

# **Kinect-liiketunnistimen soveltuvuus keihäänheiton lähtöparametrien määrittämiseen**

Tiia Finne

Opinnäytetyö

Lokakuu 2017

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Finne, Tiia	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Lokakuu 2017
	Sivumäärä 71	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Kinect-liiketunnistimen soveltuvuus keihäänheiton lähtöparametrien määrittämiseen</b>		
Tutkinto-ohjelma Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Ström Markku, Siistonen Matti		
Toimeksiantaja(t) Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU		
Tiivistelmä <p>Urheilussa käytetään nykyään paljon erilaisia mittauslaitteita, jotta pystytään analysoimaan tarkemmin urheilusuorituksia ja sitä kautta kehittämään suoritustekniikkaa. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus, KIHU, johtaa Suomen Olympiakomitean Huippu-urheiluyksikön osaamisohjelmaa vastaten mm. huippu-urheilun tutkimus- ja kehitystoiminnasta. KIHUlla tehdään paljon testauksia huippu-urheilijoiden kanssa, joten testauksen tulisi olla mahdollisimman nopeaa, mutta silti tarkkaa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, soveltuuko Kinect- liiketunnistin keihäänheittoon keihään lähtöparametrien tunnistukseen. Toimeksiantajan toiveena oli saada toimiva keihään lähtöparametrien määrittämisohjelma, jota valmentajat pystyisivät hyödyntämään päivittäisessä valmennuksessa urheilijoiden kanssa.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena, joka koostui Kinectin toimintaan perehtymisestä, lähtötilanteen selvityksestä sekä parannusehdotusten miettimisestä ja niiden kokeilemisestä käytännössä. Opinnäytetyöhön kuului 3 testausta Simi Motion-liikeanalyysijärjestelmällä ja muutamia pienempiä testauksia, jotka tehtiin pelkällä Kinectillä. KIHUn asiantuntijat olivat mukana kehitystyössä.</p> <p>Tutkimuksen perusteella todettiin, että Kinect v2 ei sovellu keihään lähtöparametrien mittaamiseen, muilta osin kuin asentokulman mittaamiseen, johtuen Kinectin matalasta kuvataajuudesta, resoluutiosta sekä materiaalien tunnistuksesta. Opinnäytetyössä tehtiin tietokoneohjelma, joka mittaa ja ilmoittaa keihään asentokulman. Ohjelman on tarkoitus toimia virtuaalisena apuvalmentajana keihäänheitossa nuorille ja aloittelijoille, jotka vielä hakevat oikeaa heittokulmaa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Kinect, Keihäänheitto, infrapuna, infrapunäsäteily, emissiivisyys, liikkeenkaappaus		
Muut tiedot		

Author(s) Finne, Tiia	Type of publication Bachelor's thesis	Date October 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 71	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Suitability of the Kinect motion sensor for the Javelin throw in defining output parameters</b>		
Degree programme Degree Programme in Wellness technology		
Supervisor(s) Ström Markku, Siistonen Matti		
Assigned by KIHU, Research Institute for Olympic Sports		
Abstract <p>In sports, several measuring devices are used to analyze performances more accurately and to develop execution techniques. Research Institute for Olympic Sports, KIHU, is responsible for leading the Research and Development Programme of the Finnish Olympic Committee's High Performance Unit and in charge of the research and development actions in elite sport among other things. KIHU also conducts plenty of testing with athletes, which means that the testing should be as fast as possible and yet exact.</p> <p>The aim in the thesis was to determine if Kinect motion sensor was suitable for detecting the output parameters for the javelin. The assigner's requirement was to obtain a workable configuration program to detect the output parameters for the javelin, which athletes would be able to use in daily training with their coaches.</p> <p>The thesis was conducted as a development study which consisted of familiarizing with Kinect's functions, investigating the starting point and considering improvement suggestions and testing them in practice. The thesis included tree tests with Simi motion analysis system and some smaller testing which was made only with Kinect. KIHU's specialist were involved in the development work.</p> <p>Based on the study it was concluded that Kinect v2 is not suitable for measuring other output parameters for the javelin than the angular position. This is due to the low framerate and resolution used in Kinect as well as some problems in material detecting. The result of the thesis is a program that measures the angular position of the javelin. This program can work as a virtual assistant coach in javelin for youngster and beginners who are still seeking the correct throwing angle.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Kinect, Javelin throw, infrared, infrared radiation, emissivity, motion capture		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
1.1	Opinnäytetyön tavoitteet.....	5
1.2	Opinnäytetyön sisältö .....	6
<b>2</b>	<b>KIHU.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Sähkömagneettinen säteily.....</b>	<b>7</b>
3.1	Infrapunasäteily.....	8
3.2	Emissiivisyys .....	9
<b>4</b>	<b>Kameran optiikka ja kuvantamisominaisuudet.....</b>	<b>10</b>
4.1	CCD- ja CMOS-kennot.....	11
4.2	Kuvataajuus .....	12
4.3	Valotusaika .....	12
4.4	Polttoväli.....	12
<b>5</b>	<b>Digitaalinen kuvankäsittely.....</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Liikkeenkaappaus .....</b>	<b>14</b>
6.1	Optinen liikkeenkaappaus .....	14
6.2	Markkeriton liikkeenkaappaus.....	14
<b>7</b>	<b>Kinect.....</b>	<b>15</b>
7.1	Kinect v1 .....	16
7.2	Kinect v2 .....	17
7.3	Liikkeenkaappaus Kinectillä.....	19
7.4	Microsoft SDK 2.0 .....	19
7.5	Syvyyskuva.....	19
<b>8</b>	<b>Keihäänheitto.....</b>	<b>23</b>
8.1	Keihäs .....	25

<b>9</b>	<b>Keihään lähtöparametrien mittaustapoja.....</b>	<b>25</b>
9.1	Älykeihäs.....	25
9.2	Ariel performance analysis system, APAS .....	26
9.3	Simi Motion .....	27
9.4	KIHUlla käytössä olevat järjestelmät.....	27
<b>10</b>	<b>Keihään lähtöparametrien mittausohjelma.....</b>	<b>29</b>
<b>11</b>	<b>Muut vastaavat laitteet .....</b>	<b>32</b>
<b>12</b>	<b>Työn toteutus.....</b>	<b>34</b>
12.1	Syvyyskameran tarkkuus .....	34
12.2	Keihään optimaalinen pystysuuntainen etäisyys Kinectistä .....	37
12.3	Kinectin optimaalinen paikka .....	39
12.4	Materiaalien ja värien vertailu .....	41
12.5	Valotusaika .....	44
12.6	Ensimmäinen testaus .....	45
12.7	Toinen testaus .....	48
12.8	Kolmas testaus .....	50
12.9	Keihään pituus syvyyskuvassa .....	53
12.10	Neljäs testaus .....	57
<b>13</b>	<b>Tulokset ja johtopäätökset .....</b>	<b>58</b>
13.1	Jatkokehitys .....	60
13.2	Muut käyttökohteet .....	62
<b>14</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>62</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>64</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>69</b>
	Liite 1.....	69

## Kuviot

Kuvio 1 Sähkömagneettinen spektri .....	8
Kuvio 2 Kameran optiikka .....	11
Kuvio 3 Kinect v1 .....	16
Kuvio 4 Kinect v2 .....	18
Kuvio 5 Syvyyskuva keihästä .....	20
Kuvio 6 Syvyysarvojen poikkeavuus millimetreinä .....	21
Kuvio 7 Kinectin lämpenemisen vaikutus mittaustuloksiin .....	22
Kuvio 8 Keihään kulmaominaisuudet .....	24
Kuvio 9: Keihään mitat .....	25
Kuvio 10 Heijastinpallot kalibrointialueen merkinä .....	28
Kuvio 11 Keihään manuaalinen tunnistus .....	29
Kuvio 12 Kaapatut kuvat .....	30
Kuvio 13 Keihään lähtöparametrien määrittämisohjelma .....	31
Kuvio 14 Kinectin näkökentän koko .....	35
Kuvio 15 Keihään tarvitsema näkökenttä .....	37
Kuvio 16 Kinectin etäisyys heittoviivasta ja maanpinnasta .....	39
Kuvio 17 Värikartta RGB-kameralla ja IR-kameralla kuvattuna .....	42
Kuvio 18 Kiiltävä teippi, heijastin ja urheiluteippi.....	43
Kuvio 19 Vahtomuovi ja kangas .....	43
Kuvio 20 Hiili, liitutaulumaa, kumimaali ja auton alustansuojamaali .....	44
Kuvio 21 Tennispallo .....	45
Kuvio 22 Keihäät.....	46
Kuvio 23 Keihäiden vertailu.....	47
Kuvio 24 Kinectin etäisyyksien vertailu .....	47
Kuvio 25 Heijastin värikameran edessä .....	49
Kuvio 26 Keihäs auringonpaisteessa, pilvisellä säällä sekä sisällä .....	49
Kuvio 27 Kuvien poisto .....	51

Kuvio 28 Testaus 3: Miesten keihäs .....	52
Kuvio 29 Testaus 3: Naisten keihäs .....	53
Kuvio 30 Syvyyskuva heijastin keihään perässä .....	54
Kuvio 31 Infrapuna- ja syvyyskuva yhdistettynä .....	56
Kuvio 32 Testaus 4 tulokset.....	57
Kuvio 33 Heitto 2 tulokset .....	58
Kuvio 34 Vantablack-näytepala .....	61

## **Taulukot**

Taulukko 1. Esimerkkejä emissiivisyysarvoista .....	10
Taulukko 2. Vastaavat laitteet.....	32
Taulukko 3. Näkökentän leveys ja korkeus eri etäisyyksillä.....	35
Taulukko 4. Pinta-alat.....	36
Taulukko 5 Keihään optimaalinen pystysuuntainen etäisyys .....	38
Taulukko 6 Kinectin etäisyys heittoviivasta ja maanpinnasta.....	41

# 1 Johdanto

Nykyään urheilussa käytetään paljon erilaisia mittauslaitteita, jotta pystytään analysoimaan tarkemmin urheilusuorituksia. Opinnäytetyön toimeksiantaja on KIHU, Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus. KIHUlla testataan päivittäin eri lajien huippu-urheilijoita erilaisin menetelmin ja testauksen pitäisi olla mahdollisimman nopeaa ja helppoa. Testauksen tarkoitus on auttaa suoritustekniikan kehittymisessä, urheilijan tason selvittämisessä sekä mahdollisesti myös loukkaantumisten ennaltaehkäisyssä.

KIHUlla on käytössä keihäänheiton testauksessa Simi motion- sekä APAS- liikeanalyysijärjestelmät. Järjestelmien avulla pystytään määrittämään heittojen kulmaominaisuudet, nopeudet sekä kiihtyvyydet. Laitteiston asennus heittopaikalle ja videoiden analysointi on kuitenkin hidasta, joten KIHUlla oli tarve nopealle keihään liikeanalyysi-ohjelmalle.

Työn tarkoituksena oli selvittää, soveltuuko Microsoftin kehittämän Kinect-liiketunnistin keihään lähtöparametrien määrittämiseen. KIHUlla oli tehty alustavia testauksia Kinectin toiminnasta sekä keihään lähtöparametreja laskeva tietokoneohjelma. Työssä käytettiin Kinect v2-liiketunnistimen 3D-kuvantamisominaisuutta. Kinectistä on tehty paljon tieteellisiä tutkimuksia esimerkiksi 3D-mallin tuottamisesta sekä animaatioiden tekemisestä, mutta urheilun puolelle sitä ei ole vielä paljon sovellettu.

## 1.1 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää Microsoftin liikeohjaimen, Kinectin, syvyyskameran avulla tehtävää keihään lähtöparametrien määrittystä sekä suunnitella tutkimustulosten mukaan keihään lähtöparametrien määrittämisohjelman sisältö. Keihään lähtöparametrien määrittämisessä olennaista on saada Kinectillä mahdollisimman tarkka syvyyskuva, jotta nopeuden laskemisesta saadaan mahdollisimman luotettavaa. Syvyyskuvan tarkkuuteen vaikuttavat seuraavat asiat: keihään etäisyys Kinectistä, keihään väri ja materiaali, testauspaikka sekä suljinnopeus. Opinnäytetyössä selvitettiin ja määritettiin edellä mainitut asiat.



Tutkimuskysymykset, joihin tässä opinnäytetyössä haettiin vastauksia, olivat seuraavat:

- Soveltuuko Kinect keihään lähtöparametrien määrittämistyökaluksi?
- Saadaanko Kinectin syvyyskuvasta mitattua nopeus luotettavasti?
- Millä etäisyydellä keihästä saadaan mahdollisimman tarkka syvyyskuva?
- Mikä materiaali/väri heijastaa/ei heijasta IR-säteilyä?
- Miten testauspaikka (ulkona/sisällä) vaikuttaa syvyyskameran kuvaan?

## 1.2 Opinnäytetyön sisältö

Opinnäytetyö rakentuu teoriaosuudesta sekä tutkimusosioista, joka kattaa matemaattista tarkastelua sekä testausta. Teoriaosuudessa avataan työhön liittyviä aiheita, jotta päästään selville Kinectin toiminnasta sekä liikkeenkaappauksesta. Teoriaosiossa on käytetty kirjallisuuslähteitä sekä sähköisistä lähteistä tieteellisiä artikkeleita ja tutkimuksia. Tiedonhankinnassa on pyritty valitsemaan luotettavia ja mahdollisimman tuoreita lähteitä. Työssä esitellään myös vastaavia laitteita, joilla pystytään suorittamaan liikkeentunnistusta. Vastaavien laitteiden avulla toimeksiantaja voi vertailla ja miettiä muita mahdollisuuksia tehtävän toteutukselle.

## 2 KIHU

Työn toimeksiantaja Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU on perustettu vuonna 1990 Liikunnan ja kansanterveyden edistämissäätiöön itsenäiseksi yksiköksi. KIHUn toiminta siirtyi LIKES-säätiöstä Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimus- ja kehittämissäätiön alaisuuteen vuonna 2000. Nykyisin KIHU johtaa Suomen Olympiakomitean Huippu-urheiluyksikön osaamisohjelmaa vastaten huippu-urheilun tutkimus- ja kehitystoiminnasta ja osallistuvan asiantuntijuuden kehittämisestä sekä toteutuksesta urheilijan polulla. (Historia n.d)

KIHUn tehtävänä on edistää suomalaista kilpa- ja huippu-urheilua innovatiivisella, eettisesti vastuullisella ja korkeatasoisella soveltavalla tutkimus-, kehitys- ja palvelutoiminnalla. KIHUn liikeideana on tehdä tiivistä yhteistyötä muiden toimijoiden kanssa rakentamalla osaamis- ja asiantuntijaverkostoja urheilijan polun eri vaiheisiin. (Strategia n.d)

KIHUlla on asiantuntijatoimintaa huippu-urheilijoiden kanssa.

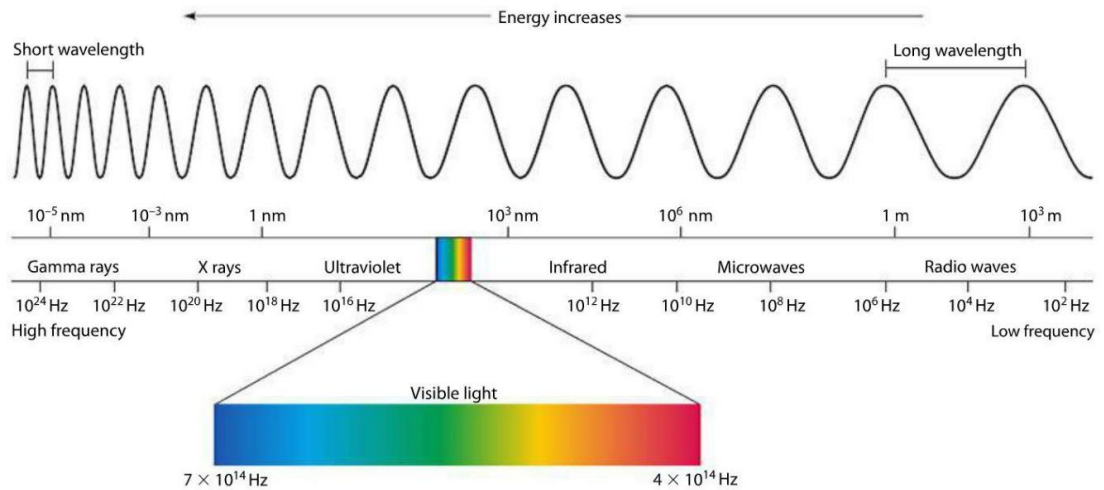
Asiantuntijatoiminnassa asiantuntijat toimivat urheilijoiden ja valmentajien kanssa auttaakseen heitä saavuttamaan tavoitteita ja antamalla parempia eväitä jokapäiväiseen valmennukseen. Tällä hetkellä 1-kategorian eli suurimman KIHUn asiantuntijatoiminnan tuen lajeja ovat keihäs, moukari, kilpakävely, uinti, paini, purjehdus, maastohiihto, lumilautailu, lentopallo, koripallo, jääkiekko, maalipallo sekä pyörätuolikelaus. 2-kategorian lajeja, joilla tuki on pienempi, ovat ammunta, pituushyppy ja beach volley. (Tietoa toiminnasta n.d; Lajit n.d)

KIHUlla on myös tutkimus- ja kehitystoimintaa, joka suunnitellaan urheilijoiden ja valmentajien tarpeiden mukaisesti. Toiminta toteutetaan laaja-alaisesti erilaisten verkostojen, kuten yliopistojen, urheiluopistojen, ammattikorkeakoulujen sekä erillisten tutkimus- ja kehittämiskeskusten kautta. (Tietoa toiminnasta n.d)

KIHUlla työskentelee yhteensä 38 työntekijää tutkijoina, asiantuntijoina sekä teknisenä henkilökuntana. KIHUn organisaatio koostuu urheilun biotieteiden yksiköstä, käyttäytymistieteiden yksiköstä, yhteiskuntatieteiden yksiköstä sekä viestintä ja it-yksiköstä. Jokaisella yksiköllä on johtava asiantuntija, joka vastaa yksikön toiminnasta. (Yhteystiedot n.d)

### **3 Sähkömagneettinen säteily**

Sähkömagneettinen säteily on sähkö- ja magneettikentän värähtelyä, jota syntyy, kun varauksellinen hiukkanen on kiihtyvässä liikkeessä. Sähkö- ja magneettikenttä värähtelevät kohtisuoraan toisiaan vasten. Kaikki sähkömagneettinen säteily liikkuu valonnopeudella tyhjiössä. Sähkömagneettinen säteily jaetaan kuuteen eri lajiin aallonpituuden mukaan: gammasäteily, röntgensäteily, ultraviolettisäteily, näkyvä valo, infrapunasäteily sekä radioaallot. (Havukainen, Leskinen & Luoma 2007, 11-12) Viitteelliset aallonpituudet näkyvät sähkömagneettisessa spektrissä (Ks. Kuvio 1).



Kuvio 1 Sähkömagneettinen spektri (The Electromagnetic Spectrum n.d)

### 3.1 Infrapunasäteily

Infrapunasäteilyn aallonpituus on pidempi kuin näkyvän valon, noin  $0,75 \mu\text{m}$ – $1000 \mu\text{m}$ . Ihminen ei pysty näkemään infrapunaa, koska se on näkyvän valon aallonpituuden ulkopuolella, mutta ihminen pystyy tuntemaan sen lämpönä. Infrapun avulla siirretään lämpöä paikasta toiseen ja jokainen kappale, jonka lämpötila on yli 0 Kelviniä, säteilee infrapunasäteilyä. Mitä lämpimämpi kappale on, sitä voimakkaampaa infrapunasäteilyä on. (Characteristics and use of infrared detectors n.d)

Infrapunasäteily jaetaan kolmeen alakategoriaan aallonpituuden perusteella: lähi-infrapuna, keski-infrapuna sekä kauko-infrapuna. Lähi-infrapun aallonpituus on  $0,75$ – $3 \mu\text{m}$ , keski-infrapun aallonpituus  $3$ – $6 \mu\text{m}$  sekä kauko-infrapun aallonpituus  $6$ – $15 \mu\text{m}$ . (Mt) Kohteet säteilevät infrapunaa paremmin tietyllä aallonpituudella, joten siksi lähi-, keski- ja kauko-infrapunalla on erilaisia käyttökohteita (Quesada 2017, 31) Lähi-infrapuna kameroita käytetään esimerkiksi materiaalien fysikaalisten ja kemiallisten ominaisuuksien tutkimiseen, teollisuudessa tuotantolinjastoilla laadun tarkkailussa sekä yönäköön (Engl. night vision) (R&D and industrial applications for Near Infrared (NIR) cameras n.d; Kok Wai n.d). Keski-infrapunaa käytetään pääasiassa optiseen viestintää pitkällä etäisyydellä. Kauko-infrapunaa taas käytetään lämpökameroissa. (Kok Wai n.d)

Jokainen aine kiinteänä, nesteenä ja kaasuna imee, heijastaa sekä siirtää infrapunasäteilyä. Imeytymisen, heijastumisen ja siirtymisen suhde toisiinsa riippuu aineen ominaisuuksista, mutta energian säilymislain mukaan niiden summa on aina 100 %. Jotkut materiaalit eivät siirrä ollenkaan infrapunasäteilyä, joten siirron osuus voi olla 0 %. Siirrolla (Engl. transmission) tarkoitetaan sitä, että infrapunasäteily pääsee materiaalin läpi jatkamaan matkaa. Hyvin siirtäviä materiaaleja käytetään muun muassa lämpökameroiden linseissä. Heijastumisella (Engl. reflektion) tarkoitetaan infrapunasäteilyn heijastumista pois kohteesta. Hyvin heijastavia materiaaleja ovat kiillotetut metallit kuten alumiini, kulta ja nikkeli. Peilit kuitenkin eivät automaattisesti heijasta kaikkea infrapunasäteilyä, koska heijastuminen johtuu peilissä olevan metallin ominaisuuksista. Imeytymisellä (engl. absorption) tarkoitetaan kappaleen lämpöenergian kasvamista saapuvan infrapunavälikomponentin vaikutuksesta. Lämpöenergian imemisen jälkeen lämpöenergia siirtyy ympäristöön johtamalla konvektiolla eli lämpöenergia kulkeutuu lämmön aiheuttamien virtausten mukana tai säteilyllä. Imeytyminen on riippuvainen säteilyenergian määrästä, koska saman määrän mikä kappale imee itseensä, sen täytyy myös säteillä se takaisin, jotta kappaleen lämpötila pysyy vakiona. Materiaalit jotka imevät hyvin infrapunasäteilyä ovat muovit, keraamit sekä tekstiilit, koska niiden pinta ei ole yleensä heijastava. (Physics of Emissivity n.d.)

### 3.2 Emissiivisyys

Emissiivisyydellä tarkoitetaan kappaleen pinnan kykyä lähettää sähkömagneettisäteilyä. Emissiivisyysarvo on suhdeluku samassa lämpötilassa olevan mustan kappaleen emittoitun eli säteilyn energian määrään. Mustan kappaleen (Engl. black body) emissiivisyysarvo on 1, ja se säteilee 100 % siihen saapuvasta sähkömagneettisesta säteilystä. Vastaavasti kappale, jonka emissiivisyys on 0, ei säteile sähkömagneettista energiaa. Kaikkien todellisten kappaleiden emissiivisyys on 0 ja 1 välillä kuitenkin koskaan saavuttamatta kumpaakaan ääripäätä. (What is Emissivity n.d)

Heijastavuus ja emissiivisyys ovat riippuvaisia toisistaan, koska niiden prosentuaalinen summa on 100 %, jos kohde ei siirrä siihen tulevaa säteilyä. Esimerkiksi muovin emissiivisyys on 0,92 ja sen heijastavuus on 0,08. Kiiltävillä

materiaaleilla emissiivisyys on matala, koska niiden heijastavuus on korkea, kun taas mattapintaisilla materiaaleilla on korkea emissiivisyys. (Physics of Emissivity n.d)

Materiaalin emissiivisyyttä saadaan tarvittaessa suurennettua päällystämällä pinta jollakin korkean emissiivisyyden omaavalla aineella. Sellaisia ovat esimerkiksi teippi, maali, jauhe, öljy tai vesi. Pinnan voi myös käsitellä esimerkiksi anodisoimalla tai karhentamalla. (Methods of increasing Emissivity n.d)

Taulukkoon 1 on koottu opinnäytetyön kannalta oleellisia materiaaleja ja niiden emissiivisyysarvoja. Materiaalin emissiivisyys saattaa vaihdella riippuen siitä, miten materiaalia on käsitelty. Esimerkiksi hiilen emissiivisyys on 0,98, kun se on hiilikuitua ja kun hiilen emissiivisyys on 0,80 se on puhdistettua hiiltä.

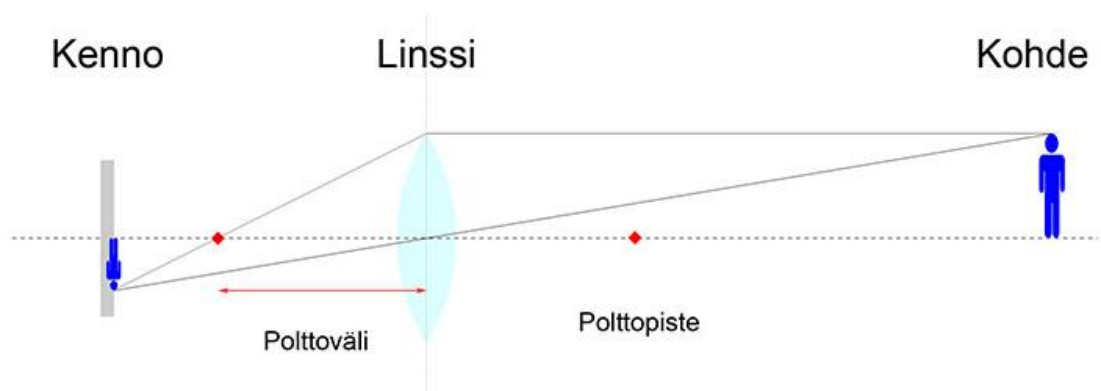
Taulukko 1. Esimerkkejä emissiivisyysarvoista (Emissivity table n.d)

Materiaali	Emissiivisyys
Alumiini, kiillotettu	0,05
Hiili	0,80–0,98
Ruostumaton teräs	0,59
Kumi	0,95
Maali: öljy, musta, matta	0,94
Maali: öljy, musta, kiiltävä	0,92
Maali: muovi, valkoinen	0,84
Paperi, valkoinen	0,68

## 4 Kameran optiikka ja kuvantamisominaisuudet

Kameran toimintaperiaate on sama kuin ihmisen silmän. Kamera on valotiivis kotelo, jossa on objektiivin ja suljimen peittämä aukko. Kuvan muodostuminen alkaa siitä, kun kohteesta lähtevät valonsäteet kulkevat kameran objektiivin läpi. Objektiivi koostuu erilaisista linseistä ja niiden tehtävänä on koota ja hajottaa valonsäteitä kumoten kuvaan aiheutuvia virheitä. Objektiivi keskittää valonsäteet polttotasolle kennolle, jossa valonsäteet yhdistetään ja kuva muodostuu (Ks. Kuvio 2). Linssin ja kennon välissä on himmenninaukko, joka säätelee kennolle saapuvan valon määrää sekä suljin, joka päästää valon kulkemaan kennolle, kun laukaisinta painetaan.

Kenno tehtävänä on muuttaa kuva sähköisiksi pulsseiksi ja johtaa ne kameran prosessorille. Kenno koostuu miljoonista valoherkistä pikseleistä. Pikseleiden määrä ilmoitetaan yleensä megapikseleinä, jolloin 1 megapikseli on miljoona pikseliä. (Hakkarainen 2007) Kuvan tarkkuus voidaan myös ilmoittaa resoluutiona, joka ilmoittaa kuinka monta pikseliä kuvassa on vaaka- ja pystytasossa sekä siitä ilmenee myös kuvasuhde. Resoluutio voi olla esimerkiksi 640x480, jolloin kuvasuhde on 4:3. Kun tiedetään resoluutio, voidaan myös laskea kuvan pikseleiden määrä megapikseleinä kertomalla pysty- ja vaakatason resoluutio keskenään. Jos kuvan resoluutio on 640x480, sen pikseleiden määrä on 0,3 megapikseliä. (AV-tekniikan perusteet n.d)



Kuvio 2 Kameran optiikka (Optiikkaa valokuvaajille n.d)

#### 4.1 CCD- ja CMOS-kennot

Kameroissa käytettäviä kennoja ovat esimerkiksi CCD- ja CMOS- kennot. CCD (Charge-Coupled Device) -kennoa käytetään video- ja digitaalikameroissa, skannereissa sekä kaukoputkissa. CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) -kennoa käytetään myös digitaalikameroissa ja sen käyttö on yleistynyt kameroissa, koska se kuluttaa vähemmän virtaa. Kennot mittaavat valon määrää valoherkällä pinnalla, jonka jälkeen sen tallennetaan varaukseksi. Varaukset luetaan pikseli pikseliltä ja ne muutetaan numeerisiksi arvoiksi, jotka vastaavat väriarvoja. Eroina kennoissa on se, että CCD – kennossa käytetään ulkoista analogia-digitaalimuunninta, kun taas CMOS-kennossa analogia-digitaalimuunnin sijaitsee samalla piirillä, joten datan kuljettamiseen ei mene virtaa. (Digikameroiden kennotyyppien eroja 2013)

## 4.2 Kuvataajuus

Kuvataajuus kertoo, kuinka monta kuvaa sekunnissa kamera pystyy kuvaamaan. Normaalista videokuvasta ihmissilmällä ei pysty erottamaan yksittäisiä kuvia, koska ne vaihtuvat niin nopeasti. Videokuvassa kuvataajuus on yleensä 16-24 kuvaa sekunnissa. Ihmisen näköaisti pystyy käsittelemään 1-5 kuvaa sekunnissa yksittäisinä kuvina. Kuvataajuus ilmoitetaan yleensä lyhenteenä fps, joka tulee englannin kielisistä sanoista frame per second. (Meyer, Read 2000) Suurnopeuskameroiden kuvataajuus on normaalia värikameraa isompi ja se mahdollistaa liikkeen esittämisen hidastettuna, jolloin video esitetään pienemällä kuvataajuudella (Engl. slow motion). (High-speed camera selection 2017)

## 4.3 Valotusaika

Valotusaika kertoo, kuinka kauan kenno kameran sisällä altistuu valolle. Valotusaikaa voidaan kutsua myös suljinnopeudeksi. Mitä pidempi valotusaika on, sitä kirkkaampi kuvasta tulee. Valotusaika vaikuttaa myös kuvan tarkkuuteen, koska kaikki liike tallentuu kuvaan valotusajan ajan, joten jos kuvattava kohde liikkuu kuvan aika, liike tallentuu kuvaan ja siitä tulee epätarkka. Maksimaalinen valotusaika ( $E$ ) saadaan laskettua, kun tiedetään kuvataajuus ( $f$ ).

$$E = \frac{1}{f}$$

(High-speed camera selection 2017)

## 4.4 Polttoväli

Polttoväli kertoo, kuinka pitkä väli on linssin ja kennon välillä. Polttoväli ilmoitetaan yleensä objektiivissa kahden luvun välillä, joka tarkoittaa, että objektiivilla pystyy zoomaamaan ilmoitetulla polttovälillä. Polttoväli liittyy myös kuvakulmaan siten, että mitä pidempi polttoväli on, sitä kapeampi on kuvakulma ja toisin päin. (Saari 2012) Kinect v2:n infrapunakameran polttoväli on 3,657 mm eli kameran kuvakulma on laaja. Kinectin linssissä ei ole zoomia, koska polttoväli on tarkka arvo, joten kyseessä on kiinteä polttoväli. (Pagliari, Pinto 2015; Saari 2012)

## 5 Digitaalinen kuvankäsittely

Digitaalisessa kuvassa jokaisella pikselillä on kaksiulotteinen funktio  $f(x, y)$ , jossa  $x$  ja  $y$  ovat pikselin koordinaatit leveys ja korkeus suunnassa ja  $f$ :n arvo pisteessä  $(x, y)$  on kuvan intensiteetti tai harmaasävy pisteessä riippuen kuvan tyypistä. Digitaalinen kuvantaminen tapahtuu yleensä sähkömagneettisella säteilyllä, jolloin kuvattava kohde valaistetaan valonlähteen avulla ja kohde heijastaa tai imee tai lähettää valonlähteen energiaa. Kameraan saapuva valoenergia muunnetaan digitaalseksi kuvaksi. Valoenergian muuntaminen digitaalseksi kuvaksi tapahtuu kennolla, jossa anturi mittaa valoenergian. Yleisimpiä antureita ovat yksittäisanturi, matriisianturi ja viiva-anturi. Anturi muuttaa valoenergian jännitteeksi ja jännite muutetaan analogisesta digitaaliseen muotoon. Yksittäisanturilla jokainen piste mitataan ja muunnetaan erikseen, kun taas viiva-anturilla saadaan kuvan yhden rivin pisteet kerralla. Matriisiantureilla saadaan kaikki pisteet kerralla ja sitä käytetään yleensä esimerkiksi digitaalikameroissa. (Peltonen 2007, 1-10)

Digitaalinen kuvankäsittely voidaan jakaa matalan, keski- ja korkean tason prosesseihin kuvalle tehtävien toimintojen mukaan. Matalan tason prosesseissa kuvasta poistetaan kohinaa, kuvaa terävöitetään tai värikuva muutetaan väriavaruudesta toiseen eli matalan tason prosessit ovat tavallista kuvanmuokkausta. Keskitason prosesseissa kuva voidaan esimerkiksi segmentoida eli kuva jaetaan mielekkäisiin pienempiin osiin ja osat esitetään tunnistukseen sopivissa muodoissa. Myös kuvan osien tunnistus, esimerkiksi numerosarjojen tunnistus ja luokittelu luetaan keskitason prosesseihin. Eli keskitason prosessi voisi olla esimerkiksi, kun tuotantohihnalta otetaan kuva tuotteesta ja siitä tunnistetaan sarjanumero. Korkean tason prosessit perustuvat kuvan tai kuvan osien ymmärtämiseen sekä mahdollisesti jonkinlaiseen päätöksentekoon. Esimerkiksi robottia voidaan ohjata kuvan perusteella. Konenäkö ja digitaalinen kuvankäsittely menevät hieman päällekkäin, eikä niillä ole selkeää rajaa. (Digitaalinen kuvankäsittely n.d)

Konenäköllä tarkoitetaan tietotekniikkajärjestelmää, jota hyödynnetään esimerkiksi teollisuudessa. Konenäköä käytetään prosessien automatisoinnissa, joissa konenäköllä korvataan ihminen. Konenäköjärjestelmään kuuluvat samat vaiheet kuin digitaaliseen kuvan käsittelyyn, mutta ne ovat aina korkean tason prosesseja, koska niissä on



päättöksenteko- ja ohjausjärjestelmiä, joilla tehdään toimenpiteitä kuvasta saadun informaation perusteella. (Konenäkö robotin ohjauksessa n.d)

## 6 Liikkeenkaappaus

Liikkeenkaappaus (Engl. motion cap, mocap) tarkoittaa ihmisten, eläinten ja esineiden liikkeiden tallentamista 3D-datana. Liikedataa voidaan käyttää liikkeen tutkimiseen tai tietokonehahmojen animoimiseen. Liikkeenkaappausta käytetään paljon animaatioiden tekemiseen, mutta sitä käytetään myös lääketieteessä, puolustusvoimissa sekä urheilussa. Urheilussa liikkeenkaappausta käytetään, jotta pystytään paremmin ja tarkemmin analysoimaan urheilusuoritusta ja sitä kehittymään sekä ennaltaehkäisemään urheiluvammoja. (Kitagawa, Windsor 2008, 16–23) Liikkeenkaappaus voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin: Optiseen, magneettiseen ja mekaaniseen liikkeenkaappaukseen. Näiden lisäksi on myös kehitetty markkeriton liikkeenkaappaus. Urheilussa käytetään optista sekä markkeritonta liikkeenkaappausta. (Kitagawa, Windsor 2008, 8-9).

### 6.1 Optinen liikkeenkaappaus

Optisessa liikkeenkaappauksessa kohteen tunnistus tapahtuu markkereiden avulla. Markkerit ovat joko passiivisia tai aktiivisia. Passiiviset markkerit ovat heijastimia, joihin kohdistetaan ulkoista valoa, jotta ne näkyvät kameran kuvassa. Aktiivisissa markkereissa taas on itsessään valo. Markkereilla tapahtuvaan 3D-liikkeenkaappaukseen tarvitaan vähintään 2 kameraa, jotta saadaan muodostettua 3D-näkymä liikkeestä. (Kitagawa, Windsor 2008, 8-10,39)

### 6.2 Markkeriton liikkeenkaappaus

Ilman merkkivaloja tapahtuva liikkeenkaappaus ei nimensä mukaan tarvitse merkkivaloja tai erityisiä pukuja vaan kohde voi vaan mennä järjestelmän eteen kuvattavaksi. Markkerittomalla liikkeenkaappauksella saadaan liikedataa lyhemässä ajassa sekä kustannukset ovat pienemmät verrattuna optiseen liikkeenkaappaukseen. Tunnistuksessa käytetään edistynyttä konenäköä, jonka avulla kohteet tunnistetaan. (Modern Markerless Motion Capture Technology n.d)

Liikkeenkaappaus tehdään joko useilla suurnopeuskameroilla tai syvyyskameralla. Suurnopeuskameroilla tehtävässä liikkeenkaappauksessa kamerat synkronoidaan keskenään ja niiden 2D-kuvasta muodostetaan 3D-kuva, josta liikkeet pystytään analysoimaan. Kinectin kaltaisten syvyyskameroiden toiminta perustuu infrapunasäteilyyn, jonka avulla saadaan suoraan muodostettua 3D-kuva. (Simi Shape 3D n.d; Mattson, Mårtensson 2014)

## 7 Kinect

Kinect on Microsoftin kehittämä liiketunnistin, jonka toiminta perustuu syvyyden tunnistukseen. Infrapunakamera pystyy infrapunasäteilyn avulla mittaamaan etäisyyksiä, joiden avulla pystytään muodostamaan kolmiulotteinen kuva. Kinectin infrapunäsäteilyn aallonpituus on 850 nm. Kinectin ensimmäinen versio tuli markkinoille vuonna 2010 ja vuonna 2014 Microsoft julkaisi kehittyneemmän Kinect v2 -liiketunnistimen. Kinect suunniteltiin alun perin peli ja viihde käyttöön Xbox-konsolille. (Lachat, Macher, Mittet, Landes, Grussenmeyer 2015) Xbox-konsolilla pelattaessa Kinectiä käytetään ohjaimena antamalla käskyjä erilaisilla liikkeillä sekä puheella (Xbox Onen Kinect. N.d). Microsoft on tehnyt Kinectiin adapterin, jolla se saadaan liitettyä tietokoneeseen sekä Microsoft software developer kit (SDK) -ohjelman, joiden avulla sovellussuunnittelijat pystyvät tekemään sovelluksia, joissa hyödynnetään Kinectin ominaisuuksia (Jana, A. 2012, 35). Laitteena Kinect on edullinen verrattuna muihin vastaaviin laitteisiin, joten se luo mahdollisuuksia monipuolisella käytöllä eri aloilla. (Lachat ym. 2015)

Kinectin avulla voidaan tallentaa videokuvaa, seurata ihmiskehoa ja reagoida kehon liikkeisiin ja eleisiin, mitata objektien etäisyyksiä, analysoida 3D dataa ja tehdä siitä 3D-malli, luoda kuvattavista kohteista syvyyskartta sekä tunnistaa ihmisen puhetta. Näitä ominaisuuksia käyttäen voidaan luoda erilaisia sovelluksia. (Jana 2012, 46)

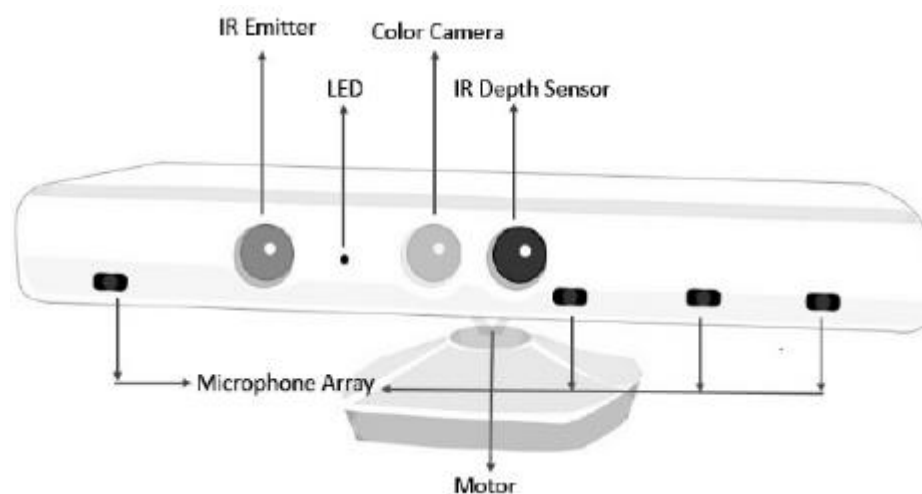
Vaikka Kinect on alun perin suunniteltu peli- ja viihdekäyttöön, sitä voidaan hyödyntää myös reaali maailmassa, kuten terveydenhuollossa, robotiikassa, opetuksessa, turvallisuusjärjestelmissä, urheilussa sekä sotilaallisessa toiminnassa. Näillä aloilla Kinectiä hyödynnetään erilaisiin sovelluksiin, joista suurin osa perustuu ihmisen eleiden, liikkeen tai äänen tunnistukseen Kinectillä. Sotilaallisessa toiminnassa Kinectiä käytetään vihollisrintaman vakoilemiseen. (Jana 2012, 46)

## 7.1 Kinect v1

Kinect v1:n toiminta perustuu rakenteellisen valon- teknologiaan (Engl. structured light) (Amon & Fuhrmann 2014). Rakenteellisen valon- teknologian on kehittänyt Israelilainen yritys Primesense, joka on myös julkaissut omia liiketunnistimia, jotka sisältävät samaa teknologiaa. Laitteet eroavat toisistaan erilaisilla sisäisillä komponenteilla sekä ulkomuodolla. (Kean & Hall 2011)

Kinect v1 koostuu värikamerasta, infrapunälähtimestä, infrapunasyvyysanturista, kallistusmoottorista, neljästä mikrofonista sekä LED-valosta (Ks. kuvio 3).

Värikameran resoluutio on 640x480 pikseliä ja infrapunakameran 320x240 pikseliä (Jana 2012, 36–39). Kinect v1:n näkökenttä on vaakatasossa 57 astetta ja pystytasossa 43 astetta. Syvyyskuvan mittausetäisyys on 1,8 m-3,5 m (Amon & Fuhrmann 2014). Kallistusmoottorin avulla laitetta saadaan käännettyä pystytasossa 27 astetta. Mikrofoneilla puolestaan kerätään ja tunnistetaan ääntä sekä äänen suuntaa. (Jana 2012, 42-44)



Kuvio 3 Kinect v1 (Jana 2012)

### **Rakenteellisen valon- teknologia**

Rakenteellisen valon- teknologiaan (Engl. structured light) kuuluu RGB-kamera eli värikamera, lähi-infrapunakamera sekä infrapunaprojektori. Siinä heijastetaan tunnettu pistekuvio monta kertaa peräkkäin kohteeseen ja kuviot saavat uuden muodon, kun ne osuvat kohteeseen. Kohdetta tarkkaillaan kameran suunnasta ja

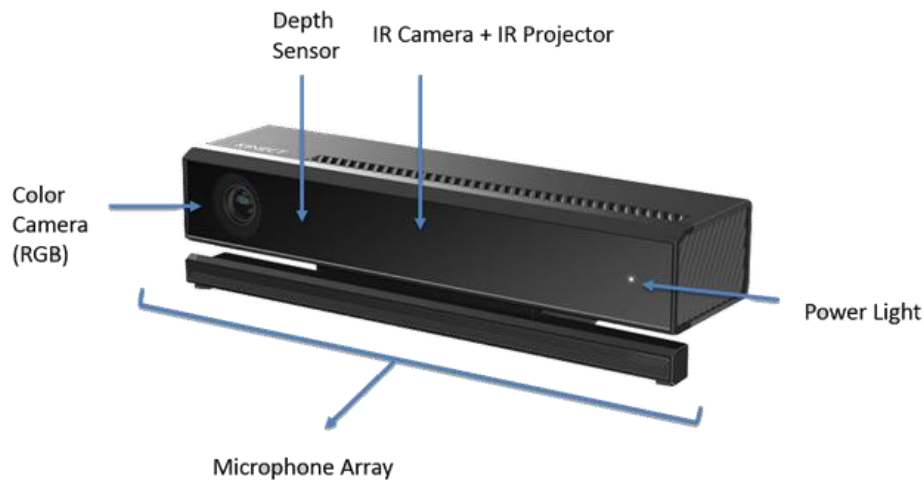
analysoidaan kuvioden vääristymä alkuperäisiin heijastettuihin kuvioihin verrattuna. Näin saadaan laskettua kohteen syvyysinformaatio. Kun tiedetään kameran sisäiset parametrit eli polttoväli  $f$ , tarkkailukameran eli infrapunakameran ja infrapunälähtetimen välinen perusviiva  $b$  eli etäisyys toisistaan sekä kuvion pikseleiden eroavaisuusarvo  $m(x,y)$ , saadaan pikselin syvyys  $d$  laskettua kaavalla

$$d = \frac{b \cdot f}{m(x,y)}$$

(Sarbolandi, Lefloch, & Kolbb 2015, 5-7).

## 7.2 Kinect v2

Kinect v2:n tekniikka perustuu Time-of-Flight -teknologiaan, jossa infrapunavalon säteitä heijastetaan kohteeseen ja takaisin heijastunut signaali tallennetaan. Lähetetyn ja saapuneen signaalien välinen viive mitataan ja sen avulla pystytään laskemaan kohteen etäisyys. Kinect v2:sta löytyy samat ominaisuudet kuin ensimmäisestä versiostakin, mutta kallistusmoottori on siitä jätetty pois sekä muita ominaisuuksia on parannettu. Kinect v2 koostuu kahdesta kamerasta: värikamerasta ja infrapunakamerasta. Kinect v2:ssa on myös 2 tai 3 infrapunälähetintä, riippuen mikä malli on kyseessä sekä mikrofoni (Ks. Kuvio 4). RGB-kameran resoluutio on 1920x1080 pikseliä ja infrapunakameran 512x424 pikseliä. Infrapunakameralla saadaan samaan aikaan reaaliaikaista syvyyskarttakuvaa sekä infrapunadataa. Kuvantamistaajuus on 15–30 kuvaa sekunnissa riippuen RGB-kameran valotuksesta. Kinect pystyy tunnistamaan syvyyttä 70 astetta vaakatasossa ja 60 astetta pystytasossa sekä syvyyskuvan luotettava mittausetäisyys on 0,5 m- 4,5 m. Maksimimittaustäisyys on noin 8 metriä. (Amon & Fuhrmann 2014) Syvyysarvojen tarkkuus kyseisellä välillä on +/- 4 millimetriä. (Yang, Zhang, Dong, Alelaiwi & El Saddik 2015)



Kuvio 4 Kinect v2 (Microsoft Kinect n.d)

### Time of Flight –teknologia

Time of flight -tekniikka (ToF) perustuu ajan mittaamiseen siitä, kuinka kauan infrapunasäteellä kestää kulkea lähettimeltä kohteeseen ja heijastua takaisin infrapunakameralle (Sarbolandi, Lefloch & Kolbb 2015, 8). ToF-tekniikassa valonsäteitä voidaan lähettää kahdella eri tavalla. Joko pulssimodulaatiolla eli valonpulssi lähetetään kohteeseen, jonka jälkeen odotetaan sen palautumista takaisin ja vasta sen jälkeen lähetetään uusi valopulssi. Toinen tapa on jatkuvan aallon modulaatio eli laitteesta lähetetään jatkuvia valoaltoja ja samanaikaisesti valoallot palautuvat. (Castaneda & Navab 2011) Kinect v2:ssa käytetään jatkuvan aallon modulaatiota. Kohteen etäisyys lasketaan alla olevalla kaavalla, kun tiedetään valonnopeus  $c$  [m/s] ja ajanjakso signaalin lähettämisestä palaamiseen  $\varphi$  [s]. Prosessori laskee etäisyydet automaattisesti jokaiselle kuvan pikselille.

$$d = \frac{c\varphi}{4\pi}$$

(Sarbolandi, Lefloch & Kolbb 2015, 8)

### 7.3 Liikkeenkaappaus Kinectillä

Syvyyden tunnistuksen avulla Kinectillä saadaan kaapattua liikettä ilman markkereita, joten sillä saadaan tehtyä alkeellista liikkeenkaappausta. Kinect tekee liikkeenkaappauksesta helppoa ja nopeaa, koska mittaus ei tarvitse esivalmisteluja. Liikkeenkaappausta voidaan tehdä ihmisen liikkeistä, koska Kinect pystyy tunnistamaan nivelpisteitä. Kinect v1 pystyy tunnistamaan 20 nivelpistettä ja Kinect v2 taas pystyy tunnistamaan 25 nivelpistettä. Myös monen luurankomallin tunnistus samaan aikaan onnistuu Kinectillä. Kinect v1 pystyy tunnistamaan kerrallaan kaksi luurankomallia ja Kinect v2 pystyy tunnistamaan 6 luurankomallia (Ozturk, Tartar, Huseyinsinoglu & Ertas 2015).

### 7.4 Microsoft SDK 2.0

Microsoft SDK 2.0 on uusin versio (2017) Kinectin ohjelmistokehityspaketista. Sen avulla käyttäjät voivat luoda sovelluksia, joissa hyödynnetään Kinectin ominaisuuksia, kuten eleiden ja puheen tunnistusta sekä 3D-mallinnusta. SDK-selaimessa on komponentteja, joita voi hyödyntää sovelluksissa, näytteitä erilaisista ohjelmista, joissa demonstroidaan ominaisuuksien käyttöä sekä työkaluja, jotka auttavat sovellusten tekemisessä. Kinect Studio on työkalu, jolla voi testata tehdyn sovelluksen toimivuutta. Kinect Studiolla voi seurata, nauhoittaa ja tallentaa Kinectiltä tulevaa dataa. (Kinect for Windows SDK n.d)

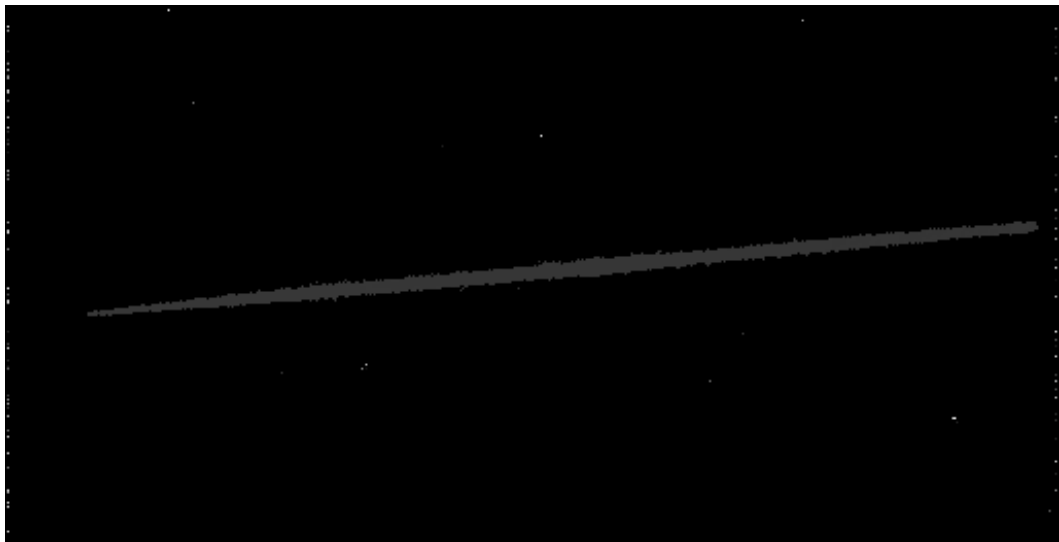
### 7.5 Syvyyskuva

Syvyyskuvalla (Engl. depth image) tarkoitetaan kuvaa, joka muodostetaan Kinectin syvyysdatasta. Syvyyskuvassa jokaisella pikselillä on oma syvyysarvo. Syvyyskuva on 2D-kuva, josta pystytään laskemaan 3D-koordinaatit yhteensä 217 088 pisteelle, kun resoluution on 512x424. Mikäli syvyysdatasta halutaan muodostaa yksinkertainen visuaalinen esitys, täytyy jokaisen pikselin syvyysarvo muuttua väriarvoksi. Karkean harmaasävykuvan voi muodostaa muuntamalla syvyysarvot 16-bittisen bittikartan värikanavien väriarvoiksi. Kinectin raportoiman maksimisyvyyden arvon tulee vastata lukua 255, ja minimisyvyyden lukua 0. Maksimisyvyyden ollessa 8000 mm ja minimisyvyyden ollessa 0 mm, syvyysarvot jaetaan luvulla  $\sim 31.37$ , jolloin

etäisyydestä 8000 mm saadaan arvo 255, etäisyydestä 4000 mm arvo 128 ja niin edelleen. Saatu lukuarvo muutetaan heksadesimaaliksi ja asetetaan kyseisen pikselin punaiselle-, vihreälle- ja siniselle-värikanavalle. Jos pikselin kohdalla olevan kohteen etäisyys on 8000 mm saadaan pikselin väriksi FFFFFFFF. Etäisyyden ollessa 4000 mm pikselin värinä käytetään väriä, jonka heksadesimaali-muoto on 808080.

Harmaasävykuvan muodostus syvyysdatasta tuhoaa osan datan syvyysresoluutiosta. Edellä mainitussa esimerkissä kohteet jotka ovat alle 3 sentin päässä toisistaan saavat saman väriarvon. Tästä syystä erillinen syvyysdata kannattaa säilyttää ja esittää esimerkiksi tilanteessa jossa käyttäjä valitsee tietyn pikselin bittikartasta. Mikäli syvyysarvo lasketaan takaisin valitun pikselin väriarvosta, syvyystasojen erottelukyky on vain noin 31 mm. (Vierola 2017)

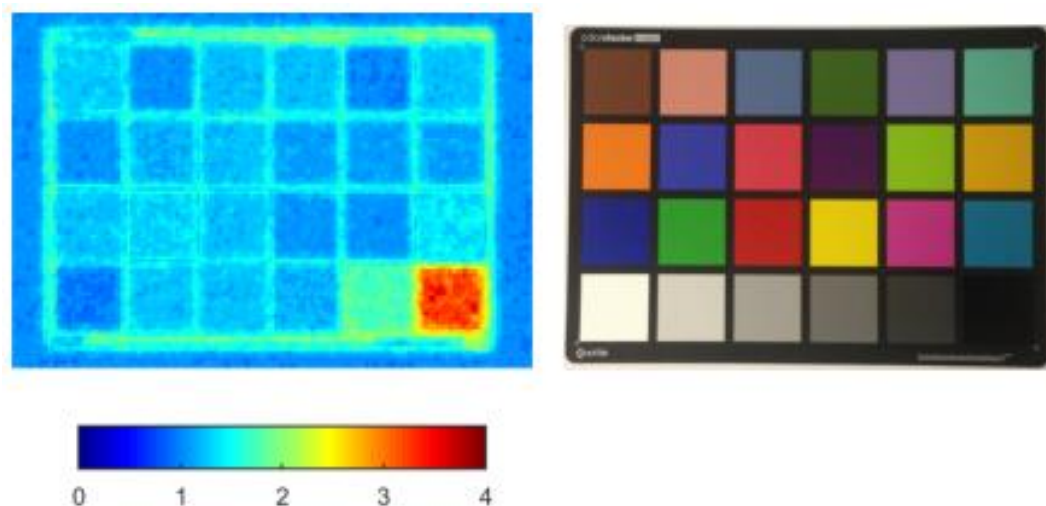
Alla olevassa kuviossa on otettu keihästä kuva sen ollessa ilmassa Kinect ollessa asetettuna kohti taivasta, jolloin sen tunnistusalueella ei ole muuta kuin keihäs (Ks. Kuvio 5). Keihäs näkyy kuvassa harmaana sekä tausta mustana, koska se on mittausalueen ulkopuolella. Valkoiset hajanaiset pisteet ovat häiriöpisteitä, jotka voivat aiheutua esimerkiksi auringon valosta tai katon erilaisten materiaalien heijastuksista.



Kuvio 5 Syvyyskuva keihästä

### Syvyyskuvaan vaikuttavat tekijät

Syvyyskuvan tarkkuuteen vaikuttaa kuvattavan kohteen ominaisuudet. Lachat ym. ovat tehneet tutkimuksen, jossa todetaan, että tummien ja heijastavien materiaalien intensiteetti eli säteilyteho on selvästi muita alhaisempi, joka vaikuttaa myös siihen, että niistä saadut syvyysarvot vääristyvät jopa 6 cm tai niistä ei saa ollenkaan syvyysdataa. Harmaansävyjä testatessa todettiin myös, että intensiteetti nousee kohteen kirkkauden mukaan, eli valkoisella värillä on suurin intensiteetti. (Lachat ym. 2015) Myös toisessa tutkimuksessa todettiin, että mustasta väristä mitattu syvyysarvo on jopa 10 mm todellisuutta suurempi. Kuviossa 6 on kuvattu syvyysarvojen keskihajontaa (Ks. Kuvio 6). Vaaleilla väreillä syvyysarvojen keskihajonta on 1 mm molemmin puolin, kun taas mustalla keskihajonta on noin 4 mm. (Wasenmuller & Stricker n.d)



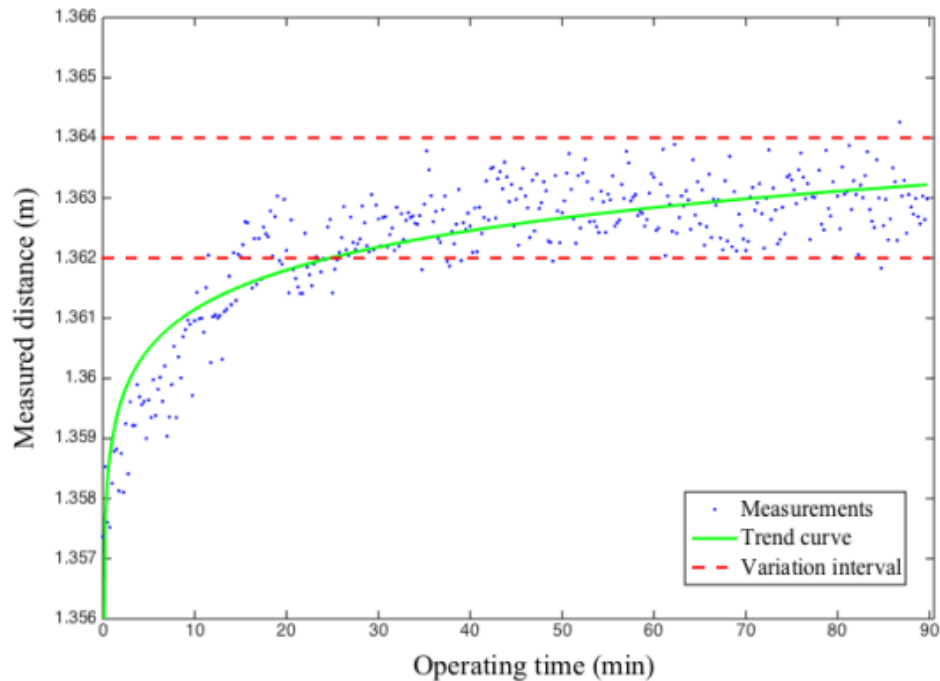
Kuvio 6 Syvyysarvojen poikkeavuus millimetreinä (Wasenmuller & Stricker n.d)

Kappaleen ominaisuuksista myös muoto vaikuttaa tunnistukseen. Kinect ei pysty tunnistamaan selkeästi pyöreitä tai kulmikkaita muotoja, koska kohteesta tuleva säteily tulee kohtisuoraan sen pinnasta ja säteily ei heijastu jokaisesta pisteestä samaan suuntaan, joten kaikki kohteen heijastama säteily ei pala Kinectiin. Vinojen ja kaarevien sivujen syvyysarvoissa saattaa olla myös heittoa todelliseen arvoon. (Valgma 2016)

Erään tutkimuksen mukaan myös Kinectin päällä oloaika vaikuttaa syvyysarvojen tarkkuuteen. Tutkimuksessa mitattiin 15 sekunnin välein 1,5 tunnin ajan etäisyys valkoisesta kohteesta. Syvyyskarttoja (Engl. depth map) tallennettiin 360 kappaletta



ja jokaisesta otettiin keskeltä 10 pikselin alue, josta syvyyssarvo määritettiin. Kuviosta 7 näkee, että syvyyssarvot vaihtelevat 5 mm ensimmäisen 30 minuutin aikana (Ks. Kuvio 7). Sen jälkeen syvyyssarvot tasaantuvat ja heitto on enää noin 1 mm. (Lachat ym. 2015)



Kuvio 7 Kinectin lämpenemisen vaikutus mittaustuloksiin (Lachat ym. 2015)

Kinect v2 sanotaan toimivan ulkona, mutta auringonvalo ei saa tulla suoraan kameraan. Aurinkoisella säällä syvyysskuvaan syntyy kuitenkin enemmän lentäviä pikseleitä

eli häiriöpisteitä kuva-alueen reunoille, joka voi haitata kohteen tunnistusta. (Lachat ym. 2015)

Myös valotusaika vaikuttaa kuvan tarkkuuteen, jos kyseessä on liikkuva kohde. Tutkimuksen mukaan infrapunakameran (Kinect v2) valotusaika on  $3.0 \pm 1.2$  millisekuntia. (Cippitelli, Grasparrini, Gampi, Spinsante, Wåhslén, Orban & Lindh 2015)

Valotusajan perusteella saadaan laskettua epätarkkuuden määrä kohteessa, kun tiedetään kohteen nopeus. Keihään epätarkkuus kuvassa saadaan laskettua seuraavalla kaavalla, jos oletetaan, että keihäs lentää 30 m/s:

$$Blur = V * E = 30 \frac{m}{s} * 0,003 = 0,09 \text{ m}$$

(High-speed camera selection 2017)

Tämä tarkoittaa sitä, että keihäaseen voi tulla jopa 9 senttimetrin heitto pituudessa. Epätarkkuuden määrä saadaan laskettua myös pikselimääränä. Laskukaavaan tarvitaan *Blur*-arvo, *FOV* eli näkökentän suuruus sekä *x*-akselin pikselimäärä:

$$Blur \text{ in pixels} = \frac{Blur}{\frac{FOV}{x}} \rightarrow \frac{0,09}{\frac{0,7}{520}} = 66,86 \text{ pixels}$$

(High-speed camera selection 2017)

## 8 Keihäänheitto

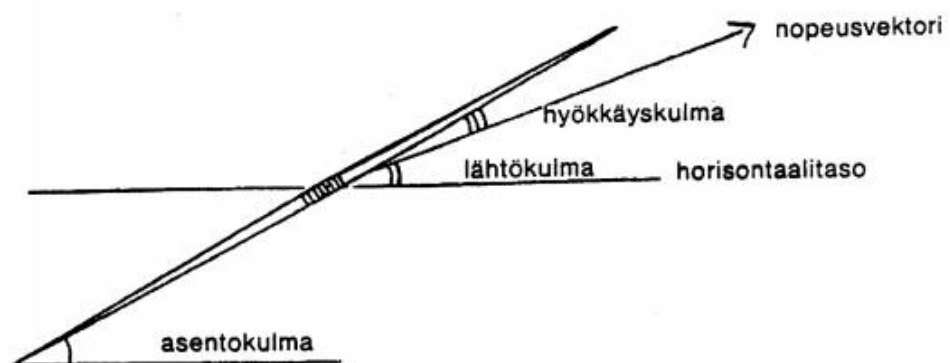
Keihäänheitossa on tarkoitus saada keihäs lentämään mahdollisimman pitkälle.

Heiton pituus riippuu keihään lähtökorkeudesta, lähtökulmasta, lähtönopeudesta sekä aerodynamiikasta. Edellä mainittuihin tekijöihin vaikuttaa heittäjän tekniikka ja fyysiset ominaisuudet sekä keihään ominaisuudet.

Tärkeimmät ominaisuudet, jotka vaikuttavat heiton pituuteen, ovat lähtönopeus ja lähtökulma. Optimaalinen keihään lähtönopeus on noin 30 m/s miesheittäjillä ja naisheittäjillä 20–24 m/s. Mahdollisimman korkeaan lähtönopeuteen vaaditaan oikein ajoitettu kiihdytys ja jarrutus, jotta keihäälle saadaan mahdollisimman suuri voimaimpulssi. (Utriainen 1987, 58.) Utriainen on määritellyt optimaaliset kulmaominaisuudet, jolloin keihäällä olisi edellytykset lentää pitkälle (Ks. Kuvio 8). Lähtökulma on keihään lentosuunnan eli nopeusvektorin ja horisontaalitason välinen kulma. Teoreettisesti optimaalinen lähtökulma on 45°, mutta kun otetaan huomioon keihään aerodynamiikka ja ilmanvastus, optimaalinen lähtökulma laskee 30–35 asteeseen. (Utriainen 1987, 59.) Toisaalta uudemmassa tutkimuksessa todetaan, että lähtökulman tulisi olla 32–37 astetta. (Campos ym. 2004, 52.). Vallealan mukaan ihanteellinen lähtökulma on 35–37 astetta, jotta heitto olisi mahdollisimman pitkä. Tuuli kuitenkin vaikuttaa ihanteelliseen lähtökulmaan, joten vastatuulella lähtökulman tulisi olla alle 35 astetta ja myötätuulella yli 35 astetta. (Valleala 2016)

Hyökkäyskulma eli ryntökulma on nopeusvektorin ja keihään kärjen välinen kulma. Kun keihään kärki nousee nopeusvektorin yläpuolelle, on hyökkäyskulma positiivinen ja, kun se laskee alapuolella, on se negatiivinen. Optimaalinen hyökkäyskulma on lähellä nollaa, koska hyökkäyskulman kasvaessa ilmanvastus kasvaa ja keihään nopeus hidastuu. Asentokulmalla tarkoitetaan lähtökulman ja hyökkäyskulman summaa eli keihään ja horisontaalitason kulmaa. (Utriainen 1987, 60.)

Näiden kulmaominaisuuksien lisäksi keihästä voidaan myös mitata sivuttaispoikkeamaa eli sivuttaisryntökulmaa. Sivuttaisryntökulmalla tarkoitetaan keihään asennon poikkeamaa nopeusvektorin suuntaan nähden vaakatasossa. (Valleala 2002, 29)

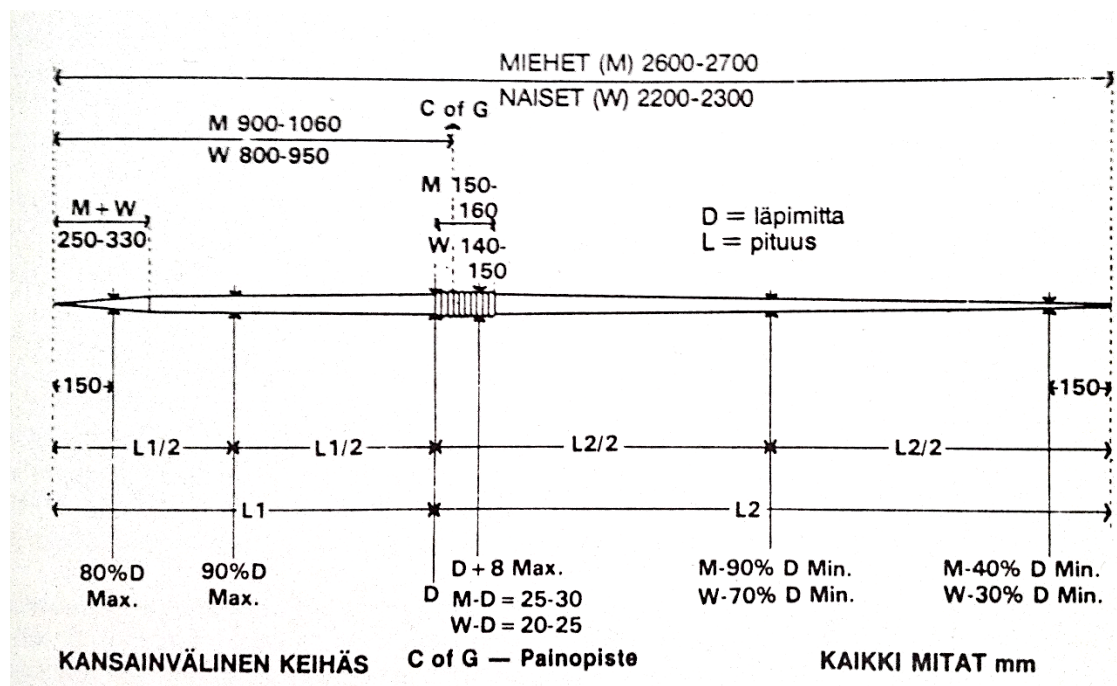


Kuvio 8 Keihään kulmaominaisuudet (Utriainen 1987, 60)

Kuitenkaan samalla lähtönopeudella, lähtökulmalla ja hyökkäyskulmalla keihäs ei välttämättä joka kerta lennä yhtä kauas johtuen keihään pyörimisliikkeestä poikittaisakselin ympäri. Pyörimisliikettä syntyy, jos keihäseen tulee muitakin kuin keihään varren suuntaista voimaa eli heittäjä kiertää kättään juuri ennen heittoa. Kun pyörimisliikkeeseen menee osa voimasta, keihäs ei saavuta niin suurta lähtönopeutta kuin mahdollista ja heitto jää lyhyeksi. (Utriainen 1987, 61)

## 8.1 Keihäs

Keihäälle on määritetty tarkat ominaisuudet ja mitat, jotka sen pitää täyttää, jotta sillä voidaan kilpailla. Keihäs muodostuu kolmesta osasta: kärjestä, varresta ja narukierteestä. Keihään koko pituus on 2,6-2,7 metriä miehillä ja 2,2-2,3 metriä naisilla. Keihään tulee painaa miehillä vähintään 800 g ja naisilla 600 g. Varren ja kärjen tulee olla metallia ja kärjen pituus tulee olla 250–330 mm sekä miehillä että naisilla. Narukierre kiinnitetään keihään painopisteeseen ja sen leveys tulee olla miehillä 150-160 mm ja naisilla 140-150 mm. Narukierteen ympäröimä saa ylittää maksimissaan 8 mm keihään varren ympäröimän ja sen tulee olla tasapaksu. Myös keihään varren kaventumiset prosenttisarvoina verrattuna keihään paksuimpaan kohtaan (D) sekä painopisteet ovat määritellyt (Ks. Kuvio 9). (Utriainen 1987, 38–39.)



Kuvio 9 Keihään mitat (Utriainen 1987, 39)

## 9 Keihään lähtöparametrien mittaustapoja

### 9.1 Älykeihäs

Tampereen teknillisessä korkeakoulussa Lauri Kettunen tiimeineen on kehittänyt älykeihään, jonka sisälle on anturi. Anturin avulla saadaan heitosta mitattua

lähtönopeuksia ja kulmia. Anturi on inertiaalinen mittausyksikkö, joka toimii patterilla. Se on 17x2 senttimetrin kokoinen ja painaa 47 grammaa. Siru sijaitsee 70 senttimetriä keihään massakeskipisteestä kärkeen päin. Mittausyksikkö sisältää 4 gyroskooppeja ja 6 kiihtyvyyssanturia. Koska anturien mittausalueet ovat rajallisia ja keihään kiihtyvyys ja kulmanopeudet vaihtelevat heiton eri vaiheissa, joudutaan käyttämään useaa anturia. Kolmen gyroskoopin mittausalue on +/- 105 rad/s ja yhden gyroskoopin mittausalue on +/- 350 rad/s. Kiihtyvyyssantureiden mittausalueet ovat +/- 160m/s<sup>2</sup> sekä +/- 1200m/s<sup>2</sup>. Kiihtyvyydet ja kulmanopeudet mitataan 1 kHz mittaustaajuudella. Älykeihäs täyttää IAAF- määräykset painon ja massakeskipisteen suhteen. (Kettunen, Nieminen, Suurniemi & Särkkä 2016)

Älykeihään toimivuutta testattiin vertaamalla tuloksia suurnopeuskameramittaukseen. Videot analysoitiin APAS- liikeanalyysijärjestelmällä ja tulokseksi saatiin, että älykeihään tarkkuus ei vielä kaikilta osin yllä vaaditulle tasolle. (Kettunen ym. 2016)

## 9.2 Ariel performance analysis system, APAS

Ariel Dynamics- yhtiö kehittää tietokonepohjaisia biomekaniikan analysointityökaluja. Ariel suorituskyvyn analysointijärjestelmä (Engl. Ariel performance analysis system, APAS) on yksi heidän kehittämistä tuotteista. Järjestelmä on videopohjainen 3D-liikeanalyysijärjestelmä, jossa tallennetaan usealla kameralla yhtäaikaaisesti videokuvaa ja järjestelmä tekee videokuvasta automaattisesti biomekaanisen analyysin. (About n.d; Introduction n.d)

APAS- järjestelmällä voidaan tallentaa dataa videokuvan lisäksi myös EMG-laitteella sekä voimalevyllä. Järjestelmä koostuu kolmesta ohjelmistomodulista, jotka ovat datan keräys, analysointi sekä esittely. Ennen datan keräystä analysoitava alue täytyy kalibroida mittaamalla kontrollipisteiden etäisyydet toisiinsa. Datan keräyksen jälkeen videot siirretään APAS- ohjelmaan ja niille tehdään analyysi joko automaattisesti tai manuaalisesti riippuen onko analyysimarkkerit olleet käytössä. Kun halutut pisteet on merkitty analysoitavista kuvista, APAS laskee pisteiden 3D-koordinaatit. Pisteiden 3D-koordinaateista ohjelma laskee nopeus- ja kulmatietoja. Tulokset esitetään erilaisien kuvaajien avulla. (Introduction n.d)

### 9.3 Simi Motion

Simi Motion -liikeanalyysijärjestelmä perustuu suurnopeuskameran käyttöön ja uusimpaan teolliseen kuvankäsittelytekniikkaan. (Mission and history n.d) Simi Motion järjestelmää käytetään urheilussa, lääketieteen tutkimuksissa, teollisuudessa, animaatioiden tekemisessä sekä solututkimuksissa (Appications n.d).

Simi Motion 3D-liikeanalyysijärjestelmässä käytetään LED-merkkivalotunnistusta automaattisessa tunnistuksessa, mutta sitä voidaan myös käyttää ilman merkkivaloja, jolloin pisteiden merkitseminen tehdään manuaalisesti. Simi Motioniin voidaan lisäksi yhdistää myös muita mittalaitteita, kuten EMG tai voimalevy, jotka mahdollistavat perusteellisemmän analyysin. (Simi Motion 2D/3D n.d)

### 9.4 KIHULLA käytössä olevat järjestelmät

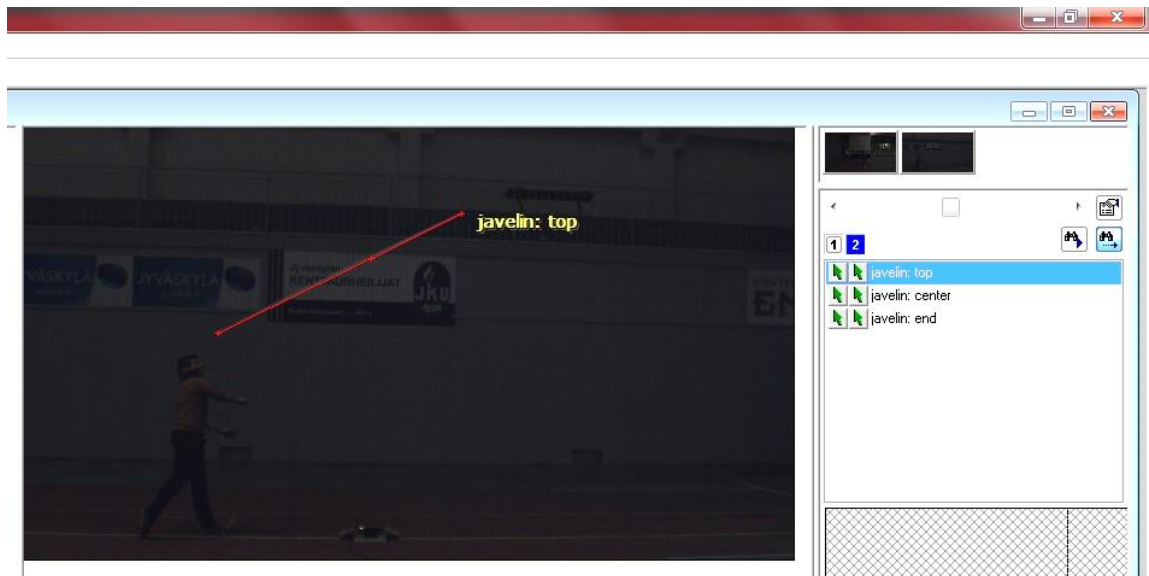
KIHULLA keihäänheiton analysoinnissa käytetään Simi Motion 3D- sekä APAS-liikeanalyysijärjestelmiä. Testauksessa heitot kuvataan samalla tavalla, riippumatta kumpaa järjestelmää käytetään. Heitot pystytään kuvaamaan joko niin, että keihäessä on kiinni kolme heijastinta, jolloin ohjelma pystyy automaattisesti tunnistamaan kuvasta merkit ja niiden avulla laskemaan kulma- ja nopeusominaisuudet. Toinen vaihtoehto on manuaalinen tunnistus, jolloin keihäeseen ei kiinnitetä merkkivaloja, vaan pisteiden merkitseminen tehdään manuaalisesti ohjelmassa. (Ihalainen 2017)

Mittauksen suoritukseen tarvitaan kaksi suurnopeuskameraa, kalibrointipallot, takymetri sekä tietokone. Ennen mittausta pitää määrittää kalibrointialue. Kalibrointialue merkataan kameranjaloilla ja heijastinpalloilla (Ks. Kuvio 10). Heijastinpallojen etäisyydet mitataan takymetrin avulla. Tämä vaihe on hieman aikaa vievä, koska mittauksen pitää olla tarkka, jotta saadaan luotettavia tuloksia. (Ihalainen 2017)



Kuvio 10 Heijastinpallot kalibrointialueen merkinä

Simi Motion- ohjelmaa käyttäessä kalibrointi-arvot syötetään Exceliin tehtyyn taulukkoon, jossa arvot muutetaan niin, että ne vastaavat heijastinpallojen etäisyyksiä origo-pisteestä x, z ja y suunnassa. Sen jälkeen kalibrointi-arvot syötetään Simi Motion -ohjelmaan ja kuvataan kalibrointi-video, johon kalibrointipisteet merkataan. Tämän jälkeen alkaa testaus. Tietokoneelta käynnistetään tallennus ja keihäs heitetään. Sen jälkeen tallennus lopetetaan ja video tallennetaan ja leikataan oikean pituiseksi. Videoiden analysointi voidaan tehdä joka heiton välissä tai testauksen jälkeen. Kun keihään tunnistus tehdään manuaalisesti, jokaisesta kuvasta pitää valita keihään kärjet sekä painopiste (Ks. Kuvio 11). Tämä tehdään niin monelle kuvalle, kun on tarvetta. Kun keihäs on tunnistettu kuvista, ohjelma laskee automaattisesti keihään kulmat, nopeuden sekä kiihtyvyyden. Tuloksia voi tarkastella kuva kovalta diagrammien avulla sekä niistä saadaan tulostettua raportin. (Ihalainen 2017)

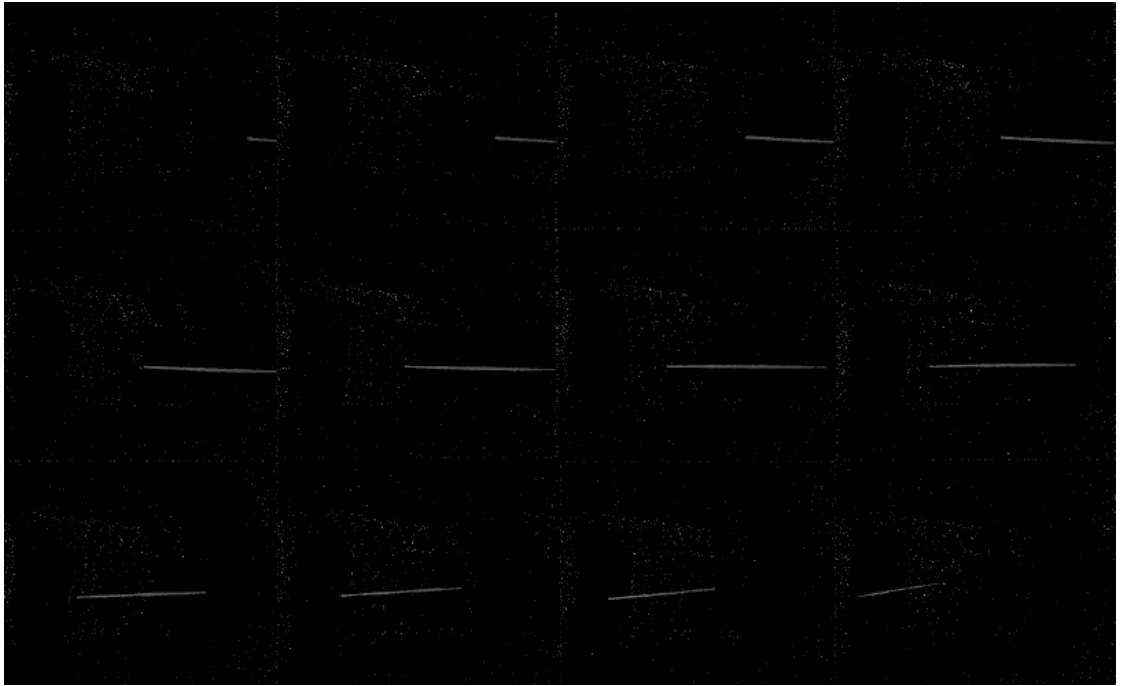


Kuvio 11 Keihään manuaalinen tunnistus

## 10 Keihään lähtöparametrien mittausohjelma

Keihään lähtöparametrien mittausohjelmalla mitataan keihään asentokulma, lähtökulma, ryntökulma, sivuttaisryntökulma sekä nopeus. Kinect tulee olla liitettynä tietokoneeseen ja verkkovirtaan, jotta mittausohjelma toimii. Aluksi ohjelma odottaa Kinectiltä dataa. Kun Kinectiltä tulee syvyysdataa, ohjelma tarkistaa onko syvyysarvot valittavien minimi- ja maksimiarvojen välissä eli esimerkiksi 500–8000 millimetrin välillä. Ohjelmaan on määritetty, että kun tunnistettujen syvyyspikseleiden määrä on isompi kuin häiriöpikseleiden ja valittavan perustason (150 pikseliä) yhteenlaskettujen pikseleiden määrä, aloitetaan kuvien kaappaus. Niin kauan, kun tunnistettujen syvyyspikseleiden määrä on tämän yläpuolella, kuvia kaapataan. Kaappaus lopetetaan silloin, kun tunnistettujen syvyyspikseleiden määrä laskee sen alapuolelle. Kaapattujen kuvien määrä riippuu heiton nopeudesta. Yleensä kuvia kaapataan 4-15 yhdestä heitosta. Alla olevassa kuviossa on kaapattu 12 kuvaa heitosta (Ks. Kuvio 12). (Vierola 2017)





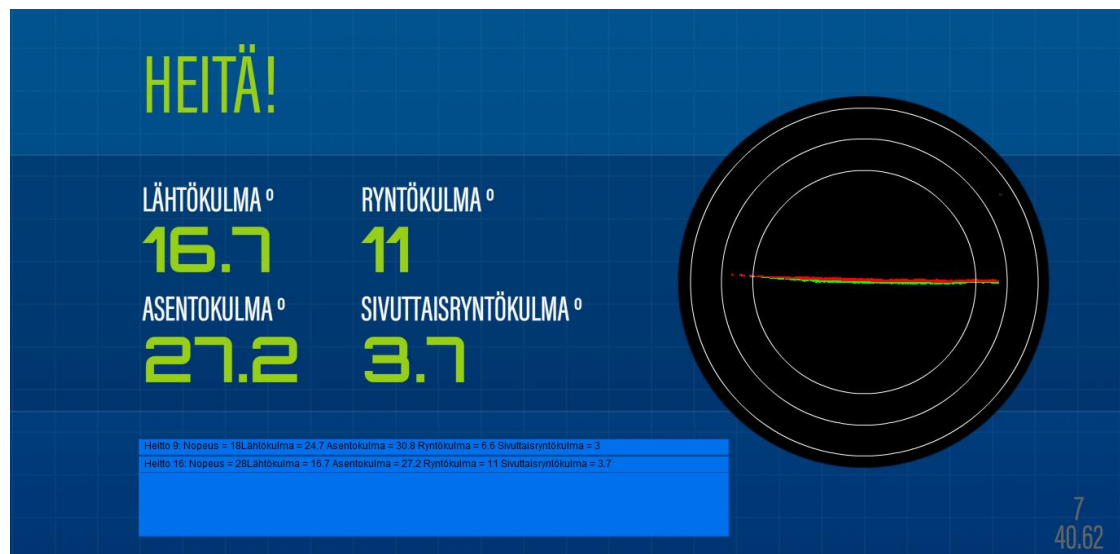
Kuvio 12 Kaapatut kuvat

Kuvien kaappauksen jälkeen aloitetaan datan muokkaus. Aluksi muutetaan reunoilta kahdelta riviltä harmaansävyiset pikselit mustiksi sekä yksittäiset häiriöpisteet poistetaan kuvista. Sen jälkeen tehdään syvyyskartasta bittikartta muuttamalla syvyysarvot heksadesimaaleiksi, jotta syvyyskuvasta saadaan 16-bittinen kuva. Bittikartan pikseleiden koordinaatteihin liitetään myös syvyystieto, jotta jokaisella pikselillä on väri sekä etäisyys. (Vierola 2017)

Kun bittikartta on valmis, siitä arvotaan kolme pikseliä, joihin sovitetaan suoraa. Tämä tehdään 10 000 kertaa jokaiselle kuvalle ja sen jälkeen valitaan paras suoransovite, johon osuu eniten harmaita pikseleitä. Suoran löydyttyä tunnistetaan kuvasta keihään pikselit eli harmaat pikselit, jotka ovat valitulla etäisyydellä sovitetusta suorasta ja määritetään kuvan keihään massakeskipiste. Jokaiselle kuvalle lasketaan asentokulma, lähtökulma, ryntökulma, sivuttaisryntökulma sekä nopeus. Asentokulma lasketaan keihään kärkipisteiden korkeuserosta. Lähtökulma, ryntökulma ja sivuttaisryntökulma lasketaan massakeskipisteen siirtymän avulla. Massakeskipisteen siirtymästä kahden kuvan välillä muodostetaan suora, joka kertoo nopeuden suunnan. Lähtökulma lasketaan keihään asentokulman ja massakeskipisteiden muodostaman suoran korkeuserosta. Ryntökulma taas saadaan,

kun lasketaan kahden kuvan asentokulmat, lasketaan niiden keskiarvot ja vähennetään lähtökulma. Sivuttaisryntökulma puolestaan lasketaan keihään sivuttaisen asentokulman ja massakeskipisteiden muodostaman suoran välisestä kulmasta. Sivuttaisryntökulmassa otetaan myös kahden kuvan sivuttaisten asentokulmien keskiarvot ja siitä vähennetään massakeskipisteiden kulma. Nopeus saadaan, kun lasketaan massakeskipisteiden välisen suoran pituus ja se jaetaan ajalla. (Vierola 2017; Ihalainen 2017)

Tulokseksi valitaan ne kulmat, joissa keihään nopeus on ollut suurin, koska se on testien mukaan tarkin vaihtoehto. Tietojen käsittelyssä kestää muutaman sekunti ennen kuin tulokset tulevat näytölle. Kuviossa 13 näkyy ohjelman ulkoasu, jossa mustaan ympyrään piirtyy kuva, jota on käytetty tulosten laskemisessa (Ks. Kuvio 13). Kun ohjelmassa lukee "HEITÄ!" se tarkoittaa, että ohjelma on valmiina ja keihään voi heittää ja "ÄLÄ HEITÄ!" näytetään tuloksia laskettaessa. (Vierola 2017)


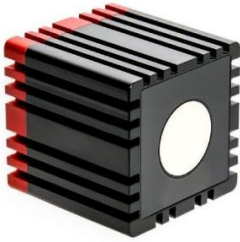
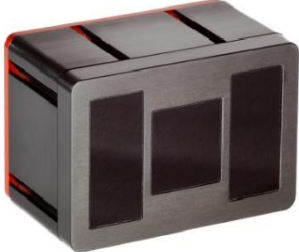







Kuvio 13 Keihään lähtöparametrien määrittelyohjelma

## 11 Muut vastaavat laitteet

Taulukossa 2 on esitelty vastaavia laitteita.

Taulukko 2. Vastaavat laitteet

Laite	Ominaisuudet
<p>Omron FQ2</p> 	<p>Konenäköanturi tunnistus-, koodinluku- sekä tarkistustehtäviin.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Yli 100 suurnopeuskameravaihtoehtoa</li> <li>- Shape Search II- tunnistusmenetelmä, jolla pystytään havaitsemaan määrättyjä kohteita sekä mittaamaan kohteiden kokoa, merkkejä sekä väriä</li> <li>- Käytetään tuotantolinjoilla</li> </ul> <p>(FQ2- konenäköanturi n.d)</p>
<p>SwissRanger 4000</p> 	<p>Time-of-Flight- kamera reaaliaikaiseen syvyydentunnistukseen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aallonpituus 850 nm</li> <li>- Kuvataajuus 50 FPS</li> <li>- Resoluutio 176 x 144</li> <li>- Näkökenttä 43.6° x 34.6°</li> <li>- Suunniteltu teollisuuskäyttöön</li> </ul> <p>(SR4000/SR4500 User Manual n.d)</p>
<p>SwissRanger 4500</p> 	<p>Time-of-Flight- kamera reaaliaikaiseen syvyydentunnistukseen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aallonpituus 850 nm</li> <li>- Kuvataajuus 30 FPS</li> <li>- Resoluutio 176 x 144</li> <li>- Näkökenttä 69° x 55°</li> <li>- Suunniteltu teollisuuskäyttöön</li> </ul> <p>(SR4000/SR4500 User Manual n.d)</p>
<p>Primesense Carmine 1.08</p> 	<p>3D- Liiketunnistin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kuvataajuus 60 FPS</li> <li>- Resoluutio 640 x 480 (VGA)</li> <li>- Näkökenttä 57.5° x 45°</li> <li>- Mittausetäisyys 0.8 – 3.5 m</li> <li>- Käyttää rakenteellisen valon- tekniikkaa</li> </ul> <p>(Primesense 3D sensors n.d.)</p>

<p>Asus Xtion Pro</p> 	<p>3D- Liiketunnistin</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kuvataajuus 60 FPS (VGA), 30 FPS (QVGA)</li> <li>- Resoluutio 640 x 480 (VGA), 320x240 (QVGA)</li> <li>- Näkökenttä 58° x 45°</li> <li>- Mittausetäisyys 0.8 – 3.5 m</li> <li>- Käyttää rakenteellisen valon-tekniikkaa</li> </ul> <p>(Xtion Pro n.d)</p>
<p>StarForm 3D</p> 	<p>3D-kamera tavaroiden lajitteluun ja tarkastukseen sekä kohteen koon ja sijainnin määrittämiseen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pulssimainen ToF- teknologia</li> <li>- Resoluutio 1280 x 1024, CMOS-kenno</li> <li>- Kuvataajuus 30 FPS</li> <li>- Mittausetäisyys 0.5-8 m, pidennys mahdollista lisävalomoduuleilla, tarkkuus alle 1 cm</li> <li>- Näkökenttä 15°, 30° tai 60°</li> <li>- Suunniteltu teollisuus-, logistiikka- sekä maatalouskäyttöön</li> </ul> <p>(StarForm Brochures n.d)</p>
<p>Fotonic G80</p> 	<p>ToF-kamera teollisuuteen tuotannon automatisointi</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resoluutio 640 x 480, CCD-kenno</li> <li>- Kuvataajuus 40 FPS</li> <li>- Näkökenttä 80° x 64°</li> <li>- Mittausetäisyys 0.15-5 m, tarkkuus 10-30 mm</li> </ul> <p>(Fotonic G-series 2017 n.d)</p>
<p>ZED</p> 	<p>Tilaa ja liikettä tunnistava kamera</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resoluutio 4416 x 1242 – 1344 x 376</li> <li>- Kuvataajuus 15-100 FPS</li> <li>- Näkökenttä 106° x 30°</li> <li>- Mittausetäisyys 0.5- 20 m</li> <li>- Tunnistusteknologia 6-DoF</li> </ul> <p>(ZED n.d)</p>

<p>Intel RealSense SR300</p> 	<p>Coded-light-menetelmää käyttävä 3D-kamera</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resoluutio 640 x 480</li> <li>- Aallonpituus 860 nm</li> <li>- Kuvataajuus jopa 200 FPS</li> <li>- Näkökenttä 60° x 72.5°</li> <li>- Mittausetäisyys 0.2-1.5 m</li> </ul> <p>(Intel RealSense n.d)</p>
<p>iPhone X TrueDepth</p> 	<p>Uusi Iphone kasvojen- ja kehontunnistuksella</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 7 Mpix kamera</li> <li>- 1080p HD-videokuvaus</li> <li>- Rakenteellisen valon-teknlgia ja Time-of-light- teknologia yhditettynä (Leswing 2017)</li> </ul> <p>(Iphone X n.d)</p>

## 12 Työn toteutus

Opinnäytetyön toteutuksessa sovellettiin aiheen tutkimiseen kehittämistutkimuksen menetelmää. Opinnäytetyö aloitettiin nykytilan kartoituksesta eli tutustumisesta Kinectiin ja keihään lähtöparametrien määrittämiseen. Sen jälkeen tarkasteltiin Kinectin syvyyskameran tarkkuutta ja määritettiin optimaaliset etäisyydet Kinectille ja keihäälle. Seuraavaksi selvitettiin mikä keihäänlähöparametrien määrittämisessä Kinectillä oli ongelmana. Kun oli saatu selville mikä ongelmana on ja mihin pyritään, mietittiin parannusehdotuksia ja tunnistusta parantavia muutoksia.

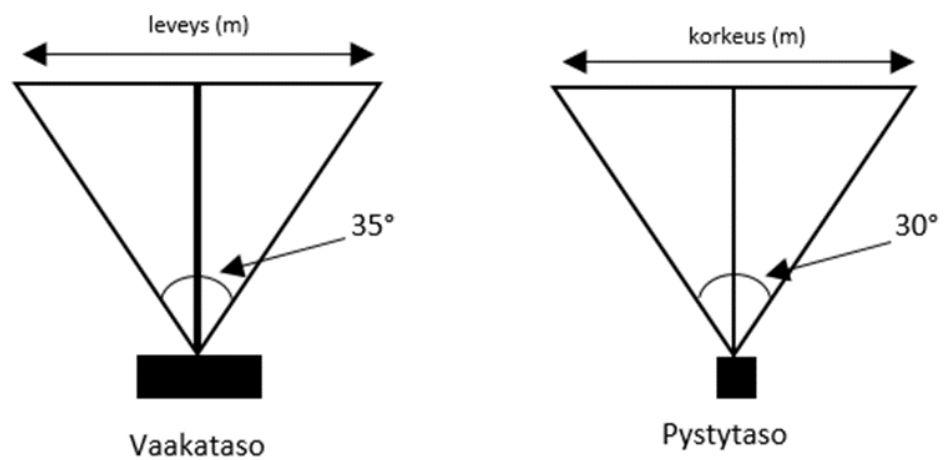
Parannusehdotuksia testattiin käytännössä ja sen jälkeen tuloksia arvioitiin. Tulosten arvioinnissa käytettiin mittaustulosten vertailua. Parannusehdotuksia, testausta ja tulosten arviointia tehtiin monta kertaa, jotta saatiin testattua mahdollisimman monta erilaista vaihtoehtoa ja löydettyä tunnistusta parantavia muutoksia.

### 12.1 Syvyyskameran tarkkuus

Kinectin syvyyskameran tarkkuutta pystytään tarkastelemaan näkökentän laajuuden avulla (näkökenttä 70°x60° ja resoluutio 512x424 pikseliä). Näkökentän laajuuden avulla voidaan laskea näkökentän koko eri etäisyyksille suorakulmaisen kolmion

trigonometrian avulla. Korkeudet ja leveydet eri etäisyyksille on laskettu alla olevilla kaavoilla taulukkoon 3 (Ks. Taulukko 3). Kuvio 14 havainnollistaa, mitä Kinectin näkökentän korkeudelle ja leveydellä tarkoitetaan.

- $\text{Leveys} = \tan(35^\circ) \times \text{etäisyys}$
- $\text{Korkeus} = \tan(30^\circ) \times \text{etäisyys}$



Kuvio 14 Kinectin näkökentän koko

Taulukko 3. Näkökentän leveys ja korkeus eri etäisyyksillä

Etäisyys (m)	Leveys (m)	Korkeus (m)
1	1,4	1,16
2	2,8	2,3
3	4,2	3,46
4	5,6	4,62
5	7	5,78
6	8,4	6,92
7	9,8	8,08
8	11,2	9,24

Näkökentän leveyden ja korkeuden avulla saadaan laskettua myös näkökentän pinta-ala sekä yhden pikselin pinta-ala, joka on laskettu resoluution avulla. Niiden arvot on kerätty taulukkoon 4, johon on laskettu myös yhden pikselin sivunpituus. Alla näkyvät laskuissa käytetyt kaavat (Ks. Taulukko 4).

- Näkökentän pinta-ala = korkeus x leveys
- Pikselin pinta-ala = (näkökentän pinta-ala / (512 x 424)) x 10 000
- Pikselin sivunpituus =  $\sqrt{\text{pikselin pinta-ala}}$

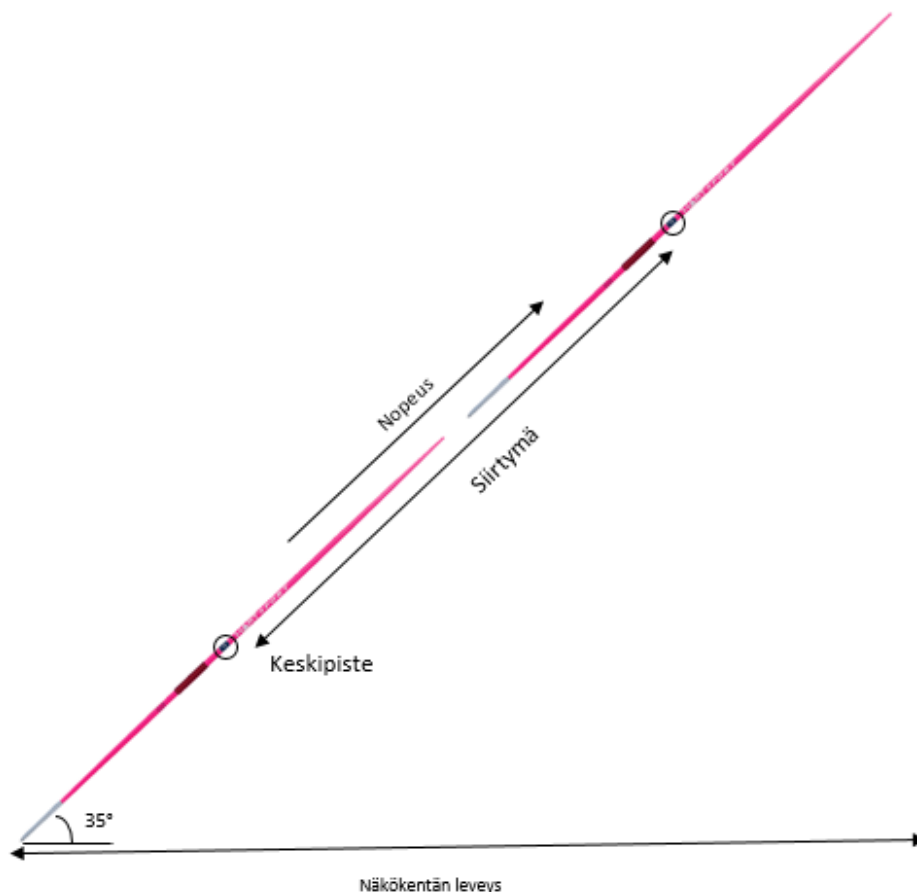
Taulukko 4. Pinta-alat

Etäisyys (m)	Näkökentän pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Pikselin pinta-ala (cm <sup>2</sup> )	Pikselin sivunpituus (cm)
1	1,6	0,07	0,27
2	6,4	0,30	0,54
3	14,5	0,67	0,82
4	25,9	1,19	1,09
5	40,5	1,86	1,37
6	58,1	2,68	1,64
7	79,2	3,65	1,91
8	103,5	4,77	2,18

Yllä olevien taulukoiden avulla voidaan tarkastella keihään näkymistä syvyyskuvassa. Otetaan tarkasteluun miesten keihäs, jonka pituus on 270 cm ja narukerän kohdalta se on 3 cm paksu. Keihäs mahtuu 2 metrin korkeudessa kuvaan, jolloin pikselin sivunpituus on 0,54 cm. Silloin keihään paksuimpaan kohtaa mahtuu 5 pikseliä, jolloin tarkkuus keihään keskellä on hyvä. Keihään kärjet ovat päistään ennen pyöristystä noin 1 cm paksuiset ja keihään lähtöparametrien määrittäystä ajatellen on tärkeää, että keihäs näkyisi kokonaisuutena syvyyskuvassa. Kokonaan näkyminen on mahdollista vielä 3 metrissä, mutta 4 metrissä kärjet eivät välttämättä enää näy. Matemaattisen tarkastelun perusteella Kinectin tarkkuus riittää ainakin silloin, kun keihäs on paikallaan.

## 12.2 Keihään optimaalinen pystysuuntainen etäisyys Kinectistä

Jotta saadaan mahdollisimman tarkka kuva, pitää keihään olla mahdollisimman lähellä Kinectiä, kuitenkin niin, että se mahtuu kuvaan kokonaisena. Pitää myös ottaa huomioon, että keihäästä pitää saada kaksi kuvaa niin, että keihäs on kokonaisena kuvassa, jotta saadaan nopeus laskettua luotettavasti. Keihään kulmaominaisuudet vaikuttavat optimaaliseen pystysuuntaiseen etäisyyteen, joten optimaalinen pystysuuntainen etäisyys määritetään optimaaliseen heittoon eli heittoon, jonka asentokulma on  $35^\circ$ , ryntökulma  $0^\circ$ . Keihään korkeuden määrittämiseen tarvitaan keihään siirtymä kuvien välillä, joka saadaan laskettua nopeuden ja kuvan ottamiseen kestävän ajan kautta. Myöskin näkökentän leveys tarvitaan, joka saadaan laskettua keihään pituuden ja siirtymän summasta. Tilanne on kuvattu alla olevassa kuviossa. (Ks. Kuvio 15)



Kuvio 15 Keihään tarvitsema näkökenttä (HART International Javelins n.d. Muokattu)



Siirtymän ja näkökentän leveyden avulla saadaan laskettua keihään ensimmäisen kuvan alakärjen korkeus, joka määrittää kuinka lähellä keihään alakärki voi olla Kinectiin nähden, jotta siitä saadaan 2 kuvaa. Samalla tarkistettiin myös, että keihään toisen kuvan yläkärjen korkeus ei mene Kinectin kantaman ulkopuolelle. Alla näkyvät laskuissa käytetyt kaavat.

- Siirtymä kuvien välissä = nopeus(m/s) x kuvien välinen aika(s)
- Näkökentän leveys =  $\cos(\text{asentokulma}) \times (\text{keihään pituus} + \text{siirtymä kuvien välillä})$
- Keihään alakärjen pystysuuntainen etäisyys =  $\text{näkökentän leveys} / 2 / \tan(\text{asentokulma})$
- Seuraavan kuvan yläkärjen pystysuuntainen etäisyys =  $\text{näkökentän leveys} \times \tan(\text{asentokulma}) + \text{keihään alakärjen pystysuuntainen etäisyys}$

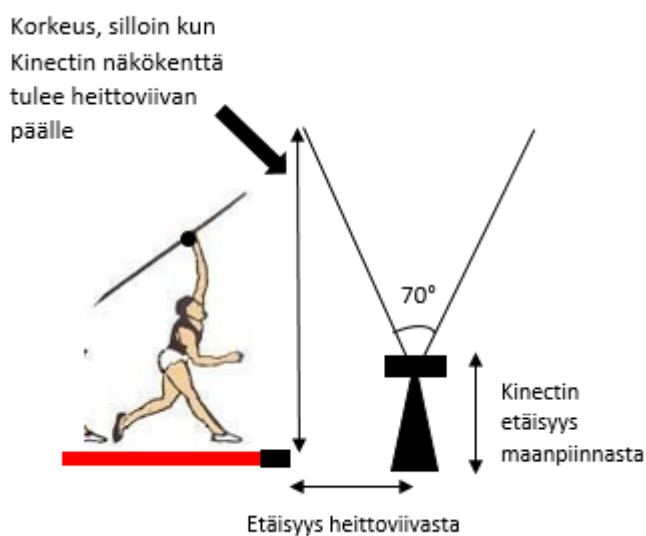
Tulokset näkyvät alla olevassa taulukossa josta selviää, että kaikilla keihään pituuksilla ja nopeuksilla Kinectin kantama pitäisi riittää eli keihään yläkärki ei nouse yli 4,5 metriin, jos asentokulma on 35° (Ks. Taulukko 5). Jos asentokulma nousee 40° tai yli saattaa Kinectin kantama loppua ennen kuin keihäästä on saatu kaksi kuvaa.

Taulukko 5. Keihään optimaalinen pystysuuntainen etäisyys

Keihään pituus (m)	Siirtymä kuvien välissä (m)	Näkökentänleveys (m)	Alakärjen korkeus (m)	Seuraavan kuvan yläkärjen korkeus (m)
2,2	0,33	2,08	1,48	2,93
2,2	0,50	2,21	1,58	3,13
2,2	0,67	2,35	1,68	3,32
2,2	0,83	2,48	1,77	3,51
2,3	0,33	2,16	1,54	3,05
2,3	0,50	2,29	1,64	3,24
2,3	0,67	2,43	1,74	3,44
2,3	0,83	2,57	1,83	3,63
2,6	0,33	2,40	1,72	3,40
2,6	0,50	2,54	1,81	3,59
2,6	0,67	2,68	1,91	3,78
2,6	0,83	2,81	2,01	3,98
2,6	1,00	2,95	2,11	4,17
2,7	0,33	2,48	1,77	3,51
2,7	0,50	2,62	1,87	3,71
2,7	0,67	2,76	1,97	3,90
2,7	0,83	2,89	2,07	4,09
2,7	1,00	3,03	2,16	4,29

### 12.3 Kinectin optimaalinen paikka

Kinectin etäisyydellä maasta saadaan säädeltyä keihään pystysuuntaista etäisyyttä, mutta keihään pystysuuntaiseen etäisyyteen vaikuttaa suuresti heittäjän pituus sekä itse heitto. Heitto saattaa lähteä jopa  $45^\circ$  kulmassa, jolloin siirtymä kahden kuvan välillä on pienempi vaakatasoon nähden ja keihäs lentää korkeammalle, joten Kinectin pitäisi olla korkeammalla. Toisaalta jos keihäs lentää alle  $35^\circ$  kulmassa, se vaatii isomman näkökentän, joten Kinectin tulisi olla matalammalla. Kinectin optimaalisen etäisyyden määrittämisessä maanpinnasta käytetään keskiarvoja heittäjien pituudessa sekä optimaalisia keihään kärkien pystysuuntaisia etäisyyksiä. Kinectin etäisyys heittoviivasta vaikuttaa myös Kinectin etäisyyteen maanpinnasta. Mitä kauempana Kinect on heittoviivasta, sitä korkeammalla sen pitää olla. Kinectin pitää kuitenkin olla mahdollisimman lähellä heittoviivaa, koska halutaan saada keihään lähtöparametrit juuri kädestä irtoamisen jälkeen, mutta toisaalta käsi ei saa tulla Kinectin näkökenttään, koska silloin keihään tunnistus saattaa epäonnistua. Keihään kulmaominaisuudet ja nopeus vaihtelevat heiton eri vaiheissa, joten siksi on väliä mistä heiton kohdasta ne mitataan. Alla olevassa kuviossa on kuvattu selvitetty tilanne (Ks. Kuvio 16)



Kuvio 16 Kinectin etäisyys heittoviivasta ja maanpinnasta (Javelin n.d. Muokattu)

Kinectin etäisyydet heittoviivasta ja maanpinnasta ovat riippuvaisia toisistaan ja niihin vaikuttaa myös, milloin Kinectin näkökenttä saa tulla heittoviivan päälle. Naisten keihäille määritettiin, että keihäs irtoaa kädestä 1,8m korkeudessa, joten Kinectin näkökenttä saa tulla heittoviivan päälle 2 m korkeudessa. Miesten keihäille taas määritettiin, että keihäs irtoaa kädestä 2m korkeudessa, joten Kinectin näkökenttä saa tulla heittoviivan päälle 2,3 m korkeudessa. Ensin laskettiin Kinectin etäisyys maanpinnasta, joka on riippuvainen keihään irrotus korkeudesta ja keihään keskikohdan pystysuuntaisesta etäisyydestä, kun keihäs on Kinectin päällä. Etäisyys maanpinnasta laskettiin 1-2,5 metrin etäisyyksille puolen metrin välein. Kun etäisyydet maanpinnasta olivat selvillä, laskettiin Kinectin näkökentän korkeus, jolloin se tulee heittoviivan päälle. Alla näkyvät taulukossa käytetyt laskukaavat.

- Kinectin etäisyys maanpinnasta =  $(\tan(\text{asentokulma}) \times \text{etäisyys}) + \text{keihään irrotuskorkeus}$  - keihään keskikohdan pystysuuntainen etäisyys Kinectin päällä
- Näkökentän korkeus =  $(\tan(90 - \text{Kinectin näkökentän kulma}) \times \text{etäisyys}) + \text{Kinectin etäisyys maanpinnasta}$

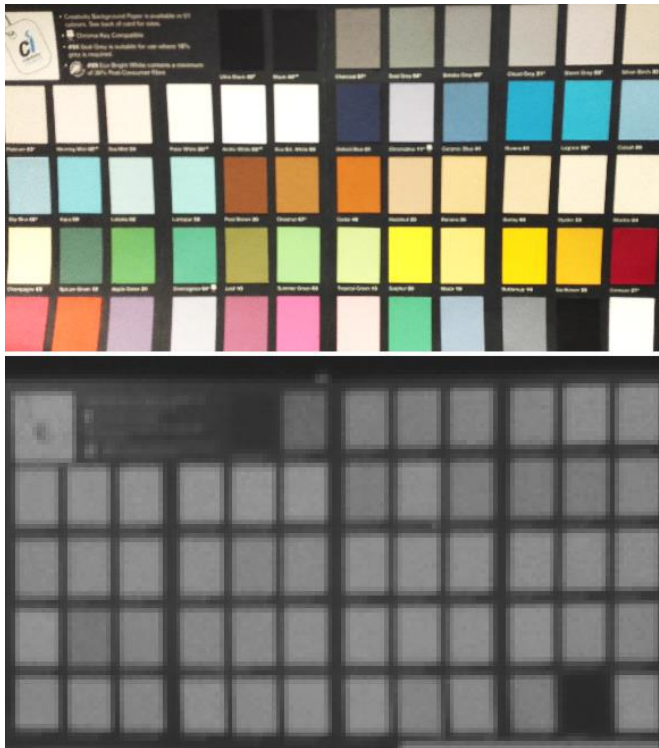
Tuloksissa on otettu huomioon keihään pituus ja nopeus, jotka saattavat vaihdella (Ks. Taulukko 6). Naisilla Kinect tulee olla 2 metrin etäisyydellä heittoviivasta ja 0,7-1,1 metrin etäisyydellä maanpinnasta, riippuen siitä minkä pituisella keihäällä heitetään ja mikä on keihään nopeus. Miehillä Kinectin etäisyyden tulee olla 2,5 metriä heittoviivasta ja 0,8-1,2 metrin etäisyydellä maanpinnasta, riippuen samoista asioista kuin naisten keihäällä. Jotta Kinectin etäisyys heittoviivasta ja maanpinnasta olisivat optimaaliset, tulisi ne määrittää jokaiselle heittäjälle erikseen heittäjän ominaisuuksien mukaan.

Taulukko 6. Kinectin etäisyys heittoviivasta ja maanpinnasta

keihään pituus (m)	Nopeus (m/s)	Etäisyys 2m /Kinectin korkeus (m)	Etäisyys 2 m /näkökentän korkeus (m)	Etäisyys 2,5m /Kinectin korkeus (m)	Etäisyys 2,5m /näkökentän korkeus (m)
2,2	10	1,1	<b>2,5</b>	1,4	3,2
2,2	15	1,0	<b>2,4</b>	1,3	3,1
2,2	20	0,9	<b>2,3</b>	1,2	3,0
2,2	25	0,8	<b>2,2</b>	1,1	2,9
2,3	10	1,0	<b>2,4</b>	1,4	3,1
2,3	15	0,9	<b>2,3</b>	1,3	3,0
2,3	20	0,8	<b>2,2</b>	1,2	2,9
2,3	25	0,7	<b>2,1</b>	1,1	2,8
2,6	15	0,8	2,2	1,2	<b>2,9</b>
2,6	20	0,7	2,1	1,1	<b>2,8</b>
2,6	25	0,6	2,0	1,0	<b>2,7</b>
2,6	30	0,5	1,9	0,9	<b>2,6</b>
2,7	15	0,8	2,2	1,1	<b>2,9</b>
2,7	20	0,7	2,1	1,0	<b>2,8</b>
2,7	25	0,6	2,0	0,9	<b>2,7</b>
2,7	30	0,5	1,9	0,8	<b>2,6</b>

#### 12.4 Materiaalien ja värien vertailu

Kihulla aiemmin tehtyjen testien perusteella normaalin keihään tunnistus ei onnistu tarkasti Kinectillä, joten piti tutkia millaisia materiaaleja ja värejä Kinect tunnistaa hyvin. Myös sellaisia materiaaleja ja värejä tutkittiin, joita Kinect ei tunnista, koska sillä voisi päällystää keihään ohuet kärjet, jolloin ne eivät näkyisi syvyyskuvassa ja keihään tunnistus voisi onnistua paremmin. Värien näkymistä infrapunakamerassa testattiin värikartalla (Ks. Kuvio 17), josta huomaa, että värin kirkkaus vaikuttaa siihen, miten se näkyy infrapunakuvassa. Musta näkyy selvästi tummimpana sekä vaaleat värit kuten vaaleanpunainen, -keltainen, -vihreä ja -sininen sekä valkoinen näkyvät vaaleimpina. Tarkoituksena oli löytää parhaiten näkyvä ja huonoiten näkyvä väri. Musta on selkeästi huonoimmin näkyvä, mutta vaaleista väreistä ei pysty sanomaan mikä on kirkkain. Valkoinen on kuitenkin vaalein olemassa oleva väri, joten värien testauksessa päädyttiin ottamaan valkoinen väri parhaiten näkyväksi väriksi. Myös yleisen teorian mukaan musta imee ja valkoinen heijastaa valoa kaikilla aallonpituuksilla, joten teoriakin tukee testaustulosta.



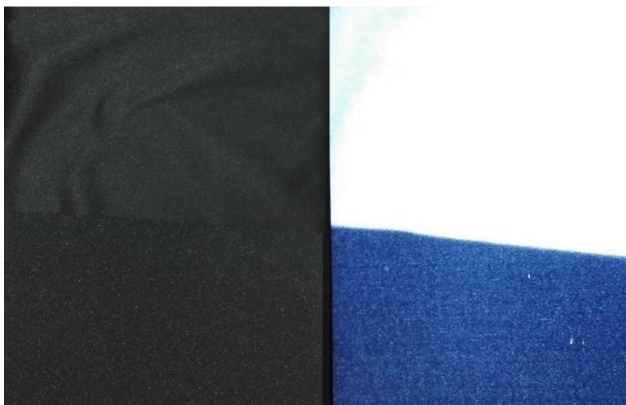
Kuvio 17 Värikartta RGB-kameralla ja IR-kameralla kuvattuna

Materiaaleista testattiin sellaisia materiaaleja, joilla keihäs olisi mahdollista päällystää. Materiaalien testaus aloitettiin erilaisista teipeistä, joista haettiin ääripäitä, eli mattapintaisia ja kiiltäviä teippejä. Pinnan heijastus nousi ongelmaksi, koska siitä aiheutui häiriöitä infrapunakuvaan. Kiiltävien ja mattapintaisten teippien lisäksi testattiin heijastinta ja heijastin-materiaali heijasti infrapunasäteilyn materiaalin ulkopuolella, josta aiheutui muotovirheitä. Alla olevassa kuviossa on vierekkäin kiiltävä teippi, heijastin sekä mattapintainen urheiluteippi, jossa näkyy teippien erilainen tunnistus (Ks. Kuvio 18). Materiaalien testauksessa todettiin, että mattapintaiset materiaalit sopivat pinnoitteeksi parhaiten.



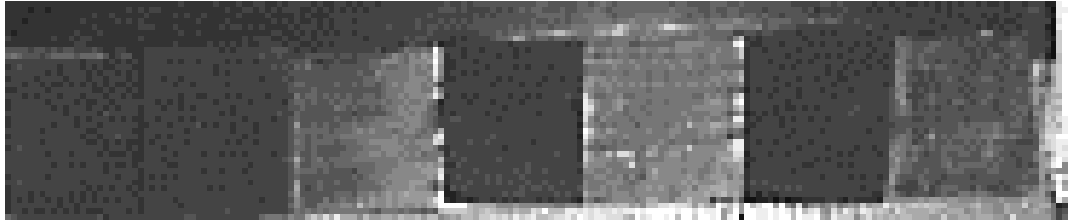
Kuvio 18 Kiiltävä teippi, heijastin ja urheiluteippi

Mustia materiaaleja testattaessa huomattiin, että vaikka kaksi eri materiaalia näyttävät ihmisen silmään samanvärisiltä, niin infrapunakuvassa kangas näkyi valkoisena ja vaahtomuovi mustana (Ks. Kuvio 19). Myös syvyyskuvassa valkoisena näkyvä materiaali näkyi hyvin, mutta vaahtomuovi ei näkynyt, eikä siitä saanut syvyyspisteitä. Tämän jälkeen etsittiin materiaalia, joka vastasi parhaiten vaahtomuovia.



Kuvio 19 Vaahtomuovi ja kangas, vasemmalla RGB-kuva ja oikealla infrapuna-kuva  
Keihään pinta on helpointa maalata, joten seuraavaksi vertailtiin maaleja. Myös hiili otettiin mukaan, koska hiilen emissiivisyysarvo on lähimpänä ”mustan kappaleen” emissiivisyysarvoa. Maalien vertailuun otettiin mahdollisimman mattapintaisia maaleja. Alla olevassa kuvio on infrapunakuva, jossa on vasemmalta alkaen veteen

sekoitettua hiiltä, liitutaulumaaia, kumimaalia ja auton alustansuojamaalia (Ks. Kuvio 20). Jokaisen maalin välissä on pala vaahtomuovia, jotta nähdään mikä maaleista vastaisi vaahtomuovin tummuutta infrapunakuvassa. Hiili erottuu selkeästi joukosta tummimpana.



Kuvio 20 Hiili, liitutaulumaaia, kumimaali ja auton alustansuojamaali

Myös parhaiten näkyvää materiaalia yritettiin miettiä emissiivisyysarvon kautta, mutta materiaalit joiden emissiivisyys on mahdollisimman lähellä nollaa, ovat kiillotettuja materiaaleja ja testien perusteella kiiltävä pinta aiheuttaa häiriöitä infrapunakuvaan. Emissiivisyysarvoa ei siten voitu hyödyntää sen materiaalin valintaan, jonka pitäisi näkyä mahdollisimman hyvin. Parhaiten näkyvä materiaali valittiin väri- ja materiaalitestien perusteella. Näiden perusteella päädyttiin siihen, että huonoiten näkyvä materiaali on hiili ja parhaiten näkyvä materiaali on valkoinen mattapintainen maali (pohjamaali).

## 12.5 Valotusaika

Valotusajan vaikutusta testattiin pallolla, koska keihästä on vaikea nähdä, milloin keihäs on venynyt kuvassa. Tennispallo pudotettiin alas parin metrin korkeudelta ja siitä kaapattiin kuvia. Kuviossa 21 näkyy tennispallo, joka on venynyt huomattavasti ja pallon pyöreän muodon vuoksi siitä ei saatu syvyysarvoja koko pinnasta. Kinectin valotusaika todennäköisesti aiheuttaa pientä venymistä kuvattavaan kappaleeseen johtuen liian pitkästä valotusajasta. Venymistä tapahtuu sitä enemmän mitä nopeammin kohde liikkuu ja kuten huomataan, venyneestä osasta ei saada syvyysarvoja mitattua (Ks. Kuvio 21).



Kuvio 21 Tennispallo

## 12.6 Ensimmäinen testaus

Ensimmäinen testaus suoritettiin Kinectin lähtöparametrien määrittämisohjelmalla sekä Simi Motion -liikeanalyysijärjestelmällä. Lähtöparametrien määrittämisohjelmaan ei tässä vaiheessa tehty vielä muutoksia. Simi Motion -liikeanalyysijärjestelmää käytettiin manuaalisesti, koska merkkivalot olisivat häirinneet Kinectiä.

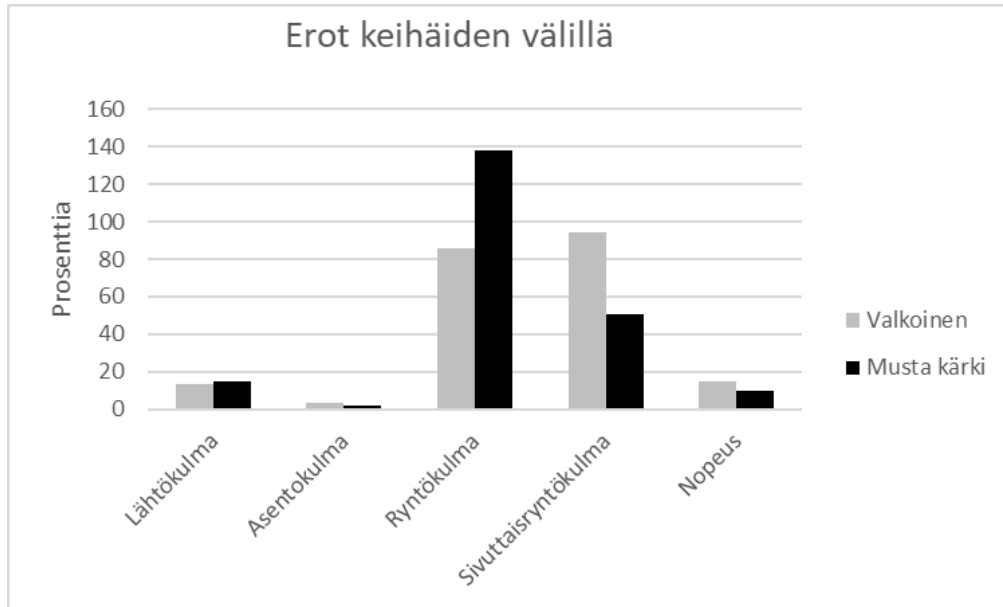
Testaus tehtiin kahdella keihäällä, joista toinen oli maalattu kokonaan valkoiseksi matalla pohjamaalilla ja toisen keihään kärki oli maalattu lääkehiilen, liiman ja veden sekoituksella mustaksi ja muuten valkoiseksi samalla maalilla kuin toinenkin keihäs (Ks. Kuvio 22). Lääkehiilen, liiman ja veden sekoituksella pyrittiin saamaan lääkehiilestä maalimaista, jotta se pysyy keihäessä. Testauksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka hyvin musta kärki häviää syvyyskuvaan ja saadaanko siten tarkempia tuloksia. Testauksessa testattiin myös vaikuttaako Kinectin etäisyys maanpinnasta tuloksiin. Testissä tehtiin kaksi heittoa kummallakin keihäällä Kinectin ollessa maassa, jolloin syvyyskamera oli 10 cm etäisyydellä maanpinnasta sekä Kinectin ollessa 1,4 metrin etäisyydellä maanpinnasta.





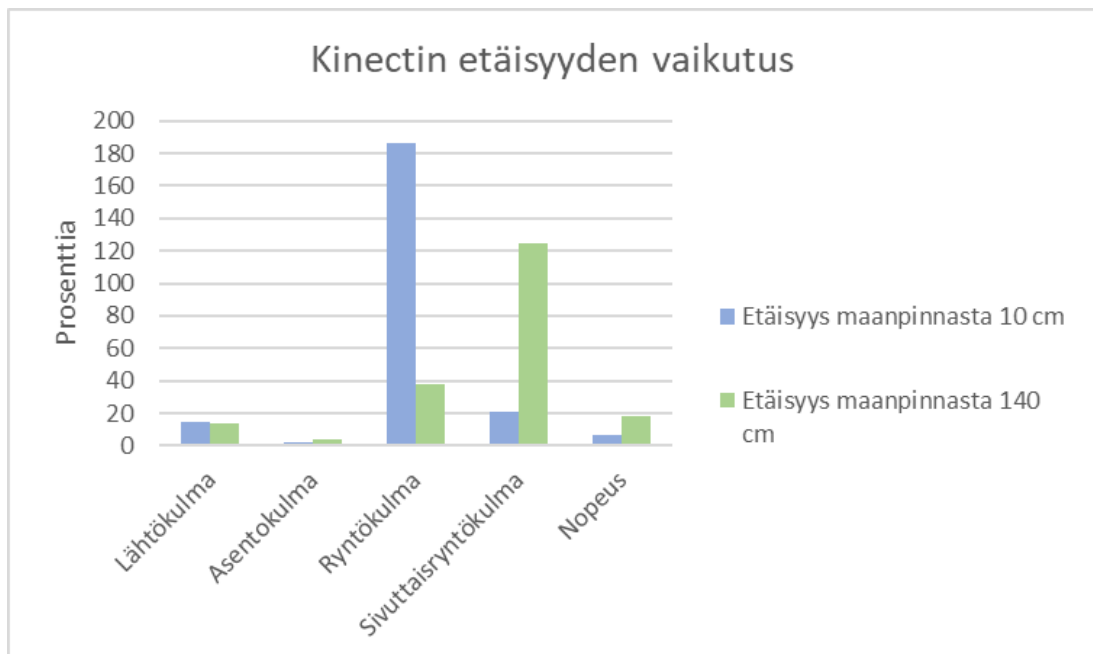
Kuvio 22 Keihäät

Heittojen kulmaominaisuuksia vertailtiin niin, että Simin kuvista katsottiin, milloin keihäs oli suoraan Kinectin yläpuolella ja kyseisestä kuvasta katsottiin kulmaominaisuudet. Näitä tuloksia vertailtiin Kinectillä saatuihin tuloksiin. Tulokset on esitetty prosentuaalisina eroavaisuuksina Simin arvoihin (Ks. Kuvio 23). Tulokseksi saatiin, että keihäiden välillä tuloksissa oli hieman eroa, mutta kummankaan tulokset eivät olleet selkeästi toista parempia. Kulmaominaisuuksien välillä oli myös paljon eroa. Eniten eroa oli valkoisella keihäällä sivuttaisryntökulmassa ja musta kärkisellä keihäällä ryntökulmassa. Asentokulmassa oli vähiten eroa Simin arvoon nähden, joten keihään tunnistus onnistuu siten, että suoran sovituksesta tulee melkein sama kuin Simillä. Ryntökulmien ja sivuttaisryntökulmien isot heitot voivat johtua siitä, että keihään 3D-tunnistus on epätarkkaa.



Kuvio 23 Keihäiden vertailu

Testauksessa verrattiin myös Kinectin etäisyyden vaikutusta tuloksiin. Tulokseksi saatiin, että 10 cm etäisyydellä maanpinnasta prosentuaaliset erot kulmien välillä ovat pienempiä, mutta lähtökulman ja ryntökulman arvoissa toisaalta on enemmän heittoa (Ks. Kuvio 24).

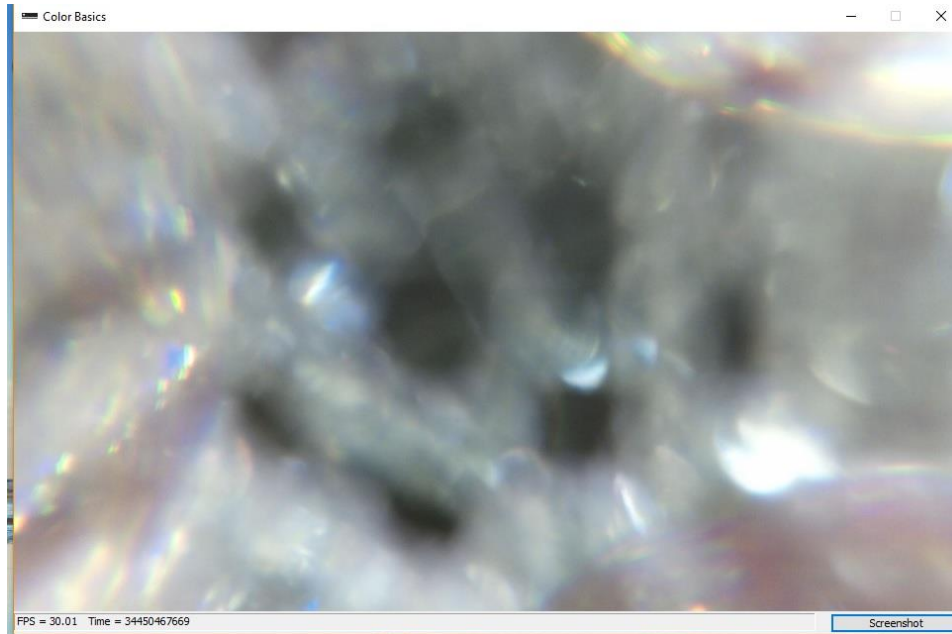


Kuvio 24 Kinectin etäisyyksien vertailu

Testauksen perusteella ei pystytty valitsemaan kumman värinen keihäs olisi parempi. Kummallakin keihäällä lähtöparametreissa oli suuria eroja, joten seuraavaksi keihään tunnistusta piti yrittää parantaa. Eroja tuloksiin on voinut aiheuttaa myös se, että keihään lähtöparametrien määrittelyohjelma laskee keihään arvot siitä kuvasta, jossa se on liikkunut suurimmalla nopeudella. Tämä tarkoittaa sitä, että keihäs ei ole välttämättä vielä tullut kokonaan kuvaan siinä kuvassa, jossa se on liikkunut nopeinten. Tämä johtaa siihen, että nopeutta ja nopeuden suuntaa ei välttämättä saada laskettua oikein, koska kuvassa, jossa keihäs ei ole tullut kokonaan, massakeskipiste lasketaan eri kohtaan kuin kuvassa, jossa keihäs on tullut kokonaan kuvaan.

## 12.7 Toinen testaus

Ennen toista testausta kuvataajuus vakioitiin laittamalla heijastin RGB-kameran eteen, jolloin se saa aina saman määrän valoa, koska Kinectin oma led-valo heijastuu RGB-kameraan heijastimen avulla. Tällä tavalla kuvataajuus pysyy vakiona (30 FPS). Kuvataajuus piti vakioda, koska Kinect säätää kuvataajuutta RGB-kameran mukaan automaattisesti, riippuen kuvattavan alueen kirkkaudesta. RGB-kameran kuvataajuus vaikuttaa samalla myös IR-kameran kuvataajuuteen. Alla olevassa kuviossa näkyy kuva, millaisena värikamera näkee heijastimen. (Ks. Kuvio 25)



Kuvio 25 Heijastin värikameran edessä

Toinen testaus tehtiin ulkona Kinectillä kuvienkaappaus- ohjelmalla.

Kuvienkaappausohjelma tehtiin testausta varten ja se tallentaa Kinectin ottamat kuvat ja niitä voi verrata keskenään. Ulkona testattiin kahta miesten keihästä, kokonaan valkoista ja mustakärkistä sekä valkoista naisten keihästä. Testauksessa ongelmaksi nousi auringonpaiste, koska Kinect ei tunnistanut keihästä välttämättä ollenkaan tai kuvista tuli todella epätarkkoja auringon paistaessa. Pilvisellä säällä kuvien kaappaus onnistui, mutta kuvien laatu jäi kuitenkin huonommaksi kuin sisällä kaapattujen kuvien laatu. Alla olevassa kuviossa on verrattu kuvia, joista vasemmanpuoleinen on otettu auringonvalossa, keskimäinen pilvisessä säässä sekä oikeanpuoleinen sisällä (Ks. Kuvio 26).

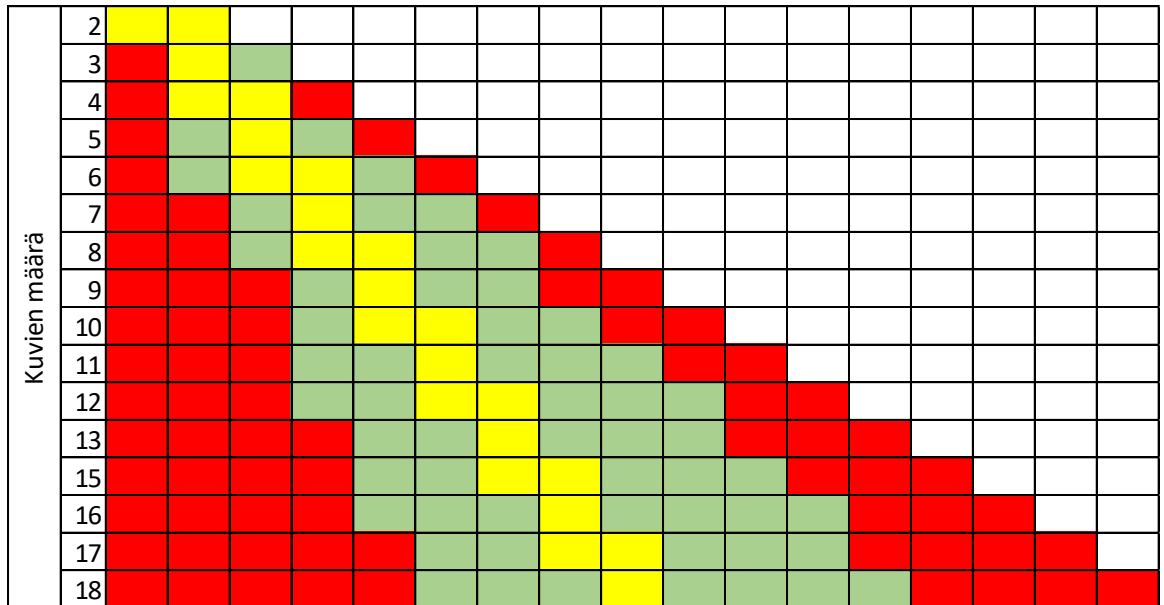


Kuvio 26 Keihäs auringonpaisteessa, pilvisellä säällä sekä sisällä

Testauksen jälkeen kokeiltiin vielä, näkyykö joku muu väri kuin valkoinen paremmin auringonpaisteessa. Kokeiluun otettiin sininen, oranssi ja lila keihäs, mutta nekin hävisivät samalla tavalla auringossa. Voi olla, että auringosta tuleva infrapunasäteily häiritsee tunnistusta, eikä Kinect pysty erottamaan säteilyjä. Tästä voidaan tehdä johtopäätös, että ulkona Kinectiä käyttäessä pitää olla pilvistä. Myöskään Kinectin IP-luokitus ei tue ulkona käyttämistä, joten voidaan todeta, että Kinectiä voidaan käyttää turvallisesti vain sisätiloissa.

## 12.8 Kolmas testaus

Ohjelmaa muokattiin ennen kolmatta testausta. Ohjelmaan lisättiin kuvien poisto eli tunnistuksesta saaduista kuvista poistettiin tietty määrä alusta ja lopusta, jotta ohjelma ei laskisi kulmia sellaisesta kuvasta jossa keihäs ei ole kokonaan. Jos keihäs ei ole kokonaan syvyyskuvassa, massakeskipisteen laskeminen oikein on mahdotonta ja sitä kautta nopeudeksi tulee väärä arvo. Punaiset palkit ovat kuvia jotka poistetaan, vihreät ja keltaiset palkit vertailuun otettavia kuvia ja keltaisen palkin kohdalla keihään pitäisi olla teoriassa keskellä kuva-aluetta (Ks. Kuvio 27). Mitä hitaampi heitto on ollut, sitä enemmän kuvia Kinect kerkeää kaappaamaan ja sitä enemmän niitä myös poistetaan. Alusta kuvia poistetaan enemmän, koska keihäällä kestää, että se tulee kokonaan kuvaan. Lopussa keihäs saattaa näkyä kokonaisuina loppuun asti, jos sen asentokulma on suuri. Toisaalta jos keihään asentokulma on pieni, myöskään lopussa se ei näy kokonaisuina, siksi myös lopusta poistetaan kuvia. Kuvien kaappauksessa huomattiin, että keihäs on syvyyskuvan keskellä kuvien puolivälissä tai vähän myöhemmin. Eli jos kuvia on esimerkiksi 10, keihäs on syvyyskuvan keskellä viidennessä tai viimeistään seitsemännessä kuvassa.



Kuvio 27 Kuvien poisto

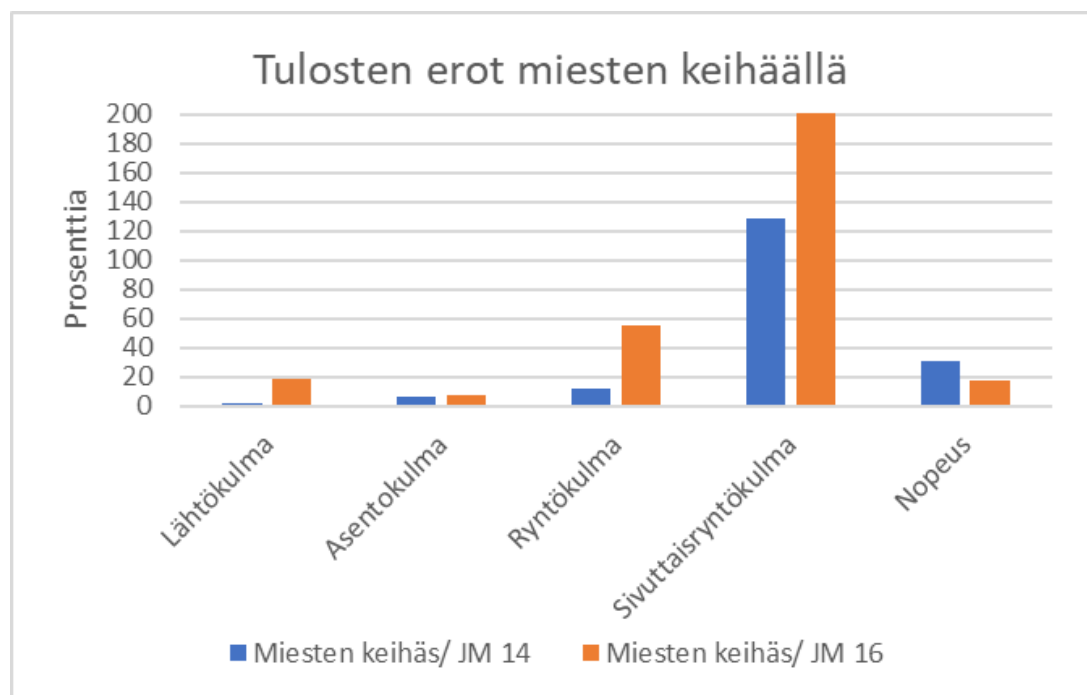
Myös kulmien ja nopeuden laskemista muokattiin. Keihään kulmat lasketaan kuvasta, jossa keihään pituus vastaa parhaiten pituutta, joka on syötetty ohjelmaan ennen heittoa. Aiemmin kuva on valittu nopeuden mukaan, mutta silloin keihäs ei välttämättä ole enää kokonaan kuvassa. Nopeuden laskemista muutettiin niin, että nopeusvektorin pituus katsotaan keihäiden keskipisteistä eikä massakeskipisteistä. Myös kulmien laskuja muutettiin hieman. Asentokulma lasketaan vektorilaskennalla verraten keihään suuntavektoria xz-tasoon. Lähtökulma saadaan, kun lasketaan nopeusvektorin ja xz-tason välinen kulma. Ryntökulma saadaan taas, kun lasketaan keihään suuntavektorin ja nopeusvektorin kulma xz-tasolla. Sivuttaisryntökulma lasketaan keihään suuntavektorin ja nopeusvektorin välisestä kulmasta xy-tasolla. Nopeus lasketaan lähimpänä oikeaa pituutta olevan keihään sekä joko edellisen tai seuraavan kuvan keihään keskipisteen välisestä siirtymästä, riippuen onko edellinen vai seuraava keihäs lähempänä todellista pituutta. Keihäiden siirtymästä tehdään nopeusvektori, joka kertoo nopeuden suunnan. Nopeus lasketaan nopeusvektorin pituudesta ja kuvien välissä kuluneesta ajasta.

Kolmas testaus tehtiin samalla tavalla kuin ensimmäinen eli Simillä ja Kinectillä.

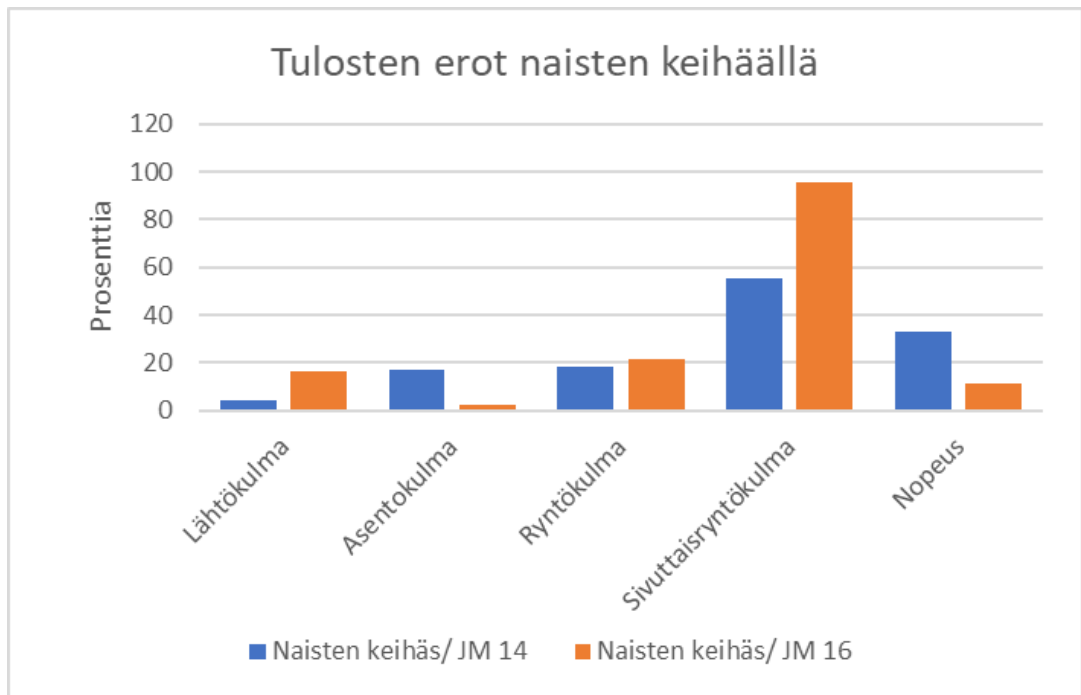
Testaus tehtiin valkoisille naisten ja miesten keihäille. Testauksessa testattiin kahta eri versiota keihään lähtöparametrien mittausohjelmasta. Toinen versio oli alkuperäinen versio (JM 14) ja toinen muokattu versio (JM16). Kummallakin ohjelmalla ja keihäällä otettiin kolme heittoa. Kinect oli asetettu aiemmin määritetylle korkeudelle ja etäisyydelle.

Tulokset miesten ja naisten keihäille näkyvät alla olevissa kuvioissa, joissa näkyy prosentuaalinen ero tuloksissa verrattuna Kinectin tuloksia Simin tuloksiin (Ks. Kuvio 28 & Kuvio 29). Tulokseksi saatiin, että nopeus oli selkeästi lähempänä muokatulla versiolla, mutta sivuttaisryntökulma oli taas huomattavasti huonompi.

Sivuttaisryntökulman heitto johtui siitä, että ohjelmaan ei ollut määritelty, milloin sivuttaisryntökulma on positiivinen ja milloin negatiivinen, joten kaikki tulokset olivat positiivisia. Myös lähtökulmassa ja ryntökulmassa oli suurempaa heittoa muokatulla versiolla.



Kuvio 28 Testaus 3: Miesten keihäs



Kuvio 29 Testaus 3: Naisten keihäs

Muokatussa versiossa kuvien poisto oli tärkeä muutos, koska silloin ei tule epäonnistuneita mittauksia sen takia, ettei keihäs ole kokonaan kuvassa. Uudet kulmien laskut eivät kuitenkaan osoittautuneet paremmiksi kuin alkuperäiset, joten kokonaisuutena muokattu versio toimi huonommin kuin alkuperäinen.

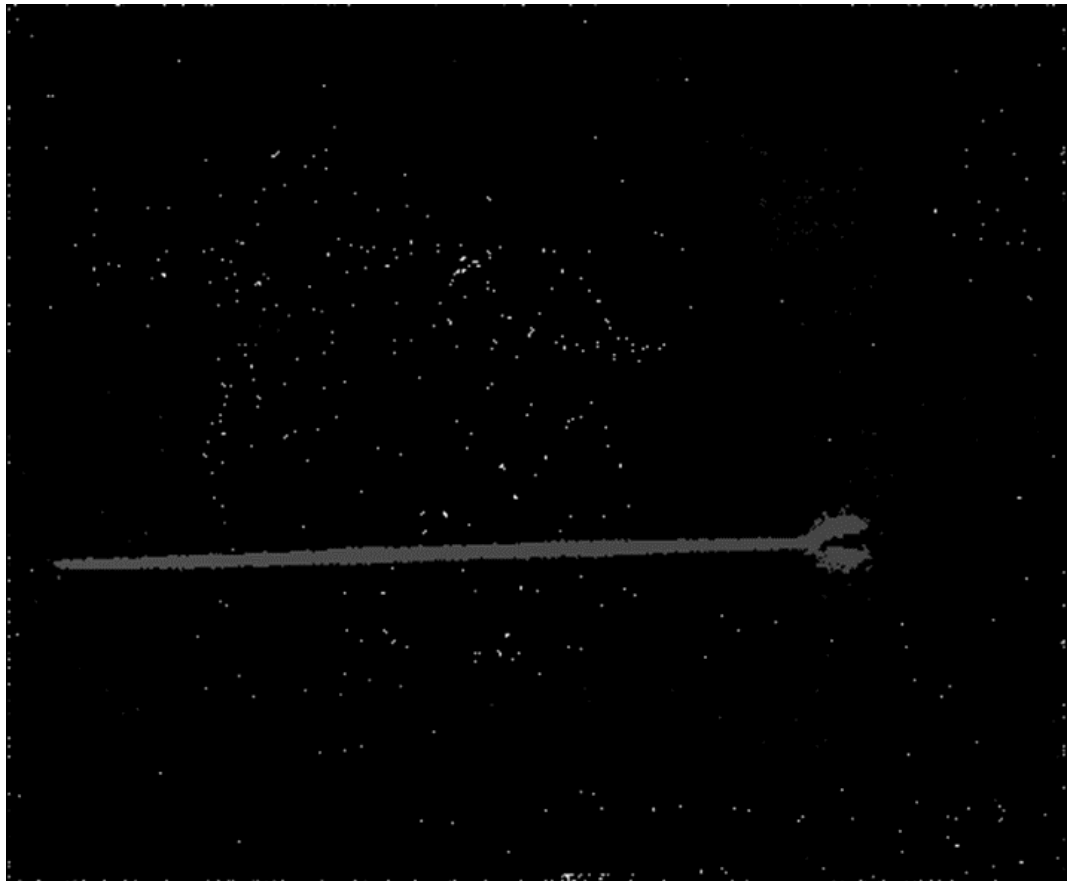
## 12.9 Keihään pituus syvyyskuvassa

Asentokulma saadaan melko tarkasti laskettua syvyyskuvasta, mutta nopeuden, lähtökulman, ryntökulman sekä sivuttaisryntökulman vaihtelu johtuu suurimmaksi osaksi tunnistetun keihään pituudesta, mutta myös syvyyspikseleiden syvyysarvojen epätarkkuudesta. Keihään pituus vaihtelee paljon kuvien välillä ja siitä johtuen myös keihään keskipisteiden välille muodostetun nopeusvektorin suunta ja pituus vaihtelevat. Jotta muistakin tuloksista kuin asentokulmasta saisi luotettavia, tulisi keihään pituus saada vakioitua siten, että kun keihäs on kokonaan Kinectin näkökentässä, se olisi saman pituinen joka kuvassa.

Keihään pituuden vakiointia yritettiin laittamalla pieni pala heijastinta keihään peräpäähän, jolloin keihään perässä syvyyskuvassa näkyy isompi tunnistettu alue (Ks.



Kuvio 30). Tämän avulla keihäs näkyisi koko pituudelta eikä peräpää katoaisi syvyyskuvassa, koska se on niin ohut, ettei siitä saada syvyyspisteitä. Testauksessa mitattiin 5 heittoa naisten keihäällä ja jokaisen heiton kuville laskettiin pituus sekä pituuksien erotus kahden kuvan välillä. Jokaisesta heitosta valittiin pienin erotus ja viiden heiton pienimpien erotuksien keskiarvoksi tuli 6.7 millimetriä. Tämä on suhteellisen pieni ero pituuksissa, joten heijastin voisi parantaa keihään tunnistusta koko matkalta. Toisaalta jos lasketaan pituuksien eroa pisimmän ja seuraavan tai edellisen kuvan keihään välillä, riippuen kumman pituus on lähempänä, keskiarvoksi tulee 29,6 millimetriä.



Kuvio 30 Syvyyskuva heijastin keihään perässä

Toisessa versiossa testattiin lääkehiili-liimamaalilla päällystetyn teipin laittamista keihään peräpäähän, jolloin ohuen peräpään ei tulisi näkyä ollenkaan syvyyskuvassa. Hiiliosa kuitenkin näkyi osittain syvyyskuvassa, joten pituudet vaihtelivat melko paljon keskenään. Viiden heiton pituuksien pienimpien erotusten keskiarvoksi tuli

16.5 millimetriä. Jos taas verrataan heittojen pisimmän ja toiseksi pisimmän keihään pituuden erotusta, tuli keskiarvoksi 63,4 millimetriä.

Pelkällä valkoisella keihäällä viiden heiton keihään pituuksien pienimmille erotuksille tuli keskiarvoksi 8.4 millimetriä sekä pisimmän ja toiseksi pisimmän keihään pituuksien erotuksen keskiarvoksi tuli 16,8 millimetriä, joten pelkkä valkoinen keihäs näkyy kuitenkin parhaiten syvyyskuvassa.

### **Keihään pituuden kompensointi**

Keihään pituudessa on melko suurta hajontaa kuvien välissä, joten se pitäisi saada kompensoitua tuloksiin. Kompensointia kokeiltiin niin, että keskipistettä siirrettiin joko eteenpäin tai taaksepäin riippuen onko keihäs liian pitkä vai liian lyhyt.

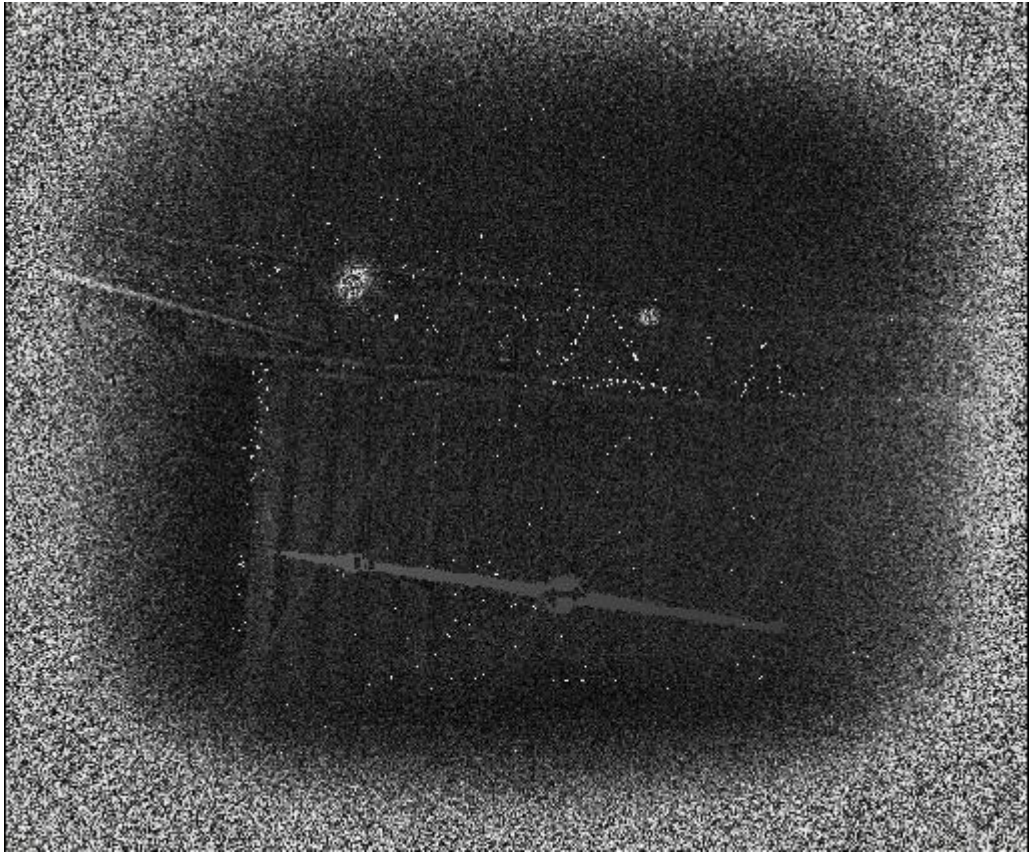
Kompensoinnissa käytetyt laskukaavat:

- $\text{Suhdeluku} = (\text{Oikea pituus} / \text{syvyyskuvasta mitattu pituus}) / 2$
- $\text{Keskipiste} = (\text{Suhdeluku} - 1) * \text{Keihään yläkärjen koordinaatti}(x,y,z) + \text{suhdeluku} * \text{Keihään alakärjen koordinaatti}(x,y,z)$

Keihään kompensoinnissa ei kuitenkaan pysty ottamaan huomioon kummasta päästä pituutta puuttuu tai sitä on liikaa, joten välillä kompensointi toimii ja välillä se heikentää entisestään tuloksia.

### **Infrapunakuvan ja syvyyskuvan yhdistäminen**

Myös infrapunakuvan ja syvyyskuvan yhdistämistä kokeiltiin, jotta syvyyskuvaan saisi lisää pikseleitä ja sitä kautta korvattua puuttuvia syvyyspikseleitä. Kun syvyyskuva ja infrapunakuva laitettiin päällekkäin, infrapunakuvassa ei kuitenkaan näkynyt pidempää keihästä kuin syvyyskuvassa (Ks. Kuvio 31). Kuvassa keihäs näkyy joko kokonaisuutena myös syvyyskuvassa tai sitten keihäs ei näy sen paremmin infrapunakuvassakaan, joten testauksen perusteella infrapunakuvan yhdistäminen ei auta keihään tunnistuksessa.



Kuvio 31 Infrapuna- ja syvyyskuva yhdistettynä

### Viitteellinen tulos

Tulosten esittämistä viitteellisellä tuloksella myös kokeiltiin niin, että tulokset ilmoitettaisiin kahden luvun välillä. Tulos voisi olla esimerkiksi, että lähtökulma on 12-15 astetta. Viitteellinen tulos laskettiin virhearvon avulla. Virhearvo laskettiin pituuden vaihtelusta ja se otettiin huomioon keihään keskipisteiden laskemisessa, joten jokaiselle keskipisteelle (x,y,z) laskettiin pienin mahdollinen arvo ja suurin mahdollinen arvo. Kulmat ja nopeus lasketaan samalla tavalla kuin aiemmin, mutta kahteen kertaan. Asentokulma on ainut mihin ei tule virhearviota, koska siihen ei vaikuta keihään pituus.

Laskukaavat:

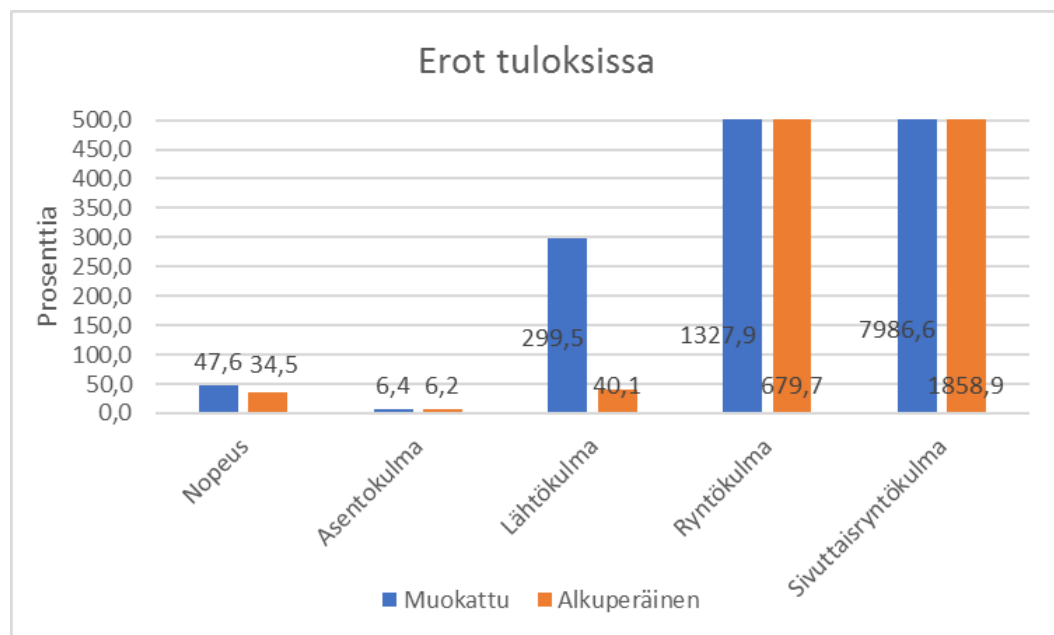
- Virhe keihään pituudessa = (laskettu pituus – oikea pituus) / oikea pituus
- Keskipiste minimi = Keskipiste - (Virhe keihään pituudessa \* keskipiste)
- Keskipiste maksimi = Keskipiste + (Virhe keihään pituudessa \* keskipiste)

Asiantuntijan mukaan viitteellinen tulos ei kuitenkaan ole hyödyllinen, koska vaihteluväli saattaa olla melko suuri, jolloin tulos ei kerro heittäjälle juuri mitään.

## 12.10 Neljäs testaus

Neljänten testaukseen tehtiin ohjelmasta versio, jossa nopeus otettiin keihään kärjen siirtymästä. Ohjelmassa otettiin myös huomioon keihään syvyyspikseleistä vain suoralle osuvat pikselit, kun taas alkuperäisessä ohjelmassa otetaan huomioon kaikki keihään syvyyspikselit massakeskipistettä laskiessa. Ohjelmassa oli myös kuvien poisto sekä keihään kulmat laskettiin alkuperäisen ohjelman tavoin. Muokattua ohjelmaa verrattiin alkuperäiseen versioon. Testaus tehtiin Simillä ja Kinectillä. Käytössä testauksessa oli miesten keihäs.

Prosentuaaliset erot tuloksissa on koottu alla olevaan kuvioon (Ks. Kuvio 32). Tulokseksi saatiin, että nopeuden mittaaminen kärjestä ei ole sen tarkempaa kuin massakeskipisteestä mitattuna. Asentokulma oli melko tarkka molemmilla ohjelmilla, mutta alkuperäisen ohjelman asentokulmat olivat 0,2 prosenttia tarkempia. Muissa kulmissa oli edelleen isoja eroja, varsinkin ryntö- ja sivuttaisryntökulmissa, joten neljänten testaukseen tehdyt muutokset eivät osoittautuneet paremmiksi.



Kuvio 32 Testaus 4 tulokset

Testauksessa yksittäisten heittojen nopeudet olivat melko lähellä Simin arvoja, mutta siltikään lähtökulma, ryntökulma tai sivuttaisryntökulma ei pitänyt paikkaansa.

Otetaan esimerkiksi toinen heitto, jossa muokatun version nopeus ja asentokulma vastaavat melko tarkasti Simin arvoja (Ks. Kuvio 33). Nopeuden perusteella tunnistus on onnistunut hyvin, mutta nopeuden suuntainen suora on jollakin tavalla väärään suuntaan, josta johtuu, että lähtökulma, ryntökulma ja sivuttaisryntökulmat eivät pidä paikkaansa.

Heitto 2						
	Nopeus päästä	Nopeus keskeltä	Asentokulma	Lähtökulma	Ryntökulma	Sivuttaisryntökulma
Simi	13,601	14,108	30,594	24,019	6,575	2,168
Tiia	13,2		30,1	13,7	17	7,7
Simo		21,9	29,8	15	15,6	-4,9

Kuvio 33 Heitto 2 tulokset

### 13 Tulokset ja johtopäätökset

Testausten kautta tulokseksi saatiin, että Kinectillä ei pysty luotettavasti mittaamaan muita kulmia kuin asentokulmia, joten Kinect ei näiden testausten perusteella sovellu keihään lähtöparametrien määrittämiseen. Tämä johtuu siitä, että Kinect ei pysty tunnistamaan keihästä riittävän tarkasti. Asentokulma mitataan vain yhdestä kuvasta, kun taas lähtöparametreihin vaikuttaa massakeskipisteen siirtymä kahden kuvan välillä. Asentokulmaan ei myöskään vaikuta se, että keihästä ei ole tunnistettu kokonaan, koska keihään asento vaakatasoon nähden on suurin piirtein sama keihään joka kohdassa. Jokaisessa testauksessa asentokulmat olivat lähellä Simillä saatuja arvoja, joten sen perusteella keihästä saadut syvyysarvot pitävät paikkaansa yksittäisissä kuvissa.

Ongelmaksi nousi keihään tunnistus, koska keihään pituudet vaihtelivat paljon yhden heiton kuvien välillä. Keihään tunnistusta yritettiin parantaa erilaisilla materiaaleilla, mutta testauksissa ei löytynyt valkoista maalia parempaa materiaalia, joka heijastaisi infrapunasäteilyä paremmin. Myös keihään ohuen kärjen päällystystä kokeiltiin materiaalilla, joka ei heijasta infrapunasäteilyä. Sellaista materiaalia ei kuitenkaan löytynyt, joka tekisi keihään kärjestä aivan näkymättömän. Keihään laskennallista pituutta yritettiin pidentää matemaattisesti sekä yhdistämällä infrapunakuva

syvyyskuvaan, mutta myöskään niiden avulla keihään pituuksia ei saatu vakioitua. Koska keihästä ei aina saada Kinectillä tunnistettua kokonaan, johtaa se siihen, että myöskään nopeutta ei saada mitattua luotettavasti.

Testauspaikalla oli vaikutusta keihään tunnistukseen, koska ulkona auringosta säteilee infrapunasäteilyä, joka häiritsee keihään tunnistusta. Kinect toimii parhaiten sisätiloissa, mutta huonekorkeuden tulee olla korkea, jotta Kinect ei tunnista kattoa. Toisaalta syvyyskuvasta voidaan suodattaa tietyn etäisyyden ylittävät kohteet pois, joten matala huonekorkeus ei välttämättä ole ongelma.

Kinect on tällä hetkellä edullisin ja käyttökelpoinen syvyyskamera, mitä markkinoilla on, mutta siltikään sen ominaisuudet eivät yllä vaadittavalle tasolle, jotta syvyyskameralla voitaisiin korvata suurnopeuskamerat. StarForm 3D- kamera on vastaavista laitteista ainut millä keihään voisi saada tarkemmin tunnistettua suuremman resoluution avulla. Toisaalta StarForm 3D- kamerassa on sama kuvataajuus kuin Kinectissä sekä syvyysarvojen tarkkuudeksi ilmoitetaan alle 1 senttimetri, kun taas Kinectillä se on 4 millimetriä, joten saattaa olla, että Kinectillä mitattuna syvyysarvot ovat kuitenkin tarkempia. Apple julkaisi myös uuden iPhone X:n, jossa yksi ominaisuus on kasvojentunnistus infrapunavälillä. Infrapunakameran tarkkoja ominaisuuksia ei ole julkaistu, joten vielä ei pystytä sanomaan soveltuisiko puhelin keihään lähtöparametrien mittaukseen. Jos iPhone X:n infrapunakameran resoluutio ja tarkkuus ovat paremmat kuin Kinectissä, iPhone X voisi olla vaihtoehto keihään tunnistukseen.

Opinnäytetyön lopputulokseksi syntyi ohjelma, jolla mitataan keihään asentokulmaa. Ohjelma tehtiin KIHUn suunnitteleman ohjelman pohjalta, mutta siihen lisättiin kuvien poisto sekä kuvan valitseminen pisimmän keihään mukaan. Ohjelmassa on myös ohjeet Kinectin sijoittamisesta ja laskuri, joka laskee Kinectin etäisyyden maanpinnasta heittäjän pituuden mukaan. Ohjelma on virtuaalinen apuvalmentaja keihäänheittoon, joka kertoo keihään asentokulman. Ohjelma toimii Windows-koneilla. Ohjelma on tarkoitettu nuorille ja aloitteleville keihäänheittäjille, jotka vielä hakevat oikeaa heittosuuntaa. Opinnäytetyössä ei selvitetty keihäänheiton harrastajien mielipiteitä ohjelmasta.

Ohjelmaan voi asettaa tavoitekulman, johon heitossa pyritään ja ohjelma ilmoittaa heiton jälkeen, kuinka paljon heiton oikean asentokulman ja tavoitekulman välillä on eroa. Ohjelma antaa myös kommentin heitosta, kuinka hyvin heitto onnistui. Kommentti määräytyy asentokulman ja tavoitekulman välisen eron mukaan. Jos kulmien ero on 3 astetta tai vähemmän, kommentiksi tulee ”Hyvä heitto”. Jos taas kulmien ero on yli 3 astetta, mutta alle 8 astetta, kommentiksi tulee ”Heitä hieman alemmas” tai ”Heitä hieman ylemmäs”, riippuen siitä kumpaan suuntaa ero on. Jos kulmien ero on yli 8 astetta, kommentiksi tulee ”Heitä alemmas” tai ”Heitä ylemmäs”. Kommenttien tarkoitus on antaa heittäjälle välittömästi palautetta heitosta. Kommentti näkyy ohjelmassa sekä se tulee tietokoneelta ääneen sanottuna, jotta tietokoneen näyttöä ei tarvitsisi välttämättä koko ajan katsoa. Liitteestä 1 löytyy ohjelman ulkoasu. Ohjelman ulkonäöstä on vastannut KIHU:n graafinen suunnittelija Harri Kapustamäki.

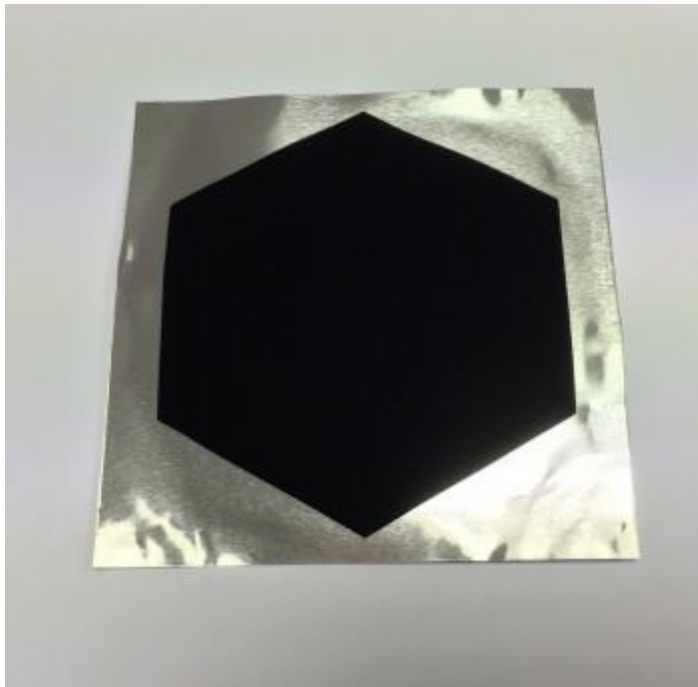
### 13.1 Jatkokehitys

Tunnistusongelman ratkaisemiseen tarvittaisiin tarkempaa tutkimusta Kinectin x-y-suuntaisesta tarkkuudesta, koska esimerkiksi neljännessä testauksessa huomattiin ongelma, että vaikka heiton nopeus ja asentokulmat ovat oikein, muut kulmat saattavat heittää oikeasta tuloksesta melko paljonkin. Pitäisi selvittää johtuuko tämän kaltaiset ongelmat siitä, että Kinectillä ei saada tarpeeksi tarkkoja arvoja x-y-suunnassa, johtuen syvyyskuvan matalasta resoluutiosta. Kappaleessa 13 laskettiin syvyyskuvan tarkkuutta ja esimerkiksi neljässä metrissä pikselin sivunpituus on jo yli yhden senttimetrin, joten jos 2,2 metrin pituinen keihäs on neljässä metrissä suorassa, siitä saadaan noin 220 eri syvyysarvoa. Vaikka syvyysarvot itsessään ovat tarkkoja, syvyysarvo jakautuu aina yhdelle pikselille, joten x-y-suunnassa syvyysarvon paikka ei välttämättä ole oikea.

Myös keihään tunnistusta pitäisi saada vakioitua niin, että keihäs tunnistettaisiin joka kerralla samalla tavalla. Tällä hetkellä keihään tunnistus saattaa vaihdella melko paljonkin kahden eri heiton välillä, vaikka ne olisivat samanlaiset. Kinectissä on kaksi tai kolme infrapunalähetintä, mutta niiden lisääminen voisi mahdollisesti tarkentaa tunnistusta. Myös eri taajuuden kokeileminen voisi olla hyödyllistä, koska

materiaalien emissiivisyysarvot vaihtelevat hieman eri taajuuksilla, joten myös materiaalien näkyvyys voi vaihdella eri aallonpituuksilla.

Keihään päällystäminen materiaalilla, joka ei heijasta infrapunasäteilyä ollenkaan, voisi olla keino saada keihään tunnistuksesta parempi. Kyseisellä materiaalilla voisi päällystää ohuet kärjet ja jättää keihään keskeltä esimerkiksi 50 senttimetriä näkyviin. Tällaisia materiaaleja ovat esimerkiksi Surrey NanoSystems- yrityksen kehittämä Vantablack (Ks. Kuvio 34), joka on tällä hetkellä mustinta materiaalia, jota ihmisen on pystynyt kehittämään. Vantablack sisältää ohuita nanoputkia, jotka kasvatetaan tyhjiössä. Ne imevät materiaaliin kohdistuvan valon melkein kokonaan. Lähi-infrapunan alueella Vantablackin heijastavuus on 0,10% eli sen emissiivisyys arvo on 0.99. Vantablackin myynti on rajallista ja sitä myydään vai harvoille asiakkaille. (Vantablack N.d) Vantablackista on kehitetty myös spraymaali versio nimeltään Vantablack S-VIS, jonka heijastavuus on 0.23%. Vantablack S-VIS on joustavampaa kuin alkuperäinen, joten se soveltuu monenlaisiin materiaaleihin päällysteeksi. (S-VIS N.d)



Kuvio 34 Vantablack-näytepala (Samples & Development N.d)



Myös muita saman tyyppisiä maaleja markkinoilta löytyy. Esimerkiksi LabIR® on kehittänyt spraymaalin lämpötilamittauksiin. Spraymaalin avulla pystytään tekemään tarkkoja lämpötilamittauksia infrapunakameralla, koska kyseisellä maalilla päällystetyt kohteet eivät säteile infrapunasäteilyä, eikä siten häiritse mittausta. Tuotteen emissiivisyysarvo on 0.95. (Thermographic paint for standard application N.d)

## 13.2 Muut käyttökohteet

Lähtöparametrien määrittämisohjelmaa todennäköisesti ei voi soveltaa sellaisenaan muihin urheilulajeihin, koska niissä vastaan tulisivat samat ongelmat. Pallon tunnistusta testattiin opinnäytetyössä, mutta siinä korostui kuvattavan kohteen venyminen matalan kuvataajuuden takia. Tämän takia myöskään muihin heittolajeihin, kuten kuulantyöntöön, moukarin tai kiekon heittoon Kinect tuskin soveltuu.

Kinect voisi soveltua paremmin sellaiseen liikeanalyysiin, jossa liikkeet ovat hitaampia, johtuen Kinectin matalasta kuvataajuudesta. Tässä opinnäytetyössä ei perehdytty Kinectin nivelpisteiden tunnistus-ominaisuuteen, mutta sitä voisi testata esimerkiksi kävelytekniikan analysoimiseen tai yksittäisten harjoitteiden tekniikan analysointiin esimerkiksi painonnostossa.

## 14 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää keihään lähtöparametrien mittausohjelma käyttäen Kinectiä, mutta kuten tutkimuksen tuloksena todettiin Kinectin tarkkuus ei riitä tarkkaan keihään tunnistukseen. Tämän vuoksi muiden kuin asentokulman mittaaminen tarkasti keihäästä on mahdotonta. Vaikka opinnäytetyössä ei päästy haluttuun lopputulokseen, oli opinnäytetyö siitä huolimatta hyödyllinen ja toi lisää informaatiota Kinectistä ja sen käyttömahdollisuuksista.

Opinnäytetyö oli haastava, koska aihepiiri ei ollut entuudestaan kovinkaan tuttu, joten se vaati paljon teoriaan perehtymistä. Aihe kuitenkin oli ajankohtainen ja tulevaisuuden kannalta oli hyödyllistä tutustua aiheeseen, koska

infrapunakameroiden hyödyntäminen teknologiassa ja kuvantamisessa tulee varmasti yleistymään ja kehittymään.

Teoria-osuus toimi työssä johdatuksena aiheeseen ja sen pohjalta Kinectistä ja sen toiminnasta sai kattavaa informaatiota. Teoria-osuudessa referoiduista tutkimuksista kävi ilmi, että Kinectin tunnistusominaisuudessa on rajoitteita eri materiaalien ja värien kohdalla. Samat asiat todettiin myös työssä, joten ne tukivat tutkimistuloksia. Toisaalta liikkuvan kappaleen tunnistuksesta ei löytynyt juurikaan tutkimustietoa, joten sen osalta työ toi siitä uutta asiaa. Työtä voidaan jatkossa hyödyntää, kun mietitään Kinectin soveltuvuutta ja käyttökohteita. Kinectin syvyyskuvan tarkkuuteen liittyen jäi epäselvyyksiä ja jatkokehitystä ajatellen olisi ensimmäinen tehtävä selvittää, mistä keihään lähtöparametrien suuret erot johtuvat. Selvittäminen vaatii syvyyskuvan tarkempaa tarkastelua.

Opinnäytetyön luotettavuuteen vaikuttaa se, että työssä käytetyt laitteistot ja ohjelmat eivät olleet entuudestaan tuttuja. Esimerkiksi Simi Motion- ohjelmalla tehtyjen testausten tulokset saattavat erota hieman todellisista arvoista, mutta testien tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia. Myös testauksissa heittojen määrä olisi voinut olla suurempi, jotta oltaisiin saatu enemmän tuloksia ja sitä kautta varmempaa tietoa ohjelman toiminnasta. Mataliin heittomääriin päädyttiin, koska testien analysointi Simi Motion- ohjelmalla oli työlästä. Testien heittomäärät riittävät kuitenkin johtopäätösten tekemiseen.

## Lähteet

About. N.d. Viitattu 30.8.2017. <http://www.arielnet.com/company/about>

Amon, C., Fuhrmann F. 2014. Evaluation of the spatial resolution accuracy of the Face tracking system for kinect for windows v1 and v2. Austrian Acoustics Assosation.

Viitattu 20.5.2017.

<https://pdfs.semanticscholar.org/b4d0/8a2ceb8083f097271cbbf38d39c086c4708f.pdf>

Applications. N.d. Artikkelisi SIMI®-sivuilla. Viitattu 29.5.2017

<http://www.simi.com/en/applications.html?type=rss%B4a%3D0>

AV-tekniikan perusteet. N.d. Viitattu 22.9.2017.

<https://sites.google.com/site/avtekniikanperusteet/kuvakoot-ja-kuvasuhteet>

Campos, J., Brizuela, G. & Ramon, V. 2004 .Three-dimensional kinematic analysis of elite javelin throwers at the 1999 IAAF World Championships in Athletics. Viitattu 5.6.2017.

Castaneda, V., Navab, N. 2011. Time-of-Flight and Kinect Imaging. Viitattu 11.5.2017.

[http://campar.in.tum.de/twiki/pub/Chair/TeachingSs11Kinect/2011-DSensors\\_LabCourse\\_Kinect.pdf](http://campar.in.tum.de/twiki/pub/Chair/TeachingSs11Kinect/2011-DSensors_LabCourse_Kinect.pdf)

Characteristics and use of infrared detectors. N.d. Viitattu 13.6.2017.

<http://www.slac.stanford.edu/grp/arb/tn/arbvol5/AARD460.pdf>

Cippitelli, E., Grasparrini, S., Gampi, E., Spinsante, S., Wähslén, J., Orban, I., Lindh, T. 2015. Time Synchronization and Data Fusion for RGB-Depth Cameras and Inertial Sensors in AAL Applications. Viitattu 7.6.2017.

[https://www.researchgate.net/profile/Thomas\\_Lindh/publication/282294355\\_Time\\_Synchronization\\_and\\_Data\\_Fusion\\_for\\_RGBDepth\\_Cameras\\_and\\_Inertial\\_Sensors\\_in\\_AAL\\_Applications/links/560af48108ae576ce640f609.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Lindh/publication/282294355_Time_Synchronization_and_Data_Fusion_for_RGBDepth_Cameras_and_Inertial_Sensors_in_AAL_Applications/links/560af48108ae576ce640f609.pdf)

Digikameroiden kennotyyppien eroja. 2013. Viitattu 15.6.2017.

[http://digifaq.info/digi\\_omat/kennot.html](http://digifaq.info/digi_omat/kennot.html)

Digitaalinen kuvankäsittely. N.d. Luentomateriaali. Oulun yliopisto, sähkö- ja tietotekniikan osasto. Viitattu 4.6.2017.

<http://www.ee.oulu.fi/research/imag/courses/dkk/dkkaalvot.pdf>

Emissivity table. N.d. Viitattu 7.6.2017.

[https://thermometer.co.uk/img/documents/emissivity\\_table.pdf](https://thermometer.co.uk/img/documents/emissivity_table.pdf)

Fotonic G-series 2017. N.d. Viitattu 13.7.2017. [http://www.fotonic.com/wp-content/uploads/2017/06/Fotonic\\_G-series\\_2017\\_4.pdf](http://www.fotonic.com/wp-content/uploads/2017/06/Fotonic_G-series_2017_4.pdf)

FQ2- konenäköanturi. N.d. Viitattu 30.6.2017.

[https://assets.omron.eu/downloads/brochure/fi/fq2\\_brochure\\_fi.pdf](https://assets.omron.eu/downloads/brochure/fi/fq2_brochure_fi.pdf)

Hakkarainen, M. 2007. Valokuvauksen tekniikkaa. Viitattu 13.6.2017.

[http://mikaHakkarainenm.arkku.net/Valokuvauksen\\_tekniikkaa.pdf](http://mikaHakkarainenm.arkku.net/Valokuvauksen_tekniikkaa.pdf)

- HART International Javelins. N.d. Viitattu 20.6.2017.  
<https://www.hartsport.com.au/hart-challenge-javelin-400g>
- HDL-64E Data Sheet. N.d. Viitattu 19.6.2017.  
[http://velodynelidar.com/docs/datasheet/63-9194\\_Rev-F\\_HDL-64E\\_S3\\_Data%20Sheet\\_Web.pdf](http://velodynelidar.com/docs/datasheet/63-9194_Rev-F_HDL-64E_S3_Data%20Sheet_Web.pdf)
- HDL-64E. N.d. Viitattu 19.6.2017. <http://velodynelidar.com/hdl-64e.html>
- High-speed camera selection. 2017. Viitattu 13.6.2017.  
<http://axpro.mines.edu/documents/HIGH%20SPEED%20CAMERA%20SELECTION%20.pdf>
- High-speed recording systems. N.d. Artikkele SIMI®-sivuilla. Viitattu 29.5.2017.  
<http://www.simi.com/en/applications/industry/high-speed-recording-systems.html>
- Historia. N.d. Artikkele KIHUn sivustolla. Viitattu 10.5.2017.  
<https://www.kihu.fi/etusivu/kihu/historia/>
- Ihalainen, S. 2017. Asiantuntija. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU.
- Increasing Emissivity. N.d. Viitattu 6.6.2017. <http://www.optotherm.com/emiss-increasing.htm>
- Intel RealSense. N.d. Viitattu 13.9.2017. <https://software.intel.com/en-us/realsense/sr300>
- Introduction. N.d. Viitattu 30.8.2017. <http://www.arielnet.com/apas>
- Jana, A. 2012. Kinect for windows SDK programming guide. Packt Publishing. Viitattu 10.5.2017
- Javelin. N.d. Viitattu 20.6.2017. <https://www.brianmac.co.uk/javelin/index.htm>
- Kean, S., Hall, J. 2011. Meet the Kinect. Springer: New York. Viitattu 14.9.2017.
- Kettunen L., Nieminen T., Suurniemi S., Särkkä O., 2016, Augmented inertial measurement for analysis of javelin throwing mechanics. Tieteellinen artikkeli. Viitattu 31.8.2017.
- Kinect for Windows SDK- sovellus. N.d. Viitattu 15.5.2017
- Kitagawa, M. Windsor, B. 2008. MoCap for Artists. Published by Elsevier Inc. Viitattu 19.6.2017.
- Kok Wai. N.d. Luentomateriaali. Viitattu 14.6.2017  
[http://www.hkfira.org/webhp/upload/fir\\_105/20090828-02%20-%20Prof%20Cheah%20-%20HKBU%20-%20Fundamental%20of%20FIR.pdf](http://www.hkfira.org/webhp/upload/fir_105/20090828-02%20-%20Prof%20Cheah%20-%20HKBU%20-%20Fundamental%20of%20FIR.pdf)
- Kolb, A., Lefloch D., Sarbolandi, H. 2015. Kinect Range Sensing: Structured-Light versus Time-of-Flight Kinect. Viitattu 11.5.2017.  
<https://arxiv.org/pdf/1505.05459.pdf>
- Konenäkö robotin ohjauksessa. N.d. Viitattu 19.6.2017.  
[http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c\\_teorija.pdf](http://automation.tkk.fi/attach/AS-0-2230/lab3c_teorija.pdf)

- Lachat, E., Macher, H., Mittet, M-A., Landes, T., Grussenmeyer, P. 2015. First experiences with kinect v2 sensor for close range 3d modelling. ResearchGate, Conference Paper, 93-100. Viitattu 15.5.2017. Google.scholar.fi  
[https://www.researchgate.net/profile/Pierre\\_Grussenmeyer/publication/274352936\\_First\\_experiences\\_with\\_kinect\\_V2\\_sensor\\_for\\_close\\_range\\_3D\\_modelling/links/551bd54c0cf20d5fbde216a8/First-experiences-with-kinect-V2-sensor-for-close-range-3D-modelling.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Pierre_Grussenmeyer/publication/274352936_First_experiences_with_kinect_V2_sensor_for_close_range_3D_modelling/links/551bd54c0cf20d5fbde216a8/First-experiences-with-kinect-V2-sensor-for-close-range-3D-modelling.pdf)
- Lajit. N.d. Artikkeliki KIHUn sivustolla. Viitattu 10.5.2017.  
<https://www.kihu.fi/etusivu/valmennuksen-tuki/lajit-ja-urheilijat/>
- Lehto, Havukainen, Leskinen, Luoma. 2007. Fysiikka 8, aine ja säteily. Oppikirja. 11–12., Kustannusosakeyhtiö Tammi. Viitattu 20.6.2017
- Mattson, V. Mårtensson, T. 2014. Viability of Using Markerless Motion Capture. Viitattu 16.6.2017. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:731552/FULLTEXT01.pdf>
- Meyer, M-P., Read, P. 2000. Restoration of motion picture film.
- Microsoft Kinect. N.d. Viitattu 11.5.2017. <http://www.xbox.com/fi-FI/xbox-one/accessories/kinect>
- Mission and history. N.d. Artikkeliki SIMI®-sivuilla. Viitattu 29.5.2017  
<http://www.simi.com/en/about-us/mission-and-history.html?type=%27rs%27A%3D0>
- Modern Markerless Motion Capture Technology. N.d. Viitattu 16.6.2017.  
<http://www.organicmotion.com/motion-capture/>
- Omron. N.d. Viitattu 20.6.2017.  
[https://www.airlinehyd.com/literature\\_catalog/omron/fq%20smart%20camera.pdf](https://www.airlinehyd.com/literature_catalog/omron/fq%20smart%20camera.pdf)
- Optiikkaa valokuvaajille. N.d. Viitattu 14.6.2017.  
[http://digifaq.info/digi\\_omat/optiikka/](http://digifaq.info/digi_omat/optiikka/)
- Ozturk, A., Tartar, A., Huseyinsinoglu, B., Ertas, A. 2015. A clinically feasible kinematic assessment method of upper extremity motor function impairment after stroke. Viitattu 15.9.2017.  
[https://www.researchgate.net/publication/285549292\\_A\\_Clinically\\_Feasible\\_Kinematic\\_Assessment\\_Method\\_of\\_Upper\\_Extremity\\_Motor\\_Function\\_Impairment\\_after\\_Stroke?pfa](https://www.researchgate.net/publication/285549292_A_Clinically_Feasible_Kinematic_Assessment_Method_of_Upper_Extremity_Motor_Function_Impairment_after_Stroke?pfa)
- Pagliari, Pinto. 2015. Calibration of Kinect for Xbox One and Comparison between the Two Generations of Microsoft Sensors. Viitattu 8.6.2017.  
<http://www.mdpi.com/1424-8220/15/11/27569/html>
- Peltonen, S. 2007. SGN-3010: Digitaalinen kuvankäsittely. 1-10. Tampereen teknillinen yliopisto, signaalikäsittelyn laitos. Viitattu 4.6.2017.  
[http://cna.mamk.fi/Public/ReijoVuohelainen/Kuvan\\_ ja\\_%C3%A4%C3%A4nenk%C3%A4sittely/Tekstimateriaalia/Digitaalinen%20kuvank%C3%A4sittely%20luvut1-2.pdf](http://cna.mamk.fi/Public/ReijoVuohelainen/Kuvan_ ja_%C3%A4%C3%A4nenk%C3%A4sittely/Tekstimateriaalia/Digitaalinen%20kuvank%C3%A4sittely%20luvut1-2.pdf)
- Physics of Emissivity. N.d. Viitattu 6.6.2017. <http://www.optotherm.com/emiss-physics.htm>

Primesense 3D sensors. N.d. Viitattu 8.6.2017.

<http://www.i3du.gr/pdf/primesense.pdf>

Products. N.d. Artikkelisi SIMI®-sivuilla. Viitattu 29.5.2017

<http://www.simi.com/en/products/movement-analysis.html?type=rss%B4a%3D0>

Purchasing. N.d. Viitattu 18.7.2017.

<https://www.surreynanosystems.com/purchasing>

Quesada, J. 2017. Application of infrared thermography in sport science. 31. Springer international publishing: Spain. Viitattu 14.6.2017

R&D and industrial applications for Near Infrared (NIR) cameras. N.d. Viitattu 14.6.2017.

[http://support.flir.com/appstories/AppStories/R&D/Near Infrared \(NIR\) cameras E N.pdf](http://support.flir.com/appstories/AppStories/R&D/Near%20Infrared%20(NIR)%20cameras%20E%20N.pdf)

S-VIS. N.d. Viitattu 26.9.2017. <https://www.surreynanosystems.com/vantablack-s-vis>

Saari, M. 2012. Valokuvauksen perusteita: Polttoväli. Viitattu 8.6.2017.

<http://www.mikkosaari.fi/polttovaeli/>

Samples & Development. N.d. Viitattu 8.9.2017.

<https://www.surreynanosystems.com/vantablack/samples-development>

Simi Motion 2D/3D. N.d. Artikkelisi SIMI®-sivuilla. Viitattu 29.5.2017

<http://www.simi.com/en/products/movement-analysis/simi-motion-2d3d.html?type=rss%C3%83%C2%82%C3%82%C2%B4a%3D0>

Simi Shape 3D. N.d. Artikkelisi SIMI®-sivuilla. Viitattu 29.5.2017

<http://www.simi.com/en/products/movement-analysis/markerless-motion-capture.html>

SR4000/SR4500 User Manual. N.d. Viitattu 20.6.2017.

[http://www.realtechsupport.org/UB/SR/range\\_finding/SR4000 SR4500 Manual.pdf](http://www.realtechsupport.org/UB/SR/range_finding/SR4000_SR4500_Manual.pdf)

StarForm Borchure. N.d. Viitattu 13.7.2017. [http://www.odos-imaging.com/wp-content/uploads/2016/05/starform 3d camera brochure web 2016011.pdf](http://www.odos-imaging.com/wp-content/uploads/2016/05/starform_3d_camera_brochure_web_2016011.pdf)

Strategia. N.d. Artikkelisi KIHUn sivustolla. Viitattu 10.5.2017.

<https://www.kihu.fi/etusivu/kihu/strategia/>

Technology overview. N.d. Viitattu 19.6.2017.

<http://www.advancedscientificconcepts.com/technology/technology.html>

The Electromagnetic Spectrum. N.d. Viitattu 7.6.2017.

[https://www.miniphysics.com/electromagnetic-spectrum\\_25.html](https://www.miniphysics.com/electromagnetic-spectrum_25.html)

Thermographic paint for standard application. N.d. Viitattu 15.9.2017.

<http://paints.labir.eu/paint/thermographic-paint-for-standard-applications#basic-info>

Asiantuntijatoiminta. N.d. Artikkelisi KIHUn sivustolla. Viitattu 10.5.2017.

<https://www.kihu.fi/etusivu/valmennuksen-tuki/asiantuntijatoiminta/>

- Toiminnan kuvaus. N.d. Artikkele KIHUn sivustolla. Viitattu 10.5.2017.  
<https://www.kihu.fi/etusivu/tutkimus/toiminnan-kuvaus/>
- TigerCub 3D Flash LIDAR™ with Zephyr Laser Camera. N.d. Viitattu 19.6.2017.  
<http://www.advancedscientificconcepts.com/products/tigercub.html>
- Toulouevski, Zinurov. 2010. Innovation in electric arc furnaces. 57. Viitattu 12.6.2017
- Utriainen, E. 1987. Keihäänheitto. Viitasaari: Suomen Urheiluliitto. Viitattu 28.5.2017.
- Valgma, L. 2016. 3D reconstruction using Kinect v2 camera. Opinnäytetyö. Viitattu 17.9.2017. <https://www.tuit.ut.ee/sites/default/files/tuit/atprog-courses-bakalaureuset55-loti.05.029-lembit-valgma-text-20160520.pdf>
- Valleala, R. 2002. Keihäänheittosuorituksen biomekaaniset muuttujat ja niiden yksilöllisyys kahden eri heittäjän suorituksissa. Pro Gradu – tutkielma. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 28.5.2017.  
<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/13575/rivallea.pdf?sequence=1>
- Valleala, R. 2016. Täydellisen heiton metsästys – näillä eväillä suomalaiset hakevat olympiakultaa. Uutinen. Viitattu 14.6.2017. <http://www.hs.fi/urheilu/art-2000002913872.html>
- Vantablack Samples and Development. N.d. Viitattu 19.7.2017.  
<https://www.surreynanosystems.com/vantablack/samples-development>
- Vantablack. N.d. Viitattu 18.7.2017.  
<https://www.surreynanosystems.com/vantablack>
- Wasenmuller, O., Stricker, D. N.d. Comparison of Kinect v1 and v2 Depth Images in Terms of Accuracy and Precision. Viitattu 19.6.2017.  
[https://www.researchgate.net/profile/Oliver\\_Wasenmueller/publication/30861218\\_Comparison\\_of\\_Kinect\\_v1\\_and\\_v2\\_Depth\\_Images\\_in\\_Terms\\_of\\_Accuracy\\_and\\_Precision/links/57e8e87908ae9227da9f447e.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oliver_Wasenmueller/publication/30861218_Comparison_of_Kinect_v1_and_v2_Depth_Images_in_Terms_of_Accuracy_and_Precision/links/57e8e87908ae9227da9f447e.pdf)
- What is Emissivity. N.d. Viitattu 6.6.2017. <http://www.optotherm.com/emiss-what.htm>
- Vierola, S. 2017. Laboratorioinsinööri. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU.
- Xbox Onen Kinect. N.d. Viitattu 10.5.2017. <http://www.xbox.com/fi-FI/xbox-one/accessories/kinect>
- Xtion Pro. N.d. Viitattu 8.6.2017. [https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion\\_PRO/overview/](https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion_PRO/overview/)
- Yang, L., Zhang, L., Dong, H., Alelaiwi, A., El Saddik, A. 2015. Evaluating and Improving the Depth Accuracy of Kinect for Windows v2. Viitattu 10.9.2017.  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/7067384/metrics>
- Yhteystiedot. N.d. Artikkele KIHUn sivustolla. Viitattu 10.5.2017.  
<https://www.kihu.fi/yhteystiedot/>
- ZED. N.d. Viitattu 13.9.2017 <https://www.stereolabs.com/zed/specs/>

## **Liitteet**

Liite 1.



# KEIHÄSKOUTSARI

HEITTÄJÄN PITUUS:

1.85 M

TAVOITTEKULMA:

35 ASTETTA

ASETA KINECT 2 METRIN ETÄISYDELLE HEITTO-  
VIIVASTA JA 0.95 METRIN KORKEUDELLE.

ALOITTA



VARMISTA, ETTÄ KINECT ON OIKEIN PÄIN  
JA OSOITTAA SUOJAN VUOSPÄIN SEKÄ ON  
SUUNNITTU HEITTO-SUUNNAN MUHARISESTI.

