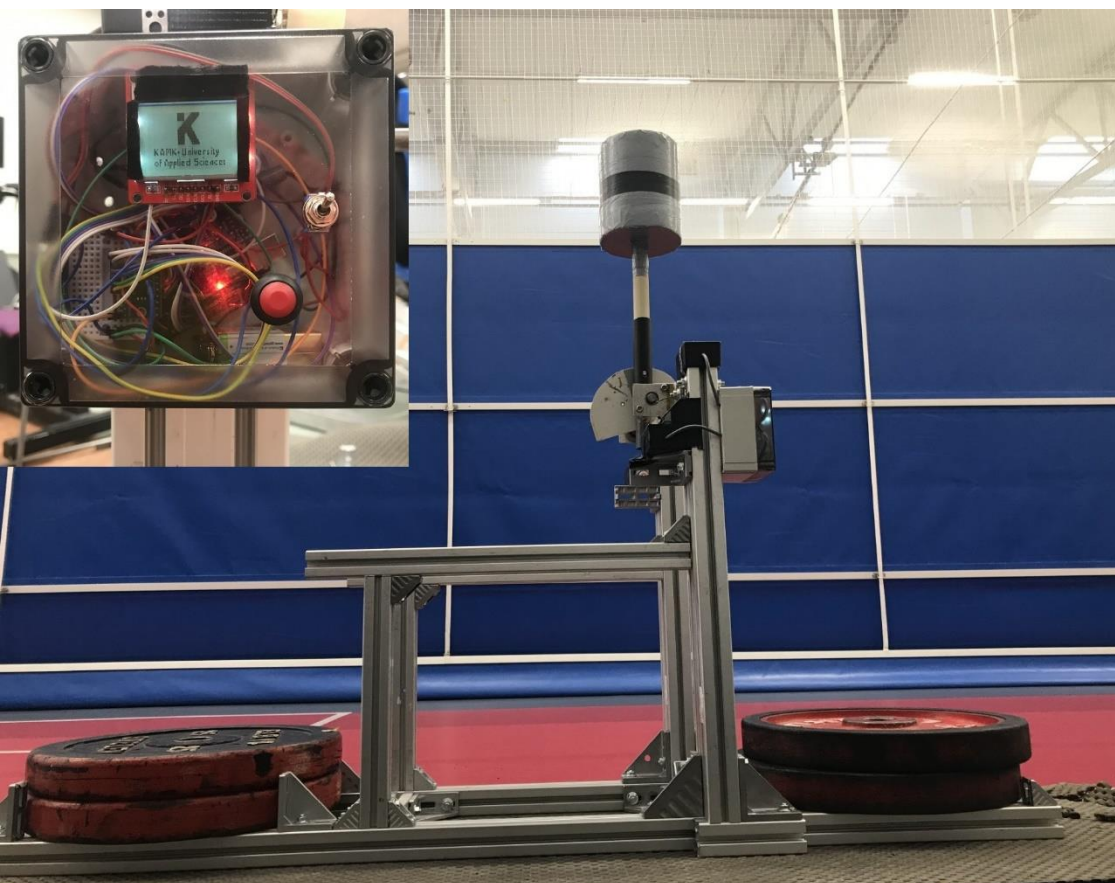


Jere Kemppainen

## Pesäpallolyönnin mittauslaitteen prototyyppi



Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintätekniikka

Kevät 2024



KAMK • University  
of Applied Sciences

## Tiivistelmä

**Tekijä:** Kempainen Jere

**Työn nimi:** Pesäpallolyönnin mittauslaitteen prototyyppi

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

**Asiasanat:** pesäpallo, mittauslaite, projekti, liikuntateknologia

Pesäpalloon liittyvää tutkimustyötä on tehty varsin vähän. Lajin suoritustavat ovat monimutkaisia ja niiden analysointia julkisesti on toteutettu niukasti. Pesäpallolyönti on yksi lajin tärkeimmistä suorituksista. Sen tekniseen toteutukseen liittyy paljon olettamuksia, kuten esimerkiksi vauhdinoton merkitys lyöntisuorituksessa. Lähes jokaisen lyöjän lyöntitekniikan ollessa erilainen on hankalaa arvioida lyöntien teknistä paremmuutta. Tekniikan lisäksi jokaisella lyöjällä on erilaiset voimaominaisuudet, jotka vaikuttavat lopputulokseen olennaisesti. Tähän mennessä suurin osa lyönnin testaamisesta on tapahtunut mittaamalla pallon nopeutta nopeustutkalla. Nopeustutkatestien heikkous on tulosten varsin suuri riippuvuus hyvästä osumasta palloon.

Tässä työssä pyrittiin kehittämään ja rakentamaan laite, jonka avulla voitaisiin testata pesäpallolyöntiä paikallaan olevan kohteeseen. Laitteen prototyyppi kehitettiin osana mittausmenetelmäkehitystä, joka toteutettiin projektimuotoisena. Laitteella pyrittiin mittaamaan lyöjän mailannoisuus osumahetkellä. Laitteen tuli mahdollistaa lyöjältä samanlainen suoritus kuin pesäpalloon lyötäessä. Toimivuuden edellytyksenä oli myös kestävyys niin laitteen, kuin siihen lyövän urheilijan ja mailan osalta.

Laitetta suunniteltiin ja kehitettiin testaten erilaisia vaihtoehtoja niin ratkaisujen kuin materiaalien osalta. Mittauslaitteisto rakennettiin Arduino Unoon kytkettyjen valokennojen avulla ja tulokset esitettiin korttiin kytketyllä LCD-näytöllä.

Laitteelle suoritettiin testaus urheilijoilla. Testien tulokset osoittivat, että laite kaipaa yhä jatkokehitystä. Testituloksista kuvatuista videoista kävi ilmi laitteen osumiskohdalla olevan suuri merkitys laitteen kestävyteen. Saatujen tulosten otannan ollessa varsin pieni ei voida varmaksi osoittaa tulosten luotettavuutta. Laitteen testaamisen yhteydessä testiurheilijoita kuvattiin myös tavallisesta pesäpallolyönnistä. Vertailtaessa lyöntisuorituksia löydettiin selkeitä eroja tekniikoissa.

Projekti toteutettiin yhteistyössä Jyväskylän yliopiston Vuokatin yksikön kanssa. Laitteen tilaajana toimi Vuokatti-Ruka Urheiluakatemia. Laite kehitettiin tulevien ja nykyisten huippupesäpalloilijoiden apuvälineeksi. Toimivan laitteen on tarkoitus auttaa lajin valmentajia löytämään toimivia harjoitteluratkaisuja yksilöiden kehittämiseen ja sitä kautta joukkueina menestymiseen.

## **Abstract**

**Author:** Kemppainen Jere

**Title of the Publication:** Prototype for Measuring Finnish Baseball Batting

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Information and Communication Technology

**Keywords:** Finnish baseball, sports technology, project, measuring device

The topic of this thesis was to create and build a device for measuring Finnish baseball batting speed. The main goal of this project was to build a device where athletes can hit as fast as they can without breaking the device, themselves, or their bats. The built prototype measures bat speed with photocells, and Arduino Uno as a microcontroller calculates the time and prints the result in an LCD-display.

Some parts of the thesis succeeded while others did not. The measuring part of the device worked well but the durability of the device needs more research and resources.

The prototype was tested with athletes of Vuokatti-Ruka sports academy. The sample of the results was small because the device broke. The break occurred in the rotating part which means tougher materials must be used in future. Some interesting results were found in the athletes' techniques, however.

The prototype was designed and manufactured in co-operation with Vuokatti unit of the University of Jyväskylä. In the future, the device will hopefully be used by future top players.

## Alkusanat

Kun tammikuussa 2023 sain työharjoittelussa työn alle ajatuksen rakentaa mittauslaite pesäpallolyöntiä varten, en arvannut minkälainen Via Dolorosa siitä tulisikaan. Idea tuntui mielenkiintoiselta ja toteutettavalta, mutta toteutus sen kaikkine vaiheineen osoittautui erittäin haastavaksi. Haaste oli kuitenkin mielenkiintoinen. Pohdittavia asioita oli paljon, ja oivallusten löytäminen ruokki motivaatiota mukavasti. Täysin uudenlaista laitetta kehitettäessä huomaa helposti, että hiomista ja viilaamista löytyy koko ajan. Tämän prototyypin kehityskaari on yhteensä lähes vuoden mittainen ja jatkoideoita on edelleen.

Suuret kiitokset lähtevät Jyväskylän Yliopiston Vuokatin yksikköön koko henkilökunnalle. Työharjoittelussa ollessani sain valtavan määrän tukea ja keskustelukavereita pohtimaan ongelmia. Sain käyttää myös laboratoriotiloja ja materiaaleja laitteen rakentamiseen. Koko talon yhdessä tekemisen meininki sai oman motivaationi pidettyä ylhäällä myös vaikeina jaksoina.

Kiitokset myös kaikille tutuille ja sukulaisille, jotka ovat olleet auttamassa tämän prototyypin materiaalien hankinnassa. Kiitos Mectalent Oy ja Insuplast Oy. Prototyyppi on rakennettu käytännössä nollabudjetilla, joten ilman läheisten varastoja kaikkia versioita ei olisi päästy testaamaan.

Lopuksi kiitokset myös oppilaitokselleni Kajaanin ammattikorkeakouluun materiaaleista, opetuksesta ja ohjauksesta opinnäytetyöhön.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Pesäpallolyönnin fysiologia .....	2
3	SI-järjestelmä .....	4
3.1	Nopeuden määrittäminen ympyräliikkeessä .....	5
3.2	Mittausepävarmuus .....	6
4	Kehitysalustat .....	9
4.1	Mikrokontrolleri .....	9
4.2	Tulot ja lähdöt .....	10
4.3	Keskeytykset .....	10
4.4	Käyttöliittymä .....	11
4.5	Ulkoiset laitteet .....	12
5	Työn toteutus .....	13
5.1	Vaatusmäärittely .....	13
5.2	Suunnittelu .....	13
5.3	Prototyypin rakentaminen .....	17
5.3.1	Lyönnin nopeuden määrittäminen .....	20
5.3.2	Arduino .....	23
5.3.3	Valokennot .....	23
5.3.4	Ulkoisen näyttö .....	24
5.4	Mittausohjelma .....	24
6	Laitteen testaaminen .....	26
6.1	Testiprosessi .....	26
6.1.1	Toiminnallisuuden testaus .....	26
6.1.2	Luotettavuuden testaaminen .....	27
6.1.3	Testaaminen urheilijoilla .....	30
7	Tulokset ja tulosten tarkastelu .....	32
7.1	Havainnot ja huomiot .....	34
8	Analyysi ja pohdinta laitteen luotettavuudesta .....	36

9	Mahdolliset jatkotutkimukset .....	39
10	Päätäntö .....	42
	Lähteet .....	43

## 1 Johdanto

Pesäpallo lajina on vauhdikas peli, joka vaatii pelaajilta taitoa, älykkyyttä ja hyviä fyysisiä ominaisuuksia. Lajin kehitys on ollut viimeisen vuosikymmenen aikana hurjaa. Erityisesti fyysisiin ominaisuuksiin on alettu kiinnittämään huomiota otteluista saatavan datan myötä. Pelissä tapahtuvien suoritusten marginaalit ovat erittäin pieniä, jolloin esimerkiksi yksilön hyvä juoksunopeus tai kova lyöntivoima korostuu olennaisesti.

Pesäpallossa urheilijoiden lyönti- ja heittovoimakkuuksia on pitkään mitattu nopeustutkaa käyttämällä. Nopeustutka on oiva väline, mutta sen tulos on kovin riippuvainen osumasta. Tutkaustestejä suoritetaan urheilijoille muutaman kerran vuodessa sarjatasosta ja seurasta riippuen. Yksittäisellä testikerralla urheilijalla on käytössään rajallinen määrä lyöntejä, joten parasta osumaa palloon ei välttämättä onnistuta saamaan. Testit ovat urheilijoille painetilanteita. Testien avulla pääsääntöisesti pyritään näkemään, miten urheilija on kehittynyt verrattuna aiempiin testikertoihin. Testikertojen välille luodaan harjoitusohjelmia, joilla pyritään kehittämään testattavia ominaisuuksia. Tutkatulosten suuri riippuvuus hyvästä osumasta palloon aiheuttaa tilanteita, joissa ei varmaksi tiedetä, onko urheilijan lyöntivoima kehittynyt. Edellä mainittujen syiden myötä on syntynyt ajatus kehittää mittauslaite lyöntiliikkeen nopeuden mittaamiseen.

Idea mittauslaitteelle oli ollut jo tovin Vuokatti-Ruka Urheiluakatemia pöytälaatikossa. Ollessani työharjoittelussa sain toimeksiannon kehittää mittauslaite, joka ei olisi riippuvainen osumasta suhteellisen pieneen, liikkuvaan kohteeseen. Osuman pienen marginaalin ja tärkeyden poistamisella olisi mahdollista päästä tutkimaan itse lyöntisuoritusta tarkemmin.

Pesäpallon lyöntisuoritus on monivaiheinen suoritus. Erilaisia tekniikoita löytyy melkein yhtä paljon kuin lyöjiä. Etenkin nuorilla urheilijan aluilla lyöntitekniikoissa voi olla keskenään isoja eroavaisuuksia. Monella nuorella on myös olettamuksia ja tapoja, joista he kokevat hyötyvänsä ja pitävät täten tiukasti kiinni. Pesäpallolyönnin biomekaniikkaa on tutkittu jonkin verran muiden muassa Luhtanen 1984 ja Kulmala 2006 toimesta. Tutkimuksista on ilmennyt jonkin verran yhtäläisiä elementtejä kovista lyönneistä. Nuorille usein pelkkä perustelu ei riitä. Mittauslaitteen avulla voitaisiin mahdollisesti esittää asioita konkreettisemmin. Tässä työssä pyritään suunnittelemaan ja rakentamaan laite, jonka avulla pelaajien lyöntivoimakkuutta osumahetkellä pystytään mittaamaan. [1][2]

## 2 Pesäpallolyönnin fysiologia

Pesäpallolyönti suorituksena on monimutkainen toimintaketju, jossa yhdistyy monta eri taitoa ja fyysistä ominaisuutta. Lyönnin pääasiallisena tarkoituksena on tuottaa palloon suuri lähtönopeus, haluttu suunta ja korkeus. Merkittävin tekijä tuloksessa on hyvä osuma. Pienikin muutos osumakohdassa voi vaikuttaa tulokseen merkittävästi. Lyöntisuorituksen tapahtuessa liikkuvaan palloon, myös syötöllä on iso merkitys yhtälössä.

Yleisesti tunnetuin lyönti pesäpallossa on nimeltään peruslyönti. Peruslyönnissä pääasiallinen tarkoitus on lyödä pallo laakana mahdollisimman lujaa. Lyöntiin valmistautuminen alkaa yleensä lähtöasennosta, jossa lyönnin tukijalka on hieman edessä ja maila lepää hartiaa vasten. Lyöntisuoritus alkaa vauhtiaskelista, jotka kulkevat järjestyksessä rytmiaskel, ristiaskel ja lyöntiaskel. Vauhtiaskelien tempo on kiihtyvä. Mailan liikesuunnan ollessa lyöjästä katsottuna oikealta vasemmalle ensimmäinen askel otetaan vasemmalla jalalla. Toisena otettava ristiaskel otetaan oikealla jalalla nimensä mukaisesti ristiin takapuolelta. Ristiaskeleen aikana viritetään ylävartalo ja lantio kiertämällä niitä lyöntisuunnasta poispäin. Viimeisenä astuttava lyöntiaskel astutaan syöttölaudatusten lähetyville siten, että mailalle jää tilaa heilahtaa palloa kohti sen paksummasta päästä. Lyöntiliike lähtee purkautumaan tukijalan asetuttua maahan. Vastakierretyt vartalon osat lähtevät kiertymään kineettisenä ketjuna lyöntisuuntaa kohti järjestyksessä lantio, hartiat, käsivarret ja lopuksi ranteet. Lyönti suoritetaan tukijalkaa vasten ja katseella seurattuun palloon pyritään osumaan mahdollisimman puhtaasti ja siten, että mailan liikerata olisi vaakatasossa.[1][2][3][4]

Pallon lähtönopeuteen vaikuttaa olennaisesti mailan nopeus osumahetkellä. Mitä suurempi on mailan nopeus osumahetkellä, sitä suuremmaksi pallon nopeus muodostuu. Tämä edellyttää kuitenkin myös hyvää osumaa. Merkitystä on myös sillä, mihin kohtaa mailaa osuma tulee. Mitä kauemmas liikutaan pituussuunnassa, sitä korkeampi on mailan nopeus. Yleisesti optimaalisin osumakohta ei kuitenkaan ole mailan päässä, koska useimpiin mailoihin on merkitty niin sanottu Sweet Spot (Kuva 1). Sweet Spot on mailoihin merkitty alue, jossa pallon lähtönopeuden tulisi olla suurin [5]. Usein mailan osuma palloon tuottaa tärähdyksen lyöjän käsiin. Tämä johtuu mailan värinästä, joka osumasta aiheutuu. Käytännössä Sweet Spot on siinä kohdassa mailaa, jossa tämä värinä on pienin mahdollinen. Pallon lähtönopeus on tässä kohdassa myös suurin, koska tällöin osumasta syntyvä tärähdysenergia siirtyy palloon, eikä lyöjän käsille. [6]



Kuva 1. Karhu Vertigo L-Light -mailan Sweet Spot -alue [5]

Pesäpallolyönnistä on tehty muutamia tutkimuksia, jotka pohjautuvat lyöntisuorituksen biomekaniikkaan (mm. Luhtanen 1984, ja Kulmala 2006). Jälkimmäisestä tutkimuksesta selviää, että mailan pään nopeuden kasvaessa myös pallon lähtönopeus kasvaa lineaarisesti. Tämä edellyttää kuitenkin, että osuma palloon on optimaalinen. Mailaan tuotettava voima syntyy lantion, hartioiden ja käsien kiertoliikkeiden avulla muodostuvasta kineettisestä ketjusta. Ketjun muodostaman voiman myötä käsissä oleva maila saa mahdollisimman suuren kulmanopeuden. Tutkimuksessa havaittiin myös joitakin lyöntitekniikkaan liittyviä asioita, joiden merkitys hyvään lopputulokseen voi olla avainasemassa. [2]

### 3 SI-järjestelmä

SI on kansainvälinen mittayksikköjärjestelmä, jonka lähtökohtana on vuonna 1875 hyväksytty metrijärjestelmä. Sittemmin laajentuneen järjestelmän ajatus on esittää suureiden yksiköt ja tunnukset. SI-järjestelmän avulla kaikki sopimukseen liittyneet 59 valtiota käyttävät samoja yksiköitä ja kaavoja muun muassa pituuden, ajan ja voiman laskemisessa. [7]

Suureiden mittaaminen perustuu mittayksiköihin. Mittayksiköt ovat referenssimääriä mitattavien suureiden vertailupohjaksi. Vertailupohjana käytettäviä referenssejä kutsutaan mittanormaleiksi. Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty tässä työssä käytettäviä suureita ja niiden yksiköitä. Tasokulman osalta laskuissa on käytetty myös yleisempää ilmaisemistapaa eli astelukua. [8]

Taulukko 1. Työssä käytettyjen ISQ-suurejärjestelmän perussuuret ja niiden SI-perusyksiköt

ISQ-perussuure	SI-perusyksikkö	
	Nimi	Tunnus
Pituus $l$	metri	m
Aika $t$	sekunti	s

Taulukko 2. Työssä käytetyt ISQ-johdannaisuuret

Suure	Suureen yksikkö	Yksikön lyhenne
Nopeus $v$	metri/sekunti	m/s
Tasokulma	radiaani	rad
Kulmanopeus $\omega$	radiaani/s	rad/s

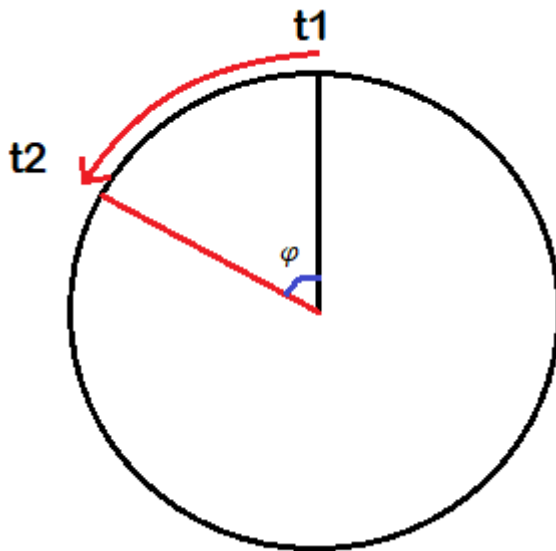
SI-järjestelmään ja sen käyttöön liittyy käsite koherenssi. Tämä tarkoittaa sitä, että johdannaisuureiden yksiköt saadaan laskettua suoraan perussuureista käyttäen kerto- ja/tai jakolaskua. [8]

### 3.1 Nopeuden määrittäminen ympyräliikkeessä

Kulmanopeuden  $\omega$  laskemista varten täytyy tietää mitattavan kiertymän kulman suuruus ja kiertymiseen käytetty aika. Tulos saadaan jakamalla kulman suuruus ajalla. Kulman yksiköinä käytetään radiaaneja ja ajan yksiköinä sekunteja. [9] Kulmanopeus  $\omega$  voidaan esittää kaavalla

$$\omega = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad (1)$$

missä  $\varphi$  on kulma radiaaneina ja  $t$  on aika sekunteina. Kulmanopeus on vakio vain tilanteissa, joissa pyörimisliike on tasaista [9]. Se kuvastaa ympyräliikkeen kiertokulman muutosnopeutta [10]. Kuvassa 2 on esimerkki, jossa esitetään kulmanopeuden määritelmä.



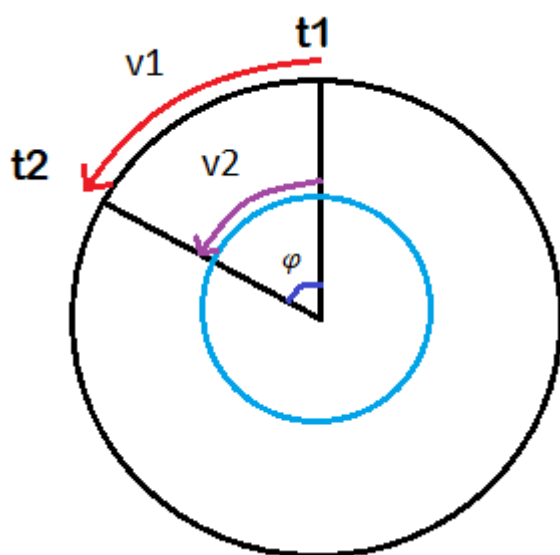
Kuva 2. Kulmanopeus

Ratanopeus kuvastaa ympyräliikkeen nopeutta ympyrän kehällä. Siinä missä kulmanopeus säilyy samana koko ympyrän alalla, ratanopeus muuttuu. Ratanopeuden  $v$  kaava on

$$v = \frac{\Delta\varphi \cdot r}{\Delta t} = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \omega r, \quad (2)$$

missä  $\Delta\varphi$  on ympyrän keskuskulman suuruus,  $r$  on ympyrän säde ja  $\Delta t$  aika. [10] Kuvassa 3 esitetään havainnollistettuna ratanopeuden muutos ympyrän eri kohdissa. Ratanopeus on sitä suurempi, mitä kauemmas mennään ympyrän keskipisteestä. Punainen nuoli kuvastaa ratanopeutta  $v_1$  ulkokehällä, kun taas violetti nuoli kuvastaa ratanopeutta  $v_2$  satunnaisessa kohdassa ympyrän

sisällä. Ajan ollessa sama, mutta ympyrän kaaren ollessa pidempi ulkokehällä, päättyy sen ratanopeus suuremmaksi.



Kuva 3. Ratanopeus

### 3.2 Mittausepävarmuus

Mittauksen tavoitteena on määrittää mitattavan suureen arvo. Näin ollen mittausta varten täytyy määrittää mittaussuure, mittausmenetelmä ja mittauksen suoritustapa. Yleensä mittauksesta saatava tulos on todellisuudessa vain arvio mittaussuureen arvosta. Lopullista tulosta varten tarvitaan mukaan laskettu arvio mittauksen epävarmuudesta. Käytännössä epävarmuus määrittyy mittauksen tarkkuuden mukaan. Mikäli mittauksen epävarmuutta ei ole määritelty, ei tuloksia voida arvioida. [11, s. 16]

Mittausepävarmuus on läsnä jokaisessa mitattavassa tuloksessa, olipa mittauslaite tai -tilanne millainen tahansa. Mitattuja tuloksia analysoidessa täytyy siis huomioida myös mittausepävarmuuden määrä. Mittausepävarmuuden ollessa suuri myös tuloksen vaihteluväli on suuri. Tällöin on hankalampaa arvioida tuloksen todenmukaisuutta. Mikäli mittausepävarmuus pystytään asettamaan pieneksi, ovat tulokset luotettavampia. [12] Tulosten vertailu on vaikeaa tilanteissa, joissa mittausepävarmuus on suuri. Joissakin tapauksissa mittauslaitteelle on asetettu vaatimukset mit-

tausepävarmuudelle. Jos vaatimuksia ei täytetä, tuloksia ei voida käsitellä luotettavasti. Määrittämällä epävarmuuden mittauksessa, voidaan mittaustuloksia pitää uskottavampana. Epävarmuuden määrittäminen edellyttää sitä, että laitteen toiminta tunnetaan hyvin. [13]

Tekijöitä, jotka aiheuttavat epävarmuutta mittaustulokseen on lähtökohtaisesti paljon. Epävarmuuksien määrä on riippuvainen mittauslaitteesta ja sen osista. Useita epävarmuuksia pystytään mittaamaan tai laskemaan. On kuitenkin paljon tekijöitä, joiden vaikutusta epävarmuuteen ei pystytä tarkasti määrittämään. Tällaisia epävarmuustekijöitä täytyy arvioida muilla tavoilla ja sitä kautta muodostaa kokonaisarvio mittauksen epävarmuudesta. [12] Monissa tapauksissa mittauksen tulos määritetään havaintosarjojen perusteella, jotka on saatu toistettavuustestaamisen myötä [11, s. 16].

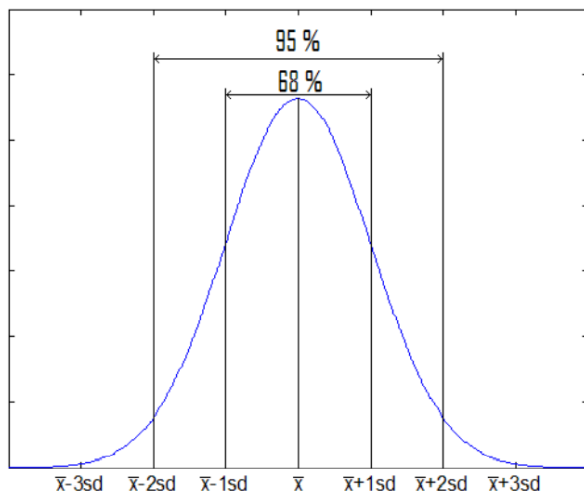
Mittaustuloksiin liittyvien virheiden lisäksi saman suureen mittaustuloksilla on myös jakauma. Jakauma voidaan muodostaa useista mittauksista saaduista tuloksista. Mittaustulosten keskikohtaa voidaan kuvata käyttämällä keskiarvoa. Keskiarvo voidaan määrittää käyttäen kaavaa

$$x = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n}, \quad (3)$$

missä  $x_1 + \dots + x_n$  kuvastaa aineistoa ja  $n$  havaintojen määrää. Mittaustuloksista voidaan muodostaa normaalijakauma kuvastamaan tulosten vaihteluväliä. Yleisesti käytetty tilastollinen menetelmä on laskea mittaustuloksista kokeellinen keskihajonta. Keskihajonta kuvaa mittaustulosten jakautumista suhteessa keskiarvoon. Käytännössä keskihajonnan ollessa pieni jakauma on kapea. Keskihajonnan ollessa suuri jakauma on laakea. Kokeellinen keskihajonta  $\sigma$  voidaan laskea käyttäen kaavaa

$$\sigma = \left( \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}}{n-1} \right), \quad (4)$$

missä  $n$  on havaintoyksiköiden määrä,  $x$  on havaintoyksiköiden keskiarvo ja  $x_i$  on muuttujan arvo. [14] Kuvassa 4 on esitetty normaalijakauma ja keskihajonta. Kuvan esimerkkitapauksessa 68 % jakauman arvoista sisältyy yhden keskihajonnan sisäpuolelle ja 95 % kahden keskihajonnan sisäpuolelle.



Kuva 4. Normaalijakauma ja keskihajonta

Mittausepävarmuuden määrittämisen myötä pystytään ymmärtämään mittauslaitteen tulosten tasoa. Tiedettäessä mittausepävarmuus voidaan arvioida, onko mittauksen tarkkuus riittävä. Ymmärrettäessä tekijät, joiden mukaan tulos muodostuu, voidaan kehittää parempia ratkaisuja. Lähelläkohtaisesti mittaustuloksella ei tee mitään, jos siihen liittyvästä epävarmuudesta ei ole tietoa.

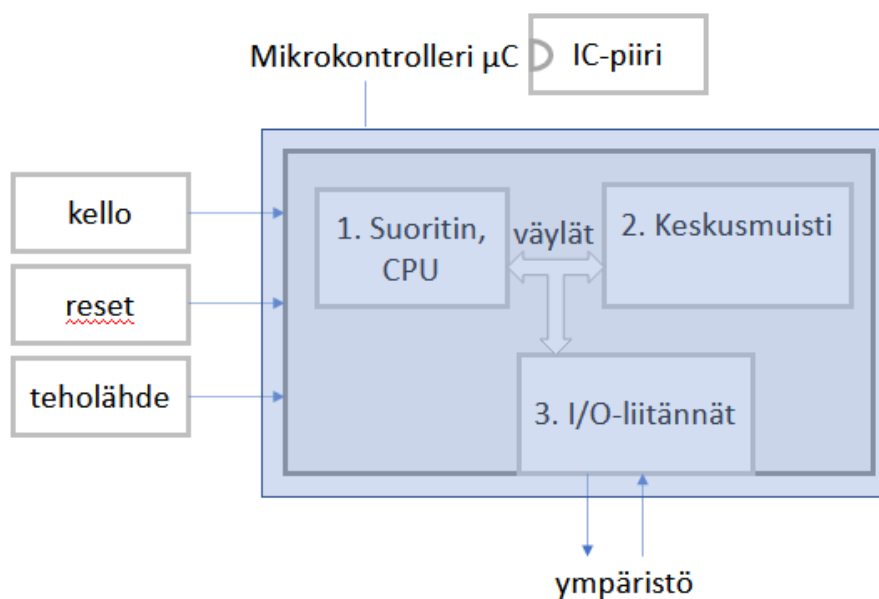
[13]

## 4 Kehitysalustat

Kehitysalustat ovat sulautettujen järjestelmien tuotekehitysvaiheessa käytettäviä laitteita. Ne mahdollistavat mikrokontrolleriohjatun sulautetun laitteen ohjelmistokehityksen aloittamisen ja toiminnallisuuden todentamisen varhaisemmassa vaiheessa laitteen tuotekehitysprosessia. Sulautetuksi laitteeksi kutsutaan kokonaisuutta, jossa tyypillisesti mikrokontrolleripohjainen järjestelmä on kehitetty toteuttamaan erityistä, kyseiselle laitteelle ominaista tehtävää. Perinteisiä kotitaloudesta tuttuja esimerkkejä sulautetuista laitteista ovat pesukoneet, kaukosäätimet ja mikroaaltouunit. Kehitysalustoja on olemassa laaja valikoima eri valmistajilta useisiin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Yleensä kehitysalusta sisältää mikrokontrollerin, jonka toimintaa ohjaamalla korttia käytetään.

### 4.1 Mikrokontrolleri

Kehitysalustoja ohjataan ohjelmoimalla mikrokontrolleria. Mikro-ohjain eli mikrokontrolleri on kehitysalustan ydin ja aivot. Se on kuin pieni tietokone. Sen avulla voidaan ohjata kehitysalustaa ja siihen kytkettyjä laitteita. Useimmiten ohjelmointikielenä toimii C. Mikrokontrollereita käytetään usein sulautetuissa järjestelmissä. [15] Kuvassa 5 on esitetty mikrokontrollerin rakenne, joka vastaa lähes täysin tietokoneen perusrakennetta.



Kuva 5. Mikrokontrollerin rakenne [16]

## 4.2 Tulot ja lähdöt

Kehitysalustalla sijaitseva mikrokontrolleri sisältää erilaisia ohjelmoitavia komponentteja. Pääasiassa käytetyimpiä ovat tulo- ja lähtöpinnit. Pinneihin voidaan kytkeä haluttuja laitteita, minkä jälkeen niiden toimintaa voidaan seurata ja/tai ohjata ohjelmakoodin avulla [17, s. 8–9]. Kehitysalustojen välillä on eroja tulojen ja lähtöjen käytettävyydessä.

Aluksi ohjelmakoodiin täytyy käytettäville pinneille kirjata suuntarekisterit. Mikrokontrollerille täytyy siis kertoa, käytetäänkö valittua pinniä tulona vai lähtönä. Tulopinnejä käytetään esimerkiksi kehitysalustan ulkopuolelta tulevan datan lukemiseen. Lähtöpinnejä käytetään datan lähettämiseen ja ulkoisten laitteiden ohjaamiseen. Käytännössä tämä tapahtuu kirjottamalla haluttujen pinnien tilaksi "1" tai "0". Kirjoitettaessa tilaksi "1", on pinnin tilana tulo (input). Vastaavasti tilassa "0" pinnin tilana on lähtö (output). [17, s. 8–9, 46–48]

## 4.3 Keskeytykset

Keskeytykset ovat mikrokontrollerin normaalia toimintaa keskeyttäviä tapahtumia. Ohjelmakoodiin keskeytykset kirjoitetaan usein keskeytysvektoreina, jotka ovat kuin eräänlaisia aliohjelmiä. Ohjelman päättyessä keskeytysvektoriin, se nimensä mukaisesti keskeyttää muun ohjelman kokonaan. Keskeytyksen päätyttyä ohjelma jatkaa toimintaansa normaalisti siitä kohdasta, mihin se jäi keskeytystä ennen. Keskeytyksen pysäyttäessä muun ohjelman toiminta, sen pituus on syytä pitää mahdollisimman lyhyenä. [17, s. 153]

Keskeytykset voivat olla sisäisiä tai ulkoisia. Sisäinen keskeytys tapahtuu täysin ohjelmointitasolla, esimerkiksi tietyn ajan kuluttua. Ulkoinen keskeytys vaatii jonkun ulkoisen laitteen, jonka esimerkiksi tilanmuutos havaittaessa keskeytys laukeaa. Esimerkkinä voidaan käyttää painonappia, jolloin keskeytys voidaan ohjelmoida käynnistyvän nappia painettaessa. Kyseisessä esimerkissä on otettava huomioon, että napin painallus sisältää kaksi tilanmuutosta. Ensimmäinen tilanmuutos tapahtuu, kun nappi painetaan pohjaan. Toinen tilanmuutos tapahtuu, kun nappi vapautetaan. Tällaisessa tilanteessa ohjelmakoodissa on huomioitava, milloin keskeytys halutaan ja milloin ei. [17, s. 155]

Syitä, miksi keskeytyksiä käytetään, voi olla monenlaisia. Yleinen syy käyttää keskeytystä on tarkan ajanhetken määrittäminen. Mikrokontrollerin toiminta, kuten käskyjen lukeminen muistista

sekä tulojen ja lähtöjen ohjaaminen, tahdistetaan kello-signaalin avulla. Mitä korkeampi kellotaajuus on, sitä nopeammin mikrokontrolleri pystyy suorittamaan eri tehtäviä. Myös keskeytyksiin reagointi ja niiden käsittelynopeus ovat riippuvaisia mikrokontrollerin kellotaajuudesta. [17, s. 338–340]

Ohjelmakoodia suoritettaessa asiat tapahtuvat lähtökohtaisesti siten kuin ohjelma on kirjoitettu. Ohjelman kirjoittajalla täytyy olla käsitys siitä, mitkä asiat ovat ohjelmassa oleellisia ja mitkä eivät. Otetaan esimerkiksi tilanne, jossa halutaan tallentaa ajan hetki, kun nappia painetaan. Tällöin normaalin ohjelmakoodin avulla saadaan kyllä aikaleima talteen. Varmaksi ei kuitenkaan tiedetä, onko aikaleima otettu juuri siltä hetkeltä, kun nappia painettiin. Keskeytyksen avulla voidaan ohjelmoida napin painalluksen aiheuttavan ohjelmaan keskeytyksen, jonka aikana aikaleima otetaan talteen. Keskeytyksen myötä ohjelma antaa napin painallukselle ns. etuajo-oikeuden suoritusajasta. Käyttäjä voi olla luottavainen, että aikaleima on otettu talteen oikeassa hetkessä.

#### 4.4 Käyttöliittymä

Yleisesti käyttöliittymällä tarkoitetaan järjestelmän tai ohjelmiston osaa, jossa käyttäjä voi kommunikoida laitteen tai sen ohjelmiston kanssa. Käytännössä käyttöliittymä on yleensä se näkymä, jonka käyttäjä näkee laitetta käyttäessään. Englanninkielinen termi *user interface* eli lyhennettynä UI onkin paremmin kuvaava nimi. Käyttöliittymän kautta laitteelle voidaan antaa komentoja, kuten tiedonhakua tai tiedonantoa. Käyttöliittymän rakenne ja sisältö voi olla monenlainen. Hyvä käyttöliittymä on yksinkertainen ja käyttäjäystävällinen, eikä se sisällä mitään ylimääräistä. [18]

Kehitysalustoja ohjataan usein niihin soveltuvien ohjelmointikäyttöliittymien avulla. Käytettävä laite kytketään tietokoneeseen esimerkiksi USB-kaapelin avulla, minkä jälkeen käytettävä ohjelmointiympäristö toimii yhteistyössä laitteen kanssa. Käyttöliittymän kautta rakennetaan ohjelmisto ohjaamaan laitteen toimintaa haluttuun muotoon, minkä jälkeen laite voidaan ottaa käyttöön sellaisenaan. Usein ohjelmiston rakentaminen vaatii tarkkaa ohjelmistotestausta sen eri osista, jotta sen tekijä voi varmistua ohjelman toimimisesta oikein [19].

#### 4.5 Ulkoiset laitteet

Kehitysalustoja voidaan käyttää sellaisenaan, mutta usein niiden avulla pyritään ottamaan käyttöön ulkoisia laitteita. Ulkoisia laitteita on esimerkiksi kehitysalustaan kytketyt ledit, anturit ja näytöt. Kun halutut laitteet on oikeaoppisesti kytketty, voidaan niiden toimintaa ohjata ja seurata ohjelmoinnin avulla. Ulkoisten laitteiden lisääminen edellyttää usein ohjelmistotasolla erilaisten kirjastojen käyttöönottamista, jotta laitteet saadaan toimimaan halutulla tavalla.

## 5 Työn toteutus

Mittauslaitteen prototyyppi rakennettiin Jyväskylän Yliopiston Vuokatin yksikössä. Hankintalista haluttiin pitää mahdollisimman pienenä, koska prototyypin toimivuudesta ei ollut takuuta. Suurin osa materiaaleista otettiin laboratoriosta henkilökunnan luvalla. Osa materiaaleista hankittiin läheisten kautta löytyneistä ylijäämämateriaaleista ja koululta. Tehtiin myös pieniä materiaalihankintoja, kun niitä ei löytynyt valmiina.

### 5.1 Vaatimusmäärittely

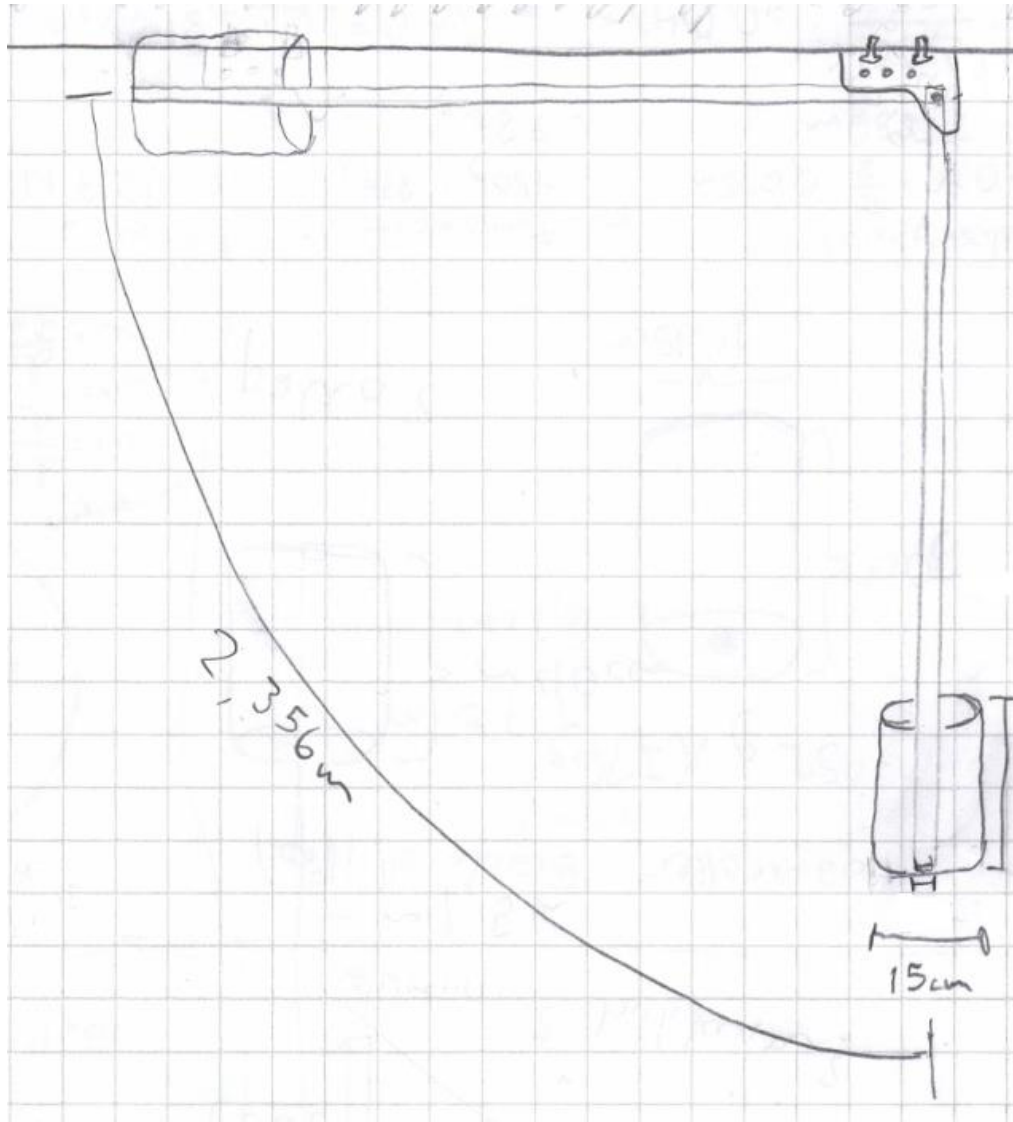
Työn vaatimusmäärittely tehtiin yhteistyössä Vuokatti-Ruka Urheiluakatemia kanssa. Tavoitteena oli rakentaa mittauslaite, joka pystyy luotettavasti mittaamaan mailan nopeuden osumahetkellä. Laitteen tulisi myös kestää testitapahtuman aiheuttamaa räsitusta. Urheilijan pitäisi pystyä lyömään laitteeseen niin lujaa kuin hän pystyy ilman, että urheilija tai hänen mailansa kokee kolhuja. Testiryhmien ollessa suuria tulisi laitteen käyttäminen olla myös suhteellisen vaivatonta ja nopeaa. Laitteen tuli mahdollistaa myös erilaisten lyöntivariaatioiden testaaminen, kuten ilman vauhtia tai ylipitkällä vauhdilla lyöminen. Kiinnostava tieto olisi myös selvittää, onko mailan nopeus maksimiarvossa osumahetkellä. Mittauslaitteen tuloksia on tarkoitus vertailla keskenään niin urheilijoiden kuin eri testikertojen välillä.

Jokaisen urheilijan pitäisi pystyä lyömään laitteeseen omalla mailallaan ja luontaisella lyöntikorkeudellaan. Lyötävän kohteen tuli olla kevyt, koska pesäpallomailat on suunniteltu käytettäväksi noin 150 gramman painoisen pallon lyömiseen. Kohteen täytyi kuitenkin olla kestävä, jotta lyöntejä voitiin suorittaa useita. Lyötävän kohteen pinta-ala tuli olla sen verran suuri, ettei siihen osuminen tuota hankaluuksia. Se ei kuitenkaan saanut olla liian suuri, koska isompi pinta-ala tuo myös lisää massaa. Isompi pinta-ala suurentaisi myös osumakohdan vaihtelua, mikä useimmissa tapauksissa vaikuttaisi suoranaisesti tulokseen.

### 5.2 Suunnittelu

Aluksi aloitettiin tutkimaan, onko mitään vastaavaa ikinä tehty muissa lajeissa. Kun mitään ei löytynyt, ryhdyttiin listaamaan erilaisia vaihtoehtoja toteutustavaksi. Ideaksi nousi nopeusanturi,

jolla voitaisiin mitata mailan nopeutta. Koska nopeus haluttiin mitata juuri osumahetkeltä, ajatus siirtyi anturin liittämiseen lyötävään kohteeseen. On olemassa nyrkkeilyssäkin kaltaisia laitteita, jotka mittaavat lyönnin kovuutta. Tästä saatiin idea kehittää vastaavalla ajatuksella toimiva laite pesäpallolyönnille (Kuva 6).



Kuva 6. Ensimmäinen prototyyppi-idea sivustapäin piirrettynä

Ajatuksena oli, että kattoon kiinnitettäisiin eräänlainen kulmarauta, josta roikkuisi lyötävä osa. Lyötävä osa liikkuisi vain yhteen suuntaan tiukasti läpi vedetyn pultin ansiosta. Sen alaosaan liimattaisiin pehmusteeksi kovempaa vaahтомуovia, joka keventää iskua muuttamatta liikaa muotoaan. Liikkuvaan osaan oli tarkoitus kiinnittää nopeusanturi.

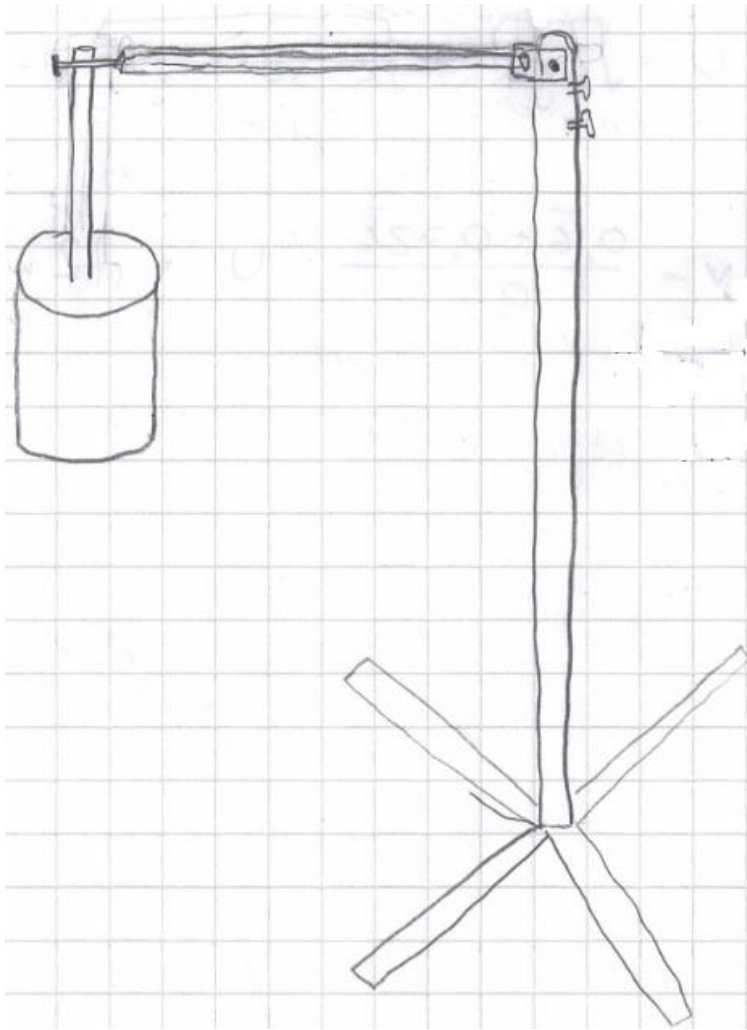
Kun laskelmat huonekorkeudesta ja mahdollisista materiaalikustannuksista oli tehty, alkoi selvitys laitteen kiinnityspaikasta. Ongelmaksi nousi sopivan tilan löytäminen. Laitteen ympärille täytyisi

jättää reilusti tilaa, jotta urheilija mahtuu vapaasti lyömään molemmilta puolilta. Toiseksi ongelmaksi havaittiin sopivan anturin löytäminen. Anturin tulisi olla tarpeeksi pieni ja tarkka. Sen pitäisi toimia käytännössä itsenäisesti, koska lyötävään osaan ei juurikaan voida kiinnittää mitään.

Vaihtoehdoksi nousi anturin kiinnittäminen mailaan. Tässä tapauksessa anturi mittaisi mailan nopeutta koko lyöntiliikkeen matkalta. Tuloksesta olisi helposti nähtävissä osumahetki ja kyseisen hetken nopeus. Ongelmaksi muodostui anturin mahdolliset epätarkkuudet johtuen todella nopeasta liikkeestä, tärähdyksestä ja itse anturista. Lopulta koko idea käyttää kiinnitettävää anturia todettiin huonoksi, koska sillä koettiin olevan negatiivinen vaikutus urheilijan lyöntisuoritukseen etenkin mailan käsittelyssä. Anturin kiinnitys mailaan tai lyötävään kohteeseen olisi myös aiheuttanut riskejä niin anturille kuin mailalle.

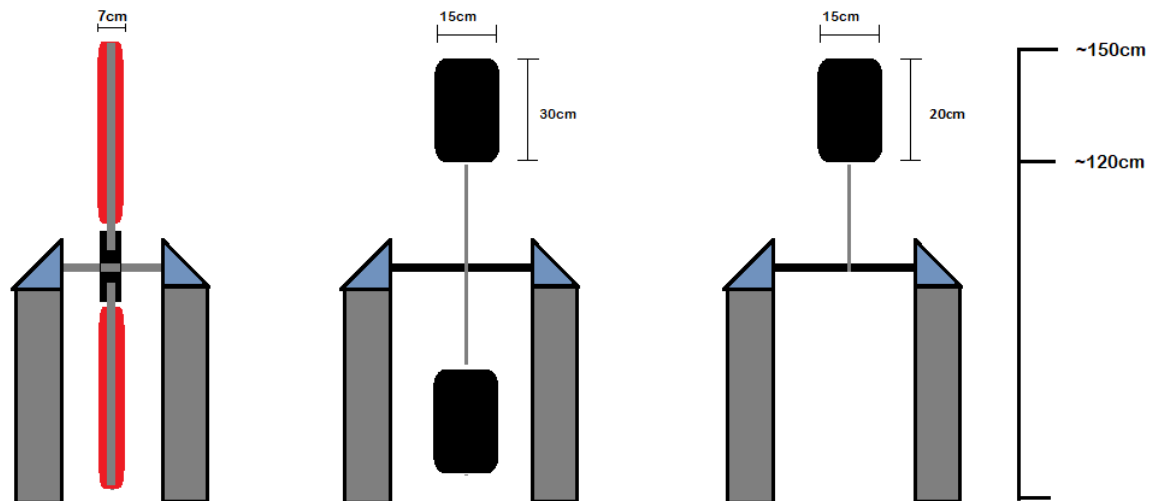
Uutta suunnitelmaa lähdettiin rakentamaan ajatuksesta, että mittauslaite olisi liikutettava. Tässä kohtaa oivallettiin, että laitetta olisi hyvä pystyä käyttämään myös avoimissa tiloissa, kuten liikuntahallissa. Laitteelle voisi mahdollisesti olla käyttöä päivittäisvalmennuksessa esimerkiksi tekniikan opetteluun yhteydessä. Kyseisissä tiloissa oleva katon korkeus rajoittaa ensimmäisen suunnitelman ajatuksen. Pesäpallolyönnissä syntyvä voima on suuri. Mikäli laite ei ole kiinni missään rakenteessa, sen pitää sisältää runsaasti massaa tai tukipisteiden asettua leveästi. Tukipisteitä ei voida asettaa joka puolelle, koska lyöjällä tulee olla avoin liikkumatila lyöntikohteeseen.

Tässä vaiheessa syntyi ajatus hyödyntää urheiluhalleissa jo olevaa välinettä, sulkapalloverkon tolppaa. Kuvassa 7 on piirros ajatuksesta, missä tolpan yläpään on kiinnitetty vaakatasoon neliörauta. Neliöraudan päähän on kiinnitetty pultti, joka kulkee alaspäin roikkuvan, pehmustetun lyöntiosan läpi. Sulkapalloverkon tolpan massa suhteessa varsin vaatimattomaan tukipintaa saattaisi olla riittävä, mutta vaakaan kiinnitettävä rauta olisi kiinnitettävä todella napakasti kiinni tolppaan. Käytännössä rakennelmaan täytyisi vähintäänkin lisätä vaakaosalle tukirauta. Pultin ja siitä läpi vedetyn putken välille syntyvä kitka tulisi olemaan melkoisen suuri, koska väljyyttä ei voi olla. Lisäksi lyömäosan tasapainottomuus aiheuttaa sen, että pyörivä osa pyrkisi vetämään itseään pois päin akselista. Tämä rasittaisi tukipisteitä ja sotkisi mahdollisesti tuloksia.



Kuva 7. Toinen prototyyppi piirrettynä

Kitka- ja keskipakoisvoimaongelmien myötä lähdettiin miettimään, miten kyseiset ongelmat voitaisiin korjata. Kitkaa on mahdotonta poistaa kokonaan, mutta laakereiden avulla sitä pystytään vähentämään merkittävästi. Keskipakoisvoima poistui yhtälöstä, kun laitteeseen lisättiin vastakaiselle puolelle samanlainen vastapaino. Näin ollen laite olisi tasapainossa. Kuvassa 8 on piirrettynä prototyypin kolmannen version kehityskaari vasemmalta oikealle.



Kuva 8. Kolmannen prototyypin piirretyt versiot

Kaksi ensimmäistä versiota rakennettiin siten, että akselin molemmin puolin olevat osat olivat täysin samanlaiset. Näin ollen laite oli tasapainossa. Myöhemmin tasapainoajattelusta luovuttiin ja vastapaino poistettiin kestävyuden parantamiseksi. Kyseistä prototyypiversiota suunniteltaessa heräsi ajatus valokennojen käytöstä nopeuden mittaamisessa. Valokennojen käyttö ei edellyttäisi mitään kiinnityksiä lyötävään osaan, vaan toimisi itsenäisesti mitaten pyörähtävän kappaleen ajan.

### 5.3 Prototyypin rakentaminen

Harjoittelupaikan laboratoriosta löydettiin erilaisia pätkiä alumiiniprofiilia, joista laitteelle kasattiin tukipinta ja kaksi tukipilaria. Molempiin tukipilareihin kiinnitettiin pesälaakerit. Laakereiden välille kiinnitettiin vaakatasoon 150 mm halkaisijan akseli. Akselin keskelle lisättiin aluksi muoviputken pätkä, jonka molemmille puolille lyöntiosat kiinnitettiin. Hyvin pian kävi selväksi, ettei muoviputkea voi saada kiinnitettyä akseliin tarpeeksi tiukasti. Muoviputken tilalle hitsattiin teräsputken pätkä. Laitteen korkeus määräytyi halutun osumakorkeuden ja käytettävissä olleiden materiaalien myötä. Optimaalinen lyöntikorkeus vaihtelee jonkin verran esimerkiksi urheilijoiden pituuden mukaan.

Lyötävän osan materiaalin tuli olla kevyttä, mutta kestävä. Se ei myöskään saanut taipua merkittävästi tai katketa. Ensimmäiseksi kokeiltiin puista harjanvartta. Puuhun porattiin läpireikä, josta työnnettiin läpi ohut pultti. Vastaavanlainen kappale tehtiin myös toiselle puolelle.

Pehmustetta etsittäessä syntyi ajatus rakentaa lyötävän osan pinta-ala vastaamaan pesäpalloa, jolloin osuma-alan halkaisijan tulisi olla noin 70 mm. Ensimmäiseksi pehmusteeksi hankittiin eräänlaista ilmastointiputken eristettä, joka oli materiaaliltaan solukumia. Pehmusteen paksuuden ollessa 20 mm ja harjanvarren 28 mm kokonaishalkaisija saatiin lähelle haluttua seitsemää senttimetriä. Ensimmäisten testien kohdalla kävi kuitenkin nopeasti selväksi, ettei pehmuste ole riittävä. Kuvassa 9 esitettävä prototyyppi oli kuitenkin tässä vaiheessa sellaisessa kunnossa, että siihen voitiin lähteä lisäämään mittausjärjestelmää.

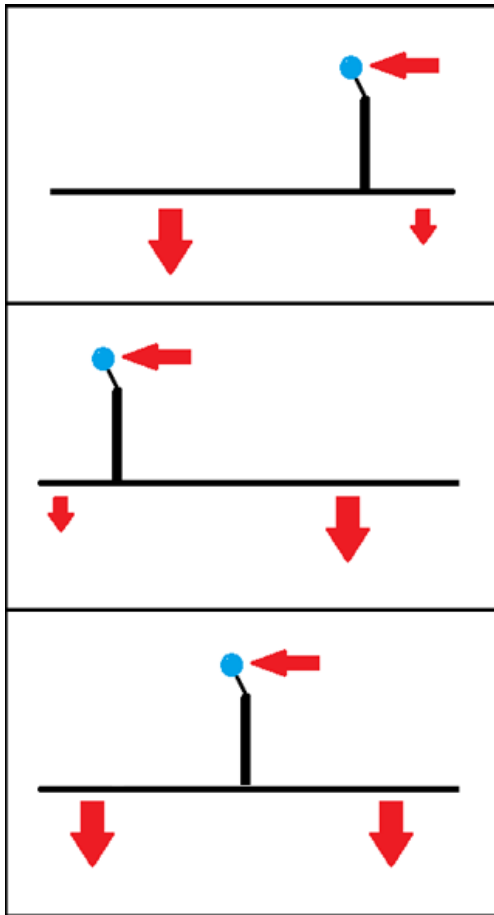


Kuva 9. Laitteen ensimmäinen rakennettu versio

Pehmustusta lisättiin, minkä jälkeen laitteen kestävyttä pystyttiin testaamaan lyömällä kovempaa. Testaamisen avulla kävi ilmi, ettei harjanvarsi ollut tarpeeksi kestävä. Katkeaminen tapahtui oletetuimmasta kohdasta eli teräsputken ja puuvarren liitoskohdan reunasta. Tässä kohtaa oli myös selvää, että mikään metalli ei olisi sopiva materiaali. Järeämmät metalliaineet, kuten rauta tai teräs, ovat liian painavia ja alumiini kokisi taipumisen. Vaihtoehdoksi löytyi muovitankoa, joka oli yhtä paksua kuin harjanvarsi. Sen massa oli noin puolet suurempi kuin puuvarren, mutta kestävyys huomattavasti parempi. Muovitankoa testattaessa kävi nopeasti ilmi, että lisääntynyt massa vaatii vielä paremman pehmustuksen. Tämä ilmeni tärähdyksenä käsille. Tärähdys käsille osumahetkellä aiheutti sen, että laitteeseen ei uskallettu lyödä niin kovasti kuin pystyisi. Ilman kunnollista pehmustetta myös maila voisi vaurioitua.

Pehmusteen lisäämisen jälkeen kontakti laitteeseen tuntui edelleen liian raskaalta. Vaaka-akseli vaikutti olevan tukevasti kiinni rakenteessa, joten päädyttiin kokeilemaan laitetta ilman vastapainoa. Tasapainottavan osan poistaminen kevensi laitteen liikkeelle lähtöä ja täten myös osuman aikaista tärähdystä mailassa. Nyt laitteeseen uskallettiin lyödä kovempaa.

Laitteen tukipinnan koettiin aluksi olevan riittävä, mutta lyöntivoimakkuutta lisättäessä havaittiin koko laitteen liikkuvan osuman voimasta. Laitteen liikkuminen aiheutti tärähdyksen mittausjärjestelmässä, joten tulokset olivat epäluotettavia tai niitä ei saatu ollenkaan. Tukipinnan päälle lisättiin levypainoja pitämään laitetta paikallaan. Levypainojen lisääminen ei tuntunut auttavan ollenkaan. Ongelmaa pohtimalla ymmärrettiin, että tukipintaa ja massaa täytyi lisätä toiselle puolelle laitetta. Laitteeseen kohdistuvan lyöntivoiman suunnan ollessa pois päin lyöjästä, täytyi vastavoiman olla lyöjän puolella. Pystypilareita siirrettiin eteenpäin, jotta painoja saatiin lisättyä osuman suunnan vastaiselle puolelle. Laitteen muokkaaminen auttoi osumahetkeä, mutta uusi ongelma rakentui pyörähtämisen edetessä. Pyörähtävän osan siirtyessä ala-asentoon sen voima pyrkii vetämään toiseen suuntaan. Näin ollen täytyi lisäpainoa olla myös lyöntisuunnan puolella. Kuvassa 10 on esitetty vapaakappalekuva laitteeseen vaikuttavista voimista. Ylimmässä kuviossa tukipinnan massan ollessa enimmäkseen vasemmalla laite pyrkii pyörimään vastapäivään. Keskimmaisessä kuviossa suurin osa tukipinnan massasta on oikealla puolella estäen laitteen rotaatiota osumahetkellä. Alimmassa kuviossa laite on asetettu tukipinnan keskelle mahdollistaen massan lisäämisen molemmille puolille.



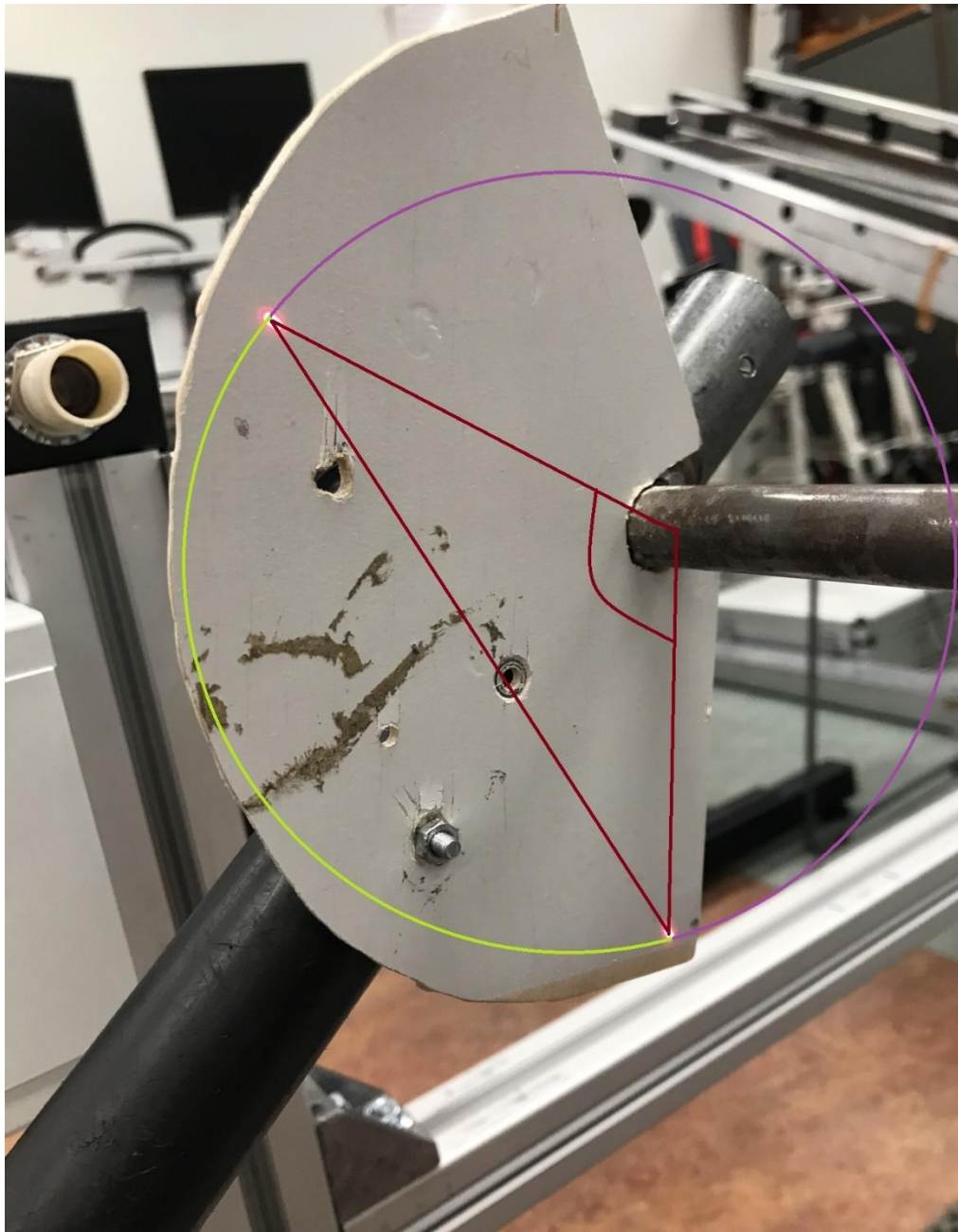
Kuva 10. Mittauslaitteen vapaakappalekuva

Laitteen pystyelementteihin lisättiin tukipilarit, jotta kennojen vakautta saataisiin parannettua. Laitteen liukuminen lattialla koettiin myös ongelmaksi. Tätä korjattiin lisäämällä laitteen alle kumimattoa. Kumimatto piti laitteen paikallaan ja samalla suojasi lattiaa naarmuuntumiselta.

### 5.3.1 Lyönnin nopeuden määrittäminen

Laitteeseen kiinnitettiin kaksi valokennoparia havainnoimaan laitteen runkoon kiinnitetyn pyörähäydyskappaleen liikettä. Käytössä olleiden kennojen lyhin mahdollinen reagointiaika on 5 millisekuntia eli 0,005 sekuntia. Tämä tarkoittaa sitä, että suurissa nopeuksissa säteen katkaisevan osan tulee olla tarpeeksi leveä. Asia todettiin myös käytännössä, kun ensimmäisten lyöntitestien aikana havaittiin virheelliseksi oletettavia tuloksia. Laitteeseen kiinnitettiin aluksi pahvista ja myöhemmin vanerista tehty kennojen katkaisija. Valokennot leikkaavan vanerin etureuna asetettiin

siten, että ensimmäinen kenno läpäistään välittömästi laitteen lähtiessä liikkeelle. Kuvassa 11 on esitetty viimeisin versio kennojen leikkaavasta osasta.

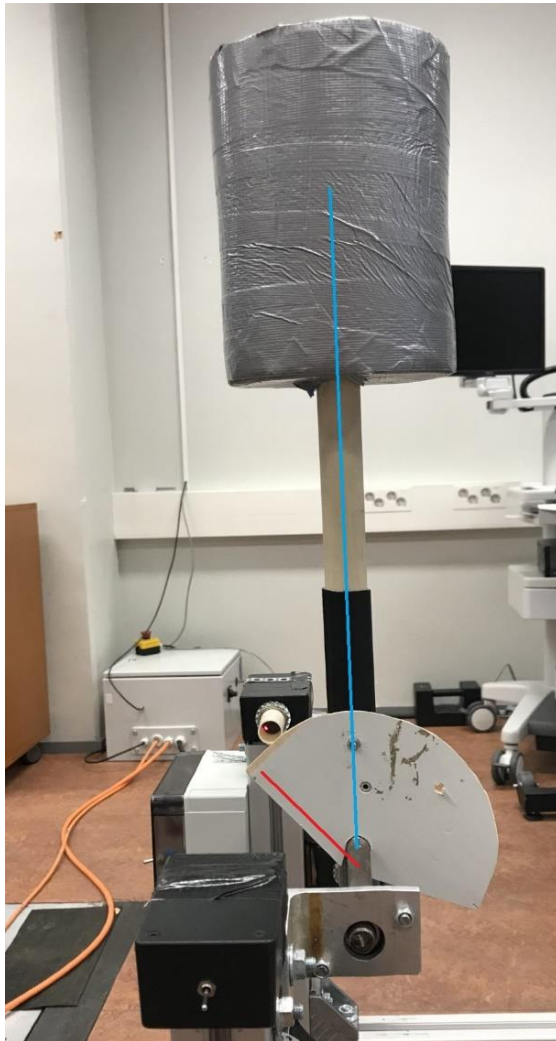


Kuva 11. Valokennojen signaalin leikkaava pyörähdyskappale

Ratanopeuden kaavan (2) mukaisesti laskettaessa täytyi laitteesta määrittää kennojen välinen etäisyys. Valokennojen välinen etäisyys laskettiin mittaamalla ensin kennojen säde akselin keskipisteeseen ja toisiinsa. Valokennojen ja akselin keskipisteen väliin muodostuneen kolmion avulla laskettiin keskuskulman suuruus kosinilauseetta käyttäen. Tiedettäessä säde ja keskuskulman suuruus saatiin laskettua sektorin kaaren pituus  $b$  kaavalla

$$b = \frac{\alpha}{360^\circ} 2\pi r, \quad (5)$$

missä  $\alpha$  on keskuskulman suuruus ja  $r$  ympyrän säde. Keskuskulman suuruuden ollessa  $143^\circ$  ja ympyrän säteen ollessa 0,0825 metriä saatiin kaaren pituudeksi kaavaa (5) käyttäen noin 206 mm. Laskettua kaaren pituutta käytettiin ratanopeuden määrittämisessä kennojen kohdalla. Kyseinen ratanopeus laskettiin kennojen säteen muodostavalta alalta kaavan (2) avulla. Tulos haluttiin kuitenkin saada osumakohdasta, joten seuraavaksi tuli määrittää kulmanopeus. Kulmanopeus laskettiin kaavalla (1). Tämän jälkeen laskettiin ratanopeus osumakohdassa kertomalla saatu kulmanopeus osumakohdan säteellä eli etäisyydellä akselin keskipisteestä. Kuvassa 12 sinisellä viivalla kuvataan osumakohdan etäisyyttä ja punaisella mitattavan alueen etäisyyttä kuvitteellisen ympyrän keskipisteestä. Saatu nopeus muutettiin kilometreiksi tunnissa kertomalla 3,6:lla, jotta päästiin yksikkönä helpommin ymmärrettävään muotoon.



Kuva 12. Mittausalueen ja osuma-alueen säteet

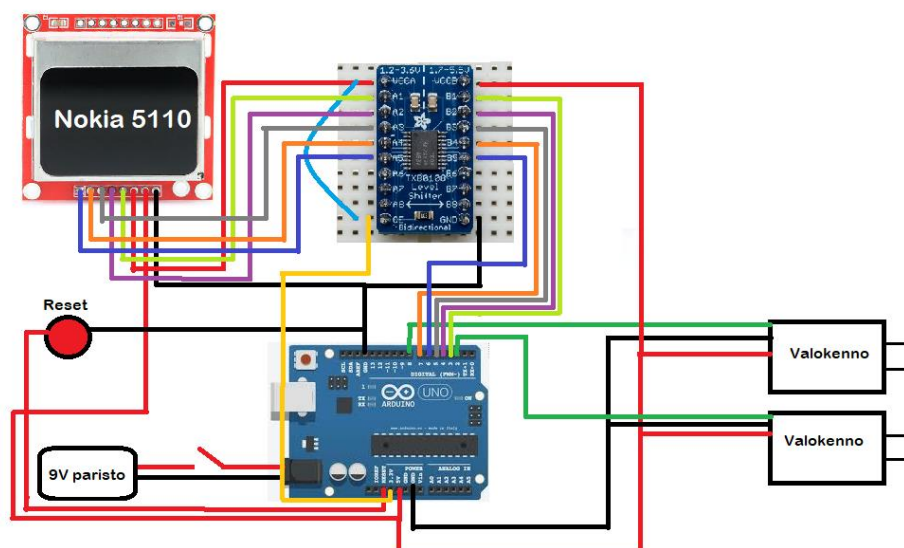
### 5.3.2 Arduino

Arduino on avoimen lähdekoodin omaava kehitysalusta. Sen käyttöetuna on helppokäyttöisyys ja edullinen hinta. Se on myös havaittu olevan opetuskäyttöön hyvin soveltuva kortti. Helppokäyttöisyyden myötä Arduinon käyttäjäyhteisö on hyvin laaja. Se sopii aloittelevista harrastajista aina ammattilaisiin asti. Yhteisö on myös aktiivinen ja avoin. Keskustelupalstoilta löytyy lähes jokaiseen ongelmaan ratkaisuja, joten käyttäjien ei tarvitse jäädä yksin. [20]

Prototyypin mikrokontrolleriksi valikoitiin Arduino Uno, koska siinä on laajat käyttömahdollisuudet ja kattava dokumentaatio esimerkkeineen. Datalehden perusteella arvioitiin myös, että sen kapasiteetti esimerkiksi kellotaajuuden osalta pitäisi riittää tähän projektiin. Arduinolle on olemassa oma ohjelmointiympäristönsä nimeltään Arduino IDE. Se on suunniteltu erilaisia Arduino-projekteja varten ja on täten varsin käyttäjäystävällinen käyttöliittymä. Se sisältää laajan valikoiman valmiita kirjastoja, mikä helpottaa huomattavasti ohjelmakoodien rakentamista.

### 5.3.3 Valokennot

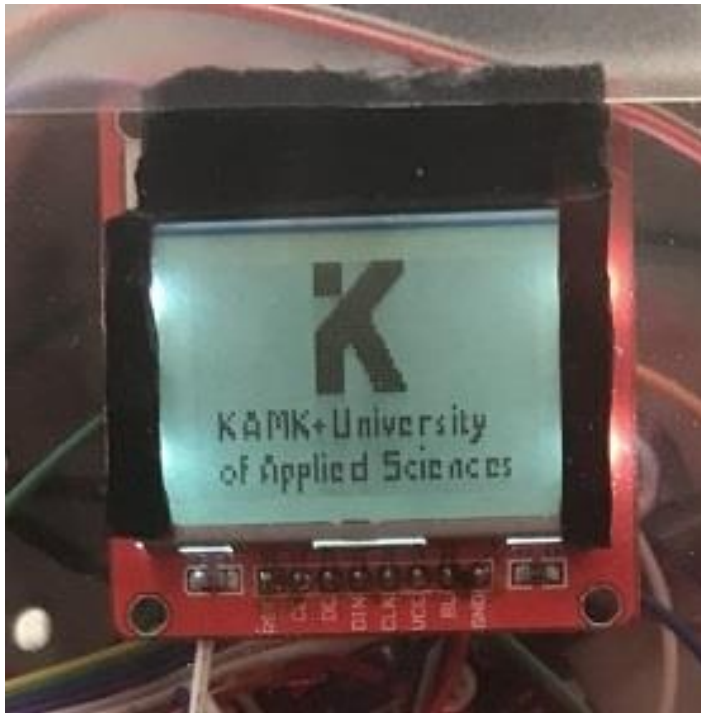
Valokennot kytkettiin liittämällä valokennojen vastaanottavat osat Arduinoon. Maajohto kytkettiin Arduinon maahan. Valokennojen toimiessa 5 voltilla kytkettiin käyttöjännitejohto Arduinon 5 volttiin. Datajohdot kytkettiin Arduinon pinneihin 2 ja 8, jotka mahdollistavat keskeytykset. Kuvassa 13 on esitetty koko kytkentä piirrettynä.



Kuva 13. Kytkentä piirrettynä

### 5.3.4 Ulkoinen näyttö

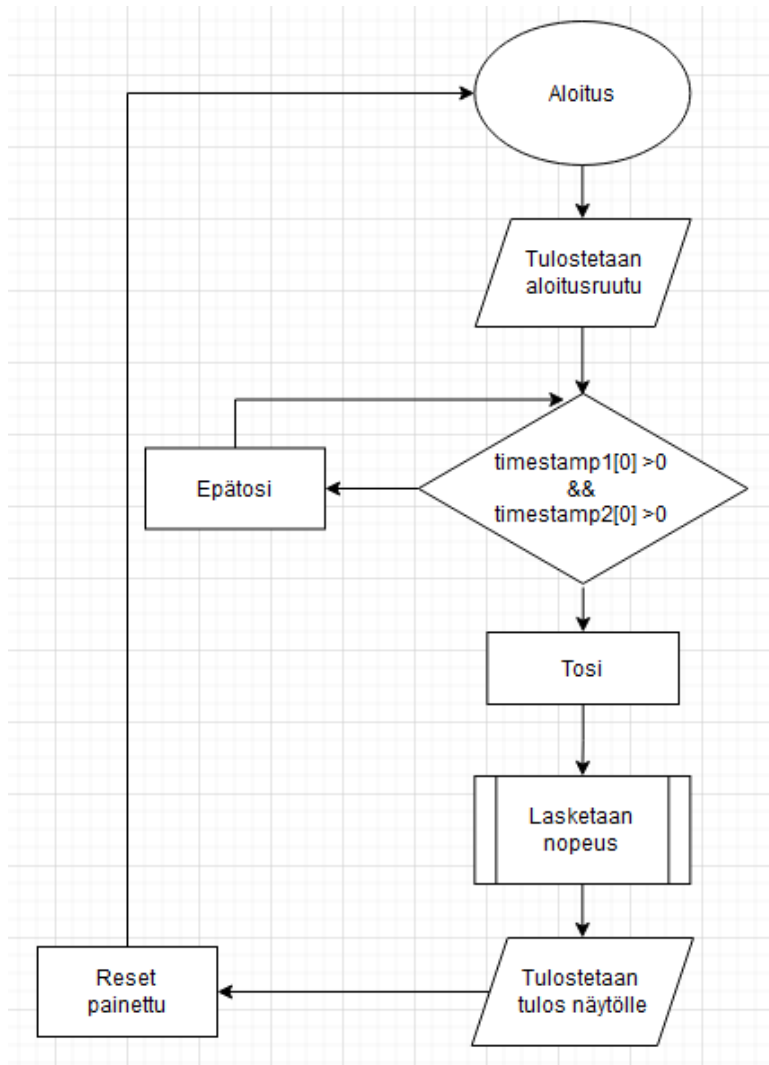
Koululta saatiin käyttöön Nokia 5110 LCD -näyttö, johon tulokset tulostettiin. Näytön lisääminen edellytti lisäämään kytkentään logiikkamuuntimen, koska näyttö toimii 3,3 V:n jännitteellä. Näytölle ohjelmoitiin aloitusruuduksi Kajaanin ammattikorkeakoulun logo bittikartan avulla (Kuva 14). Aloitusruudun avulla varmistettiin laitteen käyttövalmius. Lyöntisuorituksen tapahtuessa näytölle tulostettiin lyönnin nopeus kilometreinä tunnissa.



Kuva 14. Aloitusruutu

### 5.4 Mittausohjelma

Mittausohjelmaa lähdettiin rakentamaan valokennojen toiminnan ympärille. Valokennojen auki- ja kiinnioloaikoja päädyttiin tarkastelemaan keskeytysten avulla. Jokainen tilanmuutos valokennossa aiheutti ohjelmassa keskeytyksen, joka tallensi keskeytyksen aikaleiman. Aikaleimat päätettiin tallentaa taulukoihin, koska jokainen lyönti aiheuttaa kymmeniä keskeytyksiä. Käytännössä kiinnostus oli ainoastaan lähtönopeuteen, joten nopeutta päädyttiin laskemaan kahden ensimmäisen keskeytyksen tuottaman aikaleiman erotuksesta. Kuvan 15 vuokaaviossa esitetään ohjelman toiminta.



Kuva 15. Vuokaavio ohjelman toiminnasta

Ohjelman alussa esitellään tarvittavat muuttujat mittauslaskuja ja -tuloksia varten. Ohjelman set-up-osiossa otetaan keskeytykset halutuille porteille käyttöön ja kirjataan ylös datapinnit. Pääohjelmassa on ehtolause, joka tarkastelee, onko keskeytyksistä saatuja aikaleimoja syötetty taulukoiden tarvittaviin alkioihin. Siinä on myös kolmantena ehtona, että tietty alkio on tyhjä. Tämä aiheuttaa sen, että käytännössä ehto täyttyy vain kerran. Ehdon täytyttyä ohjelma siirtyy aliohjelmaan, jossa taulukoiden aikaleimojen ja mitattujen pituuksien avulla tehdään laskelmat.

Aliohjelman alussa näyttö tyhjennetään. Tämän jälkeen lasketaan aikaleimojen välinen aika. Saadun ajan avulla lasketaan ratanopeus kennojen alueella käyttäen kaavaa (2). Aikaleimojen ollessa mikrosekunteja myös pituus on mikrometreinä. Saadun ratanopeuden avulla lasketaan laitteen kulmanopeus kaavaa (1) käyttäen. Tässä vaiheessa yksikkönä käytetään metrejä. Ratanopeus osumakohdassa saadaan kaavan (2) mukaisesti kertomalla kulmanopeus osumakohdan säteellä. Tulos kerrotaan 3,6:lla, jotta arvoksi saadaan helpommin ymmärrettävä kilometriä tunnissa.

## 6 Laitteen testaaminen

Olennaisena osana testaamista koettiin laitteen kestävyys. Laitteeseen kohdistuvat suuret voimat ja lukuisat toistomäärät vaativat laitteelta kykyä kestää lyhythetkistä, mutta pitkäaikaista rasitusta. Kestävyuden ohella merkitykselliseksi asiaksi nousi tulosten luotettavuus ja vertailukelpoisuus. Etenkin vertailukelpoisuus testikertojen välillä koettiin olennaiseksi, koska yksi mittauslaitteen kehittämisen perusajatuksista perustuu harjoittelujaksojen väliseen tulosten mittaamiseen.

### 6.1 Testiprosessi

Laitteen testaaminen aloitettiin ensimmäisen rakennetun version valmistuttua. Testaamisen myötä tehtiin havaintoja ja kehitettiin parannusideoita. Pääasiallisesti käyttötestaamista teki laitteen kehittänyt henkilö, koska henkilöllä koettiin olevan riittävät ominaisuudet ja valmiudet testin suorittamiseen. Ensimmäisten versioiden testaamisvaiheessa laitetta testattiin myös tilaajan eli Vuokatti-Ruka urheiluakatemia valmennuksen toimesta. Heiltä kerättiin suullista palautetta laitteesta ja kyseltiin ideoita jatkokehitystä varten. Ideoiden pohjalta laitetta pyrittiin muokkaamaan tarpeiden vaatimalla tavalla. Muokkaamisen jälkeen suoritettiin uusia testejä, jotta päästiin havaitsemaan niiden toimivuus. Testien havaintojen pohjalta pystyttiin tekemään johtopäätökset laitteen toimivuuden muutoksista.

#### 6.1.1 Toiminnallisuuden testaus

Laitteen lyöntiosan eri versioita testattiin lukuisia kertoja, jotta voitiin arvioida sen kestävyyttä. Laitetta kuormitettiin lyömällä sen pehmustettuun osaan pesäpallomailalla. Toistojen kautta arvioitiin sen eri osien kestävyyttä kovemmilla voimakkuuksilla. Joidenkin versioiden kohdalla havaittiin toimimattomuus jo muutaman testin jälkeen, jolloin testaamista oli turha jatkaa. Paremmien toimivien versioiden kohdalla testaamista jatkettiin lisäämällä toistomääriä. Toistomäärien avulla päästiin näkemään, mikä tai mitkä osat laitteessa kuluvat käytössä nopeimmin. Kestävämpien versioiden kohdalla laitetta pystyttiin testaamaan täydellä voimalla ja sitä kautta havaitsemaan laitteen heikot kohdat.

Laitteen mittausjärjestelmää testattiin ensin erillään laitteen rungosta, jotta varmistuttiin mittausjärjestelmän toimivuudesta. Kun mittausjärjestelmän toimivuus oli todettu, se siirrettiin osaksi laitetta. Laitteen kanssa testaaminen aloitettiin pienistä nopeuksista. Tulosten todenperäisyys koettiin hankalaksi arvioida, koska mitään toista mittauslaitetta ei ollut verrokiksi. Nopeuden arviointi silmämääräisesti lyhyestä liikkeestä on lähes mahdotonta. Perinteinen nopeustutka ei todennäköisesti ehdi reagoimaan näin lyhytaikaiseen liikkeeseen.

Mittausosan toimivuutta laitteessa lähdettiin testaamaan lyömällä laitteeseen eri kovuuksilla ja siten arvioiden tuloksia keskenään. Verrokkiarviona ei voitu käyttää pesäpallon lyömistä tutkaan, koska pallo on huomattavasti kevyempi. Perinteisesti pesäpalloon lyötäessä pallolla on myös alkunopeus, joka vaikuttaa tulokseen. Testaamisessa päädyttiin nopeasti oletukseen, ettei laitteen antamia lukemia voi suoraan verrata pesäpallon tutkatuloksiin.

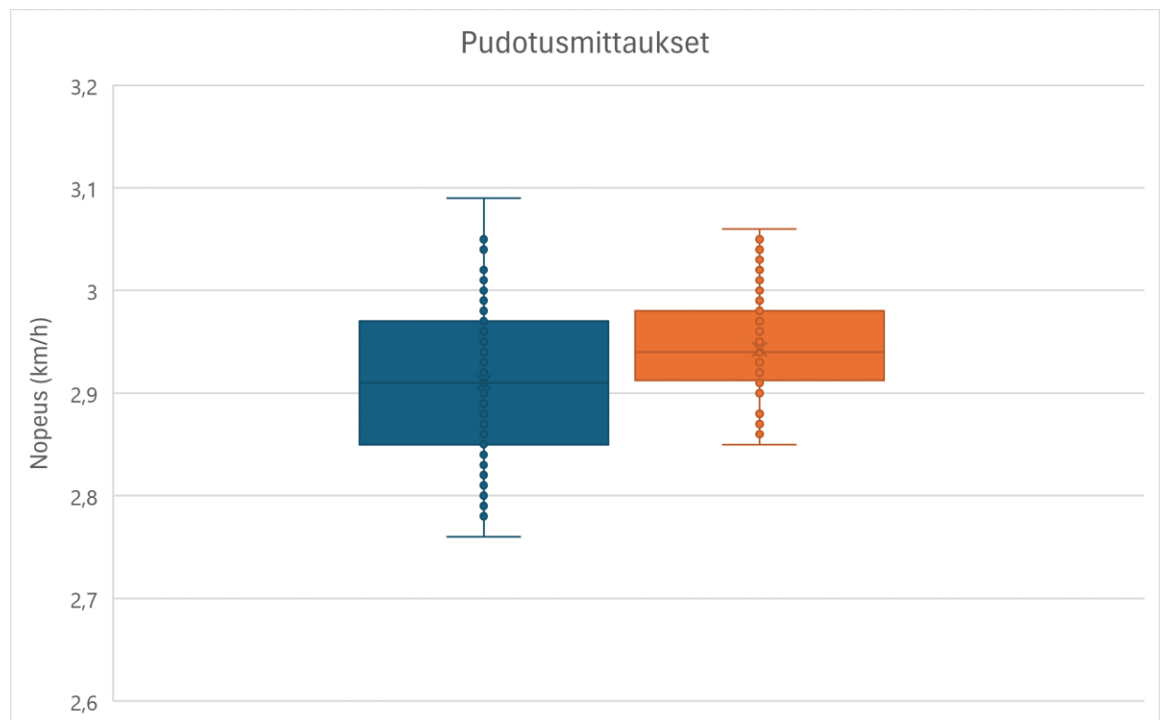
Käyttöttestauksessa havaittiin, että tulokset tulostuivat oikein muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta. Useimmat epäonnistuneet mittaukset johtuivat kennojen liikahtamisesta suorituksen aikana, jolloin tulosta ei saatu ollenkaan. Muutamissa testisuorituksissa kennoportti sulkeutui ennen aikaisesti johtuen vanerilevyn asemasta. Kyseisissä tilanteissa kennon valo oli suunnattuna valmiiksi vinoon. Tämä näkyi tuloksessa selvästi. Mittalaitteen lyöntiosan ollessa tasapainoton se ajoittain pyörähti ala-asentoon itsestään, jolloin testiä ei voitu suorittaa.

Lukuisten testiversioiden ja -kertojen jälkeen pystyttiin tekemään johtopäätös, että itse laite ja sen mittausjärjestelmä toimivat ainakin tiettyyn pisteeseen asti. Laitteen osien ollessa kuluvia niiden hajoaminen jossain kohtaa on vääjäämätöntä. Käytännössä laitteen kuormitusta ei voitu testata muuten kuin lyömällä siihen mailalla. Täten oli epäselvää, kuinka kova yksittäinen isku pystyy kerralla rikkomaan lyöntiosan. Tarkasti ei pystytty myöskään arvioimaan lyönnin osumakohdan ja -kulman merkitystä tulokseen ja laitteen kestävyYTEEN.

### 6.1.2 Luotettavuuden testaaminen

Laitteen kalibrointiin eli mittaustuloksen vertaamiseen referenssilaitteen ilmoittamaan lukemaan ei ollut valmiita ratkaisuja tai välineitä. Mittaustilanteen vakioimiseksi kennot kiinnitettiin mahdollisimman jäämäkästi laitteen tukipilareihin. Laitteen tukipintojen päälle ladottiin levypainoja, jotta lyöntiosan heilahduksessa etenevä voima ei liikuttaisi koko laitetta. Laitteeseen lisättiin tukirakenteita, jotta sen paikallaan oleva osa nimenomaan pysyisi paikallaan. Valokennot leikkaavaan vaneriin tehtiin merkki, jotta valokennojen etäisyys akselistasta voitiin vakioida ja varmistaa.

Mittaustuloksien toistettavuuden määrittämistä varten laitetta pitäisi käytännössä pystyä lyömään toistuvasti täysin samalla voimalla ja samaan kohtaan. Tämän ollessa käytännössä mahdollonta ilman sitä varten rakennettua laitetta päädyttiin suorittamaan toistettavuuden testaaminen pudotustestillä. Pudotustestissä lyöntiosa asetettiin aluksi normaaliin lähtötilaan, minkä jälkeen laitteelle annettiin sormella mahdollisimman kevyt alkuvauhti, jotta lyöntiosa pyörähti valokennojen välistä. Käytännössä mittauksessa pyrittiin mittaamaan painovoiman aiheuttamaa nopeutta laitteessa. Pienen ulkoisen alkuvauhdin takia kyseinen toistettavuustestausten menetelmä ei ollut täysin aukoton, mutta paras mahdollinen. Toistoja suoritettiin 100 kappaletta ja tulokset kirjattiin ylös. Testin jälkeen laitetta kuormitettiin lyömällä siihen maksimaalisella voimalla 15 kertaa. Tämän jälkeen toistettavuustestaus suoritettiin uudelleen. Ensimmäisen testin keskihajonta oli 0,072 km/h, vaihteluvälin ollessa 0,33 kilometriä tunnissa. Jälkimmäisen testin keskihajonta oli 0,055 km/h, vaihteluvälin ollessa 0,35 kilometriä tunnissa. Testien keskiarvot olivat 2,91 km/h ja 2,94 km/h. Kuvassa 16 on esitetty pudotustestien tuloksista muodostettu ruutu- ja janakaavio. Sininen ruutu kuvastaa ensimmäistä testiä ja oranssi ruutu jälkimmäistä testiä.



Kuva 16. Pudotustestien mittaustulokset ruutu- ja janakaaviona

Tarkoituksena oli jatkaa kuormitustestaamista vielä kerran, minkä jälkeen suorittaa kolmas pudotustesti. Lyöntiosan pehmusteen hajottua kesken kuormitustestin otanta jäi niin pieneksi, ettei

kolmatta pudotustestiä ollut järkevää suorittaa. Kyseisellä toistettavuustestausmenetelmällä pyrittiin vakioimaan mittauslaitteiston asennot ja testaamisella varmistamaan, ettei muutosta tapahdu käytön myötä.

Kennojen toimintaan liittyy mahdollisia mittausongelmia, joita ei pystytty täysin testaamalla mittaamaan. Valonsäteen vähimmäiskiinnioaloajan ollessa 0,005 sekuntia kennojen valmistaja kertoo, että 100 km/h nopeudessa kennot läpäisevän kohteen tulee olla noin 150 mm leveä. Kennot leikkaavan vanerin keskuskulman ollessa  $143^\circ$  ja säteen 0,0825 metriä tulee kaaren pituudeksi aiemmin esiteltyä kaavaa (5) käyttäen noin 206 mm. Sijoitettaessa laskettu pituus ja minimiaika ratanopeuden kaavaan (2), saadaan maksimaaliseksi nopeudeksi 41,2 m/s eli noin 148,3 km/h. Huippupelaajat lyövät pesäpalloa jopa lähes 190 km/h, joten vanerin koko ei välttämättä riitä kovimpien lyöjien käytössä. Laitteen lyöntiosan massan ollessa pesäpalloa suurempi ja alkuvauhdin ollessa nolla, ei nopeuksia voida suoraan vertailla keskenään.

Mahdollisia mittausepävarmuuksia liittyy myös mikrokontrolleriin. Laitteen laskentaa ja keskeytyksiä ohjaavan Arduino Unon mikrokontrolleri on mallia ATmega328P. Mahdolliset ongelmat muodostuvat kovan lyönnin vaatimasta nopeasta keskeytysten käsittelystä. Mikrokontrollerin datalehden mukaan keskeytykseen reagointi kestää neljän kellojakson verran. Keskeytysvektorista poistuminen kestää myös neljä kellojaksoa. ATmega328P:n toimiessa 16MHz taajuudella saadaan kokonaisreagointiaika  $S$  laskettua kaavalla

$$S = \frac{1}{(C * F)}, \quad (6)$$

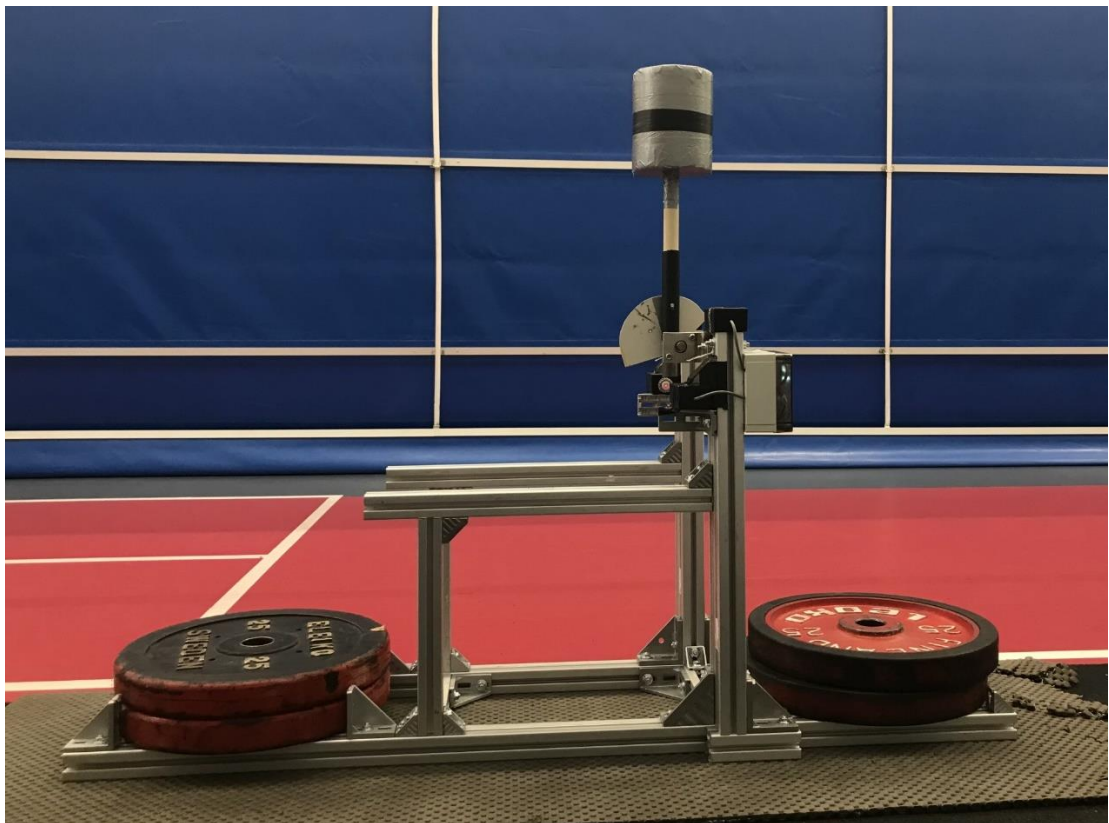
missä  $C$  on kellojaksoiden määrä ja  $F$  on kelloaajuus. Kahdeksan kellojakson kesto on täten 0,0005 sekuntia eli 0,5 millisekuntia. [21, s. 16] Keskeytysvektorin sisällä suoritettavan ohjelmakoodin kesto ei pystytä tarkalleen laskemaan, mutta voidaan olettaa sen ottavan suurimman osan keskeytyksen kokonaiskestosta. Valokennoparit kytkettiin kehitysalustalle omiin portteihin, joten kummallekin kennoparille luotiin oma keskeytysvektori. Keskeytysvektorit luotiin toiminnoiltaan identtisiksi, joten niiden kesto voidaan olettaa olevan sama. Keskeytysvektoreiden kestojen ollessa vakiot niillä ei ole vaikutusta mittaustuloksiin.

Kennojen muodostaman kaaren pituus on noin 158 mm. Otettaessa esimerkkinopeudeksi 150 km/h saadaan nopeuden kaavan avulla laskettua ajaksi noin 3,8 millisekuntia. Kyseessä on siis aika, mitä mikrokontrollerilla on aikaa käsitellä keskeytys, ennen kuin seuraava keskeytys on määrä saada suoritusajaksi ohjelmassa. Mittausohjelman toimii siten, että keskeytysvektoriin edetään jokaisen tilanmuutoksen myötä. Ongelmaksi voi tästä syystä muodostua jälkimmäisen

kennon aiheuttaman keskityksen jälkeen tapahtuva kolmas keskeytys ensimmäiseltä kennolta. Kolmannen keskeytyksen on määrä tapahtua noin 48 mm toisen jälkeen. Kolmannella keskeytyksen lukuarvoa ei käytetä nopeuden laskemisessa, joten sen havaitsemisella ei ole merkitystä. Jälkimmäiseen keskeytysvektoriin lisättiin komento, mikä estää uusien keskeytyksien huomioimisen sinä aikana, kun kyseinen keskeytys on yhä käynnissä.

### 6.1.3 Testaaminen urheilijoilla

Laitteen käyttötestaaminen urheilijoiden toimesta toteutettiin 24.4.2024 Sotkamossa. Testeihin osallistui Vuokatti-Ruka urheiluakatemia lukioikäisiä urheilijoita. Testejä varten rakennettiin yhteensä kolme laitteeseen kiinnitettävää lyöntiosaa hajoamisen varalta. Ensimmäisen hajottua jo ennen virallisten testien alkamista lopullisissa testeissä oli käytössä kaksi lyöntiosaa. Lyötävien osien loputtua hajoamisen myötä testattuja urheilijoita oli lopulta neljä. Kaikki urheilijat käyttivät lyömiseen samaa testimailaa. Kuvassa 17 on esitetty laitteen versio, jolla testaaminen suoritettiin.



Kuva 17. Mittauslaitteen versio testitilanteessa

Laitteeseen lyötiin aluksi kevyempiä lyöntejä, jotta saatiin tuntuma laitteen käyttäytymisestä. Jokainen mitattu suoritus kuvattiin sivusta ja takaviistosta. Sivusta kuvaamisen avulla pyrittiin havaitsemaan osuman kohta laitteessa ja mailan liikesuunta. Takaviistosta kuvattaessa haluttiin kuvata lyöjän suoritustekniikkaa. Jokaisesta suorituksesta kirjattiin ylös laitteen antama lukema. Ensimmäiset mitatut suoritukset suoritettiin paikaltaan lyötyinä. Tuloksia paikaltaan suoritetuista lyönneistä saatiin jokaiselta urheilijalta kolme kappaletta. Tuloksia vauhdin kanssa saatiin lopulta yksi jokaiselta urheilijalta.

Laitteeseen lyömisen lisäksi urheilijoilta tutkattiin pesäpallon lyöntiä niin ilman vauhtia kuin vauhdin kanssa. Lyönnit kuvattiin takaviistosta samassa kulmassa kuin laitteeseen lyötäessä, jotta mahdollisia eroavaisuuksia lyöntitekniikassa voitaisiin havaita. Tutkatestissä urheilijat käyttivät omaa mailaansa. Testien lopuksi urheilijoilta kerättiin palautetta nimettömänä täytetyn kyselylomakkeen avulla.

## 7 Tulokset ja tulosten tarkastelu

Olettamus ennen testejä oli, että laitteen antamat lukemat eivät kulje käsi kädessä suhteessa tutkalukemiin. Laitteen pyörähtävän osan massa oli merkittävästi suurempi kuin pesäpallon massa. Eräänlainen hypoteesi kuitenkin oli, että tulokset ovat verrannollisia keskenään ja samansuuntaisia tuloksia olisi havaittavissa. Urheilijoiden suorittamissa laitteen käyttötesteissä tuloksia saatiin neljältä henkilöltä. Ilman vauhtia suoritettavat lyönnit ovat esitetty taulukossa 3. Kaikki ilman vauhtia tehdyt suoritukset suoritettiin samaa lyöntiosaa käyttäen. Kaikkien tulosten yksikkönä on kilometriä tunnissa.

Taulukko 3. Urheilijoiden mitatut tulokset laitteeseen lyömisestä ilman vauhtia.

Urheilijanro	1	2	3	4
1. lyönti	108,1	106,4	110	124,3
2. lyönti	78,8	102,4	121,6	136,9
3. lyönti	102,1	93	91,6	108,1

Tuloksista havaitaan, että niiden vaihteluväli on varsin suuri. Suurta vaihteluväliä voisi osittain selittää osumakohdan vaihtelu. Tätä päätelmää tukevat myös lyönneistä kuvatut videot. Isot erot lyöntien välillä saattavat selittyä osittain myös lyöjien uskalluksesta lyödä laitteeseen. Vertailtaessa lyöntien keskiarvoja, voidaan havaita tulosten tason laskevan testien edetessä. Otannan ollessa todella pieni, ei tästä havainnosta voida muodostaa johtopäätöksiä.

Vertailupohjaksi suoritetuissa pesäpallolyönnin tutkatesteissä saatiin tuloksia niin ilman vauhtia kuin vauhdin kanssa. Suurin osa testeistä suoritettiin vauhdin kanssa. Taulukossa 4 on esitetty saadut tutkaustulokset ilman vauhtia. Hyväksytyiksi suorituksiksi valittiin lyönnit, joissa palloon osuttiin hyvin.

Taulukko 4. Urheilijoiden mitatut tulokset pesäpallolyönnistä nopeustutkaan ilman vauhtia.

Urheilijanro	1	2	3	4
1. lyönti		124	136	127
2. lyönti		126	140	130
3. lyönti		123		128

Tulokset ovat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta suuremmat kuin laitteeseen lyödyt tulokset. Lyöjän 4 tulokset ovat varsin lähellä laitteen antamia lukemia. Analysoitaessa lyöjän 4 videoita suoritusten välillä, havaittiin ylävartalon kierrossa huomattava ero testitapojen välillä. Laitteeseen lyötessä kierto liike oli paljon suurempi. Tämä voi olla selityksenä korkeisiin lukemiin laitetestituloksissa.

Laitteeseen saatiin lyötyä vauhdin kanssa vain yhdet suoritukset per urheilija. Pesäpalloa lyötiin niin monta kertaa, että saatiin noin 10 hyvää osumaa. Taulukossa 5 on esitetty tulokset vauhdin kanssa suoritetuista lyönneistä. Tutkatuista tuloksista näkyy jokaisen urheilijan kolme parasta lyöntiä sekä kaikkien onnistuneiden lyöntien keskiarvo.

Taulukko 5. Vauhdin kanssa suoritettut testitulokset.

Urheilijanro	1	2	3	4
Laite	89,9	88,9	83,5	107,9
1.	137	140	142	135
2.	136	137	141	134
3.	136	137	141	132
Keskiarvo	125,4	133,9	136,1	129,5

Laitetulosten otannan ollessa mitättömän pieni ei luotettavaa arviota voida muodostaa. Näyttäisi kuitenkin, että lyöjän 4 tulos laitteeseen kulkee yhä muita ylempänä. Tulokset pesäpalloon lyömisessä ovat kuitenkin alhaisempia kuin lyöjillä 2 ja 3. Laitteen tulokset ovat selvästi alhaisemmat vauhdin kanssa kuin ilman vauhtia. Tässä mahdollisesti vaikuttavana tekijänä on se, että lyöntiosa hajosi ensimmäisestä vauhdin kanssa suoritetusta testistä. Tilalle vaihdettu uusi lyöntiosa oli pyritty rakentamaan täysin samanlaiseksi, mutta pienet erot lyöntiosien välillä ovat mahdollisia. Katkeamisen havaitsemisen vaikutuksen voidaan olettaa vaikuttaneen sitä seuranneisiin suorituksiin. Osumakohtat vauhdin kanssa suoritetuissa lyönneissä olivat videoista katsottuna pehmusteen yläosassa. Ilman vauhtia suoritetuissa lyönneissä osumakohta lähenteli pehmusteen keskikohtaa.

## 7.1 Havainnot ja huomiot

Laitteen rakennusvaiheessa ei ollut määritelty tulevaa testiryhmää, joten lyöntiosan varren pituutta ei optimoitu tietyn testiryhmän pituuksien mukaan. Lyöjien 2 ja 3 tulokset laitetesteissä niin ilman vauhtia kuin vauhdin kanssa ovat erittäin kaukana pesäpallolyöntitestien tuloksista. Tätä saattaisi selittää lyöjien pituus ja sitä kautta luontainen lyöntikorkeus. Lyönneistä palloon kuvatuista videoista käy ilmi, että urheilijoiden 2 ja 3 luontainen lyöntitekniikka on huomattavasti alempana kuin laitteen osumakorkeus. Tämän takia kyseisten lyöjien maila on laitteeseen osumishetkellä vinossa, minkä voidaan olettaa vaikuttaneen tulokseen merkittävästi. Havaintoa tuki urheilijoilta kerätty nimetön palaute. Kyselyssä osuma-alueen korkeuden vaikutuksesta lyöntitekniikkaan vain yksi vastasi sen olleen vaikuttamatta tekniikkaan.

Kolme neljästä lyöjästä koki laitteen pehmustetun lyöntiosan sopivan kokoiseksi ja osumisen helpoksi. Yksi testaaja ilmaisi kyselyssä vaikeudeksi osua paikallaan olevaan kohteeseen ja koki lyöntiosan liian pieneksi. Lajiin kuuluu olennaisesti osuminen liikkuvaan palloon, joten paikallaan olevaan kohteeseen lyömistä ei harjoitella. Näin ollen voidaan olettaa, että laitteen kanssa toimiminen vaatii paljon toistoja varmuuden ja luottamuksen saamiseksi laitetta kohtaan. Käytännössä lyöjällä on oltava samanlainen luottamus suoritukseen laitteen kanssa kuin palloon lyömisessä, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia.

Urheilijoita pyydettiin kyselyssä arvioimaan, pystyivätkö ja/tai uskalsivatko he lyödä laitteeseen niin lujaa kuin mahdollista. Arviointiasteikon ollessa 1–5 (1 = Täysin eri mieltä, 5 = Täysin samaa mieltä) urheilijoista kolme vastasi 4 ja yksi vastasi 3. Sanallisessa vastauksessa kaikki toivat ilmi, että laitteeseen lyöminen jännitti tai pelotti. Pelkoa aiheutti epävarmuus laitteen ja mailan kestävydestä. Yhdellä vastanneista pelkoa aiheutti myös epävarmuus pehmusteeseen osumisesta. Yksi vastanneista kertoi lisäksi uskaltaneensa lyödä kovasti ilman vauhtia, mutta ei vauhdin kanssa. Tätä palautetta tukee vauhdin kanssa saadut heikommat tulokset.

Ennen testejä oletuksena oli, että laite kestäisi hyvin vauhdin kanssa lyömisestä. Lyöntiosan hajoamisen takia otanta vauhdin kanssa suoritetuista lyönneistä jäi mitättömän pieneksi. Jälkikäteen ajateltuna olisi tutkatesteissä painotuksen pitänyt olla paikaltaan lyömisessä. Jatkossa voidaan miettiä, onko järkevämpää käyttää laitetta testaamaan lyöntinopeutta ilman vauhtia. Ilman vauhtia laitteeseen osuminen on oletettavasti helpompaa ja osuma tulee todennäköisemmin mailan

asennon ollessa laiteystävällisempi. Osuman ollessa ”puhtaampi” laite paitsi kestää paremmin myös antaa paremman tuloksen.

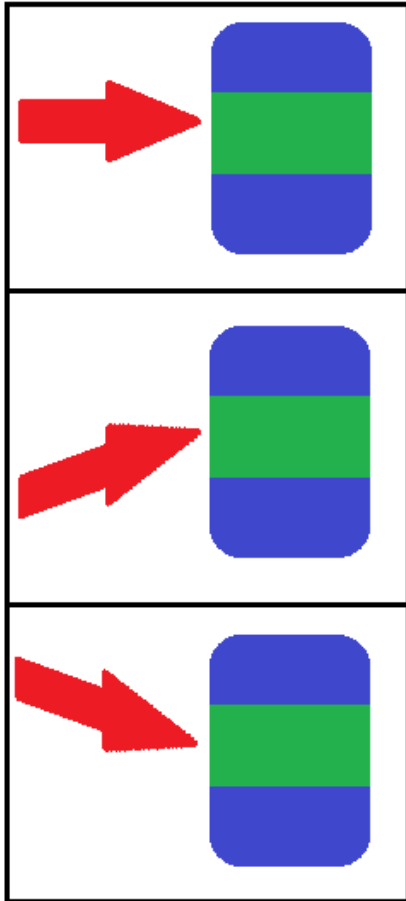
## 8 Analyysi ja pohdinta laitteen luotettavuudesta

Alun perin laitetta suunniteltiin käytettävän vain yhden kennoparin voimin. Myöhemmin lisättiin toinen kennopari, koska sen koettiin mahdollistavan luotettavamman tuloksen. Kennojen katkaiseva vaneriosa mitoitettiin siten, että mitattava alue oli  $180^\circ$ . Toista kennoparia lisätessä vaneriosaan ei enää tehty muutosta. Toisen kennoparin myötä kennojen aiheuttamien keskeytysten väli ohjelmassa lyheni.

Ohjelmakoodi toimii siten, että jokainen tilanmuutos aiheuttaa ohjelmassa keskeytyksen. Näin sen ei kuitenkaan tarvitsisi olla, sillä mittauksen kannalta tärkeitä ovat ainoastaan pulssien nousevat reunat. Rakentaessani ohjelmakoodia en tullut ajatelleeksi käyttää matalantason rekisteriohjelmointia keskeytysvektoreiden määrittelyssä. Sen sijaan käytin Arduino IDE:n valmiita kirjastoja, joissa ei ollut mahdollista valita nousevaa reunaan. Muuttamalla ohjelman toimintaa, keskeytyksiä tapahtuisi ohjelmassa harvemmin ja tuloksista saataisiin luultavasti luotettavampia.

Laitetta kehitettäessä pyrittiin pitämään kiinni siitä, että liikkuvan osan massa ei kasva liian suureksi. Näin ollen pidettiin kiinni ratkaisusta, jossa puu oli varren materiaali. Urheilijoiden käyttötastauksesta kävi hyvin ilmi, ettei puu ole tarpeeksi kestävä materiaali. Puun valintaa tukivat sen kevyt ja taipumaton rakenne sekä edullisuus. Vaihtoehtoisena materiaalina kokeiltu muovitanko on puolet painavampi ja taipuisa, mutta todennäköisesti paljon kestävämpi. Kevyemmät metallimateriaalit kokisivat melko varmasti taittumisen ja kovemmat metallit olisivat liian raskaita. Puun päällystämistä kokonaan jäykällä muoviputkella mietittiin, mutta ei päädytty kokeilemaan.

Testauksissa kuvatuista videoista käy ilmi, että laitteen kestäminen on todella riippuvainen sen osumakohdasta. Osuttaessa keskelle pehmustetta laite todennäköisemmin toimii oikein ja kestää. Osuttaessa pehmusteen yläosaan osuma kuormittaa vahvasti varren yläosaa ja etenkin pehmustetta paikallaan pitävää ”hattua”. Lyöntivoiman osuessa pehmusteen alaosaan varren kuormitus kasvaa etenkin lähellä akselia. Ilmiöitä kuvastaa kuvan 18 piirretty pehmuste, jossa haluttu osumakohta on merkattu vihreällä.



Kuva 18. Pehmusteen Sweet Spot ja osumasuunnat

Mailan kulmalla suhteessa osumapintaan on suuri merkitys niin tulokseen kuin laitteen kestävyys-  
teen. Mailan osuessa kohtisuoraan on sen tuottama voima tangentin suuntainen ja täten tulos on  
paras mahdollinen. Osuman tapahtuessa yläviistoon osa mailan liikevoimasta jää välittymättä  
laitteeseen, jolloin tulos jää vaillinaiseksi. Tällainen lyönti kuormittaa laitteen liikkuvaa osaa vä-  
hemmän. Mailan liikeradan kulkiessa alaviistoon kuormitus laitteessa kasvaa huomattavasti,  
koska suuri osa voimasta kohdistuu laitteeseen. Tällöin voimasta jää pienempi osuus edistämään  
pyörähdysliikettä. Voima kohdistuu enemmän lyötävän osan varteen aiheuttaen siinä taipumista.  
Varren ollessa puuta se ei taivu vaan katkeaa. Voimien suuntia on kuvattu kuvassa 18.

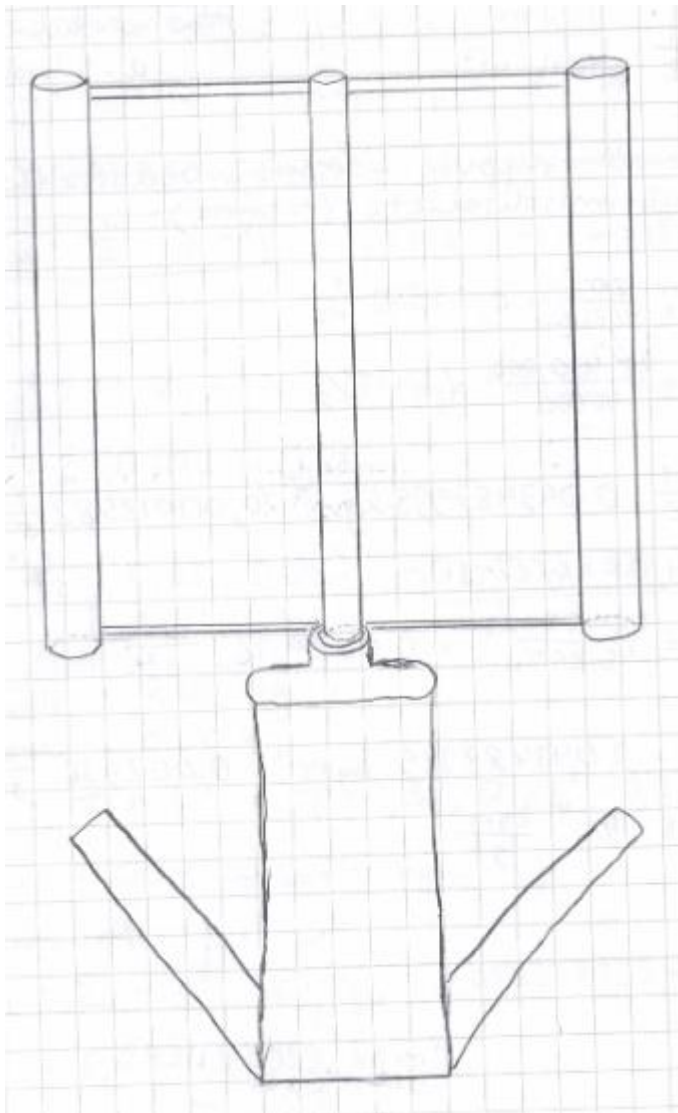
Katkeamisongelmaa ei havaittu viimeisimmän version aiemmissä testausvaiheissa. Useita lyön-  
tejä kuvattiin ja testien jälkeen kuormituksen vaikutuksia tutkittiin. Mahdollinen syy voi olla se,  
että alkuperäinen laitteen testaaja on testannut laitetta enemmän, jolloin laitteeseen lyömisestä  
on tullut rutiininomaisempaan. Toisaalta testatut urheilijat olivat poikkeuksetta lyhyempiä kuin  
alkuperäinen testaaja, jonka mukaan osumakohdan korkeus oli mitoitettu. Pyörähtävän osan kor-

keudella on vaikutusta siihen, millaisessa kulmassa maila osuu laitteeseen ja mihin kohtaa laitetta. Osumakohdan ollessa joko liian korkealla tai liian matalalla joutuu lyöjä adaptoitumaan siihen. Oman luontaisen osumakorkeuden ollessa eri kuin haluttu joutuu lyöjä todennäköisesti muuttamaan lyöntitekniikkaansa. Tekniikan muutokset voivat aiheuttaa mailan liikesuuntaan poikkeamia, joiden siirryttyä laitteeseen aiheuttavat vaihtelevuutta tuloksissa ja erilaista kuormitusta laitteessa.

Toisaalta jokaisen lyöjän tekniikka on yksilöllinen. Pesäpallossa käytetään paljon erilaisia lyöntejä, joista jokainen on teknisesti erilainen. Laitteen käyttäminen kestävästi edellyttäneen riittävän taitotason omaamista, koska niin laitteen kestävyys kuin paras mahdollinen tulos ovat riippuvaisia suorakulmaisesta osumasta pehmusteeseen.

## 9 Mahdolliset jatkotutkimukset

Nykyinen prototyyppi aiheuttaa tuloksissa epävarmuuksia, jotka riippuvat mailan osumakohdasta laitteeseen. Kuvassa 19 on piirretty idea prototyypistä, jossa tätä ongelmaa on pyritty poistamaan. Tässä mallissa osumakorkeus olisi myös helpompi säätää sopivaksi. Tällaisen laitteen rakentaminen vaatisi paljon suunnittelua esimerkiksi materiaalien suhteen. Valokennojen liittämisestä muodostuu ongelma, joten mittaamista tulisi miettiä uudelleen.



Kuva 19. Neljän prototyypin piirroskuva

Nykyisen laitteen version lähtötilanne ei ole täysin vakioitavissa. Laitteen lyöntiosa pysyy ylhäällä tasapainossa arviolta noin puolen sentin alueella. Tämän jälkeen se pyörähtää valokennojen läpi

ala-asentoonsa. Vaihtamalla nykyiset laakerit yksisuuntaisiin laakereihin lähtötilanne voitaisiin vakioida. Yksisuuntaisen laakerin toiminta perustuu siihen, että laakeri pyörii vain yhteen suuntaan [22]. Laitteella ei ole tarvetta pyöriä toiseen suuntaan, joten yksisuuntalaakerin avulla lähtötilanne voitaisiin lukita aina samaan asentoon.

Nykyinen pehmusteratkaisu on osoittautunut kelvottomaksi käyttää pidempiaikaisessa käytössä. Pehmuesteen täytyisi olla kevyttä ja kestävä, mutta samaan aikaan pehmentää lyönnistä aiheutuva voimaa. Mahdolliseksi pehmusteratkaisuksi tilattiin eräältä IV-kanavaeristeitä valmistavalta yritykseltä pehmusteita mittatilaustyönä (Kuva 20). Näitä pehmusteita ei ehditty testaamaan opinnäytetyön valmistumisaikataulussa.



Kuva 20. Mahdollinen pehmusteratkaisu

Toinen mahdollinen ratkaisu voisi olla pesäpallon sisälläkin käytettävä naru. Narua täytyisi punoa useita kerroksia, mutta sen ominaisuudet tukisivat edellä mainittuja ehtoja. Narun materiaali on hyvin todennäköisesti liimattavissa paremmin, joten sen pysyvyys kiinni lyötävässä osassa pystytäisiin takaamaan paremmin. Narukerrosten päälle voisi lisätä jonkin suojaavan osan pinnalle. Viralliset pesäpallot valmistetaan polyesteristä, kumista ja synteettisestä langasta [23, s. 17].

Testitilanteessa havaittiin puun olevan liian heikko materiaali pyörähtävän osan varreksi. Vaihtoehtoisena materiaalina voitaisiin seuraavaksi kokeilla jo aiemmin mainittua muovitankoa, jonka

kestävyyssominaisuudet ovat paremmat. Materiaalin massan ollessa suurempi sen käyttö vaatii järeämmän pehmustuksen. Kuvassa 21 on esitetty pyörähtävän osan varsivaihtoehtona olevia muovitangon pätkiä.



Kuva 21. Vaihtoehtoinen varsiratkaisu

## 10 Päätäntö

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää ja rakentaa pesäpallon peruslyönnin lyöntivoiman mittaukseen soveltuva laite. Laitteen tuli olla toimiva, kestävä ja tarkasti tuloksia mittaava. Nyt rakennettu laite on tilassa, jossa se toimii itsenäisesti ottaen virran 9 voltin paristolta. Se mittaa tuloksia jo suhteellisen luotettavasti, mutta pienillä korjauksilla olettavasti vielä paremmin. Kestävyys on laitteen suurin heikkous. Tämä näkyi käyttötesteissä laitteen pyörähtävien osien hajoamisina.

Laitteen testaamisvaiheessa urheilijoilta saatu palaute oli poikkeuksetta positiivista. Testien aikana tehdyt havainnot tukivat ennakkoon tilaajan muodostamaa hypoteesia siitä, että laitteen avulla voidaan tehdä havaintoja lyöntitekniikoiden eroista ja vaikutuksista lyöntisuoritukseen. Laitteen antaman tuloksen voidaan olettaa olevan todella riippuvainen lyöjän tekniikasta, mutta etenkin osumakohdasta ja -kulmasta.

Työn tekeminen oli erittäin mielekästä, joskin melko haastavaa. Laitteen ideointi ja suunnittelu veivät paljon aikaa. Prototyypin kasaamisen jälkeen se vasta aikaa veikin, kun testattavia ja tutkittavia asioita oli paljon. Niitä on edelleen, eikä laitteen kehityskaari ole vielä saapunut tiensä päähän.

## Lähteet

- [1]: Luhtanen, P. 1984. Pesäpallon lyönnin biomekaniikka sekä peruslyönnin biomekaanisen mallin kehittyminen pesäpalloilijoilla. Jyväskylän yliopisto. Viitattu 5.5.2024.
- [2]: Kulmala, J-P. 2006. Pesäpallon peruslyönnin liikeanalyysi. Jyväskylän yliopisto. Kandidaatintutkielma. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-20094141427>
- [3]: Piirainen, K. 1999. Pelinomaisilla harjoituksilla pesäpallon taitajaksi. Jyväskylän yliopisto. Pro gradu tutkielma. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-1999800089>
- [4]: Kempainen, J. 2015. Pesäpallon lajiansalyysi ja valmennuksen ohjelmointi. Jyväskylän yliopisto. Valmentajaseminaarityö. Saatavilla: <http://urn.fi/URN:NBN:fi:jyu-201512144010>
- [5]: Karhupesis kuvasto 2020. Viitattu 17.3.2024. Saatavilla: <https://karhupesis.fi/wp-content/uploads/2020/02/Karhupesis-2020-kuvasto.pdf>
- [6]: The Physics Behind a Baseball bat's Sweet Spot. Sara Chodos. Viitattu 17.3.2024. Saatavilla: <https://www.popsoci.com/baseball-bat-sweet-spot-science-physics/>
- [7]: SI-opas. 2019. Suomen Standardisoimisliitto. Viitattu 5.5.2024. Saatavilla: <https://sfs.fi/wp-content/uploads/2020/10/SI-opas.pdf>
- [8]: Romppainen, P. SI-järjestelmä ja mittanormaalit. Luentomateriaali. Viitattu 5.5.2024.
- [9]: Kulmanopeus ja kierrostaajuus. Vesa Maanselkä. Viitattu 25.4.2024. Saatavilla: <https://www.youtube.com/watch?v=MV88GPr5yvl>
- [10]: Ympyräliike. Omaan tahtiin fysiikka. Viitattu 25.4.2024. Saatavilla: <https://fysiikka.omaan-tahtiin.com/etusivu/fysiikka-5/ympyr%C3%A4liike#h.31xrv1eudpyh>
- [11]: Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 2008 (GUM 1995). Viitattu 5.5.2024.
- [12]: Mittausepävarmuus. Finnish Accreditation Service FINAS. Viitattu 19.3.2024. Saatavilla: <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Mittausepavarmuus.aspx>
- [13]: Mittausepävarmuuden määrittämisen perusteet. MIKES/Iikka lisäosa. Luentomateriaali. Viitattu 19.3.2024.

- [14]: Mittaustekniikan perusteet. Jussi Ala-Hiiri. Luentomateriaali. Viitattu 5.5.2024.
- [15]: Arduino-mikrokontrollerin ja koekytkentälevyn perusteet. Käsiyökoulurobotti. Viitattu 26.3.2024. Saatavilla: <https://www.kasityokoulurobotti.fi/2017/10/arduino-ohjelmointi-ympariston-perusteet-ja-asennus/>
- [16]: Rantala, P. Mikrotietotekniikka tietotekniikka osa 2, Tietokotka, 2001, 17, 86–87 s, ISBN-951–559–258–5. Viitattu 6.5.2024
- [17]: Williams, E. Make: AVR Programming. Maker Media; 2014. Viitattu 15.5.2024
- [18]: Käyttöliittymä. Bautomo. Viitattu 26.3.2024. Saatavilla: <https://bautomo.com/sanas-toa/kayttoliittyma/>
- [19]: Ohjelmistotestaus – laadunvarmistuksen rooli ohjelmistokehityksessä. Haltu Oy. Blogikirjoitus. Viitattu 21.5.2024. Saatavilla: <https://www.haltu.fi/blogi/ohjelmistotestaus>
- [20]: Introduction to Arduino: History, Hardware, and Software. Viitattu 26.3.2024. Saatavilla: <https://control.com/technical-articles/introduction-to-arduino-history-hardware-and-software/>
- [21]: Atmel ATmega328P. Mikrokontrollerin datalehti. Viitattu 21.5.2024. Saatavilla: [https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- [22]: Yksisuuntainen laakeri. Viitattu 22.4.2024. Saatavilla: <https://www.atvpro.fi/l/varaosat/moottorin-osat/yksisuuntainen-laakeri>
- [23]: Koskela, A. Pesis – Opas jännittävän pelin seuraajalle ja harrastajalle. Nemo; 2017. Viitattu 29.04.2024.