteet oli otettu.

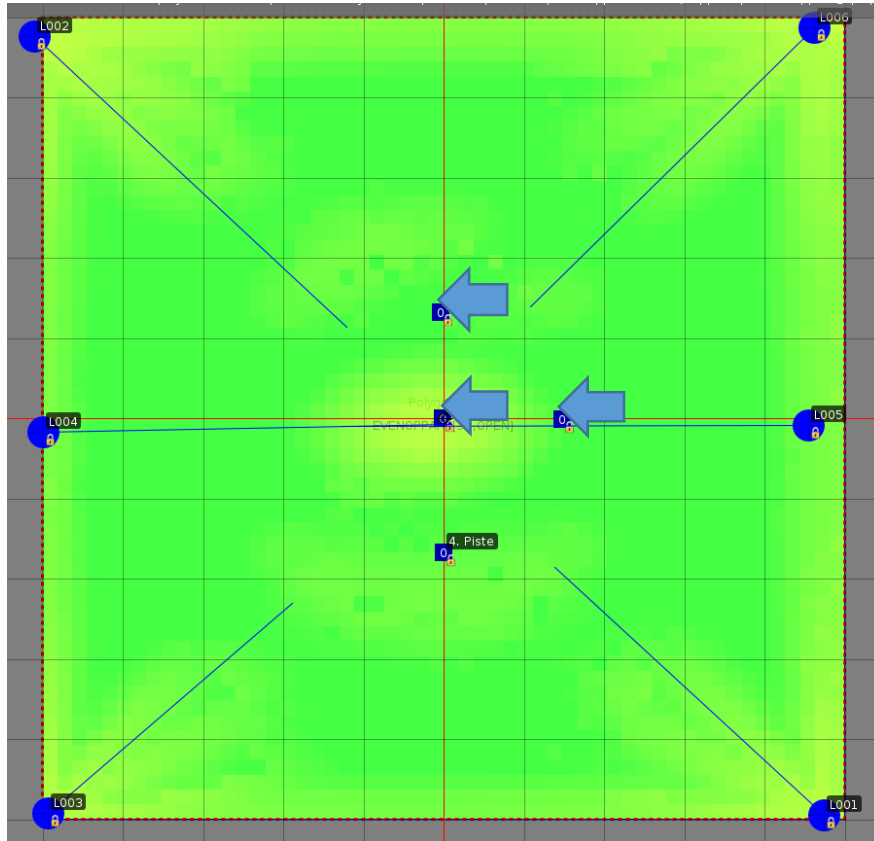
Kaikista testauksista piirrettiin kaaviot, joista näkee tagien liikkeitä. Osa kaavioista on esitelty Testaus-kappaleessa ja loput ovat opinnäytetyön liitteenä 1.

9.1.1 Ensimmäinen testaus 4.5.2016

Ensimmäisenä päätettiin tutkia tarkkuutta melko pienellä, 10 m x 10 m alueella. Tarkoituksena oli yrittää saada tarkkuus niin hyväksi kuin mahdollista ja selvittää, onko paikannustarkkuus riittävä yksilöurheilulajien käyttöön. Testauksessa käytettiin yhtä tagia.

Lokaattoreista neljä kappaletta sijoitettiin neliön muotoisen mittausalueen kulmiin kolmen metrin korkeuteen ja kaksi neliön sivuille 1,7 metrin korkeuteen. Lokaattorit suunnattiin mittausalueen keskelle, jolloin paikannustarkkuuden pitäisi olla hyvä. Kuviossa 16. on ensimmäisen testauksen Site Planner-ohjelmalla piirretty projekti. Ohjelmassa on Render Estimate-työkalu, joka näyttää ohjelman arvioiman paikannustarkkuuden tason suunnitellulla projektilla ja se esitetään liikennevalovärikoodeilla. Vihreä väri kuvaa ohjelman arvioineen paikannustarkkuuden hyväksi.

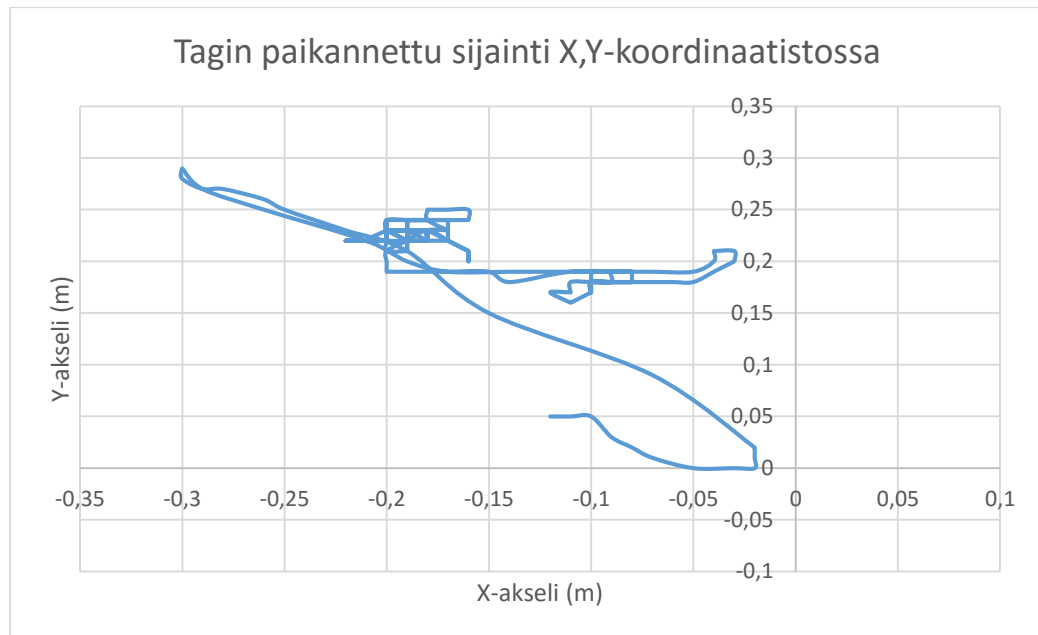
Seuranta-alueen reunoilla olevat siniset pallot ovat lokaattoreita. Seuranta-alueen keskellä ovat kolme nuolilla osoitettua pistettä, joita käytettiin mittauksissa apuna.



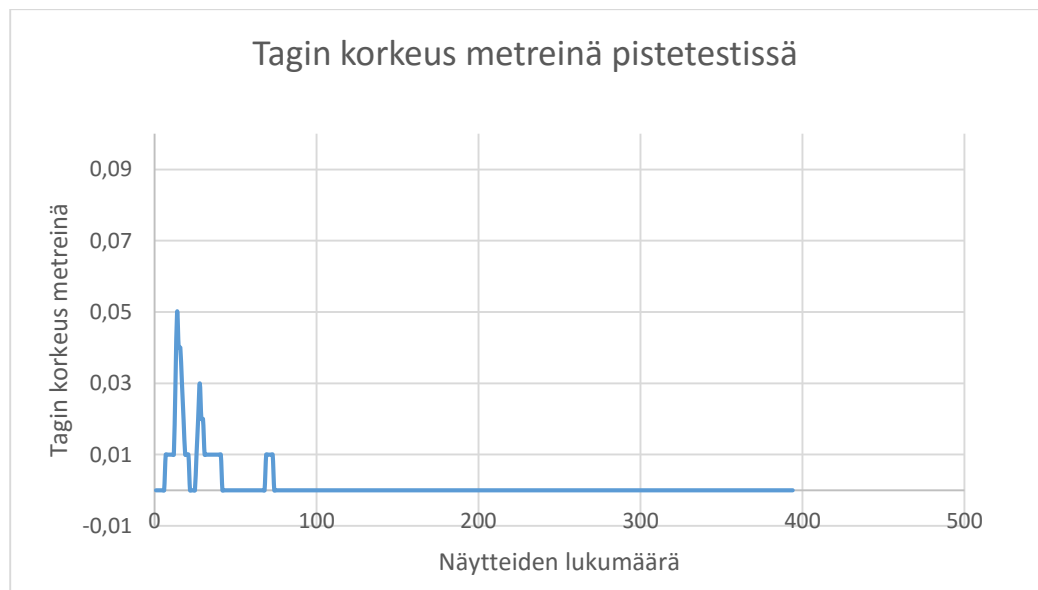
Kuvio 16. Ensimmäisen testauksen projekti.

Ensimmäiseksi tutkittiin kuinka tarkkaa sijaintitietoa tagi pystyy antamaan ollessaan paikoillaan ja lattian pinnassa. Tagi sijoitettiin takymetrillä mitattuun pisteeseen, paikannus käynnistettiin QPE-web konsolista, annettiin olla noin 5-10s päällä ja sammutettiin. Järjestelmässä on paikannuksen alkaessa viive, joten paikannus ei ala heti käynnistämisestä. Tagi haettiin hetkeksi pois ja paikannusdata tallennettiin omaksi tiedostoksi. Tagi vietiin takaisin samaan pisteeseen ja toistettiin paikannus. Tagi vietiin yhteen pisteeseen viisi kertaa, jotta saatiin tuloksen luotettavuus paremmaksi. Pisteitä oli kolme, joista yksi oli mittausalueen origo, toinen X-akselin suuntainen piste ja kolmas Y-akselin suuntainen piste. Kuviossa 17. on kaavioksi piirrettyä tagin sijaintitiedot X,Y-koordinaatistossa yhdestä origossa tehdystä

mittauksesta. Kyseinen kaavio on piirretty Kalman suodatetusta datasta, jolloin se on helpommin luettavissa. Kuvio 18. kuvaa saman mittauksen Z-suuntaista sijaintia.



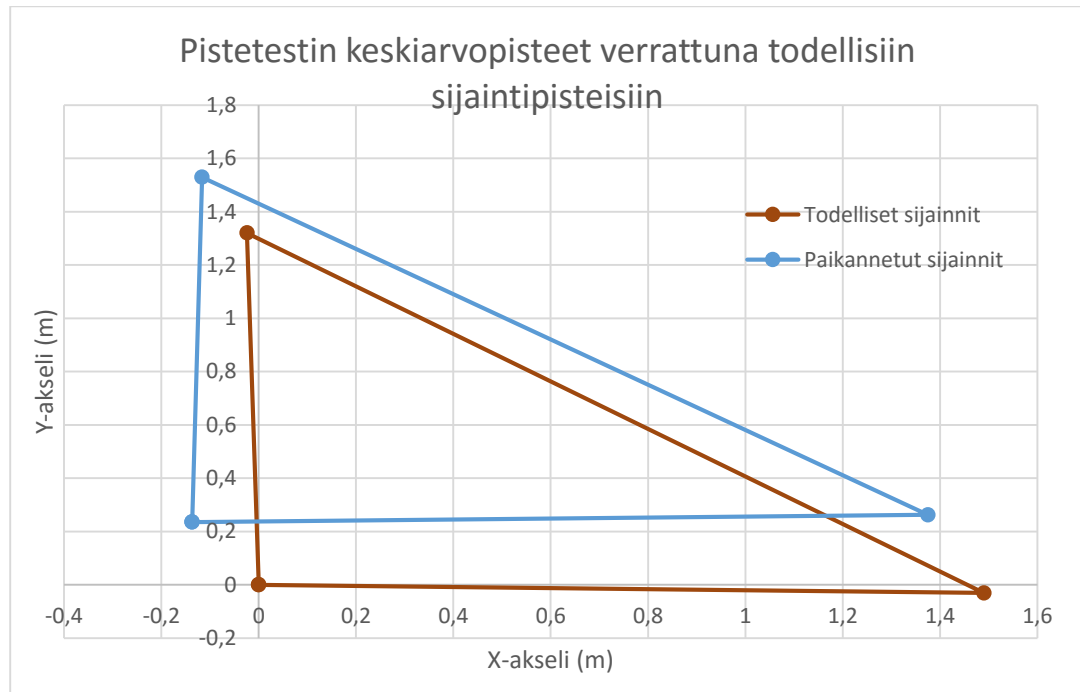
Kuvio 17. Tagin sijainti X,Y-koordinaatistossa.



Kuvio 18. Tagin korkeus metreinä.

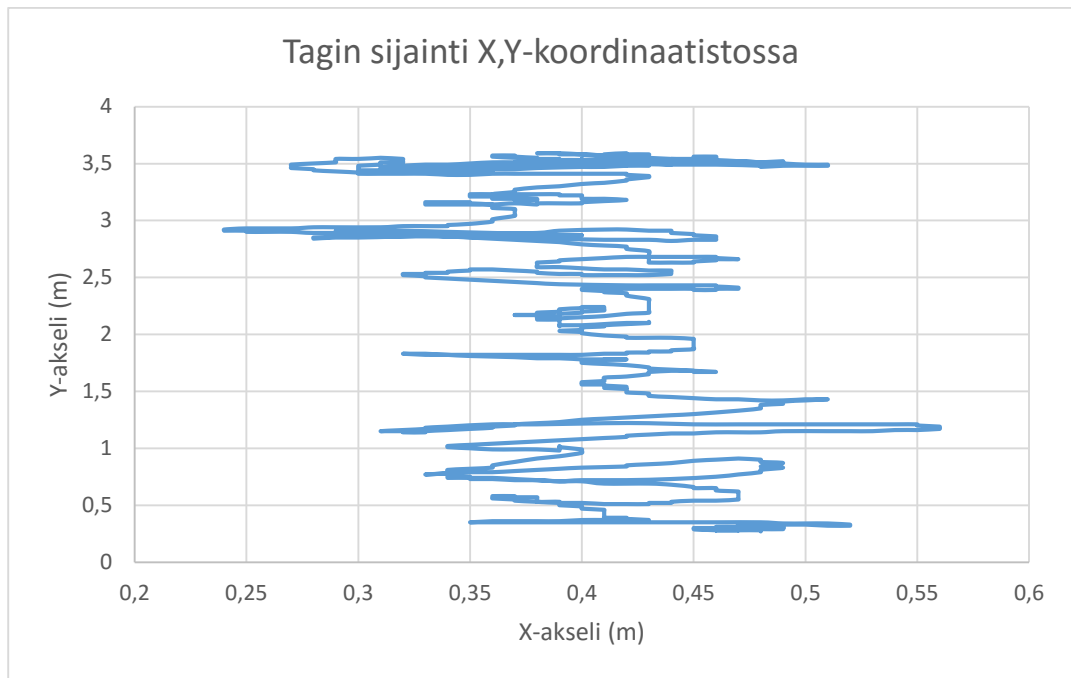
Kuviosta 19. nähdään miten tagilla mitattujen sijaintitietojen keskiarvopisteet eroavat tagin todellisista sijaintipisteistä. Punainen kolmio kuvaa tagin todellisia sijainteja ja sininen järjestelmän mittaamia sijainteja. Paikannusdatasta tehtyjen keskiarvoisten sijaintipisteiden sijainti X-akselilla heittää jokaisen kohdalla noin 10-15

cm ja Y-akselilla 20-30 cm. Selkeästi samaan suuntaan ja melkein systemaattiselta virheeltä vaikuttava paikannusvirhe voisi johtua jostakin häiriötekijästä paikannusalueen lähellä tai järjestelmän kalibroinnista. Koordinaattien mittauksessa tai suuntauksessa on voinut tulla virhe, jonka vuoksi järjestelmä olettaa origon olevan eri kohdassa.



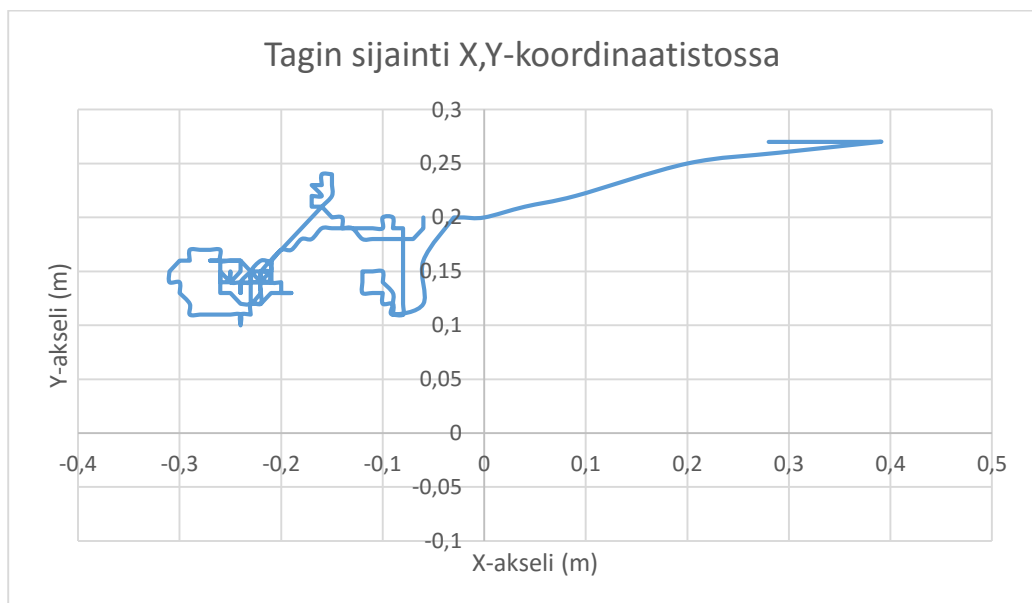
Kuvio 19. Järjestelmän mittaamien sijaintien keskiarvo-pisteet verrattuna todellisiin tagin sijainteihin.

Seuravaaksi tutkittiin paikannustarkkuutta kun tagi on tasaisessa, suoraviivaisessa liikkeessä. Tagia liikutettiin vetämällä suoraa linjaa pitkin ja mahdollisimman tasaisella, hiljaisella nopeudella. Kuljettu matka oli noin 3 metriä. Kuvio 20. kuvaa paikannusjärjestelmän mittaamaa tagin sijaintia suoraa viivaa pitkin liikuttaessa. Tagi kulki todellisuudessa 0,4-0,45 metrin kohdalla kaaviossa, Y-akselin suuntaisesti.

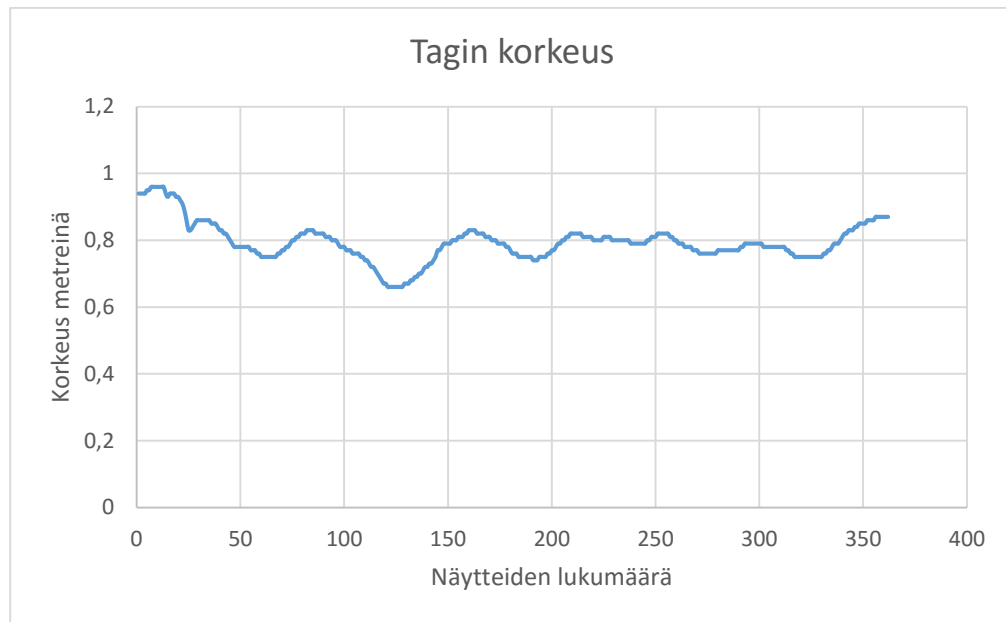


Kuvio 20. Tagin liikerata 3 metrin matkalla Y-akselin suunnassa.

Ensimmäisen testauksen viimeisessä osiossa kokeiltiin minkälaista sijaintitietoa järjestelmä antaa jos tagi on paikoillaan origossa henkilön kädessä. Tarkoituksena oli tutkia, kuinka paikannustarkkuus muuttuu kun tagi on kosketuksessa ihmiseen ja kuinka tarkkaa sijaintitietoa saadaan korkeudesta. Kuviot 21. ja 22. kuvaavat suodatettua sijaintidataa, kun ihminen seisoo origossa niin, että tagi on origon yläpuolella noin 1,5 metrin korkeudella.



Kuvio 21. Tagin sijainti X,Y-koordinaatistossa.

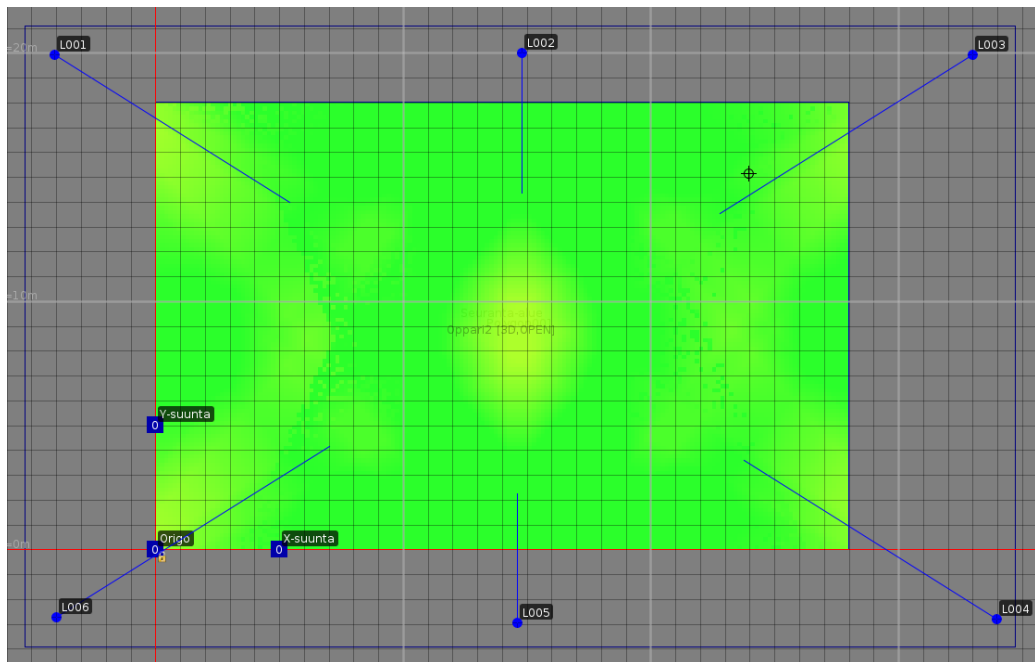


Kuvio 22. Tagin korkeus.

9.1.2 Toinen testaus 20.5.2016

Paikannusjärjestelmä pystytettiin toisen kerran Hipposhalliin 20.5.2016 ja tarkoituksena oli selvittää järjestelmän paikannustarkkuutta suuremmalla alueella. Testauksissa käytettiin kolmea tagia samanaikaisesti ja tavoitteena oli selvittää paikannustarkkuuden soveltuvuutta joukkuelajien käyttöön.

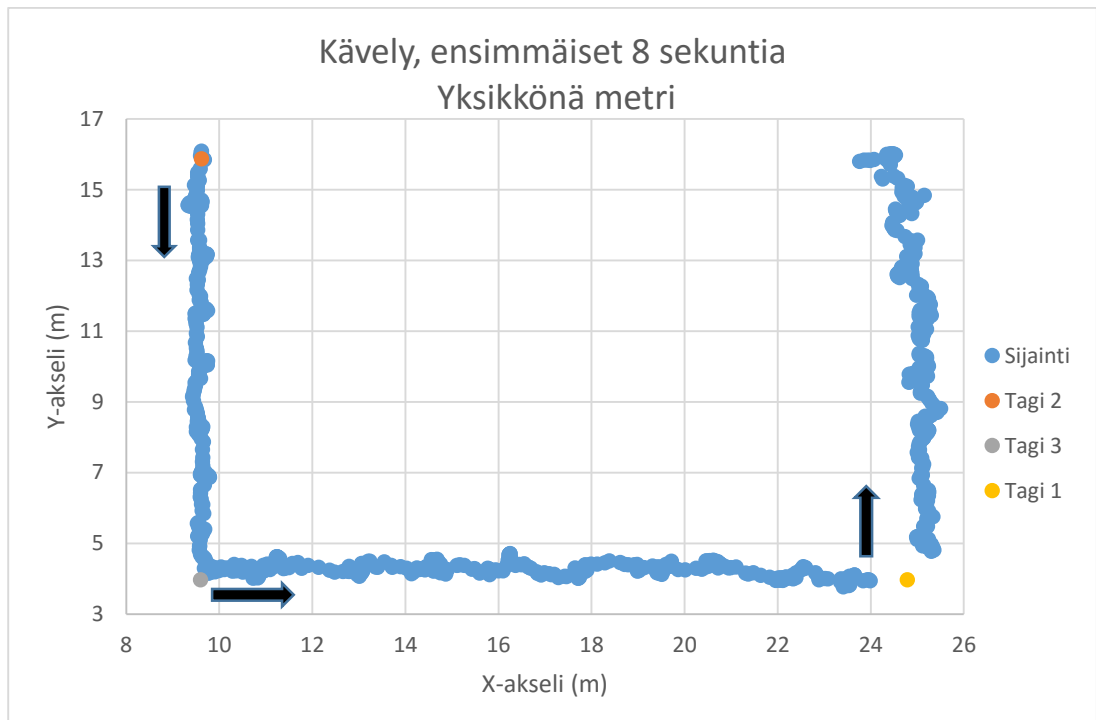
Järjestelmä pystytettiin pelikentälle 25 m x 40 m alueelle ja keskelle sijoitettiin varsinainen seuranta-alue, jonka koko oli 18 m x 28 m. Seuranta-alue on pienempi kuin koko kenttä, koska lokaattoreiden on hyvä olla muutaman metrin päässä seuranta-alueesta, jolloin ne ”näkevät” paremmin koko alueen. Lokaattoreista neljä sijoitettiin alueen kulmiin ja kaksi kentän pitkille sivuille. Lokaattorit suunnattiin alueen keskustan suuntaan ja apuna suuntauksessa käytettiin laseria ja kulmamittaa. Kuviossa 23. on toisen testauksen projekti ja siinä lokaattoreiden sijainnit sekä koordinaatiston suuntapisteet.



Kuvio 23. Toisen testauksen projekti.

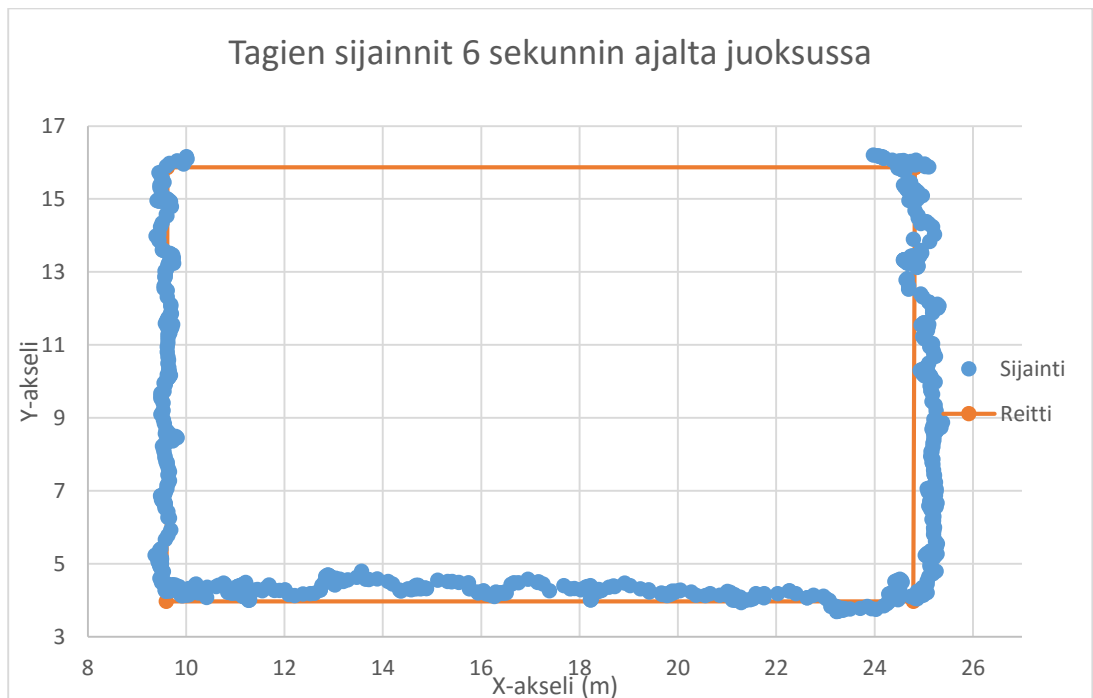
Ensimmäisenä tehtiin neljä minuuttia kestänyt testi, jossa käytettiin kolmea testihenkilöä, joiden kengän nauhoihin kiinnitettiin tagi. Seuranta-alueen keskelle mitattiin ja merkittiin nelikulmion muotoinen reitti, jota pitkin testihenkilöt liikkuvat. Nelikulmion kulmien sijainnit mitattiin laseretäisyysmittarilla ja niiden mukaan merkittiin kuljettava reitti. Nelikulmion pidemmän sivun pituus oli 15,2 metriä ja lyhyemmän sivun 11,9 metriä. Testihenkilöt kävelivät ensimmäisen minuutin tasaista nopeutta vastapäivään reittiä, toinen minuutti samaan suuntaan juosten ja kaksi viimeistä minuuttia kahden kulmapisteen väliä juosten, tehden nopeat suunnan vaihdot kulmissa (viivajuoksu).

Kuviossa 24. on pistekaavioksi piirrettynä tagien paikannetut sijainnit ensimmäisten kahdeksan sekunnin ajalta kävelystä. Värilliset pisteet kuvaavat tagien lähtöpistettä ja nuolet liikkeen suuntaa. Jokainen tagi liikkui kahdeksan sekunnin aikana suunnilleen yhden nelikulmion sivun verran. Siniset pisteet kuvaavat tagin sijaintia ja etenemisliikettä. Kuvioista pystyy arvioimaan tagin liikeradan perusteella karkeasti, millä asteella tarkkuudessa liikutaan.



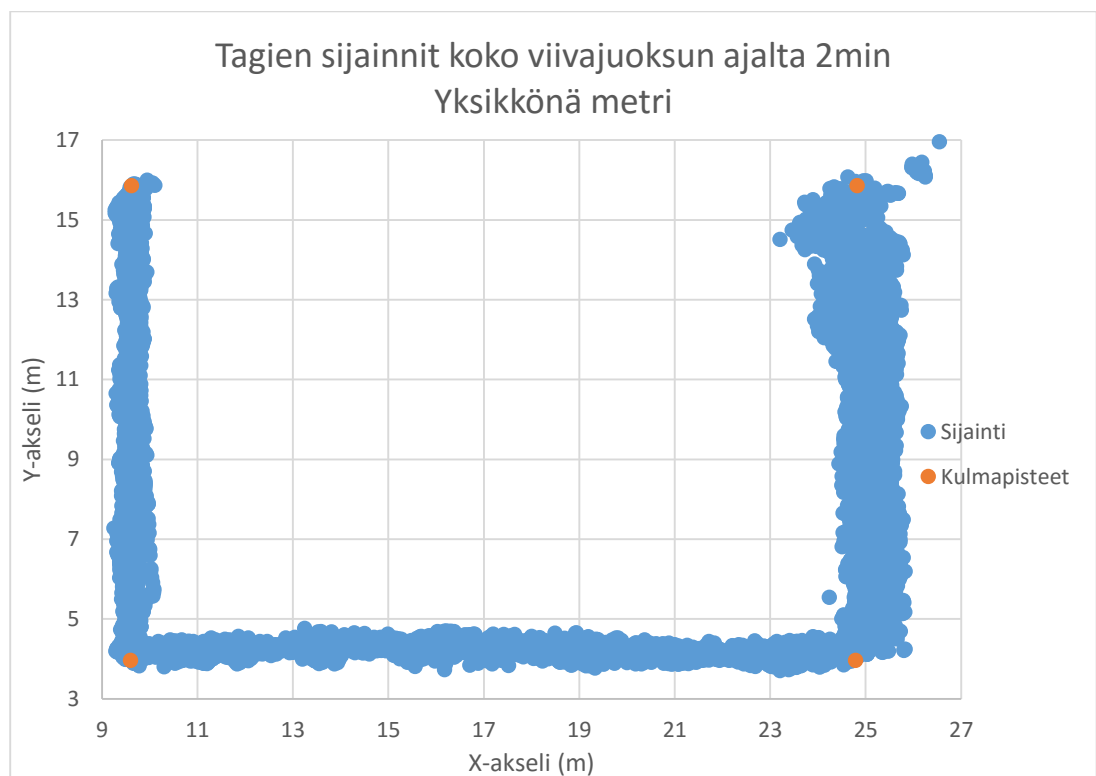
Kuvio 24. Tagien sijainnit aikavälillä 15:33:26-15:33:34.

Kuviossa 25. on pistekaaviona tagien sijainnit 6 sekunnin ajalta juoksusta. Tagit kulkivat suunnilleen saman matkan kuin kuviossa 24. kuvatussa kävelyssä. Kuvioista voi karkeasti arvioida, ettei tarkkudessa juoksun ja kävelyn osalta erota suurta eroa tarkkudessa.



Kuvio 25. Tagien sijainnit 6 sekunnin juoksun ajalta.

Kuviossa 26. on pistekaavioksi piirretty tagien sijainnit koko kaksi minuuttia kestäneeltä pisteiden väliseltä edestakaiselta juoksulta (viivajuoksu). Yksi tageista kulki Y-akselin suuntaista oranssien pisteiden väliä kuvan vasemmassa reunassa, yksi tageista kulki kuvan alareunassa näkyvien X-akselin suuntaisesti olevien kahden pisteen väliä ja yksi tagi kuvan oikeassa reunassa näkyvien pisteiden väliä Y-akselin suuntaisesti. Kaikki testihenkilöt, jotka tageja liikuttivat, kulkivat merkittyä reittiä pitkin ja poikkeamaa reitiltä syntyi suurimmillaan arviolta 0,2 metriä reitin molemmille puolille. Kuvassa näkyvä suurin poikkeama paikannuksessa on vajaa 2 metriä suurimmillaan ja keskiarvoisesti metrin kohdilla. Jostakin syystä käytetyllä reitillä on yksi kohta, jossa jokaisella tagilla mitattuna tuli paljon suurempaa poikkeamaa, kuin muissa kohdissa. Se voi johtua esimerkiksi lokaattoreiden suuntauksesta tai jostakin ulkopuolisesta häiriötekijästä.

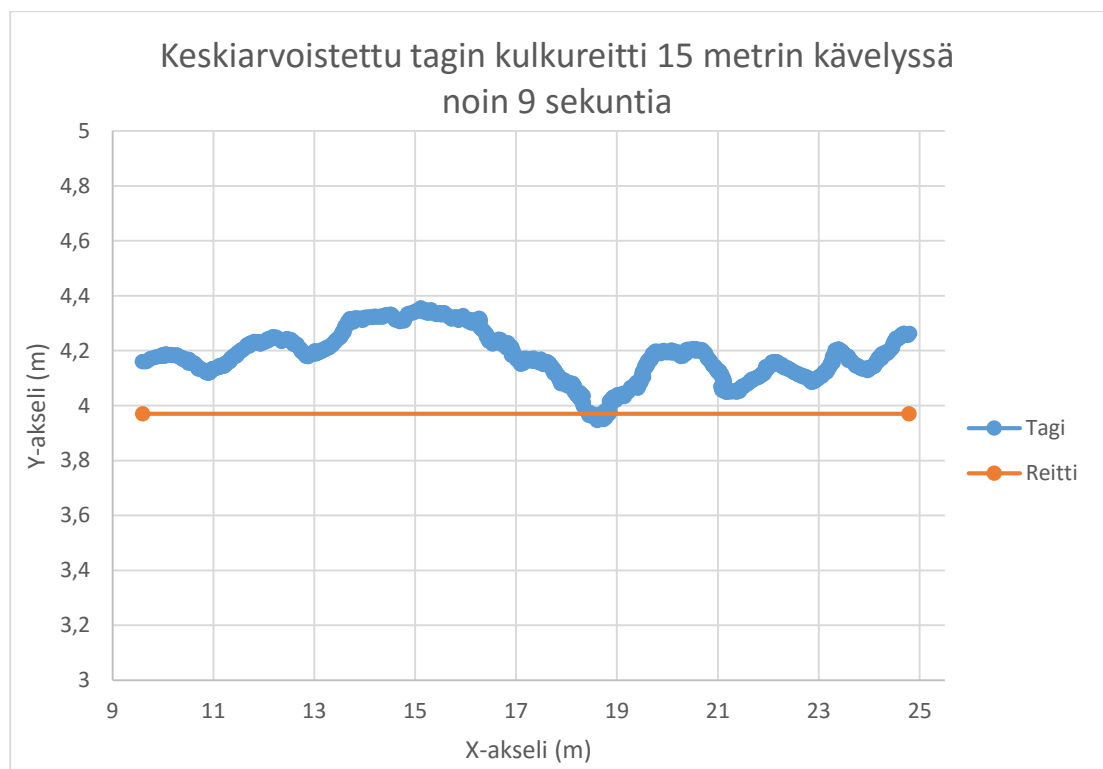


Kuvio 26. Tagien sijainnit koko viivajuoksun ajalta.

Seuraavaksi tutkittiin paikannusjärjestelmän mittaamaa kuljettua matkaa ja siihen kulunutta aikaa. Vertauskohteena käytettiin valokennojen mittaamaa nopeutta.

Testihenkilö käveli suoraa viivaa pitkin 15,2 metriä pitkän matkan. Käveltyyn matkaan kulunut aika mitattiin valokennoilla ja sitä verrattiin paikannusjärjestelmän

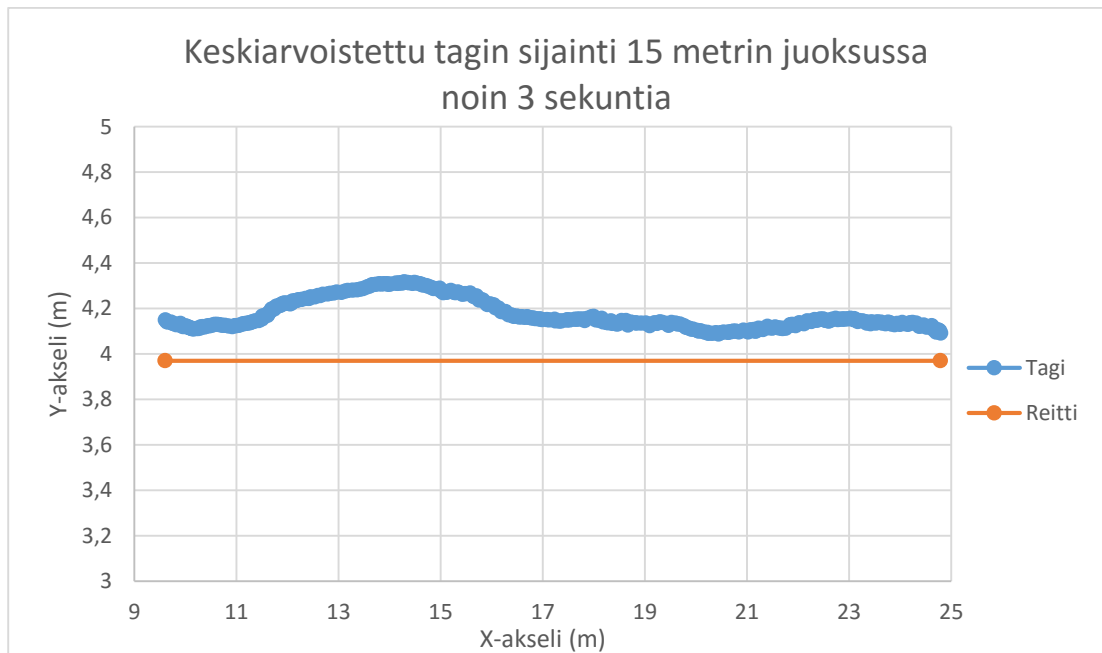
mittaamaan aikaan. Testihenkilöön kiinnitettiin kolme tagia; yksi molempiin kenkiin ja yksi yläselkään. Kuviossa 27. on havainnollistettu tagien kulkureittiä ja verrattu sitä todelliseen reittiin, jota kuvaa oranssi viiva. Tagin kulkureitti on piirretty liukuvalla keskiarvolla lasketuista sijaintipisteistä, jotta reittiä saatiin suoristettua ja suurimmat poikkeamat suodatettua pois. X-akselin pisteet laskettiin 20 pisteen ja Y-akselin 60 pisteen liukuvalla keskiarvolla. Matkaan kulunut aika arvioitiin etsimällä keskiarvoista se piste, jolloin ensimmäisen kerran ylitetään haluttu piste. X-akselin suuntaan edetyllä matkalla lähtöajaksi etsittiin se piste, kun ensimmäisen kerran ylitettiin 9,60 metriä ja loppuajaksi se piste, kun ensimmäisen kerran ylitettiin 24,79 metriä. Järjestelmän mittaamat ajat sekunteina kuljetulle matkalle olivat samat kuin valokennojen mittaama aika. Sijaintitiedosta ei saa kovin luotettavaa nopeutta, koska sijaintitiedossa on edestakaista liikettä, eikä voida olla varmoja, milloin jokin piste on todellisuudessa ylitetty.



Kuvio 27. Keskiarvoistettu tagin kulkema matka 15 metrin kävelyssä.

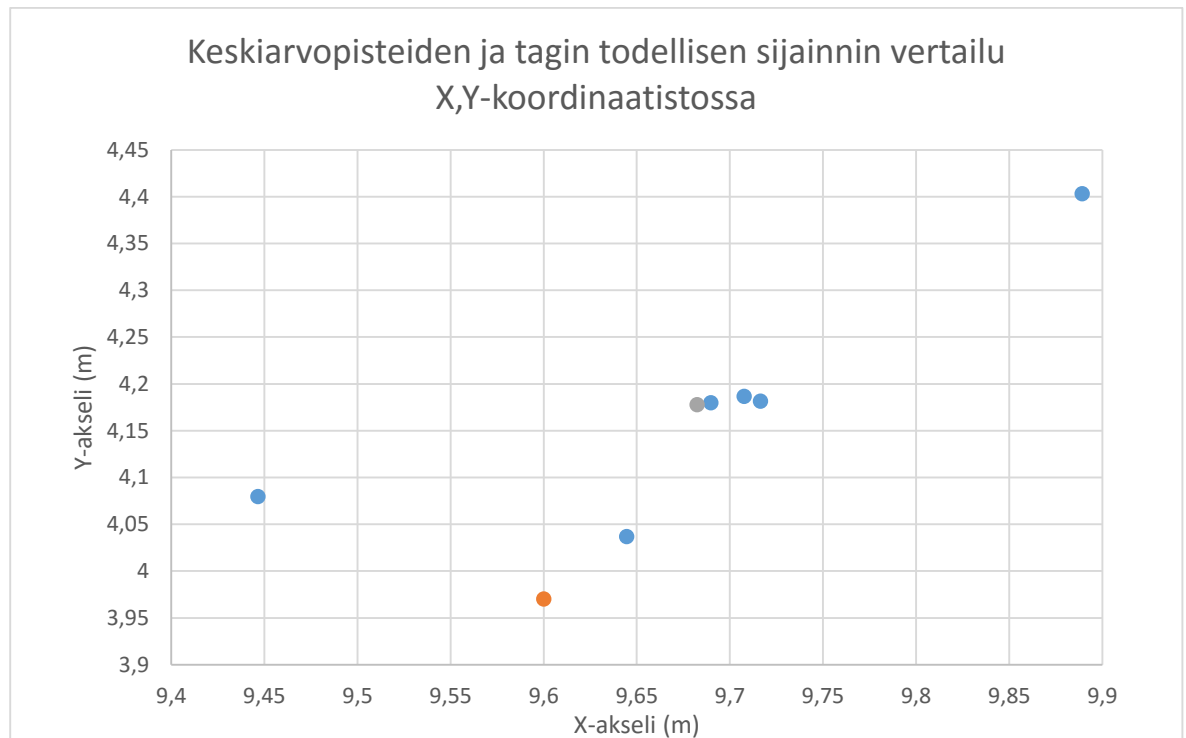
Samanlainen liukuva keskiarvo tehtiin myös juoksusta mitatuille sijaintitiedoille.

Kuviossa 28. on piirrettyä 3 sekuntia kestäneestä juoksusta



Kuvio 28. Keskiarvoistettu tagin kulkema matka ja reitti 15 metrin juoksun ajalta.

Lopuksi tehtiin pistetesti, jossa tagi vietiin kuusi kertaa samaan pisteeseen, lattian tasoon ja annettiin olla paikoillaan 5-10 sekunnin ajan. Kuviossa 27. on piirrettyinä oranssilla tagin todellinen sijaintipiste. Siniset pisteet kuvaavat jokaisen testin tulosten keskiarvoista sijaintipistettä ja harmaa piste kuvaa kaikkien mittausten keskiarvoista laskettua keskiarvoa. Keskiarvopisteen ero todelliseen pisteeseen on vajaa 10 cm X-akselin suunnassa ja vajaa 20 cm Y-akselin suunnassa.



Kuvio 29. Pistetestin keskiarvopisteet verrattuna todelliseen sijaintiin.

9.2 Datan analysointi

Testauksista kerättyä dataa käsiteltiin Excel-taulukkolaskentaohjelmassa suodatettuna sekä suodattamattomana. Quupan ohjelma antaa datan valmiiksi Kalman-suodatuksella käsiteltynä, jolloin sitä on helpompi tulkita kaaviona, kun suurimmat poikkeamat on siistitty. Ensimmäisen testauksen tulosten viivakaaviot piirrettiin suodatetusta datasta. Sijaintitiedoista piirrettiin piste- tai viivakaaviot, joista voi tulkita paikannustarkkuutta ja vaihteluja karkealla tasolla. Poikkeamien suuruudet laskettiin myös arvoiksi, jotta saatiin tarkemmat tulokset tarkkuudesta.

Ensimmäisen testauksen dataa analysoidessa huomattiin, että järjestelmän mittaamisissa sijainneissa oli viitteitä systemaattiseen virheeseen, joka ilmeni kaikkien kolmen keskiarvopisteen lähes samansuuruisena virheenä. Pistetestin päätettiin toistaa toisessa testauksessa, jotta tuloksia voisi verrata. Toisella kerralla pistetestin tuloksessa ei ollut nähtävissä vastaavaa virhettä. Ilmeisesti ensimmäisen testauksen virhe aiheutui järjestelmän kalibroinnista, mittausvirheestä tai jostakin muusta

häiriötekijästä. Liitteessä 1. ovat pistetestien datasta piirretyt kaaviot, joista voi katsoa sijainteja tarkemmin.

Testaukset suoritettiin 3D-paikannuksena eli myös korkeussuuntaista sijaintitietoa on, mutta tagin korkeudesta mittaustilanteessa ei ole mitattuja todellisia arvoja, joihin verrata tuloksia. Joukkueurheilussa ehkä tärkeämmässä roolissa on urheilijan sijainti, kuin korkeus ja siksi testauksissa keskityttiin X- ja Y-suunnan sijaintitietoihin.

9.3 Tulokset

9.3.1 Pistetesti

Pistetestien tuloksista laskettiin hajontaluku X- ja Y-akselien suuntaan. Hajontaluku on suurin yksittäinen poikkeama todellisesta arvosta. Myös todellinen näytteenottotaajuus laskettiin jokaiselle pistetestille. Taulukossa 1. on hajontaluvut X- ja Y-akseleiden suuntaan sekä näytteenottotaajuudet. Yhdellä rivillä on yhden pistetestin hajontaluvut ja näytteenottotaajuus. Alimmalla rivillä harmaalla pohjalla on kaikkien lukujen keskiarvot.

Taulukko 1. Pistetestien hajontaluvut ja näytteenottotaajuudet.

Y-akseli	X-akseli	Hz
0,80 m	1,16 m	40,61
0,32 m	0,16 m	43,39
1,13 m	0,61 m	41,45
0,50 m	0,39 m	42,98
0,33 m	0,17 m	43,79
0,34 m	0,18 m	43,06
0,27 m	0,34 m	41,69
0,27 m	0,16 m	39,80
0,31 m	0,16 m	41,87
0,27 m	0,16 m	42,20
0,27 m	0,16 m	43,47
0,437273 m	0,331818 m	42,21073 Hz

9.3.2 Suora, hiljaisen nopeuden etenemisliike

Suoraa, hiljaisella nopeudella etenevää liikettä testattiin kaksi kertaa ensimmäisessä testauksessa. Taulukossa 2. on tuloksista laskettu hajonta, eli suurin yksittäinen poikkeama sekä keskiarvo poikkeaman suuruudesta. Lasketut näytteenottotaajuudet on taulukon oikean reunan sarakkeessa. Alimmalla rivillä on keskiarvot luvuista.

Taulukko 2. Suoran, hiljaisen liikkeen tulokset.

Suoraliike	Keskiarvo	Hajontaluku	Hz
1	0,0151 m	0,25 m	42,41
2	0,0176 m	0,20 m	40,75
Keskiarvo	0,01635 m	0,225 m	41,58 Hz

9.3.3 Kävely ja juoksu 15 metrin suoralla

15 metrin pituisella suoralla tehdyistä viidestä kävelytestistä sekä viidestä juokсутestistä laskettiin keskiarvoinen sijaintipisteen poikkeama, joka on Keskiarvo-nimellä taulukossa 3. Hajontaluku on suurin yksittäinen poikkeama tuloksissa ja Hz-sarakkeessa on näytteenottotaajuus. Alimmalla rivillä on keskiarvot luvuista.

Taulukko 3. Kävely- ja juokсутestien tulokset.

Testi	Keskiarvo	Hajontaluku	Hz
Kävely 1	0,20 m	1,20 m	35
Kävely 2	0,15 m	0,99 m	37,17
Kävely 3	0,17 m	0,90 m	38,35
Kävely 4	0,20 m	0,77 m	37
Kävely 5	0,15 m	1,00 m	38
Juoksu 1	0,18 m	0,61 m	39
Juoksu 2	0,21 m	0,85 m	37,8
Juoksu 3	0,17 m	0,91 m	38
Juoksu 4	0,16 m	0,80 m	38,05
Juoksu 5	0,19 m	1,00 m	38,29
Keskiarvo	0,18 m	0,903 m	37,67 Hz

Näytteenottotaajuuksien osalta yhden tagin ja kolmen tagin käytössä vaikuttaisi olevan pieni ero. Yhdellä tagilla suoritetuista testeistä laskettu

näytteenottotaajuuden keskiarvo on yli 40 Hz, kun taas kolmella tagilla paikantaessa keskiarvo on alle 40 Hz.

9.3.4 Yhteenveto

Nopeuden osalta tarkkuus on sekuntien tasolla hyvä, mutta millisekunteista ei ole täyttä varmuutta. Tagin liike ei ole suoraviivaista, vaan liikkeessä tulee hyppyjä myös taakse päin pitkältäkin matkalta, eikä tiedetä tarkkaan, milloin haluttu piste on oikeasti ylitetty. Nopeutta pitäisi testata enemmän, jotta tulosten luotettavuus olisi parempi.

Käytettävien tagien määrä näyttäisi vaikuttavan laskevasti näytteenottotaajuuteen, mutta ero ei ole suuri.

Poikkeaman keskiarvoksi laskettiin 18 cm ja 47 cm on suurimman poikkeaman keskiarvo.

10 Johtopäätökset

Jotta järjestelmän paikannustarkkuudesta saisi täysin luotettavan kuvan, pitäisi testauksia tehdä vielä enemmän. Suoritettujen testausten perusteella järjestelmän paikannustarkkuus on keskiarvoisesti hyvä, mutta joukossa on paljon suuria, yli metrin poikkeamia, joka mielestäni laskee sijaintitiedon luotettavuutta. Tarkkuus ja sijaintitiedon luotettavuus ei riittäisi esimerkiksi jääkiekossa maalin varmistukseen, koska paikannustiedoissa saattaa tulla liian suurta hajontaa. Nopeat yksilöurheilulajit, kuten esimerkiksi tennis, vaativat myös niin suurta tarkkuutta, ettei Quupan paikannustarkkuus ja luotettavuus siihen näiden testausten perusteella riitä.

Sopivin käyttökohde olisi jokin joukkuelaji, kuten salibandy tai koripallo, joissa kuljetun matkan ja pelaajien sijaintitietojen mittaamiseen ja arvioimiseen paikannustarkkuus saattaisi riittää. Pesäpallo voisi myös olla sopiva käyttökohde.

11 Pohdinta

Reaaliaikainen paikannus ja siihen liittyvän teknologian kehitys ovat todella mielenkiintoisia ja käyttömahdollisuuksia on laajasti. Varsinkin urheilussa on monia lajeja, joissa tarkkaa sijaintitietoa reaaliajassa antavaa järjestelmää voisi hyödyntää. Jatkuvasti kehitetään myös uusia paikannusjärjestelmiä, jotka toimivat sisätiloissa ja reaaliajassa. Paikannusteknologian kehityksestä kertoo myös se, että suomalainen yritys oli kuluvana vuonna julkaissut ensimmäisen veden alla toimivan navigointijärjestelmän.

Datan käsittely ja analysointi Excel-taulukkolaskentaohjelmalla on mielenkiintoista, mutta vaatii paljon aikaa. Tällä aikataululla ei ollut mahdollista analysoida kaikkea dataa, mutta riittävästi johtopäätöksiä saamiseksi. 2. testauksessa käytettiin kolmea tagia ja ne oli tarkoitus nimetä, jotta sijaintitietoja pystyisi analysoimaan jokaiselle tagille erikseen. Tagien nimeäminen meni pieleen, joten tietoja ei saatu jaoteltua jokaiselle tagille erikseen.

Paikannustarkkuuteen vaikuttavat osaltaan järjestelmän huolellinen asentaminen ja tarkkojen mittojen mittaaminen ja hyödyntäminen. Tarkoituksena oli mitata tarvittavat sijainnit takymetrillä luotettavimman tuloksen saamiseksi. KIHUn takymetrin kanssa tuli ongelmia toisessa testauksessa, joten testaukseen tarvittavat mitat oli mitattava laseretäisyysmittarilla. Pisteiden avulla mitattiin ohjelman Trilateraatio-menetelmällä lokaattoreiden sijainnit. Järjestelmä ei meinannut löytää joidenkin lokaattoreiden oikeita paikkoja, joten Trilateraatio-mittauspisteitä piti luoda monta lisää ja mitata yksi lokaattori jopa seitsemästä eri pisteestä. Trilateraatio-mittauspisteistä osa olisi luultavasti pitänyt sijoittaa toiselle puolelle koko kenttää, jotta pisteiden välinen etäisyys olisi ollut riittävä. Toisessa testauksessa suoritettua suoraa 15 metriä pitkän matkan kävelyssä ja juoksussa on kaikissa piirrettyissä kaavioissa havaittavissa selkeä poikkeama noin 17 metrin kohdalla X-akselilla. Siinä kohdassa oli keskimmäiset valokennot, joten järjestelmä luultavasti otti häiriötä valokennosta. Kaaviot ovat opinnäytetyön liitteenä 1.

Opinnäytetyön aihe löytyi työharjoittelun aikana KIHU:ltä. Tehtäväkseni annettiin opetella käyttämään laitteistoa ja laatia sille käyttöohje. Ehdotin, että tekisin Quuppa-paikannusjärjestelmästä opinnäytetyön, johon sisältyisi myös käyttöohje.

Koin aiheen sopivaksi ja mielenkiintoiseksi, koska selvitystyölle oli oikeaa tarvetta ja aihe oli ainakin riittävän haastava. Heti aluksi en hahmottanut kuinka monimutkainen järjestelmä todellisuudessa on ja työn määrä moninkertaistui prosessin aikana aluksi kuviteltuun työmäärään nähden. Päätin opinnäytetyöprosessille alusta asti todella tiukan aikataulun, joka aiheutti enemmän organisointia ja esimerkiksi käytännön testausten järjestäminen meni loppumetreille. Suunnittelin ja järjestin testaukset itse ja käytännön toteutukseen sain hieman apua. Jos mukana olisi ollut laitteiston ja mittaustilanteiden osalta enemmän kokeneita henkilöitä, olisi luultavasti voitu välttää tai selvittää nopeammin joitakin ongelmia. Järjestelmän pystyttäminen ja tarvittavien mittojen mittaaminen vie niin paljon aikaa, että olisi syytä olla mahdollista pystyttää se käyttöä edeltävänä päivänä. Paras tilanne olisi, jos järjestelmän voisi asentaa kiinteästi, eikä sitä tarvitsisi erikseen aina pystyttää.

Lähteet

Alatalo, I. 2012. Technology behind real-time location systems : Radio Frequency-based Systems. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Viitattu 23.4.2016 <http://www.theseus.fi/handle/10024/45658>

Asiantuntijatoiminta. N.d. Artikkeliki KIHUn internet-sivuilta. Viitattu 8.4.2016 <http://www.sport.fi/kihu/mita-temme/asiantuntijatoiminta>

Complete System. 2016. Artikkeliki Quupan internet-sivuilta. Viitattu 24.4.2016. <http://quuppa.com/product/>

PoE-kytkin. 2016. DGS-1100 Series Smart Managed 8-Port Gigabit PoE Switch. PoE-kytkimen kuva D-linkin internet-sivuilta. Viitattu 12.5.2016. <http://us.dlink.com/products/business-solutions/easysmart-8-port-gigabit-poe-switch/>

Fact Sheet. 2016. Quupan tuotteiden tekniset tiedot. Quuppa Oy. Viitattu 24.4.2016. http://quuppa.com/wp/wp-content/uploads/2015/04/Quuppa_fact_sheet_2016-01.pdf

Haataja, A. 2014. Uwb-paikannusjärjestelmän automaattinen kalibrointi. Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Viitattu 9.5.2016. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77036/Haataja_Antti.pdf?sequence=1

KIHU historia. N.d. Artikkeliki KIHUn internet-sivuilta. Viitattu 8.4.2016 <http://www.sport.fi/kihu/mita-temme/historia>

Miles, S., Sarma, S. & Williams, J. 2008. RFID Technology and Applications. New York: Cambridge University Press.

KIHU strategia, N.d. Artikkele KIHUn internet-sivuilta. Viitattu 8.4.2016
<http://www.sport.fi/kihu/mita-teeimme/strategia>

KIHU Tutkimus- ja kehitystoiminta. N.d. Artikkele KIHUn internet-sivuilta. Viitattu 8.4.2016
<http://www.sport.fi/kihu/mita-teeimme/tutkimus-ja-kehitystoiminta>

ISO/IEC 24730-1:2014(en). 2014. Information technology — Real time locating systems (RTLS). RTLS-standardin johdanto ISO:n sivustolta. ISO, The International Organization for Standardization. Viitattu 21.4.2016.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:24730:-1:ed-2:v1:en>

Kalliola, K. 2011. High Accuracy Indoor Positioning Based on BLE. Tekesin sivustolta löytyvä seminaarimateriaali. Viitattu 21.4.2016.
<http://www.tekes.fi/haku/?q=nokia%20ble>

Key features. 2016. Artikkele Quuppa Oy:n internetsivuilla. Viitattu 20.4.2016
<http://quuppa.com/features/>

LPM Technology. N.d. Local Position Measurement (LPM) technology is the world's most precise sports tracking system. InMotio. Teknologian esittely valmistajan internet-sivuilla. Viitattu 19.5.2016. <http://www.inmotio.eu/en-GB/20/lpm-technology.html>

Nordgren, K. 2016. Maailman ensimmäinen vedenalainen navigaattori tulee Lahdesta. Artikkele Tekesin internet-sivuilla. Viitattu 19.5.2016.
<http://www.tekes.fi/nyt/uutiset-2016/maailman-ensimmainen-vedenalainen-navigaattori-tulee-lahdesta/>

Pesonen, J. 2015. RTLS. Oppimateriaali opintojaksolta Materiaalin käsittelyn automaatio. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, logistiikan tutkinto-ohjelma. Viitattu 18.5.2016. Optima-oppimisympäristö.

Power over Ethernet (POE) Explained. 2010. Part 1 - An Introduction to POE. Artikkele Veracityn internet-sivuilta. Viitattu 12.5.2016.

<http://veracityglobal.com/resources/articles-and-white-papers/poe-explained-part-1.aspx>

Pääkkönen, A. 2014. Alustariippumaton mobiilisovellus Bluetooth Low Energy-kommunikointiin. Opinnäytetyö. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Viitattu 23.5.2016.

http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77032/Paakkonen_Antti.pdf?sequence=1

Quuppa, About us. 2016. Artikkele Quupan internetsivuilla. Viitattu 24.4.2016.

<http://quuppa.com/company/>

Quuppa LD-6T User Guide. 2013. Tagin käyttöohje, joka löytyi Google-haulla. Viitattu 24.4.2016. http://quuppa.com/product-documentation/Quuppa_LD-6T_User_Guide.pdf

Rainio, A. 2003. Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Tekesin internet-sivuilta löytyvä PDF-tiedosto. Viitattu 19.5.2016.

http://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/paikannus_mobiilipalveluissa.pdf

Rantala, J. 2012. High Accuracy Indoor Positioning – Technology Solution and Business Implications. Pdf-tiedosto Nokian tutkimuslaitoksen HAIP-esittelystä. Viitattu 24.4.2016. <http://www.cwins.wpi.edu/workshop12/pres/jukka.pdf>

Revolutionizing Retail with Redpoint RTLS. 2016. Artikkele Redpoint Positioning internet-sivuilta. Viitattu 18.5.2016. <http://www.redpointpositioning.com/rtls-for-vertical-industries/rtls-for-retail/>

Miksi RFID? N.d. Artikkele RFID Lab Finland ry:n internetsivuilta. Viitattu 23.5.2016. <http://www.rfidlab.fi/miksi-rfid>

Mitä on RFID? N.d. Artikkelele RFID Lab Finland ry:n internet-sivuilta. Viitattu 23.5.2016. <http://www.rfidlab.fi/rfid-tietoutta>

Sisätilanavigointi. N.d. Artikkelele Paikkatietokeskuksen internetsivuilla. Viitattu 24.5.2016. <http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/sis%C3%A4tilanavigointi>

RFID-tekniikan käyttämät taajuusalueet. N.d. Artikkelele RFID Lab Finland ry:n internet-sivuilta. Viitattu 23.5.2016.

<http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniikan-k%C3%A4ytt%C3%A4m%C3%A4t-taajuusalueet>

RFID-tekniikan fysikaaliset perusteet. N.d. Artikkelele RFID Lab Finland ry:n internet-sivuilta. Viitattu 23.5.2016. <http://www.rfidlab.fi/rfid-tekniikan-perusteet>

TEPA-termipankki. 2002. Sanastokeskus TSK:n internetsivuilla, hakusana paikannus. Viitattu 23.5.2016. <http://www.tsk.fi/tepa/netmot.exe?UI=figr&height=161>

Innovation comes from science and engineering combined with imagination. N.d. Artikkelele Ariadnan internet-sivuilta. Viitattu 19.5.2016.

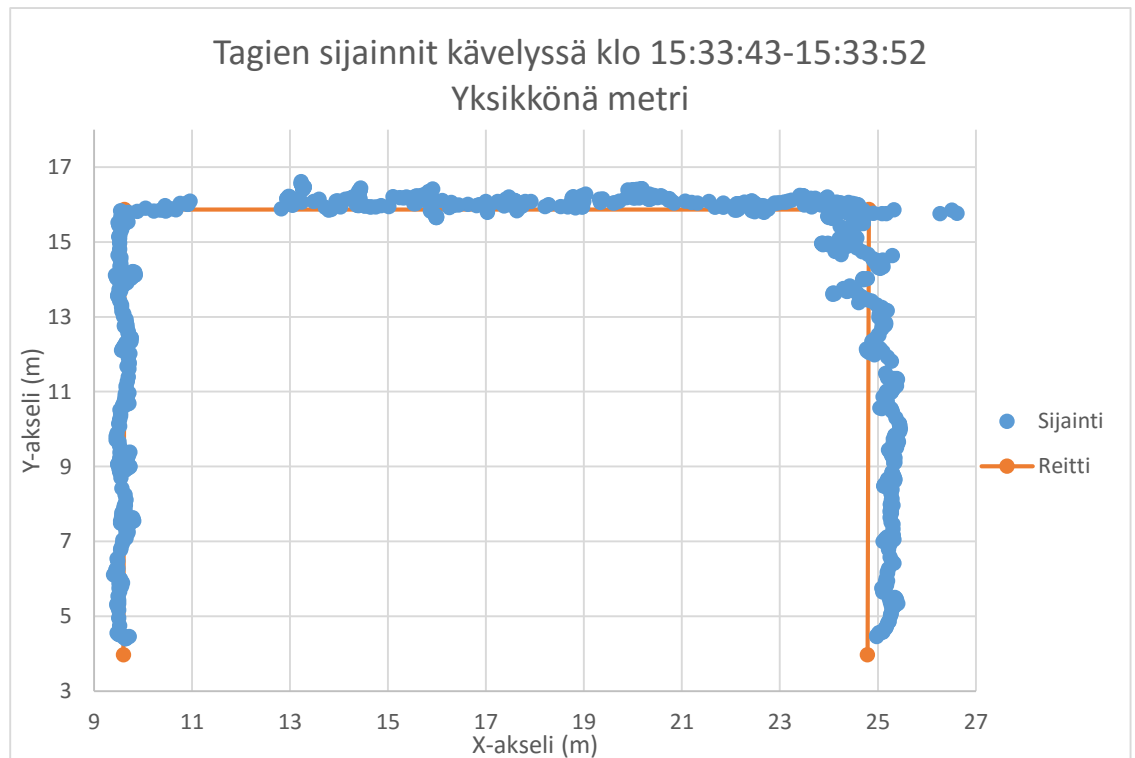
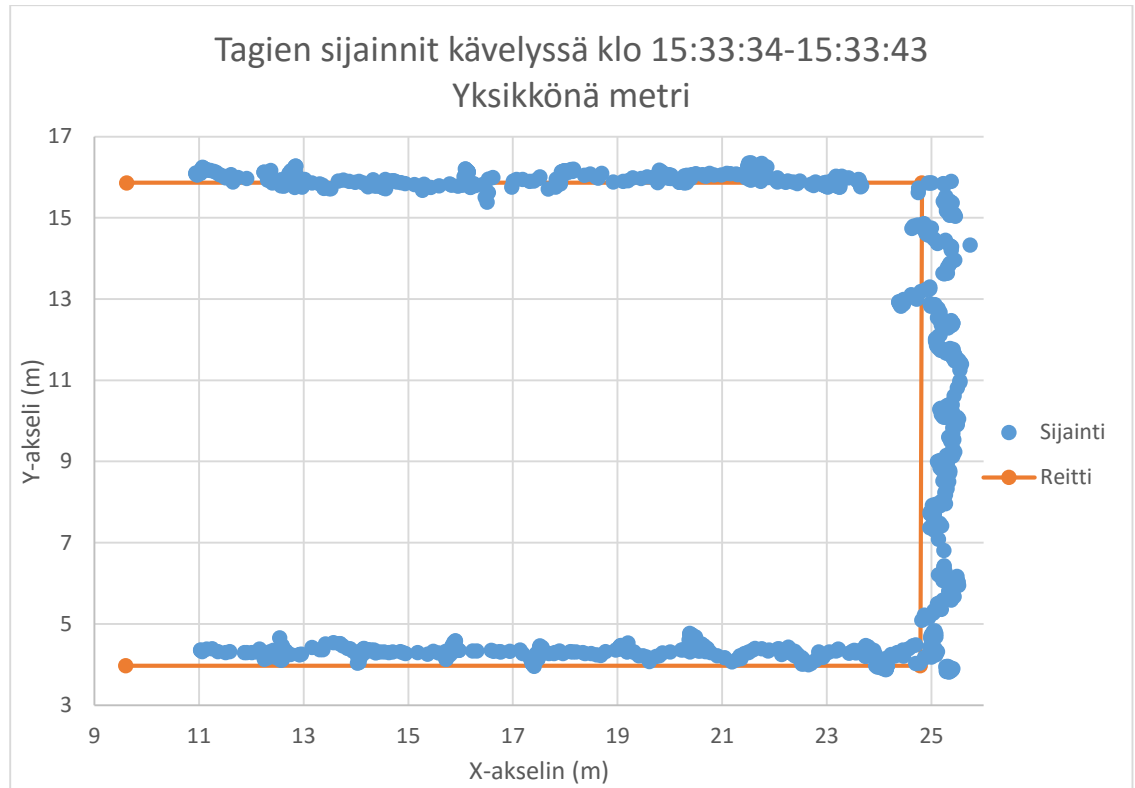
<http://www.ariadna.tech/dev/science.html>

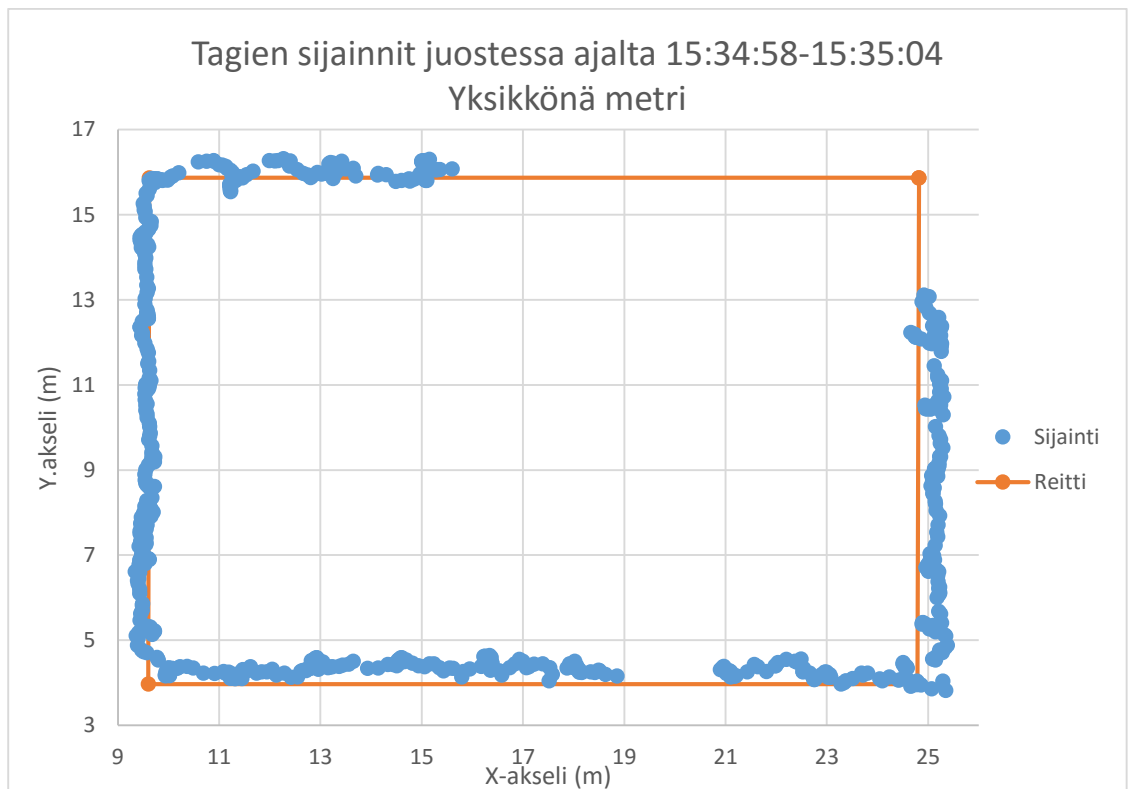
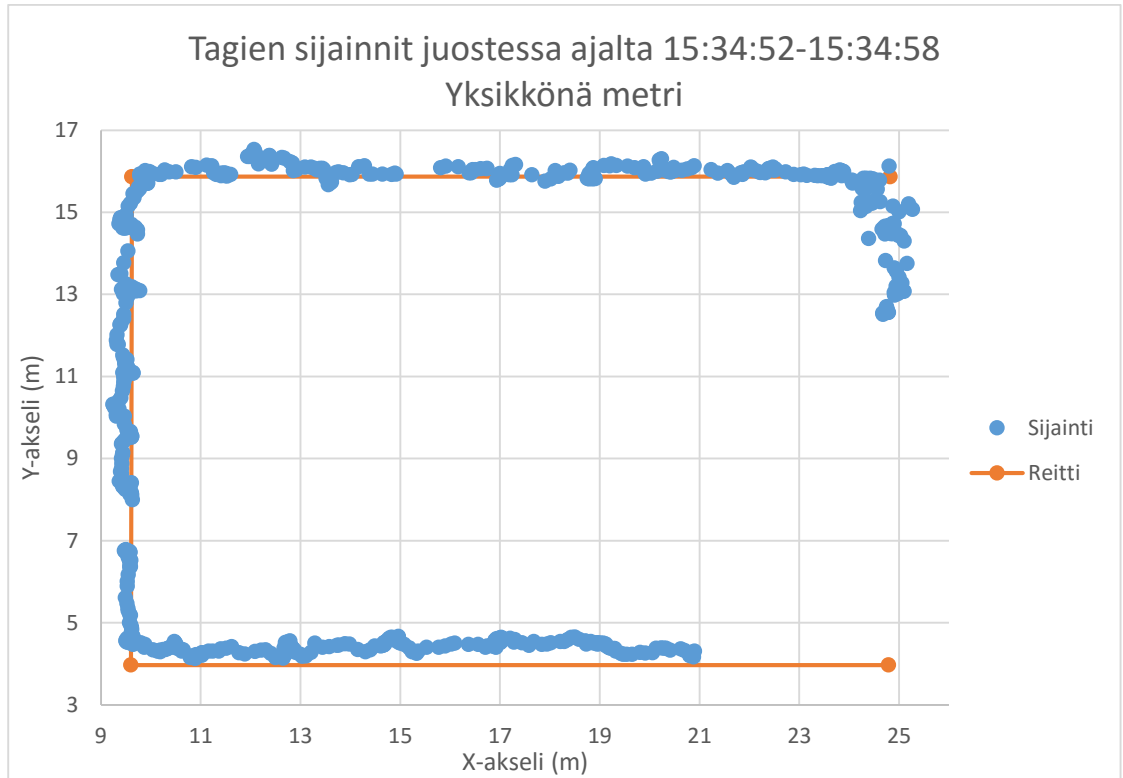
Smart Puck Enters the Finnish Hockey League. 2015. Artikkelele Quupan internet-sivuilta. Viitattu 12.5.2016. <http://quuppa.com/smart-puck-enters-the-finnish-hockey-league/>

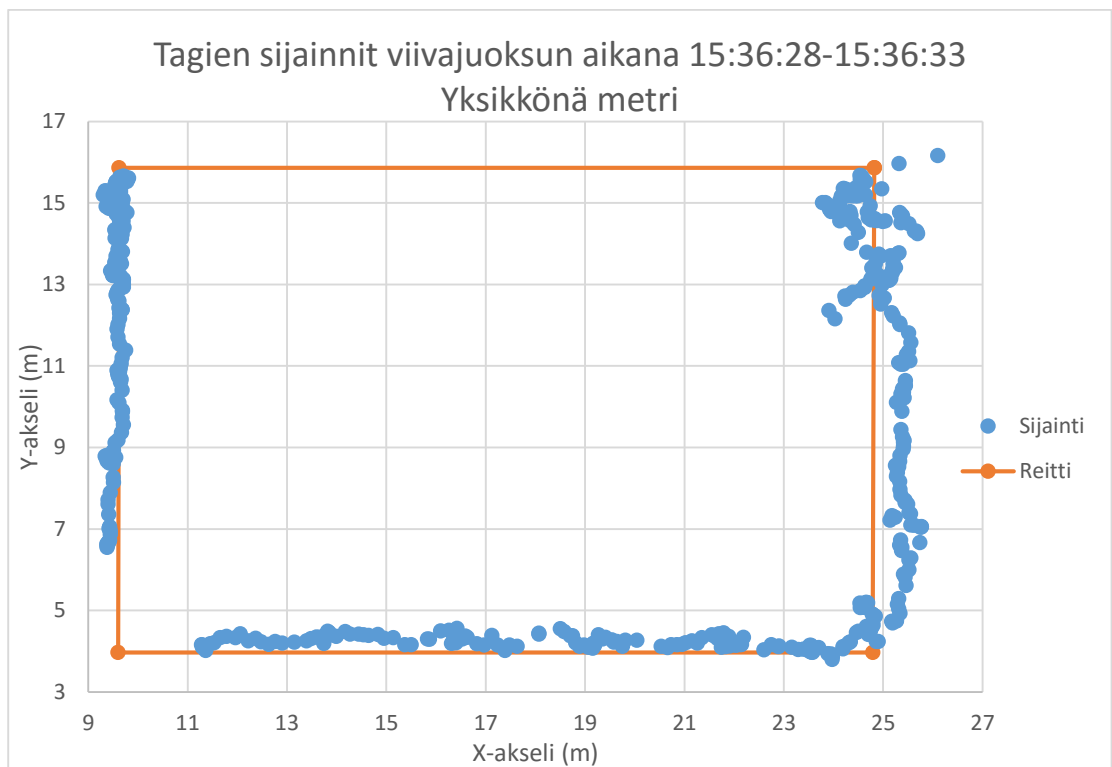
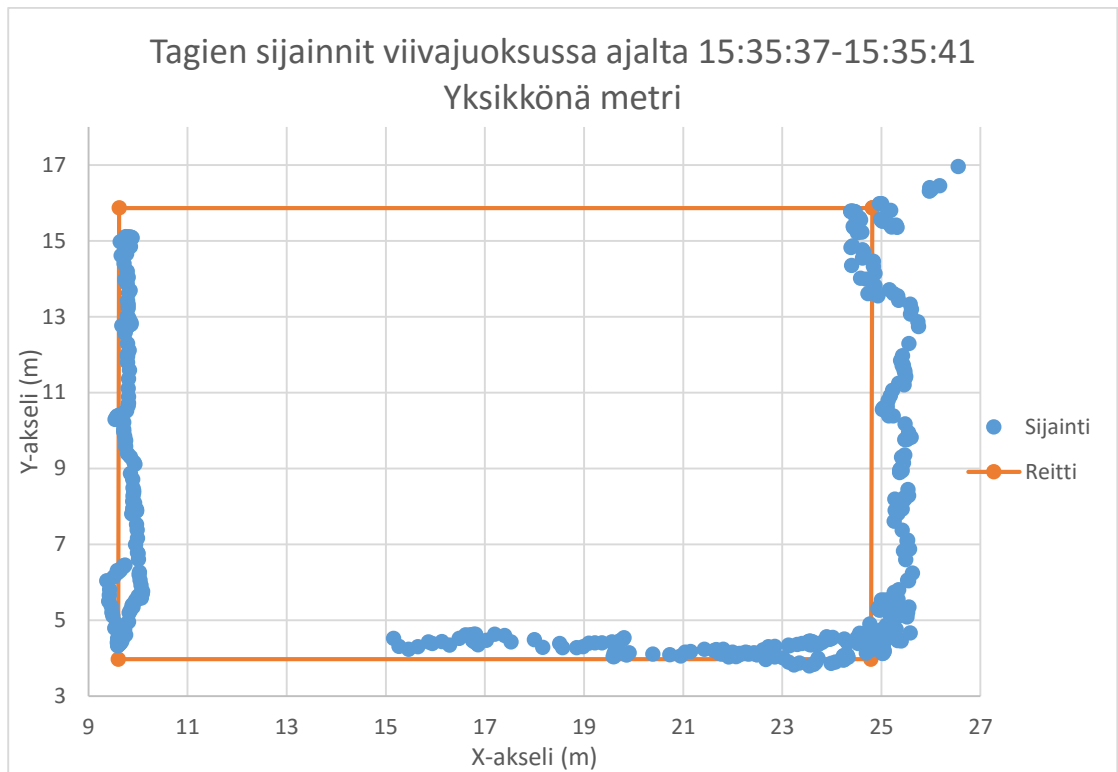
Unique Technology. 2016. Artikkelele Quupan internet-sivuilta. Viitattu 24.4.2016 <http://quuppa.com/technology/>

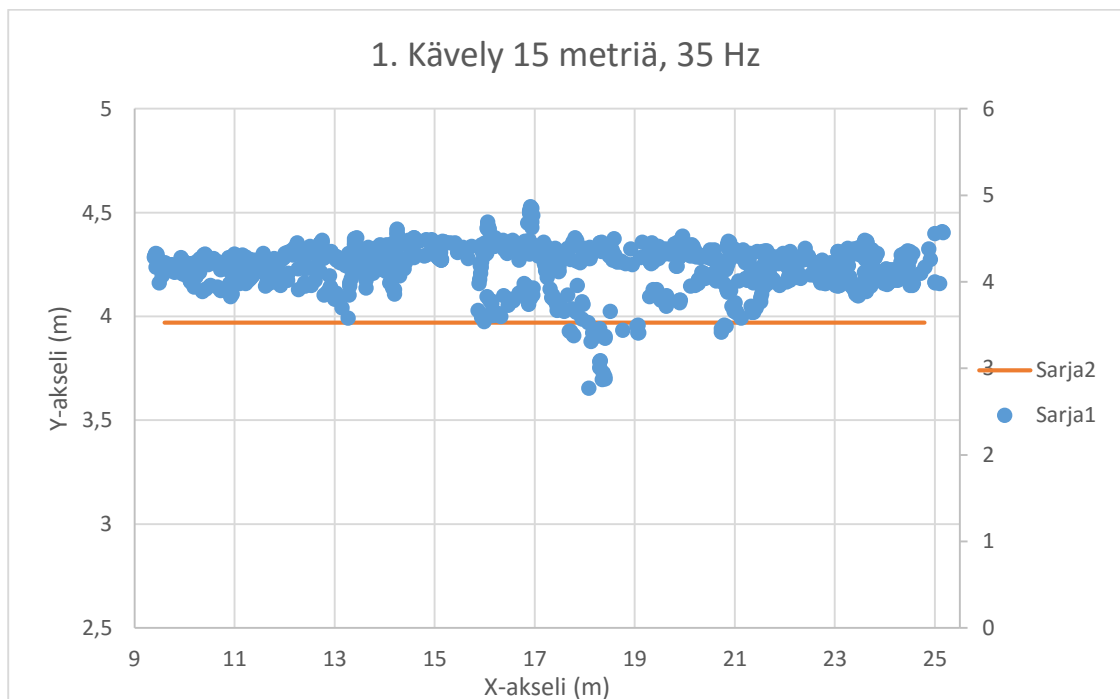
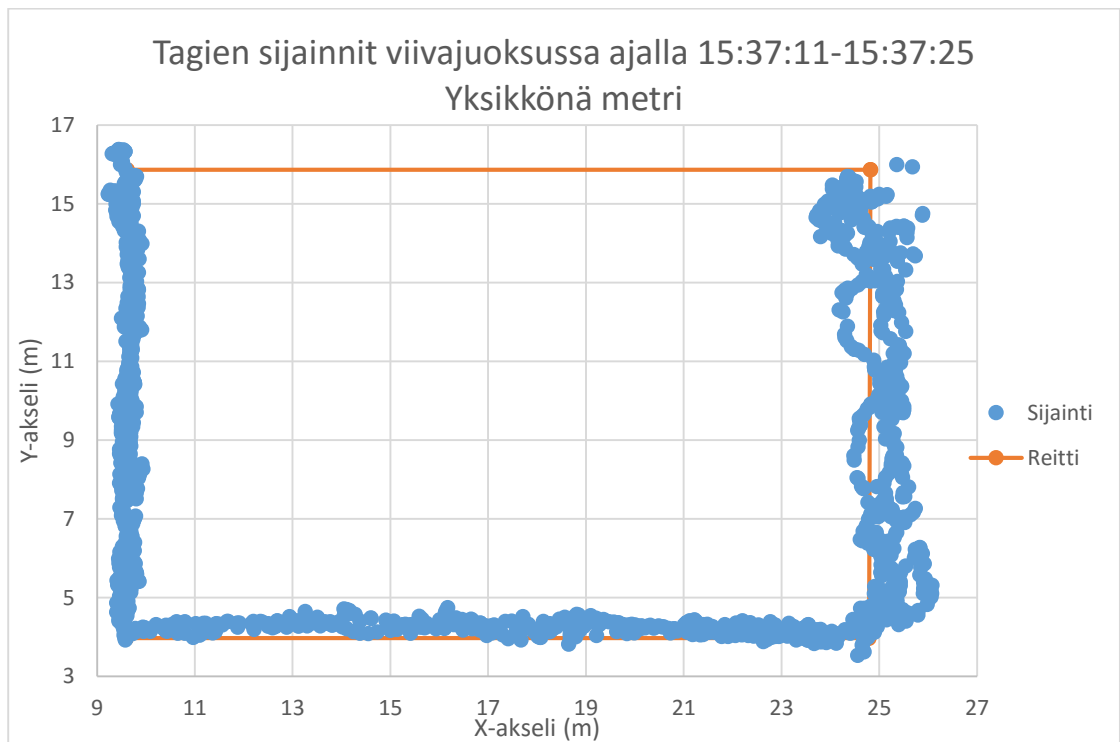
Liitteet

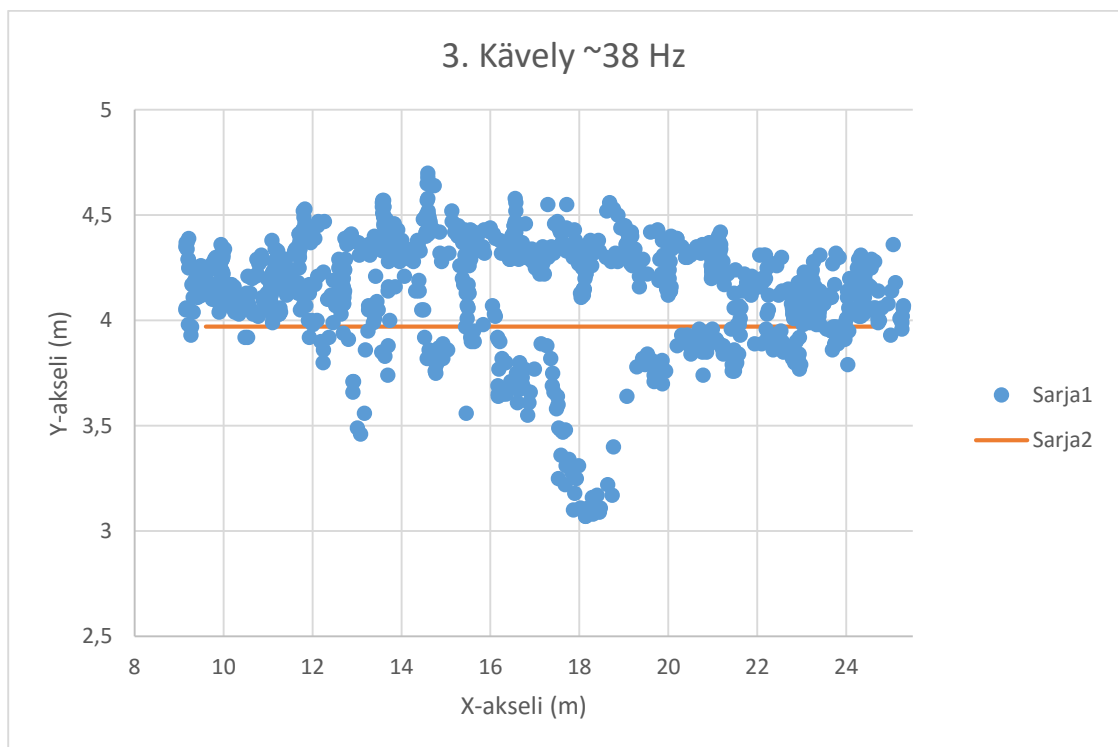
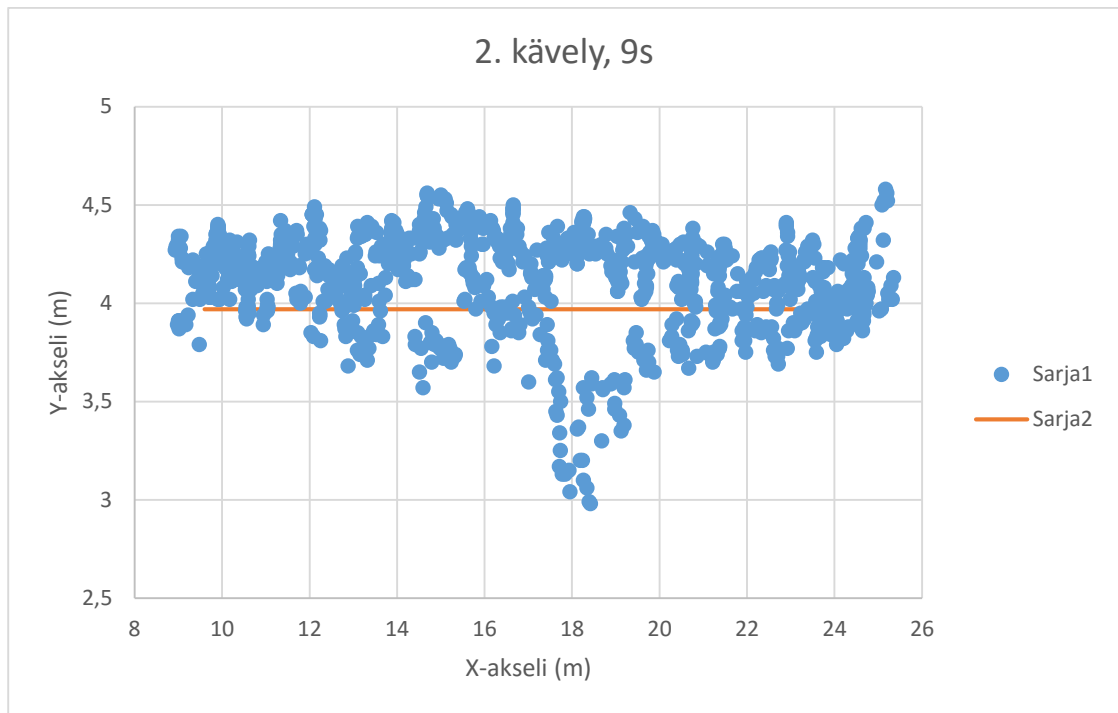
Liite 1. Testauksista saadusta datasta piirrettyjä piste- ja viivakaavioita

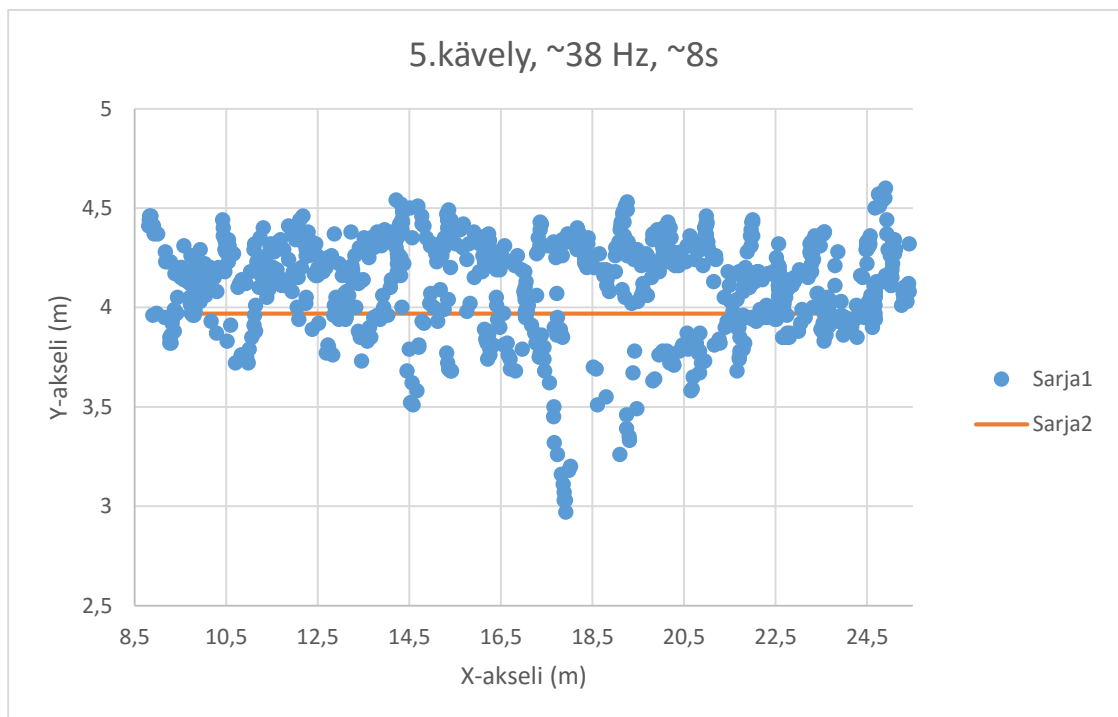
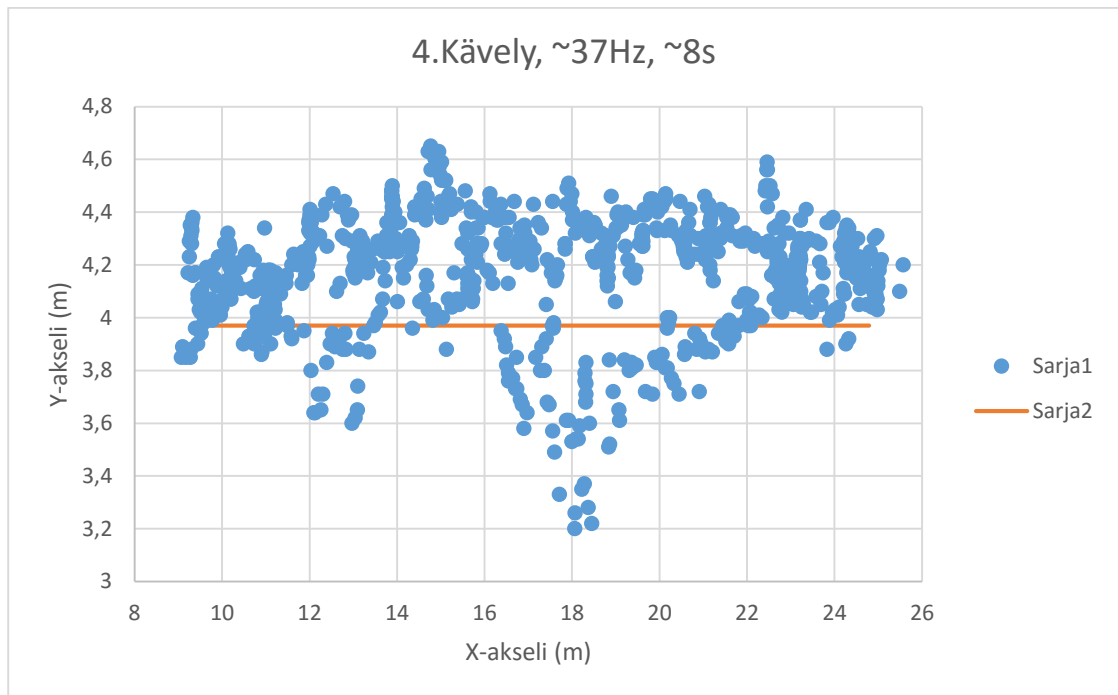


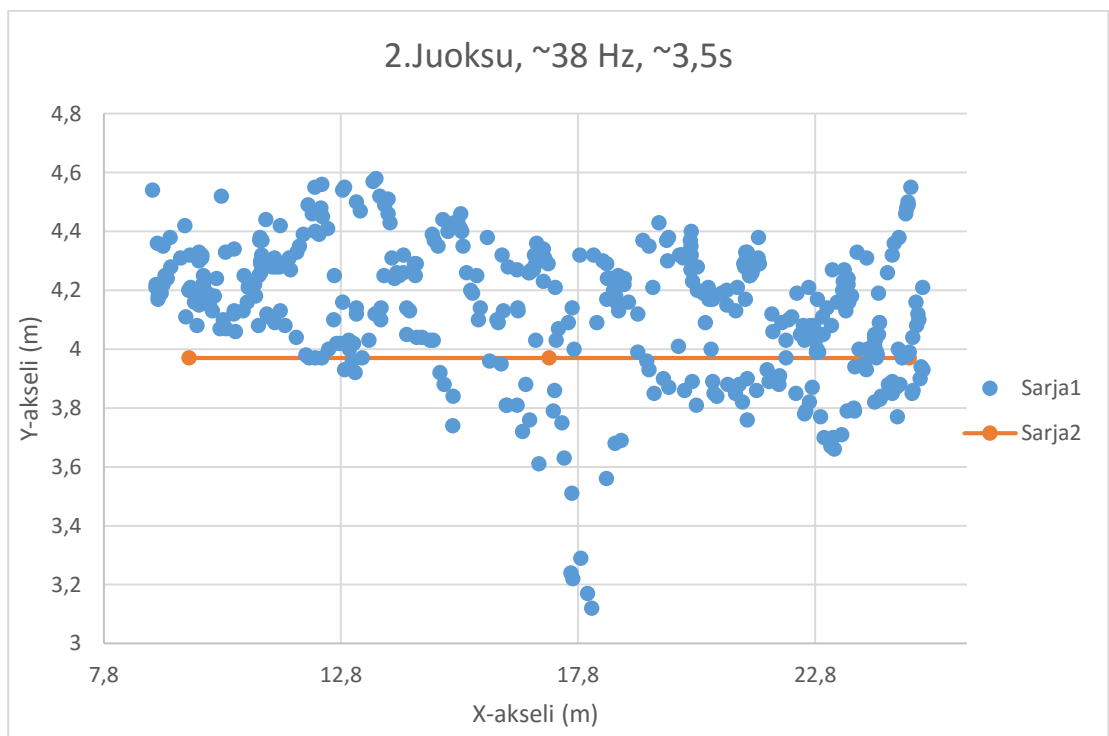
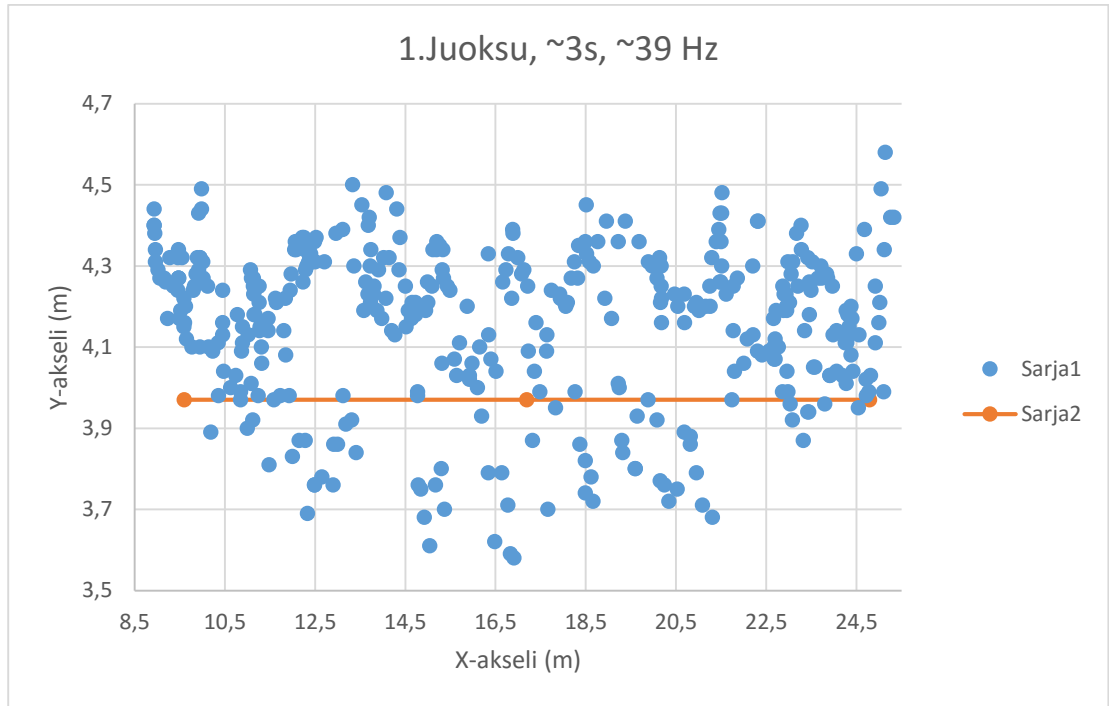


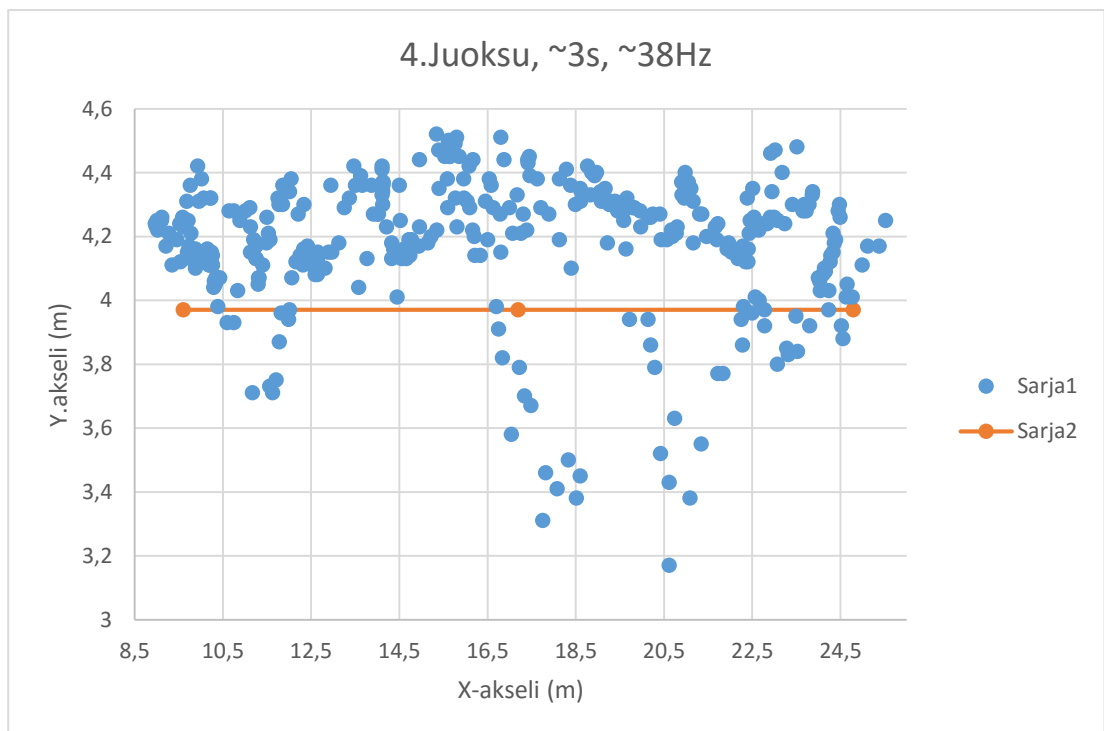
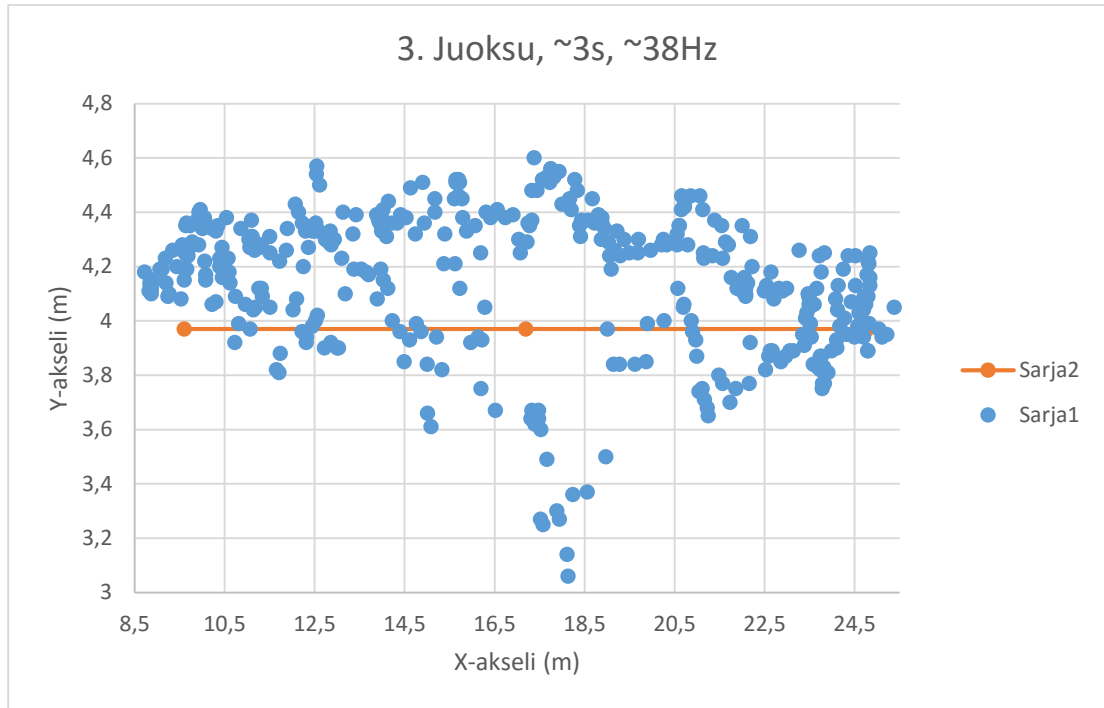


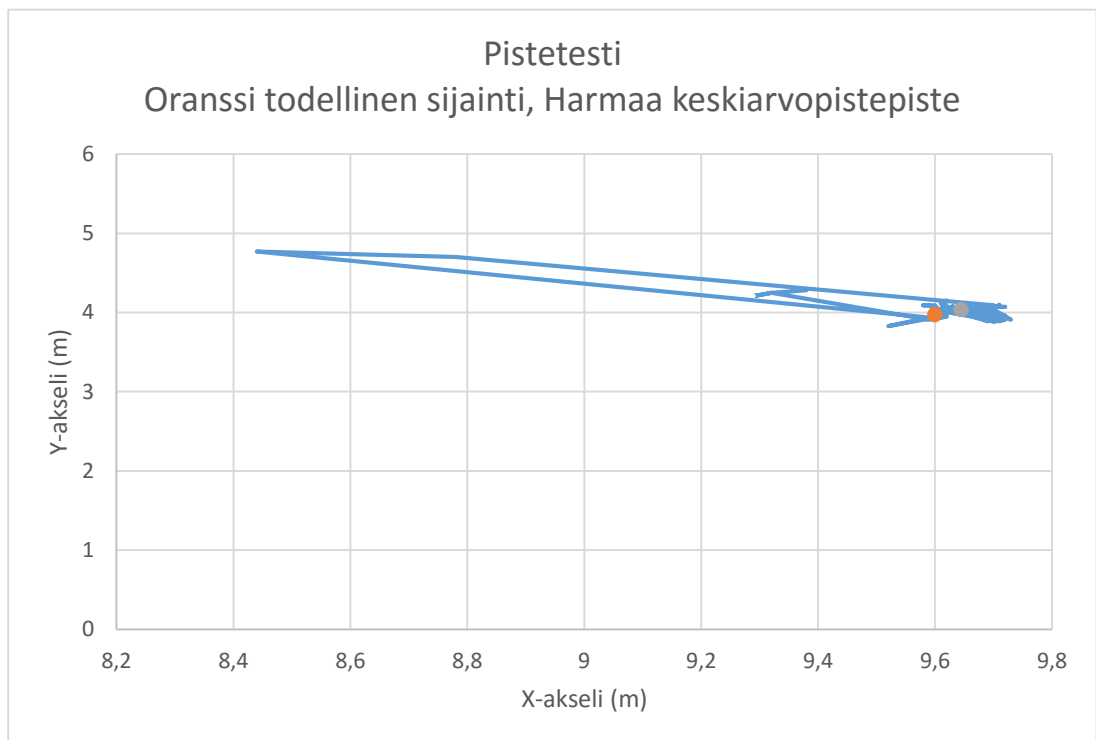
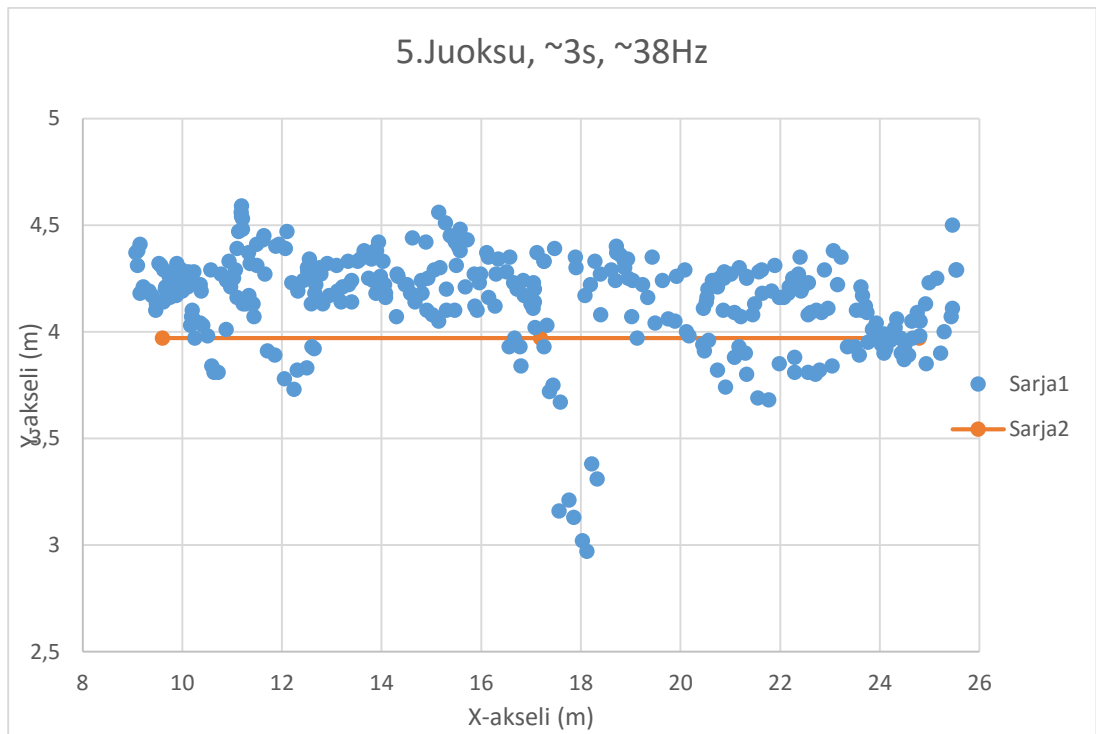


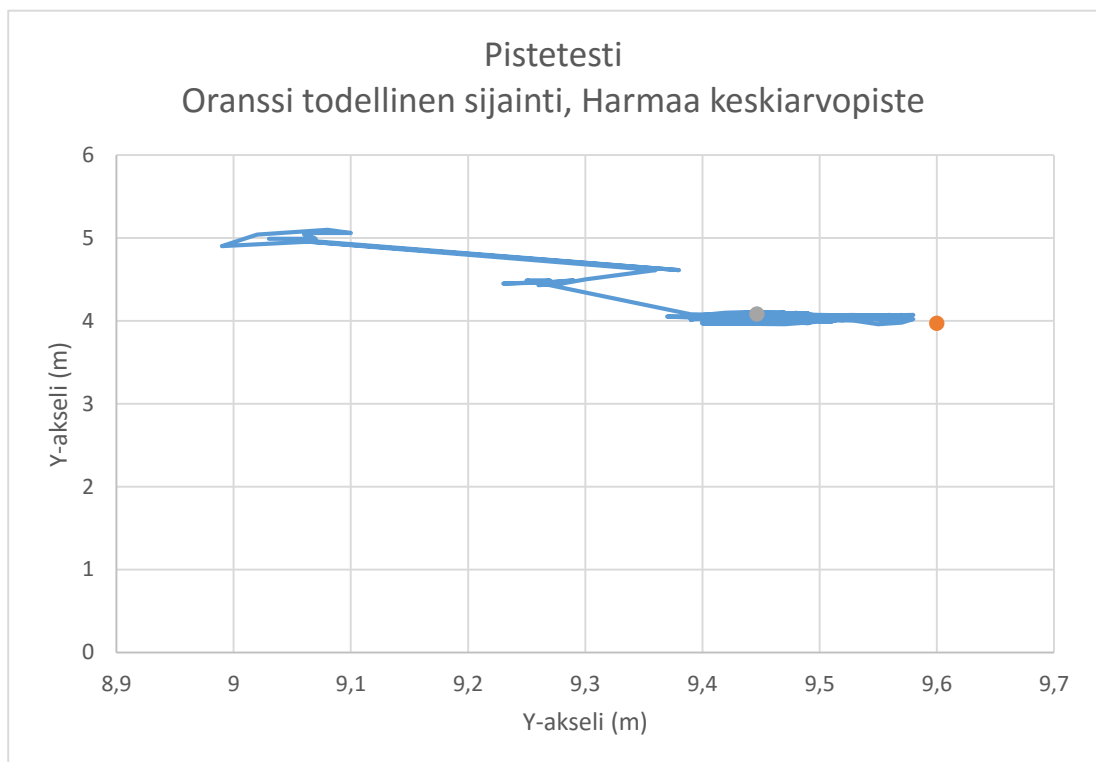
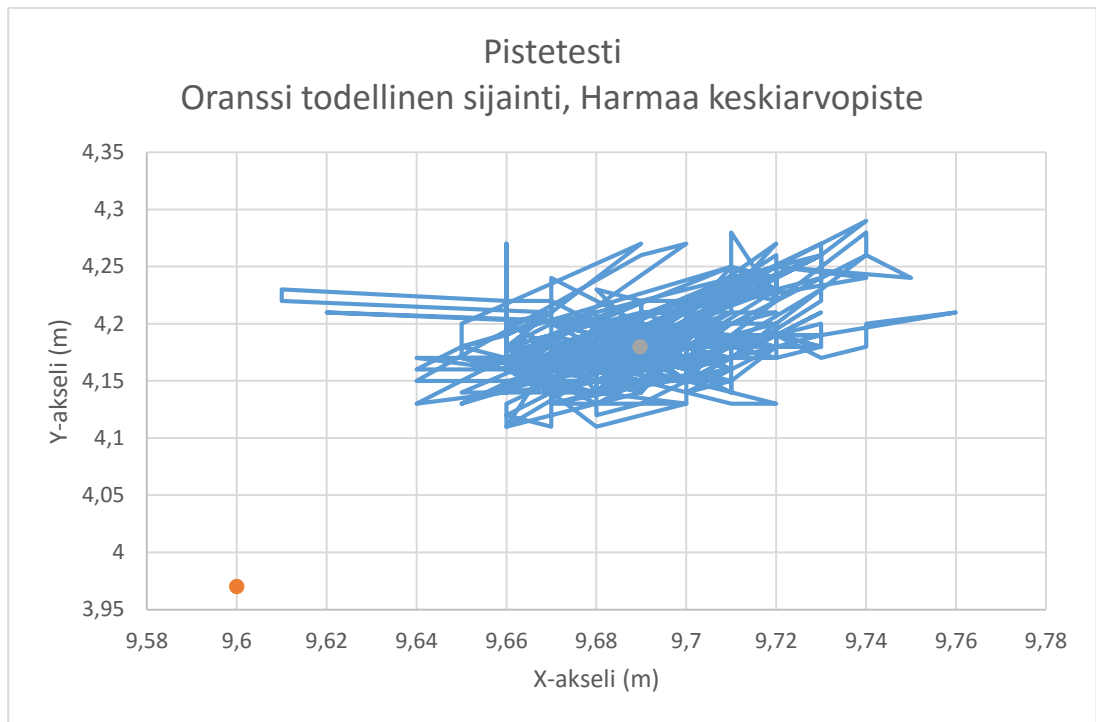


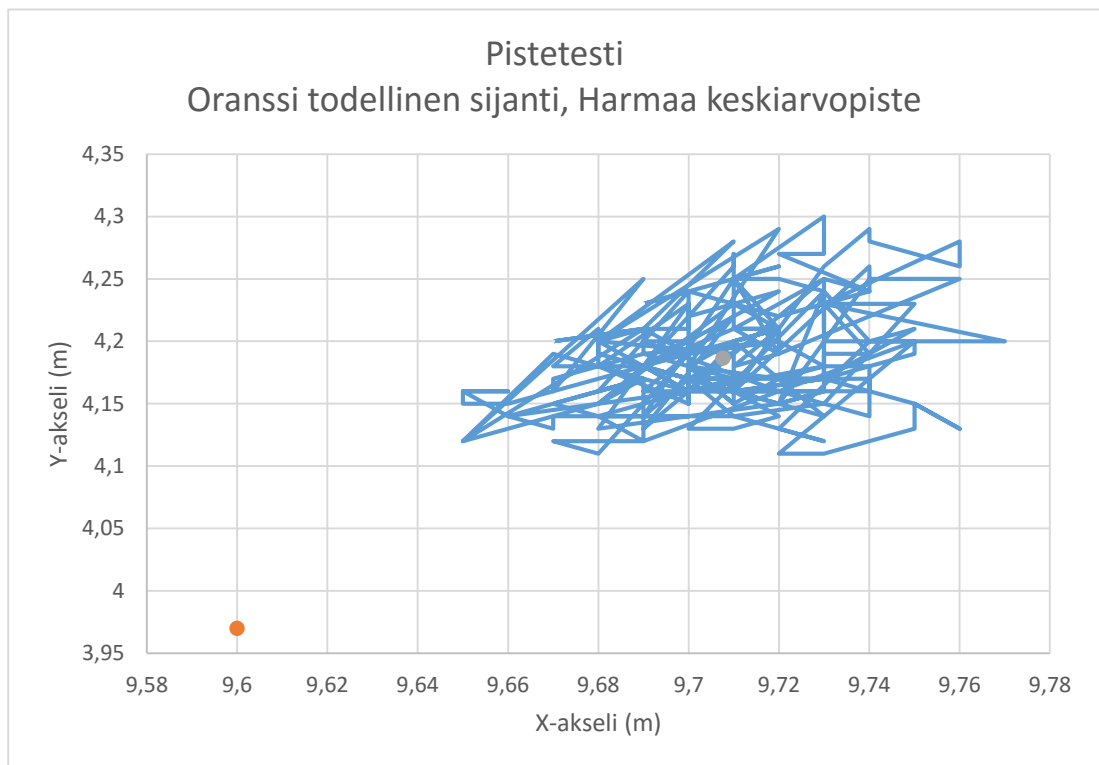
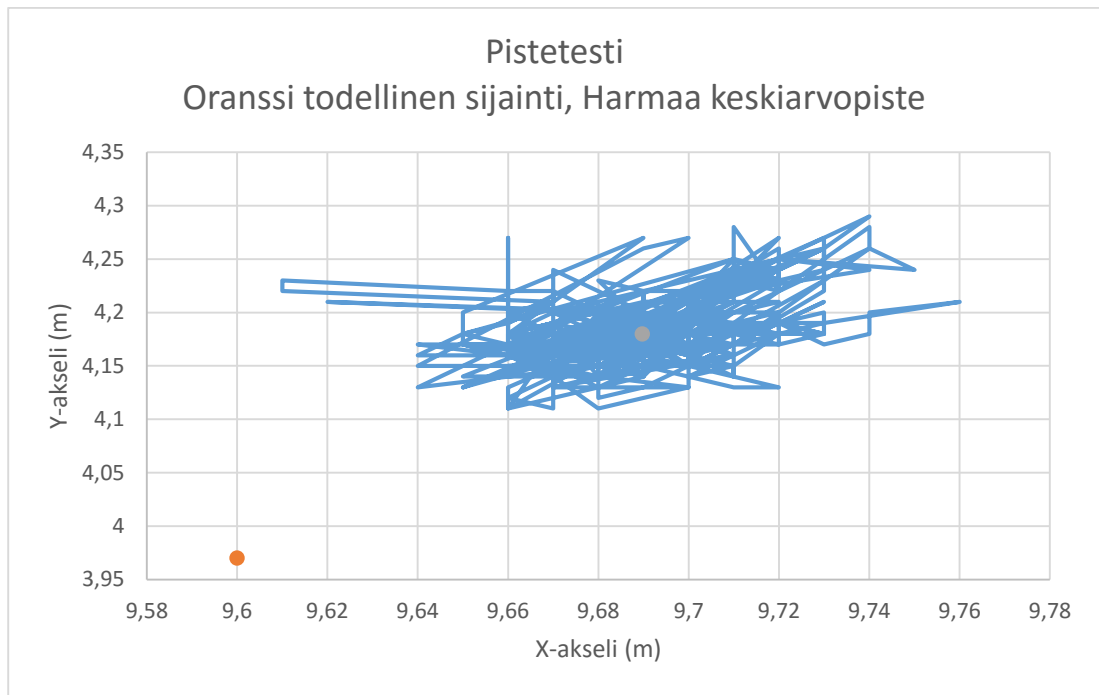


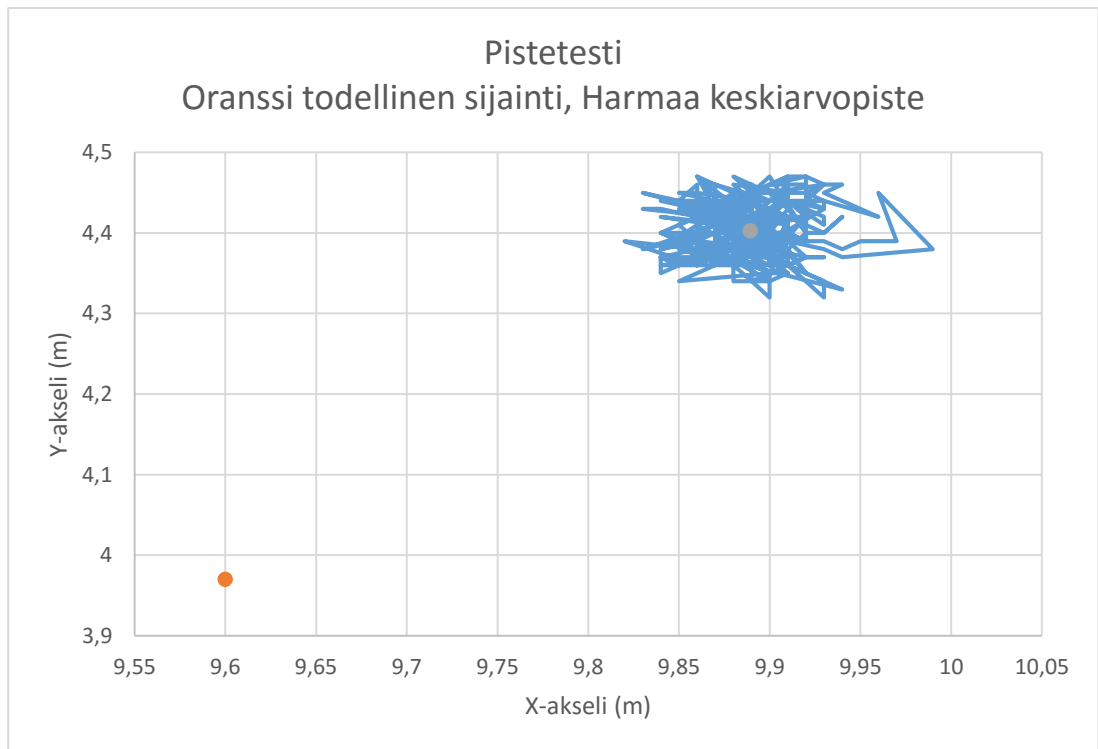
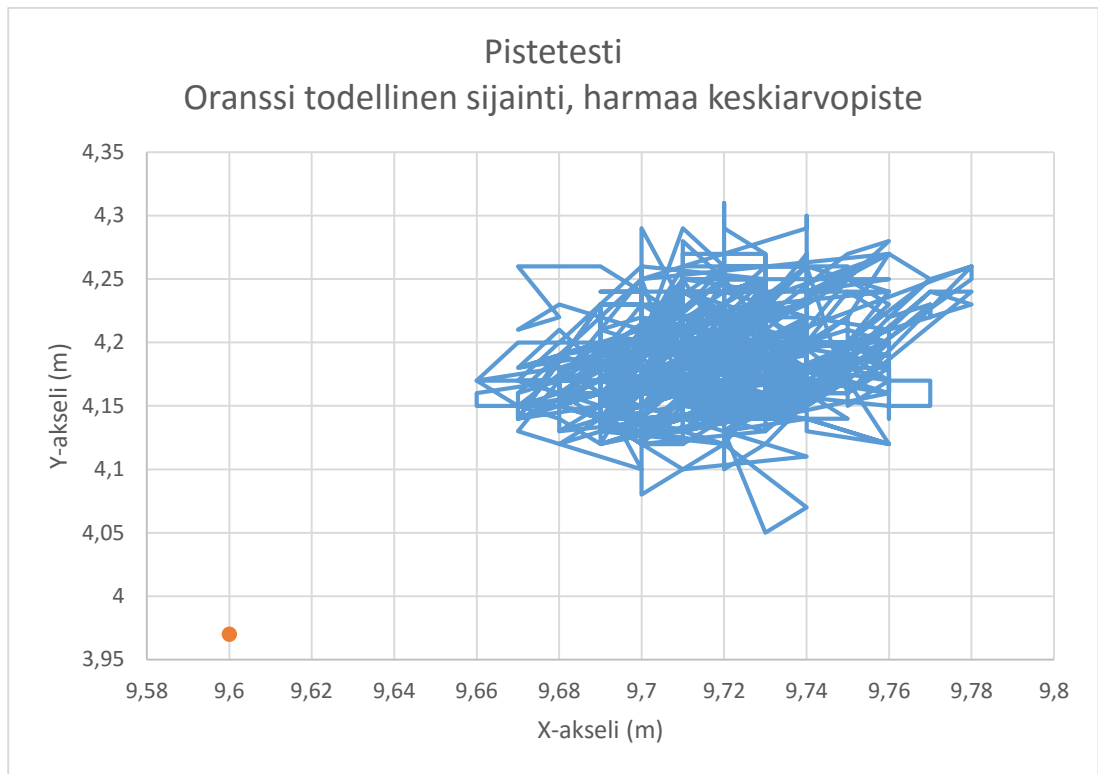


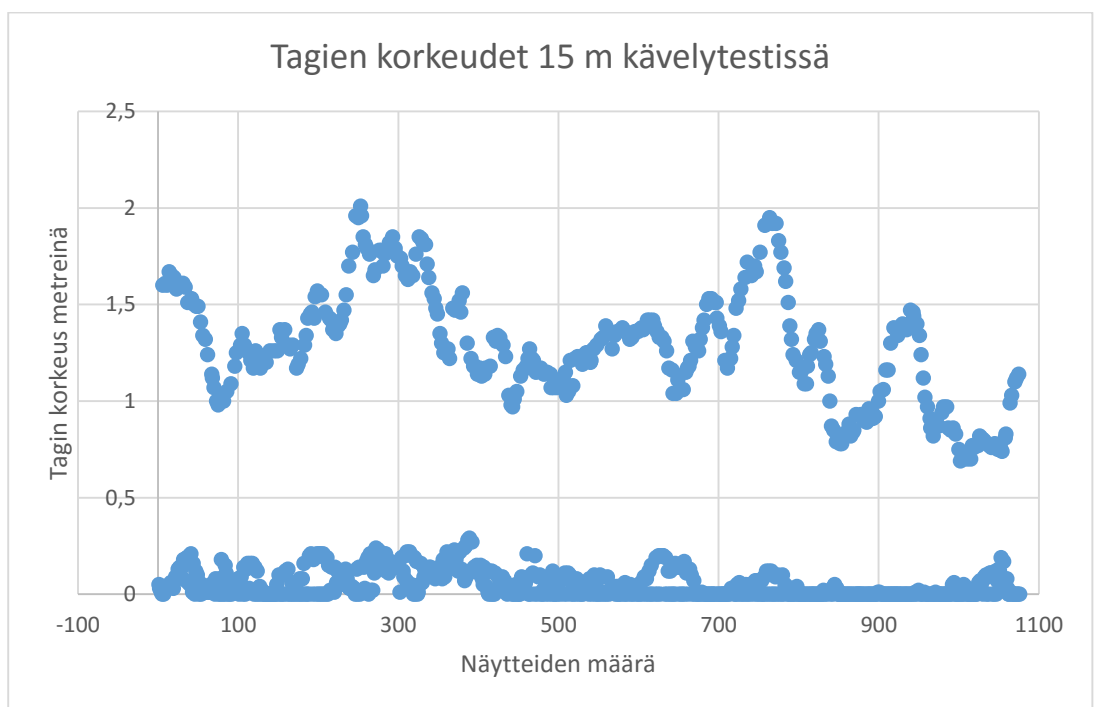
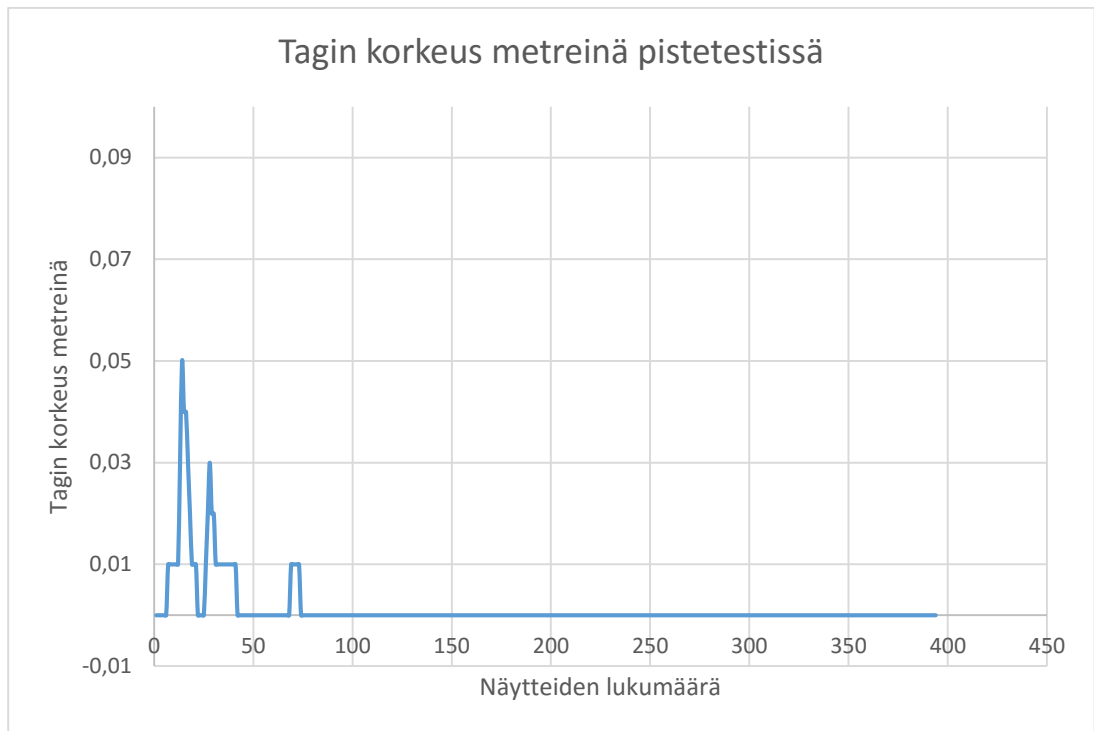


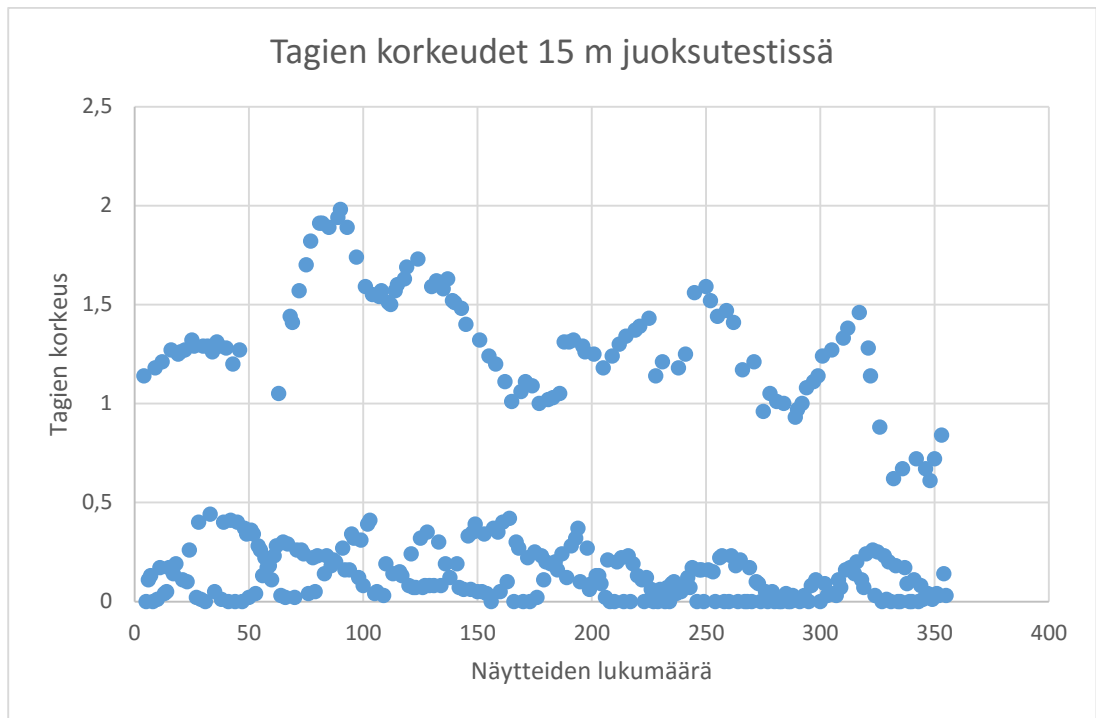












Liite 2. Quupan käyttöohje

Liite 2. on poistettu salassapitosyistä.