SELVITYS URHEILU- JA LIIKUNTATEKNOLOGIA OSAAMISESTA TUTKIMUS- JA OPETUSTASOLLA KANSALLISESTI, SEKÄ KANSAINVÄLISESTI

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Konetekniikan diplomityö

2022

Toni Halonen

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola

Tekniikan tohtori Tero Rantala

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Energiajärjestelmät

Konetekniikka

Toni Halonen

Selvitys urheilu- ja liikuntateknologia osaamisesta tutkimus- ja opetustasolla kansallisesti, sekä kansainvälisesti

Konetekniikan diplomityö

2022

65 sivua, 24 kuvaa ja 1 taulukko

Tarkastajat: Professori Aki Mikkola ja tekniikan tohtori Tero Rantala

Avainsanat: sports engineering, urheilutekniikka, SERCF,

Tämä tutkimus tehtiin LUT-yliopiston Sports Engineering Research Centre Finland (SERCF) hankkeeseen tavoitteena saada kattava katsaus sports engineeringistä ja siihen liittyvästä opetuksesta, sekä tutkimuksesta Suomessa ja maailmalla. Tutkimuksessa koottiin yhteen kansalliset urheilutekniikan toimijat, sekä kansainvälisesti sports engineering -otsikon alla toimivat yliopistot. Työssä esitetään millaista tutkimusta ja opetusta näillä toimijoilla on. Tutkimuksessa suoritettiin lisäksi asiantuntijahaastattelu Huippu urheilun instituutti KIHU:ssa ja Delftin yliopistossa toimiville asiantuntijoille.

Tässä diplomityössä tehtiin myös case-työ pyörätuolikelauksen tehonmittauksen suunnittelusta, jonka tavoitteena on antaa esimerkki mitä sports engineering käytännössä voi olla. Case-työssä selvitettiin pyörätuolikelauksen tekniset-, sekä lajikohtaiset tarpeet tehonmittaukselle. Saaduilla tuloksilla pystyttiin tekemään suunnitelma ja 3D-malli, jossa polkupyöräilyyn suunniteltu kuluttajamallinen tehonmittausanturi saadaan kiinnitettyä pyörätuolikelauksessa käytettäviin pyörätuolin kiekkoihin.

Tutkimuksesta saatiin kattavasti tietoa millaista tutkimusta ja opetusta sports engineering alalla on maailmalla. Tätä tietoa voidaan hyödyntää sports engineering koulutusohjelman suunnittelussa, sekä SERCF:n toiminnan edistämisessä.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Energy Systems

Mechanical Engineering

Toni Halonen

Report on sports technology expertise at the research and teaching level nationally and internationally

Master's thesis

2022

65 pages, 24 figures and 1 table

Examiners: Professor Aki Mikkola and D.Sc. Tero Rantala

Keywords: sports engineering, SERCF

This study was conducted for the LUT University Sports Engineering Research Centre Finland (SERCF) project with the aim of obtaining a comprehensive overview of sports engineering and related teaching, as well as research in Finland and around the world. The study brought together national facilities in sports engineering, as well as universities operating abroad under the heading of sports engineering. The study presents the kind of research and teaching these facilities have. The study also included an expert interview with experts from Finnish Institute of High-Performance Sport KIHU and from TU Delft.

In this thesis, a case study was also done on the design of power measurement for wheelchair racing. The aim was to give an example of what sports engineering can be in practice. In the practical work, the technical and species-specific needs for power measurement were investigated in wheelchair racing. With the obtained results, it was possible to make a plan and a 3D model to how consumer-type power measurement sensor designed for cycling can be attached to wheelchair discs used in wheelchair racing.

The study provided comprehensive information on the type of research and teaching in the field of sports engineering in the world. This information can be used in the planning of a sports engineering degree program, as well as in promoting the activities of the SERCF.

KIITOKSET

Haluan kiittää LUT-yliopiston professori Aki Mikkolaa ja tekniikan tohtori Tero Rantalaa työn ohjaamisesta ja innostavasta työympäristöstä SERCF-projektin parissa. Lisäksi haluan kiittää työn haastatteluosuuteen osallistuneita.

Erityiskiitos perheelleni ja tyttöystävälleni kaikesta tuesta opiskeluvuosien aikana. Lopuksi haluan kiittää opiskelukavereitani ja Koneenrakennuskiltaa, jotka tekivät tästä yliopistoelämästä unohtumattoman.

Toni Halonen

Lappeenrannassa 31.5.2022

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

M	vääntömomentti	[Nm]
P	teho	[W]

Kreikkalaiset

ω	kulmakiihtyvyys	[rad/s]

Lyhenteet

SERCF	Sports Engineering Research Centre Finland

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

Symboli- ja lyhenneluettelo

1. Johdanto 8
   1.1. Motivaatio ja tutkimuksen taustat 11
   1.2. Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset 12
   1.3. Tutkimusmetodit ja työn rakenne 12
2. Kansallinen selvitys 14
   2.1. Tutkimus ja opetus 15
   2.2. Muu tutkimus ja työ 20
   2.3. Urheiluteknologian yhteistoimintaorganisaatiot 22
3. Sports engineering kansainvälisesti 24
   3.1. Delft University of Technology 24
   3.2. Sheffield Hallam University 26
   3.3. Nottingham Trent University 27
   3.4. University of Strathclyde 28
   3.5. University of Adelaide 29
   3.6. Washington State University 30
   3.7. Griffith University 31
   3.8. ETH Zurich 31
   3.9. University of Waterloo 32
   3.10. Tehnische Universität Chemnitz 33
   3.11. MCI The Entrepreneurial University 33
   3.12. Beijing Sport University 34
   3.13. Purdue Yliopisto 34
   3.14. TU Clausthal, Clausthal teknillinen yliopisto 35
   3.15. Muut kansainväliset toimijat 35
4. Haastattelut 37

4.1. Kansallinen haastattelu 37
4.2. Kansainvälinen haastattelu 40
5. Case: Pyörätuolikelauksen tehonmittaus 43
5.1. Työn toteutus 44
5.2. Sovellukset datan lukemiseen 49
6. Johtopäätökset 53
6.1. Urheiluteknologiaosaaminen Suomessa 53
6.2. Sports engineering kansainvälisesti 55
6.3. Case-työn tulokset 58
6.4. Validiteetti ja reliabiliteetti 58
6.5. Työn merkitys ja jatkotutkimus 59
Lähteet 60

1. Johdanto

Sports engineering tarkoittaa insinööriosaamisen hyödyntämistä urheilussa esiintyviin ongelmiin. Urheiluinsinööri suunnittelee ja kehittää urheilussa käytettäviä välineitä, urheilutulosten ja harjoitusten analysointityökaluja, simulaatioita, sekä urheiluympäristöjä. Urheiluteknologiaa voidaan hyödyntää huippu-urheilussa, kunto- ja terveysliikunnassa, erityistarpeita omaavien henkilöiden liikuntamahdollisuuksissa, sekä lasten ja nuorten liikuntaan innostamisessa. Tässä tutkimuksessa sports engineeringiä käsiteltiin enemmän objektiivisena, kuin ihmiskeskeisenä alana. Tutkimus on rajoitettu insinöörimäiseen näkökulmaan.

Urheiluteknologialla on suuri vaikutus huippu-urheiluun. Teknologian avulla parannetaan urheilijoiden suorituskykyä, tehostetaan harjoittelua, tehdään urheilusta turvallisempaa, sekä kilpailuista viihdyttävämpiä. Urheiluinsinööri voi suunnitella ja kehittää parempia urheiluvälineitä, kuten polkupyöriä ja suksia, sekä urheiluvarusteita, kuten vaatteita ja kenkiä. Kehittyneillä varusteilla saadaan kilpailuissa suuriakin etuja. Esimerkiksi vuoden 2021 Tokion olympialaisissa nähtiin uusia juoksukenkiä, jotka palauttavat juoksijan energiaa pohjassa olevan hiilikuitulevyn ja ilmatyynyjen avulla. Tällaisilla kengillä juoksuajat paranevat, sekä jalkojen rasitus kevenee. Myös jo 2000-luvun alussa kilpauinnissa käytetyt kelluttavat polyuretaaniset uimapuvut toivat teknologiaosaamista kilpaurheiluun. Näillä puvuilla saatu hyöty oli niin suuri, että ne kiellettiin kilpailukäytöstä vuonna 2010. Huippu-urheilussa voidaan lisäksi käyttää erilaisia simulaatioita, kuten kuvassa 1 nähdään Vuokatissa kehitetty hiihtosimulaattori.

Kuva 1. Hiihtäjä harjoittelemassa simulaation avulla Pekingin 2022 olympialaisten hiihtoladuilla (Gröndahl 2021).

Kuvasta nähdään, kuinka harjoittelu voidaan suorittaa etänä arvokisaympäristössä simulaation avulla. Simulaation avulla urheilija saa taktista etua kilpailuun, kun hän osaa rytmittää hiihtovauhtinsa maaston muotojen ja oman kuntonsa mukaan.

Mittaus ja datan kerääminen urheilijan ominaisuuksista ja kuntotekijöistä, kuten lihasten tuottamasta tehosta, sykkeestä ja hapenottokyvystä kuuluvat sports engineeringiin. Älykellojen, sensoreiden sekä videokuvan avulla valmentajat voivat helposti seurata ja analysoida harjoituksia ja kehittää niitä vastaamaan urheilijan tarpeita.

Erilaisten urheilutilojen suunnittelu ja tutkiminen on yksi sports engineeringin alue. Tähän sports engineeringin alueeseen hyödynnetään materiaalitekniikan osaamista ja kehityksen tulosta ovat esimerkiksi tekonurmikentät, joissa nurmena toimii polyeteeniset kuidut ja täyteaineena kumirouhe. Tällaiset kentät soveltuvat etenkin Suomen oloihin, kun normaalin nurmikentän kausi on lyhyt. Myös juoksualustat kuten vuoden 2021 Tokion olympialaisissa nähty rata on urheiluteknologian tulosta. Arvioiden mukaan radan kimmoisuus ja rakenne paransi juoksusuorituksia arviolta 1–2 %.

Sports engineeringin avulla myös erityistarpeita omaavilla henkilöillä on mahdollisuus urheiluun. Paraurheilussa käytetyt proteesit ja pyörätuolit ovat suunniteltu urheilusuorituksia varten. Proteesit, kuten kuvassa 2 nähtävä malli, mahdollistavat juoksemisen.

Kuva 2. Oscar Pistorius juoksemassa Lontoon olympialaisissa 2012 jalkojen tilalla juoksemiseen kehitetyt proteesit. (Niedringhaus 2012)

Kuvassa pikajuoksija Oscar Pistorius, nähtiin juoksevan Lontoon olympialaisissa 2012. Hän pääsi siellä 400 metrin kilpailussa välieriin asti. Vaikka paraurheilijoiden kilpaileminen tavallisissa kilpailuissa on harvinaisuus, on kehittyneiden proteesien nähty tuovan jopa etulyöntiaseman urheilussa. Etulyöntiä tuo esimerkiksi vähentynyt ilmanvastus sekä proteesien kimmoisuus.

Urheiluteknologian tuottamia tuotteita, sekä palveluita voidaan hyödyntää niin kaupallisesti, kuin myös kansanterveyden kannalta. Urheiluteknologian kehittämistä Suomessa tukee monta tekijää. Tärkeä tekijä on Suomen teknologiaosaaminen, joka on ollut korkealla tasolla jo pitkään. Vuonna 2021 julkistetussa Suomen teknologiapolitiikassa Suomi halutaan teknologian kärkimaiden joukkoon (Valtiovarainministeriö 2021). Urheiluteknologian alalla toimii Suomessa jo tunnettuja yrityksiä, kuten Suunto ja Polar. Lisäksi Oura Health Oy:n päätuote Oura-sormus on tällä hetkellä povattu olevan seuraava suomalainen kuluttajamenestys.

Maan viennin kannalta myös suomalainen huippu-urheilu, kuten talvilajit, ovat erityisen arvokasta. Lisäksi huomioitavaa on myös paralympialaisissa tullut menestyminen. Urheiluteknologia on kymmenien miljardien bisnes, jonka on ennustettu kasvavan maailmalla yli 17 % vuosittain (Research and Markets 2022). Urheiluteknisten palveluiden kehittäminen on lisäksi ajankohtainen hanke, kun pandemian aikaiset rajoitukset ovat heikentäneet suomalaisten urheilumahdollisuuksia.

1.1. Motivaatio ja tutkimuksen taustat

Tutkimus tehtiin LUT:n ja Liikuntakeskus Pajulahden yhteistyössä, joka on osa Sports Engineering Research Centre Finland (SERCF) -hanketta. SERCF on osa Lahti Sports Hub –hankekokonaisuutta. Hankekokonaisuuden tavoitteena on tuoda yhteen Lahden seudun ja suomalaisen urheiluliiketoimintaosaamisen, urheilusektorin innovaatiot sekä kestävät urheilutapahtumat kansalliseksi voimavaraksi. SERCF käynnistettiin vuonna 2021 Päijät-Hämeen liiton AKKE-rahoituksella. (Liikuntakeskus Pajulahti 2021.)

Lisäksi työ on osa työ- ja elinkeinoministeriön Liikuntateknologian osaajien ja urheiluseurojen yhteiskehittämisen kansallisen verkoston (LIUKAS) hanketta. LIUKAS-hankkeen tavoitteena on selvittää, miten teknologian avulla voidaan kehittää tuotteita ja palveluita, jotka tukevat lapsien, nuorten ja erityistarpeita omaavien liikuntaharrastuksia. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021.)

Työn motivaationa on kartoittaa mahdollisen sports engineering tutkimus- ja koulutusohjelman perustaminen tulevaisuudessa LUT-yliopistoon. Työstä saaduilla tuloksilla voidaan kartoittaa millainen tarve ohjelmalle olisi ja miten se vastaa kansainvälisellä tasolla muita vastaavia tutkimus- ja koulutusohjelmia.

Tutkimuksessa suoritetun case työn aihe tuli Suomen pyörätuolikelaajien paralympiajoukkueen tarpeesta. Tällä hetkellä kelaajien testeissä testataan nopeutta, maksiminopeutta, kiihtyvyyttä ja kestävyyttä. Tehoa ei vielä saatu mitattua. Tehon mittaamiselle on tarvetta, jotta nähtäisiin, miten hyvin urheilijan työntötekniikka toimii ja miten tulokset kehittyvät harjoittelussa. Tehon mittaamisen tarve ei pelkästään rajoitu testipäiville, vaan myös urheilijoiden henkilökohtaiseen valmennukseen, jossa anturien välittämästä datasta urheilija ja valmentaja saavat tietoa suorituksesta.

1.2. Työn tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Työn tavoitteena on saada käsitys kokonaiskuvasta mitä sports engineering on ja mitä sports engineeringissä tapahtuu kansallisella, sekä kansainvälisellä tasolla. Tämä tieto auttaa SERCF-hankkeen käynnistymisessä ja antaa tietoa, miten ja missä sports engineeringiä voidaan hyödyntää Suomessa. Tavoitteena on myös vastata LIUKAS-hankkeen tavoitteisiin teknologian hyödyntämisestä liikunnan edistämiseksi.

Työssä saadaan konkreettinen kuvaus siitä, mitä sports engineering mahdollistaa käytännössä. Konkreettinen kuva saadaan tässä tutkimuksessa tehdystä case-työstä. Case-työn tavoitteena on selvittää esimerkin avulla, miten teknologiaa voidaan hyödyntää urheilijan harjoituksessa.

Näistä kohdista työn tutkimuskysymyksiksi koostui:

1. Millaista työtä suomessa tehdään sports engineeringiin liittyen?
2. Millaista opetusta ja tutkimusta tehdään kansainvälisesti sports engineering -otsikon alla?
3. Millä tavalla ja miten sports engineeringiä voidaan hyödyntää urheilussa?

1.3. Tutkimusmetodit ja työn rakenne

Tässä työssä käytetyt tutkimusmenetelmät olivat kvalitatiivisia. Kvalitatiivinen, eli laadullinen tutkimus, auttaa ymmärtämään tutkimuskohdetta ja sen käyttäytymistä. Tutkimuksessa tutkittavien määrä rajoittuu pieneen erään. Kvalitatiivisia menetelmiä ovat esimerkiksi henkilökohtaiset- ja ryhmähaastattelut, sekä valmiit aineistot ja dokumentit. (Heikkilä 2014, s.16-20). Laadullista tutkimusmenetelmää käytettiin työn haastatteluosuudessa ja nettiselvityksessä.

Työssä tehtiin kattava nettiselvitys sports engineeringistä kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Toimijoista etsittiin tietoa suoraan toimijoiden internetsivuilta. Kansainvälisistä toimijoista tietoa etsittiin niiden englanninkielisiltä sivuilta. Nettiselvityksen tueksi tehtiin myös asiantuntijahaastatteluita, sekä osallistuttiin pyörätuolikelauksen

paralympiajoukkueen testipäiville. Lisäksi kansallisista toimijoista tietoa saatiin SERFC- ja LIUKAS-hankkeissa toimimisella.

Työn rakenne koostuu kuudesta luvusta. Ensimmäisenä lukuna on johdanto, jossa esiteltiin mitä sports engineering on, mitkä ovat työn tavoitteet, työn motivaatio ja taustat, tutkimusmetodit, sekä rakenne. Työn toinen luku koostuu kahdesta osasta, jossa ensin esiteltiin kansalliset urheiluteknologian parissa toimivat opetus- ja tutkimuslaitokset, sekä toisessa osassa muut toimijat. Kolmannessa kappaleessa esitetään, millaista opetus- ja tutkimustyötä sports engineering -otsikon alla tehdään maailmalla. Neljäs luku käsittelee haastatteluja. Luvussa saatiin kansallisia ja kansainvälisiä kokemuksia urheiluteknologian parissa toimimisesta. Viidennessä kappaleessa esitetään tutkimuksen käytännöllinen osuus eli case: Pyörätuolikelauksen tehonmittaus. Luvussa esitetään case-työn lähtötilanne ja pyörätuolin tehonmittausjärjestelmän suunnittelu ja testaus. Luvussa 6 tehdään johtopäätöksiä tutkimustuloksista ja pohditaan miten ne vastaavat työn tavoitteisiin. Tässä kappaleessa myös arvioidaan työn tutkimuksellinen arvo ja luotettavuus, sekä pohditaan mahdollisia jatkotutkimustarpeita.

2. Kansallinen selvitys

Teknologiaosaaminen Suomessa on korkealla tasolla ja liikunta- ja terveysteknologian alalla Suomalaisia yrityksiä menestyy maailmalla. Liikuntateknologiaan panostamalla pyritään parantamaan kansan resilienssiä, eli arjessa jaksamista. Tämä on tärkeä etenkin koronapandemian tuoman poikkeusolojen aikana (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021). Koronapandemian aikana nuorten harrastemäärät on lähtenyt laskuun, ja on syytä tutkia miten lapsia ja nuoria saataisiin liikunnan pariin. Olympiakomitean mukaan 20 000 nuorta on lopettanut ohjatun harrastustoimintansa koronapandemian aikana (Olympiakomitea 2022). Toinen liikuntateknologian tavoite on parantaa Suomen asemaa huippu-urheilussa. Teknologia myös lisää vientiä ja kehittää palveluita liikunnan parissa. Edellä mainitut tavoitteet ovat myös LIU-KAS-hankkeen perustamisen syitä. Hankkeeseen kuuluvia korkeakouluja ovat LUT-yliopisto, Jyväskylän yliopisto, Oulun yliopisto, Turun yliopisto, LAB ammattikorkeakoulu, Kajaanin ammattikorkeakoulu, sekä Turun ammattikorkeakoulu. Lisäksi hankkeen parissa toimii Vuokatin urheilukeskus. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2021)

Tässä kansallisen selvityksen kappaleessa tutkitaan, millaisia tahoja urheilu- ja liikuntateknologian parissa Suomessa toimii. Toimijoiksi on valittu koulut, tutkimuslaitokset ja järjestöt taulukon 1 mukaisesti. Kappaleessa perehdytään myös näiden laitosten tutkimus- ja opetustyöhön. Selvityksessä saatuja tuloksia on analysoitu työn johtopäätökset-kappaleessa.

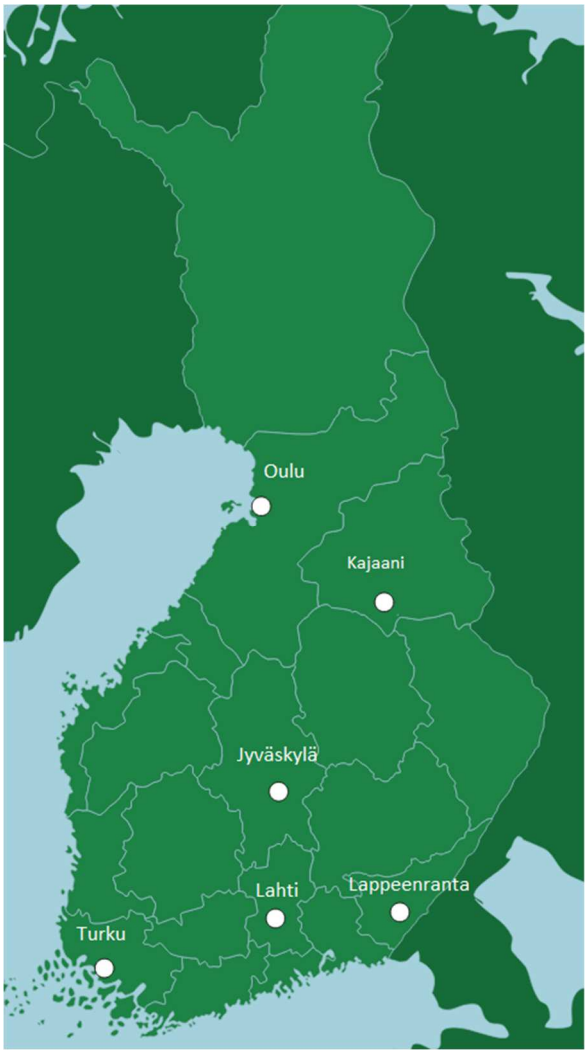
Taulukko 1. Suomessa urheiluteknologian parissa toimivat tahot listattu nimen, toimialan ja tutkimusalueen perusteella.

LUT-yliopisto	yliopisto	sports engineering
Jyväskylän yliopisto	yliopisto	liikuntatieteet ja -teknologia
Oulun yliopisto	yliopisto	sensoriteknologia
LAB-ammattikorkeakoulu	AMK	kaupallinen ja hyvinvoinnin palveluinnovaatiot
Kajaanin ammattikorkeakoulu	AMK	exergaming
Turun ammattikorkeakoulu	AMK	liikunta ja terveysteknologia

KIHU	tutkimuskeskus	kilpa- ja huippu urheilun tutkiminen
VTT	tutkimuskeskus	älyvaatteet, puettavateknologia

2.1. Tutkimus ja opetus

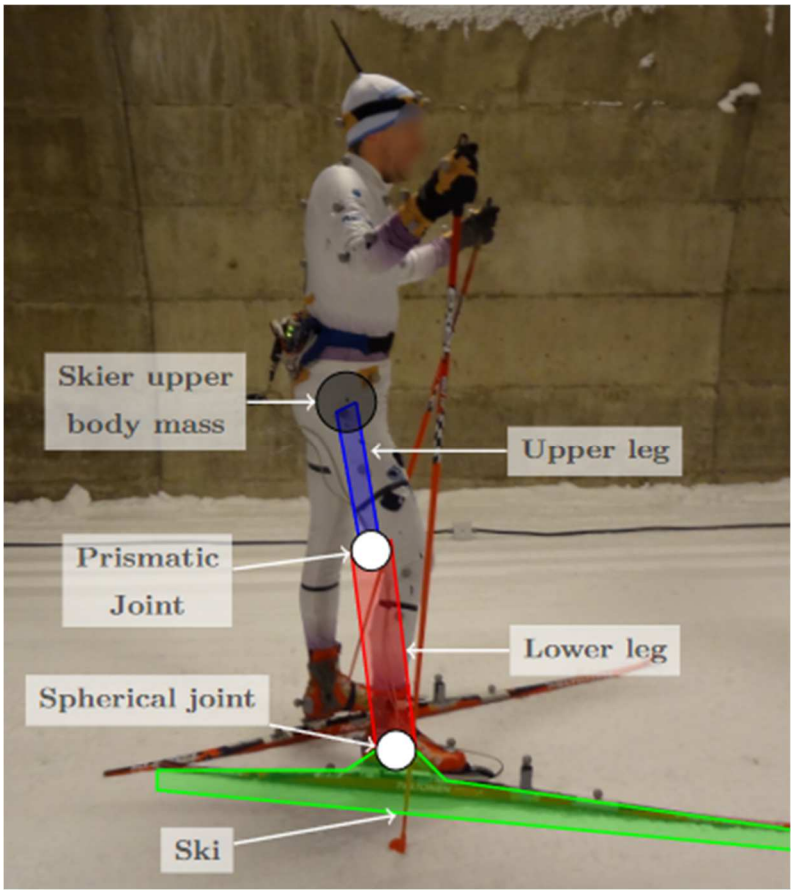
Suomessa toimii opetus- ja tutkimuslaitoksia, joissa tehdään työtä urheilun- ja liikunnan teknologisten ratkaisujen parissa. Kappaleessa esitetään mihin eri yliopistot ja ammattikorkeakoulut ovat painottuneet tällä alalla. Kuvassa 3 nähdään miten nämä laitokset ovat sijoittuneet ympäri Suomea.



Kuva 3. Urheilutekniikkaan liittyvän tutkimuksen ja opetuksen sijainnit Suomessa kartalla.

Kuvasta 3 nähdään miten laitokset ovat hajaantuneet ympäri Suomea länsi-, itä-, keski- ja pohjoispuolelle aina Oulun korkeudelle asti. Sijainnit kattavat suuren osan Suomesta maantieteellisesti, mutta välimatkat tuovat myös ongelmia yhteistyön kannalta.

LUT- yliopistossa Liikuntakeskus Pajulahden kanssa vuonna 2021 aloitettu Sports Engineering Research Centre Finland (SERCF) – hanke aikoo kehittää liikunta-alaa digitalisaation, tekniikan ja urheilusimulaation avulla. SERCF- hankkeen tavoitteena on luoda Pajulahteen testausympäristö valmennuksen ja välinekehityksen pariin. Aikaisempaa urheiluteknologian tutkimusta LUT-yliopistossa on tehty simuloimalla murtomaahiihtoa, sekä tutkittu ihmisen luiden vahvistamisprosessia venymien kannalta. (Liikuntakeskus Pajulahti 2021). Kuvassa 4 nähdään esimerkki, miten murtomaahiihdon simulointi toteutettiin.



Kuva 4. Havainnekuva LUT-yliopistossa suoritetusta väitöskirjan tutkimuksesta murtomaahiihdon simulointiin. (Escalante 2017, s. 36)

Kuvassa näkyvällä puettavalla teknologialla ja sensoriteknologian avulla voidaan LUT-yliopistossa tehdä tutkimusta simulaatiomalleista. Simulaatiomalleja voidaan käyttää harjoittelun ja valmennuksen tukena simuloimalla urheilijoita, urheiluvälineitä ja -ympäristöjä. (Liikuntakeskus Pajulahti 2021.)

Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian yksikkö sijaitsee Vuokatissa. Liikuntateknologian koulutus on alkanut vuonna 2004 ja sitä voidaan opiskella maisteri- ja tohtoriohjelmassa. Liikuntateknologian maisteriohjelmasta valmistutaan liikuntatieteiden maisteriksi. Maisterin opinnäytteet tehdään biomekaniikan, liikuntafysiologian tai valmennus- ja testausopin pääaineeseen. 2020 syksyllä tarjontaan tuli urheilijaopiskelijoille tarkoitettu liikuntateknologian koulutuspolku, jossa opiskellaan ensiksi insinöörin tai tekniikan alan tradenomin amk-tutkinto ja jatketaan sitä liikuntatieteiden maisteritutkinnolla. AMK-tutkinto on järjestetty Kajaanin ammattikorkeakoulussa. (Jyväskylän yliopisto 2022a.)

Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian yksikkö Vuokatissa on erikoistunut hiihtolajien tutkimukseen. Aiheita ovat esimerkiksi sensori-integraatiot hiihdon välineisiin, hahmontunnistus & markkeriton liikeanalyysi ja data coachtech- valmennuksen palautejärjestelmä. (Väänänen 2022). Tutkimusta on myös tehty para- ja tuolihiihdon saralla (Jyväskylän yliopisto 2022a). Tutkimuksiin on käytössä hiihtolaboratorio, välinetestauslaboratorio, hiihtotunneli, sekä ammunnan suorituspaikka ampumahiihtoa varten. Kuvassa 5 nähdään välinetestauslaboratorion laite suksien testaamiseen.

Kuva 5. Jyväskylän yliopiston kylmätestauslaboratorion hiihdonvälinetestaus laite Vuokatin liikuntateknologian yksikössä. (Cemis 2022)

Kuvan 5 suksitesterillä testejä voidaan tehdä oikealla lumella ympäri vuoden. Testiasema on sijoitettu konttiin, jossa lumen ja ilman lämpötilaa voidaan hallita. Testerin avulla voidaan mitata suksen kitkaa, joka auttaa suksien kuviointien ja voiteiden valinnassa (Vuokatti Sport 2022). Hiihtolaboratoriossa on käytössä hiihtosimulaattori, joka esiteltiin aiemmin kuvassa 1. Lisäksi ohuen ilman harjoituksia voidaan tehdä laboratoriossa ja alppimajoissa, joissa voi sopeutua vuoristomaiseen ohuen ilman ympäristöön. Vuokatissa on myös voimanmittausjärjestelmiä hiihtolajeihin niin mäkihyppymäissä kuin hiihtoputkissa. (Jyväskylän yliopisto 2022a)

Jyväskylässä tehdään urheiluun ja liikuntaan liittyvää työtä liikuntatieteellisessä tiedekunnassa ja informaatioteknologian tiedekunnassa. Osaamista löytyy mittausteknologiasta ja markkerittomasta liikeanalyysista (Liukas network, 2022). IT-tiedekunta tekee myös työtä liikuntateknologian datan parissa. Työ liittyy myös digitaalisiin hyvinvointipalveluihin ja liikuntateknologian omaksumiseen, sekä kuluttajien käyttötutkimukseen. (Jyväskylän yliopisto, 2022b.) Esimerkkinä tästä on Digitalwells ohjelma n. 60–75-

vuotiaille, jonka tavoitteena on auttaa käyttäjää ylläpitämään terveyden kannalta sopivaa liikuntaa ja ennaltaehkäistä riittämättömästä liikunnasta johtuvia negatiivisia seurauksia. (Digitalwells 2022.) Jyväskylässä alkaa 2022 Tieto- ja ohjelmistotekniikan DI-koulutus. Ohjelma on kandi- ja maisteritasoinen ja se mahdollistaa esimerkiksi liikuntatieteellisten sivuaineopintojen yhdistämisen tietotekniikkaan. Tietotekniikkaa voidaan koulutuksessa käyttää liikunnasta ja urheilusta saatavan mittadatan käsittelyyn. (Jyväskylän yliopisto, 2022c.)

Oulun yliopistossa mikroelektroniikan tutkimusyksikössä tehdään materiaalitutkimusta etenkin anturiteknologiaan, jota voidaan hyödyntää liikunta- ja urheiluteknologiassa. Antureita on venyviä, taipuvia ja pehmeitä, joita voidaan käyttää liikkeen mittaamiseen ja eri käyttöliittymiin. (Oulun Yliopisto 2022.) Oulun yliopiston toteutuksia liikunta- ja urheilutekniikan saralla ovat esimerkiksi tutkimus energian keräämisestä kävelystä, jota on havainnoitu kuvassa 6.

Kuva 6. Energiaa keräävä laite integroituna juoksukenkään. (Leinonen, et al., 2016, s. 623)

Kuvassa 6 nähdään, miten juoksukenkään on integroitu energian keräin, jonka avulla saadaan kineettisestä energiasta sähköistä pietsosähköisen ilmiön avulla. Tutkimuksen mukaan energiaa saadaan riittävästi talteen kannettavien laitteiden ja antureiden virransyöttöön ja lataamiseen. (Leinonen, et al., 2016.)

Kajaanin ammattikorkeakoulu (KAMK) on mukana Vuokatissa toimivassa liikuntateknologian koulutuspolussa urheilijoille. Se tuottaa insinööri tai tradenomi AMK-koulutuksen, jonka jälkeen jatketaan Jyväskylän yliopiston Vuokatin yksikössä sijaitsevaan Liikuntateknologian maisteritutkintoon. KAMKissa järjestetään myös Exergaming opintoja, joissa tarkoitus on liikunnallistaa digitaalista pelaamista tuotekehityksen avulla. Exergaming opinnot kuuluvat Liikunnan väyläopintoihin ja sen sisältönä on tutkimukset, pelisovellukset, tuotekehitys enintään 70 opintopisteen verran. Exergamingin tavoitteena on motivoida lapsia ja nuoria liikkumaan. Pelejä tuotetaan CSE entertainment yrityksen kautta. Lapset ja nuoret pääsevät myös kehittämään koulussa pelejä helpoissa ympäristöissä. (KAMK 2022)

Lappeenrannan ja Lahden LAB-ammattikorkeakoulun lähestyminen liikunta- ja urheiluteknologiaan on kaupalliseen ja hyvinvoinnin palveluinnovaatioihin keskittyvä (Liukas network 2022). Lappeenrannan kampuksella sijaitsee myös biomekaniikan ja fysioterapian laboratoriot. Laboratorioissa tehdään myös kuntoon ja kehon toimintaan liittyviä testejä, kuten hapenottokyvyn- ja kehonkoostumuksen mittauksia. (LAB 2021)

Liikuntatekniikkaan liittyviä tutkimusryhmiä Turun AMK:lla on kaksi: terveysteknologiaryhmä, sekä liikkuva ja toimintakykyinen lapsi ja nuori- tutkimusryhmä (Turun AMK, 2022). Turun AMK:lla on Liikunta- ja toimintakykylaboratorio, LiiLab, jonka palveluita ovat erilaiset liikuntaan ja ihmiseen liittyvät mittaukset, kuten lihasvoima-, ja nopeusmittauksen, sekä kestävyyskuntotestaukset. Liikuntalaboratoriolla on lupa tuottaa terveyspalveluita. (Turun AMK 2021)

2.2. Muu tutkimus ja työ

Suomen valtion Teknologian tutkimuskeskus VTT osallistuu myös urheiluteknologian kehittämiseen. VTT suositteli 2017 Suomen panostusta tekoälyn tutkimukseen, kehitykseen ja innovaatioihin vahvoilla alueilla ja kohdistaa resurssit potentiaalisiin aloihin, joihin urheiluteknologia kuului. VTT:llä on viimeaikaisia projekteja, jotka liittyvät älyvaatteisiin ja puettavaan teknologiaan, joita voidaan hyödyntää urheilussa. Smart Clothing 2.0 projekti on yksi tällainen esimerkki, jossa sensori-, tiedonsiirto- ja laskentateknologiaa hyödynnetään vaatteissa ja näistä saatua dataa voidaan hyödyntää tapauskohtaisesti halutulla tavalla (VTT 2019).

VTT:ltä löytyy useita urheiluteknologiaan liittyviä tutkimuksia. Näitä ovat esimerkiksi:

- Changes in the cross-country ski base properties resulting from the ski use
- Continuous Analysis of Running Mechanics by Means of an Integrated INS/GPS Device
- Comparison of ice and snow friction models in winter sports

VTT:ltä lähtöisin oleva yrityksen Trainesense Ltd SmartPaddle on uimareille suunnattu mittajärjestelmä, joka mittaa suorituksen aikana voimia ja käden liikeratoja.

Kuva 7. Trainesense Ltd:n kehittämä SmartPaddle anturi uimareille. (Trainesense 2022)

SmartPaddle on kuvan 7 mukaisesti uimarin kädessä ja se mittaa, kuinka urheilija käyttää uintiliikkeessä voimaa vettä vasten. Anturin avulla saadusta datasta voidaan nähdä suorituksesta tekniikkaongelmat ja/tai seurata urheilijan kehitystä. Dataa voidaan katsoa mobiilisovelluksen kautta. (Trainesense LTD 2022)

Huippu-urheilun instituutti KIHU vastaa tutkimuksesta ja kehityksestä suomalaisen huippu-urheilun parissa ja se toimii yhdessä Suomen Olympiakomitean kanssa. Tutkimuskeskus sijaitsee Jyväskylässä. KIHUn strategiana vuosille 2021–2025 on olla huippu-urheilun johtava ja kansainvälisesti tunnustettu asiantuntijaorganisaatio. Yhtenä painopistealueena KIHU:lla on Innovaatiot ja uudet teknologiat, joita asiantuntijat seuraavat ja ottavat parhaat menetelmät ja apuvälineet huippu-urheilijoiden, valmentajien ja lajien käyttöön. Tutkimus-,

kehittämis- ja innovaatioprojekteina on tällä hetkellä esimerkiksi ” Kelausvoiman mittausmenetelmän kehittämisprojekti” ja ” Validity of an automated GNSS-IMU system in biathlon range work analysis”. KIHU tekee tutkimuksia myös useiden korkeakoulujen kanssa yhteistyössä, joista suurimpana kumppanina on Jyväskylän Yliopisto. (KIHU 2022.) KIHU:lla on myös Jyväskylässä sijaitseva Sports Lab, jossa voidaan testauslaitteilla tehdä urheiluun liittyviä testejä, kuten anaerobinen suorituskyvyn testi, voima- ja nopeustestejä ja kestävyystestejä. Sports Lab tukee myös tuotekehitystä analysoimalla niitä laboratoriossaan. (Sports Lab 2022.)

2.3. Urheiluteknologian yhteistoimintaorganisaatiot

Lahti Sports hub tuo Lahden seudun urheilun toimijat, kuten Olympiavalmennuskeskukset, yritykset, sekä tutkimus- ja opetuslaitokset yhteen. Tavoitteena on ottaa johtoasema Suomalaisessa urheiluviennissä ja tehdä Lahdesta kansainvälisen tuotekehitys- ja urheilukeskuksen. Lahti Sports hubia koordinoi Lahden Seudun Kehitys LADEC oy. Lahdessa toimii myös SMASH-tapahtumia järjestävä Smash Mill Oy. SMASH on tapahtuma urheilutekniikan startup yrityksille ja tuo vuosittain yhteen urheilun ja hyvinvoinnin edelläkävijät SMASH-Lahti tapahtumassa. Joulukuussa 2021 järjestettiin myös SMASH-Tokio tapahtuma, jossa vietiin urheiluosaamista Japanin markkinoille. (LADEC 2021.) Lahti Sports hub hankekokonaisuuteen kuuluu myös SERCF-hanke, joka on LUT-yliopiston ja Liikuntakeskus Pajulahden yhteishanke (Liikuntakeskus Pajulahti 2021).

Vuokatissa sijaitsee Vuokatti Sport urheilukeskus, joka on erikoistunut talviurheilulajeihin. Vuokatti Sport tekee yhteistyötä Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian yksikön kanssa ja heidän testiasemallansa on urheilijatestauksessa käytettäviä laitteita. Testiaseman laitteita Vuokatti Sport tarjoaa palveluina urheilijoille. Testejä on aerobiseen- ja anaerobisen kapasiteetin mittaamiseen, ampumahiihdon ammuntaan ja hiihtolajien välineisiin. Lisäksi testiasemalla voi tehdä perinteisiä kuntotestejä. Yhteistyötä Vuokatti Sport tekee myös KIHUn ja urheiluopistojen kanssa. (Vuokatti Sport 2022.)

Nastolassa sijaitseva Liikuntakeskus Pajulahti kehittää kilpa- ja huippu-urheilua ja se on Olympia- ja Paralympiakomitean virallinen valmennuskeskus. Opetus- ja kulttuuriministeriön mukaan Pajulahdella on kestävyys- ja paraurheilun erityistehtävä. Pajulahdessa on

tarjolla testauspalveluita urheilijoiden harjoittelun tueksi. Testejä on saatavilla lajispesifisti. Testejä on kestävyystestejä, voima- ja nopeustestejä, sekä kehoon liittyviä testejä. (Liikuntakeskus Pajulahti 2022.)

CEMIS (Centre for Measurement and Information Systems) on mittaus- ja tietojärjestelmiin erikoistunut tutkimus- ja koulutuskeskus, jossa toimijoina on Oulun ja Jyväskylän yliopistot, VTT, KAMK ja CSC (Tieteen tietotekniikan keskus). CEMIS hyödyntää peli- ja simulaattori ratkaisujaan myös liikunnan alueella. Vuokatissa sijaitseva kuvassa 1 nähty hiihtosimulaattori on CEMIS yhteistyön kautta kehitetty tuote. CEMIS tuottaa tutkimus-, kehitys- ja innovaatiopalveluita, analyysi- ja testauspalveluita, laitekehityspalveluita ja liiketoiminnan kehittämispalveluita. Keskuksen urheiluteknologisia toimia johtaa Jyväskylän yliopiston Vuokatin osasto. (CEMIS 2022.)

3. Sports engineering kansainvälisesti

Tässä kappaleessa esitetään muualla maailmasta löytyvät yliopistot, joissa operoidaan sports engineering -otsikon alla. Lisäksi esitellään pääpiirteittäin millaista opetusta ja tutkimuksia kyseisissä yliopistoissa on sports engineering otsikkoon liittyen. Tutkimukseen valittiin yliopistoja, joista löytyi tarpeeksi tietoa englannin kielellä opetuksesta tai tutkimuksesta. Kappaleessa esitellään opetuksen rakenteet ja koulutusohjelmat, sekä tutkimusohjelmat ja annetaan esimerkkejä käynnissä olevista tai viimeaikaisista tutkimuksista. Tässä kappaleessa saatuja tuloksia on analysoitu työn johtopäätökset-kappaleessa.

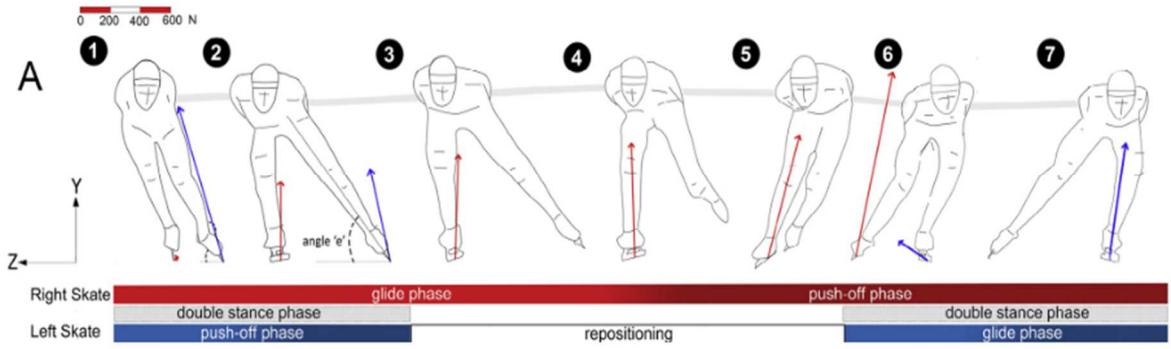
3.1. Delft University of Technology

Alankomaissa sijaitsee Delftin teknillinen yliopisto. Delftissä toimii Sport Engineering Institute, jolla on viisi tutkimusaluetta:

- “Aero- and Hydrodynamics”
- “Biomechanics, Material and Human Material Interaction”
- “Measurement, Feedback and Simulation”
- “Motivation and persuasion to compete in sports, play and exercise”
- “Sports Infrastructure and facilities”.

Sport Engineering Institutiolla on käynnissä useita projekteja, jotka liittyvät kilpaurheiluun, paraurheiluun, kuntoutukseen ja liikuntaan. (TU Delft 2022.) Esimerkiksi Project WheelPowerin päätavoitteena on parantaa pyörätuoliurheilussa urheilijan suorituskykyä optimoimalla heidän harjoituksien ja kilpailujen aikana tuottamaa tehoa. Projektissa on ollut pyörätuolilajeina koripallo, tennis, rugby, kelaus ja para-triathlon. (Wheelpower 2021.) “Real-Time Feedback for an Improved Speed Skating Performance”- projektissa tutkitaan

pikaluistelua, kuvassa 8. Tutkimukset liittyvät luistelijan voimien kannalta taloudelliseen luisteluun, sekä luistinten materiaalioptimointiin. (TU Delft 2022)



Kuva 8. Pikaluistelijan luistelun liikevaiheet mallinnettuna. (Kruk, et al., 2017)

Kuvasta 8 nähdään, miten pikaluistelussa luistelija liikkuminen ja asento on ihmiselle epätyypillistä. Kuvaan liittyvässä tutkimuksessa esitettiin pikaluistelusta yksinkertainen 3-ulotteinen malli, jonka avulla jäljiteltiin havaittuja kinemaattisia- ja voimatietoja. Mallin avulla voidaan tutkia luistelun liikkeen muuttujia. (Kruk, et al., 2017)

Opetusta suoranaisesti sports engineeringiin ei ole, mutta sitä sivutaan maisteriopinnoissa MSc Biomechanical Design ja MSc BioMedical Engineering. Delftissä löytyy kurssi “Special Topics in Sports Engineering”. Kurssin tavoitteena on tarjota uutta tietoa ja olemassa olevan tiedon synteesiä urheilutekniikan ongelmien ratkaisemiseksi, kuten ihmisen suorituskyvyn kvantifiointi ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen ymmärtämisen kautta. Kurssilla tätä sovelletaan erityisesti pyöräilyyn. Opintojen pohjalta Delftissä voidaan tehdä lopputyö Sports Engineering Institutelle. Tällä hetkellä otsikoita töille esimerkiksi seuraavin otsikoin:

- “Accelerating Learning Beginner Skateboard Tricks While Maximizing Safety”
- “Team DSM R&D material model design” -mallinnus, joka automaattisesti valitsee olosuhteiden perusteella mitkä materiaalit ovat optimaalisia kilpailuun, esimerkiksi pyörän renkaat, kumit ja vaihteisto.
- “Breaking the High Load –Bad Coordination Multiplier in Overhead Sports Injuries (Tennis)”

Sport Engineering Instituten lopputöitä on tarjolla maisterin ja kandidaatintutkintojen tasoisina, ja ne ovat mahdollisia eri pääaineiden suorittajille. Lopputöitä tarjoavat urheiluorganisaatiot ja instituution kumppanit. (TU Delft 2022.)

3.2. Sheffield Hallam University

Englannissa Sheffield Hallam yliopistossa sijaitsee maailman suurin urheilutekniikan akateeminen ryhmä ja kansainvälisesti tunnettu tutkimuksen ja tiedon siirron huippuyksikkö Sports Engineering Research Group (SERG). SERG:in esimerkki projekteja on listattu alle. (Sheffield Hallam University 2022b.)

- ”Assessing VAR for offside officiating “, Jalkapallossa käytetyn VAR (Video Assistant Referee) tekniikan kehittäminen paitsioissa.
- ”iBoxer2 - data management for GB Boxing”, nyrkkeilijöille räätälöity offline käyttösovellus, joka sisältää nyrkkeilijän tulokset, videot, osallistumis- ja harjoituslokit. Myös lääkäriltä saadut tiedot löytyvät sovelluksesta.
- “Threespace - 3D imaging human measurement”, 3D-kuvaustekniikka ihmisen muodon mittaamiseen ja arviointiin

Sheffield Hallam yliopistosta löytyy lisäksi MSc Sport Engineering post graduate –kurssi. Kurssi kestää vuoden ja on tarkoitettu insinööritieteiden, fysiikan tai matematiikan opiskelijoille. Kurssin tavoitteena on antaa tietoa työstä ja tutkimuksesta urheiluvälineteollisuudessa, sekä kehittää biomekaanista ja fysiologista ymmärrystä urheiluvarusteisiin liittyen. Kurssi koostuu viidestä moduulista, jotka ovat:

- Applied Measurement In Sports Engineering
- Design and Innovation in Sport Engineering
- Industry Linked Project
- Mechanics Of Sports Equipment and Human Interaction
- Numerical Programming In Sports Engineering

Teollisuuteen linkittyvässä kurssilla opiskelijat ovat tehneet yhteistyötä suurien urheiluväline yritysten, kuten Adidaksen, Mitren ja FIFA:n kanssa. (Sheffield Hallam University 2022a.)

3.3. Nottingham Trent University

Nottingham Trent yliopistossa voi suorittaa urheilutekniikan tutkinnon kahdella eri tasolla. Valittavina on 3 vuoden kandidaattitutkinto ”Bachelor of Engineering (BEng) (Hons) Sport Engineering” ja 4 vuotta kestävä maisteritutkinto ”Master of Engineering (MEng) (Hons) Sport Engineering”. Alla olevasta kuvasta 9 näkyy moduulit kolmelle ensimmäiselle vuodelle. Kolmantena vuotena valitaan kaksi neljästä vaihtoehdosta, jotka ovat: “Wireless and RF Communications”, “Sensors and Embedded Electronics”, “Human Factors Engineering”, “Sustainability in Engineering Design” ja “Mechanical Engineering in Sport”. (Nottingham Trent University 2022.)

BEng (Hons) Sport Engineering						
Year 1	Engineering Science Fundamentals **20**	Engineering Mathematics and Technical Computing **20**	Innovation and Engineering Solutions **40**		Principles of Electronics and Electronic Systems **20**	Anatomy, Physiology and Biomechanics **20**
Year 2	Digital Systems and Computer Engineering **20**	Engineering Modelling and Simulation Techniques **20**	Industrial design and product case studies **20**	Integrated group design projects **20**	Sports Technology **20**	Experimental Biomechanics and Physiology **20**
Optional Sandwich Year						
Final Year	Performance Engineering **20**	Experimental methods in Human performance **20**	Individual Engineering Project **40**		*Choose two of four options:* 1. Sensors and Embedded Electronics 2. Wireless and RF Communications 3. Medical Ethics, Regulation and Clinical Trials 4. Mechanical Engineering in Sport	

Kuva 9. Tutkintojen kolmen vuoden moduulit (Nottingham Trent University 2022a).

Opetus sisältää projekteja teollisuuteen ja vuosittain järjestetään “Grand Challenge”, jossa opiskelija esittelee teollisuuteen konseptisuunnitelman. Näillä on tarkoitus saada konkreettista osaamista, jota myös työnantajat arvostavat. (Nottingham Trent University 2022.)

Maisteritason MEng tutkinnossa neljännelle vuodelle on valittava kaksi neljästä suuntautumisvaihtoehdosta, jotka ovat: “Robotics, Cybernetics and Biomechatronics”, “Fluid Dynamics in Physiology and Medical Devices”, “Prosthetics and Rehabilitation Robotics” ja “Optimising Sport Equipment”. Näiden lisäksi suoritetaan itsenäinen teollisuuden/tutkimus projekti ja “Design to Market” moduuli, jossa opiskellaan tuotteen eri vaiheita suunnittelusta markkinointiin ja myyntiin. (Nottingham Trent University 2022.)

3.4. University of Strathclyde

Skotlannissa sijaitsevassa Strathclyden yliopistossa urheilutekniikan kursseina on Sport Design Engineering, jonka voi suorittaa joko kandidaatintutkintona ”Bachelor of Engineering (hons)” tai maisteritutkintona ”Master of Engineering”. Opiskelu keskittyy ymmärtämään urheilutuotteiden tarpeita ja käytännöllisyyttä. Opinnot sisältävät teknisten kurssien lisäksi myös biomekaniikan opintoja. Tutkinnossa opiskeltavia asioita on listattu alle. (University of Strathclyde 2022.)

- Anatomy & Physiology for Biomedical Engineers
- Sports Engineering
- Biomechanics of Human Movement – Theory & Measurement
- Physiology of Aerobic Exercise
- Sports Injury & Rehabilitation
- Advanced Topics in Human Movement
- Total Design
- Technology Concepts
- Production Techniques
- Engineering Design
- Product Development/Product Programming
- Mechatronics Design & Applications

Maisteriopintoihin kuuluu neljäntenä vuotena suoritettava teollisuudelle tehtävä projekti ryhmätyö, josta opiskelijat saavat käytännön kokemusta työelämästä ja teollisuus saa apua kysyntäänsä tuotantoteknisissä ja johtamisprojektien hallinnassa. (University of Strathclyde 2022.)

3.5. University of Adelaide

Adelaiden yliopistossa Australiassa voi valita kandidaatintutkinnon Bachelor of Engineering (Honours) (Mechanical) pääaineena urheilutekniikan. Pääaine keskittyy koneteknisten taitojen käyttämiseen suunnittelussa ja valmistuksessa, kuten urheiluvälineissä, kuntoutus- ja kuntoilulaitteissa ja urheilutiloissa. Opetus sisältää koneteknisten opintojen lisäksi fysiologiaa, anatomiaa, biomekaniikkaa. Lisäksi materiaalitekniikassa syvennytään urheilumateriaaleihin. (University of Adelaide 2022a.)

Adelaiden yliopistosta löytyvä Sports engineering laboratorio mahdollistaa urheilusuorituksien, aerodynamiikan, vammojen ehkäisyn ja kuntoutuksen tutkimuksen. Näiden tutkimiseen voidaan käyttää esimerkiksi teollisuusmittakaavan tuulitunnelia ja liikkeenkaappaus teknologiaa. Alle on listattu laboratorion viimeaikaisia projekteja. (University of Adelaide 2022b.)

- “3D golf swing movement-pattern analysis to improve performance and prevent injury”
- “Examining spinal movement patterns and developing activity-recognition algorithms for application in aged care and workplace services”
- “Designing low-drag helmets, wheels, frames and clothing to improve elite cyclists’ performance”
- “Improving wheelchair design and customization to optimize para-athletes’ force delivery, enhancing their performance and reducing injury”

3.6. Washington State University

USA:ssa sijaitsevan Washingtonin osavaltion yliopistossa on yhtenä tutkimuskohteena urheilutekniikka. Yliopisto on erikoistunut kesä- ja talvilajeihin, joissa tutkimuskohteina ovat välineiden suorituskyvyn, aerodynamiikka, kitkan ja suojavälineiden ominaisuuksien mittaaminen ja simulointi. Tämän hetken tutkimusotsikoita on listattu alle. (Washington State University 2022.)

- Experimental bat and ball performance
- Numeric modeling of sport ball impacts
- Protective equipment and head injury

Tutkimuksia suoritetaan urheilutieteen laboratoriossa, jossa tällä hetkellä on erikoistuttu baseball mailan ja -palloon liittyviin tutkimuksiin, kuten kuvassa 10 nähdään.

Kuva 10. Testiasema baseball-pallon ja mailan liikkeen tutkimiseen (Kensrud & Smith 2013).

Palloja ja mailoja tutkitaan kompressoreilla ja esimerkiksi kuvassa 10 nähdyllä korkean nopeuden videoanalyysien avulla. Lisäksi laboratorio tekee valmistajien kanssa sopimuksia pallojen ja mailojen prototyyppien ja vaatimustenmukaisuuksien tarkistamisesta. (Washington State University 2022.)

3.7. Griffith University

Griffith yliopistossa Australiassa voi opiskella Master of electronic and sport engineering -maisteritutkinnon. Tutkinnossa opiskellaan elektroniikkaa ja erikoistutaan urheiluteknologiaan. Tutkinnon aloitusvaatimuksena on kandidaatin tutkinto sähkötekniikasta, kandidaatin tutkinto liikuntatieteistä tai vastaava 3–4 vuoden perustutkinto yliopistosta. Sähkötekniikan kandidaatin tutkinnosta saa hyväksi luettua sähkötekniikan kursseja, joita muutoin tutkinnossa opiskellaan. Urheilutekniikan kursseja on valinnaisten kurssien osuudessa. Näistä sähkötekniikan opiskelija valitsee ainakin ”Human biology for Engineers” ja ”Sport Psychology for engineers”. Lisäksi valittavana on kursseja, kuten “Sport Engineering”, “Sport Instrumentation”, “Human Biology for Engineers ja Principles of Biomedical instrumentation”. (Griffith University 2022a)

Sports engineering –otsikon alta löytyy Griffith yliopistosta julkaistuja tutkimuksia, jotka jakaantuvat aiheittain tekniikan alaan, urheilutieteisiin, konetekniikkaan, biomekaniikkaan, biolääketieteelliseen ja sähkötekniikkaan. Alle on listattu esimerkkejä viimeaikaisista tutkimuksista. (Griffith University 2022b.)

- Assessment of Head Impacts and Muscle Activity in Soccer Using a T3 Inertial Sensor and a Portable Electromyography (EMG) System: A Preliminary Study
- Spin Rate Measurements in Cricket Bowling Using Magnetometers
- Towards an Operational Framework for Designing Training Based Sports Virtual Reality Performance Simulators

3.8. ETH Zurich

Sensory-Motor Systems Lab toimii ETH Zurich yliopistossa Sveitsissä. Laboratorion tutkimukset keskittyvät ihmisen sensorimotorisen ohjaukseen, mekatroniikkasuunnitteluun, sekä ihmisen ja koneiden välisen vuorovaikutuksen tutkimiseen ja optimointiin. Tutkimusten pääsovelluskohteina ovat kuntoutus ja liikunta. Laboratoriolla on tällä hetkellä kaksi päätutkimus kohdetta: “Augmented Multiphase Learning”, joka tutkii soutusimulaattorin antaman palautteen avulla motorista oppimista kuvan 11 mukaisesti, sekä “Performance Analysis in

Climbing”, jossa ryhmä tutkii kiipeilyssä seinän otelaattoihin kohdistuvia kontaktivoimia ja kehittää kustannustehokasta voiman mittausinstrumenttia otelaattoihin. (ETH Zurich 2022.)

Kuva 11. Sensory-Motor System labin soutusimulaattori, joka antaa soutajalle välitöntä dataa soutuliikkeestä (Sigrist, et al., 2014, s. 912).

Kuvasta 11 nähdään miten soutaja saa välitöntä palautetta ja dataa simulaattorista ja voi kehittää näin suoritustaan ja motorisia taitojaan soutamisessa. Simulaattorissa on eritasoja oppimisen parantamiseksi. (ETH Zurich 2022.)

3.9. University of Waterloo

Waterloon yliopisto sijaitsee Kanadassa ja tarjoaa urheilutekniikkaan erikoistumisen lääketieteellisen tekniikan kandidaatin tutkinnossa. Urheilutekniikka kuuluu biolääketieteen tekniikan ja järjestelmäsuunnittelun opetussuunnitelmaan. Opetussuunnitelmaan kuuluvat

materiaalitieteet, kuvan- ja signaalinkäsittelyn, biomekaniikan ja urheilutekniikan tekniset valinnaiset kurssit. (University of Waterloo 2022b.)

Yliopistossa toimiva Motion Research Group tekee tutkimustyötä myös urheilutekniikan alalla. Ryhmän projekti ”Olympic and Paralympic Sports Engineering” tekee yhteistyötä kanadalaisten olympia- ja paraurheilijoiden kanssa tavoitteena parantaa urheilijoiden suorituksia ja suunnitella parempia varusteita. Ryhmän viimeaikaisia tutkimuksia ovat:

- " Optimization-Based Motor Control of a Paralympic Wheelchair Athlete "
- " Inverse Dynamics Modelling of Paralympic Wheelchair Curling "

Liikkeen ja monikappale dynamiikan tutkimiseen keskittyvä ryhmä tutkii myös golffiin liittyvää biomekaniikkaa ja golf-mailojen optimointia projektissa “Golf Biomechanics and Club Optimization”. (Motion Research Group 2022.)

3.10. Tehnische Universität Chemnitz

Urheilutekniikkaa voi opiskella kandi- ja maisterikursseilla Saksassa Chemnitzin teknillisessä yliopistossa. Opetus sisältää tekniikan opetusta, sekä syvällisen opetuksen ihmiskehon toimivuudesta. Koulutusohjelma soveltuu urheiluvälineiden kehityksen, tarkastuksen ja huollon toimintoihin kaikilla urheilun aloilla. (Technische Universität Chemnitz 2022a.)

Urheiluvälineiden ja -tekniikan tutkimuslaitos priorisoi inhimillisiä tekijöitä teknologiassa. Nykyisten trendien mukaisesti aiheita ovat myös älykkäiden järjestelmien ja materiaalien ala. Tutkimustyön painopisteenä on simulaatioiden kehittäminen todellisten liikkeiden ja venymien simuloimiseen. (Technische Universität Chemnitz 2022b.)

3.11. MCI The Entrepreneurial University

MCI:n yrittäjyysyliopistossa Itävallassa voi suorittaa kandidaatin (BSc) tutkinnon pääaineena Medical, Health and Sports engineering. Tutkinto käsittelee urheiluvälineiden, urheilulääketieteen, ergonomian ja teknologian analysointia ja kehittämistä. Tutkinnossa käsitellään myös liikeanalyysiin ja suorituskyvyn mittausmenetelmiin liittyviä aiheita. Lisäksi

tekoälyn osaamista pidetään alalla välttämättömänä. Kursseja tutkinnossa on perinteisistä insinööritieteistä, kuten konetekniikasta, sähkötekniikasta, materiaalitekniikasta ja tietotekniikasta. Kursseja on lisäksi biolääketieteellisestä tekniikasta. Tutkinnon urheiluteknologiaan liittyviä kursseja ovat esimerkiksi: Sports equipment analysis and development, Performance measurement methods in sports, Robotic systems in sports and medical technology, Equipment development in top-class sport, Sports Medicine ja Rehabilitation in sports. (MCI the entrepreneurial university 2022.)

3.12. Beijing Sport University

Kiinassa sijaitsevaan Pekingin urheiluyliopistoon perustettiin vuonna 2018 The School of Sports Engineering (SSE). Sen tarkoituksena on yhdistää erilaisia aloja, kuten tietojenkäsittelytieteen, tietotekniikan, sähkötekniikan, biolääketieteellisen tekniikan, tekoälytekniikan ja tieto- ja viestintätekniikan. SSE: tutkimuslaitos on jakautunut eri ryhmiin, joita ovat “Artificial Intelligence Team”, “Data Science Technology Team”, “Sports Equipment Team”, “AI Sports Engineering Laboratory” ja “Teaching of Computer Team”. SSE:n projektina oli Kiinan tiede- ja teknologiaministeriön rahoittamana Pekingin 2022 talviolympialaisiin kansallinen "Science and Technology in Winter Olympics". (Beijing Sport University 2020.)

SSE tarjoaa kolme alempaa korkeakoulututkintoa, joissa pääaineena on "Intelligent Sports Engineering", “Data Science and Big Data" ja “Biomedical Engineering” (Beijing Sport University, 2020). Näistä “Intelligent Sports Engineering” on suunnattu myös kansainvälisille opiskelijoille ja se sisältää opetusta, joka on painottunut tietotekniikkaan ja sähkötekniikkaan (Beijing Sport University, 2021). SSE:llä on kaksi perustutkintokurssia, jotka ovat “Experimental Class in AI Sports Engineering” ja “Data Science and Big Data Technology”. Jatkotutkinnon pääaineeksi voi valita: “Human Movements in Sport Engineering”. (Beijing Sport University 2020.)

3.13. Purdue Yliopisto

USA:ssa sijaitsevassa Purduen yliopistossa on urheilutekniikan keskus nimeltä Ray Ewry Sports Engineering Center (RESEC). RESECillä on kolme tutkimusalaa, jotka ovat:

- ”Smart Performance and Fan Experience” keskittyy sensoritekniikkaan urheiluvälineissä ja älykkääseen stadion tekniikkaan.
- ”Injury Reduction and Advanced Rehabilitation” keskittyy ehkäisemään loukkaantumisia suojavälineiden ja turvallisempien urheilukenttien avulla.
- ”Sports Integrity, Fairness, and Social Integration”, jossa keskitytään urheilun henkiseen puoleen esimerkiksi tunnetilojen kautta.

RESEC haluaa käyttää uutta teknologiaa tutkiakseen ja uudelleen ajatellakseen urheilijoiden harjoituksia, valmennusta, fanien toimintaa ja urheilutapahtumien järjestämistä. Painopistealueita ovat esimerkiksi “Digitally Enchanced Athelte and Fan Experience”, “Smart Materials for Performance and Safety” ja “Simulation Integrated Prototyping”. (Purdue University 2022.)

Purduen yliopistossa alkaa uusi, vuoden kestävä maisteriohjelma: ”Professional Master's Program (PMP) in Sports Engineering”. Ohjelma on tarkoitettu urheilusta kiinnostuneille opiskelijoille ja se valmistaa työtehtäviin, jotka voivat olla esimerkiksi teollisuudessa tai konsultoinnissa. Kursseilla keskitytään sports engineeringin lisäksi esimerkiksi dataan, sensoreihin, biomekaniikkaan, materiaaleihin ja yrittäjyyteen. (Purdue University 2022.)

3.14. TU Clausthal, Clausthal teknillinen yliopisto

Sports engineering kandidaattiohjelmaa voi opiskella Clausthalin teknillisessä yliopistossa Saksassa ja valmistua tekniikan kandidaatiksi. Sports engineering ohjelma yhdistää insinööritieteet ja urheilutieteet. Tutkinto keskittyy tekniikan perusteisiin, materiaalitekniikkaan, anatomiaan ja fysiologiaan, urheilutieteiden perusteisiin, urheiluvälineisiin (materiaalit ja käyttökohdat), urheilu ja kuntoutustekniikkaan. Lisäksi on valittavissa harjoittelu teollisuuteen urheilutekniikan parissa. (TU Clausthal 2022.)

3.15. Muut kansainväliset toimijat

Sports engineeringin parissa toimii kansainvälisesti useita erilaisia yhdistyksiä ja yhteistyöorganisaatioita. Näiden tarkoituksena on jakaa tietoa tieteenalasta, määritellä alaa tunnetuksi

akateemisissa piireissä, sekä luoda alalle yhteisöllisyyttä. Alan lehdet, konferenssit ja muut tilaisuudet tuovat akateemiselle tieteenalalle järjestyneisyyttä ja luotettavuutta.

International Sport Engineering Association (ISEA) on kansainvälinen sports engineering yhdistys, joka on toiminut vuodesta 1998 lähtien. Yhdistys pitää yllä kahta tietokantaa, joista toinen on jäsentietokanta ja toinen tietokanta sports engineering julkaisuille. Yhdistys julkaisee Sports Engineering- lehteä, järjestää puolen vuoden välein The Engineering of Sport-konferenssin, sekä tukee Aasian ja Tyynenmeren urheiluteknologian konferenssia. ISEA:n tavoitteena on myös tuoda tietoa sports engineeringistä tieteenalana ja koulutusalana. (ISEA 2022.)

Euroopassa toimiva konsortio “The European Alliance for Sports Engineering Education” (A4SEE), toimii yliopistojen ja yritysten kumppanina. Konsortion tavoitteena on parantaa opetusta opiskelijoille ja teollisuuden ammattilaisille. Se tarjoaa kumppanuusohjelmia ja harjoitteluja, joiden tavoitteena on kehittää innovaatioita niin teollisuuteen, kuin myös tutkimukseen hyödyntäen näitä kumpaakin. Konsortio-projekti perustettiin 2020 ja sen on tarkoitus kestää vuoteen 2024 saakka. Toimintaa ovat myös “innovation marketplace”, jossa yritys yhteistyökumppaneilla on mahdollisuus tarjota opiskelijoille innovaatioaiheita mihin keskittyä. A4SEE:n jäseninä on yliopistoista TU Delft, Sheffield Hallam University, University of Applied Sciences Technikum Wien, Chemnitz University of Technology ja Aalborg University. (A4SEE 2022.)

4. Haastattelut

Diplomityössä tehtiin haastatteluita sports engineeringiin liittyen. Tässä kappaleessa esitetään työssä tehdyt haastattelut ja haastatteluissa saadut vastaukset. Haastattelut olivat asiantuntijahaastatteluita ja organisaatioiksi valittiin kansallisesta näkökulmasta KIHU ja kansainvälisestä näkökulmasta Delftin teknillinen yliopisto.

Tutkimuksessa käytetty haastattelumuoto oli asiantuntijahaastattelu. Asiantuntijuus on tiede-, ammatti- tai instituutioperusteista. Asiantuntijuus määräytyy yksilön toiminnan kautta. Toimintaa ovat esimerkiksi ammatilliset tehtävät ja/tai institutionaalinen asema. Asiantuntijahaastattelu voidaan yleensä toteuttaa teemahaastatteluna tai avoimena haastatteluna. Tämän tyylistä haastattelua ohjaa vain ennalta sovitut aiheet. (Alastalo, Äkerman, Vaittinen 2017, s. 211-230.)

Haastatteluiden tarkoituksena oli saada käytännön kokemuksesta tietoa urheiluteknologian parissa toimimisesta ja näkökulmia SERCF:n toimintaan ja kehitykseen. Kappaleessa kysymykset ovat haastattelun keskusteluaiheista ja viivoilla esitetyt vastaukset on koottu vastaajien vastauksista. Haastattelun kansainvälinen osio suoritettiin englannin kielellä, mutta on tähän työhön suomennettu.

4.1. Kansallinen haastattelu

Kansallisen haastattelun tarkoitus oli kerätä lisätietoa urheiluteknologian parissa toimivasta toimijasta, joka tukisi kappaleessa 2 tehtyä nettiselvitystä. Haastatteluun osallistui Huippu urheilun instituutin KIHU johtaja Aki Salo, sekä innovaatiotiimin koordinaattori Sami Vierola. Haastattelu oli teemahaastattelu ennalta sovituista aiheista ja se toteutettiin maaliskuussa 2022 videoyhteydellä. Haastatteluun varattiin aikaa noin 1 tunti ja se nauhoitettiin.

Mikä on organisaationne rooli urheiluteknologian parissa kansallisesti?

- Ei ole hirveän suuri, riippuen urheiluteknologian määrittelystä. Valtakunnallisesti tärkeä rooli verkoston vetämisessä Olympiakomitean kanssa. *”Pääasiallinen*

osaaminen kehittyy enemmän liikuntatieteelliselle puolelle, kuin liikuntateknologiselle puolelle.” Urheiluteknologian parissa työskentely on yksittäisiä projekteja.

- Tutkimustyön tehostamiseen ja systemaattisuuteen pyritään panostamaan.
- KIHUn rooli tulee muuttumaan huhtikuussa 2022, jolloin tutkimuksen lisäksi osallistuvaan asiantuntijatyöhön, jossa ollaan lajien kanssa suoraan tekemisissä.

Miten organisaationne urheiluteknologian tutkimuskohteet valitaan?

- Urheiluteknologian tutkimuskohteet tulevat yleensä urheilulajien asiantuntijoiden kautta. On myös tapauksia, jossa urheilijalta on tullut suoraan yhteydenottoa. Matalan kynnyksen yhteydenottokanavaa halutaan tarjota tulevaisuudessa tarpeiden, sekä ratkaisujen ja ideoiden esittäjille. *”Tarjottaisiin sellaista selkeätä matalan kynnyksen yhteydenottokanavaa sekä tarpeiden esittäjille, eli lajeille ja urheilijoille, mutta myös toiselle puolelle eli kellä näitä ratkaisuja tai hyviä ideoita on.”*
- Yleisesti KIHUn tutkimuskohteet valitaan valtakunnallisen huippu-urheilun osaamisohjelman mukaisesti, jossa pyritään rakentamaan pidempiaikaisia suuntaviivoja, jotta tutkimus olisi järjestelmällisempää ja tutkimuskohteet pysyvät kannattavina.

Millaista yhteistyötä teette?

- Yhteistyökumppaneita ovat tutkimuksen puolella Jyväskylän yliopisto ja VTT. Lisäksi yhteistyötä tehdään suomalaisen huippu-urheilun toimintaympäristöverkoston kanssa eli kuuden keskeisimmän urheiluakatemian ja valmennuskeskuksen, keskeisimpien lajiliittojen, sekä olympia- ja paralympiakomitean kanssa.

Millaisessa mittakaavassa organisaatiossanne tehdään tutkimusta urheiluteknologian ja siihen liittyvien kokonaisuuksien parissa

- Pieniä ja keskisuuria hankkeita urheiluteknologiaan liittyen on kahdesta neljään vuodessa. Näitä toteutetaan Jyväskylän yliopiston kanssa yhteistyössä. Insinöörien välistä yhteistyötä pyritään laajentamaan.
- Suurempia tutkimusprojekteja on useita vuodessa, mutta eivät liity välttämättä urheiluteknologiaan.

Millaiset ovat organisaationne suunnitelmat tulevaisuudessa urheiluteknologian ja siihen liittyvien kokonaisuuksien saralla?

- Systemaattisen läpiviennin suunnittelu urheiluteknologisiin ratkaisuihin, sekä tutkimustyön laajentaminen, jotta yhteyden ottoja olisi enemmän sekä tarpeista, että ratkaisuista. Lisäksi projektien toteutettavuuden arviointiprosessin laajentaminen isommalle porukalle, jotta pystytään määrittelemään, onko tutkimuksella merkitystä lajille tai suomalaiselle huippu-urheilulle. Yhteistyömahdollisuudet, sekä erilaisten rahoitusmallien tarjoaminen, mahdollistavat toteutuksen laadun paranemisen. Tavoitteena on teknisten ratkaisujen saaminen mahdollisimman laajaan käyttöön lajien sisällä ja ulkopuolella. Lisäksi näitä ratkaisuja ja mahdollisuuksia pyritään esittelemään eri lajeille aktiivisesti.

- *”Resurssit [KIHU:lla] ovat hyvin rajalliset ja me ollaan käytännössä katsoen täysin valtion avustuksen varassa.” ”—[avustus] ei ole euromääräisesti noussut yhtään senttiä kahdeksaan vuoteen*”.
- KIHU tuo asiantuntijaosaamista urheilun ja yliopistojen vaatiman tutkimuksen tason ymmärtämisellä yhteistyöhön, esimerkiksi yliopistojen kanssa. Urheilun kannalta tutkimuksessa hyödynnettävyys on keskeisempi asia, kuin tutkimuksen tieteellisyyden taso. *”Urheilu saadaan mukaan ainoastaan sillä, että pystytään osoittamaan heille, että tästä [tutkimuksesta] on hyötyä.”*

Millaista on organisaationne kansainvälinen yhteistyö urheiluteknologiaan ja siihen liittyvään tutkimukseen liittyen?

- KIHU tekee kansainvälistä yhteistyötä, mutta tätä ei ole tarpeeksi. Ongelmana on myös huippu-urheilun tutkimustiedon pitäminen salassa. Kansainvälinen yhteistyö on kuitenkin tärkeää. Yhteistyö on tällä hetkellä henkilöllistynyttä ja kontaktit ovat henkilöiden kautta syntyneitä. Tutkimuksissa ei ole tällä hetkellä laajassa mittakaavassa kansainvälistä yhteistyötä.
- Urheiluteknologian näkökulmasta kansainvälinen yhteistyö tuo uusia näkökulmia ja mahdollisuuksia, mutta suhteiden ja yhteistyön luominen on jäänyt henkilökohtaiselle tasolle.

Miten Suomeen voitaisiin rakentaa toimivaa/toimivampaa sports engineering-verkostoa?

- Verkostojen toimivuus, ettei tarvitse vain henkilökohtaisten suhteiden varassa toimia. Verkosto toimii, kun saadaan projekteja aikaiseksi ja rahoitusta näille.
- Verkoston jäsenten luottamus toisiinsa, että voidaan pyytää osaamista ja apua projekteihin ja pienempiin asioihin.

Mitä ovat toimivan sports engineering verkoston menestystekijöitä ja vahvuuksia?

- Yhteistyöprojektien kautta verkosto toimii. Projekteihin oikeat toimijat, vaikka innostusta osallistua olisi muillakin. Toiminta pitää kuitenkin olla sellaista, että jokainen toimija kokee saavansa verkostolta hyötyä ja tietoa. *”Jokainen pääsisi olemaan mukana ja kokee, että on verkoston kautta saanut sitä hyötyä ja tietoa”*
- Oikeiden ihmisten kuuluminen verkostoon. Verkoston toimiminen myös ruohonjuuritasolla, joka helpottaa projektien yhteistoimintaa. Lisäksi verkostoa pitäisi pystyä hyödyntämään myös ilman isompia projekteja.

Millaisia parhaita käytäntöjä, työkaluja ja alustoja sports engineering -verkosto voisi hyödyntää?

- Toimiva alusta, esimerkiksi Teams kanava, josta löytyy tietoa toimijoista ja jossa voi luoda keskusteluita vapaasti aiheeseen liittyen.
- Ihmisten tapaaminen luo parhaimmat ihmissuhteet verkoston jäsenille. Näihin tapaamisiin myös muita ihmisiä, jotka eivät ole peruskokouksissa.
- *”Siitähän ne verkostot lähtevät kunnolla vasta toimimaan, kun ihmiset tapailevat toisiaan”*
- Tiedon jakaminen laajemmin, ettei verkoston toiminta jää yhden henkilön vastuulle yksiköissä.

4.2. Kansainvälinen haastattelu

Kansainvälinen haastattelu toteutettiin SERCF- hankkeen yhteistyökumppanin Delftin teknillisen yliopiston professorin Arend Schwab kanssa. Haastateltavalla on polkupyörä dynamiikan laboratorio, opettaa mekaniikkaa ja on tehnyt tutkimusta Delftissä sports

engineeringin parissa. Haastattelu oli keskustelupohjainen asiantuntijahaastattelu ja se suoritettiin videoyhteyden avulla maaliskuussa 2022. Haastatteluun varattiin aikaa noin 1 tunti ja se nauhoitettiin. Haastattelun tavoitteena oli saada lisää tietoa sports engineeringistä Delftissä ja maailmalla asiantuntijan kautta.

Millaista on sports engineering Delftissä?

- Delftin tarkempi toiminta urheiluteknologian parissa on jakautunut kahteen alueeseen: Suorituskeskeiseen urheiluun esimerkiksi olympiaurheiluun, sekä kuluttajaurheiluun, kuten arki- ja harrasteliikuntaan. Molempiin alueisiin panostaminen on tärkeää, sillä yleensä keskitytään vain huippu-urheiluun. Viimeaikaisista tutkimuskohteista on ollut ratapyöräilyyn keskittyvä tutkimus, jossa kehitettiin ja optimoitiin ratapolkupyörät Alankomaiden ratapyöräilyn olympiajoukkueelle. Joukkue saavuttikin useita olympia mitaleita Tokiossa 2021. Muita viimeaikaisia tutkimuskohteita on ollut esimerkiksi loukkaantumisten estoihin liittyviä tutkimuksia, sähköpyörille tasapainottavan moottorin avulla toimiva järjestelmä kaatumisten ehkäisemiseksi, sekä purjehduksen tuulikarttojen analysoiminen Tokion olympialaisiin.

Millainen on Sport Engineering Instituution rakenne ja rahoitus?

- *”Sport Engineering Instituution rakenne on kuin sateenvarjo muiden tiedekuntien ympärillä.”* Muista tiedekunnista tulee tietotaitoa urheiluteknologian instituutiolle. *”Konetekniikan puolelta suunnitteluosaamista, sekä matemaattiselta tiedekunnalta matemaattista optimointia ja malleja.”* Sports engineeringillä ei ole siis omaa tiedekuntaa vaan se toimii tiedekuntien ympärillä. Tämä tarkoittaa, ettei urheiluteknologiaa voi suoraan opiskella, vaan siihen voi erikoistua itseään kiinnostavan alan, esimerkiksi konetekniikan, kautta. Etuja tähän sateenvarjomaiseen rakenteeseen on, että käytössä on kaikkien tiedekuntien osaaminen, eikä tarvitse perustaa kokonaan uutta tiedekuntaa, joka tarvitsee lupia, erillistä henkilökuntaa ja vaatii paljon töitä.
- Rahoitus instituutiolle tulee jokaiselta tiedekunnalta, jotka osallistuvat instituution toimintaan, sekä suoraan yliopistolta.

Millaista kansainvälistä yhteistyötä Sport Engineering Instituutiolla on?

- Kansainvälinen yhteistyö ja järjestöihin kuuluminen, esimerkiksi A4SEE, on tärkeää, sillä se mahdollistaa kontakteja, opiskelijavaihtoja, kesäkouluja, sekä muiden yliopistojen erikoistumisien hyödyntämistä.
- Sheffield Hallam oli alussa kumppani ja se toimi motivaationa aloittaa sports engineeringin parissa työskentely Delftissä. Heiltä sai vinkkejä toiminnan aloittamiseen ja hyväksi havaittuja tapoja sekä tapoja, jotka kannattaa tehdä toisin. Yhteistyötä on myös opetuksen muodossa, jossa opettajia tulee Sheffieldistä vierailulle Delftiin.

Millaista tietoa sports engineeringistä julkaistaan ja jaetaanko tietoa kansainvälisesti?

- Suorituskykyyn liittyviä tutkimuksia harvoin voi julkaista kokonaan. Tutkimuksia voidaan julkaista myöhemmin tai osittain sensuroituina. Tämän takia kannattaa urheiluteknologiassa siis keskittyä myös kuluttaj urheiluun, jossa useammin voi tuoda julki tutkimuksia.

Millainen on “Special Topics in Sport Engineering” -kurssi?

- Kurssi on haaste opiskelijoille. Opiskelijoille opetetaan ensin asioita sports engineeringistä, jonka jälkeen lopussa tehdään käytännöllinen työ. Työt liittyvät yleensä pyöräilyyn, kuten pyöräilyn dynamiikkaan. Haasteeseen liittyy laskujen, mallien ja mittausten tekemistä käytännön tiloissa.

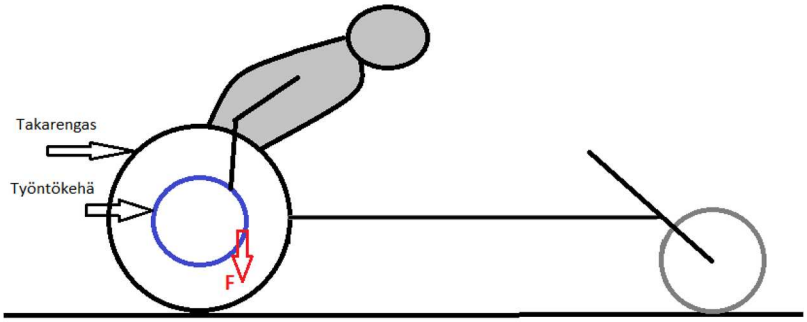
Mitä opiskelijat tekevät valmistumisen jälkeen? Onko lähellä urheilutekniikkaan liittyvää teollisuutta?

- Opiskelijat menevät yleensä pieniin startup-yrityksiin töihin tai perustavat sellaisen. Lähellä ei ole suuria urheilutekniikan yrityksiä. *”Yleensä sports engineering valitaan myös sen takia, että pidetään urheilusta”*. Tällöin sports engineering on enemmän harrastus opintojen ohella.

5. Case: Pyörätuolikelauksen tehonmittaus

Tässä kappaleessa raportoidaan diplomityössä tehtävän case-työn toteutus, jonka aiheena on pyörätuolikelauksen tehonmittauksen suunnittelu. Case-työn tarkoitus tässä työssä on antaa esimerkki, mitä sports engineering käytännössä on. Työssä käytettiin jo markkinoilla olevaa polkupyöräilyyn kehitettyä tehonmittausteknologiaa, johon valmistettiin adapteriosa kiinnitettäväksi pyörätuolin takapyöriin.

Projektille oli tarvetta suomen pyörätuolikelauksen paralympia valmennuksesta. Tehonmittaus on tärkeä osa urheilijan harjoittelun testaamista. Tehoa mittaamalla nähdään, onko urheilijan tekniikka kunnossa, eli saadaanko tekniikalla mahdollisimman paljon tehoa tuotetuksi pyörätuolin liikuttamiseen. Pyörätuolikelauksen tekniikkaa havainnollistetaan kuvassa 12.



Kuva 12. Havainnekuva pyörätuolikelauksesta. Kelaaja tuottaa sinisellä näkyvään työntökehään käsillään voimaa (F) punaisen nuolen suuntaisesti.

Kuvassa 12 nähdään miten pyörätuolikelauksessa paraurheilija lyö käsillään renkaiden pyörittämiseen tarkoitettua työntökehään (sinisellä) ja tuottaa voimaa (F) punaisen nuolen suuntaan liikuttaakseen pyörätuolia.

Tavoitteita tehonmittaukseen oli, että urheilija ja valmentaja saavat dataa harjoituksen aikana ja tuloksia on helppo tutkia. Tuloksia voidaan hyödyntää tekniikkaharjoituksissa, sekä

kunnon kehityksen vertailussa. Tehonmittausanturin kiinnitystä varten suunnitelluissa osissa täytyi ottaa huomioon, ettei ne ole haitallinen työntöliikettä varten tai ettei urheilijan käsillä ole jäädä osien väliin. Lisäksi pyörän kiekkojen materiaali täytyi ottaa huomioon adapterin kiinnitystä suunnitellessa. Hiilikuituiseen kiekkoon tehdyt muutokset valmistuksen jälkeen, kuten poratut reiät, heikentävät kiekon kestävyyttä.

5.1. Työn toteutus

Case työn tehonmittauslaitteeksi valittiin kuvassa 13 nähtävä Quarqin valmistama DZero DUB, joka on spider-mallinen polkupyöräilyyn suunnattu tehonmittauslaite. Spideri on osa, joka kiinnittää polkupyörässä oikean kampivarren ja eturattaan. Tätä työtä varten tilattiin kaksi kappaletta kyseisiä tehonmittaus antureita, yksikin kummallekin pyörätuolin renkaalle.

Kuva 13. Quarq DZero DUB tehonmittaus anturi. (Sram 2022)

Voimansiirrossa tapahtuvan venymän ja käytetyn vääntömomentin laskemiseen käytetään venymäliuskoja. Tästä valittu tehonmittauslaite lähettää mittauslaitteelle dataa ANT+ ja

Bluetooth Smart teknologian avulla. Muita DZero DUB tehonmittaajan ominaisuuksia ovat +/- 1.5 % tarkkuus, IPX7 vedenkestävyys, 200 tunnin akun kesto, 125 g paino, sekä lämpötilan kompensaatio ominaisuus. (Sram 2022)

Tehonmittaus tapahtuu venymäluiskan avulla. Valitussa laitteessa venymäliuskat ovat sijoitettu kehärakenteen sisälle. Tehonmittaaja laskee tehon vääntömomentin ja kulmanopeuden (=kadenssi) avulla yhtälön 1 mukaisesti.

$$P = M \times \omega \quad (1)$$

jossa P on teho (W), M on vääntömomentti (Nm) ja ω on kulmanopeus (rad/s).

Projektia varten päätettiin tilata kelaustuolin kiekot. Kiekoiksi valittiin kuvassa 14 nähtävät umpinaiset Coriman valmistamat hiilikuitukiekot.

Kuva 14. Projektia varten tilatut hiilikuidusta valmistetut kiekot. (Corima, 2022)

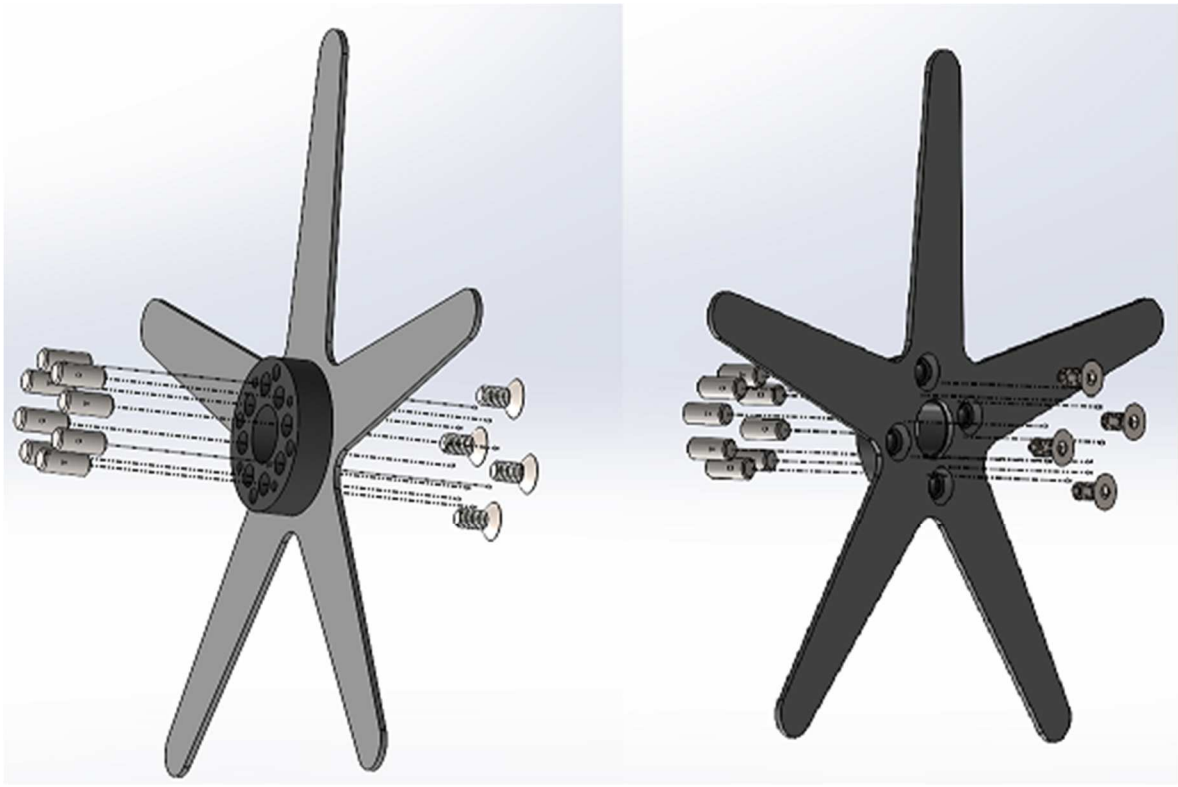
Kiekot ovat kokoa 28’’, joka on aikuisille kelaajille standardi. Kiekkoihin myös päätettiin ottaa 5-reikäinen kiinnitys työntökehälle. Pyörän akseliksi valittiin ½ tuumaa, joka on suomalaisilla käytössä oleva koko testimittausten perusteella. Työntökehä, kuvassa 15, päätettiin tehdä itse LUT Voiman laboratoriossa, jotta saataisiin kustomoitu kiinnitys tehomittaria varten suunniteltuun ulokekappaleeseen.

Kuva 15. 3D-malli työntökehästä, johon on kiinnitetty DZero Dub tehonmittausanturi 5-haaraisen ulokekappaleen avulla.

Kehän kooksi valittiin 14.5’’, joka on keskimääräisesti sopiva koko kelaajille. Kehä valmistetaan alumiini tangosta ja siihen hitsataan ulkoneva ohutlevy-kehä kiinni. Laser leikatussa ohutlevy-kehässä on kierteillä olevat kiinnitysreiät. Työntökehän ja tehonmittausanturin

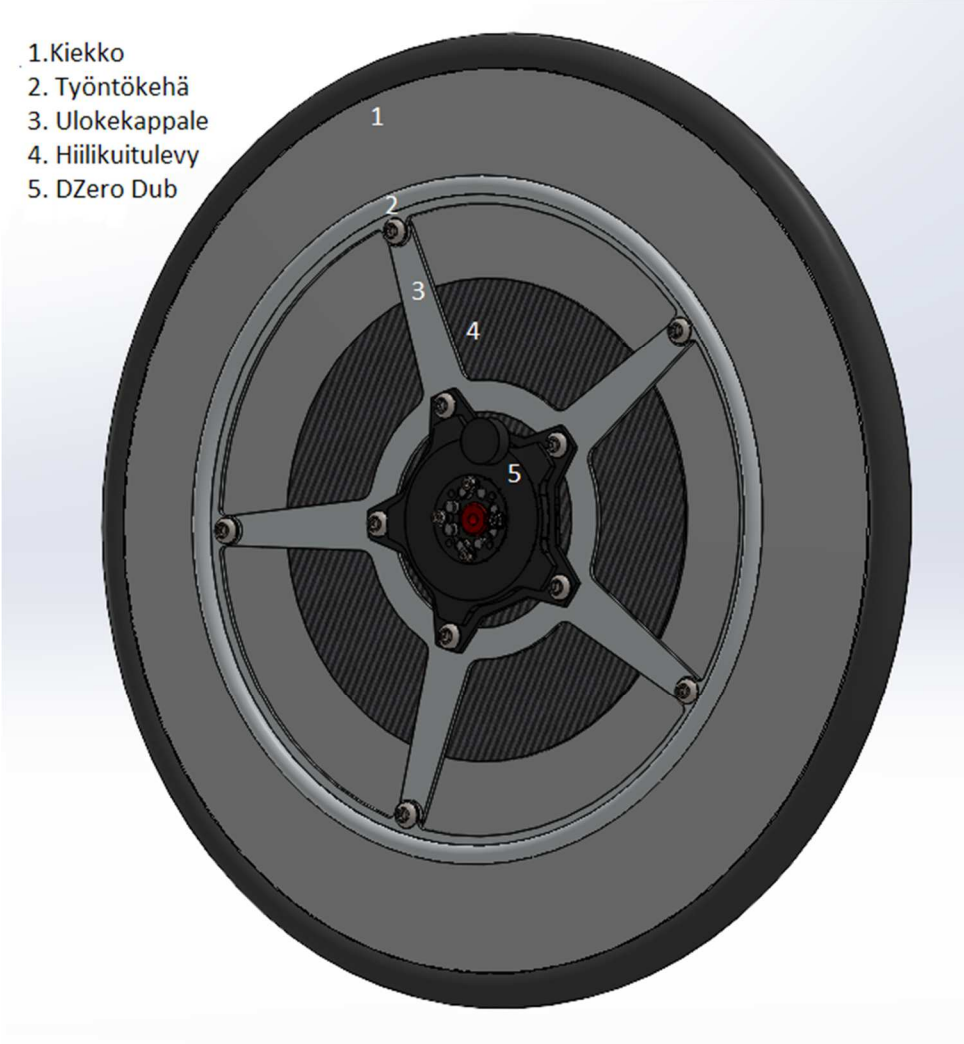
ulkokehän yhdistää ohutlevystä laser leikattu ulokeosa. Ulokeosa kiinnitetään anturiin ja työntökehään ruuveilla.

Adapteri, kuvassa 16, valmistetaan 3D-tulostamalla sen hankalan geometrian vuoksi. Valmistetun adapterin tarkoitus on kiinnittää tehonmittausanturi pyörätuolin akseliin. Anturi kiinnitetään neljällä ruuvilla ja tuetaan keskeltä kuvassa näkyvillä tapeilla. Adapteri, näkyy vasemmanpuoleisessa kuvassa mustalla keskellä.



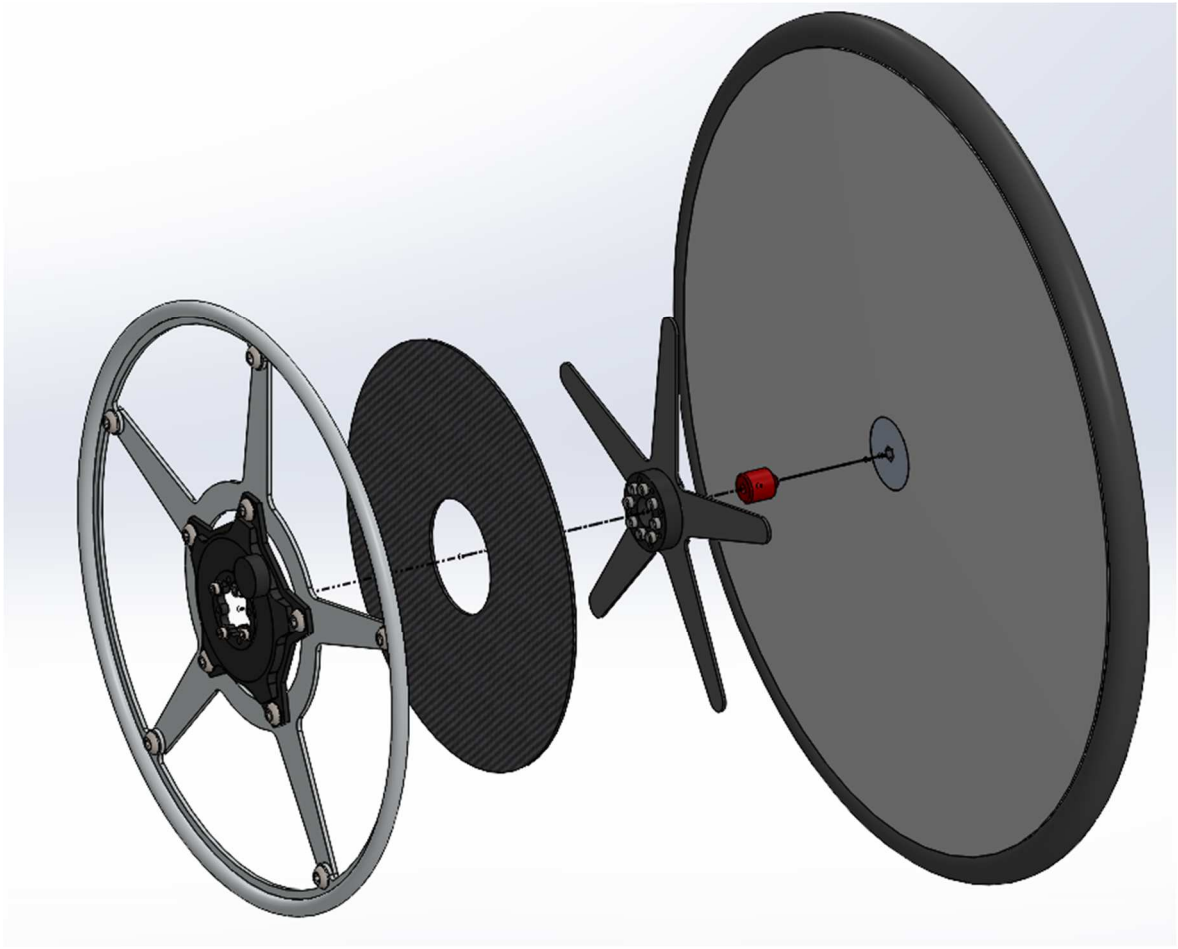
Kuva 16. Räjäytyskuva DZero Dub varten valmistetusta adapterista. 3D-tulostettu keskiö kiinnitetään ohutlevystä valmistettuun vastakappaleeseen upporuuveilla. Kuvassa räjäytyskuva etupuolelta ja takapuolelta havainnoituna.

Edellä olevasta kuvassa nähdään, miten adapteriosa kiinnitetään erilliseen ohutlevystä valmistettuun vastakappaleeseen ruuveilla. Tämä vastakappale on kiekkoa vasten, ja sen sekä ulokelevyn väliin tulee kuvissa 17 ja 18 näkyvä hiilikuitulevy. Hiilikuitulevyn tarkoitus on kiinnittää epoksin kanssa adapteri kiekkoa vasten, sillä kehään poraaminen ei sovellu tämän heikentäessä kehän kestävyyttä.



Kuva 17. Kuva kokoonpanon 3D-mallista. Osat numeroitu ja nimetty kuvan yläreunaan.

Kuvassa 17 nähdään 3D-malli valmiista kokoonpanosta. Anturin kiinnitys akseliin ja työntökehään on suunniteltu niin, että urheilijan tuottama teho pyörätuolin liikuttamiseen saadaan laskettua. Tätä varten voiman pitää kulkea työntökehästä tehonmittausanturin ulommille reunoille, ja adapterin avulla keskeltä akseliin.

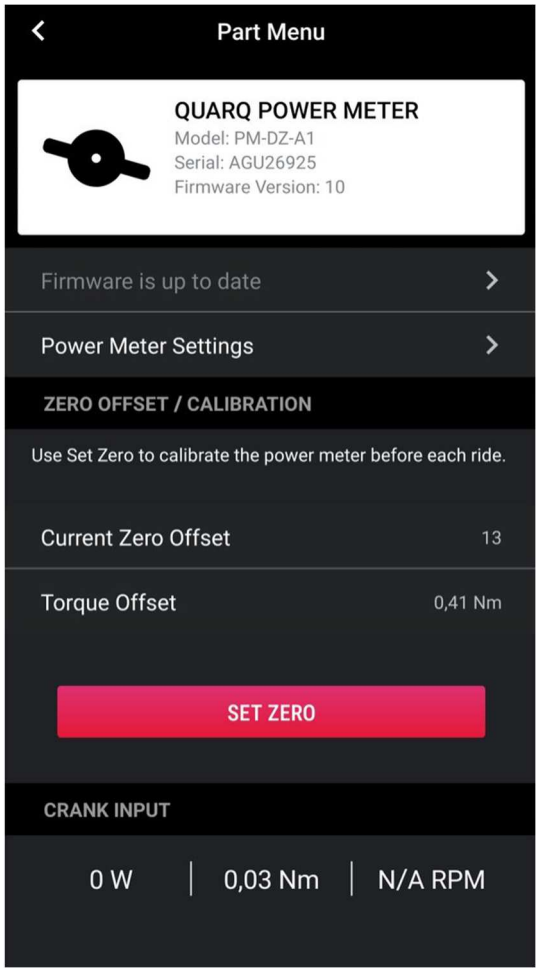


Kuva 18. Räjäytyskuva kokoonpanosta

Räjäytyskuvassa näkyvät kokoonpanon osat kokoamisjärjestyksessä. Räjäytyskuvasta näkyy, kuinka kiekkoon ei tarvitse tehdä reikiä tai muita kiinnitysvälineitä muita osia varten. Osien tarkoitus on painautua kiekkoa vasten, jotta ne eivät häiritsisi urheilijan suoritusta kelauksessa.

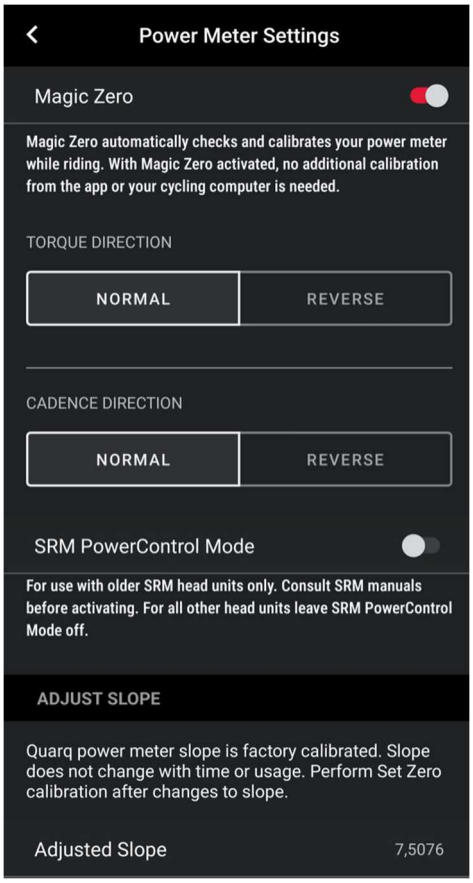
5.2. Sovellukset datan lukemiseen

Tehonmittaus anturien datan lukemista varten tarvittiin mobiili sovelluksia. Kyseistä DZero dub anturia varten löytyi ”SRAM AXS”-sovellus. Sovellus oli ilmainen ja sen sai ladattua puhelimeen app-kaupasta. Sovellukseen sai Bluetoothin avulla yhdistettyä tehonmittaus anturin ja sen tietoihin pääsi käsiksi kuvien 19 ja 20 mukaisesti.



Kuva 19. Tehonmittarin menu SRAM AXS- sovelluksessa.

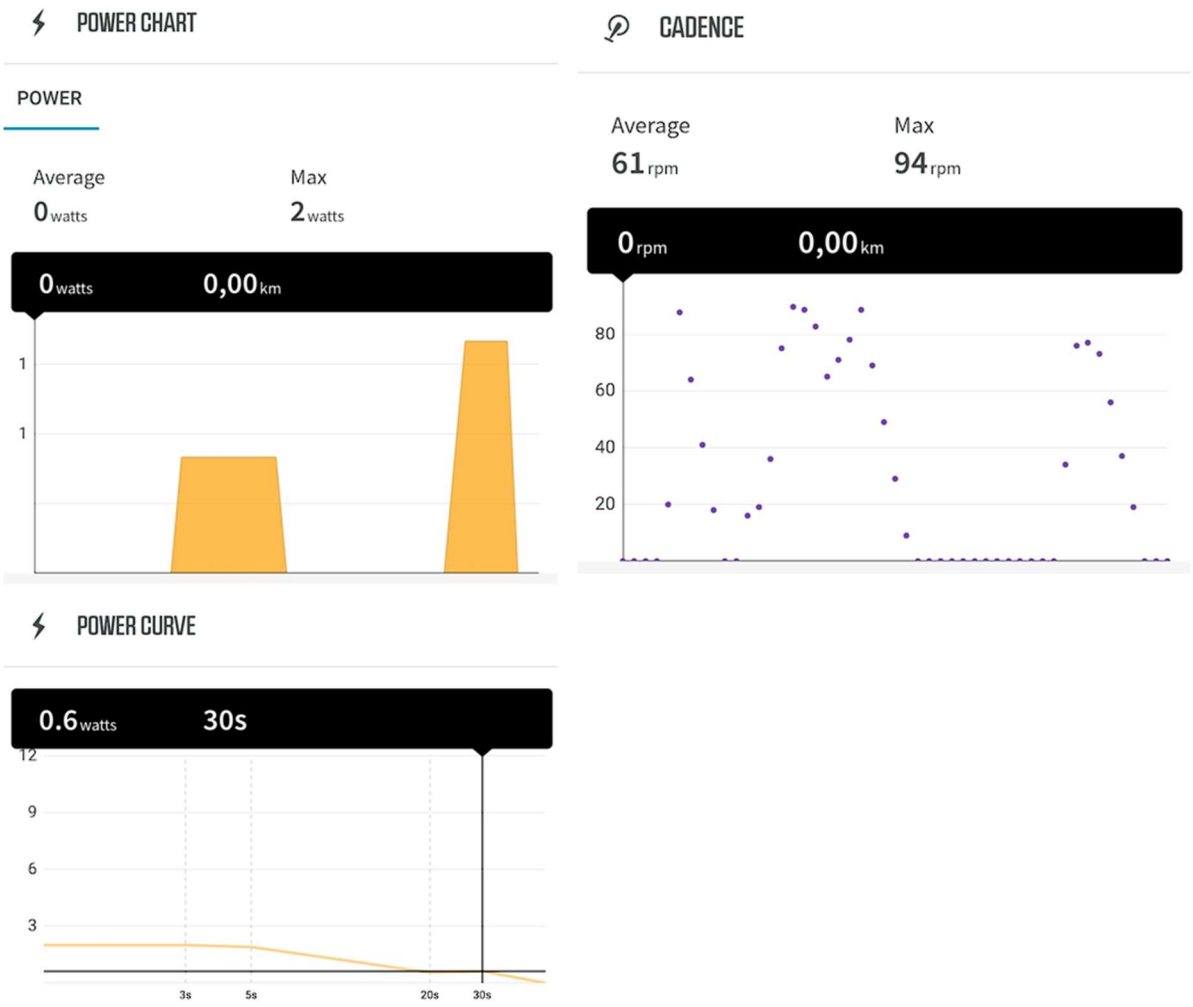
Tehonmittarin valikosta nähdään laiteohjelmiston versio ja päivitysten saatavuus. Lisäksi päästään kuvassa 20 nähtävään asetusvalikkoon, nähdään nollauspoikkeama ja voidaan kalibroida laite. Alalaidasta voidaan lukea laitteesta ulostulevaa dataa. Data näyttää tehon, vääntömomentin ja kierrosnopeuden.



Kuva 20. Tehonmittarin asetusvalikko SRAM AXS- sovelluksessa.

Tehonmittarin asetusvalikosta voidaan päättää väännön ja kierrosnopeuden suunta. Tämä ominaisuus on projektin kannalta hyödyllinen, kun käytetään kahta erisuuntaan pyörivää adapteria. Lisäksi valikosta voidaan laittaa päälle laitteen automaattinen ajonaikainen kalibrointi nimeltä Magic Zero.

Sovelluksen avulla ei kuitenkaan saada pitkäaikaista dataa tai kuvaajia vaan nähdään hetkelliset arvot. Datan keräämiseen vaihtoehtoja ovat esimerkiksi tietynlainen pyörätietokone, jota pyöräilijät käyttävät tallentaakseen ajonaikaista dataa tai toinen mobiilisovellus. Toiseksi sovellukseksi löytyi Wahoo Fitness: Workout tracker. Sovellus oli ilmainen ja sen sai ladattua puhelimeen sovelluskaupasta. Sovellukseen saa yhdistettyä Bluetoothilla erilaisia sensoreita ja DZero dup oli tähän yhteensopiva. Sovelluksesta sai harjoituksen päälle ja se tallensi dataa tehonmittarin tehosta ja kierrosnopeudesta, jotka näkyvät kuvassa 21.



Kuva 21. Kuvakaappauksia Wahoo Fitness: Workout tracker – sovelluksen tehonmittausanturin datanäkymästä harjoituksen jälkeen.

Sovellus tekee tehonmittauksesta kuvaajia matkan ja ajanfunktioina, sekä kertoo keski- ja maksimitehon. Lisäksi käyttäjä saa kierrosnopeudesta, kuvassa oikealla, keski- ja maksimi nopeudet, sekä näkee kierrosnopeuden kuvaajan matkan funktiona.

6. Johtopäätökset

Tässä diplomityössä tehtiin tutkimus sports engineeringistä kansallisella ja kansainvälisellä tasolla. Lisäksi suoritettiin case-työ esimerkkinä mitä sports engineering käytännössä on. Tässä kappaleessa pohditaan tutkimuksessa saatuja tuloksia. Tuloksia käydään läpi kolmessa osiossa: Urheiluteknologiaosaaminen Suomessa, sports engineering kansainvälisesti ja case: pyörätuolikelauksen tehonmittaus. Kappaleen lopussa pohditaan tutkimuksen pätevyyttä ja tulosten luotettavuutta, sekä esitetään mahdolliset jatkotutkimuskohteet.

6.1. Urheiluteknologiaosaaminen Suomessa

Suomessa teknologiaosaaminen on maailman kärkitasoa. Urheilu- ja liikuntateknologiankin parissa toimijoita Suomessa on monta korkeakoulua ja tutkimuskeskusta. Toimijoita ja osa-alueita on monia, johtuen urheilu- ja liikuntateknologian laajasta käsitteestä. Teknologian tarkoitus voi olla lasten ja nuorten liikuntaan innostamista, liikunnan pelillistäminen, huippu- ja kilpaurheiluun suunnattua tai ikäihmisten liikuttamista. Toiminta on myös usein yhteistyötoimintaa. Tästä hyvänä esimerkkinä Jyväskylän yliopiston Vuokatin yksikön, Kajaanin ammattikorkeakoulun ja Vuokatti Sportin yhteistoiminta. Korkeakoulujen yhteistyöverkostot, kuten LIUKAS, tuovat monipuolista osaamista verkoston alle, jolloin tutkimuskohteiden mahdollisuudet ovat laajat. Osaamisen lisäksi tilojen ja laitteiston jaettu käyttö tekee tutkimuksesta taloudellisempaa. Verkostojen tarkoitus on myös nopeuttaa ja jakaa tiedon ja tuotteiden kehitystä. Tarkoitus on, ettei samaa asiaa tutkita yksin useassa paikkaa.

Suomessa enemmistö työstä on enemmän liikuntatiedemäistä liikuttavaa teknologiaa, sekä sovelluspohjaista toimintaa. Tämä tarkoittaa sitä, että työtä tehdään datapohjaisesti, jossa Suomalaisilla osaajilla on tietotaitoa. Mittaavia laitteita voidaan hankkia ja käyttää missä tahansa, mutta niistä saadun datan ja mittatulosten hyödyntäminen vaatii osaamista. Datan merkitys urheilijalle ja etenkin valmennukseen on ollut suuri, etenkin jos dataa on saatavilla reaaliajassa. Esimerkiksi keihäänheitossa keihään lähtökulman selvitys harjoituksissa kameran avulla antaa reaaliaikaista dataa, jota voidaan harjoituksen aikana analysoida ja tekniikkaa korjata. Huippu-urheilu puolelta saadusta datasta saadaan myös apua kuluttajapuolelle

liikuntasovelluksiin. Sovelluspohjaista toimintaa on myös liikuttava teknologia, jota tuottavat KAMKin Exergaming opinnot, sekä Turun AMKn Businnes centren perinteisen urheilun ja e-urheilun hybridimäsyys hanke. Myös kuntotestimäisiä tutkimuksia tehdään monessa paikassa, kuten liikuntakeskuksissa.

Insinöörimäisiä urheilutekniikan (sports engineering) toimijoita Suomessa ei varsinaisesti ole vielä. LUT-yliopisto, sekä Oulun yliopisto ovat tehneet työtä urheiluun ja liikuntaan liittyen, mutta urheiluun liittyvä systemaattinen tutkiminen ja opetus vielä puuttuvat. Oulun yliopisto on tehty tutkimusta anturitekniikassa, jota on jo hyödynnetty urheilussa. LUT-yliopiston SERFC-hanke alkoi loppuvuonna 2021, jossa antureilla ja simulointiosaamisella voidaan kehittää urheilun tai urheilupaikkojen kannalta oleellisia välineitä. Tällaisia ovat mittaus- ja anturitekniikan sovellukset urheilulajeihin, kuten pyörätuolikelaukseen ja esimerkiksi autonomisen jäänhoitokoneen suunnittelu. Sports engineering toiminta on siis Suomessa kuitenkin vielä vähäisellä tutkimustasolla, eikä opetusta tältä alalta ole vielä järjestetty.

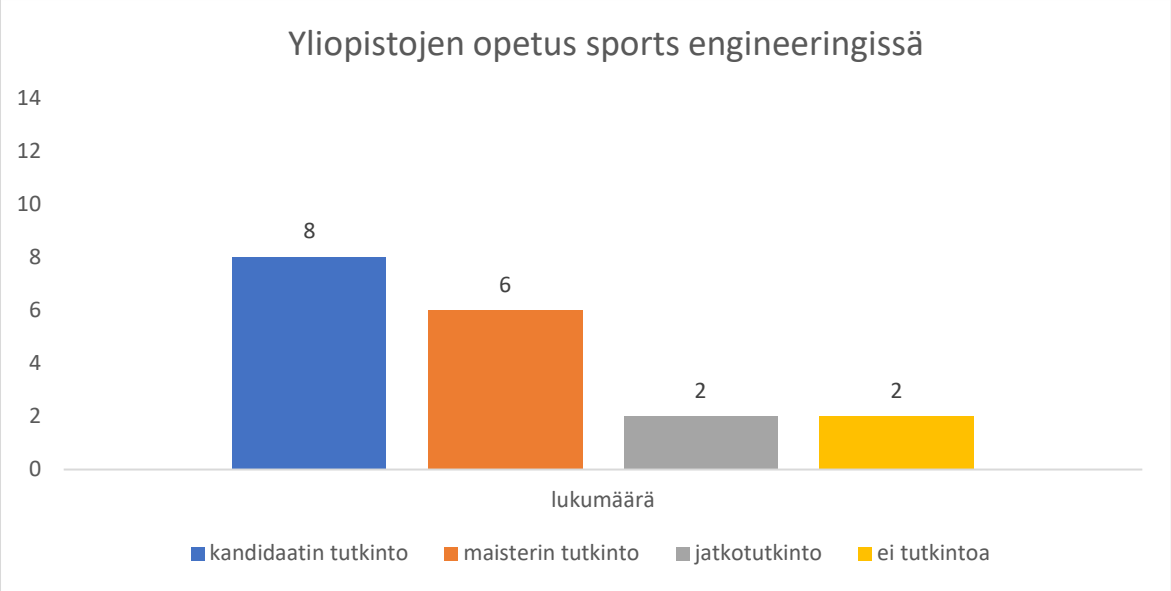
Yleisesti ottaen urheilutekniikan osaaminen Suomessa on hajaantuneista. Jyväskylän yliopiston lisäksi urheilutekniikkaan liittyen ei ole tutkimus- tai opintolinjaa Suomessa. Resurssit, tutkimuskohteiden valinta, sekä liikunnan ja huippu-urheilun kehittäminen ovat epäselvällä tasolla. Vuonna 2021 Valtion Liikuntaneuvoston KIHU:sta julkaiseman ulkoisen arvioinnin mukaan näkemykset KIHUn toiminnasta on vaihtelevat ja odotukset siitä ovat ristiriitaiset. Arvion mukaan suositellaankin huippu-urheilun tutkimuksen ja kehityksen strategian laatimista. (Liikuntaneuvosto 2021.) Tässä työssä suoritetun KIHU:lle kohdistuneen haastattelun tuloksinakin saatiin, että resurssien puute on tutkimuksessa ongelmana. Lisäksi KIHUn rooli on muuttumassa niin, että se keskittyy tutkimuksen lisäksi osallistuvaan asiantuntijatyöhön suoraan lajien parissa.

Suomessa on viime aikoina selvästi ymmärretty urheiluteknologian markkina-arvo ja kansainvälistä toimintaa on lisätty. Urheilukeskukset ja urheilun parissa työskentelevät organisaatiot ovat tuoneet palveluitaan lisää niin kansallisille, kuin myös kansainvälisille markkinoille. Tästä esimerkkinä toimii Jyväskylän yliopiston ja Vuokatti Sportin vuosina 2019–2021 toteutetun Urheilija testeistä kansainväliseksi tuotteeksi Vuokatissa -hanke (Jyväskylän yliopisto 2020). Vuokatti Sportin sivustolla on lisäksi useita palveluita tarjolla niin arkiliikkujille kuin myös huippu-urheilijoille. Lisäksi Vuokatti Sport on kehittänyt asiantuntija- ja palvelutuotteita urheilijoille ja sillä on tavoite olla lumilajien keskus. Suomessa

urheilukeskuksia kehitetään jatkuvasti ja organisaatioita pyritään laajentamaan. Lahden toiminta tuoda Lahti urheilukaupunkina ja keskittymänä on tuonut monia toimijoita yhteen. Lahden ja Vuokatin kaltainen toiminta lisää Suomalaisen osaamisen näkyvyyttä, mielenkiintoa ja vientiä urheilun ja urheiluteknologian parissa maailmalla.

6.2. Sports engineering kansainvälisesti

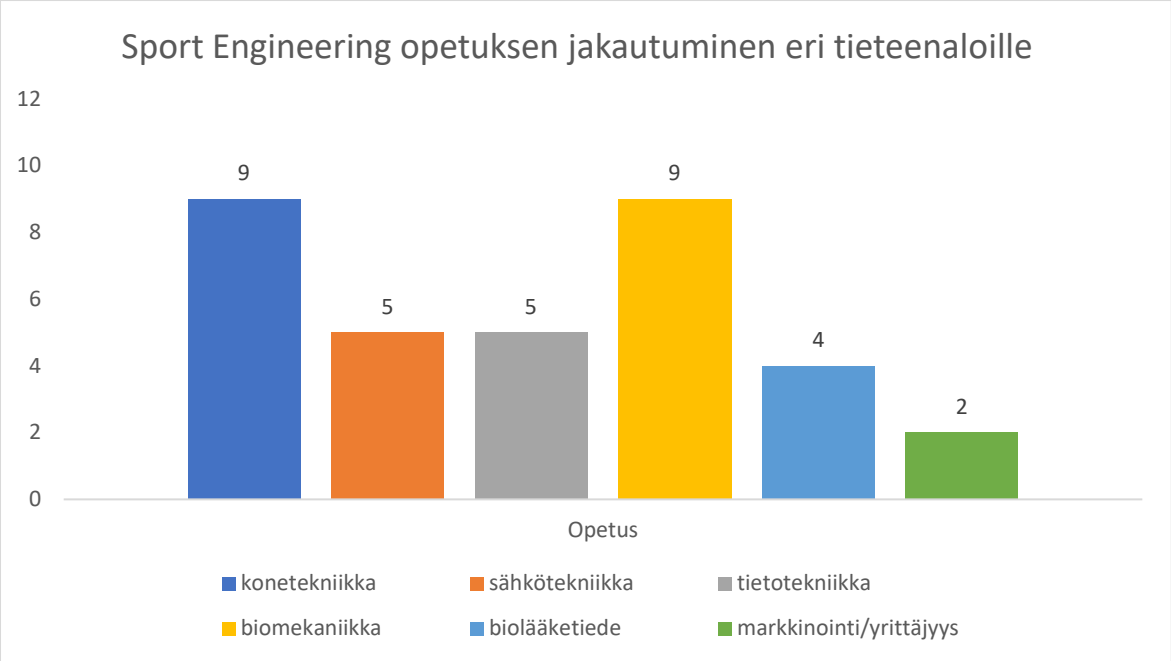
Tutkimuksessa löytyi 14 yliopistoa, joissa tehdään työtä sports engineering -otsikon alla. Työksi määritellään joko tutkimus tai opetus. Kuva 2222 nähdään, miten yliopistoissa opetuksen taso on jakautunut tutkintojen mukaisesti.



Kuva 22. Yliopistojen (n=14) opetuksen tason ja tutkintojen jakautuminen sports engineering -alalla.

Opetusta tai tutkintoja oli yhteensä 12 yliopistossa ja ne olivat jakaantuneet kandidaatin tutkintoon (8), maisterin tutkintoon (6) ja jatkotutkintoon (2). Tutkimukseen valituista yliopistoista kahdessa ei ollut sports engineering tutkinto-opetusta. Neljässä yliopistossa pystyi suorittamaan useamman tutkinnon. Näistä kolmessa oli kandidaatin ja maisterin tutkinnot. Jatkotutkinnolla tarkoitetaan tässä post-graduate kurssia, johon täytyy olla suoritettu jo aiempi maisteritason korkeakoulututkinto. Näitä löytyi kahdesta yliopistosta. Sports

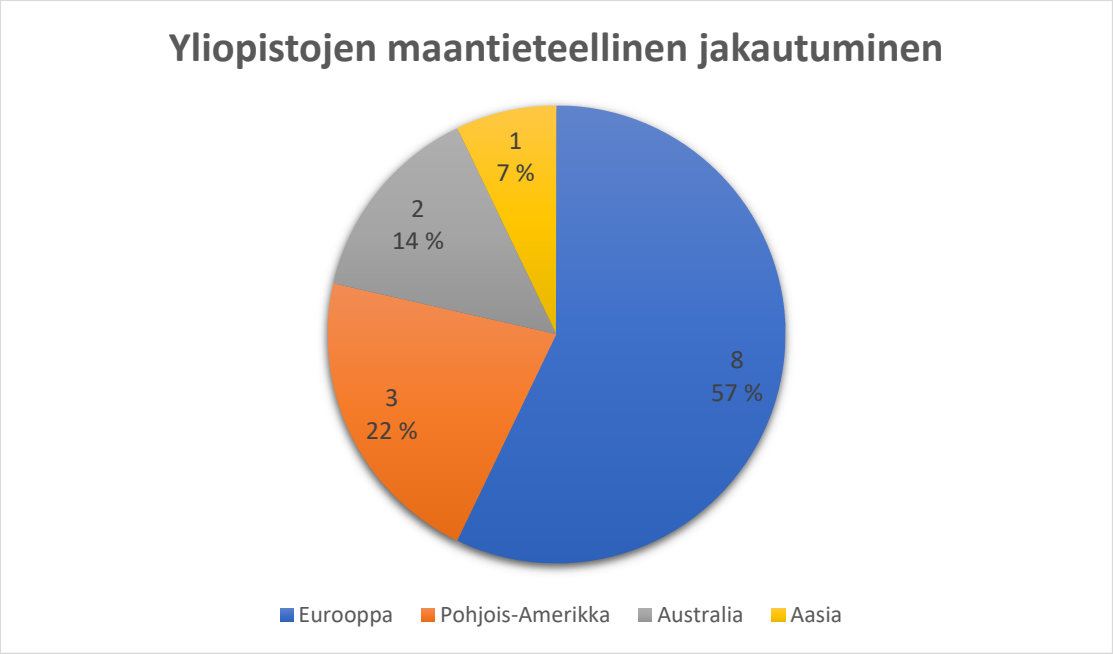
engineering opetus oli tämän työn mukaan monitieteellistä. Kurssitarjontaa tutkimalla koottiin hahmotelma, minkä alan kursseja koulutuksessa hyödynnetään. Tämä on esitetty kuvassa 23, joka auttaa hahmottamaan alan opetuksen monipuolisuutta.



Kuva 23. Sports engineering opetuksessa käytävien kurssien jakautuminen eri tieteenaloille 12 yliopistosta.

Konetekniikan ja biomekaniikan kurssit ovat yleisimpiä sports engineeringissä. Nämä alat ovat tutkimuksen perusteella kansainvälisesti sports engineeringin perusta, sillä biomekaniikan tai konetekniikan kursseja oli sisällytetty 11 yliopiston sports engineering opetukseen. Konetekniikan, sähkötekniikan ja tietotekniikan raja on joissain kursseissa vaikeasti määriteltävissä, joten nämä tulokset ovat tulkinnanvaraisia. Monissa yliopistoissa oli myös selkeä painotus opetuksessa. MCI:n ja Purduen opetus sisältää paljon yrittäjyyteen ja markkinointiin liittyviä kursseja ja Griffith yliopisto painottaa sähkötekniikkaan.

Tämän tutkimuksen mukaan sports engineering -otsikon alla työskentelevät yliopistot ovat jakautuneet kuvan 24 mukaan suurimmaksi osaksi Eurooppaan, jossa sijaitsee 8 yliopistoa (57 %). Toiseksi eniten yliopistoja on Pohjois-Amerikassa 3 kpl (22 %).



Kuva 24. Sports engineeringin -otsikon alla työskentelevien yliopistojen (n=14) jakautuminen maantieteellisesti.

Urheiluteknologian yritykset ja suurten rahavirtojen urheiluliigojen sijainti voi osaksi selittää yliopistojen sijaintia. Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa sijaitsee lisäksi suuria urheilualan yrityksiä, kuten Adidas ja Puma Saksassa, sekä Nike Yhdysvalloissa. Monissa yliopistoissa yritysyhteistyö oli suuressa osassa ja kuului jopa opetussuunnitelmaan. Yritysyhteistyössä opiskelijat tekevät kursseilla projekteja teollisuuteen tai osallistuvat työharjoitukseen. Osaltaan tutkimustuloksiin saattaa myös vaikuttaa tutkimuksen rajaus englanninkielisiin lähteisiin yliopistoista. Esimerkiksi kiinalaisten yliopistojen sivuille oli tutkimusta tehdessä vaikeuksia päästä eikä kaikista löytynyt englanninkielistä tietoa.

Monet yliopistot tekevät yhteistyötä myös maidensa urheiluliittojen kanssa. Urheiluissa eri maiden maajoukkueet kilpailevat toistensa kanssa, joten kansallisesti tuotetun urheiluteknologian tuoma tutkimustieto saattaa yleensä olla tämän takia suljettua tietoa, jota ei julkaista. Tästä oli kokemusta myös asiantuntijalla, joka ilmeni työssä tehdystä haastattelusta. Kansainväliset sports engineering yhdistykset, kuten ISEA, pyrkivät kuitenkin jakamaan ja tuomaan sports engineering tutkimuksia julkisesti saataville.

6.3. Case-työn tulokset

Tämän diplomityön aikana saatiin hankittua tehonmittausanturin, DZero Dub, joka oli valittu toisessa meneillään olevassa diplomityössä. Pyörätuolikelaajien testipäivillä käymisen jälkeen ja lajiin, sekä kelaustuoleihin, enemmän tutustuessa vaatimukset laitteen sijainnista ja kiinnitystavasta toivat lisähaasteita alkuperäisiin suunnitelmiin nähden. Vaatimuslistan ja muiden huomioiden keräämisen jälkeen saatiin kuitenkin LUT-yliopistossa suunniteltua 3D-mallit tehonmittausanturin kiinnittämistä varten. Anturia saatiin testattua sen verran 3D-tulostetuin adapterien ja välineiden avulla, että varmistettiin laitteen toimivuus. Lisäksi anturi saatiin yhdistettyä mobiilisovelluksiin, joista urheilijat ja valmentajat saavat nopeasti harjoituksen aikana dataa käyttöönsä. Lisäksi työn aikana saatiin omat testikiekot tilattua LUT-yliopistolle jatkotutkimuksia varten.

6.4. Validiteetti ja reliabiliteetti

Sports engineeringin määritelmä on laaja ja kansallisesti tarkasteltiinkin urheiluteknologian parissa työskenteleviä tahoja. Se, mitkä tahot tämän käsitteen sisälle luokiteltiin tutkimuksessa, määrittelee validiteettia. Tutkimuksessa sports engineeringiä pidettiin enemmän objektiivisena, kuin ihmiskeskeisenä alana. Tähän kuuluvat työskentely laitteiden, kuten sensorien parissa ja ihmiseen liittyvät tutkimukset ovat pienemmässä roolissa. Tällä rajattiin tutkimuksen laajuutta ja sisältöä enemmän insinöörimäisempää näkökulmaa kohden.

Tutkimusta suoritettiin suoraan tutkimuslaitosten omilta verkkosivuilta saatujen tietojen mukaisesti. Tätä voidaan yleisesti ottaen pitää luotettavana tietona. Kansainvälinen tutkimus painottui yliopistoihin ja aineistona käytettiin näiden englanninkielisiä sivustoja. Tässä mahdollinen käännöstyö ja siitä johtuvat virheet jäävät näin ollen pieniksi. Työssä käsiteltiin tutkimuksia lähinnä otsikkotasolla esimerkin omaisesti, joten niiden asiasisältöä ei ole arvioitu.

6.5. Työn merkitys ja jatkotutkimus

Tutkimus antaa kokonaisnäkökulman sports engineering aiheesta kansallisesti ja kansainvälisesti, sekä antaa pohjan millainen sports engineering koulutus ja tutkimus on maailmalla ja millainen se voisi olla Suomessa. Tutkimuksen tuloksina saatiin, ettei Suomessa urheiluteknologiaan olla vielä keskitytty insinööritieteissä, mutta toimijoita alan kanssa on hajaantunut ympäri maata koulutus- ja tutkimuslaitoksiin. Muutosta tähän on opetuksen puolelta tulossa jo syksyllä 2022 Jyväskylän yliopistossa alkavan Tieto- ja ohjelmistotekniikan DI-ohjelman mukana, jossa tekniikan opinnot voi yhdistää liikuntatieteellisiin opintoihin. Uusien hankkeiden ja yhteistyöprojektien kannalta urheilun ja liikunnan tutkimukselle on kasvavaa tukea. Lisäksi työn aikana luotiin urheiluteknologiaan liittyviä suhteita KIHUn ja LUT-yliopiston välille, joka konkretisoituu KIHUn vierailulla LUT-yliopistolle.

Tutkimuksessa keskityttiin opetukseen ja tutkimukseen, mutta jatkotutkimuksena urheilutekniikkaa Suomessa pitäisi vielä tutkia yritysten ja teollisuuden näkökulmista. Jatkotutkimuksella saataisiin kartoitettua työllisyyttä Suomessa urheiluteknologian parissa. Suomesta on jo maailmalle noussut useita urheiluteknologian yrityksiä, joten pohjaa urheiluteknologian osaamiselle Suomesta jo löytyy. Jatkotutkimuksessa myös pyörätuolikelauksen tehonmittauksen pilotointi pitäisi suorittaa loppuun ja selvittää tehonmittauksesta saadun datan suurimmat hyödyt, sekä saada tehonmittaus urheilijoiden käyttöön.

Lähteet

A4SEE, 2022. A4SEE Alliance for Sports Engineering Education. [Online]
Available at: https://a4see.com/
[Haettu 4 2022].

Alastalo, M., Åkerman, M. & Vaittinen, T., 2017. Asiantuntijahaastattelu. Teoksessa: M. Hyvärinen, P. Nikander & J. Ruusuvuori, toim. Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino, pp. 211-230.

Beijing Sport University, 2020. Academic Division of Sports Engineering. [Online]
Available at: https://en.bsu.edu.cn/Schools/AcademicDivisionofSportsEngineering/79599f139a774b3bb8ad542dad900575.htm
[Haettu 2 2022].

Beijing Sport University, 2021. 2022 Beijing Sport University Undergraduate Program in Chinese for International Students. [Online]
Available at: https://zs.bsu.edu.cn/detail/532
[Haettu 5 2022].

Bruzzo Escalante, J., 2017. Dynamic Simulation of Cross-country Skiing, Lappeenranta: LUT-yliopisto, pp. 36

CEMIS, 2022. Cemis. [Online]
Available at: https://www.cemis.fi/fi/
[Haettu 3 2022].

Corima, 2022. Corima Carbon wheel Disc C+. [Online]
Available at: https://www.corima.com/wheelchair/athletics/rear-disc-c-28-carbon-wheel-tubular-for-wheelchair.html
[Haettu 4 2022].

Digitalwells, 2022. Digitalwells. [Online]
Available at: https://www.digitalwells.fi/
[Haettu 2 2022].

ETH Zurich, 2022. Sport engineering. [Online]
Available at: https://sms.hest.ethz.ch/research/current-research-projects/sports-engineering.html
[Haettu 2 2022].

Griffith University, 2022a. master of electronic and sport engineering. [Online]
Available at: https://www.griffith.edu.au/study/degrees/master-of-electronic-and-sport-engineering-5643
[Haettu 2 2022].

Griffith University, 2022b. Research repository. [Online]
Available at: https://research-repository.griffith.edu.au
[Haettu 2 2022].

Gröndahl, J., 2021. Hiihtosimulaattori. [Kuvat] (Helsingin Sanomat).

Heikkilä, T., 2014. Tilastollinen tutkimus. 9 toim. Helsinki: Edita Publishing Oy.

ISEA, 2022. ISEA International Sports Engineering Association. [Online]
Available at: https://www.sportsengineering.org/
[Haettu 4 2022].

Jyväskylän yliopisto, 2020. Urheilijatestistä kansainväliseksi tuotteeksi Vuokatissa. [Online]
Available at: https://www.jyu.fi/sport/fi/liikuntateknologia/hankkeet/urheilijatestista-kansainvaliseksi-tuot-teeksi-vuokatissa
[Haettu 5 2022].

Jyväskylän yliopisto, 2022a. Liikuntateknologia. [Online]
Available at: https://www.jyu.fi/sport/fi/liikuntateknologia
[Haettu 4 2022].

Jyväskylän yliopisto, 2022b. Urheilun tietovaranto ja ekosysteemi (UTV). [Online]
Available at: https://www.jyu.fi/it/en/research/research-projects/structuralfunds/utv
[Haettu 5 2022].

Jyväskylän yliopisto, 2022c. DIPLOMI-INSINÖÖRIKSI MERKITYKSELLISIIN ASIOIHIN. [Online]
Available at: https://www.jyu.fi/fi/diplomi-insinoori
[Haettu 5 2022].

Kensrud, J. R. & Smith, L. V., 2013. Spin from oblique impact of batted sports balls. Teoksessa: K. M. Chan, toim. Procedia Engineering. Vol.60. Hong Kong: Elsevier Procedia, pp. 130-135.

KIHU, 2022. Huippu-urheilun instituutti KIHU. [Online]
Available at: https://kihu.fi/
[Haettu 5 2022].

Kruk, v. d. E., Veeger, H. & Helm, v. d. F. S. A., 2017. Design and verification of a simple 3D dynamic model of speed skating. Journal of Biomechanics, Issue 64, pp. 93-102.

LAB, 2021. Motiivi Hyvinvointipalvelut. [Online]
Available at: https://lab.fi/fi/palvelu/motiivi-hyvinvointipalvelut
[Haettu 5 2022].

LADEC, 2021. Lahtelainen urheilusektorin startup-tapahtuma SMASH suuntaa joulukuussa Tokioon. [Online]
Available at: https://www.ladec.fi/tiedotteet/lahtelainen-urheilusektorin-startup-tapahtuma-smash-suuntaa-joulukuussa-tokioon
[Haettu 2 2022].

Leinonen, M., Juuti, J., Jantunen, H. & Palosaari, J., 2016. Energy Harvesting with a Bimorph Type Piezoelectric Diaphragm Multilayer Structure and Mechanically Induced Pre-stress. Energy technology, 4(5), pp. 620-624.

Liikuntakeskus Pajulahti, 2021. LUT ja Pajulahti aikovat tehostaa urheilijoiden harjoittelua simulaation avulla. [Online]
Available at: https://pajulahti.com/2021/10/12/lut-ja-pajulahti-aikovat-tehostaa-urheilijoiden-harjoittelua-simulaation-avulla/
[Haettu 5 2022].

Liikuntakeskus Pajulahti, 2022. Liikuntakeskus Pajulahti. [Online]
Available at: https://pajulahti.com/
[Haettu 4 2022].

Liikuntaneuvosto, 2021. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen (KIHU) arviointi, s.l.: VALTION LIIKUNTANEUVOSTO.

Liukas network, 2022. Osaamisemme. [Online]
Available at: https://www.liukasnetwork.fi/osaamisemme/
[Haettu 5 2022].

MCI the entrepreneurial university, 2022. Medical healt and sport engineering. [Online]
Available at: https://www.mci.edu/en/study/bachelor/medical-health-and-sports-engineering
[Haettu 2 2022].

Motion Research Group, 2022. motion research group / projects. [Online]
Available at: https://uwaterloo.ca/motion-research-group/
[Haettu 5 2022].

Nottingham Trent University, 2022a. beng-hons-sport-engineering. [Online]
Available at: https://www.ntu.ac.uk/course/science-and-technology/ug/beng-hons-sport-engineering
[Haettu 2 2022].

Nottingham Trent University, 2022a. meng-hons-sport-engineering. [Online]
Available at: https://www.ntu.ac.uk/course/science-and-technology/ug/meng-hons-sport-engineering
[Haettu 2 2022].

Olympiakomitea, 2022. Lasten ja nuorten oikeus harrastamiseen on turvattava – liikkumattomuuden velkaa maksetaan vuosikymmeniä. [Online]
Available at: https://www.olympiakomitea.fi/2022/01/10/lasten-ja-nuorten-oikeus-harrastamiseen-on-turvattava-liikkumattomuuden-velkaa-maksetaan-vuosikymmenia/
[Haettu 2 2022].

Oulun Yliopisto, 2022. Mikroelektroniikka. [Online]
Available at: https://www.oulu.fi/fi/yliopisto/tiedekunnat-ja-yksikot/tieto-ja-sahkotekniikan-tiedekunta/mikroelektroniikka
[Haettu 2 2022].

Purdue University, 2022. Raw Ewry Sports Engineering Center. [Online]
Available at: https://engineering.purdue.edu/Engr/Ewry
[Haettu 2 2022].

Research and Markets, 2022. Sports Technology Market Research Report by Technology (Device, eSports, and Smart Stadium), Sports Types, Region (Americas, Asia-Pacific, and Europe, Middle East & Africa) - Global Forecast to 2027 - Cumulative Impact of COVID-19. [Online]
Available at: https://www.researchandmarkets.com/reports/5456885/sports-technology-market-research-report-by?utm_source=CI&utm_medium=PressRelease&utm_code=s9x4hk&utm_campaign=1652492+-+The+Global+Sports+Technology+Market+is+Expected+to+Reach+Revenues+of+USD+36.81+bill
[Haettu 4 2022].

Salo, A., 2022. Johtaja, KIHU, PhD [Haastattelu] (21. 3. 2022).

Sheffield Hallam University, 2022a. msc-sports-engineering. [Online]
Available at: https://www.shu.ac.uk/courses/sport-and-physical-activity/msc-sports-engineering/full-time/2022
[Haettu 2 2022].

Sheffield Hallam University, 2022b. Sports Engineering Research Group. [Online]
Available at: https://www.shu.ac.uk/sport-physical-activity-research-centre/sports-engineering
[Haettu 5 2022].

Sigrist, R. ym., 2014. Sonification and haptic feedback in addition to visual feedback enhances complex motor task learning. Teoksessa: Experimental brain research. Vol. 233 (3) toim. Berlin: Springer, pp. 909-925.

Sports Lab, 2022. Sports lab. [Online]
Available at: https://www.sportslab.fi/?palvelu=1158
[Haettu 2 2022].

Sram, 2022. Quarq Dzero DUB power meter. [Online]
Available at: https://www.sram.com/en/quarq/models/pm-dz-spdr-d1
[Haettu 2 2022].

Technische Universität Chemnitz, 2022a. Sports Engineering at TU Chemnitz. [Online]
Available at: https://www.tu-chemnitz.de/mb/sgt/en/studies/studies.php
[Haettu 2 2022].

Technische Universität Chemnitz, 2022b. Research. [Online]
Available at: https://www.tu-chemnitz.de/mb/sgt/en/research/publications.php
[Haettu 2 2022].

Trainesense LTD, 2022. Trainesense Shop. [Online]
Available at: https://trainesense-shop.myshopify.com
[Haettu 4 2022].

Trainesense, 2022. SmartPaddle. [Online]
Available at: https://www.trainesense.com/
[Haettu 2 2022].

TU Clausthal, 2022. Sports engineering. [Online]
Available at: https://www.tu-clausthal.de/en/prospective-students/degree-programs/bachelors/sports-engineering
[Haettu 2 2022].

TU Delft, 2022. Sports engineering institute. [Online]
Available at: https://www.tudelft.nl/sports-engineering-institute
[Haettu 2 2022].

Turun AMK, 2021. Liikunta- ja toimintakykylaboratorio, LiiLab. [Online]
Available at: https://www.turkuamk.fi/fi/tyoelamapalvelut/palvelut/liikunta-ja-toimintakykylaboratorio-liilab/
[Haettu 4 2022].

Turun AMK, 2022. Turun AMK. [Online]
Available at: https://www.turkuamk.fi/fi/
[Haettu 4 2022].

Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021. Alueiden välisen yhteistyön ideahaun ideavaiheenjulkiset tiivistelmät. [Online]
Available at: https://tem.fi/documents/1410877/75373042/Alueiden+v%C3%A4lisen+yhteisty%C3%B6n+ideahaun+julkiset+tiivistelm%C3%A4t+2021.pdf/97ab4bb2-f275-9b11-bab3-9ece95b38601/Alueiden+v%C3%A4lisen+yhteisty%C3%B6n+ideahaun+julkiset+tiivistelm%C3%A4t+2021.pdf?t=16209856
[Haettu 2 2022].

University of Adelaide, 2022a. Sport Engineering and Biomechanics. [Online]
Available at: https://ecms.adelaide.edu.au/research-impact/sports-engineering-and-biomechanics
[Haettu 2 2022].

University of Adelaide, 2022b. sports-engineering. [Online]
Available at: https://ecms.adelaide.edu.au/engage-with-us/facilities/sports-engineering-facilities
[Haettu 2 2022].

University of Strathclyde, 2022. sportsengineering. [Online]
Available at: https://www.strath.ac.uk/studywithus/subjects/sportsengineering/
[Haettu 2 2022].

University of Waterloo, 2022a. Biomechanics and Sports engineering. [Online]
Available at: https://uwaterloo.ca/motion-research-group/publications/biomechanics-and-sports-engineering
[Haettu 2 2022].

University of Waterloo, 2022b. Biomedical Engineering. [Online]
Available at: http://ugradcalendar.uwaterloo.ca/page/ENG-Biomedical-Engineering
[Haettu 2 2022].

Valtiovarainministeriö, 2021. Suomen teknologiapolitiikka 2020-luvulla : Teknologialla ja tiedolla maailman kärkeen, Helsinki: Valtiovarainministeriö.

Vierola, S., 2022. Innovaatiotiimin koordinaattori [Haastattelu] (21. 3. 2022).

Vuokatti Sport, 2022. Vuokatti Sport. [Online]
Available at: https://vuokattisport.fi/
[Haettu 4 2022].

Väänänen, I., 2022. Liikuntateknologista vaikuttavuutta kansallisessa yhteiskehittämisverkostossa. LAB Pro.. [Online]
Available at: https://www.labopen.fi/lab-pro/liikuntateknologista-vaikuttavuutta-kansallisessa-yhteiskehittamisverkostossa/
[Haettu 4 2022].

Washington State University, 2022. Sport-engineering. [Online]
Available at: https://mme.wsu.edu/sports-engineering/
[Haettu 2 2022].

Wheelpower, 2021. Wheelpower. [Online]
Available at: http://www.wheelpower.online/
[Haettu 5 2022].