

# **EMFI-anturin soveltuvuus sisäpelikenttien raja-anturointiin**

Ilkka Huttunen  
Arvosana 2

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Tekniikan ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Huttunen, Ilkka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2017
	Sivumäärä 38	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>EMFI-anturin soveltuvuus sisäpelikenttien raja-anturointiin</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Markku Ström, Matti Siistonen		
Toimeksiantaja(t) Emfit Oy		
Tiivistelmä <p>Urheilussa käytetään nykyään yhä enemmän tietotekniikkaa ja antureita, joilla saadaan tarkempia ja luotettavampia tuloksia urheilusta kuin mihin ihmiset pystyvät.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää voisiko EMFI-anturia käyttää raja-anturoinnissa, sisäpelikenttien käyttäjäkokemuksen parantamiseksi. Raja-anturoinnin tarkoituksena on havaita rajakosketukset pelitilanteissa. Opinnäytetyössä suunniteltiin, kuinka anturointijärjestelmän voisi toteuttaa ja sen pohjalta tehtiin empiirisiä testauksia suunnitelman toimivuudesta. Antureiden soveltuvuutta tarkoitukseen testattiin anturin kehittämisen jännitesignaalin avulla. Opinnäytetyö suoritettiin empiirisenä tuotekehitysprojektina, jossa käytettiin genius-design-menetelmää.</p> <p>EMFI-anturin soveltuvuutta raja-anturointiin tarkasteltiin käyttäen lentopallon rajoja ja sääntöjä.</p> <p>Tuloksena saatiin, kuinka rakentaa toimiva raja-anturointijärjestelmä EMFI-anturia käyttäen. Anturi asennetaan sisäpelikentän lattiaan lakkapinnan alle ja johdotukset viedään koolauksessa. Opinnäytetyön tuloksien perusteella EMFI-anturi soveltuu hyvin raja-anturiksi, muutamista ongelmakohtista huolimatta. Signaalista ei välttämättä kyetä erottamaan tahallista anturin hämäämistä. EMFI-anturilla toteutettu järjestelmä on tarpeeksi tarkka, halpa ja helppokäyttöinen normaalin urheiluhallin käyttökokemusta parantamaan.</p> <p>Jatkokehityksenä tulisi tehdä testauksia oikeassa kenttäkäytössä, jotta saataisiin varmenus opinnäytetyön olettamukselle anturin käyttökelpoisuudesta pelitilanteisiin.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Emfit, EMFI, käytettävyys, anturi, lentopallo, lentopallোসäännöt, suunnittelu		
Muut tiedot		

Author(s) Huttunen, Ilkka	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2017 Language of publication: Finnish
	Number of pages 38	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Usability of MFI-sensor in in and out line calling</b>		
Degree programme Wellness technology		
Supervisor(s) Ström Markku, Siistonen Matti		
Assigned by Emfit Oy		
Abstract  <p>In sports, there is more and more technology and sensors in use, which are used for acquiring more precise and more reliable results from sports. Sensors have long exceeded the human capabilities.</p> <p>Objective of thesis is to find out whether EMFI-sensor is usable for in and out line calling in sports or not. This could be used to provide better user experience for people. The objective for in and out line calling system is to observe hits on the line during plays. The system was designed based on empirical tests. Signals created by the sensor were used to evaluate the capabilities of the sensor for the task. Thesis was done as empirical product development project, in which genius design method was used.</p> <p>EMFI-sensors capability to provide adequate results was tested with volleyball in mind.</p> <p>To build a working system, one needs to install the sensor under the coating layer of floor. Cord should be mounted inside the floor and led out of the playing field. EMFI-sensor works well as line monitoring sensor with few flaws. It is possible to cheat the sensor on purpose. System based on EMFI-sensors is fairly cheap and easy to use for normal sports hall users.</p> <p>For further progress tests with real volleyball players would be necessary to get required sensor data. This data could be used to determine what is needed to improve the design of in and out line calling system based on EMFI-sensors.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) Emfit, EMFi, Electret film, sensor, usability, design, volleyball, volleyball rules		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Anturit</b> .....	<b>7</b>
	2.1 Anturityyppejä .....	7
	2.1.1 Optiset anturit .....	7
	2.1.2 Kapasitiiviset anturit .....	8
	2.1.3 Induktiiviset anturit .....	9
	2.1.4 Voima-anturit .....	10
	2.2 Raja-anturointiin soveltuvat anturit .....	12
	2.3 EMFI-anturi .....	13
	2.4 Raja-anturoinnissa käytetyt menetelmät .....	15
<b>3</b>	<b>Käytettävyys</b> .....	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>Lentopallon säännöt</b> .....	<b>17</b>
	4.1 Soveltuvuus muihin lajeihin .....	19
<b>5</b>	<b>Data-analyysi</b> .....	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>Suunnittelu</b> .....	<b>22</b>
	6.1 Vaatimukset .....	22
	6.2 Käytettävyys raja-anturoinnissa .....	23
	6.3 Kilpaurheilun erityisvaatimukset .....	24
<b>7</b>	<b>Prototyyppi</b> .....	<b>24</b>
	7.1 Suunnitelma .....	24
	7.2 Testaukset Emfit Oy:n tiloissa .....	24
	7.3 Mittaukset Jyväskylän ammattikorkeakoululla .....	28
<b>8</b>	<b>Anturointijärjestelmän rakentaminen</b> .....	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>Tulokset</b> .....	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>32</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>34</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>36</b>

Liite 1. Ilman ja polypropeenin välisen varaustiheyden $\sigma$ laskeminen yksikerroksisesta EMFI-mallista ulkoisen jännitteen $V_0$ avulla.....	36
--	----

## Kuviot

Kuvio 1. Fotoelektronisten antureiden toimintaperiaate, muokattu .....	8
Kuvio 2. Kapasitiivisten antureiden toimintaperiaate, muokattu.....	9
Kuvio 3. Induktiivisten antureiden toimintaperiaate, muokattu .....	10
Kuvio 4. Voimasensitiivisen resistorin toimintaperiaate, muokattu .....	11
Kuvio 5. Ylipitkä voimasensitiivinen resistori (FSR).....	12
Kuvio 6. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva 70 $\mu\text{m}$ paksuisesta HS01-typin EMFIstä .....	14
Kuvio 7. Yhden eristekerroksen omaavan EMFI-kalvon kaavakuva.....	15
Kuvio 8. Hawk-Eyejärjestelmän näyttämä pallon lentorata tenniksessä.....	16
Kuvio 9. Lentopallokentän oleelliset rajat raja-anturoinnin kannalta. ....	18
Kuvio 11. Kävelyn ja pallon pomputtelun aiheuttamat jännitepiikit EMFI-anturista oskilloskoopilla mitattuna .....	21
Kuvio 10. EMFI-anturin kiinnitys lattiaan mittauksia varten kahdella eri teippimateriaalilla. ....	25
Kuvio 12. Oskilloskoopin näyttämä jännitepiikki oli tämän näköinen, kun pallon kosketusta yritettiin jäljitellä kengänkantaa naputtelemalla EMFI-anturin päällä.....	26
Kuvio 13. Audiitiivisen datan tallennuslaitteisto EMFI-anturiin liitettynä ilman dataa tallentavaa laitetta .....	27
Kuvio 14. QuantumX MX840A-laitteisto ja CatmanEasy-tietokoneohjelmisto sekä EMFI-anturi kytkettynä mittausten tekemistä varten .....	28
Kuvio 15. Ohjeet MX840A-laitteiston adapterin kytkentäkaavio 100 mV:n alueelle ..	29

**Taulukot**

Taulukko 1. Opinnäytetyössä esitettyjen kysymysten vastaukset.....	31
--	----

## Opinnäytetyössä käytetyt termit

Termi	Selitys
Aktuaattori	Kontrollointi mekanismi, joka toimii matalalla jännitteellä
Amplitudi	Värähdysliikkeessä poikkeaman suurin laajuus
Anturi	Mittalaitteen osa, johon mitattava suure vaikuttaa
ATP	Association of Tennis Professionals, ammattimainen tennisjärjestö
Auditiivinen	Ääneen liittyvä, kuuloaistia koskeva.
Bi-akselialinen	Kahden akselin avulla määritettävissä oleva
Data	Tietomuoto, joka mahdollistaa tiedon käsittelyn
Elektrodi	Virtapiirin osa, joka johtaa sähköä
EMFI	Electromechanical film, elektromagneettinen filmi
Ferriittinen	Teräksissä esiintyvä raudan kidemuoto, joka on magneettinen
FIVB	Federation International de Volleyball, kansainvälinen lentopalloliitto
Genius-design	Suunnittelumenetelmä, jossa painotetaan suunnittelija parempaa tietämystä ja luotetaan suunnittelija kykyyn valita parhaat ratkaisut
GUI	Graphical user interface, graafinen käyttöliittymä
Heuristinen analyysi	Asiantuntijan kokemukseen ja tietoon perustuva arviointimenetelmä
Induktiivinen	Magneettikentän muutoksesta johtuvaan voimaan perustuva
ITF	International Tennis Federation, kansainvälinen tennisjärjestö
Kapasitaattori	Sähköä varaava järjestelmä
Komparaattori	Jännitteiden vertailija
Konduktiivinen	Materiaali joka johtaa hyvin sähköä, on konduktiivinen
Normaalisesti kiinni	Alkutilanteessa kiinni oleva virtapiiri
Normaalisti avoin	Alkutilanteessa auki oleva virtapiiri
Optinen	Valoon perustuva
Oskillaattori	Jaksollisesti värähtelevä järjestelmä

Oskilloskooppi	Sähkötekniikan mittalaite, joka piirtää mitattavasta signaalista kuvaajan
Paine	Kohtisuoraa pintaan vaikuttavan voiman suhde pinta-alaan
Polypropeeni	Kestomuovi
Potentiaali	Voimakenttää kuvaava suure
Raja-anturointi	Antureita hyödyntävä menetelmä, jolla voidaan tarkastella pelitilanteessa rajan läheisyydessä tapahtuvia tilanteita vaikuttamatta pelin kulkuun
Resistori	Virtapiirin osa, joka vastustaa sähkön kulkua
Schmitt-liipaisin	Elektroninen komparaattori
Signaalin hukku- minen	Jos haluttu tuleva signaalin on mahdotonta eristää tarpeettomista signaaleista, on se hukkunut
Signaalinvahvistin	Vahvistimelle tulevaa sähköistä impulssia voimistava laite
Sisällä	Lentopallon osuminen pelikentän rajaan tai sen sisäpuolelle
Tuomarointi	Tuomarin suorittama toiminta kilpailun aikana
Ulkona	Lentopallo-osuma pelikentän ulkopuolelle
WTA	Women's Tennis Association, naisten tennisjärjestö



# 1 Johdanto

Teknologian kehittyminen mahdollistaa yhä nopeampien ja suurempien laskentatehojen ja pienempien elektroniikkalaitteiden valmistamisen. Tekniikkatuotteiden hintojen laskiessa tekniikkaa on alettu hyödyntämään kohteissa, joissa sitä ei ole aiemmin ajateltu tarvittavan. Urheilussa on siirrytty katsojien viihtyvyyden ja tulosten tarkkuuden parantamiseksi käyttämään tulosten ja suoritusten arviointiin elektroniikkaa. Tämä urheilun digitalisoituminen luo monia uusia mahdollisuuksia, kuten tuomareiden työn tarpeen vähentämisen ja heidän tuomioidensa tarkkuuden parantamisen. Anturoimalla rajat sisäpelikentissä voitaisiin myös helpottaa tuomarien työtä ja parantaa käyttäjäkokemusta.

Raja-anturointi tarkoittaa pelikenttien rajoihin tulevien kosketusten seuraamista antureilla ja anturin dataa analysoivalla tietokonelaitteistolla. Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään mahdollisuuksia käyttää sisäpelikenttien raja-anturoinnin toteuttamiseen EMFI-antureita ja tietokonepohjaista data-analyysia. Anturin ja data-analyysin avulla voidaan reaaliajassa selvittää, oliko pallo kenttään osuessaan sisällä vai ulkona. Myös rajaan koskeva ihminen ja pallo voitaisiin erottaa toisistaan analysoimalla antureista saatua dataa. Soveltuvuutta tarkasteltiin opinnäytetyössä lentopallon näkökulmasta käsin.

Opinnäytetyön tehtävänä on valmistaa empiirisenä tuotekehitysprojektina prototyyppi, jonka avulla voidaan testata EMFI-antureiden soveltuvuutta lentopallon raja-anturointiin. Prototyypin mittatarkkuutta, erottelukykyä ja luotettavuutta testattiin empiirisesti valmistetun prototyypin avulla. Testausten perusteella valittiin rakennusvaiheessa sisäpelikentälle asennettavan raja-anturointijärjestelmän vaadittavat perusominaisuudet. Tavoitteena oli parantaa sisäpelikenttien käyttäjäkokemusta ja edistää joukkueurheilun sujuvuutta. Suunnittelu toteutettiin genius-design-periaatteen mukaan, jossa suunnittelija ajattelee tietävänsä parhaiten itse.

## 2 Anturit

Antureita on valmistettu lähestulkoon jokaisen mitattavan suuren tarkasteluun aurin-  
gon valovoimaisuudesta sydämen sykkeeseen. Antureiden kehittämisen mahdollista-  
mana monella alalla elektroniset mittausmenetelmät ovat korvanneet ihmisten suo-  
rittamat mittaukset tarkkuuden ja luotettavuuden parantamisen toivossa. Tästä huo-  
limatta urheilutuloksissa ja -suorituksissa on vasta viime aikoina ruvettu hyväksy-  
mään elektroniikan paremmuus suhteessa ihmisten kykyihin. Tämä on nähtävissä  
jäähkiekossa, tenniksessä, lentopallossa ja monissa muissa lajeissa, joissa on otettu  
käyttöön kameroita jotka tallentavat tapahtumat, jotta niitä voidaan tarkastella uu-  
destaan. Näin on saavutettu huomattavasti luotettavampia tuloksia, mutta vain muu-  
tamissa lajeissa on kuitenkin päästy kokonaan eroon ihmisten suorittamista mit-  
tauksista ja tuomarinneista. Vaikka äkkiseltään voisi luulla esimerkiksi uinnin olevan  
täysin elektroniesti tuomaroitua, niin olympialaisissa ratkaisun tekee loppujen lo-  
puksi kuitenkin ihminen (Park 2012).

### 2.1 Anturityyppejä

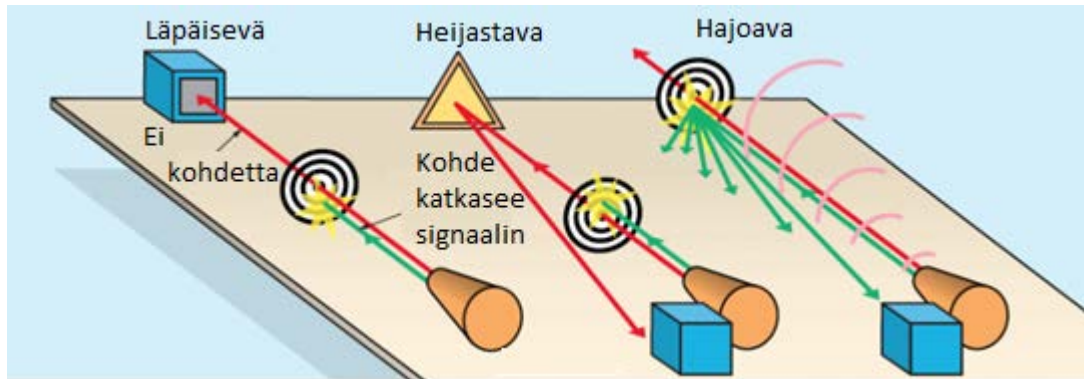
Antureilla voidaan mitata tai tarkastella yleensä vain yhtä suuretta, joten oikean an-  
turityypin valintaan on kiinnitettävä huomiota anturia valittaessa. Antureita valmiste-  
taan moniin eri tarkoituksiin ja olosuhteisiin. Anturia valittaessa on huomioitava mi-  
tattavan suureen lisäksi myös mittausolosuhteet, jotka voivat ehkäistä muutoin hy-  
vän anturin käyttämisen. Esimerkiksi EMFI-anturin käyttäminen on mahdotonta kor-  
keissa lämpötiloissa sen rakenteesta johtuen.

#### 2.1.1 Optiset anturit

Fotoelektroniset anturit koostuvat muutamasta peruselementistä: valonlähde, vas-  
taanotin ja signaalinvahvistin. Fotoelektronisten antureiden toimintaperiaatteena on  
valon lähettäminen, sen vastaan ottaminen ja näiden toimintojen välissä tapahtuvien  
muutosten mittaaminen. Optinen anturi muuttaa valonsäteet havaitsemishetkellä  
elektroniseksi signaaliksi tulkittuaan saapuneen valon määrän ja laadun. (Optical Sen-  
sors and Switches n.d.)

Toimintaperiaatteet voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: suora signaali, joka katkeaa  
kappaleen tullessa vastaanottimen eteen, heijastava signaali, joka katkeaa kappaleen  
tullessa heijastuspinnan eteen ja heijastava signaali, joka kytkeytyy päälle signaalin

eteen saapuvasta kappaleesta vastaanottimeen heijastuvasta valosta. (Kinney 2001.)  
Optisen anturin toimintaa havainnollistaa kuvio 1.



Kuvio 1. Fotoelektronisten antureiden toimintaperiaate, muokattu (Kinney 2001)

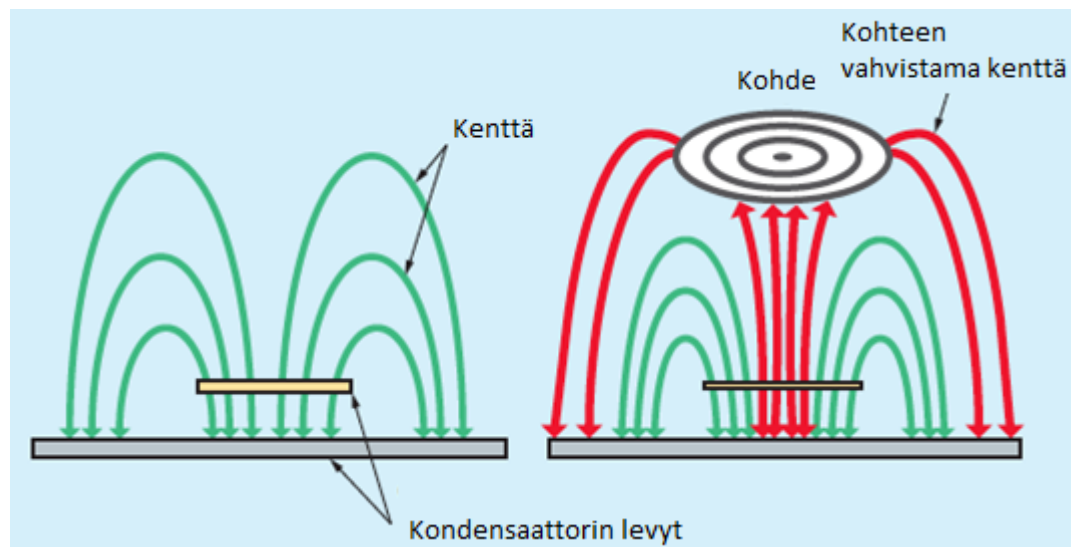
### 2.1.2 Kapasitiiviset anturit

Kapasitiiviseen anturiin kuuluu neljä pääkomponenttia, jotka ovat konduktiiviset levyt eri potentiaalissa, oskillaattori eli jaksollisesti värähtelevä järjestelmä, Schmitt-liipaisin eli elektroninen komparaattori ja signaalin vahvistin. Konduktiiviset levyt on eristetty toisistaan ja ne ovat eri potentiaalissa muodostaen avoimen kapasitaattorin.

Kapasitiivisiä antureita voidaan käyttää esimerkiksi metallien, muovien, nesteiden, pulvereiden ja puun tunnistamisessa. Anturityyppi on monikäyttöinen, myös ei ferriittisten aineiden havaitsemisessa läpäisevyytensä ansiosta. Näin ollen anturilla voidaan tarkastella nesteitä muovisten ja lasisten seinämien läpi. (Kapasitiiviset anturit n.d.)

Kappaleen lähestyessä tarkasteltavaa aluetta oskillaattorin amplitudi muuttuu kapasitanssin muutoksen seurauksena ja saa aikaan signaalin lähettämisen. Kapasitiivinen

anturi oskilloi, kun havaittava kohde on tarpeeksi lähellä, kun taas induktiivinen anturi lopettaa oskilloinnin kappaleen saapuessa vaihtoalueelle. (Kinney 2001.) Kapasiitiivisen anturin toimintaa selvennetään kuviossa 2.



Kuvio 2. Kapasiitiivisten antureiden toimintaperiaate, muokattu (Kinney 2001)

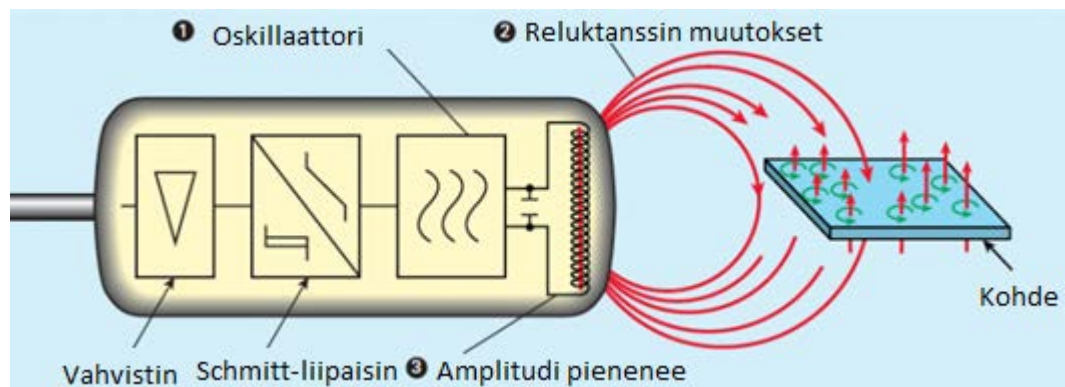
Kapasiitiivisen anturin käyttäminen raja-anturoinnissa on todella haastavaa, koska anturin tarkkuus ei saavuta asetettuja tavoitteita.

### 2.1.3 Induktiiviset anturit

Induktiiviseen anturiin kuuluu neljä pääkomponenttia, jotka ovat ferriittinen ydin eli yleensä käämi, oskillaattori eli jaksollisesti värähtelevä järjestelmä, Schmitt-liipaisin eli elektroninen komparaattori ja signaalin vahvistin.

Induktiiviset anturit eivät vaadi kosketusta tunnistamiseen, vaan tunnistavat ferriittisiä aineita magneettikentän avulla, joka luodaan anturissa olevalla oskillaattorilla. Ferriittinen materiaali saa magneettikenttään saapuessaan aikaiseksi pienen itsenäisen virran, joka indusoituu metallin pinnalle ja vaikuttaa magneettikenttään. Kappaleen vaikutuksesta anturin luomaan magneettikenttään voidaan havaita kappaleen

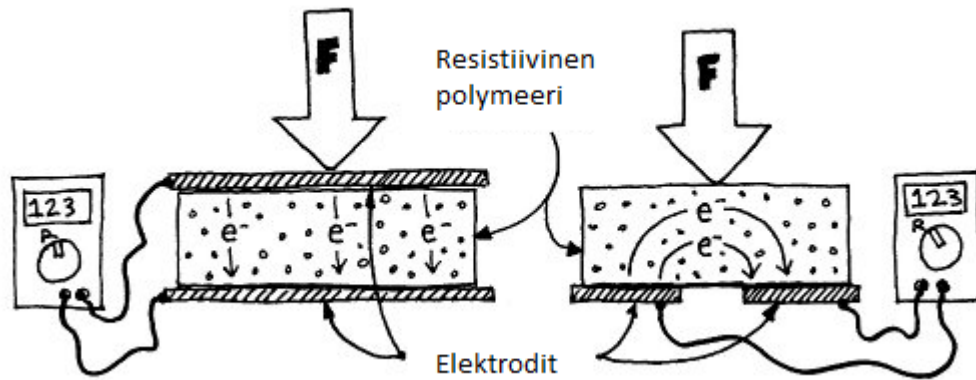
läheisyys. Anturi voi olla normaalisti avoin tai normaalisti kiinni, mikä vaikuttaa signaalin lähetykseen. (Kinney 2001.) Induktiivisen anturin toimintaa havainnollistaa kuvio 3.



Kuvio 3. Induktiivisten antureiden toimintaperiaate, muokattu (Kinney 2001)

#### 2.1.4 Voima-anturit

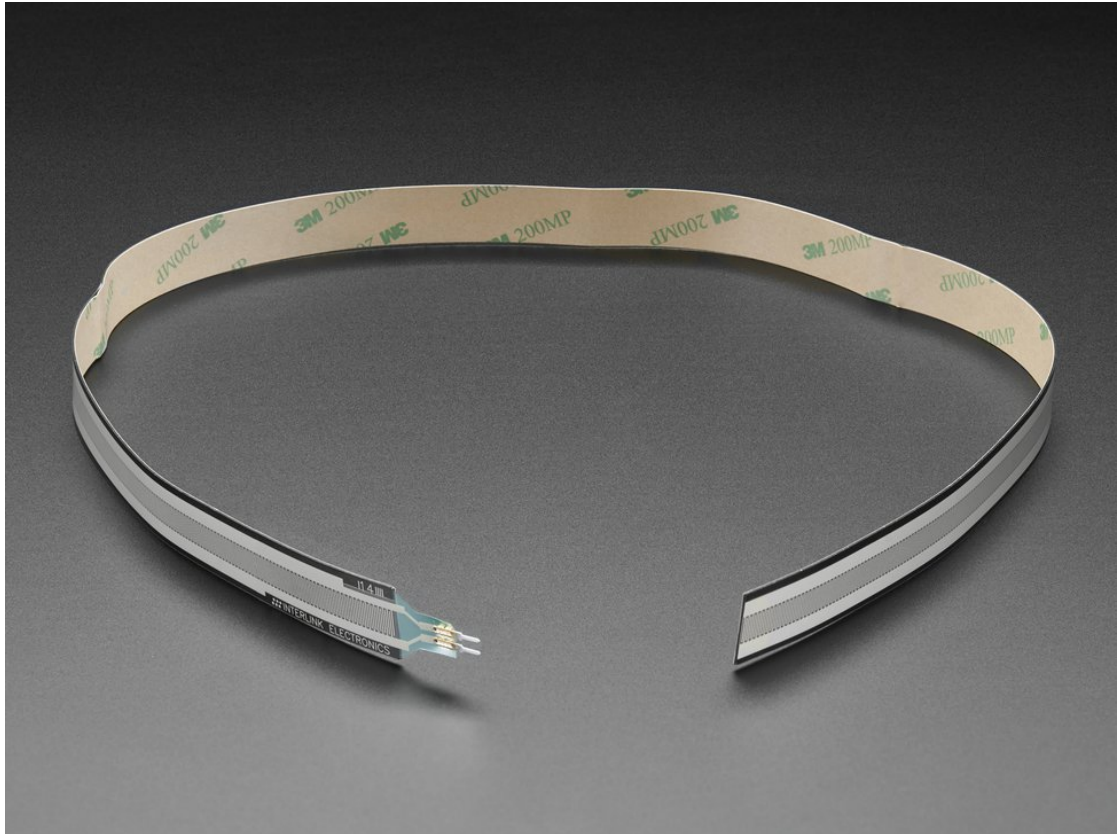
Voimasensitiivisten resistorien toiminta perustuu anturissa olevan resistiivisen osan resistanssin muutoksiin anturin muodonmuutosten yhteydessä. Anturin muodonmuutosten aiheuttamat muutokset resistanssiin voidaan havaita mittalaitteella. Anturin pääkomponentteja ja toimintaperiaatetta selventää kuvio 4.



Kuvio 4. Voimasensitiivisen resistorin toimintaperiaate, muokattu (Force Sensitive Resistors (FSRs) n.d.).

Voimasensitiiviset anturit koostuvat monista eri tuotetyypeistä huolimatta aina muutamasta pääkomponentista. Anturi koostuu kahdesta johtimesta ja eristeestä, joka erottaa positiivisen ja negatiivisen elektrodin toisistaan. Elektrodit voidaan asettaa halutulla tavalla anturiin, mutta ne eivät saa olla kosketuksissa toisiinsa. (Force Sensitive Resistors (FSRs) n.d.)

Voimasensitiiviset anturit eivät sovellu kohteisiin, joissa vaaditaan tarkkuutta ja toistettavuutta, koska anturit eivät ole luotettavia tai nopeatoimisia. Anturit ovat herkkiä muuttamaan ominaisuuksiaan kuormitustavasta, kosteudesta ja lämpötilasta riippuen. Anturin palautuminen käyttökuntoon saattaa kestää jopa 10 s edellisestä rasituksesta. Nämä syyt rajoittavat antureiden käyttökohteita huomattavasti. (Force Sensitive Resistors (FSRs) n.d.) Tästä huolimatta kuvion 5 kaltaisia voimasensitiivisiä antureita voitaisiin hyvinkin käyttää raja-anturointiin, jos rakennettaisiin järjestelmä useasta lyhyestä anturista ja yhdistettäisiin anturin signaaliin kosketushetken tarkastelu. Tällaisella järjestelmällä anturin mittaustarkkuus ei ole oleellinen, koska ei tarkasteltaisi kosketuksen laatua vaan hetkeä.



Kuvio 5. Ylipitkä voimasensitiivinen resistori (FSR) (Extra-long force sensitive resistor (FSR) – Interlink 408 n.d.)

## 2.2 Raja-anturointiin soveltuvat anturit

Raja-anturointiin tarkoitetun anturin toimintavaatimukset eivät ole kovin moninaiset. Anturilta vaaditaan ainoastaan toimintavarmuutta ja luotettavuutta, sillä anturin tulee havaita kaikki kosketukset ja kosketuksen tulee aiheuttaa impulssi aina samalta etäisyydeltä suhteessa anturiin. Muut ominaisuudet, kuten anturin koko, impulssin laatu ja käytettävyys, ovat toisarvoisen tärkeitä valittaessa anturityyppiä raja-anturointiin.

Hyvä anturi raja-anturoinnin toteuttamiseen olisi perusominaisuuksien lisäksi helpposti asennettavissa, pitkäikäinen, halpa valmistaa, nopea ja tarkka mutta toimintalaltaan suuri mitattavan suureen suhteen. Nämä ominaisuudet riittäisivät raja-anturointiin soveltuvalla anturille, jolla olisi mahdollisuudet mullistaa tuomarointi peleissä, joissa rajakosketuksen tarkastelua tarvitaan.

Toistaiseksi ei täydellistä anturia raja-anturoinnin toteuttamiseen ole löydetty, mutta jollain tavalla toimivia anturityyppejä ovat esimerkiksi:

- paineanturi
- optinen anturi
- induktiivinen anturi
- kapasitiivinen anturi
- voima-anturi.

Kuitenkin kaikkien olemassa olevien antureiden käyttämiseen liittyy omat ongelmansa. Optista anturia käytettäessä olisi esimerkiksi otettava huomioon havaitsemisen hankaluus toisen objektin takaa ja kapasitiivista anturia käytettäessä ongelmaksi saattaa muodostua anturin toimintaetäisyys sekä tarkkuus.

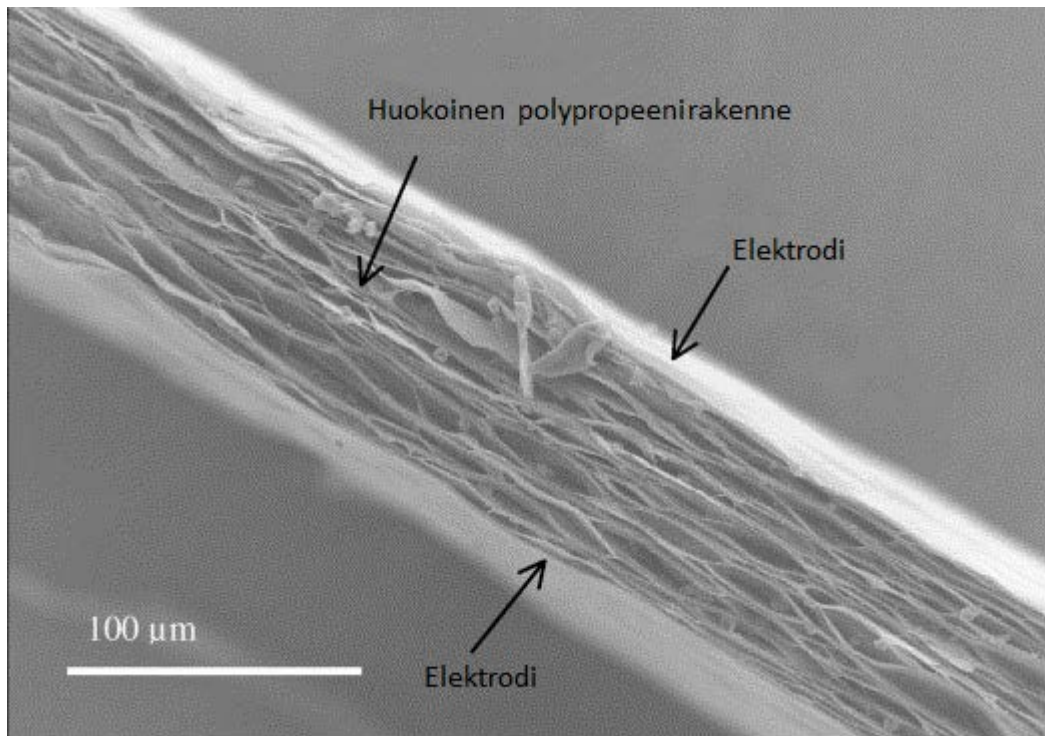
### **2.3 EMFI-anturi**

EMFI eli sähkömekaaninen kalvo on bi-akσιαalisesti orientoitu huokoinen polypropeenikalvo, joka on päällystetty metallielektrodeilla (Paajanen, Lekkala & Kirjavainen 1998). Tämän takia EMFI kykenee varastoimaan suuren pysyvän kestovarauksen. EMFI:n materiaali on halpaa tuottaa ja siitä voidaan tehdä monia eri paksuisia ja jäykkyisiä antureita. EMFI on suomalainen maailmanlaajuisesti patentoitu tuote. (Paajanen, Välimäki & Lekkala 1999.)

EMFIä voidaan käyttää sekä sensorina että aktuaattorina. Ulkoista jännitettä käytettäessä voidaan EMFIä käyttää aktuaattorina filmin paksuuden muuttuessa tai filmin liikkuesssa ilmassa. Useista sähköisistä materiaaleista poiketen sähköiset purkaukset tapahtuvat kalvon sisällä tyhjiössä hyvin ulkoisilta vaikutuksilta suojassa. Näin ollen vain pinnan jännitys on alttiina ulkoisille vaikutuksille. (Paajanen ym. 1999.)

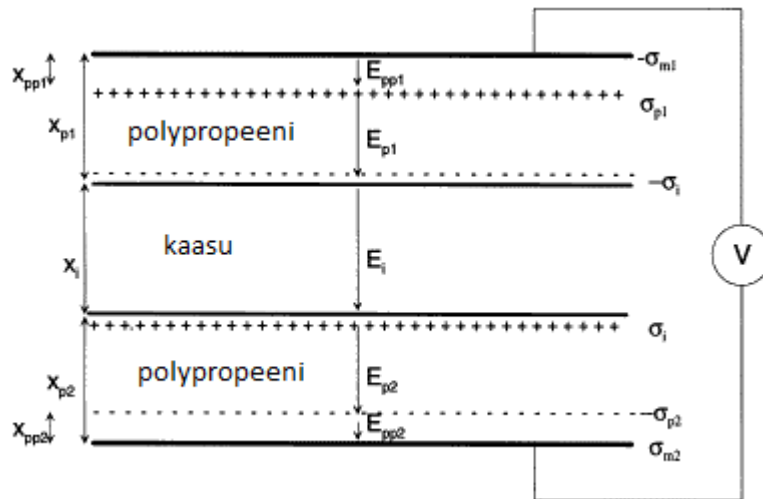
Kuten kuvioista 6 voidaan hyvin huomata, on kalvon rakenne jakautunut pieniin kennonostomaisiin kupliin ja niiden välissä oleviin seinämiin sattumanvaraisesti. Yksinkertaisesta rakenteestaan johtuen EMFI on hyvinkin kestävä ja helppokäyttöinen.





Kuvio 6. Pyyhkäisyelektronimikroskooppikuva 70 µm paksuisesta HS01-tyyppin EMFistä (Paajanen ym. 1999, muokattu)

Paajasen ja muiden suorittamien mittausten mukaan EMFI-materiaalin ilmakuplat asettuvat sattumanvaraisesti materiaaliin. Kuitenkin jos tarkastellaan rakennetta kalvolta toiselle tietyissä kohdissa, havaitaan kuplien ja materiaalin määrien pysyvän suhteellisen vakiona paikasta riippumatta. Monitasoisesta rakenteestaan huolimatta EMFIä voidaan matemaattisesti kuvata yllättävän tarkasti yksinkertaisena rakenteena monikerroksisen todellisen rakenteen sijasta. Yhden eristekerroksen toimintaperiaatetta kuvaa kuvio 7.



Kuvio 7. Yhden eristekerroksen omaavan EMFI-kalvon kaavakuva (Paajanen ym. 1999, muokattu)

Matemaattisesti varaustiheyden laskeminen kyseisestä mallista on haastavaa ja ei useinkaan tarpeellista käytännön testauksia tehtäessä. Kuitenkin kuvion 7 mukaisesta järjestelmästä voidaan varaustiheys  $\sigma_i$  laskea mittaamalla  $V_0$ . Tarkemmat laskentakaavat löytyvät liitteestä 1. (Paajanen ym. 1999.)

## 2.4 Raja-anturoinnissa käytetyt menetelmät

Ensimmäinen pallonseurantateknikka, joka on läpäissyt ITF-testit, on Hawk-Eye ja se on otettu osaksi tennisturnauksia, kuten ATP, WTA ja ITF (Electronic line calling n.d.). Toinen hyväksytty anturointijärjestelmä on Foxxtenn, josta löytyy kuitenkin vain espanjankielistä materiaalia. Molemmat tuotteet perustuvat optiseen tarkasteluun nopeiden kameroiden videotallennusten perusteella. Lentopallossa tällä hetkellä rikeitä ja pallon kulkemista seurataan DataProjectin VideoCheck tuotteella, joka dominoi markkinoita Euroopassa (Hakkarainen 2017).

Hawk-Eye-järjestelmää käytettäessä tenniksessä kummassakin stadionin päädyssä on viisi kameraa, joiden avulla pallon paikka voidaan määrittää hyvinkin tarkasti. ITF:n ohjeita noudattaen ohjelmiston tarkkuus tulee olla keskimäärin  $\pm 5$  mm. (Inside Hawk-eye 2012.) Kuten kuviosta 8 nähdään, ohjelmiston avulla voidaan näyttää pallon kulurata kaikille katsojille hidastettuna sellaisten pallojen kohdalta, joiden tuomiot on

haastettu. Tämän laitteiston vaadittu tarkkuus ei ole sen parempi kuin se tarkkuus, johon opinnäytetyössä käytetyllä EMFI-anturilla pyritään.



Kuvio 8. Hawk-Eyejärjestelmän näyttämä pallon lentorata tenniksessä (Inside Hawk-eye 2012)

DataProjectin VideoCheck-laitteisto toimii lähestulkoon samalla tavalla kuin Hawk-Eye, mutta tuotteella voidaan tuomioiden tarkastamisen lisäksi seurata pelaajien suorituksia ja tapoja pelin aikana. Tämän ansiosta sitä käyttävät seurat valmennuksen ja rekrytoinnin apumenetelmänä.

### 3 Käytettävyys

Käytettävyys on laadullinen ominaisuus, joka kertoo laitteen helppokäyttöisyydestä, sekä fyysisesti että psyykkisesti. Jakob Nielsen (2012) jakaa käytettävyyden viiteen eri osa-alueeseen; opittavuus, tehokkuus, muistettavuus, virheiden määrä ja tyytyväisyys. Kehittämällä näitä ominaisuuksia tuotteissa saadaan niiden käytettävyyttä parannettua ja parantamalla käytettävyyttä saadaan aikaan parempia käyttäjäkokemuksia. Vaikka kaikki yritykset eivät pidäkään käytettävyyttä tuotteissaan välttämättä yhtä tärkeinä, ei käytettävyyden parantamisesta ole haittaa tuotteen imagolle. Hyvänä esimerkkinä voidaan pitää Linux-tuotteiden käytettävyyden paranemista vuosien saatossa. Alun perin Linux-järjestelmien käyttäminen oli erittäin hankalaa asiaan

perehtymättömille, mutta nykyään niiden käyttäminen on vähintään yhtä helppoa kuin Windows-pohjaisten laitteiden.

Käytettävyyden parantaminen tuo mukanaan myös suoranaisia rahallisia etuja projektin lopputuotteen laadussa. Esimerkiksi jos käytetään noin 10 % projektin budjetista käytettävyyden parantamiseen, saadaan 100 % parempitulosityöntien internetsivujen tuottavuudessa. (Nielsen 2012) Tällaisten tutkimustulosten valossa on syytä ottaa kaikessa suunnittelussa käytettävyys huomioon edes osittain.

Käytettävyyden parantaminen onnistuu parhaiten seuraamalla käyttäjiä heidän tietämättään, sillä tiedostaessaan testausolosuhteiden käyttäjät pyrkivät yleensä olemaan ystävällisiä testauksen suorittajille, mikä ei ole toivottavaa. Tämä aiheuttaa kuitenkin moraalisia vaikeuksia ja näin ollen yleensä käytettävyystutkimukset tehdään käyttäjien suostumuksella. Tässä projektissa käytettävyystestaus tulee jäämään heuristisen analyysin varaan, koska prototyypin valmistaminen ja asentaminen suoraan käyttötarkoitukseen on lähestulkoon mahdotonta.

## **4 Lentopallon säännöt**

Lentopallon virallisista säännöistä vastaa FIVB jonka uusimmat säännöt koskevat lentopalloa ajalle 2017-2020 (Official Volleyball Rules 2017-2020 2016). Viralliset säännöt ovat hyvin laajat ja yksityiskohtaiset, minkä seurauksena niiden ymmärtäminen voi olla hankalaa ensimmäisellä lukemalla. Seuraavassa esitetään kuitenkin olennaiset säännöt, joiden avulla voi ymmärtää asetetut vaatimukset ja haasteet raja-anturoinnin toteuttamiselle. Viralliset säännöt löytyvät kokonaisuudessaan PDF tiedostosta FIVB - Official Volleyball Rules 2017-2020, joka on ladattavissa FIVB:n kotisivuilta

### **Pelikenttä**

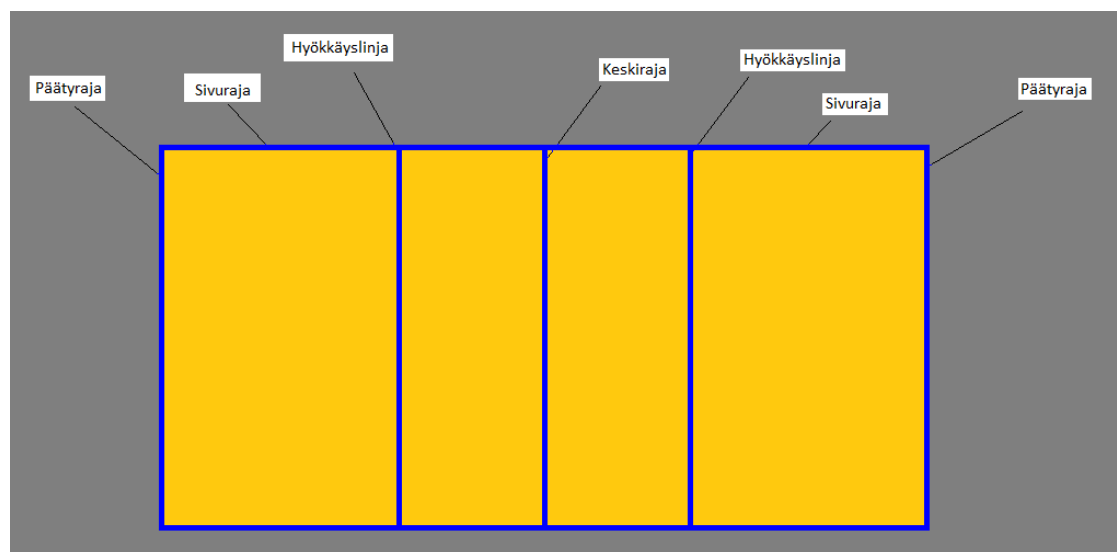
Pelikentän on 18 x 9 metriä, jonka ympärillä on oltava 3 metriä vapaata tilaa joka suuntaan. Kentän täytyy olla tasainen ja samaa materiaalia kauttaaltaan eikä se saa olla liukas tai muuten vaarallinen pelaajille. (Official Volleyball Rules 2017-2020 2016, 12.)

## Rajat

Kaikki rajat kentällä on oltava 5 cm leveitä ja kentän pohjamateriaalista sekä muista viivoista selvästi erotettavissa. Rajat on piirrettävä kentän sisäpuolelle, jonka seurauksena raja on kokonaisuudessaan pelikentän sisällä. Niin kutsuttu kolmen metrin raja ilmaisee hyökkäysaluetta, joka on erotettu viivalla, jonka kauempi reuna on 3 metrin etäisyydellä verkosta. (Official Volleyball Rules 2017-2020. 2016, 13.)

## Sisällä ja ulkona

Opinnäytetyötä ajatellen lentopallon säännöt, koskien pallon tuomitsemista "sisällä tai ulkona", voidaan yksinkertaistaa seuraaviin oletuksiin. Pallon tuomitseminen sisälle, eli sinisten rajojen osoittamalle alueelle kuviossa 9, rajat mukaan lukien tarkoittaa pallon osuneen kenttään. Pallon tuomitseminen ulos, eli harmaalle alueelle kuviossa 9, taas ettei pallo osunut kenttään.



Kuvio 9. Lentopallokentän oleelliset rajat raja-anturoinnin kannalta.

Pallorallin loppuessa pallon osuessa kenttään lähellä viivaa linjatuomarin tulee osoittaa, sitä varten olevilla lipuilla, oliko pallo sisällä vai ulkona. Tästä johtuen isoissa ki-soissa käytetään neljää linjatuomaria jotka vastaavat kukin yhdestä rajasta. (Official Volleyball Rules 2017-2020 2016, 57.)

Pallo on sisällä, mikäli missä tahansa pelin vaiheessa pallo koskee kokonaan tai osit-tain pelikenttää. Pallo on ulkona, jos se koskee kenttää kokonaan rajojen ulkopuolella tai esinettä kentän ulkopuolella. Molemmissa tapauksissa pelattava pallo loppuu tuo-mioon, ja seuraava pallo on aloitettava määrätyssä ajassa. (Official Volleyball Rules 2017-2020 2016, 27.)

Joukkueen kapteenilla on oikeus haastaa tuomarin tuomio viiden sekunnin aikana ky-seessä olevan pallorallin loputtua ennen seuraavan alkamista (World League - FIVB increases spectator experience with new Challenge System n.d.). Näin ollen kaptee-nin tulee tehdä valinta haastamisesta hyvin nopeasti, eikä aikaa joukkueen kanssa keskustelemiselle ole.

### **Syöttäminen**

Syöttäessä tulee pelaajan suorittaa syöttö, joko ollessaan rajaviivan takana tai hyp-pysyöttöä tehdessään, hypättyään päätyviivan takaa. Syöttävä lyönti tulee tehdä kah-deksan sekunnin kuluttua syöttöluvan saamisesta. (Official Volleyball Rules 2017-2020 2016, 32.)

#### **4.1 Soveltuvuus muihin lajeihin**

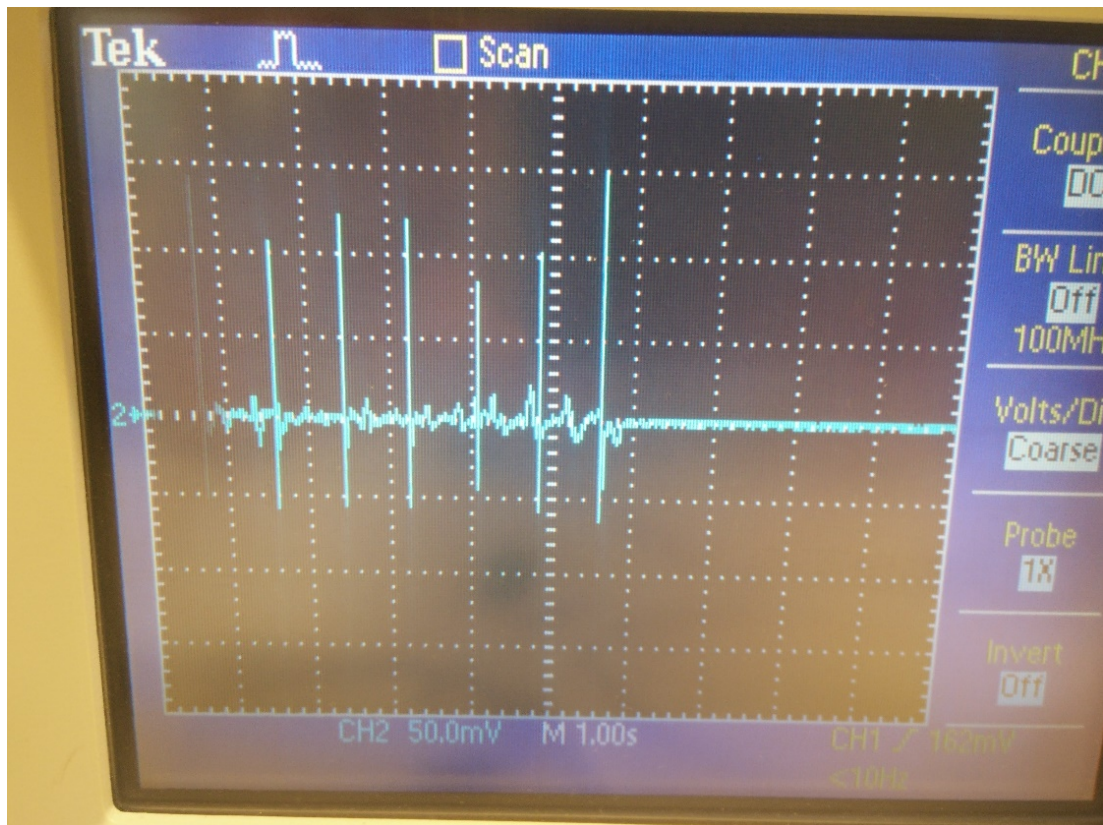
Raja-anturointi järjestelmä, joka soveltuu lentopalloon, on sovellettavissa suoraan la-jeihin, joiden säännöt rajakosketuksen osalta vastaavat lentopalloa. Tällaisia lajeja ovat esimerkiksi sulkapallo ja koripallo. Soveltuvuutta muihin lajeihin täytyisi arvioida lajikohtaisesti sääntöjen ja lajin harrastajiennäkökulmasta.

## **5 Data-analyysi**

Kehittyvä anturi- ja mobiiliteknologia on mahdollistanut suurten anturidatamäärien keräämisen moniin eri tarkoituksiin. Esimerkiksi monet laitteet keräävät sijainti- ja lii- ketietoja GPS- ja kiihtyvyyssantureilla. Kasvavan anturidatan määrän seurauksena on tarve käsitellä yhä kasvavia määriä raakadataa, josta analysoimalla saadaan erotettua

haluttu tieto. Data-analyysin nopeuden kehittäminen on ollut välttämätöntä, sillä antureita käytetään usein kohteissa, joiden toiminta oleellisesti vaati anturin datan reaaliaikaista analysointia. Suuren raakadatamäärän ongelmana on myös vaadittava tallennustila analysointilaitteistolta. Näitä ongelmia ratkaisemaan on kehitetty analyysimenetelmiä, joilla suuria määriä raakadataa voidaan analysoida datan tuottamisyhteydessä, ilman että dataa tarvitsee erikseen tallentaa analysoitavaksi. (Aggarwal 2013, 2.)

Raja-anturointia toteutettaessa data-analyysin hallitseminen on oleellisen tärkeää, sillä anturin antamasta signaalista on oltava erotettavissa, onko anturin signaalin aiheuttanut objekti pelaajan jalka vai pallo. Signaalien erilaisuus ajallisesti ja amplitudillaan auttaa erottamaan tapaukset toisistaan. Pallon osuessa anturiin kosketuksen kestoaika on huomattavasti lyhyempi kuin pelin kuluessa pelaajan aiheuttama kosketus. Myös pallon aiheuttama voima on kosketustilanteessa pienempi kuin pelaajan aiheuttama voima yleensä. Näiden erojen perusteella voidaan kosketukset erottaa toisistaan ja saada anturin signaalista eroteltua halutut tiedot ylimääräisistä signaaleista. Tätä eroa havainnollistaa kuvio 11.



Kuvio 10. Kävelyn ja pallon pomputtelun aiheuttamat jännitepiikit EMFI-anturista oskilloskoopilla mitattuna

Anturien tuottamat tiedot viedään tietokoneelle, jonka datakäsittelyohjelmistolla saadaan eroteltua kosketukset toisistaan. Opinnäytetyössä oli tarkoituksena käyttää signaalien lähettämiseen ja tallentamiseen Emfit Oy:n laitteistoa. Signaalin tallentaminen ei kuitenkaan onnistunut Emfit Oy:n laitteistolla, joten tallentamista yritettiin myös Jyväskylän ammattikorkeakoulun laitteistolla. Tämäkin osoittautui kuitenkin lopulta mahdottomaksi.

Data-analyysilläkään ei voida ratkaista kaikkia syntyviä ongelmatilanteita raja-anturoinnissa, joka on toteutettu vain muutamalla pitkällä anturilla. Ratkaisemattoman ongelman aiheuttaa samanaikainen kosketus anturiin useammassa eri paikassa. Samanaikainen kosketus pelaajalta ja pallolta saa pallon aiheuttaman pienen signaalin hukkumaan pelaajan aiheuttamaan suureen signaaliin. Se, kuinka helposti tämä signaali hukkuu, on ratkaiseva tekijä raja-anturoinnin suunnittelussa, sillä mikäli signaali hukkuu jo sekunnin välein tapahtuvissa kosketuksissa, on toteutuksessa käytettävä



useata anturia samanaikaisten kosketusten vähentämiseksi (White 2015, 15). Mikäli taas pallon signaalia ei testeissä saada yrittämälläkään hukkumaan pelaajan kosketuksiin, voidaan kaikki rajat anturoida yhdellä ainoalla anturilla ja näin saada laitteiston kustannuksia huomattavasti alemmaksi. Näin ollen se, miten helposti pallon aiheuttama signaali hukkuu, on ratkaiseva tekijä opinnäytetyön tuloksen onnistumiselle.

## 6 Suunnittelu

Raja-anturointi suunniteltiin genius-design-periaatteella, jossa suunnittelijana ja mahdollisena käyttäjänä päätän itse siitä, mikä on hyvää ja helppoa käytettävyyttä. Toimintavaatimuksissa tukeudutaan kuitenkin yleisesti hyväksyttäviin numeroarvoihin ja toimintaperiaatteisiin.

Tarkoituksena oli suunnitella kohtuuhintainen raja-anturointijärjestelmä, joka rakennusvaiheessa asennetaan sisäpelikentän pinnan sisään ja on siten kulumiselta suojassa.

### 6.1 Vaatimukset

Anturoinnin mittatarkkuus tulisi saada yhtä tarkaksi ja luotettavaksi kuin olemassa oleva videotarkistusjärjestelmä. Australian Openin mukaan videotarkistusjärjestelmien tarkkuusvaatimus keskimääräiselle virheelle on  $\pm 5$  mm (Inside Hawkeye 2012). Tästä huolimatta kansainvälisen lentopallotuomari Hakkaraisen (2017) mukaan kannattaa tavoitella tarkkuutta, jossa keskimääräisesti signaalin lähettämä osuma on 5 millimetrin tarkkuudella viivassa, vaikkei ole kyse huippu-urheilusta.

Lisäksi järjestelmän tulee erottaa toisistaan virheettömästi pallon ja pelaajan aiheuttamat kosketukset rajaamalla. Anturin tulee kyetä toimimaan tarpeeksi nopeasti, jotta pelaajan lähes samanaikainen kosketus rajaamalla pallon kanssa ei estä pallokosketuksen tunnistamista. Toimintavarmuus ja tarkkuus joudutaan todentamaan kokeellisesti prototyypin avulla, jotta voidaan olla varmoja EMFI-anturin soveltuvuudesta raja-anturointiin.

Järjestelmästä tulee pystyä valitsemaan halutut rajat käyttöön, olemassa olevista esiasetuksista tai manuaalisesti valitsemalla yksittäiset anturit.

## 6.2 Käytettävyys raja-anturoinnissa

Käytettävyydeltään järjestelmän tulee olla tarpeeksi helppo, jottei sen käyttämiseen vaadita erillistä koulutusta, vaan jokainen joukkuepelin pelaaja kykenisi käyttämään järjestelmää. Jotta järjestelmää olisi helppoa käyttää, tulee suunniteltaessa ottaa huomioon esimerkiksi seuraavat asiat: palaute, virheiden korjaamisen mahdollisuus, yksiselitteisyys ja jatkuvuus, virheiden tekemisen estäminen, muistikapasiteetin vähäinen kuormitus, joustavuus ja minimalistisuus sekä virheilmoitukset (Nielsen 1995). Kiinnittämällä huomiota käytettävyyteen suunnittelun alusta alkaen saadaan tuotteesta käyttäjäystävällinen ja mahdollistetaan hyvän käyttäjäkokemuksen syntyminen.

Palautteen antaminen anturoinnissa tulee hoitaa niin, että laite ilmoittaa toimintakunnossa olemisesta, valitusta rajavaihtoehdoista ja tuomiosta selkeästi. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi käyttämällä pieniä LED-valaisimia. Punainen LED-valaisin voisi ilmaista laitteen toimintakuntoisuuden ja vihreä LED-valaisin puolestaan syytyisi hetkeksi, mikäli rajakosketus tapahtui. Virheiden korjaamismahdollisuus mahdollistetaan napilla, jota painamalla voidaan palata alkutilaan ja toisella, napilla josta voidaan kumota edellinen valinta.

Järjestelmän tulee toimia toistuvasti samalla tavalla, jotta käyttäjät pystyvät ymmärtämään toimintaperiaatteen. Selkeän käytettävyyden mahdollistaa graafinen käyttöliittymä (GUI). GUI voitaisiin rakentaa Linux-pohjaiselle käyttöliittymälle, jonka avulla käynnistettäisiin laitteisto ja valittaisiin halutut rajat. Käyttämällä GUI:tä kuormitetaan mahdollisimman vähän muistia, kun ei tarvitse muistaa laitteen toimintaa ulkoa.

Minimalistisuus saadaan aikaan mahdollistamalla järjestelmän käytön vain nappia painamalla ja toisaalta joustavuus mahdollistamalla laitteen säätämisen tietokoneavusteisesti itselle sopivaksi. Näin pystytään miellyttämään käyttäjiä, jotka haluavat tehdä muutoksia, ja myös niitä, jotka haluavat vain saada laitteen toimimaan.

Ihanteellisessa tapauksessa järjestelmän tulisi toimia niin, että vuoron alkaessa seinästä nappia painamalla voisi valita käyttöön haluamansa rajat. Pelin aikana laitteiston tulisi automaattisesti näyttää seinällä tai tolpassa valomerkki, kun pallo osuu rajalle ja vuoron loppuessa laitteiston voisi jättää päälle. Laitteisto sammuisi itsestään

lopulta, tai seuraavien vuorolaisten valitessa omat rajansa edelliset asetukset nollautuisivat.

### **6.3 Kilpaurheilun erityisvaatimukset**

Lentopallossa päätuomari tekee tuomiopäätökset videotallenteiden perusteella, tai niitä ilman, joten mikäli laitetta käytettäisiin kilpaurheilussa tuomarin avustamiseen, tulisi rajakosketusta osoittava signaali näkyä ainoastaan tuomarille. Tämä voitaisiin saavuttaa laittamalla LED-valo lentopallotuomarin käyttämään telineeseen, josta se olisi vain hänen nähtävissään.

## **7 Prototyyppi**

Prototyyppi testaustarkoitukseen valmistettiin Emfit Oy:n tiloissa, sillä siellä oli hyvät tilat ja laitteistotestien tekemiseen.

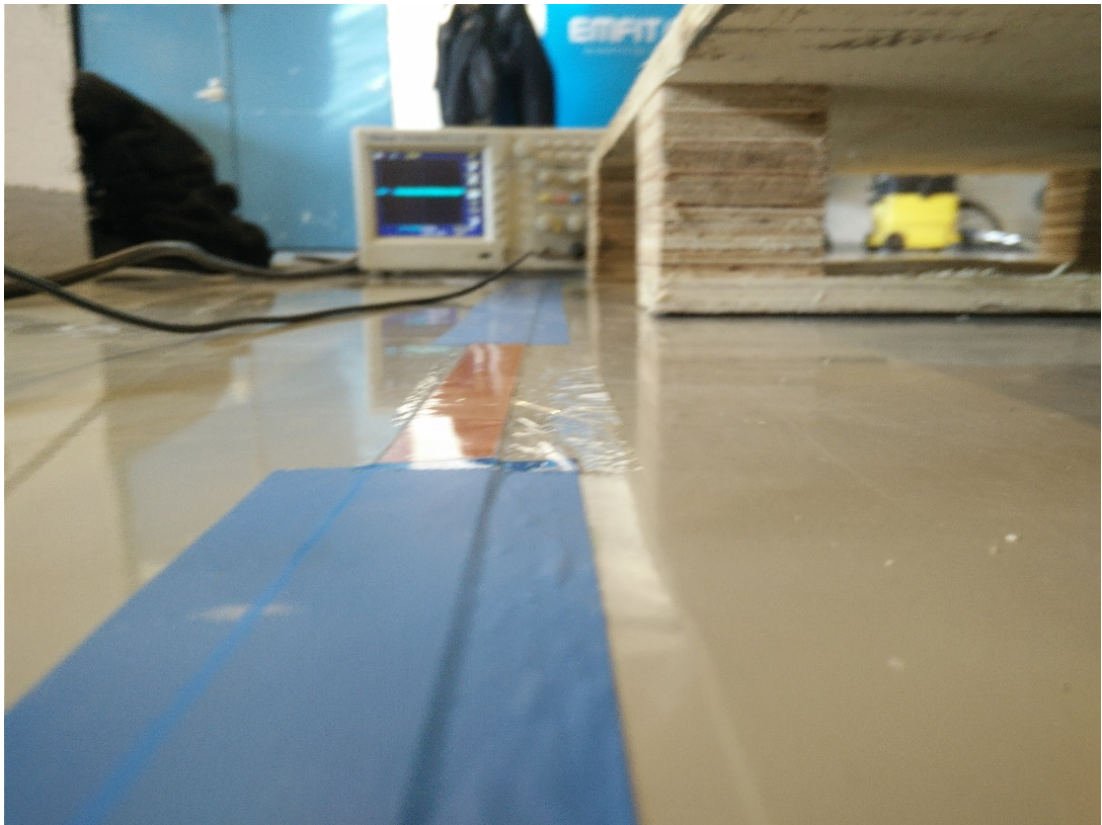
### **7.1 Suunnitelma**

Ideana oli kiinnittää anturi suhteellisen suureen vaneripalaan yksi anturi muutamalla eri kiinnitystyyllillä. Eri kiinnitystyylit ovat; lakkaus molemmilta puolilta anturille, lakkaus päältä anturille ja kiinnittäminen teipillä. Erilaiset kiinnitystavat testattiin kaikki samalla tavalla, jotta tuloksia voidaan vertailla luotettavasti.

Testauksessa käveltiin ja tiputeltiin lentopalloa anturin päälle ja sen viereen, jotta saatiin kartoitettua askeleiden ja lentopallon aiheuttamat signaalit. Signaalien tunnistamisen jälkeen yritettiin saada eroteltua signaalit toisistaan samanaikaisen kosketuksen aikana.

### **7.2 Testaukset Emfit Oy:n tiloissa**

Testausten perusteella havaittiin irtonaisten rakenteiden kelvottomuus testaustarkoituksiin. Käytettäessä irtonaista lavaa anturiin syntyi huomattava määrä epätoivottua värähtelyä. Värähtely aiheutti anturin signaaliin epätoivottua häiriötä, jonka seurauksena saatu signaali oli sekavaa. Tämän takia anturi kiinnitettiin rakennuksen lattiaan, kuten kuviossa 10, ja näin saatiin aikaiseksi paljon parempilaatuista signaalia. Lakan vaikutusta signaalin erottamiseen ei testattu, sillä erimateriaalisilla teipeillä ei ollut vaikutusta signaalin löytymiseen verrattuna paljaaseen anturiin.

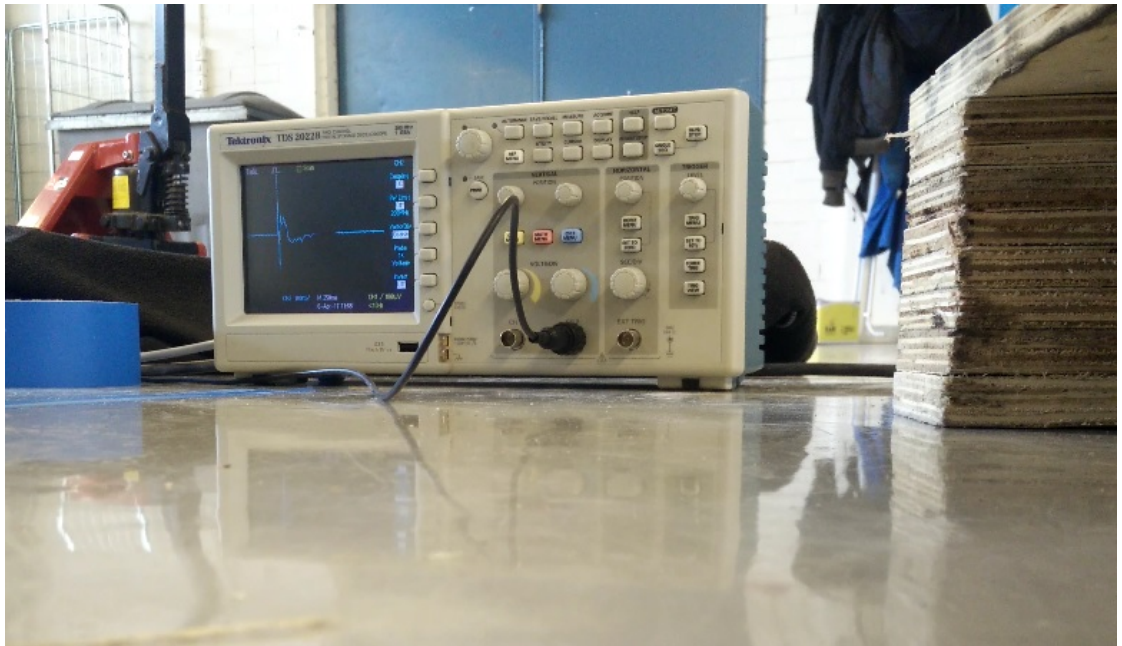


Kuvio 11. EMFI-anturin kiinnitys lattiaan mittauksia varten kahdella eri teippimateriaalilla.

Kuten kuvio 11 voi nähdä, lattiaan kiinnitetyn anturin avulla testattiin minkä lais-  
tas signaalia pallosta ja kävelystä anturin päällä aiheutuu. Signaalit osoittautuivat toi-  
sistaan helposti erotettaviksi, sillä kävelyn aiheuttama piikki oli huomattavasti mata-  
lampi ja pidempikestoinen verrattuna pallon aiheuttamaan piikkiin. Kun anturin  
päällä käveltiin ja pomputeltiin palloa yhtä aikaa, pystyttiin erottamaan toisistaan ja-  
loista ja pallosta aiheutunut signaali helposti.

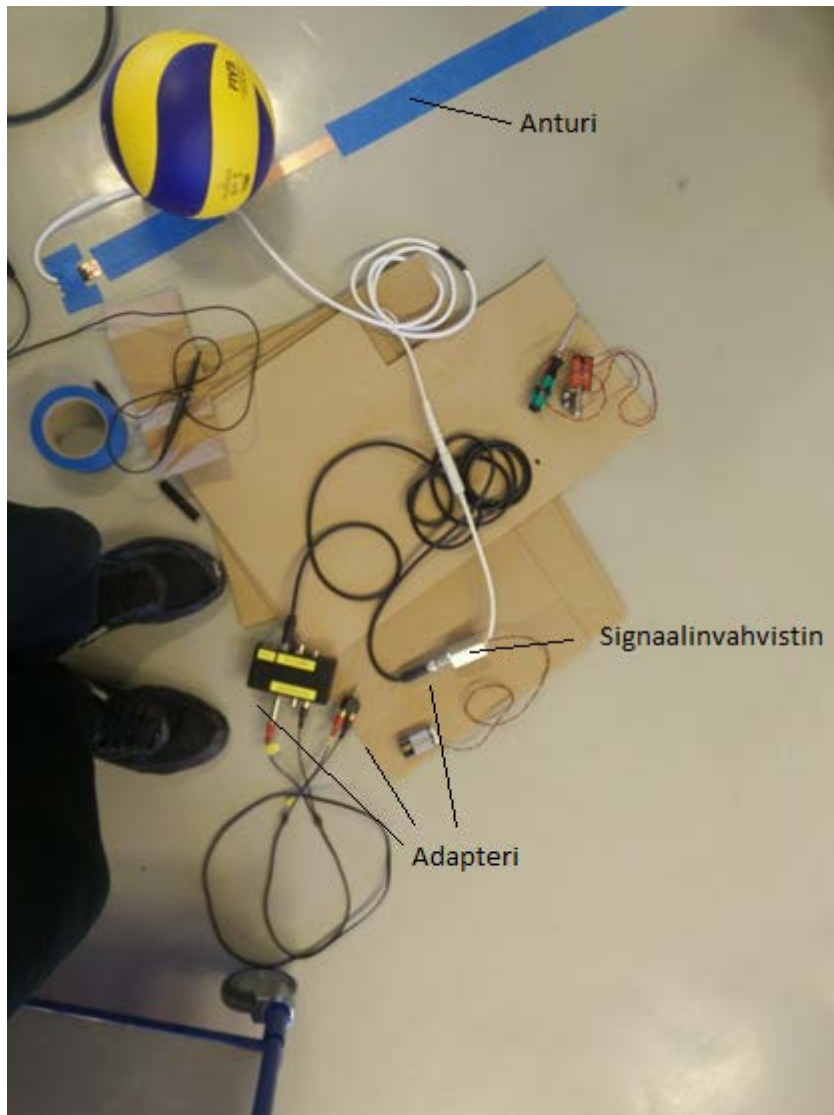
Signaalin hukkumisen sai tosin yrittämällä aikaiseksi naputtamalla kengän kannalla  
anturin päällä, katso kuvio 12. Tämä ei ole ongelma, kun kyseessä ei ole kilpaurheilu-  
käyttöön sovellettava laitteisto. Tosin jos tämän ongelman saisi ratkaistua, anturoin-

timenetelmä soveltuisi tarkkuudeltaan helposti kilpaurheilukäyttöön. Anturin tarkkuus kosketuksen tunnistamisessa oli reilusti alle 5 mm sillä anturissa on muutama millimetri ”kuollutta” aluetta anturin reunassa, johon koskiessa pallo ei saanut signaalia aikaiseksi. Tämä ”kuollut” alue johtuu anturin valmistustavasta ja on vakioitavissa valmistusmenetelmän avulla.



Kuvio 12. Oskilloskoopin näyttämä jännitepiikki oli tämän näköinen, kun pallon kosketusta yritettiin jäljitellä kengänkantaa naputtelemalla EMFI-anturin päällä.

Pallon aiheuttamaa signaalia pyrittiin tallentamaan oskilloskoopista suoraan USB-tikulle, josta se olisi siirretty tietokoneelle analysointia varten. Oskilloskoopin käyrän tallennus ei pitkästä yrittämisestä huolimatta, tuntemattomasta syystä, onnistunut. Tämän takia yritettiin tallentaa auditiivista dataa kuvion 13 laitteiston avulla. Kuviossa 13 on nähtävillä anturi, signaalinvahvistin ja adaptoreita Koska EMFI-anturia voi käyttää mikrofona, olisi tämän teoriassa pitänyt toimia, mutta lattiaan teipatun anturin herkkyys oli liian pieni, joten auditiivisen datan tallentaminen ei onnistunut.

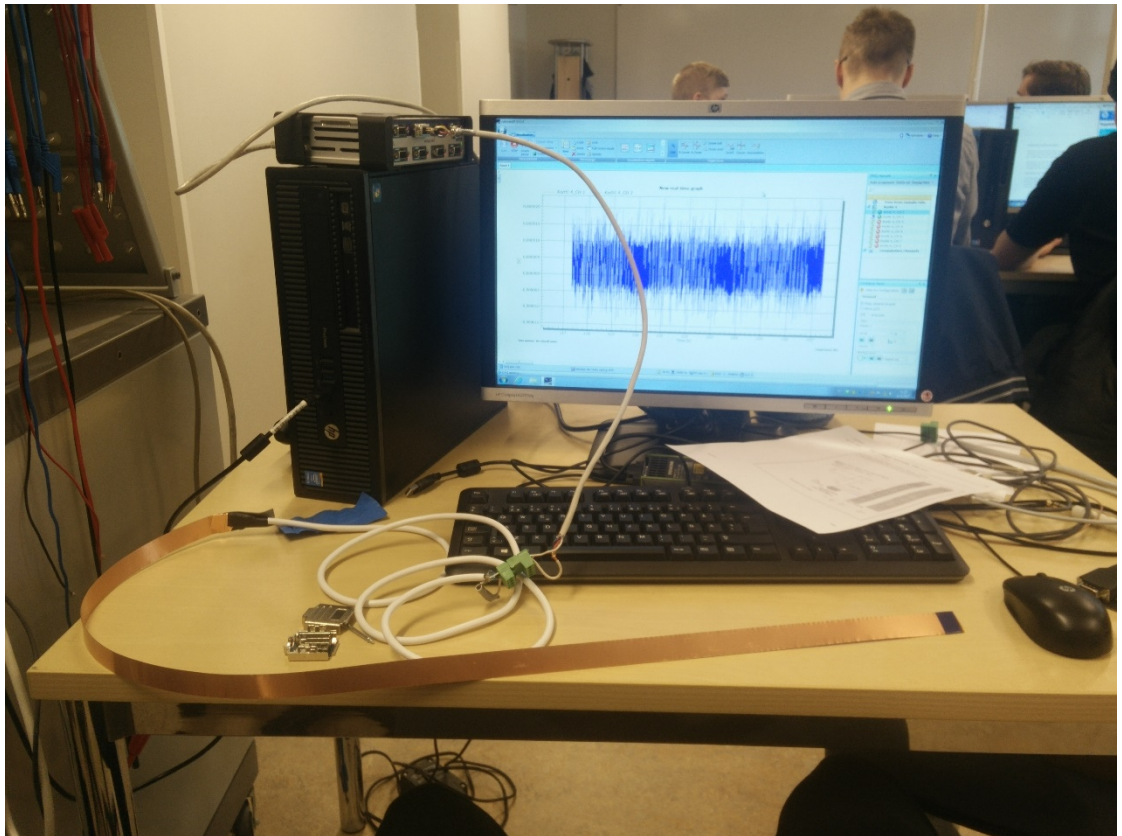


Kuvio 13. Audiitiivisen datan tallennuslaitteisto EMFI-anturiin liitettynä ilman dataa tallentavaa laitetta

Tarkoituksena oli myös yrittää tallentaa mittausdataa langattomasti Emfitin palvelimien kautta, mutta heidän palvelimet automaattisesti suodattavat dataa. Tästä syystä ei tämäkään tallennusmetodi ollut käytännöllinen, koska haluttiin tallentaa raaka-dataa. Koska haluttuja mittauksia ei saatu Emfitillä tallennettua ajateltiin yrittää tallentamista Jyväskylän ammattikorkeakoulun laitteistolla.

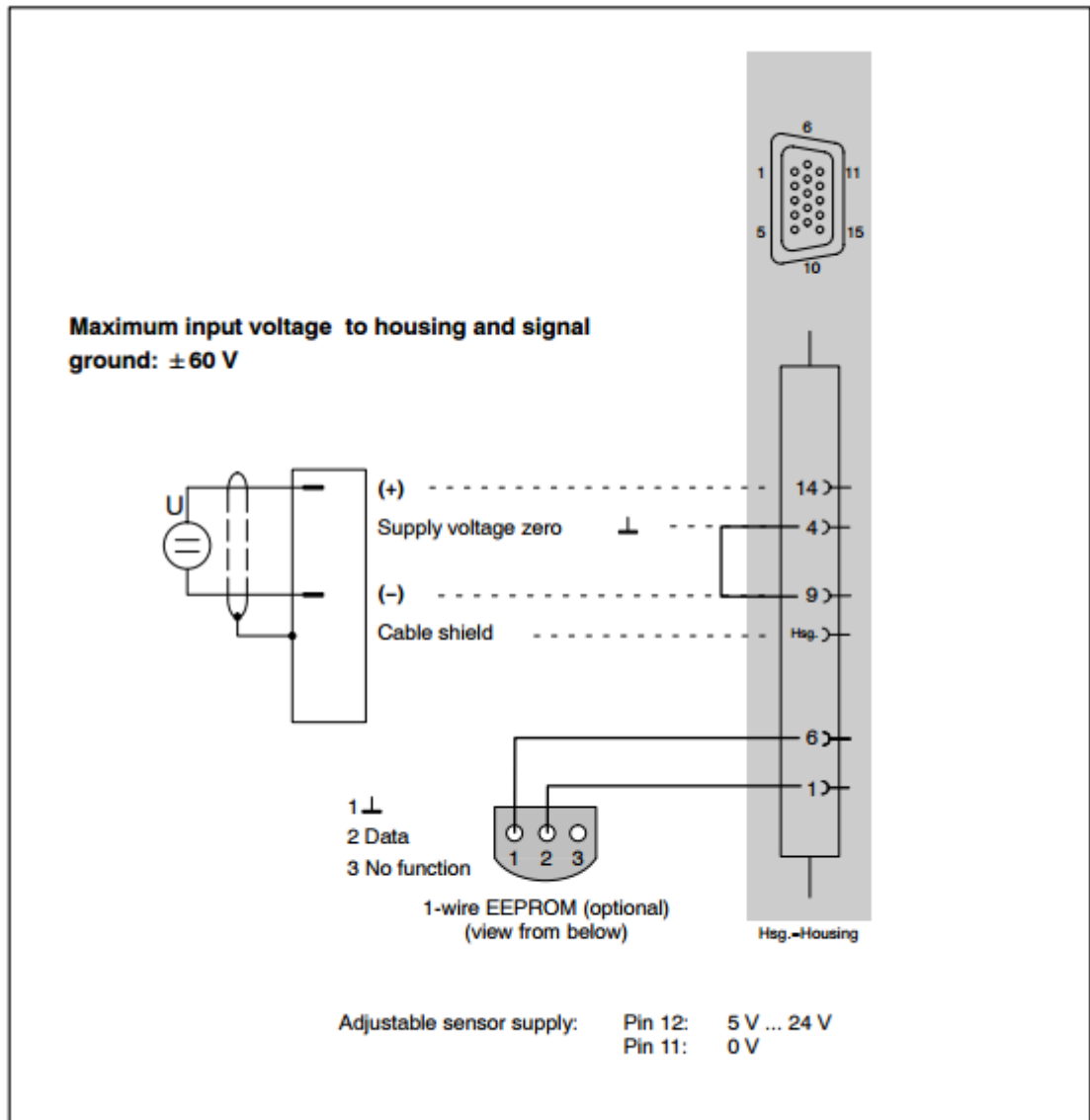
### 7.3 Mittaukset Jyväskylän ammattikorkeakoululla

Jyväskylän ammattikorkeakoululla mittaukseen käytettiin QuantumX MX840A-universaalia datan tallennuslaitteistoa yhdessä CatmanEasy-ohjelmiston kanssa, jotka näkyvät kuviossa 14.



Kuvio 14. QuantumX MX840A-laitteisto ja CatmanEasy-tietokoneohjelmisto sekä EMFI-anturi kytkettynä mittausten tekemistä varten

Jotta MX840A:ta pystyttiin käyttämään, tarvitsi ensin valmistaa adapteri 100 mV: alueelle HBM:n ohjeiden mukaisesti, jotka näkyvät kuviossa 15.



Kuvio 15. Ohjeet MX840A-laitteiston adapterin kytkentäkaavio 100 mV:n alueelle (Operating manual QuantumX n.d.)

Käyttöohjeiden noudattamisesta huolimatta ei datan tallentaminen onnistunut HBM:n laitteistollakaan. Vaikka laitteisto saatiin näyttämään kuvion 14 kaltaista signaalia, ei sitä voitu käyttää datan tallentamiseen. Useista yrityksistä ja Jyväskylän ammattikorkeakoulun henkilökunnalta kysymisestä huolimatta, ei laitteistoa saatu toimimaan toivotulla tavalla. Tämä johtui ilmeisesti laitteiston häiriöherkkyydestä, joka hukutti kaiken halutun datan häiriösignaalien alle tai kytkentäkaavion virheellisyydestä.



Näiden ongelmien seurauksena ei haluttua dataa lopulta saatu tallennettua ja anturin käyttökelpoisuuden arviointi jouduttiin jättämään oskilloskoopin reaaliaikaisen datan analysoinnin varaan.

## **8 Anturointijärjestelmän rakentaminen**

Hankittujen tietojen pohjalta sisäpelikentän raja-anturointijärjestelmää rakennettaessa tulisi hankkia metritavarana tarvittava määrä EMFI-anturia, johtoja ja teippiä sekä LED-valaisimia. Näiden lisäksi tarvittaisiin tietokone, jolla tehdä signaalianalyysia. Mikäli tietokone tarvitsisi vahvistuksen signaalille, tulisi hankkia myös tarvittava määrä kanavia signaalin vahvistusta varten. Tämä laitteisto on kuitenkin huomattava menoerä koko kustannuksista.

Rakennusvaiheessa tiedossa olevien anturoitavien rajojen läheisyyteen tulisi porata reiät ja laittaa sähköjohdot tietokoneelta anturista koolauksessa. Anturit teipattaisiin kohdalleen ennen lakkausta ja riippuen lakkauksen paksuudesta anturille saattaisi joutua hiomaan matalan uran nauhahiomakoneella. Anturit tulisi asentaa rajan ulkoreunan kanssa samaan linjaan, mikäli kyseessä on lentopallo tai sulkapallo. Sen sijaan asennus tulisi tehdä rajan sisäreunaan, mikäli kyseessä on koripallo. Asennusreuna täytyy siis tarkistaa kyseessä olevan lajin säännöistä. Lakkauksen jälkeen anturit olisivat suojassa kulutukselta ja olisivat käytännössä ikuisia.

Sähköhuoneessa olevasta tietokoneesta johdotettaisiin LED-valot näyttötaululle, jotka syttyisivät valittujen rajojen saadessa ennalta määrätyn signaalin. Tarvittavien kanavien määrää voisi vähentää kytkimillä, joilla ottaa käyttöön vain kulloinkin tarvittavat rajat.

## 9 Tulokset

Taulukoon 1 on koottu opinnäytetyössä esitetyt kysymykset ja niitä vastaavat tulokset. Tulokset olivat pääsääntöisesti oletettujen kaltaisia ja opinnäytetyön asettelun kannalta positiivisia.

Taulukko 1. Opinnäytetyössä esitettyjen kysymysten vastaukset

<b>Esitetty kysymys:</b>	<b>Vastaus:</b>
Onko EMFI-anturi raja-anturointiin soveltava?	EMFI-anturi soveltuu käyttötarkoitukseen, kun tarkoituksena on parantaa sisäpelikenttien käytettävyyttä. Kilpakäyttöön soveltuvuudesta tulisi tehdä erilliset tutkimukset.
Onko EMFI-anturin tarkkuus sivusuunnassa tarpeeksi hyvä?	EMFI-anturin tarkkuus sivuttaissuunnassa on alle $\pm 5$ mm, joka on tarpeeksi tarkka haluttuun tarkoitukseen.
Onko anturin antamasta raaka-datasta mahdollista erottaa toisistaan pallon ja pelaajan aiheuttamat signaalit?	Signaalit ovat erotettavissa silmämääräisesti, mutta numeraalista data-analyysiä ei saatu laitteistopuutteiden vuoksi tehtyä.
Kuinka anturi tulisi asentaa?	Anturi tulisi asentaa kentän lakkapinnan alle teipaten kiinnittäen, mutta kertaluontoiseen käyttöön asennus pintaan teipin alle on mahdollista.
Mitä tarvitaan kyseisen laitteiston rakentamiseen?	Laitteistoksi vaaditaan 6*8 m EMFI-anturi, signaalin käsittelyyn tietokone ja data-analyysiohjelmisto ja mahdollisesti signaalin vahvistin sekä johtimia.
Minkä hintainen laitteisto olisi lentopalloon?	Laitteiston hinta jäisi muutamiin tuhansiin euroihin.

## 10 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää EMFI-anturin soveltuvuus sisäpelikenttien raja-anturoinnin toteuttamiseen, jotta voitaisiin parantaa sisäpelikenttien käyttäjäkokemusta. Työn perusteella voidaan todeta EMFI-anturin soveltuvan tähän käyttötarkoitukseen tarkkuutensa ja hintansa puolesta, sillä asetettu  $\pm 5$  mm:n virhemarginaali ja kohtuulliset kustannukset ovat helposti saavutettavissa. Vaikka anturin käytössä ilmeni pieniä ongelmia, joiden takia järjestelmää ei voisi suoraan ottaa käyttöön kilpaurheilussa, eivät nämä ongelmat haittaisi kuntourheilussa.

Valmista prototyyppiä ei kuitenkaan voitu valmistaa, sillä datan tallentaminen ei onnistunut käytössä olleilla laitteilla. Tästä johtuen datan käsittelyn osuus jäi olemattomaksi opinnäytetyössä, mikä oli valitettavaa. Reaaliaikaisesta oskilloskoopin datasta voidaan kuitenkin päätellä data-analyysin olevan mahdollista, mikäli käytössä olisi toimivat laitteet. Koska työn tarkoituksena oli selvittää anturityypin sopivuus käyttötarkoitukseen eikä valmistaa lopullista prototyyppiä, päädyttiin hyväksymään vajaa analysointi ilman todellista näyttöä.

Tulosten luotettavuudesta voi mainita tarkkuuden pitävän todennäköisesti paikkansa, sillä videolta oli helposti havaittavissa, osuiko kappale anturiin, ja samalla näki, antoiko anturi signaalia. Tuloksista voidaan päätellä, että EMFI-anturit ovat hyvinkin käyttökelpoisia tarkkuutta vaativiin mittauskohteisiin, mikä tosin oli jo ennalta tiedossa. Anturin soveltuvuus datan erottelukyvyn perusteella on hieman kyseenalainen numeraalisen analyysin puuttumisen takia. Vaikka anturin soveltuvuus on todennäköistä tästäkin näkökulmasta katsottuna, ei tuloksia voi pitää luotettavana pelkän kuvista katsomisen ja yksittäisen henkilön testausten perusteella.

Testauksia tehdessä havaittiin, ettei pallon aiheuttamaan signaaliin tullut merkittäviä muutoksia riippuen anturin kiinnittämiseen käytetystä teipistä. Näin ollen voidaan olettaa, ettei asentaminen lakkapinnan alle tuottaisi ongelmia anturin tarkkuuteen tai käyttötarkoitukseen.

Lopullisen tuotteen jatkokehittämisessä olisi oleellista hankkia laitteisto, jolla pystytään tallentamaan anturista oskilloskoopilla saatava data numeraalisesti datan käsittelyä varten. Toisena jatkokehityksen hankkeena voisi anturin asentaa pelikentän

pinnalle ja tarkastella kuinka paljon pelin aikana oikeasti pelaajat ovat rajan päällä ja tuleeko saman aikaisia kosketuksia anturiin pallosta ja pelaajasta. Tällä voitaisiin arvioida tarkemmin tarvittavien antureiden määrä ja pituus.

Päätöksenteon tärkeys tuli esille, kun asiat eivät sujuneet niin kuin oli suunniteltu, mikä on yleistä kaikkialla työelämässäkin. Opinnäytetyössä tärkeimmäksi tavoitteeksi asetettiin alkuperäisen kysymyksen, anturin käytettävyydestä kyseiseen tarkoitukseen, aikataulussa pysyminen. Tämän seurauksena tingittiin saadun tuloksen laadusta, mutta suoritettiin minimivaatimukset halutussa aikataulussa. Muita mahdollisia vaihtoehtoja, joita käytetään myös työelämässä, on aikataulusta luistaminen, työvoiman lisääminen ja laittomuudet, eli tässä tapauksessa plagiointi. Se, mitä näistä valitaan, on moraalinen kysymys.

## Lähteet

Aggarwal, C. C. 2013. Managing and Mining Sensor Data. Springer, kansainvälinen kirjojen julkaisija. Viitattu 13.3.2017.

[https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=MW9MAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=sensor+data+analytics&ots=Da8inh5G3e&sig=WXHCb7YO-OgNRk1gkLmvSMJhBXU&redir\\_esc=y#v=onepage&q=sensor%20data%20analytics&f=false](https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=MW9MAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=sensor+data+analytics&ots=Da8inh5G3e&sig=WXHCb7YO-OgNRk1gkLmvSMJhBXU&redir_esc=y#v=onepage&q=sensor%20data%20analytics&f=false)

Electronic line calling. N.d. Tuote esittely Hawk-Eye-yrityksen sivuilla. Yritys valmistaa ja myy tennikseen soveltuvaa optista pallon seuranta järjestelmää. Viitattu 21.3.2017. <http://www.hawkeyeinnovations.co.uk/products/ball-tracking/electronic-line-calling>

Extra-long force.sensitive resistor (FSR) – Interlink 408. N.d. Tuote-esittely Adafruit:in kotisivuilla, elektroniikkayritys, joka myy Arduino-laitteita. Viitattu 21.4.2017. <https://www.adafruit.com/product/1071>

Force Sensitive Resistors (FSRs). N.d. Artikkel Open Music Labs-sivustolla, analogista ja digitaalista tekniikkaa muusikoille tarjoava yritys. Viitattu 21.4.2017. <http://www.openmusiclabs.com/learning/sensors/fsr/>

Hakkarainen, P. 2017. Kansainvälinen lentopallotuomari. Puhelinkeskustelu 30.3.2017.

Inside Hawkeye. 2012. Videoartikkeli Australian Open-sivustolla. Viitattu 21.4.2017 <https://www.youtube.com/watch?v=XhQyVnwBXBs>

Kapasitiiviset anturit. N.d. Tuotokuvaus Hemomatikin kotisivustolla, antureita myyvä yritys. Viitattu 30.3.2017. <http://www.hemomatik.fi/tuotteet/kapasitiiviset-anturit/>

Kinney, T. 2001. Proximity Sensors Compared: Inductive, Capacitive, Photoelectric, and Ultrasonic. Artikkel Machine Design:in kotisivustolla, Tekniikan uutisia julkaiseva sivusto. Viitattu 30.3.2017. <http://machinedesign.com/sensors/proximity-sensors-compared-inductive-capacitive-photoelectric-and-ultrasonic>

Nielsen, J. 1995. 10 Usability Heuristics for User interface Design. Artikkel Nielsen Norman Groupin sivustolla. Viitattu 21.3.2017. <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>

Nielsen, J. 2012. Usability 101: Introduction to Usability. Artikkel Nielsen Norman Group:in sivustolla. Viitattu 21.3.2017. <https://www.nngroup.com/articles/usability-101-introduction-to-usability/>

Official Volleyball Rules 2017-2020. 2016. Sääntökirja Federation internationale de volleyball (FIVB) kotisivuilla. Viitattu 13.3.2017. [http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/documents/FIVB-Volleyball\\_Rules\\_2017-2020-EN-v06.pdf](http://www.fivb.org/EN/Refereeing-Rules/documents/FIVB-Volleyball_Rules_2017-2020-EN-v06.pdf)

Optical Sensors and Switches. N.d. Tuotokuvaus sivustolla Future Electronics, elektronisia komponentteja myyvä yritys. Viitattu 29.3.2017. <http://www.futureelectronics.com/en/optoelectronics/optical-sensors-and-switches.aspx>

Paajanen, M. Lekkala, J. & Kirjavainen, K. 1998. ElectroMechanical Film (EMFi) - a new multipurpose electret material. VTT:n julkaisema tutkimusartikkeli. Viitattu 13.3.2017. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924424799002691>

Paajanen, M. Välimäki, H. & Lekkala, J. 1999. Modelling the electromechanical film (EMFi). VTT:n julkaisema tutkimusartikkeli. Viitattu 21.3.2017 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388699000650>

Park, A. 2012. Technology's Touch. How a Photo Finish in the Olympic Pool Gets Resolved. TIME:n julkaisema uutisartikkeli. Viitattu 29.3.2017. <http://olympics.time.com/2012/07/27/technologys-touch-how-a-photo-finish-in-the-olympic-pool-gets-resolved/>

Operating manual QuantumX. N.d. HBM:n käyttöohjeet laitteistolle, elektroniikkalaitteisto valmistaja.

Valokennot. N.d. Tuotekuvaus Hemomatik:in kotisivuilla, antureita myyvä yritys. Viitattu 30.3.2017. <http://www.hemomatik.fi/tuotteet/valokennot/>

White, K. 2015. In and Out Line Monitoring System for Volleyball. Opinnäytetyö, Electrical and Computer Engineering Capstone. Viitattu 21.3.2017 <http://muse.union.edu/2016capstone-whitek/files/2015/11/498-final-paper.pdf>

World League - FIVB increases spectator experience with new Challenge System. N.d. FIVB - Federation internationale de volleyball järjestön julkaisema uutisartikkeli. Viitattu 21.3.2017. <http://www.fivb.org/viewPressRelease.asp?No=40897&Language=en#.WNE7vPnyjct>

## Liitteet

Liite 1. Ilman ja polypropeenin välisen varaustiheyden  $\sigma$  laskeminen yksikerroksisesta EMFI-mallista ulkoisen jännitteen  $V_0$  avulla (Paajanen ym. 1999).

When a dynamic normal force with amplitude  $\Delta F$  is applied to a two-side metallized EMFI film, a change  $\Delta q$  in the charge is induced at the electrodes. The quotient  $k_s = \Delta q (\Delta F)^{-1}$  is called the (sensor) sensitivity of the film. In order to solve the sensitivity it is necessary to determine the charge density on the metal surfaces. This can be done by applying Gauss's law at the polypropylene/air interface and Kirchhoff's second law for the total electric potential. The fringing electric fields are ignored. For the upper electrode in Fig. 2 this gives

$$\sigma_{m1} = \frac{\varepsilon_g x_p \sigma_{p1} - \varepsilon_g x_{pp1} \sigma_{p1} + \varepsilon_p x_i \sigma_{p1} - \varepsilon_p x_i \sigma_i - \varepsilon_g x_{pp2} \sigma_{p2} - \varepsilon_0 \varepsilon_g \varepsilon_p V}{\varepsilon_g x_p + \varepsilon_p x_i}, \quad (2)$$

where  $V$  is the external voltage applied to the electrodes,  $\varepsilon_p$  and  $\varepsilon_g$  are the relative dielectric constants of polypropylene and gas, respectively.  $x_p = x_{p1} + x_{p2}$  and  $\varepsilon_0$  is the vacuum permittivity.

If the polypropylene layers are considered to be stiff enough to maintain their thickness, the thickness variation can be considered to be compression of the air voids only, i.e.  $\Delta x = \Delta x_i$ . For small changes, therefore (the relative permittivity of the gas inside the voids  $\varepsilon_g = 1$ )

$$\frac{\Delta \sigma_{m1}}{\Delta x} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V + \varepsilon_p x_{pp1} \sigma_{p1} + \varepsilon_p x_{pp2} \sigma_{p2} - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{(x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (3)$$

If  $\sigma_{p1} \neq \sigma_{p2}$ , it follows that  $\sigma_{m1} \neq \sigma_{m2}$ . After differentiating the charge densities on the upper and lower metal electrodes  $\sigma_{m1}$  and  $\sigma_{m2}$ , respectively, in respect to the thickness of the air void, we will obtain the following relation for the sensitivity:  $\Delta \sigma_{m1} / \Delta x = -\Delta \sigma_{m2} / \Delta x$ . Eq. (3) is for the upper metal electrode. The Young's modulus  $Y = x_0 \Delta p / \Delta x$  can be considered constant for small thickness changes, and thus Eq. (3) can be rewritten as follows:

$$k_s = \frac{\Delta q}{\Delta F} = \frac{x_0 \varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V + \varepsilon_p x_{pp1} \sigma_{p1} + \varepsilon_p x_{pp2} \sigma_{p2} - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{Y (x_p + \varepsilon_p x_i)^2}, \quad (4)$$

where  $x_0 = x_p + x_i$  is the thickness of the unstressed film. The mean depths  $x_{pp1}$  and  $x_{pp2}$  of the surface charge are typically very small, from zero to a few  $\mu\text{m}$  in corona charging [3] and [4]. The thickness of the surface polypropylene layers is also only a few  $\mu\text{m}$ . Thus comparing the last term of Eq. (4) to the second and third terms it can be seen that the effect of the surface charges to the sensor operation appears to be

negligible. Eq. (4) can thus be reduced to the following form:

$$k_s = \frac{\Delta q}{\Delta F} = \frac{x_0 \varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{Y (x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (5)$$

The intrinsic sensitivity of the film refers to the situation where the external voltage  $V$  is zero, or

$$k_s = \frac{\Delta q}{\Delta F} = \frac{x_0 - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{Y (x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (6)$$

## 2.2. Actuator model

A change  $\Delta V$  in the external voltage across the film leads to a change  $\Delta x$  in the film thickness. The quotient  $k_a = \Delta x (\Delta V)^{-1}$  is called the sensitivity of the thickness actuator mode, and an expression for the structure presented in Fig. 2 is derived in the following.

The electric field  $E_i$  and the resulting attracting force or pressure  $p$  ( $\text{Nm}^{-2}$ ) [6] between the polypropylene layers are solved using Gauss's law

$$E_i = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_p V + x_{pp1} \sigma_{p1} + x_{pp2} \sigma_{p2} - x_p \sigma_i}{\varepsilon_0 \varepsilon_g x_p + \varepsilon_0 \varepsilon_p x_i}, \quad (7)$$

$$p \approx \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_g E_i^2 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_g \left[ \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_p V + x_{pp1} \sigma_{p1} + x_{pp2} \sigma_{p2} - x_p \sigma_i}{\varepsilon_0 \varepsilon_g x_p + \varepsilon_0 \varepsilon_p x_i} \right]^2. \quad (8)$$

By differentiating Eq. (8) in respect to  $V$ , a first-order approximation for small voltage variations can be obtained ( $\varepsilon_g=1$ )

$$\frac{\Delta p}{\Delta V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V + \varepsilon_p x_{pp1} \sigma_{p1} + \varepsilon_p x_{pp2} \sigma_{p2} - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{(x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (9)$$

Since the Young's modulus can be considered constant for small thickness changes, the actuator sensitivity  $k_a$  is given by

$$k_a = \frac{\Delta x}{\Delta V} = \frac{x_0}{Y} \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V + \varepsilon_p x_{pp1} \sigma_{p1} + \varepsilon_p x_{pp2} \sigma_{p2} - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{(x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (10)$$

and as well as and are identical, which indicates reciprocity of the derived linear model i.e.



$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta x} = \frac{\Delta p}{\Delta V} \Leftrightarrow \frac{\Delta q}{\Delta F} = \frac{\Delta x}{\Delta V} \Leftrightarrow k_s = k_a. \quad (11)$$

Reciprocity means, that the models for sensor and actuator sensitivity in thickness mode are similar and give equal sensitivities for similar films.

Like in Eq. (4) the effect of the surface charge is typically negligible and can be omitted

$$k_a = \frac{\Delta x}{\Delta V} = \frac{x_0}{Y} \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V - \varepsilon_p x_p \sigma_i}{(x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (12)$$

The intrinsic sensitivity for actuator operation is thus

$$k_a = \frac{\Delta x}{\Delta V} = \frac{x_0}{Y} \frac{-\varepsilon_p x_p \sigma_i}{(x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (13)$$

When the external voltage is raised from 0 to  $V$ , the total thickness change  $\Delta x$  is given by

$$\Delta x = \frac{x_0}{Y} \Delta p = \frac{x_0}{Y} [p(V) - p(0)], \quad (14)$$

where  $p(V)$  and  $p(0)$  are given by Eq. (8). When surface charges are omitted, this leads to

$$\Delta x = \frac{x_0}{Y} \frac{\frac{1}{2} \varepsilon_0 \varepsilon_p^2 V^2 - \varepsilon_p x_p \sigma_i V}{(x_p + \varepsilon_p x_i)^2}. \quad (15)$$

Certain external DC bias voltage  $V_0$  compensates the thickness changes caused by small voltage variations and the film acts like an uncharged film. This compensation voltage can be determined e.g. from Eq. (12) by setting  $k_a=0$ , yielding

$$V_0 = \frac{x_p \sigma_i}{\varepsilon_0 \varepsilon_p}. \quad (16)$$

Thus, when the surface charges  $\sigma_p$  are omitted, the charge density  $\sigma_i$  at the polypropylene/air interfaces inside the film can be calculated by determining  $V_0$ .