

**KIVÄÄRIAMMUNNAN LIIPASUVOIMIEN MITTAUSMENETELMÄN
KEHITTÄMINEN, TESTAUS JA VALIDOINTI**

Pasi Paukkonen

Biomekaniikan Pro gradu -
tutkielma

Hyvinvointiteknologia

Kevät 2013

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Taija Juutinen

TIIVISTELMÄ

Paukkonen, Pasi, 2012. Kivääriammunnan liipaisuvoimien mittaussuomenetelmän kehittämisen, testaus ja validointi. Biomekaniikan pro gradu-tutkielma. Liikunta-biologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 52 s.

Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen (KIHU) ammunta- projektin käytössä ei ole tähän mennessä ollut käytössä luotettavaa liipaisuvoimien mittaussuomenetelmää. Ensimmäisenä tarkoituksena oli kehittää yhdessä KIHU:n kanssa uusi menetelmä, jolla voidaan luotettavasti mitata liipaisuvoimia ensisijaisesti kiväärilajien ampujilla. Toiseksi uusi menetelmä oli tarkoitus testata ja validoida toistomittausten avulla.

Uutta menetelmää varten testattiin monia erilaisia mittaussuomenetelmät, kuten venymäliuskkoja ja paineantureita. Liipaisinten pienen koon ja matalien liipaisuvoimien vuoksi lopulta päädyttiin paineantureihin. Useita erilaisia paineanturimalleja testattiin ja näistä parhaimmaksi osoittautui Interlink Electronicsin FSR 400-sarjan anturi. Anturi integroitiin käytettävissä oleviin kolmeen liipaisimeen. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että liipaisimiin jouduttiin tekemään rakenteellisia muutoksia, jotta anturit saataisiin asennettua liipaisimen sisään.

Valmiille liipaisimille tehtiin KIHU:n kiväärillä toiminnan testaus, jossa huomattiin, että liipaisimet mittasivat hyvin tai kohtuullisesti liipaisuvoimia jopa reunasta liipaistessa. Tämän jälkeen suoritettiin toistomittaukset kahdella koehenkilöllä. Liipaisimien 3 ja 4 liipaisukohtien välillä oli nähtävissä samanlainen trendi, kun taas liipaisin 5 erosi tältä osin kahdesta muusta liipaisimesta. Liipaisimien liipaisukynnysten välillä oli kuitenkin merkitsevä ero.

Uusi liipaisuvoimien mittaussuomenetelmä osoittautui pääosin toimivaksi. Liipaisimia ei ole kuitenkaan kokeiltu vielä leiriolosuhteissa, joten ne täytyy vielä testata urheilijoiden kivääreillä, jotta niiden tarkoituksenmukainen toiminta voidaan varmistaa.

Avainsanat: kivääriammunta, liipaisuvoimien mittaaminen, menetelmäkehitys

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	5
2 VOIMA JA SEN MITTAAMINEN	7
2.1 Käsitteitä	7
2.2 Venymäliuskoihin perustuva mittaaminen.....	8
2.3 Paineen jakautumiseen perustuva mittaaminen	10
2.4 Muita menetelmiä voiman mittaamiseen	11
3 AMMUNTASUORITUS	13
3.1 Varusteet	13
3.2 Tekniikka.....	14
3.2.1 Liipaisu.....	14
3.2.2 Muut osatekijät.....	19
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	22
5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	23
5.1 Menetelmien kartoitus liipaisuvoimien mittaukseen	23
5.1.1 Lähtökohdat.....	23
5.1.2 Kartoitettuja menetelmiä.....	24
5.1.3 Valittu liipaisuvoimien mittausmenetelmä	28
5.2 Liipaisinten testaus.....	29
5.3 Koehenkilöt	31
5.4 Liipaisinten toiminnan testaus.....	31
5.5 Toistomittaukset.....	32
5.6 Tilastolliset menetelmät	32
6 TULOKSET	33
6.1 Liipaisinten toiminnan testaus.....	33
6.1.1 Liipaisin 3	33
6.1.2 Liipaisin 4	35
6.1.3 Liipaisin 5	37

6.2 Toistomittausten tulokset	39
7 POHDINTA.....	44
7.1 Liipaisinten toiminnan testaus.....	44
7.2 Toistomittaukset.....	46
7.3 Vanha vai uusi mittausmenetelmä	47
8 LÄHTEET	49
9 LIITE 1. TOISTOMITTAUSTEN MITTAUSDATA.....	52

1 JOHDANTO

Kilpa-ammunnan suoritukseen vaikuttavia osatekijöitä, joita ovat pito, tähtäys, liipaisu ja jälkipito, on voitu mitata mutkattomasti liipaisua lukuun ottamatta. Liipaisuvoimien mittaamista hankaloittavat ampujien erilaiset liipaisutyylit ja liipaisimet. Tähän mennessä ongelmaan ei ole keksitty toimivaa ratkaisua, joka olisi yleisesti kilpa-ammuntaa tutkivien henkilöiden tiedossa. SCATT (SCATT Company, Moskova, Venäjä) on tuonut markkinoille ammunnan harjoitteluun liittyviä järjestelmiä, joista yksi on liipaisinvoimaa mittaava liipaisin (SCATT Company). Yksi tärkeimmistä asioista liipaisuvoiman mittauksen kannalta on, että voimaa voitaisiin mitata ampujien käyttämällä liipaisimilla. Tämä ei onnistu SCATT-liipaisimen avulla.

Kilpa-ammunnan lajeja ovat kivääri, pistooli, haulikko, riistamaali, practical-ammunta, siluetti, kasa-ammunta ja vammaisampumaurheilu (Suomen Ampumaurheiluliitto 2011). Olympialajeja näistä ovat tällä hetkellä kivääri, pistooli ja haulikko (International Shooting Sport Federation 2011). Kilpa-ammunnan lajikirjo on sen verran suuri, ettei tässä työssä ole tarkoituksenmukaista käydä niitä kaikkia yksityiskohtaisesti läpi. Tutkimuksessa keskitytäänkin kivääriammuntaan, koska liipaisuvoimien mittaamenetelmä tullaan ensisijaisesti kehittämään kiväärien liipaisimia varten ja mittaukset tullaan tekemään kiväärillä. Pyrkimyksenä on, että mittaamenetelmää voitaisiin käyttää myöhemmin myös pistooliammunnassa.

Kivääriammunta voidaan jakaa muutamaankin eri alaluokkaan, joita ovat ilmakivääri, pienoiskivääri ja urheilukivääri ja muut kiväärilajit. Ilmakivääriammunnassa käytetään paineilma- tai kaasulla toimivia kaliiperiltaan enintään neljän ja puolen millimetrin kivääreitä, joilla ammutaan 10 metrin etäisyydeltä tauluun, jonka kymppin halkaisija on puoli millimetriä. Kilpailuissa ampuminen tapahtuu pystystä ilman tukea. Miesten pienoiskivääriä ammutaan 50 metrin matkalta tauluun, jonka kymppin halkaisija on 10,4 millimetriä. Aseena käytetään kaliiperiltaan 5,6 millimetrin pienoiskivääriä, jonka paino saa korkeintaan olla kahdeksan kilogrammaa. Miehillä kilpailulajeja on kaksi: kolmen asennon (makuu, polvi, pysty) täysottelu ja makuuasentokilpailu. Naisten pienoiskiväärin eli urheilukiväärin poikkeavuus miehiin nähden on aseiden paino, joka saa olla enintään kuusi ja puoli kilogrammaa. Naisilla on myös kolmen asennon täysottelu ja ma-

kuuasentokilpailu. Muihin kiväärilajeihin kuuluvat 300 metrin kiväärilajit, joita ovat vapaakivääri ja vakiokivääri. Kummassakaan lajissa aseiden kaliiperit eivät saa olla yli kahdeksan millimetriä. Kympin halkaisija taulussa on 100 millimetriä. Vapaakiväärissä aseeseen voi tehdä muutoksia, esimerkiksi aseiden massaa ei ole rajoitettu. Vakiokiväärissä aseiden muokkauksessa on rajoituksia, muun muassa aseiden massa ei saa ylittää viittä ja puolta kilogrammaa. (International Sport Shooting Federation 2009, 312–317.)

Yksityiskohtaisempaa tietoa kivääriammunnan lajeista voi löytää Marko Tanskasen kandidaatin tutkielmasta ”Kivääriammunnassa vaikuttavat voimat ja niiden mittaaminen”.

Tässä vaiheessa on aiheellista kiittää KIHU:n työntekijöitä Simo Ihalaista ja Sami Virolaa sekä liikuntalaboratorion teknisen osaston laboratorioinsinööriä Seppo Seppälää avusta työn teossa, materiaalihankinnoista ja konsultointiavusta.

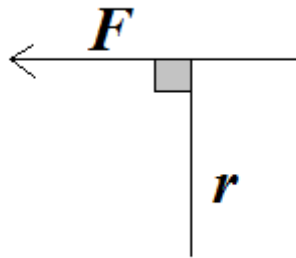
2 VOIMA JA SEN MITTAAMINEN

2.1 Käsitteitä

Voima. Voima määritellään kappaleen fyysisenä vuorovaikutuksena ympäristöönsä. Esimerkiksi, kun kappaleen vauhti hidastuu, tämän saa aikaan voima. Se siis aiheuttaa muutoksen kappaleen liiketilassa eli sitä vaaditaan liikkeen aloittamiseen, lopettamiseen tai muuttamiseen. Voiman yksikkö on Newton (N). Voimalla on aina suuruus, suunta ja vaikutuspiste. Näiden kolmen määritelmän vuoksi voima on vektorisuure. Linearisessa liikkeessä vain voiman suuruus ja suunta ovat tärkeitä. Kun on kyse kiertoliikkeestä, on huomioitava myös voiman vaikutuspiste. Biomekaniikassa ollaan kiinnostuneita voimista, jotka vaikuttavat jäykkään tai muotoa muuttavaan kappaleeseen. Muotoa muuttavien kappaleiden osalta voimat jaetaan sisäisiin ja ulkoisiin voimiin. Liikkeen tutkimusta, jossa voima otetaan huomioon, kutsutaan kinetiikaksi. Voimien vaikutukset kappaleeseen voidaan määrittellä mekaniikan peruslaeilla. (Caldwell ym. 2004, 73; Enoka 2008, 41.) Luonnossa vaikuttaa neljä perusvoimaa: gravitaatiovoima, elektromagneettinen voima ja vahva sekä heikko vuorovaikutus. Näistä gravitaatiovoima ja elektromagneettinen voima ovat biomekaniikan kannalta oleellisia, koska kaikki kappaleeseen liittyvät voimat ovat näiden kahden perusvoiman yhdistelmiä. (Caldwell ym. 2004, 75.)

Mekaniikan peruslait. Voiman ja liikkeen suhdetta toisiinsa on kuvattu kolmella mekaniikan peruslailla. Myös Newtonin laeiksi kutsutut kolme mekaniikan peruslakia kehitti Isaac Newton. Jatkuvuuden laissa kappale jatkaa suoraviivaista ja tasaista liikettä tai pysyy levossa, jos siihen ei kohdistu voimia. Muutos liikkeessä tapahtuu, kun kappaleeseen vaikuttavien voimien summa ei ole tasapainossa. Dynamiikan laissa kappaleeseen kohdistuva tietyn suuruinen voima F aiheuttaa kappaleelle tietyn suuruisen kiihtyvyyden a , kun kappaleen massa m on vakio. Tämä voidaan esittää yhtälönä $F = ma$. Voiman ja vastavoiman laissa kaksi kappaletta kohdistavat toisiinsa yhtä suuren mutta vastakkaisuuntaisen voiman. Tämä kolmas laki toimii pohjana monille voimanmittausmenetelmille, kuten venymäliuskoille ja pietsoelektrisille kiteille. (Enoka 2008, 41–43.)

Voiman momentti. Voiman kykyä synnyttää kiertoliikettä kutsutaan voiman momentiksi tai vääntömomentiksi. Ihmisen liike sisältää aina kehonosien kiertoliikettä nivelakseleidensa suhteen, joka saadaan aikaan ulkoisen voiman vaikutuksesta tai lihasaktivaation avulla. Vääntömomentin τ määrittämiseen vaaditaan kappaleeseen kohdistuvaa vääntävää voima F ja sen kohtisuora etäisyys kiertoakselista r , jota kutsutaan vipuvarreksi (kuva 1). Näiden muuttujien yhteys voidaan esittää yhtälönä $\tau = r \times F$. Vääntömomentin yksikkö on Newtonmetri (Nm). (Enoka 2008, 44–45.)



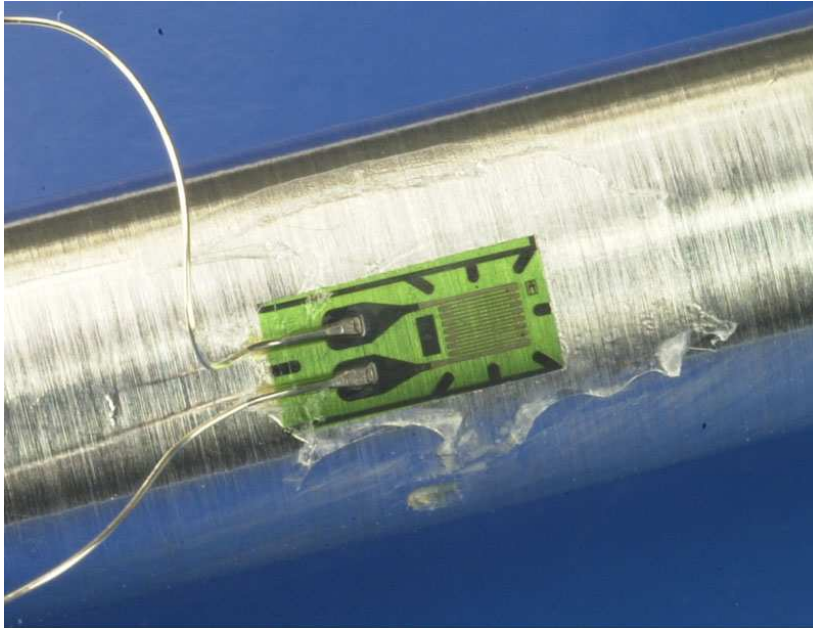
KUVA 1. Vääntömomentin määrittäminen

Paine. Vaikka voiman vektorilla on tietty vaikutuspiste, käytännön tasolla monet ulkoiset voimat syntyvät kontaktialueesta, eivät niinkään yhdestä pisteestä. Voimaa F , jonka vaikutus on jakautunut tietylle alueelle A , kutsutaan paineeksi. Paine voidaan määrittää yhtälöstä $p = F/A$. Sen yksikkö on Newtonia neliometriä kohti (N/m^2) tai pascal (Pa). (Caldwell ym. 2004, 97–98.)

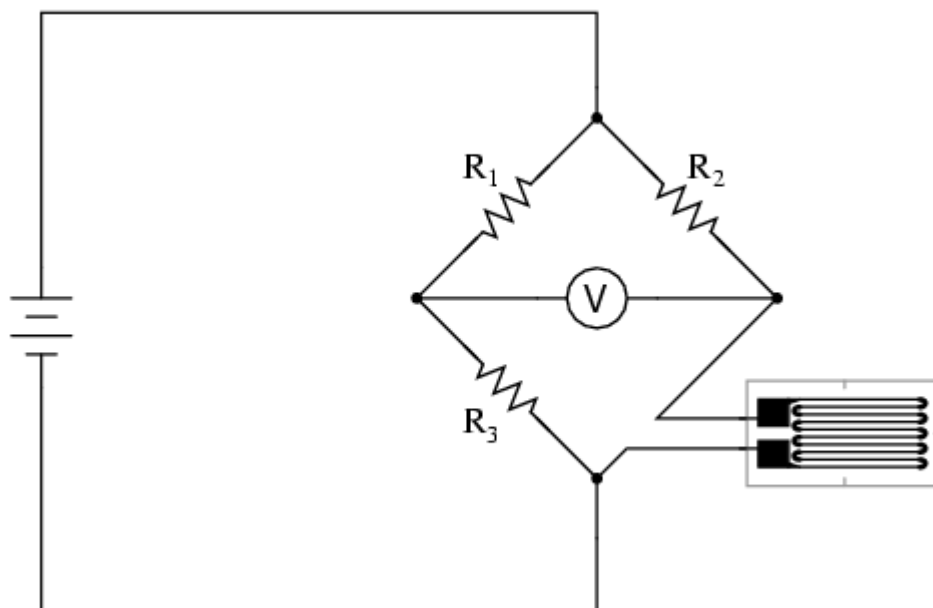
2.2 Venymäliuskoihin perustuva mittaaminen

Kaikissa rakenteissa syntyy muodonmuutoksia, kun niihin kohdistuu ulkoisia voimia. Muodonmuutos aiheuttaa rakenteessa pituuden muutoksia, joita voidaan mitata tarkasti vastusvenymäliuskojen avulla (kuva 2). Venymän mittaamiseen tekniikat soveltuvat lähinnä jäykkien materiaalien, kuten luun ja metallien, muodonmuutosten mittaamiseen. Jo pieni ulkoinen kuormitus aiheuttaa muodonmuutoksen materiaalissa ja materiaaliin kiinnitetyssä venymäliuskassa. Sähköiset vastusvenymäliuskat, kuten folioliuskat ja

elohopealiuskat, ovat yleisesti käytettyjä. Liuskat asennetaan, siten että ne mittaavat sähköisen resistanssin muutosta mekaanisen muodonmuutoksen tapahtuessa rakenteessa. Tätä menetelmää kutsutaan Wheatstonen sillaksi. Rakenteessa syntyvä muodonmuutos aiheuttaa sillassa resistanssin muutoksen, joka muutetaan mekaaniseksi venymäksi liuskavakiolla. Kuvassa 3 vastukset on asennettu neljännessilltan. (Nigg & Herzog 1999, 264–265, 332–333.)



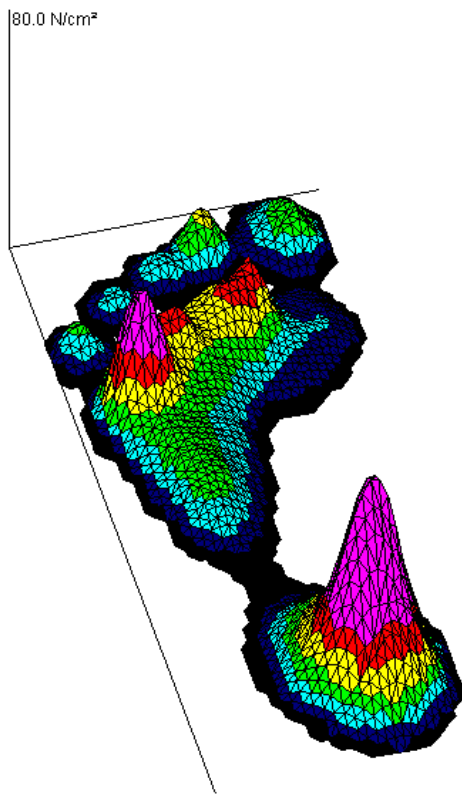
KUVA 2. Venymäliuska (sensors-loadcells.com)



KUVA 3. Neljäsosasilta (Mukaiilu allaboutcircuits.com)

2.3 Paineen jakautumiseen perustuva mittaaminen

Paineen jakautumisen mittausta käytetään paljon biomekaanisessa ja kliinisessä tutkimuksessa. Kävelyn analyysissä voimalevyn avulla voidaan tutkia muun muassa plantaaripaineen jakautumiseen jalkapohjan eri alueilla tai voiman keskipisteen liikkeeseen. Urheilujalkineiden valmistajat ovat kiinnostuneita erilaisten jalkineiden rakenteiden vaikutuksesta paineen jakautumiseen. Tähän tarkoitukseen käytetään painepohjallisia, joita voidaan käyttää erilaisten jalkineiden, kuten suksimonon, paineen jakautumisen mittauksessa. Kuvassa 4 on Novelin (Novel GmbH, München, Saksa) EMED -alustalla mitattu plantaaripaineen jakautuminen kävelyn aikana. Voimalevyjen ja painepohjallisten lisäksi paineen jakautumista voidaan mitata yksittäisillä antureilla, kun kyseessä on paikallisista voimista. (Nigg & Herzog 1999, 285–286.)



KUVA 4. Paineen jakautuminen jalkapohjassa kävellessä (clininalgaitanalysis.com)

Paineen jakautumiseen perustuva voimanmittausanturien tekniikka perustuu pietsoresisitiivisyyteen, kuten FlexiForcen (Tekscan, Inc., Boston, Yhdysvallat) ja Interlinkin (Interlink Electronics, Inc., Camarillo, Yhdysvallat) voima-antureissa, joka tarkoittaa sitä,

että paineen kasvaessa anturin mittausalueen päällä, anturin resistanssi pienenee. Mitattava alue voidaan tehdä musteesta, joka havaitsee paineen. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty liipaisuvoimien mittaukseen soveltuvia antureita. Kapasitanssiin ja konduktanssiin perustuvissa paineantureissa on kaksi sähköä johtavaa kalvoa, joiden välissä on joko sähköä johtamaton (kapasitanssi) tai sähköä johtava (konduktanssi) materiaali. Paineen kohdistuessa sensoriin kapasitiivisessa anturissa sähköä johtamaton materiaali puristuu, sähköä johtavat kalvot lähenevät toisiaan ja tämä aiheuttaa sähkövarauksen muutoksen. Konduktiivisessa anturissa taas sähköinen resistanssi muuttuu, kun paine kohdistuu anturiin ja täten välimateriaali puristuu. (FlexiForce® Sensors User Manual 2009, 8; FSR 400 Data Sheet; Caldwell ym. 2004, 98.)



KUVA 5. Interlink 402 voima-anturi (interlinkelectronics.com)



KUVA 6. FlexiForce A401 voima-anturi (tekscan.com)

2.4 Muita menetelmiä voiman mittaamiseen

Voimien mittaukseen soveltuvia kalvomaisia anturirakenteita ovat elektromekaaninen filmi ja polyvinyylideenifluoridi. Elektromekaaninen filmi (EMFi) on ohut polypropyleenista tehty kalvo, jolla on erityinen solumainen kolmikerroksinen rakenne. Paksuudeltaan materiaali on kuitenkin vain muutamia mikrometrejä. Rakenteensa vuoksi kalvo on herkkä dynaamisille voimille, jotka kohdistuvat kohtisuoraan kalvon pintaa vasten.

Myös paineen mittaaminen onnistuu EMFillä. Koska liipaisussa on kyse lähes staattisista voimista, EMF-kalvo ei ole kovin hyvin soveltuva käyttötarkoitukseen. EMF-kalvon avulla on tutkittu muun muassa voimistelijoiden ja hyppylaudan välisiä reaktivoimia. EMF-kalvolla on myös mitattu kivääriammunnassa rekyylistä aiheutuvia voimia. (Moi-sio 2004, 6; Sähköpostikeskusteluista Matti Salosen kanssa.)

Polyvinyylideenifluoridi (PVDF) kuuluu polymeereihin ja on kestopuovi. PVDF:a voidaan soveltaa anturitekniikkaan ja siitä tehdyt anturit ovat ohuita kalvoja. Voiman mittaaminen perustuu piezoelektrisyyteen. EMF- tai PVDF-kalvosta tehdyt anturit ovat lisäksi kevyitä. Kalvojen periaate ja toiminta on kuvattu tarkemmin esimerkiksi Satu Kärkin väitöskirjasta ”Film-type sensor materials in measurement of physiological force and pressure variables”. (Kärki 2009, 12–15; Shirinov ja Schomburg 2008.)

Optisia voimanmittausmenetelmiä ovat valokuidut. Valokuitu laitetaan esimerkiksi jän-teen läpi, ja kun jänteeseen kohdistuu voima, joka venyttää jännettä. Jänne puristaa va-lokuitua, jolloin kuidun läpi kulkeva valon määrä vähenee. Tämä voidaan rekisteröidä voiman muutosena. Jopa yksittäisen lihassolun tuottama voima voidaan mitata tällä tekniikalla. (Komi ym. 1996, 94; Fearn ym. 1993.)

3 AMMUNTASUORITUS

Hyvään ammuntasuoritukseen vaaditaan vartalon hallintaa, hyvää keskittymis- ja päätöksentekokykyä. Nämä ominaisuudet tulisi vielä voida ajoittaa liipaisun kanssa, jotta tässä urheilulajissa voisi menestyä. (Mullineaux ym. 2012.) Ammuntasuoritus sisältää vaiheita, jotka suoritetaan tietyssä järjestyksessä. Näitä ovat asennon ottaminen, asennon tarkistus, syvä hengitys, suunnan tarkistus, tuulen tarkistus, tähtäyslinjan tarkistus, lihasten kontrollointi, vakauttaminen, tarkka tähtäys, liipaisu, jälkipito, aseiden laskeminen alas ja analyysi. Näistä toimenpiteistä tuulen tarkistusta ei tarvitse huomioida sisätiloissa tapahtuvassa ammunassa. (Klinger 1981, 170.)

3.1 Varusteet

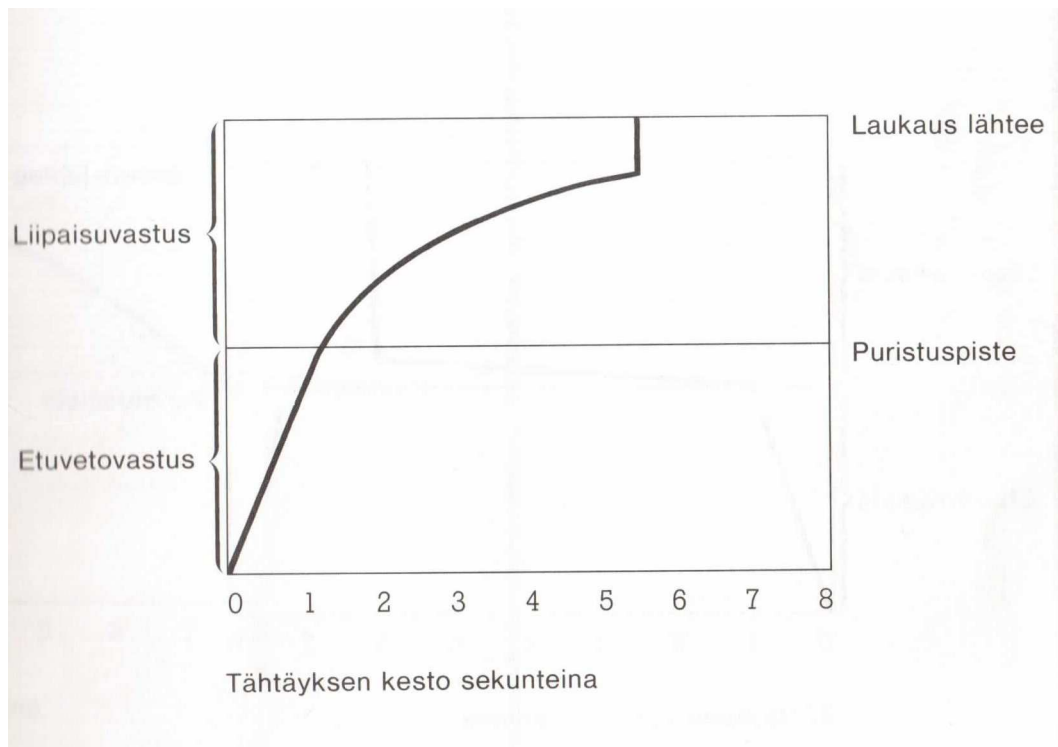
Kansainvälinen ampumaurheiluliitto (ISSF) on luonut säännöt ampumaurheilussa käytettäville varusteille. Säännöillä pyritään estämään suorituskykyä parantavien varusteiden käyttö, jollaisia voivat olla liikkumista tai taipuisuutta vähentävät vaatteet ja välineet. Ampumatakkien ja -housujen on oltava joustavaa materiaalia, jonka fysikaaliset ominaisuudet eivät muutu ampumaolosuhteissa, esimerkiksi housut eivät muutu jäykkemmiksi. Sama koskee myös kaikkia ammunassa käytettäviä vuorauksia, pehmusteita ja vahvikkeita. Varusteiden maksimipaksuudet on määritetty ISSF:n kilpailusäännöissä. Ilmakiväärin maksimipituus ei saa ylittää 850 millimetriä. Makuu- ja polviammunassa käytetään apuna kiväärin ampumahihnaa. Se saa olla korkeintaan 40 millimetriä leveä. Hihnan käyttötapa on määritetty tarkasti säännöissä. Sitä saa pitää vain tukikäden käsivarren yläosan ympärillä, sen pitää kulkea vain yhdeltä puolen kättä tai rannetta ja se ei saa koskettaa kivääriin hihnan kiinnitintä ja otteen rajoitinta lukuun ottamatta. (International Shooting Sport Federation 2011, 298, 300, 304.)

3.2 Tekniikka

Ammuntasuoritus voidaan jakaa neljään osatekijään: pito, tähtäys, liipaisu ja jälkipito (Ihalainen ym. 2011). Ammuntasuorituksen osatekijöitä on tutkittu paljon niin suoritukseen vaikuttavien muuttujien kannalta kuin ampujille reaaliajassa annetun palautteen vuoksi. Ampujille kehitettyjen palautejärjestelmien on nähty olevan hyödyllisiä ampujan kehittymisen kannalta verrattuna siihen, että ampuja ei saa reaaliaikaista palautetta. (Mullineaux ym. 2012.) Tarkempi kuvaus kivääriammunnan tekniikasta ja asennoista löytyy Marko Tanskasen kandidaatin tutkielmasta. Ammuntatekniikan osalta tässä kapaleessa keskitytään liipaisutapahtumaan.

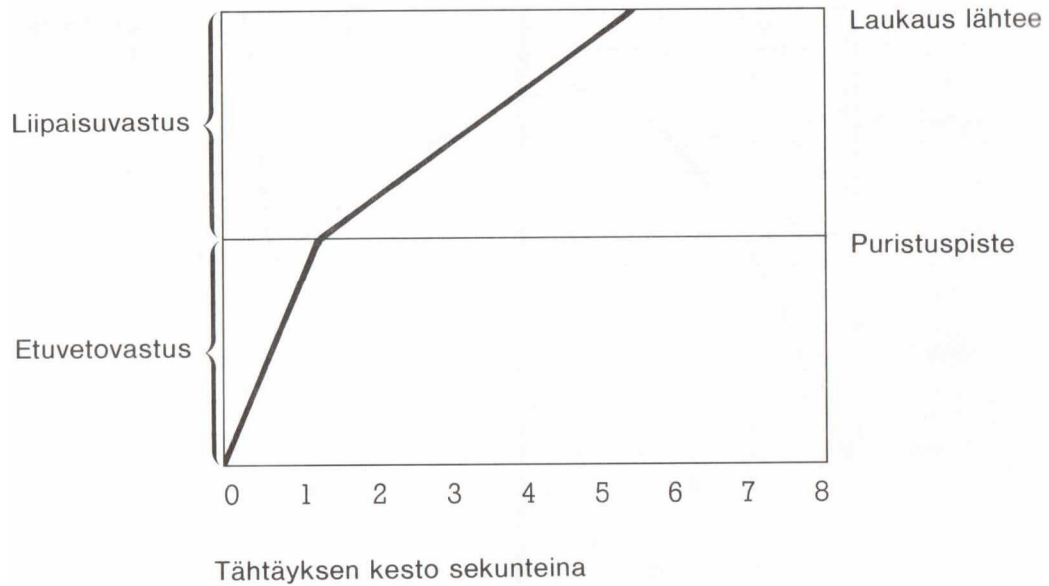
3.2.1 Liipaisu

Liipaisussa ampuja pyrkii kasvattamaan tasaisesti liipaisimeen kohdistuvaa painetta siten, ettei liipaisun aikana synny nykäyksiä. Yleisin liipaisinmalli kivääreissä on etuvetoliipaisin. Tämän tyyppisen liipaisimen kohdalla liipaisu koostuu vaiheista, joiden kulku liipaisussa on seuraava: etuvetovastus, puristuspiste ja liipaisuvastus. Etuvetovastuksen ylityksen jälkeen seuraa puristuspiste. Puristuspisteen lopussa saavutaan liipaisuvastukselle. Liipaisuvastuksen ylitys johtaa kiväärin laukeamiseen. Etuvedollisen liipaisun vaiheet on esitetty kuvassa 7. Harjoittelun myötä ampuja oppii tuntemaan liipaisimen, vastukset ja voimatasot. Tämän myötä suorituksesta saadaan poistettua yksi virhelähde. Tiukalla kämmenen puristuksella asetta saadaan vakautettua ja liipaisimeen saadaan hyvä kontakti sormella. Aseen perän on oltava sen pituinen, että kämmen, ranne ja kyynärvarsi muodostavat suoran linjan. Etusormen paikka liipaisimella riippuu liipaisuvastuksesta. Jos vastus on todella pieni, liipaisu tapahtuu distaalinivelen keskiosalla. Liipaisu tulee suorittaa rekyylin suuntaisesti suoraan taaksepäin heilahduksien välttämiseksi. (Ihalainen ym. 2011; Klinger 1981, 157–160.)



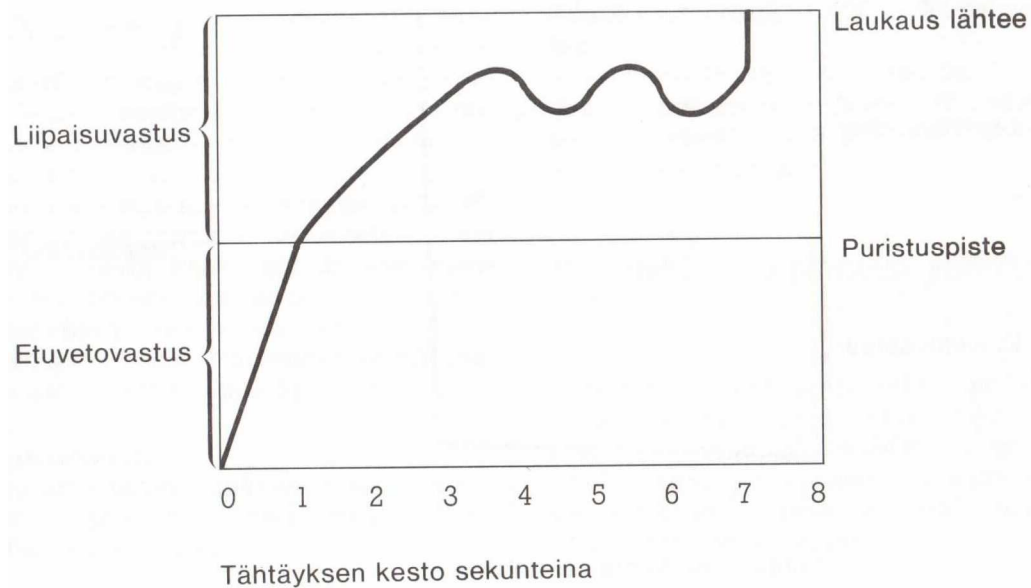
KUVA 7. Tietoisien liipaisu vaiheet etuvetoliipaisimella (Klinger 1981)

Liipaisuaste voidaan saavuttaa monella eri tavalla. Tietoisessa liipaisuassa ampuja liipaisee, kun hän on saavuttanut ideaalikuvion tai pitoalueen. Tämä tapa voidaan oppia harjoittelun myötä. Kokemattomilla ampujilla liipaisu voi tapahtua liian nopeasti, jolloin syntyy sivureaktioita, joiden seuraukset näkyvät ammuttuloksessa. Ajan myötä ampuja oppii näkemään ihannekuvionsa ja sormen koukistus tapahtuu automaattisesti. Tällöin ihannekuvion näkeminen ja liipaisuasteen ylittäminen tapahtuu lähes ilman viivettä. Kuvassa 7 on kuvattu tietoisien liipaisu vaiheet. Jos ampuja pystyy pitämään kiväärinsä erittäin vakaana, tällöin tiedoton liipaisu on paras tapa parhaan tuloksen saavuttamiseksi. Puristusasteen saavuttamisen jälkeen ampuja lisää tasaisesti liipaisuun kohdistuvaa painetta. Keskittyminen on suunnattu tähtäykseen ja tauluun. Painetta lisätään tasaisesti, ampuja ei tiedä täsmälleen milloin ase laukeaa. Laukauksen jälkeen keskittyminen on edelleen tähtäyksessä, mikä vähentää sivureaktioita, kuten vajaata jälkipi-toa tai rekylin vastaanottamista. Kuten todettua, tämä tapa vaatii vakaan tähtäyksen pitoalueella. Jos pitoalueelta poistutaan, toiminto on keskeytettävä ja tähtäyskuvion rakentaminen on aloitettava alusta. Tiedottoman liipaisu vaiheet on esitetty kuvassa 8. (Klinger 1981, 163–166.)



KUVA 8. Tiedoton liipaisu (Klinger 1981)

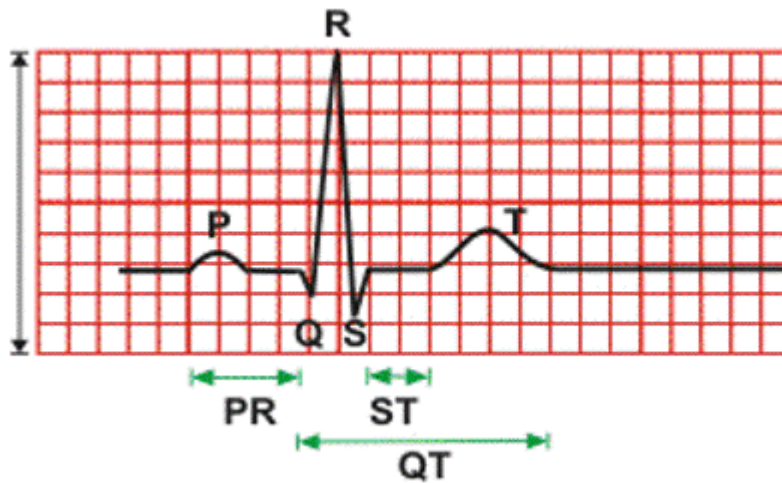
Tietoisen liipaisun pohjalta on kehittynyt sykkivä liipaisutapa. Puristusasteen loppupuolella ampuja vuoroin lisää ja vuoroin vähentää liipaisimeen kohdistuvaa painetta eli voimakäyrä aaltoilee. Tämä parantaa kosketusta liipaisimeen ja helpottaa liipaisuvastuksen ylittämistä. Tapaa käytetään yleensä kylmällä säällä, jolloin kylmä liipaisinsormi voi muuttua tunnottomaksi, jolloin ampuja ei välttämättä tiedä sijaintiaan puristusasteen alueella. Sykkivän liipaisun vaiheet on esitetty kuvassa 9. Mainittujen tapojen lisäksi on myös olemassa muita liipaisutapoja. (Klinger 1981, 167.)



KUVA 9. Sykkivä liipaisu (Klinger 1981)

Liipaisun ajoittaminen ja sydämen toimintakierto. Sydämen syke tuo liipaisun ajoittamiseen oman elementtinsä. Sydämen toimintakierron R-aalto (kuva 10) aloittaa kammiosystolen eli kammiodien supistumisen. Tämä aiheuttaa kehossa pienen nykäyksen, joka ei normaalisti häiritse elämää. Kun otetaan huomioon kilpa-ammunnan luonne tarkkuutta vaativana lajina, pienetkin liikkeet kehossa ovat ratkaisevia suorituksen kannalta. Aiheesta on tehty joitakin tutkimuksia. Helinin ym. 1987 tutkimuksessa selvitettiin suomalaisten kokeneiden huippuampujien liipaisun ajoittamista sydämen toimintakiertoon nähden. Hypoteesina oli, että huippuamputat ajoittavat liipaisun kammiodiastolen kohdalle eli, kun kammiot ovat lepovaiheessa. Ampujilta seurattiin liipaisusormen lihaksen sähköistä aktiivisuutta, sydämen sykliä ja aseensa liikettä. Huippujen tuloksia verrattiin aloittelevien ampujien tuloksiin. Huippuampujien liipaisu tapahtui johdonmukaisesti kammiodiastolen aikana, kun taas aloittelijat saattoivat ampua sekä kammiosystolen että -diastolen aikana. Tämä selittyy sillä, että kokemuksen myötä ampuja oppii tuntemaan kehonsa toiminnan paremmin ja laukaisemaan aseensa kammiodiastolen aikana. Tutkimuksen mukaan paras hetki liipaisulle olisi loppudiastole. Tutkimuksessa huomattiin myös, että huippuampujien sydämensyke liipaisun aikana oli alhaisempi

kuin aloittelijoilla. Tämän perusteella tehtiin johtopäätös, että huippuampujat pystyvät säätämään sydämensykettään kilpailutilanteessa. (Helin ym. 1987.)



KUVA 10. Sydämen toimintakierto (Mukailtu cvphysiology.com)

Konttisen ym. tutkimuksessa tutkittiin kokemattomien ampujien liipaisun ajoitusta sydämen sykliin nähden. Tutkimuksella pyrittiin myös laajentamaan aikaisempaa tietämystä liipaisusuorituksesta. Koehenkilöt olivat varusmiespalveluksen suorittaneita, mutta heillä ei ollut aikaisempaa kokemusta kilpa-ammunnan kivääreistä. Heiltä mitattiin sydämen sykettä, aseiden liikettä ja liipaisun ajoittumista. Ampujat ajoittivat liipaisun useimmiten R-R-intervallin alkupäähän ja ei niin usein loppupäähän. Tämä tarkoittaa sitä, että liipaisu tapahtui siis useammin kammiosystolen aikana ja harvemmin kammiodiastolen aikana. Optimaalisia liipaisuajankohtia olivat R-R-intervallin alku- ja loppupää (0–50% ja 70–99%), kun ampujan suoritus oli keskitasolla tai keskitasoa parempi. Tutkimuksen mukaan kammiodiastole ei siis olisikaan optimaalinen hetki liipaisulle. Sykkeen kestolla ei ollut merkitystä suoritukseen. (Konttinen ym. 2003.)

Metsin ym. tutkimuksessa kohteena olivat nuoret 13–20-vuotiaat kansallisen tason huippuampujat. Hypoteeseja olivat, että kilpa-ampujat osaavat ajoittaa liipaisunsa tiettyyn ajankohtaan R-R-intervallissa ja keskiarvoa parempi suoritus tapahtuu sydämen toimintakierron vaiheessa, jossa ampuja liipaisee useammin suhteessa muihin toimintakierron vaiheisiin. Ampujat pystyivät ajoittamaan liipaisunsa tiettyyn kohtaan sydämen sykliissä ja useimmiten tämä tapahtui R-R-intervallin alkuvaiheessa (10–15%). Ammun-

tatulokset eivät olleet riippuvaisia siitä, mihin kohtaan sydämen sykliä liipaisut ajoittuivat. Helinin ym. (1987) tutkimuksessa liipaisut ajoittuivat taas R-R-intervallin loppupäähän ja tulos oli riippuvainen liipaisun ajoituksesta. Sykkeen kestolla ei ollut tässäkään tutkimuksessa merkitystä suoritukseen. Metsin ym. tutkimuksessa ampujat pyrkivät välttämään liipaisua R-R-intervallin keskivaiheilla (45–60%), koska tällöin sydämen supistumisen aiheuttama mekaaninen liike on suurimmillaan. Tämä huomattiin myös Konttisen ym. (2003) tutkimuksessa. Ampujien olisi hyvä opetella tunnistamaan sydämen syke, koska on selvää, että liipaisun oikealla ajoituksella sydämen sykliin on vaikutusta tulokseen. (Helin ym. 1987; Konttinen ym. 2003; Mets ym. 2007.)

Hengitys ammuntauorituksen aikana. Hengitystahti pystytään sopeuttamaan tilanteeseen ilman tietoista ohjausta. Hengitys tihenee ja syvenee liikuntasuorituksessa ja hermostumisen johdosta. Ammuntauorituksessa hengitys tapahtuu sekä tietoisesti ohjaten että ilman ohjausta riippuen suorituksen vaiheesta. Asennon ottamisen aikana hengitetään ilman tietoista ohjausta. Asennon ollessa karkeasti suunnattu, hengitetään tietoisesti muutaman kerran hieman syvempään. Asentoa hienosäätäessä hengitetään jälleen normaalisti ilman ohjausta. Tähtäysvaiheen aikana hengitystiheys pidennetään 5–8 sekunnin mittaiseksi, koska liipaisu vaatii hengitystauon. Tauko ei saa venyä liian pitkäksi hapenpuutteen ja tästä seuraavan keskittymisen häiriintymisen takia. Hapenpuute johtaa lähes varmasti huonoon laukaukseen. Hengitystauko päättyy vasta laukausta seuraavan jälkipidon jälkeen. Liipaisu voi tapahtua ulos- tai sisäänhengityksen aikana. Ampujat kuitenkin suosivat liipaisua uloshengityksen aikana, koska uloshengitys on löysävä ja keventävä, kun taas sisäänhengitys kiristävä ja lujittava. Ampuma-asennolla ja ampujan kokemuksella voi olla vaikutusta siihen, kumman hengitysvaiheen aikana ampuja suorittaa liipaisun. (Klinger 1981, 130–131.)

3.2.2 Muut osatekijät

Pito. Ammuntatekniikan perusedellytyksenä pidetään hyvää ase- tai pitoa. Pidolla tarkoitetaan tähtäyspisteen liikettä tähtäyksen aikana. Tähtäyspisteen liikkeen suuruutta käy-

tään pidon mittarina. Kehon tasapainon hyvä hallinta suorituksen aikana on hyvän pidon edellytys. (Ihalainen ym. 2011.) Huippuampujien tasapainon hallinnan on todettu olevan paremmalla tasolla verrattaessa kokemattomiin ampujiin. Pienetkin kehon heilahdukset voivat vaikuttaa suuresti suoritukseen. (Ball ym. 2003) Elimistö kertoo tasapainosta ja sen muutoksesta erilaisten palautejärjestelmien kautta, joita ovat tasapainoelimet korvassa, näköaisti ja somatosensorinen järjestelmä, johon kuuluvat reseptorit ihossa, lihaksissa, nivelpusseissa ja jänteissä. Tasapainoa voidaan mitata voimalevyn avulla. Tasapaino voidaan jakaa staattiseen ja dynaamiseen tasapainoon. Staattinen tasapaino tarkoittaa kykyä hallita tasapainoa alustan pysyessä paikoillaan minimaalisilla liikkeillä, kuten nilkan koukistuksella tai ojennuksella. Dynaamisessa tasapainossa tasapaino pyritään säilyttämään, kun alusta on liikkeessä, esimerkiksi kävellessä ja juostessa. Kilpamunnassa on siis kyse staattisen tasapainon hallinnasta. (Hrysmallis 2011.) Pysty- ja polviasennossa ampujan on kyettävä hallitsemaan tasapainonsa sekä anterior/posterior-suunnassa että mediaali- ja lateraalisuunnassa. Kiväärin piipun liikkeen on myös huomattu olevan yhteydessä tasapainon hallintaan mutta tähän ei voi luottaa huippuampujien yhteydessä. On selvää, että ampujat eivät voi säilyttää tasapainoaan stabiilina koko suorituksen ajan ja tutkimukset osoittavat, että tasapainon hallintaa parannetaan suorituksen loppu kohden. Tasapaino ei ole kuitenkaan ratkaiseva tekijä tuloksen kannalta huippuampujilla. Ampujien välillä on myös eroja siinä, kuinka paljon tasapainon hallinta vaikuttaa ammuntasuoritukseen (Mullineaux ym. 2012.)

Tähtäys. Tähtäyksessä tärkeää on vakioda silmän paikka suhteessa etu- ja takatähtäimiin. Ampujan kyky huomata virheitä tähtäyksessä on myös perusedellytys tähtäyksen onnistumisessa. Tutkimuksissa on huomattu, että kokeneilla ampujilla on kehittynyt tähtäykseen vakiointiin erilaisia strategioita. Tähtäyspisteen liikettä on mitattu ja analysoitu Noptel ST 2000 -järjestelmällä, joka perustuu optoelektroniikkaan. Sen avulla pystytään mittaamaan tähtäyksen lisäksi pitoon ja liipaisuun liittyviä muuttujia. (Ihalainen ym. 2011; Zatsiorsky ja Aktov 1990.)

Jälkipito. Aseen rekyyli aiheuttaa piipunsuun ponnahtamisen ja laukauksen jälkeen tähtäin osoittaa taulun yläpuolelle. Laukauksen lähdön jälkeen ampuma-asento säilytetään ja aseella tähdätään taulun keskelle lyhyen aikaa, mitä kutsutaan jälkipidoksi. Tämä

vaihe erottaa toisistaan liipaisun ja aseeseen laskemisen. Liipaisu ja aseeseen laskeminen sulautuvat helposti yhteen, jolloin jälkipito jää vajaaksi ja ase joutuu pois ihanneasennosta, josta seurauksena voi tulla ohilaukauksia. Ilmakivääriammunnassa jälkipito on erityisen tärkeä, koska rekyyli puuttuu. (Klinger 1981, 94, 168.)

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen kivääriammuntaprojektiin liittyy erilaisten ammunta-suorituksen osatekijöiden parametrien mittaaminen. Liipaisuvoimia on mitattu aikaisemmin RIKA:n paineanturilla (RIKA Sport GmbH & CoKG, Micheldorf, Saksa), joka ei kuitenkaan ole ollut toimiva ratkaisu. Paineanturi kiinnitettiin suoraan liipaisimen sormiosan päälle ja liipaisutilanteessa osa sormen tuottamasta voimasta kohdistuu anturin mittausalueen ulkopuolelle sormen puristuessa liipaisinta vasten. Tutkielmassa on tarkoitus kehittää liipaisuvoimien mittaukseen menetelmä, jolla voidaan mitata luotettavasti liipaisuvoimaa. Voimaa mitattaessa on tarkoitus saada näkyviin ampujan tuottama voimaprofiili eli kuinka ampuja kasvattaa painetta liipaisinta vasten lähestyttäessä liipaisukynnystä. Absoluuttisia voima-arvoja ei ole tässä yhteydessä tarkoituksenmukaista selvittää. Liipaisimille, jotka ovat saatavilla (kolme liipaisinta), tehdään toistomittauksen reliabiliteettitutkinta. Ennen tätä tehdään liipaisimille toiminnan testaus, jossa tarkastetaan liipaisimen tarkoituksenmukainen toiminta tarkempia mittauksia ajatellen.

Tutkimuskysymykset

1. Löydetäänkö käyttökelpoinen menetelmä liipaisuvoimien mittaamiseen?
2. Voidaanko uudella menetelmällä mitata luotettavasti liipaisuvoimia?

Hypoteesit

1. Menetelmäkehityksessä saadaan uusi ratkaisu, joka on luotettavampi kuin aikaisempi liipaisumittausmenetelmä.
2. Uusi menetelmä mittaa luotettavasti liipaisuvoimia, mikä todennetaan toistomittauksilla.

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

5.1 Menetelmien kartoitus liipaisuvoimien mittaukseen

5.1.1 Lähtökohdat

Tällä hetkellä suomalaiset kivääriampujat käyttävät viittä liipaisintyyppiä, joista liipaisimet 3 ja 5 ovat rakenteeltaan samanlaisia (kuva 11). Liipaisimet ovat materiaaliltaan metallia tai muovia. MECin (MEC High Tech Shooting Equipment GmbH, Dortmund, Saksa) liipaisinta (liipaisin 1) ei sisällytetty testeihin ja mittauksiin heikon saataavuutensa vuoksi. Myös liipaisin 2 jäi viime hetkillä pois mittauksista, koska anturin sijoittaminen liipaisimeen vaatisi kaksi liipaisinta ja tähän tutkimukseen saatavilla oli vain yksi liipaisin.



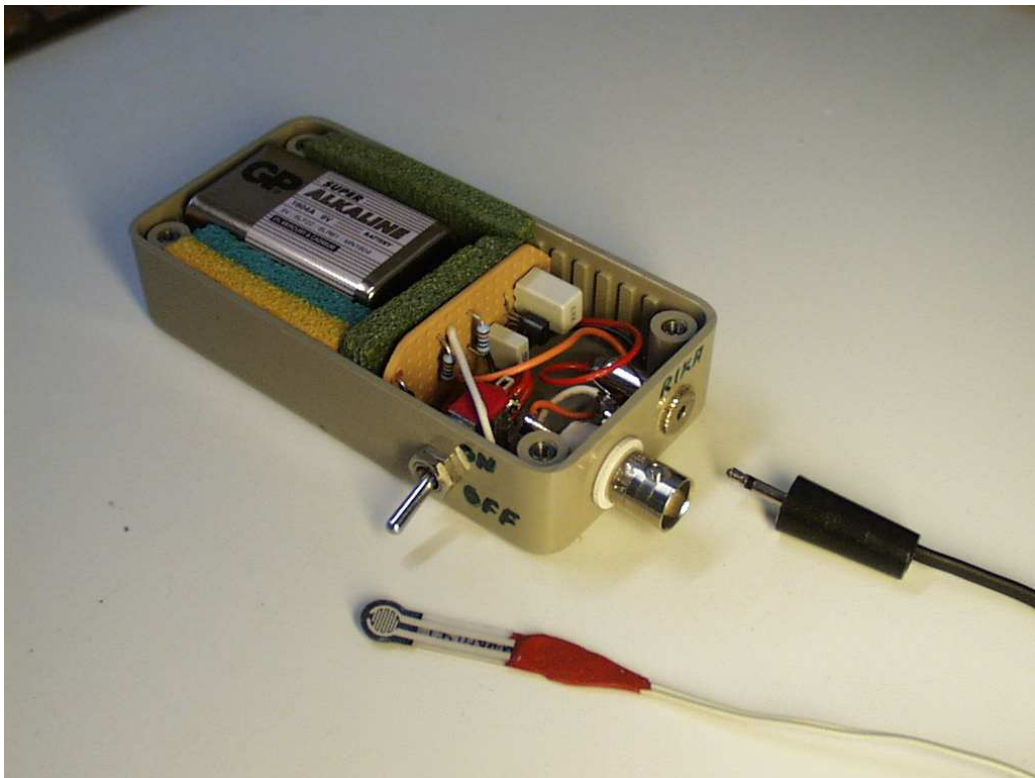
KUVA 11. Ampujien käyttämät liipaisintyyppit

Tarkoituksena liipaisuvoimien mittauksessa on, että ampujalta saadaan mitattua liipaisimeen kohdistettu voima aina liipaisukynnykselle asti, toisin sanoen liipaisuprofiili. Absoluuttisia voima-arvoja ei mitata. Tärkeämpää on siis nähdä tapahtuuko liipaisussa

virheitä, esimerkiksi nykäisyä, joka näkyisi nopeana voimankasvuna liipaisuprofiilissa. Tarkkailun alla olivat erityisesti virheet liipaisussa lähellä liipaisukynnystä eli asean laukeamista.

5.1.2 Kartoitettuja menetelmiä

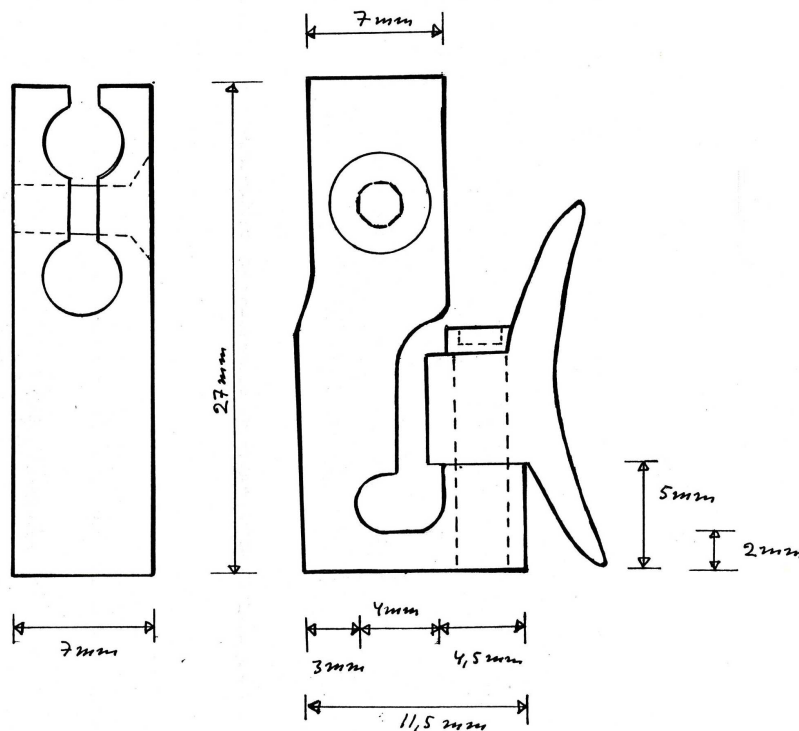
Liipaisuvoimia on viime vuosina mitattu KIHU:lla RIKA:n paineanturilla, jonka painetta mittaava pinta-ala on pieni, minkä vuoksi osa sormen puristusvoimasta jää mittaamatta. Tämä ratkaisu ei toimi kaikilla ampujilla erilaisten liipaisutapojen takia. Esimerkiksi ampujalla, joka liipaisee puristamalla liipaisimen reunasta, paineanturi ei mittaa luotettavasti. Kuvassa 12 on RIKA:n anturi liitántärasioineen. (Sähköpostikeskusteluista Matti Salosen kanssa.)



KUVA 12. RIKA:n anturi ja liitántärasia

Liipaisinkoneistoon sijoitettava mittausjärjestelmä on poissuljettu vaihtoehto, koska järjestelmä on kyettävä asentamaan kivääriin nopeasti, joten sisäänrakennettu järjestelmä olisi oltava kiinteä osa asetta. Venymäliuskoihin perustuvaa voiman mittausta on

tutkittu paljon KIHU:n toimesta. Liuskoja on kiinnitetty joko suoraan liipaisimen varreen tai liipaisinaihioon. Liipaisimen varressa tapahtuu liipaisun aikana muodonmuutosta, joka voidaan venymäliuskalla mitata, mutta menetelmä ei anna luotettavia tuloksia. Venymäliuskamittausta varten teetetyt liipaisinaihiot, joihin liipaisinten sormiosa kiinnitetään, eivät myöskään ole antaneet luotettavia tuloksia. Yksi syy tähän on, että ampujat tuottavat voiman eri tavalla liipaisimeen. Muodonmuutokset liipaisinaihiossa ovat riippuvaisia sormen sijainnista liipaisimen. Liipaisinaihion tulisi olla tästä syystä mahdollisimman iso, jotta muodonmuutokset aihiossa voitaisiin mitata luotettavasti. Ison aihion kiinnittäminen kivääriin on usein mahdotonta kiväärin rakenteiden vuoksi. Kuvassa 13 on eräs suunniteltu liipaisinaihioista. (Sähköpostikeskusteluista Matti Salosen kanssa.)



KUVA 13. Liipaisinaihio

Emfit-kalvolla (Emfit Ltd, Vaajakoski, Suomi) ei voida mitata liipaisusuoritukselle ominaisia pieniä ja staattisia voimia. Emfit-kalvolle on myös ominaista ulostulojännitteen vaeltaminen. Paineen mittaukseen perustuvat anturit ovat todennäköisesti paras vaihtoehto liipaisuvoimien mittaukseen. Paineen kasvaessa voimantuottopinta-ala kasvaa. Pinta-alan kasvu voi johtaa anturin mittausalueen ylitykseen etenkin pienillä antureilla. Huomiota on kiinnitettävä myös ampujiin, jotka suorittavat liipaisun puristamalla

liipaisimen reunasta. Liipaisimen vähäiset liikkeet liipaisukynnyksen läheisyydessä näkyvät todennäköisesti parhaiten menetelmillä, jotka mittaavat vääntömomenttia tai sormen tuottamaa painetta liipaisinta vasten. (Sähköpostikeskusteluista Matti Salosen kanssa.)

Kahden eri valmistajan, Interlink Electronicsin (Interlink Electronics, Inc., Camarillo, Yhdysvallat) ja Tekscanin (Tekscan, Inc., Boston, Yhdysvallat), antureita testattiin liipaisimia varten. Paras mahdollinen ratkaisu olisi, että yksi anturi kävisi kaikkiin viiteen käytössä olevaan liipaisimeen. Tekscanilta testeissä käytettiin FlexiForce A201 ja A401 standardiantureita. A401 anturia leikeltiin liipaisinten muotoisiksi. Interlink Electronicsin antureista testattiin FSR 400 ja FSR 402 antureita, joista FSR 402 piti hieman leikata liipaisimeen sopivaksi. Interlinkin antureista voitiin irrottaa anturin mittaava alue, mikä olisi mahdollistanut anturin leikkaamisen liipaisimelle sopivaan muotoon. Ongelmaksi muodostui toimivan johdinosan kehittäminen, joten tämä idea hylättiin nopeasti. Viimeisenä vaihtoehtona testattiin Interlinkin FSR 420 -anturia, joka kokonsa puolesta sopi kohtuullisesti tai hyvin sijoitettavaksi kaikkiin liipaisimiin. Jotta liipaisuvoiman mittaamisesta saataisiin eliminoitua ampujan sormen sijainti liipaisimella, tarkoittaa se käytännössä sitä, että anturi tulisi integroida liipaisimen kiinteäksi osaksi. Täten liipaisimet päätettiin leikata kahteen osaan ja anturi sijoitettaisiin osien väliin siten, että anturiin ei kohdistu esipuristusta. Osia ei kuitenkaan liitetty kiinteästi takaisin toisiinsa, jotta anturi voitaisiin tarpeen mukaan vaihtaa esimerkiksi rikkoutumisen vuoksi. Kuvassa 14 yksi liipaisimista on halkaistu kahteen osaan. Kuvassa 15 anturi on kiinnitetty liipaisimen osien väliin.



KUVA 14. Kahteen osaan halkaistu liipaisin



KUVA 15. Anturi kiinnitettyinä liipaisimeen

5.1.3 Valittu liipaisuvoimien mittaussmenetelmä

Mittaussmenetelmän lopullista valitsemista hidasti hyvin paljon liipaisinten rakenteellinen erilaisuus ja myös voima-antureiden ominaisuuksien muutokset. Ampujien käyttäessä tällä hetkellä viittä erilaista liipaisinta jokainen liipaisin oli käytännössä katsoen suunniteltava erikseen. Anturitesteissä huomattiin, etteivät anturit toimineet niiden ollessa kaarevalla pinnalla. Liipaisimiin tehtiin rakenteellisia muutoksia, jotta anturit toimisivat varmemmin. Kahteen liipaisimeen täytyi tehdä epoksista tasaiset pinnat anturia varten, kuten kuva 14 osoittaa liipaisimen 3 kohdalla.

Liipaisimet päätettiin halkaista jokainen kahteen osaan ja anturi kiinnitettiin näiden osien väliin. Erilaisia antureita koetettiin liipaisimien välissä ja joitakin leikeltiin liipaisinten poikkileikkauspintojen muotoisiksi. Pitkän ja huolellisen tutkinnan jälkeen päädyttiin Interlinkin FSR 400-sarjan voima-anturiin, jonka mittausalue on halkaisijaltaan neljä millimetriä (kuva 16).



KUVA 16. Valittu voima-anturi (Interlink Electronics)

Leikelyjen anturien ominaisuudet saattoivat vaihdella laidasta laitaan, ja koska anturilta vaadittiin erityisesti herkkyyttä tunnistaa pienetkin liipaisinvoimat, päädyttiin lopulta Interlinkin anturiin. Kyseistä anturia ei tarvinnut leikata liipaisimen poikkileikkauksen muotoon sopivaksi, joten leikkauksesta aiheutuneet anturien ominaisuuksien vaihtelut saatiin poistettua. Anturi sopii kaikkiin viiteen liipaisimeen pienen kokonsa ansiosta. Vaikka anturi ei peitäkään kokonaan liipaisimen poikkileikkauksen pintaa, testit osoittivat, että se soveltuu hyvin liipaisuvoimien mittaukseen. Jotta liipaisinanturi täyttäisi vaatimukset, liipaisusta mitatussa voimaprofiilissa ei saisi näkyä huono profiilin laatu johtuen ampujan sormen sijainnista liipaisimella. Vaatimuksena on myös, että kiväärin

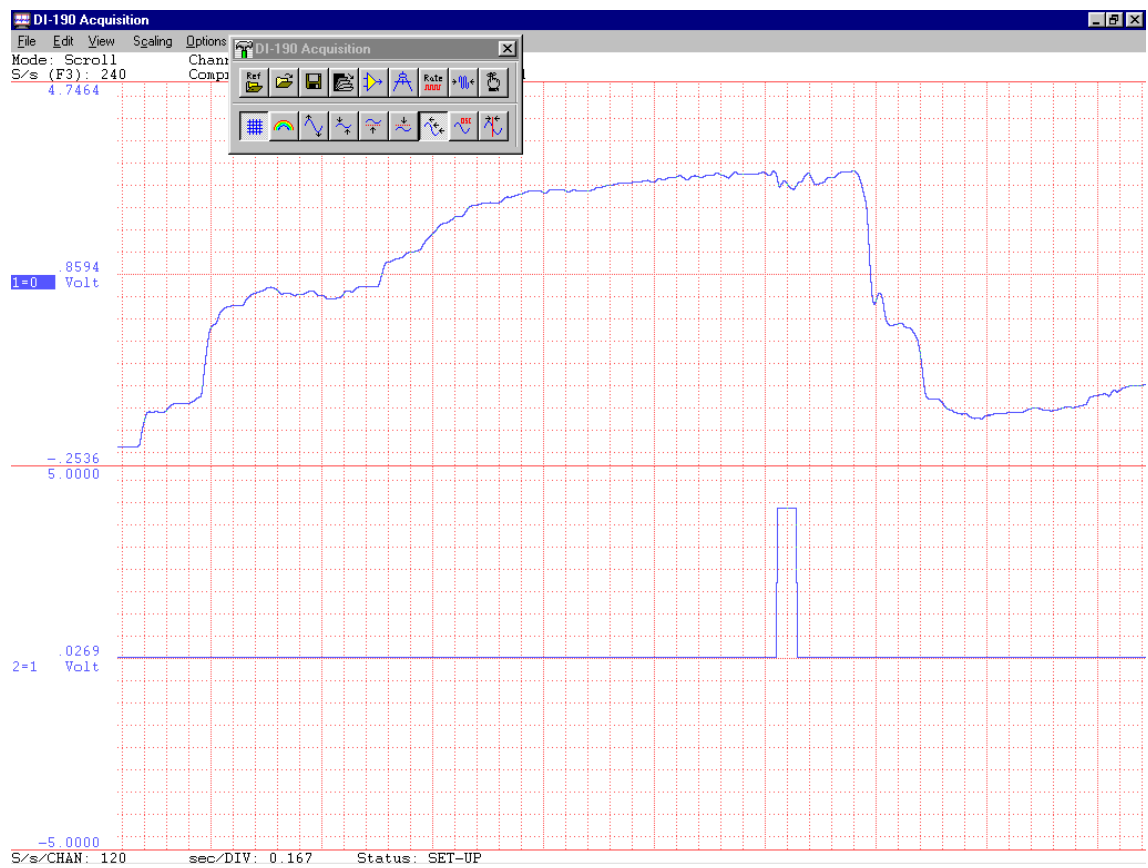
laukeamisen kanssa samaan aikaan liipaisuprofiilissa pitäisi olla korkein jännitearvo. Mittauksissa käytetyt liipaisimet eivät ole vielä lopullisia versioita. Liipaisinten rakenne tulee säilymään samanlaisena mutta niiden ulkonäköä kohennetaan ennen kuin niitä voidaan käyttää leiriolosuhteissa.

5.2 Liipaisinten testaus

Toiminnan testauksessa ja mittauksissa käytetty välineistö on esitetty kuvassa 17. Kivääri kiinnitettiin pöytään, jotta koehenkilö voisi keskittyä pelkästään liipaisusuoritukseen. Kivääri ei ollut malliltaan ampujien käyttämä ilmakivääri. Normaalisti liipaisukynnys on noin 30–120 grammaa, kun taas KIHU:n kiväärissä alin mahdollinen liipaisukynnys oli yli 200 grammaa. Liipaisuprofiilien keruuseen käytettiin WinDaq -keruuohjelmaa (DATAQ Instruments, Inc., Akron, Ohio, Yhdysvallat). Liipaisukynnys mitattiin voimamittarilla (Gehmann GmbH & Co., Karlsruhe, Saksa). Liipaisukynnyksiä ei mitattu suoraan anturilla, koska tämä toimenpide olisi vaatinut anturin kalibroimista. Anturilla mitattiin työssä liipaisuprofiileja. Liipaisusignaali suodatettiin suurimpien häiriöpiikkien eliminoimiseksi. Liipaisukynnys saatiin näkyviin liipaisuprofiilista mikrofoniin avulla. Mikrofoni oli sijoitettu lähelle liipaisinta. Kun liipaisukynnys ylittyy ja kivääri laukeaa, liipaisinkoneistosta kuuluu selkeästi korvalla havaittava napsahdus, jonka mikrofoni rekisteröi. Tämä voidaan nähdä WinDaq -keruuohjelman alemmassa kanavassa jännitepiikkinä kuvassa 18.



KUVA 17. Mittausvälineistö



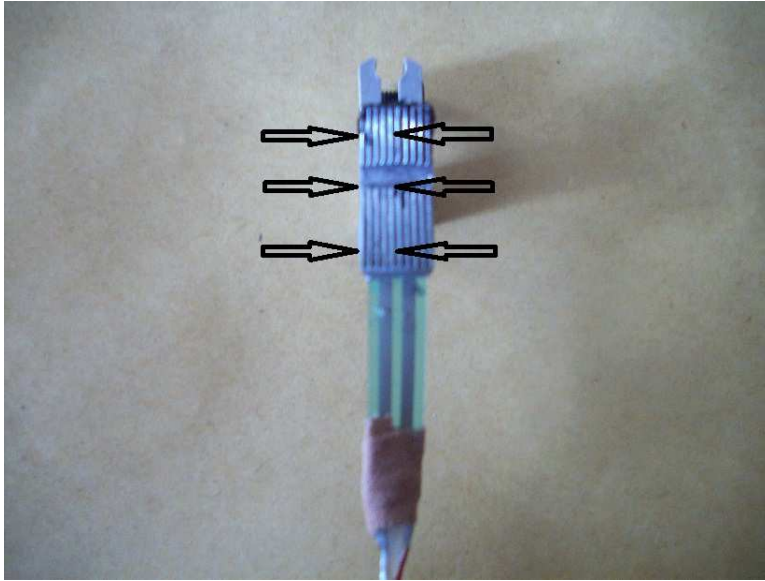
KUVA 18. Liipaisuprofiili (ylempi kanava) ja liipaisukynnys (alempi kanava)

5.3 Koehenkilöt

Mittauksissa käytettiin kahta koehenkilöä, joista kummallakaan ei ollut aikaisempaa kilpa-ammuntakokemusta. Molemmat koehenkilöt olivat miehiä (26-vuotias, 179cm, 80kg ja 27-vuotias, 176cm, 70kg). Liipaisinten toiminnan testauksessa käytettiin vain toista kyseisistä koehenkilöistä. Ennen jokaista eri liipaisimella suoritettua mittausta koehenkilö sai totutella suoritukseen liipaisimella useita kertoja jokaisella liipaisimella.

5.4 Liipaisinten toiminnan testaus

Testaus tehtiin syyskuussa 2012 kolmen päivän aikana testauslaboratoriossa KIHU:n ilmakiväärillä, jossa on korkeampi liipaisukynnys kuin ampujien kivääreissä. Liipaisu-profiilien yhteydessä käytetään jännitearvoja, koska signaalinkeräysohjelma ilmoittaa tulokset jännitteenä. Kuten aiemmin on painotettu, leireillä testeissä ei tarkastella absoluuttista liipaisuvoimaa vaan liipaisuprofiilia. Liipaisuprofiilia tarkasteltiin WinDaq -tiedonkeruuhjelmalla. Liipaisukynnys määritettiin mikrofonin avulla. Jokaiselle liipaisimelle tehtiin samat testit liipaisinten toiminnan tarkastamiseksi. Jännitteen lähtö-tasosta nähtiin kohdistuuko anturiin esipuristusta ennen kuin sormi asetetaan liipaisimelle. Liipaisukynnys määritettiin viiden liipaisun keskiarvona voimamittarin avulla anturin keskikohdan päältä. Liipaisimen toiminnan testaus tehtiin liipaisimella vähintään viisi kertaa seuraavista liipaisimen kohdista: Liipaistaessa liipaisimen päältä anturin keskikohdan päältä, anturin alapuolelta ja anturin yläpuolelta, ja liipaistaessa liipaisimen reunasta anturin keskikohdalta, alapuolelta ja yläpuolelta. Kuvassa 19 on esitetty liipaisukohdat.



KUVA 19. Liipaisukohdat

5.5 Toistomittaukset

Toistomittaukset tehtiin myös KIHU:n testauslaboratoriossa samaisella ilmakiväärillä ja välineistöllä kuin toiminnan testaus. Liipaisumittaukset tehtiin syyskuussa 2012 kahden päivän aikana. Jokaisella liipaisimella pyrittiin saamaan viisi onnistunutta liipaisua kahdesta eri liipaisukohdasta (keskeltä ja alhaalta). Kaikkia toiminnan testauksessa käytettyjä liipaisukohtia ei käytetty mittauksissa. Toistomittauksissa liipaisukohdista jätettiin pois reunasta liipaisu ja liipaisu anturin yläpuolelta kiväärin kuluneen kiinnityskiskon ja eräistä liipaisukohdista saatujen huonojen liipaisuprofiilien takia.

5.6 Tilastolliset menetelmät

Toistomittausten tulosten analysoinnissa käytettiin SPSS Statistics 20 -analysointiohjelmia. Liipaisinten eroja tarkasteltiin nonparametrisillä testeillä, joita olivat Kruskal-Wallisin yksisuuntainen varianssianalyysi ja liipaisinten parivertailussa Mann-Whitneyn U-testi. Tilastollisina merkitsevyystasoina käytettiin $* = p \leq 0.05$, $** = p \leq 0.01$ ja $*** = p \leq 0.001$. Toistomittausten reliabiliteetin tunnusluvut määritettiin Hopkinsin (2000) toistomittausten reliabiliteetti -taulukon avulla.

6 TULOKSET

6.1 Liipaisinten toiminnan testaus

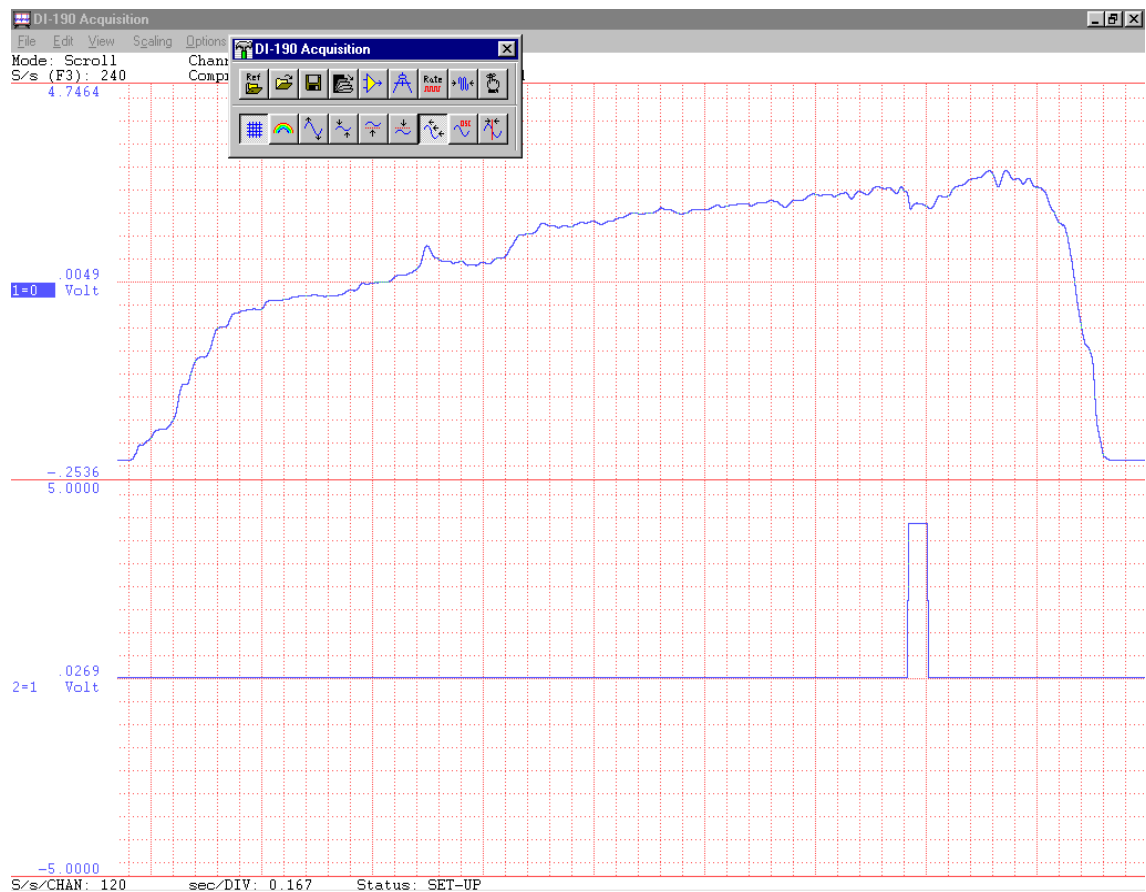
6.1.1 Liipaisin 3

Liipaisimen molempiin osiin tehtiin tasaiset pinnat, koska testeissä huomattiin käyrän pinnan aiheuttavan ongelmia anturien herkkyuden suhteen. Pinnat tehtiin epoksista, joka hiottiin materiaalin kovettumisen jälkeen tasaiseksi. Anturi kiinnitettiin liipaisimen takaosan pintaan kaksipuolisella teipillä. Liipaisimen etuosa kiinnitettiin takaosaan silikonilla. Kuvassa 20 näkyy liipaisin kiinnitettynä kivääriin.

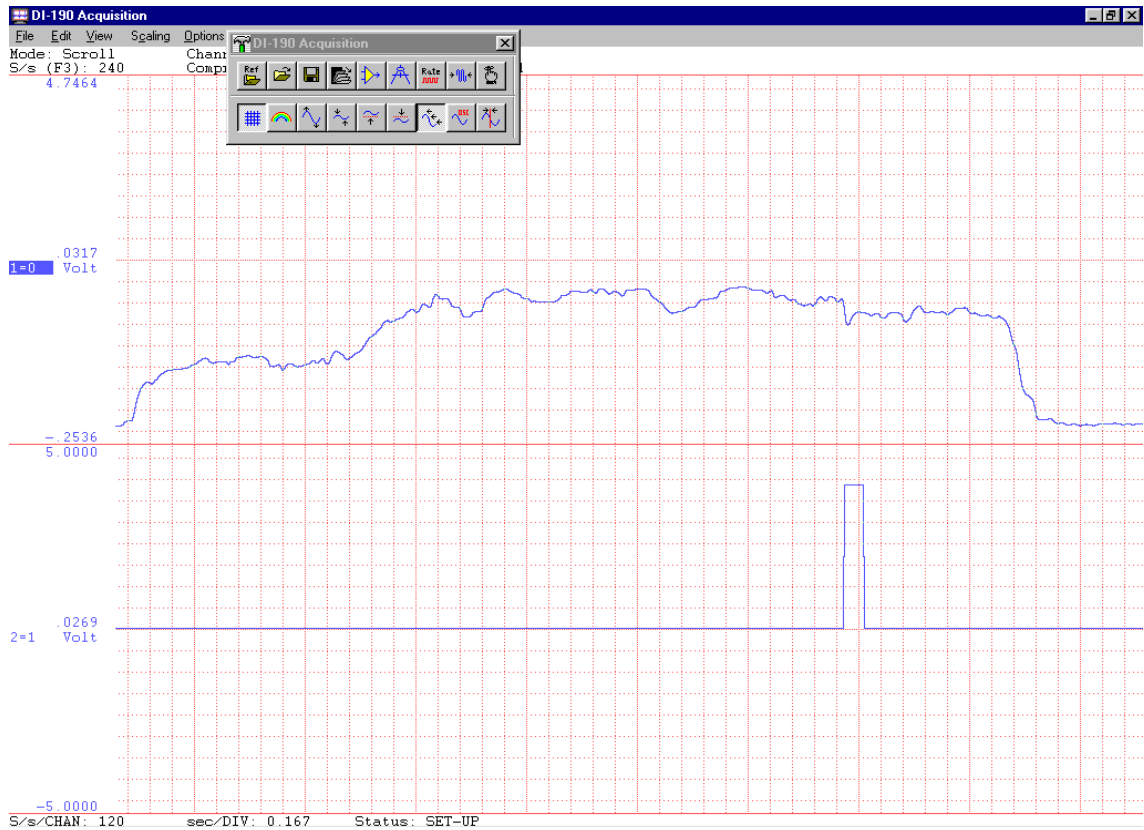


KUVA 20. Liipaisin 3 kivääriin kiinnitettynä

Jännitteen lähtötasoksi mitattiin 0,854V eli anturiin kohdistui hieman esipuristusta. Liipaisukynnykseksi mitattiin 230g (~2,3N). Liipaistaessa liipaisimen päältä anturin keskikohdan päältä ja alapuolelta (kuva 21) saatiin hyviä liipaisuprofiileja, kun liipaisusuoritus oli onnistunut. Epäonnistuneissa suorituksissa saattoi tapahtua jännitearvon putoaminen lähellä liipaisukynnystä, jolloin jännitteen huippuarvo ei välttämättä ollut liipaisukynnyksellä. Anturin yläpuolelta liipaistaessa liipaisuprofiilit olivat lähes poikkeuksetta todella huonoja. Liipaistaessa liipaisimen reunasta anturin keskikohdalta ja alapuolelta liipaisuprofiilit olivat pääsääntöisesti hyviä. Jos liipaisussa tapahtui nykäyksiä lähellä liipaisukynnystä, jännitearvot saattoivat pudota ja jännitteen huippuarvo ei ollut tällöin liipaisukynnyksellä. Liipaistaessa reunasta anturin yläpuolelta profiilit olivat poikkeuksetta huonoja (kuva 22).



KUVA 21. Liipaisuprofiili alhaalta liipaistaessa. Ylemmässä kanavassa näkyy liipaisuprofiili ja alemmassa liipaisukynnyksen ylittyminen profiilissa (jännitepiikki).



KUVA 22. Liipaisu ylhäältä. Ylemmässä kanavassa näkyy liipaisuprofiili ja alemmassa liipaisukynnyksen ylittyminen profiilissa (jännitepiikki).

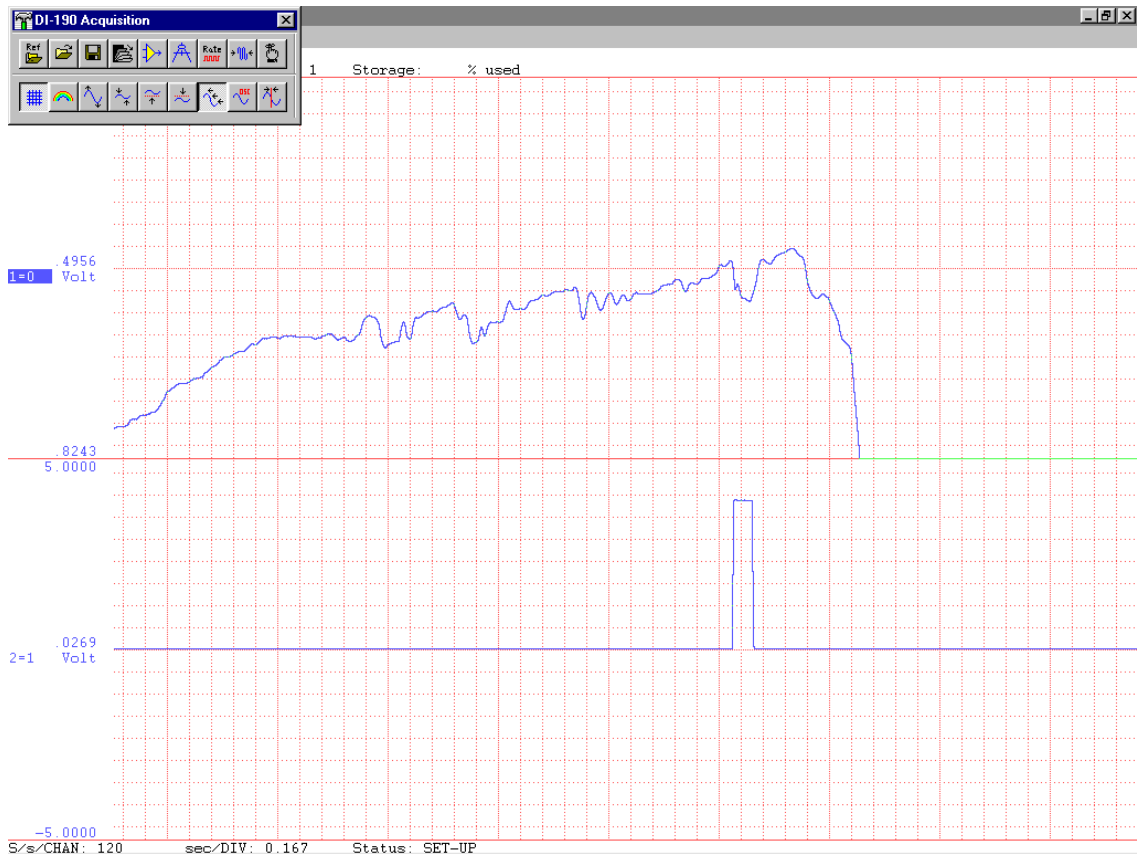
6.1.2 Liipaisin 4

Liipaisimeen ei vaadittu rakenteellisia muutoksia etu- ja takaosan välille. Anturi kiinnitettiin liipaisimen takaosaan kaksipuolisella teipillä. Liipaisimen etuosa kiinnitettiin takaosaan silikonilla. Kuvassa 23 voidaan nähdä liipaisimeen tehdyt muutokset.



KUVA 23. Liipaisin 4 kivääriin kiinnitettyinä

Jännitteen lähtötasoksi mitattiin 0,049V, joten anturiin ei kohdistunut esipuristusta. Liipaisukynnykseksi saatiin 225g. Liipaistaessa liipaisimen päältä anturin keskikohdan päältä ja anturin alapuolelta saatiin hyviä liipaisuprofiileja. Liipaistaessa anturin yläpuolelta profiilit olivat suurimmalta osin huonoja. Liipaistaessa reunasta anturin keskikohdan kohdalta ja reunasta alhaalta profiilit olivat hyviä jos liipaisu oli onnistunut. Huonoissa liipaisuissa jännitteen huippuarvo ei aina ollut liipaisukynnyksellä. Liipaistaessa reunasta anturin yläpuolelta saatiin joitakin hyviä liipaisuprofiileja mutta suurin osa oli huonoja. Anturi tulee hieman ulos liipaisimen välistä, mikä voi haitata suoritusta. Kuvassa 24 on esitetty liipaisuprofiili keskeltä liipaistaessa.



KUVA 24. Liipaisuprofiili keskeltä liipaistaessa. Ylemmässä kanavassa näkyy liipaisuprofiili ja alemmassa liipaisukynnyksen ylittyminen profiilissa (jännitepiikki).

6.1.3 Liipaisin 5

Liipaisimen molempiin osiin tehtiin tasaiset pinnat samalla tavalla, kuten liipaisimen 3 kohdalla. Pinnat tehtiin epoksista, joka hiottiin materiaalin kovettumisen jälkeen tasaiseksi. Anturi kiinnitettiin liipaisimen takaosan pintaan kaksipuolisella teipillä. Liipaisimen etuosa kiinnitettiin takaosaan silikonilla. Kuvassa 25 näkyy ensimmäinen viimeistelemätön versio liipaisimesta.



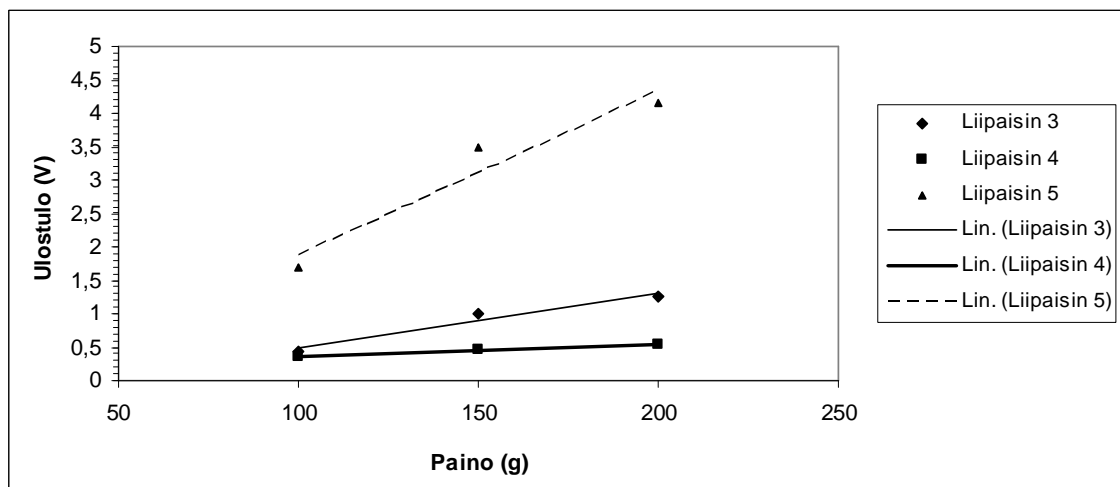
KUVA 25. Liipaisin 5 kivääriin kiinnitettyinä

Lähtötasoksi mitattiin 0,049V eli esipuristusta ei ollut. Liipaisukynnykseksi mitattiin 230g. Liipaisimen toiminnan testaamisessa tulokset olivat samansuuntaisia liipaisinten 3 ja 4 kanssa. Liipaisimella saatiin hyviä liipaisuprofiileja liipaistaessa liipaisimen päältä anturin keskikohdan kohdalta, keskeltä anturin alapuolelta, reunasta anturin kohdalta, reunasta anturin alapuolelta. Myös liipaistaessa keskeltä anturin yläpuolelta saatiin parempia profiileja verrattuna liipaisimiin 3 ja 4. Reunasta anturin yläpuolelta liipaistaessa saatiin huonoja profiileja. Liipaisimella 5 mitattu liipaisuprofiili näkyy kuvassa 26.



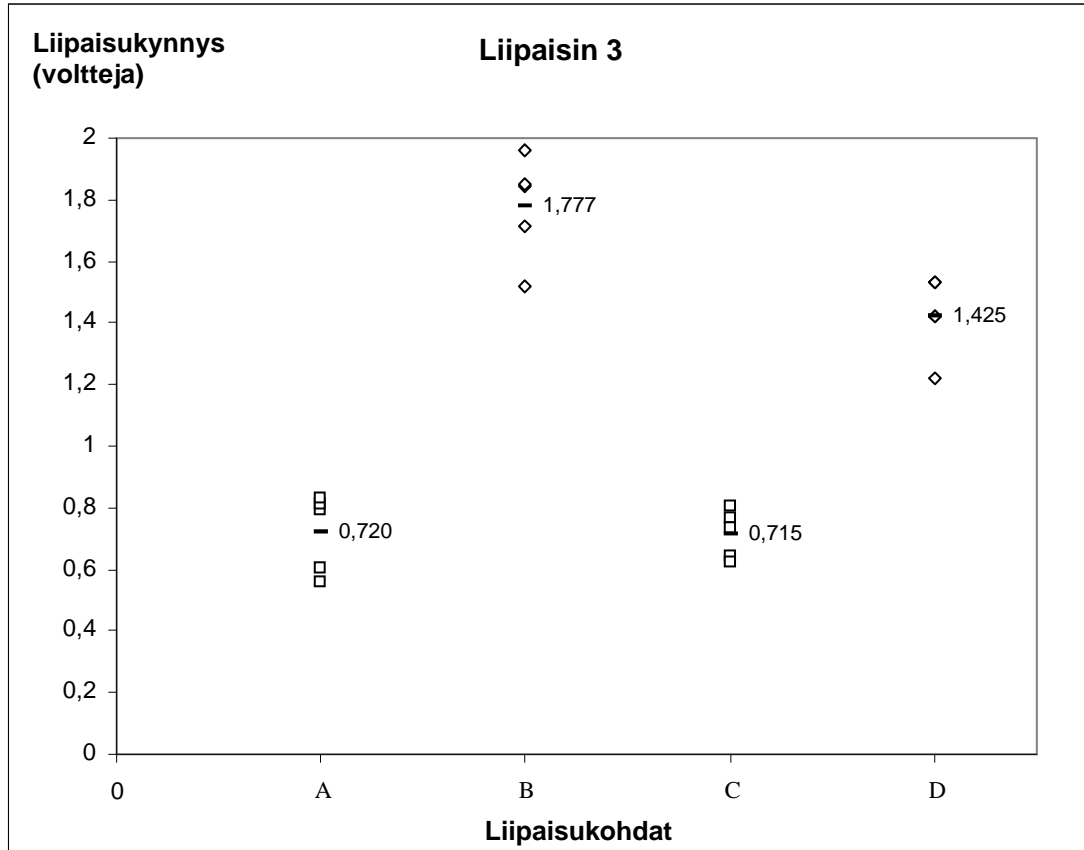
KUVA 26. Liipaisuprofiili keskeltä. Ylemmässä kanavassa näkyy liipaisuprofiili ja alemmassa liipaisukynnyksen ylittyminen profilissa (jännitepiikki).

6.2 Toistomittausten tulokset



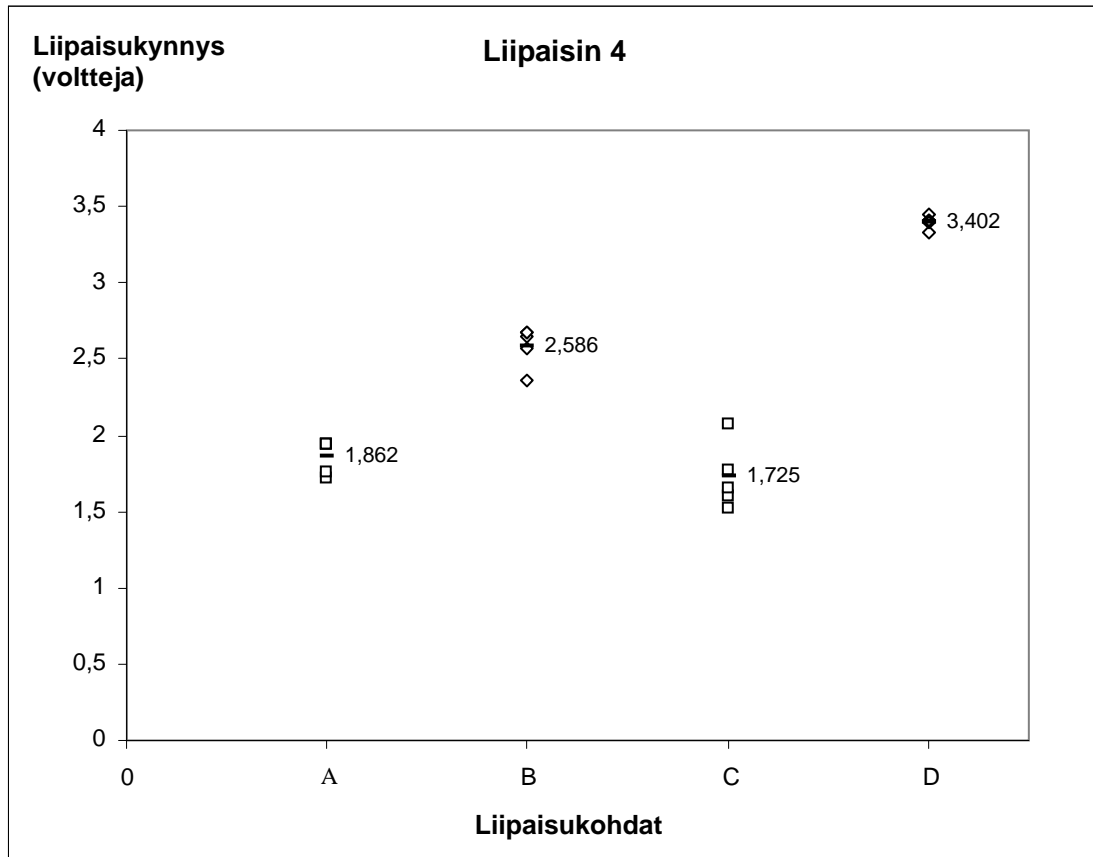
KUVA 27. Liipaisinten lineaarisuus

Liipaisinten lineaarisuus on testattu siten, että liipaisinten päälle anturin keskikohdan kohdalle on asetettu kolme eripainoista kalibrointipunnusta, jotka olivat 100, 150 ja 200 gramman painoisia. Liipaisinten lineaarisuudet on esitetty kuvassa 27.



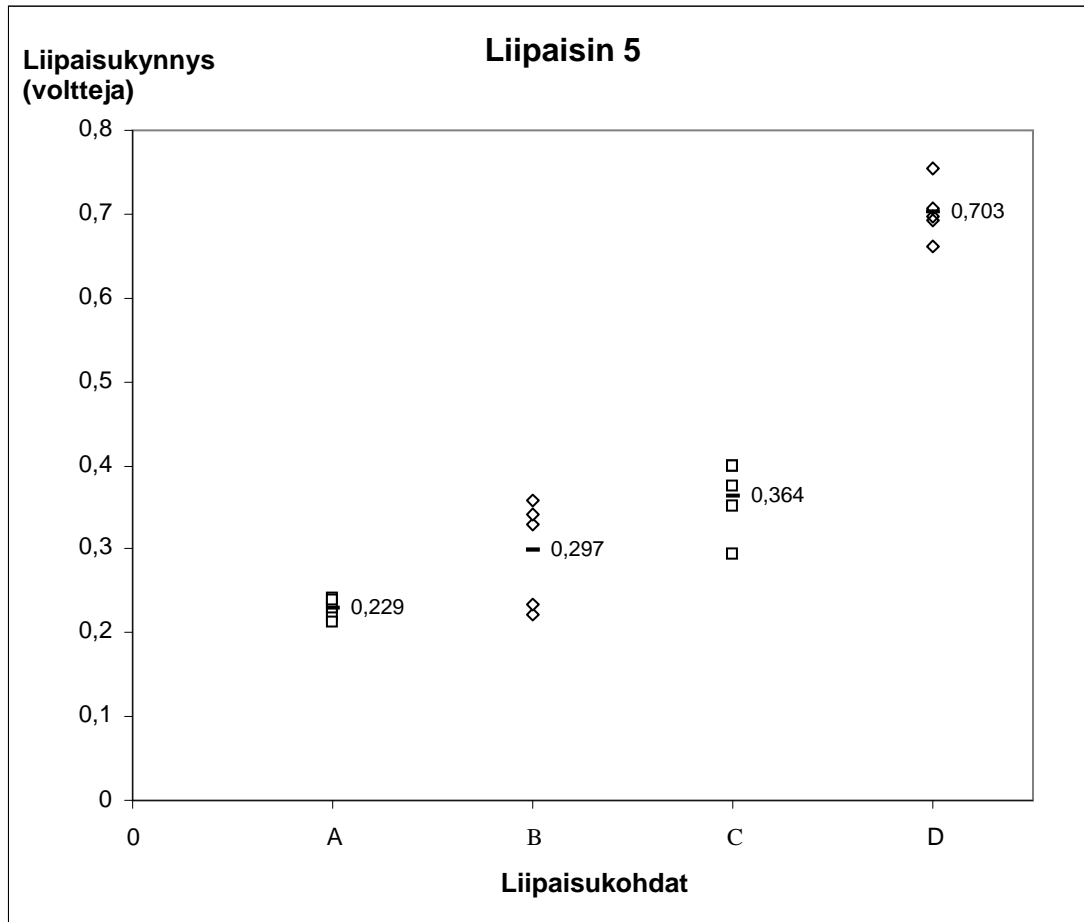
KUVA 28. Liipaisimen 3 toistomittausten tulokset. A: Koehenkilön 1 liipaisut keskeltä, B: Koehenkilön 1 liipaisut alhaalta, C: Koehenkilön 2 liipaisut keskeltä, D: Koehenkilön 2 liipaisut alhaalta. Keskiarvot merkitty tummalla viivalla ja numeroin.

Toistomittausten mittausdata on esitetty taulukkomuodossa liitteessä 1. Liipaisimella 3 keskiarvo keskeltä liipaistaessa oli 0,72 voltia ja keskihajonta 0,1 voltia. Keskiarvo alhaalta liipaistaessa oli 1,6 voltia ja keskihajonta 0,23 voltia. Tyypillinen virhe oli 0,16 voltia. Kuvassa 28 näkyvät liipaisimen 3 koehenkilöiden liipaisut liipaisukohdista.



KUVA 29. Liipaisimen 4 toistomittauksen tulokset. A: Koehenkilön 1 liipaisut keskeltä, B: Koehenkilön 1 liipaisut alhaalta, C: Koehenkilön 2 liipaisut keskeltä, D: Koehenkilön 2 liipaisut alhaalta. Keskiarvot merkitty tummalla viivalla ja numeroin.

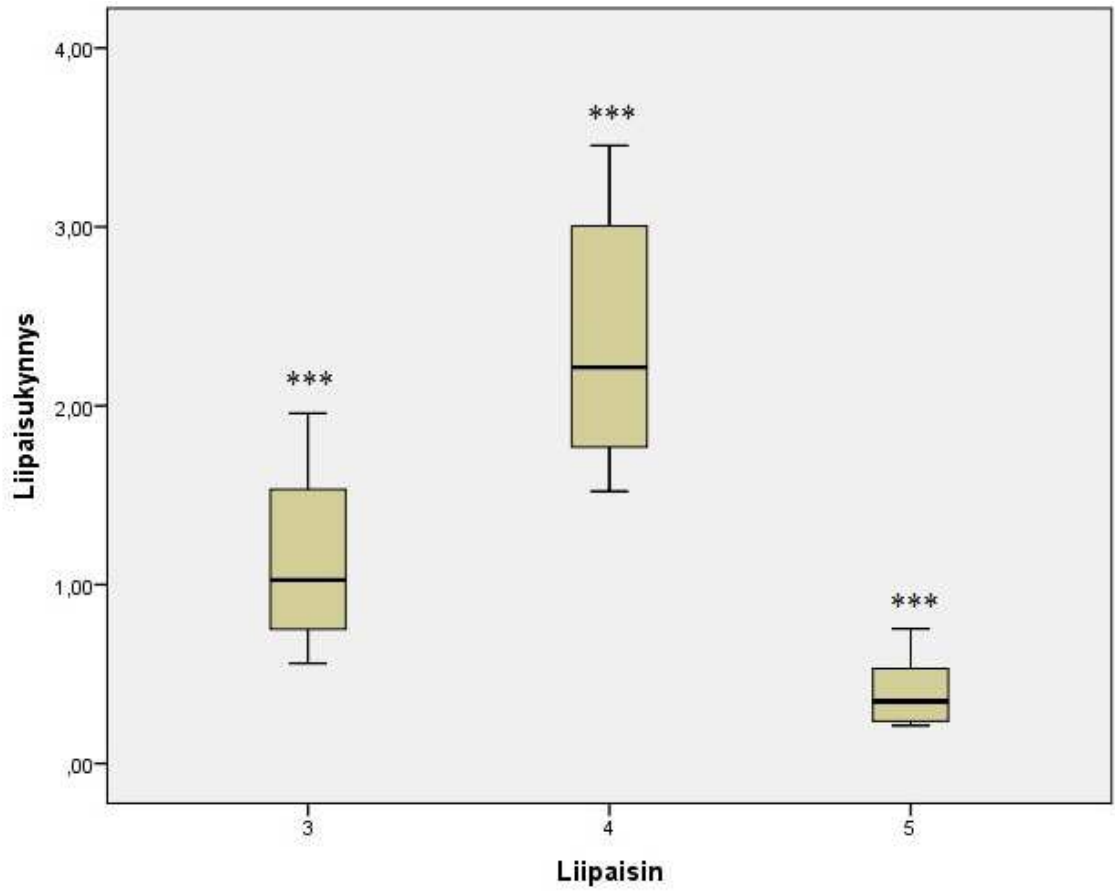
Liipaisimella 4 keskiarvo keskeltä liipaistaessa oli 1,79 voltia ja keskihajonta 0,18 voltia. Keskiarvo alhaalta liipaistaessa oli 2,99 voltia ja keskihajonta 0,44 voltia. Tyypillinen virhe oli 0,38 voltia. Kuvassa 29 on esitetty koehenkilöiden liipaisut liipaisimella 4.



KUVA 30. Liipaisimen 5 toistomittausten tulokset. A: Koehenkilön 1 liipaisu keskeltä, B: Koehenkilön 1 liipaisu alhaalta, C: Koehenkilön 2 liipaisu keskeltä, D: Koehenkilön 2 liipaisu alhaalta. Keskiarvot merkitty tummalla viivalla ja numeroin.

Liipaisimella 5 keskiarvo keskeltä liipaistaessa oli 0,3 voltia ja keskihajonta 0,08 voltia. Keskiarvo alhaalta liipaistaessa oli 0,5 voltia ja keskihajonta 0,22 voltia. Tyypillinen virhe oli 0,11 voltia. Koehenkilöiden liipaisu eri liipaisukohdista näkyvät kuvassa 30.

Tilastollisen analyysin perusteella kaikki kolme liipaisinta erosivat merkittävästi toisistaan (Liipaisimien 3 ja 4 välillä $p = 0,000$, liipaisimien 4 ja 5 välillä $p = 0,000$ ja liipaisimen 3 ja 5 välillä $p = 0,000$). Tämä voidaan nähdä kuvasta 31.



KUVA 31. Liipaisinten erot (* = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$ ja *** = $p \leq 0.001$)

7 POHDINTA

Sopivan ja tarkoituksenmukaisen liipaisuvoimien mittausmenetelmän löytäminen oli yllättävän hankalaa johtuen eri tekijöistä, kuten liipaisinten koosta ja erilaisista liipaisinmalleista. Päätyminen Interlinkin antureihin ja niiden sovittaminen liipaisimiin oli aikaa vievä projekti. Menetelmän ensimmäistä versiota voidaan sanoa alustavan testauksen perusteella toimivaksi. Tuloksia tarkastellessa on koko ajan muistettava, että testausta ja mittauksia ei ole tehty ampujien kivääreillä, joissa on hyvin paljon matalammat liipaisukynnykset. Tässä kohtaa voidaan kuitenkin todeta, että anturiratkaisu oli ainoa toimiva vaihtoehto mittausmenetelmäksi.

Mittaukset osoittivat hyvin tai kohtuullisesti, että liipaisuvoimien mittaus voidaan tehdä luotettavasti kyseisillä kolmella liipaisimella käytettävissä olleella kiväärillä. Mittauksia ei tehty myöskään urheilijoiden kivääreillä, joten tämä seikka jää vielä tutkittavaksi. Kehitettävää menetelmässä vielä löytyy ja vasta ampujilla testaamisen jälkeen voidaan tarkemmin todeta menetelmän vahvuudet ja puutteet. Tämä vaihe ei kuulu enää tämän tutkielman sisälle.

7.1 Liipaisinten toiminnan testaus

Testauksen aikana liipaisuprofiilia tarkasteltiin hyvin läheltä ja tarkastelun alla oli profiilin käyttäytyminen liipaisukynnyksen läheisyydessä. Tällöin saatiin näkyviin pienetkin muutokset profiilissa. Normaalisti näin ei tehdä, koska tarkoituksena on tarkastella koko profiilia, ei pelkästään liipaisukynnystä ja sen läheisyyttä. Huonolla liipaisulla oli monesti suuri merkitys profiiliin. Jos liipaisussa tapahtui nykäisy, siitä aiheutuva piikki näkyi joka kerta selvästi profiilissa. Nykäisy tapahtui usein silloin, kun liipaisu pitkittyi ja liipaisinsormi väsyi. Usein tämä piikki oli myös korkeampi kuin itse liipaisukynnys. Tämä on ongelmallista liipaisuprofiilia tarkasteltaessa, jos ei tiedetä tarkalleen milloin liipaisukynnys ylittyy eli ase laukeaa. Liipaisukynnys saadaan kuitenkin mittauksessa näkyviin mikrofonin avulla, kuten on tässäkin työssä tehty. Anturit liipaisimissa ovat hyvin herkkiä voiman muutoksille. Testaajilla oli vähän kokemusta liipaisusuorituksen

tekemisestä mutta tämän ei uskottu kuitenkaan vaikuttavan ratkaisevalla tavalla saatuihin tuloksiin. Sivusuunnasta tulevat voimanlisäykset liipaisimeen voivat näkyä piikkeinä ja nämä voivat joskus olla suurempia kuin liipaisukynnys. Nykäisyistä aiheutuvat piikit voidaan suodattaa pois profiilista. Ilmiön esiintyvyydestä pienemmällä liipaisukynnyksillä ei ole vielä tiedossa.

Kahden samanlaisen liipaisun tekeminen oli testauksen perusteella hyvin vaikeaa. Toiminnan testauksessa huomattiin, että liipaisukynnys toisinaan nousi hieman muutaman liipaisun jälkeen, mikä todennäköisesti johtuu anturista. Liipaisinten toiminnan testauksessa huomattiin myös, että liipaisimen yläosasta liipaistaessa profiili oli joko kohtalainen tai huono. Tämä johtui ainakin osittain siitä, että sormi oli lähellä liipaisimen etu- ja takaosan kiinnityskohtaa, joten painetta ei kohdistunut tarpeeksi anturiin. Voidaan kuitenkin olettaa, että ampujat eivät liipaise liipaisimen yläosasta. Tämän vuoksi mittauksista jätettiin pois liipaisu liipaisimen yläosasta. Reunasta liipaistaessa liipaisimet toimivat kohtalaisesti tai hyvin, poikkeuksena liipaistaessa reunasta ylhäältä.

Kiväärin liipaisimen kiinnityskisko oli aika kulunut, minkä vuoksi liipaisimet antoivat periksi sivusuunnassa, kun niihin kohdistui voima sivusuunnasta. Täten myös reunasta liipaisu jätettiin pois tarkemmista mittauksista. Liipaisimeen numeroon 5 ei löytynyt sopivaa vartta, joten sen kiinnitys varteen oli jokseenkin huono. Liipaisimia joudutaan vielä myöhemmin viimeistelemään, jotta niitä voitaisiin käyttää leireillä mittauksissa. Tämä tarkoittaa ainakin kahden liipaisimen kohdalla sitä, että ne puretaan osiin ja kiinnitys tehdään uudestaan. Tämä tulee vaikuttamaan jännitearvoihin, koska täysin samantyyppistä kiinnitystä on mahdotonta tehdä. Mutta, kuten on todettu, absoluuttiset arvot eivät ole oleellisia. Liipaisimen osien kiinnitystä saatetaan joutua uusimaan tietyin väliajoin, koska silikoni kiinnitysmateriaalina antaa periksi ajan kuluessa. Tämä aiheuttaa liipaisimen etuosan ja anturin välisen raon häviämistä, jolloin anturiin kohdistuu esipuristusta. Tämä ei ole mittausten kannalta suotavaa, koska esipuristus näkyy monesti suurena jännitteen heilahteluna keruuhjelmassa.

7.2 Toistomittaukset

Alun perin mittaukset oli tarkoitus suorittaa maajoukkueampujien leirillä. Suunnitelmiin tuli kuitenkin kevään ja kesän aikana paljon muutoksia, muun muassa antureiden saataavuudessa ilmeni ongelmia, joten kevään ja kesän leirit menivät mittausten osalta ohi. Tällöin myös mittaukset olisi voitu tehdä ampujien aseilla eli liipaisuvastukset olisivat olleet matalampia. Tällä erää jouduttiin tyytymään poikkeusratkaisuun eli käyttämään KIHU:n kivääriä. Kahta ampujien käyttämää liipaisinta ei voitu käyttää mittauksissa, koska niitä ei ollut saatavilla. Liipaisinanturin integroimiseen olisi vaadittu kaksi kappaletta samanmallisia liipaisimia. Tämä oli valitettavaa, koska juuri toinen näistä liipaisimista on yleisin käytössä oleva liipaisin ampujien keskuudessa.

Tulosten perusteella pystyi jo sanomaan, että liipaisimet eroavat merkittävästi toisistaan. Tämän asian vahvisti tilastollinen analysointi. Liipaisukohtia vertailtaessa (kuvat 26, 27 ja 28) voidaan huomata, että liipaisimien 3 ja 4 kohdalla alhaalta liipaistaessa arvot ovat suurempi kuin keskeltä liipaistaessa. Liipaisimessa 5 eroa on vähän tai ei ollenkaan liipaisukohtien välillä. Tähän ei ole olemassa mitään pätevää selitystä, koska oletettiin, että ero liipaisukynnyksissä näkyisi samankaltainen ero kuin liipaisimilla 3 ja 4. On mahdollista, että liipaisimen 5 liipaisukohdat olivat lähempänä toisiaan kuin kahdessa muussa liipaisimessa mutta tällöin myös liipaisimen 3 liipaisukohtien välillä pitäisi näkyä samanlainen trendi, koska liipaisimet 3 ja 5 ovat rakenteeltaan samanlaisia. Liipaisimien materiaalin erilaisuuden ei pitäisi vaikuttaa näin selkeästi mittaustuloksiin.

Mittausten koehenkilöt olivat kokemattomia ampujia, mikä luultavasti vaikutti osaltaan mittaustuloksiin. Toisaalta mittauksissa ei olisi tarvittukaan kokeneita ampujia, koska itse suoritus oli lyhyt ja suhteellisen helppo oppia harjoittelemalla. Huonot liipaisut jätettiin huomioimatta ja koehenkilö sai liipaista useita kertoja, jotta viisi hyvää liipaisua saatiin aikaiseksi. Jälkikäteen ajateltuna liipaisuja olisi pitänyt tehdä enemmän tulosten toistettavuuden kannalta. Tässä tulee kuitenkin vastaan rajoitteita: sorme ei saanut irtottaa liipaisimelta mittauksen aikana ja sormi väsy helposti kokemattomalla ampujalla jo muutaman liipaisun jälkeen.

Mittauksissa liipaisu suoritettiin vain liipaisimen päältä anturin keskikohdan päältä ja anturin alapuolelta. Tarkkaa liipaisukynnystä oli hyvin vaikea määrittää, koska mittauksissa hetki määritettiin mikrofonin avulla, jonka etäisyys vaihteli aseeseen nähden ja tämä aiheuttaa liipaisukynnyksen signaaliin viiveen. Tämän vuoksi liipaisukynnys otettiin jokaisessa liipaisukohdassa samasta kohdasta Excel-taulukosta. WinDaq – keruuhjelman liipaisuprofiilit voitiin muuntaa numeroarvoiksi Excel-taulukkoon, josta saatiin määritettyä tarkempi hetki liipaisukynnykselle.

Jännitearvoissa liipaisinten välillä on suuria eroja, mikä johtuu muun muassa liipaisimen osien kiinnityksestä, anturin paikasta osien välissä ja liipaisinten materiaalista ja mallista. Tämän takia liipaisinten välinen vertailu ei ole järkevää eikä se myöskään ole tarpeellista. Mittauksissa havaittiin, että liipaisusormi antaa etuvedon loppuessa hieman periksi sormen pehmeiden kudosten puristumisen vuoksi, mikä näkyy usein liipaisuprofiilissa. Koehenkilöiden sormen koolla on todennäköisesti vaikutusta mitta-arvoihin. Silmämääräisen tarkastelun pohjalta huomattiin merkittävä ero, kun vertailtiin koehenkilöiden liipaisusormien kokoa. Absoluuttisiin arvoihin ei muutenkaan kannata kiinnittää myöhemmissä mittauksissa huomiota, koska ne tulevat muuttumaan liipaisimen osien uudelleenkiinnityksen yhteydessä. Laboratorio-olosuhteissa anturin kalibrointi ja täten absoluuttisten voima-arvojen mittaaminen on mahdollista. Ammuntaleirien mittauksissa tarkastellaan kuitenkin ampujan liipaisuprofiilia, joten kalibrointia ei tarvitse tehdä.

Luonnollisesti tämän tutkielman perusteella ei voi tehdä pitkälle vietyjä päätelmiä siitä, kuinka liipaisimet tulevat käyttäytymään alemmilla liipaisukynnyksillä ja erilaisessa ympäristössä. Testaus ja mittaus tehtiin laboratorio-olosuhteissa ja ampujien leireillä liipaisimia tullaan käyttämään myös ulkona. Myös ampujien kokemukset liipaisimista ja niiden enemmän tai vähemmän muokatusta rakenteesta jäivät vielä tutkimatta, mikä on ensiarvoisen tärkeää jatkokehityksen kannalta. Luonnollinen jatkumo olisikin tutkia seuraavaksi näitä asioita.

7.3 Vanha vai uusi mittausmenetelmä

Aiemmin liipaisuvoimia mitattiin RIKA:n paineanturilla. Anturi kiinnitettiin liipaisimen sormiosan päälle suurin piirtein kohtaan, jossa ampuja pitää liipaisinsormeaan. Anturi jouduttiin kiinnittämään erikseen liipaisimeen ennen mittauksia. Ongelmana olivat ampujien erilaiset liipaisutyylit, esimerkiksi ampuja saattoi liipaista siten, että sormi oli liipaisimen reunalla. Tällöin sormi ei ole anturin päällä ja liipaisuprofiilia on huono tai sitä ei saada ollenkaan. Sormen puristuessa liipaisinta vasten sen pinta-ala kasvaa ja anturin pienen koon takia osa sormen tuottamasta voimasta ei enää kohdistu anturiin.

Uusi menetelmä oli alusta lähtien tarkoitus rakentaa liipaisimen sisään, koska tällä tavalla olisi mahdollisuus mitata liipaisuvoimia liipaisun tapahtuessa liipaisimen reunasta. Anturia ei tarvitse enää kiinnittää erikseen jokaisen ampujan aseeseen vaan pelkkä liipaisimen kiinnitys riittää. Toiminnan testauksen perusteella anturi mittasi hyvin tai kohtuullisesti liipaisuvoimia reunasta liipaistaessa. Tämän tyyppiset anturit eivät kestä ehjänä pitkiä aikoja, joten liipaisimista täytyi tehdä sellaisia, että anturin voisi vaihtaa tarpeen tullen. Liipaisimen rakenne on osiin jakamisen takia avonainen, joten osien kiinnitykseen täytyy kiinnittää huomiota, jotta ne eivät antaisi toisiinsa nähden periksi liipaisusta, koska tämä haittaa merkittävästi suoritusta. Leirimittaukset antavat lisää tietoa menetelmän toimivuudesta ja ampujien mielipide menetelmästä on hyvin oleellinen jatkokehitystä ajatellen.

8 LÄHTEET

Ball, K.A., Best, R.J. & Wrigley, T.V. 2003. Body sway, aim point fluctuation and performance in rifle shooters: inter- and intra-individual analysis. *Journal of Sports Sciences* 21, 559–566.

Caldwell, G.E., Robertson, D.G.E. & Whittlesey, S.N. *Forces and Their Measurement*. Teoksesta: Robertson, D.G.E., Caldwell, G.E., Hamill, J., Kamen, G. & Whittlesey, S.N. *Research Methods in Biomechanics*. 2004. Human Kinetics. United States of America.

Enoka, R.M. 2008. *Neuromechanics of Human Movement*. Human Kinetics. United States of America.

Fearn, L.A., Bartoo, M.L., Myers, J.A., Pollack, G.H. 1993. An optical fiber transducer for single myofibril force measurement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 40, 1127–1132.

Helin, P., Sihvonen, T. & Hänninen, O. 1987. Timing of the triggering action of shooting in relation to the cardiac cycle. *British Journal of Sports Medicine* 21, 33–36.

Hrysomallis, C. 2011. Balance Ability and Athletic Performance. *Sports Medicine* 41, 221–232.

Ihalainen, S., Mononen, K., Kuitunen, S., Konttinen, N., Salonen, M. & Wedman, P. 2011. Tähtäyspisteen liikkeen ja kehon tasapainon vaikutus ammuntasuoritukseen maa-joukkue-tason ja kansallisen tason ilmakivääriampujilla. *Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus*.

Interlink Electronics. FSR 400 Data Sheet. Interlink Electronics, Inc.

International Shooting Sport Federation. 2011. http://www.issf-sports.org/theissf/championships/olympic_games.ashx. Viitattu 16.11.2011.

International Shooting Sport Federation. 2009. Official Statutes, Rules and Regulations. Third Printing. ISSF.

Klinger, B. 1981. Kivääriampujan opas. Suomentanut Krannila, M. Gummerus Oy. Jyväskylä

Komi, P.V., Belli, A., Huttunen, V., Bonnefoy, R., Geysant, A., Lacour, J.R. 1996. Optic fibre as a transducer of tendomuscular forces. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 72, 278-280.

Konttinen, N., Mets, T., Lyytinen, H. & Paananen, M. 2003. Timing of triggering in relation to the cardiac cycle in nonelite rifle shooters. *Research Quarterly for Exercise and Sport* 74, 395–400.

Kärki, S. 2009. Film-type sensor materials in measurement of physiological forces and pressure variables. Väitöskirja. Tampereen teknillinen yliopisto.

Mets, T., Konttinen, N. & Lyytinen, H. 2007. Shot placement within cardiac cycle in junior elite rifle shooters. *Psychology of Sport and Exercise* 8, 169–177.

Moisio, T. 2004. EMF-kalvon käyttö voimistelun hypyssä. Pro Gradu –tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto.

Mullineaux, D.R., Underwood, S.M., Shapiro, R., Hall, J.W. 2012. Real-time biomechanical biofeedback effects on top-level rifle shooters. *Applied Ergonomics* 43, 109–114.

Nigg, B.M., Herzog, W. 1999. Biomechanics of the Musculo-skeletal System. John Wiley & Sons Ltd. England.

SCATT Company. 2012. http://www.scatt.com/item/36/trigger_sensor/. Viitattu 4.7.2012.

Shirinov, A.V., Schomburg, W.K. 2008. Pressure sensor from a PVDF film. *Sensors and Actuators A: Physical* 142, 48–55.

Suomen Ampumaurheiluliitto. 2011. <http://www.ampumaurheiluliitto.fi/lajit/>. Viitattu 16.11.2011.

Tanskanen, M. 2011. Kivääriammunnassa vaikuttavat voimat ja niiden mittaaminen. Kandidaatin tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto.

Tekscan. 2009. FlexiForce® Sensors User Manual. Tekscan, Inc.

Zatsiorsky, V.M., Aktov, A.V. 1990. Biomechanics of highly precise movements: the aiming process in air rifle shooting. *Journal of Biomechanics* 23, 35–41.

9 LIITE 1. Toistomittausten mittausdata

Keskiarvo viidestä liipaisusta on tummennettuna.

Liipaisin 3

KH 1		KH 2	
Liipaisu		Liipaisu	
Keskeltä	Alhaalta	Keskeltä	Alhaalta
0,56	1,519	0,769	1,218
0,601	1,716	0,732	1,421
0,793	1,841	0,64	1,421
0,813	1,853	0,625	1,531
0,833	1,958	0,808	1,533
0,72	1,7774	0,7148	1,4248

Liipaisin 4

KH 1		KH 2	
Liipaisu		Liipaisu	
Keskeltä	Alhaalta	Keskeltä	Alhaalta
1,724	2,356	2,073	3,337
1,763	2,576	1,604	3,455
1,941	2,654	1,521	3,401
1,943	2,671	1,65	3,411
1,941	2,673	1,775	3,406
1,8624	2,586	1,7246	3,402

Liipaisin 5

KH 1		KH 2	
Liipaisu		Liipaisu	
Keskeltä	Alhaalta	Keskeltä	Alhaalta
0,22	0,222	0,352	0,708
0,23	0,234	0,293	0,693
0,212	0,33	0,376	0,754
0,242	0,342	0,398	0,698
0,239	0,359	0,4	0,661
0,2286	0,2974	0,3638	0,7028