

PALAUTTEENANTOJÄRJESTELMÄ MÄKIHYPYSSÄ

Jukka Malinen

Biomekaniikan

pro gradu -tutkielma

Kevät 2011

Liikuntabiologian laitos

Jyväskylän yliopisto

Työn ohjaaja: Vesa Linnamo

TIIVISTELMÄ

Malinen, Jukka. 2011. Palautteenantojärjestelmä mäkihypyssä. Biomekaniikan pro gradu -tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän yliopisto. 40 s.

Mäkihypyssä palautteenanto on tavallisesti perustunut valmentajan kokemukseen analysoida suoritus silmämääräisesti hypyn aikana ja/tai jälkeenpäin videokuvasta. Urheilijoiden saama palaute on siis voinut vaihdella valmentajasta riippuen. Tästä lähtökohdasta haluttiin faktatietoon perustuva palautteenanto valmennukseen. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa mäkihypyn valmennustilanteen palautteenantojärjestelmä, sijoittaa se Vuokatin HS100 hyppyrimäkeen ja testata sen toimivuus. Lisäksi valmista järjestelmää hyväksi käyttäen mitattiin mäkihypykisan kahden kierroksen hypyt, tavoitteena etsiä muuttujista korrelaatiota mm. hypyn pituuden kanssa. Mäkihypypuorituksen tärkeimpänä osa-alueena pidetään ponnistusta, joten palautteenantojärjestelmässä keskityttiin siihen. Ponnistuksen aikainen suoritus videoitiin ja ponnistusvoimia sekä laskunopeuksia mitattiin. Järjestelmä suunniteltiin siten, että palaute saadaan välittömästi suorituksen jälkeen sekä tarvittaessa kotona tarkasteltavaksi. Tuloksena saatiin toimiva järjestelmä, joka on ollut koekäytössä Vuokatin HS100 mäessä kesästä 2010 lähtien. Järjestelmän avulla voidaan antaa palautetta ponnistuksen ajalta mm. voimantuoton määrästä ja laadusta, tasapainosta, laskun nopeudesta ja kiihtyvyydestä. Järjestelmää on käytetty kisojen ja harjoitusten aikana. Ponnistusanalyysi tutkimuksesta saaduista tuloksista huomionarvoista oli, että kehonpainoon suhteutettu pystysuuntainen impulssi korreloi lievästi hypyn pituuden kanssa ($r = 0,660$, $p < 0,05$, $n = 11$). Lisäksi havaittiin ponnistuksen aikaisen tasapainon heikentymisen vaikuttavan negatiivisesti suhteelliseen pystysuuntaiseen impulssiin ($r = -0,736$, $p < 0,01$, $n = 11$). Voimantuotto havaittiin hyvin samankaltaiseksi samalla henkilöllä ja usein erilaisiksi eri henkilöiden kesken. Pieniä eroja löydettiin yksilöiltä eri kierrosten ponnistusten tasapainoissa. Toteuttiin, että hyvään lopputulokseen voidaan päästä erilaisilla ponnistustekniikoilla.

Avainsanat: mäkihyppy, palautteenanto

ABSTRACT

Malinen, Jukka. 2011. Feedback system in ski jumping. Master's Thesis of Biomechanics. Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä. 40 pp.

In ski jumping, feedback has been usually based on the coach's experience to analyze performance visually at the time of jump and/or after the jump from video image. Therefore feedback has differed depending on the coach. For this standpoint we wanted to develop a feedback system that is based on factual information. The purpose of this study was to develop and to build immediate feedback system to ski jumping for training, install it in to Vuokatti HS100 jumping hill and test its functionality. In addition the functioning system was used to measure two round jumps of ski jump competition and to find possible correlations from variables with e.g. length of the jump. The most important phase of ski jump performance is considered take-off, so take-off forces and in-run velocities were measured and take-off videotaped. The system was designed so that feedback was received immediately after jump and if necessary to be analyzed later. As a result, the functioning system has been on trial in summer 2010 in Vuokatti HS100 jumping hill. With this system we can give feedback e.g. from take-off force production amount and quality, balance, in-run velocity and acceleration. The system has been used both in competition and in practice. The relative vertical take-off impulse correlated slightly with the length of the jump ($r = 0.660$, $p < 0.05$, $n = 11$). It was also noticed that weak balance in take-off effects negatively to the relative vertical impulse ($r = -0.736$, $p < 0.01$, $n = 11$). Force production was very similar within the same person and usually very different with the different persons. Small differences were found from individuals' take-off balances between rounds. It was observed that the final result (length of the jump) was possible to achieve by various take-off techniques.

Keywords: ski jump, feedback

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	6
2 BIOMEKAANISIA MITTAUSMENETELMIÄ MÄKIHYPYSSÄ	7
2.1 Videoanalyysi.....	7
2.2 Voiman mittaus	8
3 HYPYN PITUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	10
3.1 Paino.....	10
3.2 Nopeus.....	11
3.3 Ponnistus	12
3.4 Lento	13
4 VÄLITTÖMIÄ PALAUTTEENANTOJÄRJESTELMIÄ URHEILUSSA	14
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS	15
6 MENETELMÄT	16
6.1 Palautteenantojärjestelmä.....	16
6.1.1 Ohjelmiston suunnittelu	17
6.1.2 Voiman mittaus	18
6.1.3 Nopeuden mittaus	18
6.1.4 Videointi.....	19
6.1.5 Tiedonkeräys ja käsittely	20
6.1.6 Järjestelmän testaus	21
6.2 Ponnistusanalyysi	22
6.2.1 Koehenkilöt ja tutkimusasetelma	22
6.2.2 Tilastollinen analyysi	23
7 TULOKSET	24
7.1 Palautteenantojärjestelmä.....	24
7.1.1 Järjestelmän testaus	24
7.1.2 Ohjelmiston asetukset ja mittausvaihe	25
7.1.3 Ohjelmiston analysointivaihe.....	27
7.2 Ponnistusanalyysi	30

8 POHDINTA	34
8.1 Palautteenantojärjestelmä.....	34
8.1.1 Järjestelmän testaus	34
8.1.2 Olosuhteet	35
8.1.3 Jatkokehitystarpeet.....	35
8.2 Ponnistusanalyysi	36
9 LÄHTEET	38

1 JOHDANTO

Suomessa mäkihyppyvalmentajat käyttävät mäkihyppysuorituksen analysointiin yleensä videokameraa. Muita hyödyllisiä teknisiä apuvälineitä tai numeerista faktatietoa ei ole ollut helposti saatavilla. Tästä johtuen mäkihyppysuorituksen analysointi on perustunut valmentajan kokemuksen kautta saatuun taitoon analysoida suoritus silmämääräisesti. Palaute on annettu hyppääjälle suullisesti ja/tai näyttämällä videokuvaa suorituksesta. Mäkihypyn ponnistusta pidetään mäkihyppysuorituksen tärkeimpänä osa-alueena, koska se vaikuttaa eniten lopputulokseen eli hypyn pituuteen. Ponnistuksen tutkimista varten Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitos asensi vuonna 2005 Vuokatin HS100 hyppymäkeen ponnistustapahtuman aikaisia reaktiivoimia mittaavat anturit. Antureiden avulla saatu tieto on ollut kuitenkin hyödynnettävissä lähinnä vain tutkimuskäytössä ja valmennustoiminnassa/huippu-urheilussa tulokset ovat näkyneet vasta viiveellä. Valmennustoiminnassa tuloksia ei ole voitu hyödyntää heti, koska mittaustietoa ei ole ollut valmentajien nähtävänä esim. valmentajanlavalla harjoittelun aikana. Lisäksi antureilta saatu tieto ei ole ollut ilman rinnakkaista videokuvaa asiaan perehtymättömälle kovin selkeästi ymmärrettävää. Tutkimustoiminnassa videokuvan kanssa synkronoiminen on tehty vasta jälkikäteen, joten sitä ei ole saatu hyödynnettyä välittömästi suorituksen jälkeen, jolloin palautteenanto olisi kaikista tehokkainta hyppysuorituksen ollessa vielä hyppääjällä hyvässä muistissa. Tästä lähtökohdasta haluttiin lähteä kehittämään sellainen palautteenantojärjestelmä, joka olisi mahdollisimman reaaliaikainen, jolloin palaute olisi annettavissa hyppääjälle heti suorituksen jälkeen. Käytännössä järjestelmän oli oltava myös helppokäyttöinen ja tulosten helposti luettavissa ja ymmärrettävissä sekä valmentajilla sekä itse hyppääjillä.

2 BIOMEKAANISIA MITTAUSMENETELMIÄ MÄKIHYPPYSSÄ

Mäkihyppyä on tutkittu maailmanlaajuisesti jo suhteellisen pitkän aikaa. Ensimmäiset raportoidut biomekaaniset mittaukset tehtiin Sveitsiläisen insinöörin Reinhard Straumannin toimesta vuonna 1926. Hän yritti selvittää ihanteellista aerodynaamista asentoa mm. tuulitunnelin avulla. Tutkimusalueet voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan: Tutkimukset aidossa mäkihyppytilanteessa, tutkimukset laboratoriossa ja simulaatiot tietokoneella. Monet tutkimukset on suoritettu kilpailutilanteissa, mm. talviolympialaisissa vuosina 1988, 2002 ja 2006 (Virmavirta & Komi 1989; Schmölder ym. 2004; Virmavirta ym. 2009). Kinematiikan näkökulmasta ponnistusvaihe on saanut eniten tutkimushuomiota (Müller & Schwameder 2003). Ponnistusta pidetäänkin mäkihyppysuorituksen kaikkein tärkeimpänä vaiheena, koska se vaikuttaa lentoonlähden nopeuteen, ponnistuskulmaan, kiertomomenttiin ja hyppääjän asentoon lennon aikana (Virmavirta & Komi 1989). Tässä vaiheessa hyppääjän on suoritettava muutos aerodynaamisesti optimaalisesta kyykkyasennosta optimaaliseen lentoasentoon n. 300 ms:ssa ja n. 25 m/s nopeudessa. Lisäksi tilannetta hankaloittaa vielä mäen kaarteessa vaikuttava keskipakovoima.

2.1 Videoanalyysi

Videoanalyysin avulla voidaan laskea mm. kehon eri segmenttien liikeratoja ja nivelten kulmamutoksia. Tutkimuksissa on käytetty suorituksen videointia lähes aina, mutta varsinaista analyysiä ei ole tehty kaikista. Videokuva on siis hyvä visuaalinen keino havainnollistaa muun datan rinnalla mitä suorituksessa tapahtuu. Filmi/videoanalyysiä on käytetty pääasiassa ponnistusvaiheen tutkimiseen (mm. Virmavirta & Komi 1993a ja b; Virmavirta & Komi 1994; Virmavirta ym. 2009). Tavallisesti videoanalyysiin on otettu mukaan 8 tai 10 kehon segmenttiä, jotka ovat yleensä olleet ainakin: pää, keskivartalo, olkavarsi, kyynärvarsi, käsi, reisi, sääri, ja jalkaterä. Myös lentovaihetta on tut-

kittu videoanalyysin avulla (Schmölzer & Müller 2004; Virmavirta 2004). Tällöin on käytetty jopa 12 erillistä videokameraa, jotka on sijoitettu siten, että ne kattavat koko lentovaiheen. Videoanalyysijä on tehty myös laboratoriossa tehdyissä simuloituissa mittauksissa (Virmavirta & Komi 2000). Ponnistuksista on usein tehty 3D-analyysi, johon on käytetty yleensä kahta kameraa, joilla kuvataan samaa paikkaa (kuva 1.). Videoinneissa on käytetty tavallista 25 Hz kameraa sekä ns. suurnopeuskameraa (esim. 200 Hz). Mitä enemmän kuvia saadaan otettua suorituksesta, sitä tarkempi analyysistä saadaan tehtyä. Synkronointi muun mittaustiedon kanssa on tapahtunut mm. valomerkillä (Virmavirta & Komi 1993a ja b; Virmavirta & Komi 1994).

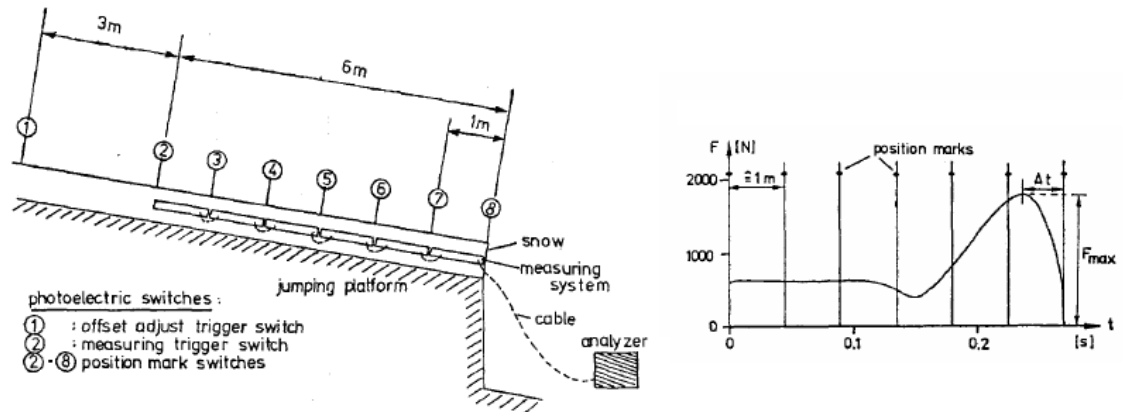


Kuva 1. Kahden kameran sijainnit ja kalibrointi 3D-analyysiä varten (Virmavirta ym. 2009).

2.2 Voiman mittaus

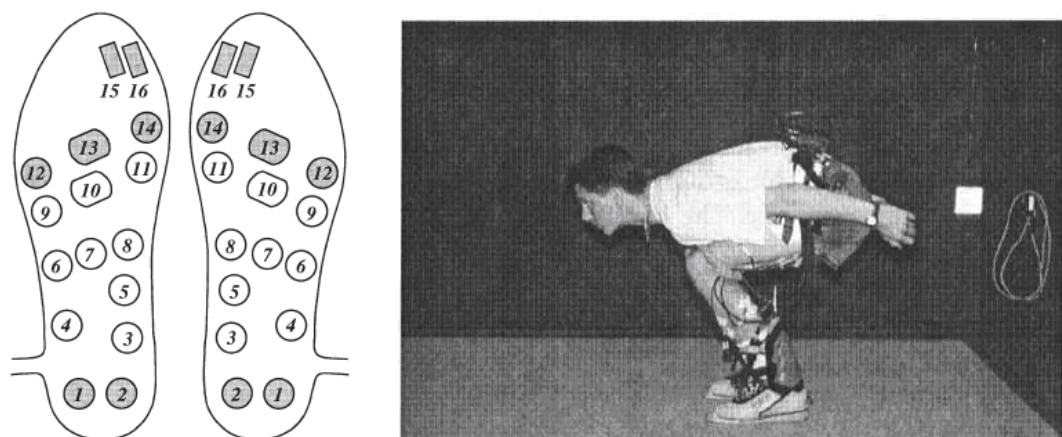
Voiman mittaukseen mäkihypyssä on kehitetty monenlaisia antureita, kuten voimalevyanturit, painepohjalliset tai sideanturit. Suorituksen aikaisia reaktiovoimia on usein mitattu voimalevyantureilla, joita on eri periaatteilla toimivia, mutta yleisin on ollut vastusvenymäliuska-anturi. Voima-antureita voidaan sijoittaa suhteellisen helposti moneen eri paikkaan kuten ladun alle (kuva 2.), siteisiin tai vaikka kengänpohjiin. Mäessä ladun alle sijoitettujen voimalevyantureiden etuna on, että niistä ei ole haittaa hyppääjälle, joten niitä voidaan käyttää myös kilpailuissa. Reaktiovoimia on vastusvenymäliuskoilla mitattu aidossa hyppytilanteessa harjoitusten ja kisojen aikana kesällä että talvella. Anturit ovat kattaneet yleensä hyppyripöydän ja hieman vauhtimäen kaarretta joko 6, 7,5 tai 10 metrin matkan keulalta laskettuna ja niiden avulla on mitattu pystysuuntaisia voimia (Sägesser ym. 1981; Virmavirta & Komi 1989; Vaverka ym. 1993; Virmavirta

& Komi 1993 a ja b; Virmavirta & Komi 1994, Yamanobe & Watanabe 1999, Vodigar & Jost 2010). Ladun suuntaisia voimia mitattaessa on ollut ongelmia mm. lumen pakautumisen takia (Virmavirta & Komi 1989).



Kuva 2. Voimanmittauslaitteisto ja tuloksena saatu voimakäyrä (Sägesser ym. 1981).

Sideantureille tehtyjä tutkimuksia on suhteellisen vähän. Sideantureita on sijoitettu mm. rullasuksiin ja aitoihin hyppysuksiin. Sideantureissa on pystytty mittaamaan pysty- ja vaakavoimia kannasta että päkiästä. (Tveit & Pedersen 1981; Pelkonen 2000.) Kaupallisten mittalaitteiden (esim. Paromed) kehittyessä myös painepohjallisia on käytetty ponnistuksen tutkimisessa aidossa hyppytilanteessa sekä laboratorio mittauksissa (mm. Virmavirta ym. 2000; Virmavirta & Komi 2000; Virmavirta & Komi 2001). Painepohjallisilla saadaan mitattua paineenjakauma (esim. N/cm) suhteellisen tarkasti koko jalkaterän alueelta (kuva 3).



Kuva 3. Vasemmalla painepohjallisten sensoreiden sijainnit ja oikealla mittaustilanne aidoilla hyppykengillä, joihin sijoitettu painepohjalliset (Virmavirta & Komi 2000; Virmavirta ym.2000).

3 HYPYN PITUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

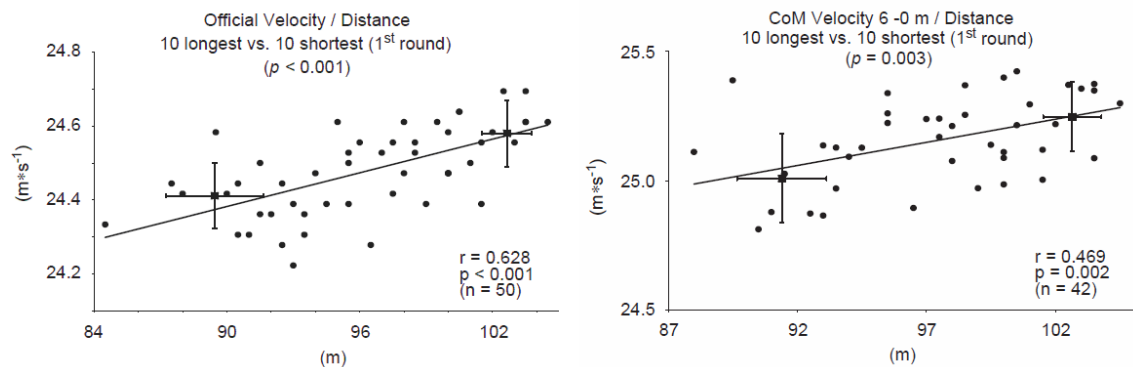
Mäkihypyssä hypyn pituuteen vaikuttavat monet tekijät kuten vauhti, ponnistus, ilmalento ja alastulo valmistautumisineen (Virmavirta 2000). Mäkihypyn suoritus on monimutkainen tapahtuma ja yksittäisen muuttujan vaikutusta lopputulokseen on hankala mitata, koska hyppääjä voi mm. kompensoida heikon ponnistuksen hyvällä lennolla (Virmavirta & Komi 1989). Hyppääjän massakeskipisteen lentorata ja hypyn pituus riippuvat vauhtimäen nopeudesta, ponnistuksesta johtuvasta vertikaalisesta nopeudesta hyppyrintäpöydällä, nosto- ja kitkavoimista ponnistuksessa ja lennossa sekä hyppääjän painosta varusteineen (Schmölzer & Müller 2004). Tässä kappaleessa tarkastellaan lähinnä niitä muuttujia, joita tullaan mittaamaan Vuokattiin rakennetulla palautteenantojärjestelmällä.

3.1 Paino

Kehonpainolla on positiivinen vaikutus vauhtimäen nopeuteen, mutta yleensä negatiivinen lentovaiheeseen. Kehonpainolla ja hypyn pituudella on negatiivinen korrelaatio (Virmavirta & Komi 1989). Urheilijat pyrkivät alhaiseen kehon painoon, koska he saavuttavat sillä merkittävän kilpailuedun (Schmölzer & Müller 2002). Hyppääjien saadessa kilpailuetua alhaisesta kehonpainosta, suuntautui kehitys epäterveelliseen suuntaan. Tästä johtuen vuonna 2004 Kansainvälinen hiihtoliitto (FIS) asetti säännön, jossa suksen pituus kisoissa määräytyy urheilijan pituuden sijaan kehonpainoindeksin (BMI) mukaan. Maksimi suksen pituus 146 % hyppääjän pituudesta on sallittu vain, jos BMI on 20 tai enemmän (mitataan hyppypuku päällä ja hyppykengät jalassa, ilman hanskoja, kypärää ja laseja). Tämän muutoksen jälkeen kehonpaino on muuttunut terveellisempään suuntaan ja korrelaatiota hypyn pituuden kanssa ei enää löytynyt (Virmavirta ym. 2009). Vuonna 2010 lokakuussa FIS tiukensi painoindeksisääntöä siten, että maksimi suksen pituus saa olla samalla indeksillä (BMI 20) 143 % ja BMI:n ollessa väh. 20,5 suksen mitta saa olla 145 % hyppääjän pituudesta.

3.2 Nopeus

Virallinen vauhtimäen nopeus mitataan yleensä kahdella valoportilla, jotka sijaitsevat vauhtimäen kaarteessa. Nopeuteen vaikuttavat mm. hyppääjän aerodynaamiset ominaisuudet (kehon pinta-ala, muoto ja asento), suksien ja ladun välinen kitka sekä paino. On yleisesti hyvin tiedossa, että vauhtimäen nopeus on kaikkein tärkein tekijä hypyn pituuden kanssa (Virmavirta 2009). Mäkihypyssä on tärkeää saavuttaa korkea nopeus kaarteella ja säilyttää tämä nopeus läpi ponnistuksesta aerodynaamiseen lentoasentoon. On myös tärkeää saavuttaa vertikaalista kiihtyvyyttä, jotta voidaan saavuttaa korkein mahdollinen lentorata. (Tveit & Pedersen 1981.) Myös hyppääjän paino varusteineen vaikuttaa positiivisesti vauhtimäen nopeuteen (Virmavirta & Komi 1989). Selkeä korrelaatio hypyn pituuden kanssa on löydetty useasta eri tutkimuksesta (mm. Virmavirta & Komi 1989; Virmavirta & Komi 1993a ja b; Virmavirta ym. 2009). Virmavirta ja Komi (1989) totesivat, että kehon massakeskipisteestä mitattu nopeus korreloisi luultavasti vielä paremmin hypyn pituuden kanssa. Myöhemmissä mittauksissa (Virmavirta ym. 2009) virallisen nopeuden yhteys hypyn pituuteen oli kuitenkin merkitsevämpi kuin massakeskipisteen keskimääräinen nopeus viimeisen 6 metrin matkalta (kuva 4.).



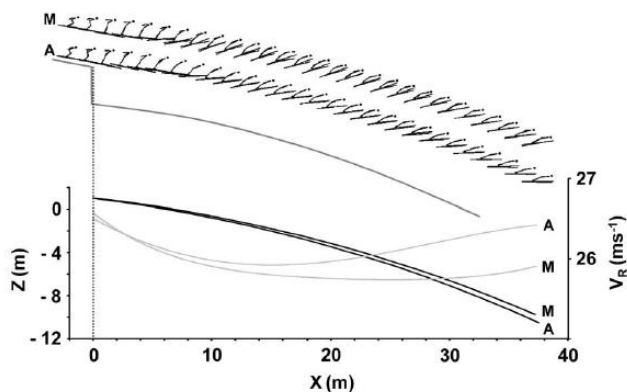
Kuva 4. Vasemmalla virallinen nopeus/hypyn pituus ja oikealla kehon massakeskipisteen keskim. nopeus/hypyn pituus (Virmavirta ym. 2009).

3.3 Ponnistus

Mäkihyppyn ponnistus suoritetaan hyvin äärimmäisissä ja muuttuvissa olosuhteissa. Korkea nopeus, jopa 23 - 29 m/s, ja kaarteella esiintyvä keskipakovoiman aiheuttama paine (n. 60 - 70 % hyppääjän painosta) aiheuttaa paljon vaatimuksia hermolihasjärjestelmälle. (Virmavirta ym. 2000, Virmavirta & Komi 2001.) Ponnistusvaihetta pidetään mäkihyppysuorituksen tärkeimpänä yksittäisenä vaiheena, koska se vaikuttaa lentoonlähtönopeuteen, ponnistuskulmaan, kiertomomenttiin sekä lennon aikaiseen hyppääjä/sukset -systeemiin (Virmavirta & Komi 1989). Ponnistuksessa tapahtuvia virheitä ei voida korjata enää lentovaiheessa, mutta hyvän ponnistuksen edut voidaan kylläkin menettää huonolla lennolla (Virmavirta ym. 2009). Onnistuneessa ponnistuksessa tuotetaan voimaa progressiivisesti hyppyrin keulaa kohti, jolloin saadaan jatkuvasti kiihtyvä liike ja mahdollisimman korkea vertikaalinen ja horisontaalinen nopeus (Virmavirta & Komi 1994). Tutkittaessa ponnistusvoimia on huomattu, että saman henkilön tuottamat voimakäyrät ovat eri hypyillä yleensä hyvin samanmuotoisia (Yamanobe & Watanabe 1999.), mutta yksilöiden väliltä on löydetty suuriakin eroja (Virmavirta & Komi 1989; Virmavirta & Komi 1993a). Hyvin erilaisilla ponnistustekniikoilla voidaan päästä yhtä hyvään lopputulokseen eli hypätä pitkälle (Virmavirta ym. 2009). Ponnistusvoimista on löydetty tiettyjä muuttujia, jotka korreloivat hypyn pituuden kanssa. Näitä ovat olleet ponnistuksesta viimeisen 6 metrin matkalta mitattu painoon suhteutettu ja keskiarvoistettu voima, keulaa lähimpänä sijaitseva maksimivoima (Virmavirta & Komi 1989; Virmavirta & Komi 1993b) ja lisäksi nettoimpulssi viimeisen 6 metrin ajalta (Yamanobe & Watanabe 1999) sekä siitä laskettu lähtönopeus (Virmavirta & Komi 1993a). Sägesser (1981) havaitsi, että hypyn pituuden kanssa korreloi parhaiten maksimi pystyvoima, joka esiintyi 40 - 43 ms ennen hyppyrin keulaa. Ponnistuksen ajoitus ei muutu siirryttäessä pienestä mäestä suurempaan mäkeen. Ponnistus aloitetaan isossa mäessä aikaisemmin, mutta ei ajan suhteen vaan matkan. Harjoittelu pienessä mäessä ei haittaa siirtymistä isoon mäkeen ja voi jopa toimia erikoisharjoitteluna pienemmällä nopeudella. Pienemmissä mäissä on mitattu hieman korkeammat jalkapohjien paineet. Syyksi on esitetty alhaisempaa nopeutta. (Virmavirta ym. 2000.)

3.4 Lento

Lentovaiheen aerodynamiikkaan vaikuttavat ainakin hyppypuku, lentotyyli sekä kehon ja varusteiden paino (Virmavirta ym. 2009). Hyppääjän ja suksien asento vaikuttaa voimakkaasti aerodynaamisiin voimiin ja suoritukseen (Schmölzer & Müller 2004). Alkulentoa (n. 40 m) pidetään kriittisimpänä vaiheena hypyn pituuteen nähden. Alkulento heijastaa myös tapahtunutta ponnistusta. Hyppääjän nopeus laskee ensin ponnistuksen jälkeen ja sitten jälleen kasvaa (kuva 5.). Lasku tapahtuu, koska horisontaalinen nopeus alenee. Korrelaatio hypyn pituuden kanssa on löytynyt suksien ja kehon välisestä kulmasta 1.0 - 1.1 sekunnin kuluttua lentoalähdöstä. Pisimmälle hyppäävillä oli pienempi suksien ja kehon välinen kulma, ja tämä vaikuttaa positiivisesti aerodynamiikkaan. Eri lentoasunnoilla voidaan silti saavuttaa yhtä hyvä lopputulos. (Virmavirta ym. 2004.)



Kuva 5. Nopeus (harmaa) ja sijainti lennossa (Virmavirta ym. 2004).

4 VÄLITTÖMIÄ PALAUTTEENANTOJÄRJESTELMIÄ URHEILUSSA

Palautteen avulla yritetään saada urheilija parantamaan suoritusta, mikä on erittäin tärkeää urheilijan kehitykselle. Palautteenanto voi olla esim. visuaalinen tai audittiivinen tai molempia. Yleisin tekninen apuväline palautteenannossa on ollut videokamera. Yksinkertaisimmillaan suoritus on kuvattu videokameralla, jonka jälkeen palaute on annettu videokuvan perusteella. Tämänkaltainen palaute perustuu palautteenantajan subjektiiviseen näkemykseen. Tietotekniikan kehittyminen on mahdollistanut mm. valmentajien ja liikuntatieteilijöiden ottaa käyttöön entistä kehittyneempiä palautteenantojärjestelmiä, jotka perustuvat objektiiviseen palautteeseen. Kehittyneimmissä järjestelmissä videokuvasta voidaan automaattisesti laskea konenäön avulla tietoa suorituksesta. Videokuvan rinnalle on mahdollista saada myös eri antureilla mitattua tietoa. Jotta palautteenanto olisi tehokasta, tulisi se antaa mahdollisimman nopeasti suorituksen jälkeen. Eri urheilulajeista välittömiä palautteenantojärjestelmiä on kehitetty ainakin soutuun (Baca & Kornfeind 2006; Page & Hawkins 2003; Anderson ym. 2002) ja pöytätennikseen (Nosu ym. 2008; Baca & Kornfeind 2006) ja talviurheilulajeista ainakin alppihiihtoon (Kirby 2009) ja ampumahiihtoon (Baca & Kornfeind 2006). Laitteistojen avulla saadaan mitattua juuri kyseiselle lajille olennaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi ampumahiihtoon kehitetyssä palautteenantojärjestelmässä mitataan konenäöllä aseensa piipun heilumista juuri ennen ja jälkeen laukauksen. Tulos esitetään urheilijalle laukauksen jälkeen. (Baca & Kornfeind 2006.) Alppihiihtoon kehitetyssä palautteenantojärjestelmässä suksiin asennetut anturit keräävät tietoa laskun käännöksen (curving) ominaisuuksista ja järjestelmä antaa audittiivisen palautteen reaaliaikaisesti korvakuulokkeisiin (Kirby 2009). Mäkihyppyyn on kehitetty monenlaisia mittausmenetelmiä, mutta yleensä ne ovat käytössä vain tutkimustilanteissa. Tietävästi yhtään näiden menetelmien avulla saatua informaatiota tuottavaa välitöntä palautteenantojärjestelmää ei ole käytössä.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Suomessa tai ulkomailla ei tiedetä olevan mäkihypyssä käytössä ponnistusvoimia, las-
kun nopeutta ja videokuvaa mittaavaa ja yhdistävää välitöntä palautteenantojärjestel-
mää. Koska kysyntää sellaiselle järjestelmälle kuitenkin oli, niin tämän tutkimuksen
tarkoituksena oli kehittää ideaa eteenpäin. Tutkimus tehtiin yhteistyössä Vuokatin ur-
heiluopiston kanssa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli:

1. Suunnitella ja toteuttaa mäkihypyn valmennustilanteen palautteenantojärjestelmä,
sijoittaa se Vuokatin HS100 hyppymäkeen ja testata sen toimivuus.
2. Valmista järjestelmää hyväksi käyttäen mitata mäkihyppykisan kahden kierroksen
hypyt ja etsiä muuttujista korrelaatiota mm. hypyn pituuden kanssa.

6 MENETELMÄT

6.1 Palautteenantojärjestelmä

Tässä kappaleessa esitellään palautteenantojärjestelmän rakentamisessa käytetyt menetelmät. Kuvassa 6 on esitetty Vuokatin HS100 mäen palautteenantojärjestelmään liittyvät osa-alueet, joita tarkastellaan seuraavaksi. Palautteenantojärjestelmä perustuu voiman ja nopeuden mittaukseen sekä videointiin. Kaikkia mittalaitteita ohjataan ja mitattua tietoa kerätään, muokataan ja analysoidaan omatekoisella ohjelmistolla.



Kuva 6. Vuokatin HS100 hyppyrinmäen palautteenantojärjestelmä

6.1.1 Ohjelmiston suunnittelu

Laitteiston ensisijaisina käyttäjinä tulisivat olevaan valmentajat, joten ohjelmasta pyrittiin tekemään käyttöliittymältään mahdollisimman helppokäyttöinen ja selkeästi luettava. Ohjelmisto toteutettiin LabVIEW -ohjelmointikehällä. Ohjelman toteutus aloitettiin yksittäisten ohjelmien toteutuksella ja niiden testauksella. Erillisten ohjelmien ollessa tarpeeksi luotettavia toiminnaltaan ne yhdistettiin yksitellen kokonaiseksi ohjelmaksi erillisissä vaiheissa. Joka vaiheen jälkeen ohjelman toiminnan muuttuessa suoritettiin testaukset. Seuraavana käydään läpi ohjelmiston kehitysvaiheet pääpiirteittäin.

Ensin toteutettiin mittausohjelmat erikseen suurnopeuskameralle ja tiedonkeruukortille:

1. Suurnopeuskameran ohjaus, (joka sisältää mm. sulkijan nopeus ja kuvausnopeus) ja kaapattujen kuvien tallennus videotiedostoksi (avi) halutulta ajanjaksolta.
2. Tiedonkeruukortin ohjaus ja mitatun datan tallennus ASCII-muotoon tekstitiedostoksi halutulta ajanjaksolta.

Seuraavaksi toteutettiin tallennetun datan analysointiohjelmat.

1. Videotiedoston (avi) käsittely, joka sisältää tyypilliset toiminnot (mm. toisto, pysäytys, hidastus ja selaus).
2. Tiedonkeruukortin datan (txt) eli voimadatan ja valoporttidatan käsittely. Valoporteilta saadusta datasta etsittiin liipaisut ja määritettiin niiden ajankohdat mm. nopeuden laskentaa varten. Voimadatasta poistettiin häiriösuodattimissa syntyvät viiveet, laskettiin nollatasot ja suoritettiin muunto Newton yksikköön. Valoporttien välisiltä ajanjaksoilta laskettiin oikean ja vasemman pystyvoiman summan impulssit sekä oikean ja vasemman pystyvoiman väliset balanssit prosentteina.

Ohjelmien yhdistäminen:

1. Mittausohjelmien yhdistäminen.
2. Analysointiohjelmien yhdistäminen.
3. Kahdesta ensimmäisestä vaiheesta saatujen ohjelmien yhdistäminen.

6.1.2 Voiman mittaus

Ponnistustapahtuman aikaisia reaktivoimia mitattiin vastusvenymäliuska-antureihin perustuvalla voimanmittauslaitteistolla (Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos, Suomi), joka mittaa vasemman ja oikean suksen alta pysty- ja vaakavoimia hyppyrin-pöydältä 13,5 metrin matkalta (HS100) n. 1 sekunnin ajanjaksolta. Anturit on asennettu kesällä käytettävän metalliladun (kuva 7.) alle siten, että jonkin voiman kohdistuessa latuun sen rakenne muuttuu minimaalisesti (laajenee tai supistuu), jolloin muuttuu myös siihen kiinnitetty anturi (venymäliuska) (kuva 7.). Anturista mitattu resistanssi muuttuu suhteellisen lineaarisesti kohdistuvaan voimaan nähden. Resistanssin muutos muutetaan jännitteen muutokseksi, joka vahvistetaan ja suodatetaan häiriöiden poistamiseksi. Tuloksena saadaan jännitesignaali, josta voidaan laskea voimat.

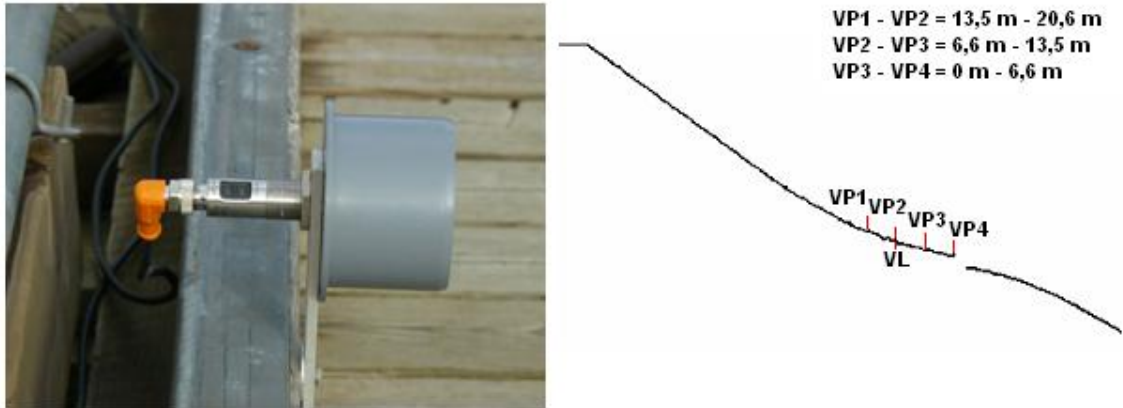


Kuva 7. Vasemmassa kuvassa Vuokatin HS100 hyppyrimäen kesälatu, josta irrotettuna kaksi voimalevy-elementtiä. Yksi elementti sisältää 4 kappaletta vastusvenymäliuska-antureita (oikea kuva), joka taas sisältää useita vastusvenymäliuskoja.

6.1.3 Nopeuden mittaus

Hyppääjän nopeutta mitattiin neljän valoportin (kuva 8.) eli optoelektronisen anturin (Ifm electronic, OGP 501, Saksa) avulla, joista kolme sijoitettiin hyppyrimäen kaarteeseen ja yksi hyppyrin-pöydälle 0, 6,6, 13,5 ja 20,6 metriä hyppyrin keulalta (kuva 8.). Keskinopeus saatiin laskettua valoporttien välisiltä matkoilta. Kaarteessa olevaa ensimmäistä valoporttia käytettiin myös apuna käynnistämään mittauksen tallennus. Valoportit ovat toimintaperiaatteeltaan peilistä heijastavia, mikä tarkoittaa sitä, että valoportti lähettää valoa (tässä tapauksessa punaista valoa), jota se vastaanottaa takaisin jonkin

heijastavan pinnan kautta. Mitattavan kohteen katkaistaessa takaisin heijastuvan valon, muuttuu valoportista mitattava jännite ja tästä voidaan päätellä liipaisuajankohta. Keskinopeus kahden kennon väliseltä matkalta saadaan jakamalla niiden välinen matka käytettyyn aikaan.



Kuva 8. Vasemmassa kuvassa on yksittäinen valoportti ja oikeassa kuvassa on esitetty valoporttien (VP1, VP2, VP3 ja VP4) sijainnit keulalta laskettuna ja voimalevyjen (VL) alkamiskohta.

6.1.4 Videointi

Ponnistuksen aikainen suoritus ja hieman lentovaihetta kuvattiin suurnopeuskameran (Basler Vision Technologies, A602f, Saksa) (kuva 9.) avulla, nopeudella 100 kuvaa sekunnissa, joka asennettiin n. 20 metrin päähän hyppyripöydältä sijaitsevalle valmentajanlavalle (kuva 6.). Kamerassa käytettiin Pentaxin 8mm polttovälin objektiivia. Kamera sijoitettiin lukittavaan suojakoteloon ja alhaisilla lämpötiloilla kamera sijoitettiin lisäksi vielä lämmitettyyn säänsuojakoteloon.



Kuva 9. Videointiin käytetty suurnopeuskamera.

6.1.5 Tiedonkeräys ja käsittely

Voimamittauslaitteistolta ja valoporteilta saatu analogiasignaali kerättiin A/D-muuntimella varustetulla tiedonkeruukortilla (National Instruments, 9205 ja 9163, Yhdysvallat) (kuva 10.) 400 Hz:n näytteenottotaajuudella ja lähetettiin langattomasti (Wi-Fi) tai langallisesti lähiverkkokaapelilla (ethernet) PC tietokoneelle (Windows XP, Intel Core 2 Duo 2,5 GHz, 2 GB RAM). Suurnopeuskamera kytkettiin Firewire-liitännän (IEEE 1394) avulla tietokoneeseen. Tiedonkerääminen alkoi automaattisesti hyppääjän saapuessa kaarteella sijaitsevalle ensimmäiselle valoportille ja loppui esim. yhden sekunnin kuluttua tästä. Kaikkia mittalaitteita ohjattiin ja mittaustietoa käsiteltiin tätä tarkoitusta varten suunnitellulla LabVIEW-ohjelmalla. Mittauskonetta varten rakennettiin valmentajanlavalle lämmitetty ja valaistu mittauskoppi. Mittauskone yhdistettiin Vuokatin urheiluopiston tietoverkkoon, johon luotiin mittaustietokanta suorituksia varten.



Kuva 10. Tiedonkeruukortti NI 9205 ja langaton lähetin NI 9163.

6.1.6 Järjestelmän testaus

Suurnopeuskamera, valoportit ja tiedonkeruukortti olivat valmiita kaupallisia laitteita, joille oli tehty valmistajan toimesta standardien mukaiset testaukset. Mittalaitteita ohjattiin kuitenkin omatekoisella ohjelmistolla, ja siksi järjestelmästä testattiin videokuvan ja tiedonkeruukortilta saadun tiedon samanaikaisuutta sekä mittauskoneen nopeutta reaaliaikaisessa laskennassa.

Samanaikaisuus. Valmistettua ohjelmistoa hyväksikäyttäen, testattiin videokuvan ja tiedonkeruukortilta saadun datan samanaikaisuutta, kuvaamalla suurnopeuskameralla valokennossa sijaitsevaa merkkivaloa ja lukemalla valokennon jännitearvoa tiedonkeruukortin avulla. Periaatteena on, että valokennosta mitattu jännite muuttuu, kun siinä oleva merkkivalo syttyy tai sammuu. Tarkastelemalla suoritettujen testausmittauksen tuloksia ohjelman käyttöliittymästä eli merkkivalon syttymistä tai sammumista videokuvasta ja samaan aikaan tiedonkeruukortilta saadun signaalin muotoa pystykursorin avulla, voidaan päätellä samanaikaisuus hitaimman laitteen eli tässä tapauksessa kameran (100 Hz) tarkkuudella. Tiedonkeruukortin nopeutena käytettiin 400 Hz.

Mittauskoneen nopeus. Valoporteilta saatu jännitetieto tulee PC:lle reaaliaikaisesti, jolloin mittauskortin puskurimuistia ei käytetä lainkaan. Tämä valittiin sen takia, että saataisiin kamera ja muu data synkronoitua ilman erillisiä viiveistä aiheutuvia datan siirtoja. Tämä vaatii koneelta laskentatehoa, jotta se pystyy mm. purkamaan taulukoita nopeasti. PC:n nopeutta mitattiin vertaamalla LabVIEW-ohjelman mittausvaiheen silmukan kierroslukua (joka on riippuvainen valitusta tiedonkeruukortin näytteenottotaajuudesta) erillisen ajanottokellon arvoon. Testissä mittausohjelma ja ajanottokello käynnistettiin yhtä aikaa ja sammutettiin 30 sekunnin kuluttua käynnistämisestä. Näytteenottotaajuutta nostettiin, kunnes löydettiin maksimaalinen tiedonkeräysnopeus. 30 sekuntia oli maksimaalinen aika, koska tieto tallennettiin PC:n keskusmuistiin (2 GB), joka täyttyi mitaustiedosta. Keskusmuistia käytettiin, koska muistiin tallentaminen reaaliaikaisesti oli tässä tapauksessa nopeampaa kuin kiintolevylle.

6.2 Ponnistusanalyysi

Palautteenantojärjestelmän soveltuvuutta tutkimuskäyttöön testattiin mittaamalla ja analysoimalla yhdistetyn nuorten maajoukkueen leirikisan kahden kierroksen hyppy Vuokatin HS100 mäessä kesäkuussa 2010.

6.2.1 Koehenkilöt ja tutkimusasetelma

Koehenkilöinä oli 11 yhdistetyn nuorten maajoukkueen urheilijaa, ikä 15 - 18 vuotta, paino varusteineen 58,8 - 83,7 kg. Koehenkilöt suorittivat hyppy kahdella kierroksella. Koehenkilöt punnittiin varusteiden (kypärä, lasit, hyppypuku, hanskat, monot ja sukset) kanssa vaa'alla. Hyppyjen pituudet arvioitiin silmämääräisesti tuomarintornista. Ponnistuksen ajalta mitattiin laskunopeudet, pysty- ja vaakavoimat ja ponnistukset kuvattiin suurnopeuskameralla. Nopeudet laskettiin neljän valoportin avulla (katso kuva 8.), joista saatiin kolme keskinopeutta (Nopeus 1-2, 2-3 ja 3-4). Voimadatasta analysoitiin seuraavat muuttujat: Oikean ja vasemman summatun pystyvoiman absoluuttinen ($F_z \max ab$) ja suhteellinen maksimiarvo ($F_z \max re$) ja sen ajallinen sijainti keulalta laskettuna (Timing F_z), oikea ja vasen summattu pystysuuntainen impulssi absoluuttisena ($F_z I ab$ 2-3, 3-4 ja 2-4) ja suhteellisena ($F_z I re$ 2-3, 3-4 ja 2-4) voimalevyjen alueella sijaitsevien valokennojen väleistä, oikean ja vasemman pystyvoiman välinen tasapainoero voimalevyjen alueella sijaisevien valokennojen väleistä (F_z balanssi % ero 2-3 ja 3-4). Impulssit laskettiin integroimalla voima-arvoja valoporttien välisiltä ajanhetkiltä. Suhteellisella arvolla tarkoitetaan voima-arvoa suhteutettuna kehonpainoon varusteineen.

Voimalevyille oli suoritettu kalibroinnit Jyväskylän yliopiston toimesta, mutta niiden toimivuus ja niiltä mitattujen arvojen oikeellisuuden tarkistukset suoritettiin mittauspäivänä heti kisojen jälkeen. Pystyvoimat testattiin käyttämällä yksitellen joka levyllä 25 kg punnusta. Vaakavoimat tarkistettiin muodostamalla imukupin ja digitaalisen veto- vaa'an avulla 5 kg veto jokaiselle levyllä erikseen (kuva 11.).



Kuva 11. Voimalevyjen vaakavoimien tarkistukset.

6.2.2 Tilastollinen analyysi

Tilastolliseen analyysiin käytettiin SPSS-tilastoanalyysiohjelmaa. Kaikille mitatuille muuttujille laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat kahdelle kierrokselle ($n = 11$) sekä kierrokset yhteen laskettuna ($n = 22$). Muuttujien välistä yhteyttä tutkittiin laskemalla Pearsonin korrelaatiokertoimet ja tilastolliset merkitsevyydet.

7 TULOKSET

Tässä kappaleessa on esitelty tulokset kahdessa eri osassa. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan palautteenantojärjestelmän ohjelmiston käyttöliittymän toimintaa, jonka jälkeen tarkastellaan tuloksia ponnistusanalyysi tutkimuksesta.

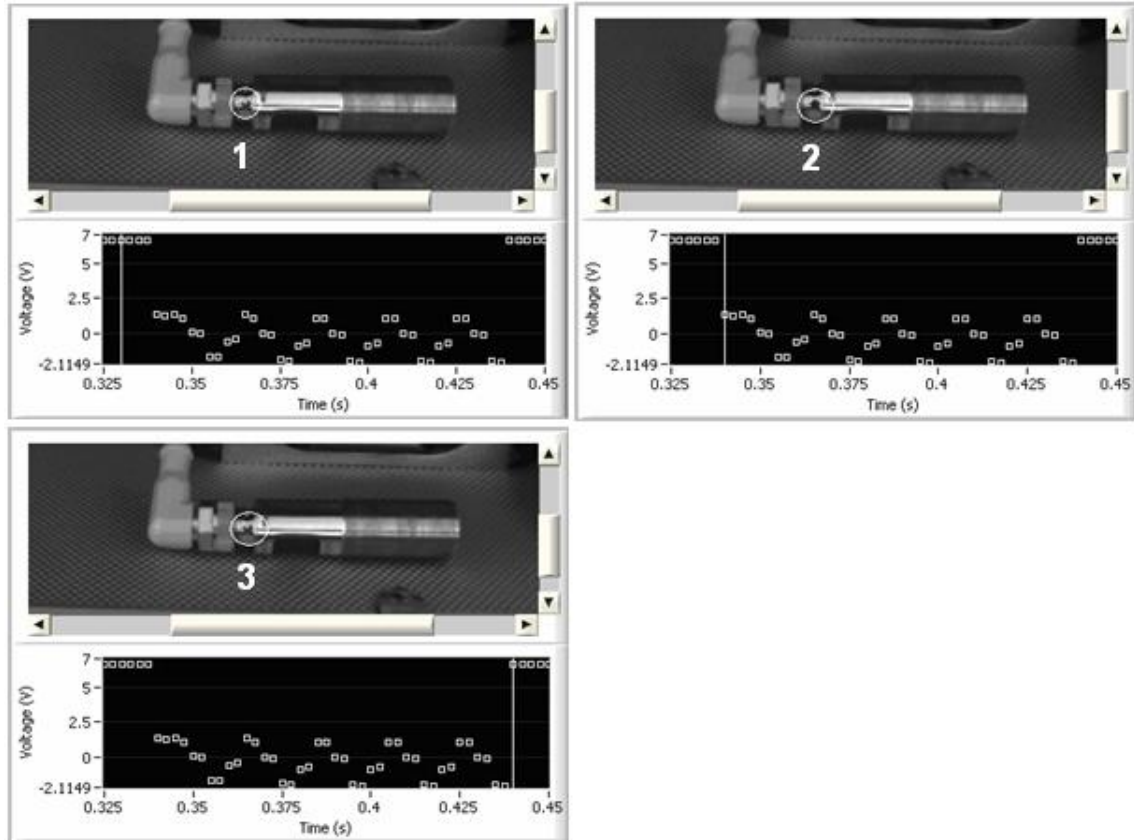
7.1 Palautteenantojärjestelmä

Tuloksena saatiin palautteenantojärjestelmä, joka otettiin koekäyttöön Vuokatin HS100 hyppyrimäessä kesällä 2010. Järjestelmän avulla voidaan ponnistuksen ajalta antaa palautetta mm. voimantuoton määrästä ja laadusta, tasapainosta, laskun nopeudesta ja kiihtyvyydestä. Ensimmäisenä tarkastellaan järjestelmän testauksen tuloksia ja sitten ohjelmiston käyttöliittymää.

7.1.1 Järjestelmän testaus

Samanaikaisuus. Kuvan 12 kuvasarjassa 1-3 on esitetty tulokset kameran ja tiedonkeruukortin samanaikaisuudesta. Kameran kuvanottonopeutena käytettiin 100 Hz ja tiedonkeruukortin näytteenottotaajuutena käytettiin 400 Hz, joten selattaessa testaustuloksia käyttöliittymässä (kuva 12.), pystykursori liikkuu kameran ottaman kuvan (0,01 sekunnin) välein tiedonkeruukortin = valoportin joka neljänteen datapisteeseen. Valoportin 400 Hz:n näytteenottotaajuudesta johtuen näytteitä on 0,0025 s välein. Kuvissa on osoitettu miten jännite muuttuu valokennon syttymisen mukaan.

Mittauskoneen nopeus. Mittauskoneen reaaliaikaisen tiedonkeräyksen maksimi nopeudeksi saavutettiin 500 Hz. 600 Hz:n kohdalla alkaa tapahtua jo selkeätä hidastumista.

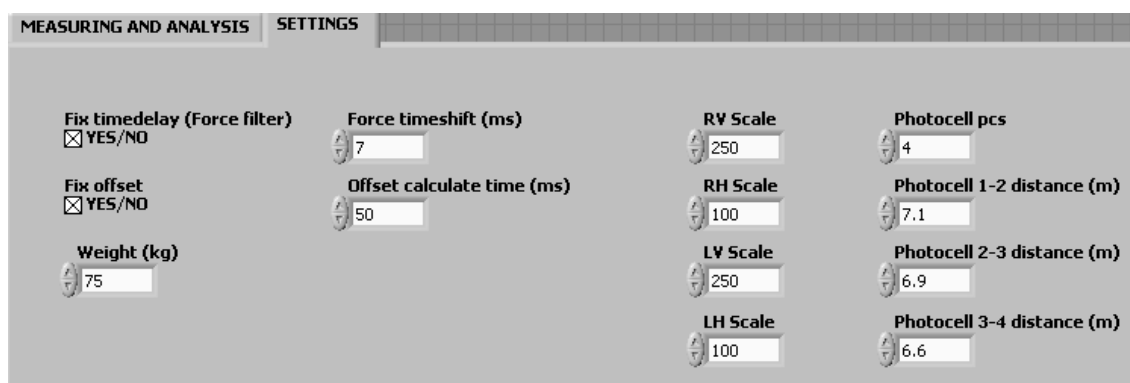


Kuva 12. Kuvasarjassa 1-3 on esitetty kuinka palautteenantojärjestelmää hyväksikäyttäen on kuvattu yhden valoportin ja videokuvan samanaikaisuutta. Kuvassa oleva pystykursori liikkuu samanaikaisesti 0,01 sekunnin askelin videokameran kuvien kanssa. Vasemmalla ylhäällä kuvassa 1 valoportin valo on syttynyt ja siitä mitattu jännite on myös ”ylhäällä” (katso pystykursori). Oikealla ylhäällä kuvassa 2 valoportin valo on sammunut ja siitä mitattu jännite on ”alhaalla”. Viimeisessä kuvassa 3 vasemmalla alhaalla jännitteen noustessa myös valo syttyy.

7.1.2 Ohjelmiston asetukset ja mittausvaihe

Ohjelmistolla voidaan mitata suoritus ja tutkia sitä välittömästi käyttöliittymässä. Tarvittaessa tulokset voidaan tallentaa esim. kiintolevylle ja tutkia niitä myös myöhemmin. Kuvassa 13 on esitetty käyttöliittymän asetukset -välilehti (settings), jonka säädöt vaikuttavat mitattavan tiedon tai jo aikaisemmin mitatun tiedon analysointiin. Asetuksissa määritellään kuinka mitattuja jännitearvoja muokataan, jotta se saadaan helpommin ymmärrettäväksi. Esimerkiksi voima-antureilta saadaan jännitedataa ja jotta se saadaan vastaamaan voimasuureen virallista yksikköä (Newton), täytyy se kertoa jollakin arvol-

la. Tässä tapauksessa pystyvoimissa (RV Scale ja LV Scale) 4 mV vastaa 1 Newtonia, jolloin kertoimeksi asetetaan 250. Vaakavoimille (RH Scale ja LH Scale) vastaavasti 10 mV vastaa 1 Newtonia, jolloin sen kertoimeksi tulee 100. Hyppääjän lasku aiheuttaa mäen rakenteisiin värähtelyä, jota varten voimanmittauslaitteistossa on käytössä häiriösuodatin. Valittavissa on kaksi eri asentoa, jolla määritellään häiriösuodattimen raja- taajuus. Tämä tulee ottaa huomioon analysoinnissa, koska suodattimet aiheuttavat vii- vettä (100 Hz asetuksella 20 ms ja 50 Hz asetuksella 7 ms). Lisäksi asetuksista voidaan valita tarvittaessa nollatason säätö. Tulosten suhteuttamista varten asetuksiin voidaan lisätä kokonaispaino. Suhteuttaminen on tärkeää etenkin jos vertaillaan eri hyppääjien suorituksia. Asetuksia muutetaan tarvittaessa eri tilanteita varten, esim. tutkimustilan- teessa usein otetaan tiedot talteen käsittelemättömänä, jolloin muokkausta ei tehdä lain- kaan.



Kuva 13. Mittaustiedon analysoinnin asetukset. Suodattimissa syntyvän aikaviiveen korjaus (Fix timedelay ja Force timeshift), nollatason korjaus (Fix offset ja Offset calculate time), kokonaispainon lisääminen (Weight), voimadatan esittäminen Newton yksiköissä oikealle ja vasem- malle pysty- ja vaakavoimalle (RV Scale, LV Scale, RH Scale ja LH Scale), valoporttien väliset matkat (Photocell distance 1-2, 2-3 ja 3-4).

Mittausvaiheessa ohjelmaan asetetaan vielä erilliset asetukset, joita ovat videon, voima- ja valoporttien tiedonkeräysnopeus, mittausaika sekä kameran sulkijannoisuus (kuva 14.). Käynnistettäessä mittaus käyttöliittymästä, nähdään reaaliaikainen videokuva sekä valoporttidata. Hyppääjän saapuessa kaarteella olevalle ensimmäiselle valoportille alkaa tiedon tallennus PC:n keskusmuistiin. Tallennusaika on tässä tapauksessa määritelty yhteen sekuntiin, joka riittää tallentamaan ponnistustapahtuman ja hieman lentovaihetta. Tiedot tallennetaan ensin keskusmuistiin, koska tietoa tulee lyhyessä ajassa niin paljon,

että kiintolevyille tallentaminen ei välttämättä onnistu reaaliaikaisesti. Lisäksi tietoja ei välttämättä tarvitse tallentaa kiintolevyille, jos käyttäjä ei niin halua. Välittömästi mittauksen jälkeen ohjelma muokkaa mitatun datan asetusten (kuva 13.) mukaisesti, jonka jälkeen suoritus on analysoitavissa käyttöliittymässä (kuva 15.).

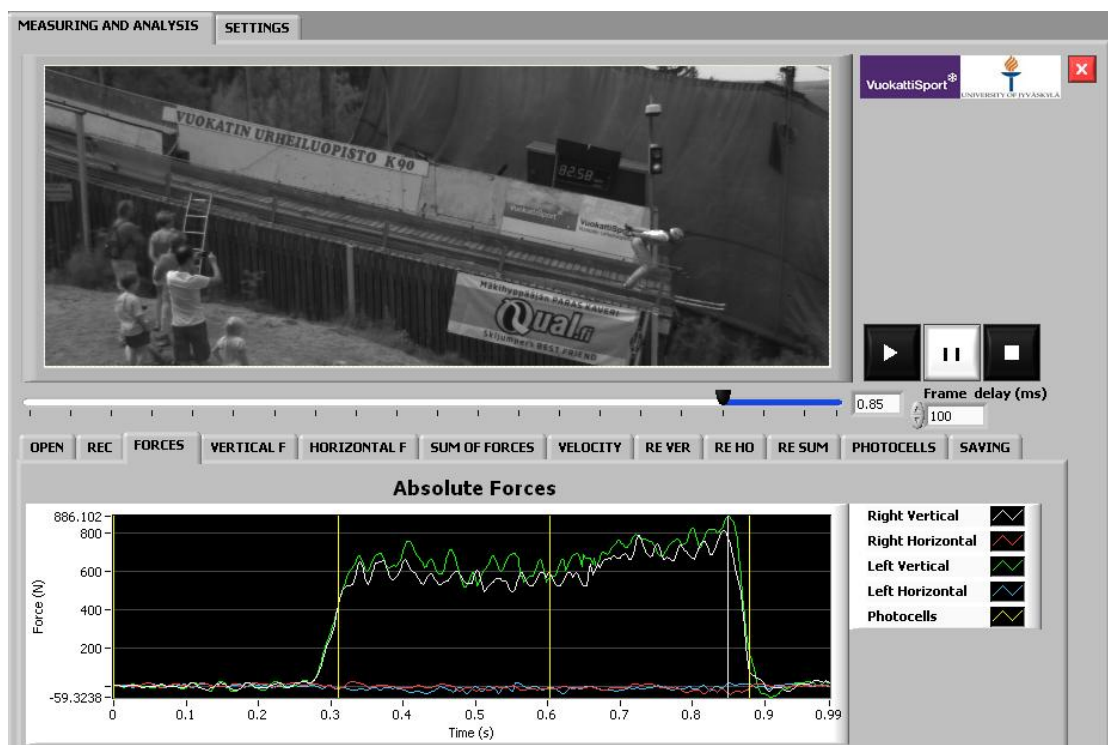


Kuva 14. Mittausvaiheen asetukset. Välilehdellä asetetaan kameras kuvanottotaajuus (Video frame rate), voima- ja valokennodatan näytteenottotaajuus (Sample rate), tallennusaika (REC time) ja kameras sulkijan nopeus (Shutter value).

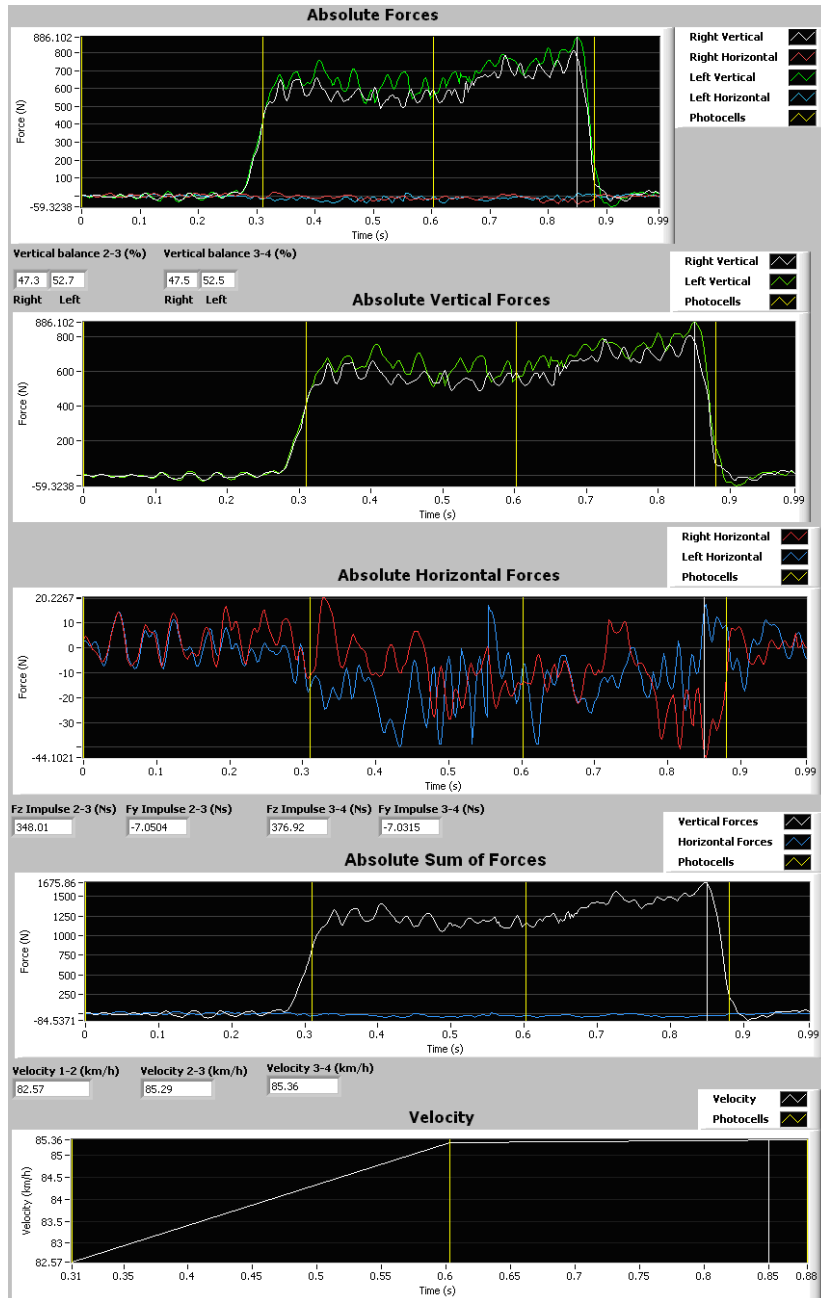
7.1.3 Ohjelmiston analysointivaihe

Välittömästi mittauksen jälkeen (tai myös myöhemmin) tuloksia voidaan tarkastella eri välilehdillä olevista kuvaajista (kuva 15 ja 16.). Valokennojen sijainti näkyy kuvaajissa neljänä pystykursorina. Hyppysuorituksesta saadaan näkyviin eri kuvaajissa vasen ja oikea pysty- ja vaakavoima sekä molempien jalkojen summatut voimat. Pystyvoimille on laskettu oikean ja vasemman jalan välinen tasapaino %. Summavoimille on laskettu (integroitu) voimantuotto myös impulsseina voimalevyjen alueella sijaitsevien valoport-

tien väleistä. Lisäksi voidaan tutkia nopeuskuvaajaa. Tietoja voidaan tutkia ajan funktiona play-, pause- ja stop -painikkeiden avulla. Pause -asennossa suoritusta voidaan selata edestakaisin, jolloin myös pystykursori liikkuu kaikissa kuvaajissa ajan mukaisesti. Play -asennossa suorituksen nopeutta voidaan hidastaa tai nopeuttaa. Analysoinnin päätteeksi tiedot voidaan tarvittaessa tallentaa esim. kiintolevyille. Tämä tapahtuu valitsemalla saving-välilehdellä tiedostonimi ja tallennuspaikka, jolloin ohjelma tallentaa videon avi-päätteiseksi videotiedostoksi sekä voima- ja valokennotiedot sarakkeittain ASCII merkkeinä tekstitiedostoksi. Ohjelma lisää tiedostonnimeen automaattisesti vielä päivämäärän ja ajan, jotta voidaan välttyä samannimisiltä tiedostoilta ja tarvittaessa etsiä oikea tiedosto ajan avulla.



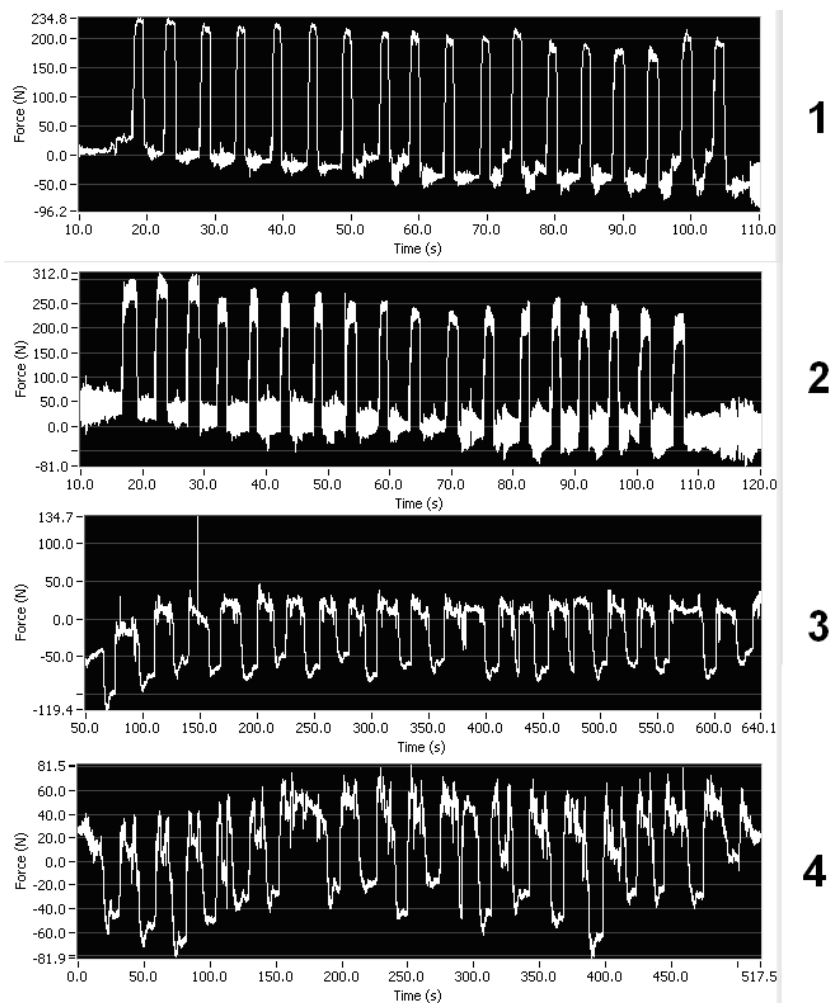
Kuva 15. Mittaustulosten analysointivaihe. Välilehden (FORCES) kuvaajassa on esitetty vasen ja oikea pysty- ja vaakavoima ja valoportit. Pystykursori liikkuu samanaikaisesti videokuvan kanssa.



Kuva 16. Analysointihjelman eri välilehtien kuvaajat (1-5). Kuvaajassa 1 (Absolute Forces) on esitetty oikea ja vasen pysty- ja vaakavoima. Kuvaajassa 2 (Absolute Vertical Forces) on esitetty oikea ja vasen pystyvoima sekä niiden tasapainoerot valoporttien 2-3 ja 3-4 väleistä lasketuna (Vertical balance 2-3 ja 3-4). Kuvaajassa 3 on esitetty oikea ja vasen vaakavoima (Absolute Horizontal Forces). Kuvaajassa 4 on esitetty oikea ja vasen pysty- ja vaakavoima yhteen lasketuna (Absolute Sum of Forces), sekä impulssit summapystyvoimille valokennojen 2-3 ja 3-4 väleistä (Fz Impulse 2-3 ja 3-4 ja Fy Impulse 2-3 ja 3-4). Kuvaajassa 5 (Velocity) on esitetty kolme keskinopeutta (Velocity 1-2, 2-3 ja 3-4) neljän valoportin väliltä. Kaikissa kuvaajissa on myös esitetty valoportit pystykursoreina. Viides (neljäs nopeuskuvaajassa) pystykursori liikkuu samanaikaisesti videokuvan kanssa.

7.2 Ponnistusanalyysi

Kuvassa 17 on esitetty voimalevyjen tarkastusmittausten tulokset. Pystyvoimaa mittaavat elementit (36 kpl) toimivat kaikki ja huipusta huippuun arvot ovat suhteellisen lähellä todellista n. 245 N arvoa. Pystyvoimien testaukset suoritettiin käyttämällä 25 kg painoa jokaisen voimalevy-elementin keskellä. Vaakavoimista toimii myös kaikki elementit (36 kpl). Vaakavoimat testattiin kuormittamalla voimalevyä veto-vaa'an avulla n. 49 N voimalla. Vaakavoimien arvot ovat kauttaaltaan hieman suurempia kuin kuormituksen aiheuttama voima. Tulokset ovat suuntaa antavia vaakavoimille, koska kuormitus suoritettu käsivaralla. Mittauksen järjestys kaikille kanaville oli kaarteelta kohti hypyrin keulaa.



Kuva 17. Kuvaajassa 1 on esitetty vasen pystyvoima. Kuvaajassa 2 on esitetty oikea pystyvoima. Kuvaajassa 3 on esitetty vasen vaakavoima. Kuvaajassa 4 on esitetty oikea vaakavoima.

Taulukossa 1. on esitetty analysoidut muuttujat ja niiden keskiarvot (M), keskihajonnat (SD) ja koehenkilöiden (N) määrä. Muuttujien lyhenteiden tarkemmat selitykset ovat menetelmät osiossa sivulla 22. Valoporttien merkinnät ja sijainnit ovat selitetty tarkemmin kuvassa 8 sivulla 19. Taulukossa 2 on esitetty löydetyt korreloivat muuttujat 1. ja 2. kierrokselta. Kuvissa 18 ja 19 on esitetty merkittävimmät korrelaatiot.

TAULUKKO 1. Analysoidut muuttujat

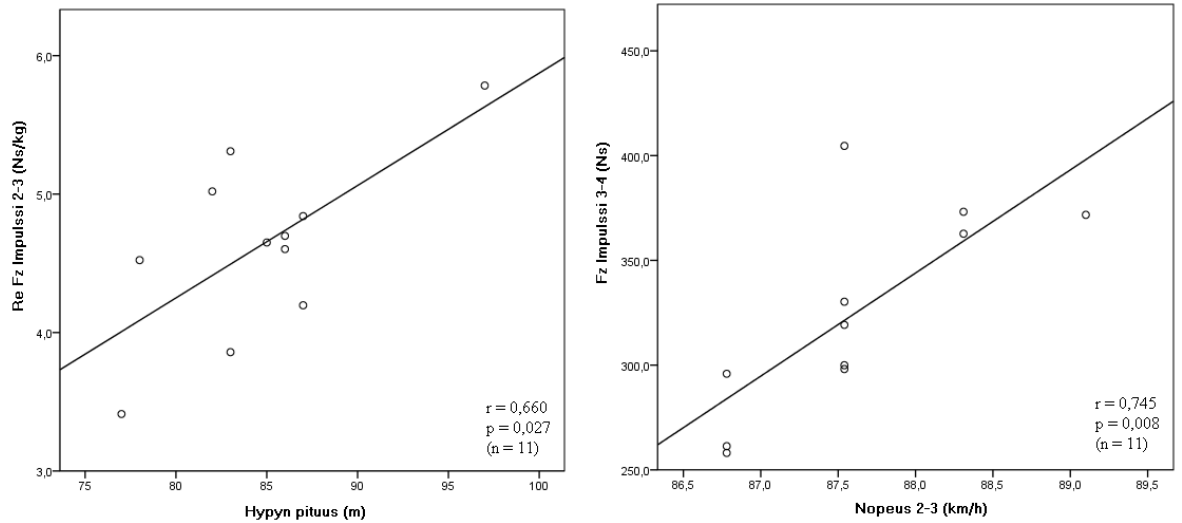
Muuttujat	1 kierros (n = 11)		2 kierros (n = 11)	
	M	SD	M	SD
Kokonaispaino (kg)	72,1	8,4	72,1	8,4
Hypyn pituus (m)	74,6	6,3	84,6	5,3
Nopeus 1-2 (km/h)	85,9	1,1	87,4	0,3
Nopeus 2-3 (km/h)	87,6	0,7	88,9	0,5
Nopeus 3-4 (km/h)	87,1	1,1	88,0	0,8
Fz max ab (N)	1460,8	212,6	1469,8	195,4
Fz max re (N/kg)	20,5	3,4	20,6	3,2
Timing Fz (ms)	207	153	226	141
Fz l ab 2-4 (Ns)	655,2	76,3	657,3	83,5
Fz l ab 2-3 (Ns)	330,2	31,5	329,9	32,6
Fz l ab 3-4 (Ns)	325	48	327,4	54,6
Fz l re 2-4 (Ns/kg)	9,17	1,29	9,2	1,37
Fz l re 2-3 (Ns/kg)	4,63	0,65	4,62	0,65
Fz l re 3-4 (Ns/kg)	4,54	0,7	4,57	0,79
Fy l ab 2-4 (Ns)	-20,48	2,79	-20,36	2,8
Fy l ab 2-3 (Ns)	-9,43	1,33	-9,43	1,32
Fy l ab 3-4 (Ns)	-11,05	1,6	-10,93	1,65
Fy l re 2-4 (Ns/kg)	-0,286	0,04	-0,284	0,036
Fy l re 2-3 (Ns/kg)	-0,132	0,023	-0,13	0,019
Fy l re 3-4 (Ns/kg)	-0,154	0,022	-0,152	0,021
Fz balanssi % ero 3-4	5,6	3,8	4,7	3,9
Fz balanssi % ero 2-3	2,1	1,7	2,9	2

TAULUKKO 2. Korreloivat muuttujat.

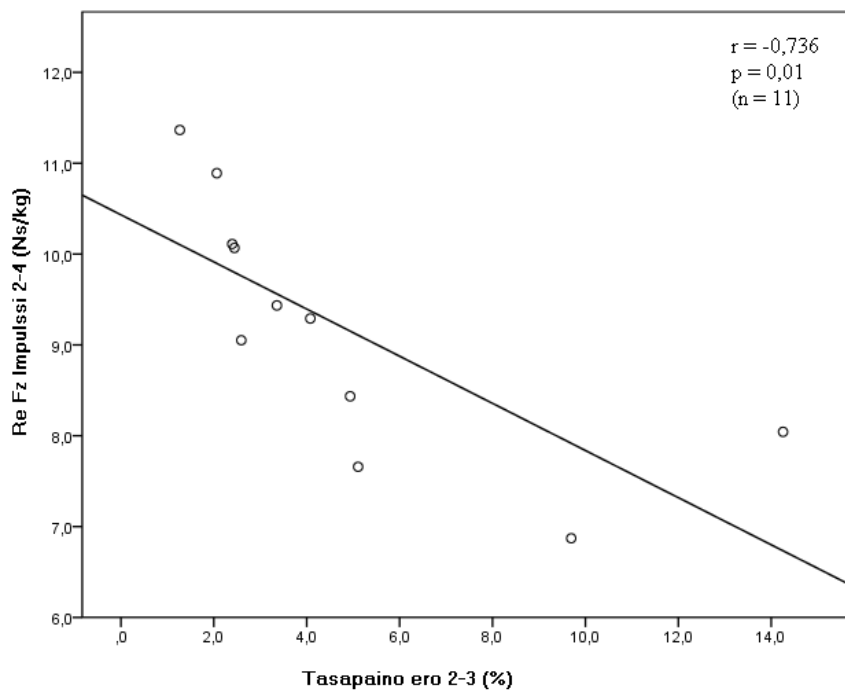
Korreloivat muuttujat	1 kierros	2 kierros
Fz l re 2-3 / hypyn pituus	-0,111	0,660*
Kokonaispaino / nopeus 1-2	-0,037	0,660*
Kokonaispaino / nopeus 2-3	0,373	0,617*
Nopeus 1-2 / fy l 2-3	-0,552	-0,809**
Nopeus 1-2 / fz l 2-3	0,602*	0,308
Nopeus 2-3 / fz l 2-4	0,703*	0,611*
Nopeus 2-3 / fz l 3-4	0,745**	0,594
Nopeus 3-4 / fz l 2-4	0,562	0,691*
Nopeus 3-4 / fz l 2-3	0,536	0,659*
Nopeus 3-4 / fz l 3-4	0,541	0,664*
Fz balanssi % ero 2-3 / re max pysty	-0,051	-0,740**
Fz balanssi % ero 2-3/ re fz l 2-4	-0,051	-0,736**
Fz balanssi % ero 2-3 / re fz l 2-3	-0,120	-0,674*
Fz balanssi % ero 2-3 / re fz l 3-4	0,017	-0,717*
Fz balanssi % ero 2-3 / re fy l 2-3	-0,159	0,607*
Fz balanssi % ero 2-3 / re fy l 3-4	-0,295	0,656*
Fz balanssi % ero 3-4 / re max pysty	-0,409	-0,695*
Fz balanssi % ero 3-4 / re fz l 2-4	-0,417	-0,675
Fz balanssi % ero 3-4 / re fz l 2-3	-0,440	-0,634*
Fz balanssi % ero 3-4 / re fz l 3-4	-0,358	-0,644*

Tilastollisesti merkitsevät arvot on lihavoitu (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$).

Hypyn pituuden kanssa yhteys löytyi toisen kierroksen kehonpainoon suhteutetusta pystysuuntaisesta impulssista valoporttien 2-3 välistä ($r = 0,660$, $p = 0,027$, $n = 11$) (kuva 18.). Lähtöpuomia nostettiin 1. kierroksen jälkeen, joka näkyy kierroksen 2. nopeuksissa ja hyppypituuksissa. Ensimmäisen kierroksen nopeus valoporttien 2-3 välillä korreloi valoporttien 3-4 väliseen pystysuuntaiseen impulssiin ($r = 0,745$, $p = 0,008$, $n = 11$) (kuva 18.). Tasapainoero valoporttien 2-3 välillä korreloi negatiivisesti suhteelliseen pystysuuntaiseen impulssiin valoporttien 2-4 välillä toisella kierroksella ($r = -0,736$, $p = 0,01$, $n = 11$) (kuva 19.).



Kuva 18. Vasemmassa kuvaajassa on esitetty kehonpainoon suhteutettu pystysuuntainen impulssi valoporttien 2-3 välistä, joka korreloi lievästi hypyn pituuden kanssa 2 kierroksella. Oikealla on esitetty nopeuden vaikutus pystysuuntaiseen impulssiin 1 kierroksella.



Kuva 19. Tasapainon vaikutus kehonpainoon suhteutettuun pystysuuntaiseen impulssiin toisella kierroksella.

8 POHDINTA

8.1 Palautteenantojärjestelmä

Palautteenantojärjestelmä otettiin koekäyttöön Vuokatin HS100 mäessä kesällä 2010. Järjestelmän suunnitteleminen ja toteuttaminen oli mielenkiintoinen ja haasteellinen tehtävä monien syiden takia, joita käydään läpi tässä kappaleessa. Järjestelmällä saatujen mittaustulosten lukemiseen ja ymmärtämiseen on perehdytetty valmentajia ja urheilijoita. Palaute on tapahtunut siten, että valmentaja on katsonut tuloksia hypyn jälkeen, jonka jälkeen informoinut hyppääjää puhelimitse. Jatkossa on tarkoitus saada tulokset heti näkyville myös mäkimonttuun, jolloin urheilija saisi palautteen itse nähtäväksi. Jälkitarkastelua varten on yksittäisille urheilijoille ja valmennusryhmille annettu cd- tai dvd-levy, johon on tallennettu suoritukset videotiedostoina.

8.1.1 Järjestelmän testaus

Kameran ja tiedonkeruukortin mittaustiedon synkronoiminen saatiin toimimaan halutulla tavalla. Hyppääjä liikkuu kameras ottaman kahden kuvan välillä (100 Hz:llä 10 ms) n. 25 cm, joten yhdenmukaisuus tuli olla täysin sama, jotta mitattuja tuloksia voitaisiin käyttää valmennuksessa ja tutkimuksessa luotettavasti. Mittauskoneessa oli käyttöjärjestelmänä Windows XP, joka optimoitiin mahdollisimman tehokkaaksi poistamalla kaikki turhat ohjelmat taustalta, jolloin saatiin käyttöön kaikki mahdollinen saatavilla oleva prosessorin teho ja keskusmuisti. Kuitenkin Windows XP -käyttöjärjestelmässä pyörii taustalla tähän tarkoitukseen turhia sovelluksia, joita ei voida sammuttaa ja jotka vievät resursseja. Tämä johtaa siihen, että tällaisella käyttöjärjestelmällä varustetusta mittauskoneesta ei saada kovin tehokasta reaaliaikaista mittauskonetta. Saavutettu max. 500 Hz:n näyteenottotaajuus riittää kuitenkin tähän sovellukseen. Yleensä reaaliaikaista laskentaa varten käytetään omaa sulautettua järjestelmää, jossa on käyttöjärjestelmä

suunniteltu vain tiettyä tarkoitusta varten. Mahdollisesti jatkossa sellainen voitaisiin ottaa käyttöön myös tässä sovelluksessa.

8.1.2 Olosuhteet

Koko järjestelmä piti suunnitella ja rakentaa sellaiseen ympäristöön, jossa se joutuisi monenlaisten sääolosuhteiden armoille. Kaikki komponentit tuli suojata kesällä vedeltä ja talvella pakkaselta ja lumelta. Ongelmia ilmeni pääasiassa voima-antureiden kanssa, joita vioittui pitkin kesää. Anturit eivät kestäneet kunnolla ladun kastelusta aiheutuvaa kosteutta. Jatkossa tämä ongelmaa pyritään estämään huolellisemmalla antureiden eristyksellä. Ongelmana antureiden särkymisessä on, että yhdenkin anturin rikkoutuminen aiheuttaa voimadataan poikkeaman, joka sekoittaa valoporttien välisen datan laskennan, kuten tasapaino prosentit tai impulssien laskennat ja vääristää täten saatuja tuloksia. Talvikäytössä voimanmittauslaitteiston todettiin olevan liian epätarkka tutkimuskäyttöön, koska ladun päällä oleva n. 25 cm lumikerros esti voimien välittymisen tasaisesti antureille. Toimivuutta yritettiin parantaa sahaamalla ladut auki pitkittäin voimalevyjen sijaintialueelta, mutta se ei parantanut tarpeeksi tuloksia. Luotettavien tulosten saamiseksi, tarvittaisiin mahdollisesti vielä myös jokaisen voimalevy-elementin väliset poikittaissahaukset, mutta ladun rakenteen todettiin menevät liian heikoksi, jolloin mahdollinen ladun murtumisen aiheuttaisi vaaratilanteen hyppääjille. Mäkihyppytornin liikehdintä sekoitti valoporttien ja niiden heijastimien kohdistuksen aiheuttaen vikatilanteita. Käytännössä valoportit piti kohdistaa joka päivä uudelleen. Myös kesäladun kastelusta aiheutuva vesisumu ja -pärskeet laukaisivat valokennoja, joten niihin asennettiin muovisuojat, joka vähensi vikatilanteita. Mitattaessa talvella huomattiin, että valoportit ja niiden heijastimet menivät kuuraan aiheuttaen toimintahäiriöitä. Suositeltavaa olisi hankkia ilman heijastimia toimivat valoportit tai esim. ladun alle asennettavat magneettianturit.

8.1.3 Jatkokehitystarpeet

Palautteenantojärjestelmää voitaisiin jatkossa kehittää siten, että mäkimonttuun sijoitettuun näyttöön lähetettäisiin live-kuvaa käyttöliittymästä ja puheyhteys, jolloin myös hyppääjä näkisi itse välittömästi oman suorituksena ja kuulisi samalla valmentajan pa-

lautteen. Tämä luultavasti helpottaisi tehdyn suorituksen ymmärtämistä paremmin. Mittauslaitteistoon voitaisiin myös lisätä erilaisia tiedonlähteitä, kuten tuulen nopeus- ja suunta ja lämpötila. Jatkossa hyppysuoritus voitaisiin myös kuvata laajemmalla alueella, kuten ylämäki, lentovaihe ja laskeutuminen. Tämän toteuttamiseksi voitaisiin käyttää mittauskoneella ohjattavaa motorisoitua pan & tilt -kamerajalustaa, jonka avulla saataisiin lähes koko suoritus kuvattua yhdellä kameralla. Toinen vaihtoehto olisi käyttää useampaa kameraa, jotka voitaisiin sijoittaa esim. optisen kuidun avulla haluttuihin paikkoihin. Järjestelmää voitaisiin kehittää myös hankkimalla värikamera paremmalla tarkkuudella.

8.2 Ponnistusanalyysi

Mitattujen muuttujien ja hypyn pituuden väliltä löytyi korrelaatioita heikosti. Korrelaatioissa esiintyi suurta vaihtelevuutta kierrosten välillä ja 1 kierroksella esiintyvä positiivinen korrelaatio saattoi muuttua 2 kierroksella jopa negatiiviseksi. Tästä vaihtelevuudesta on kertonut myös *Virmavirta ja Komi (1989)*. Erot kierrosten välillä voivat mahdollisesti johtua tuuliolosuhteista, joista ei ole mitattua tietoa. Korrelaatioita olisi luultavasti löydetty paremmin, jos koehenkilöitä ja toistoja olisi ollut enemmän. Suurimmat erot kierrosten välissä oli nopeudella ja hyppyjen pituudella. Kuitenkaan suoraa yhteyttä nopeuden ja pituuden välillä ei löytynyt. Kierrosten välillä oli nopeuseroja koska lähtöpuomia nostettiin toiselle kierrokselle. Nopeusero oli keskimäärin n. 1 km/h. Painon vaikutus nopeuteen näyttäisi olevan positiivinen, mutta jos muutama arvo poistetaan yhtälöstä, niin yhteys pienenee merkittävästi tai häviää jopa kokonaan, joten johtopäätöksiä ei tästä voi tehdä. Hypyn pituuden kanssa korreloi suhteellinen pystysuuntainen impulssi hyppyrinpöydällä eli mitä enemmän tuotetaan alaspäin suuntautuvaa voimaa painokiloa kohti, sitä pidemmälle lennetään. Kirjallisuudessa on esitetty samansuuntaisia tuloksia (*Virmavirta & Komi 1989; Virmavirta & Komi 1993b*). Samalla hyppääjällä esiintyi hyvin samanmuotoiset voimakäyrät (pysty- ja vaakavoimat) eri kierroksilla vaikka hyppypituudessa saattoi olla suuri ero (esim. 20 m). Kirjallisuus tukee tätä löydöstä (*Yamanobe & Watanabe 1999*). Erojakin löydettiin vertaillessa oikean ja vasemman jalan pystyvoimantuottoa kierrosten välillä. Erojen suuruus oli keskimäärin n. 1 %. Myös *Virmavirta ym. (2009)* löysivät videoanalyysin avulla pieniä eroja ponnistustekniikoissa kierrosten välillä. Eri hyppääjillä esiintyi hyvinkin erilaisia voimakäyriä, vaik-

ka hyppypituus oli sama. Virnavirta ja Komi (1989, 1993 ja 2009) huomasivat myös saman ilmiön. Tästä voidaan päätellä, että ponnistustekniikka on yksilöllinen ja ponnistusvaihe on vain yksi osa hyppysuoritusta ja se ei takaa aina hyvää lopputulosta. Hyvin-kin erilaisella ponnistustekniikalla voidaan myös hypätä yhtä pitkälle. Nopeuden kasvaessa absoluuttinen pystysuuntainen impulssi kasvoi hieman. Yhteys on nähtävissä molemmilla kierroksilla. Osa tästä selittyy sillä että hieman yli puolet voimalevyistä sijaitsee kaarteella jossa vaikuttaa lisäksi keskipakovoima (n. 60 % painosta), joka suurenee nopeuden kasvaessa ($F=mv^2/r$). Kuitenkin suurenemista oli myös hyppyripöydän suoralla osuudella. Tämä tulos on ristiriitainen kirjallisuuden kanssa, koska ainakin yhdessä tutkimuksessa on todettu että eri mäissä mitattuna pienemmässä mäessä hitaammalla nopeudella on ponnistuksessa saavutettu hieman korkeammat jalkapohjien paineet (Virnavirta ym. 2000). Nopeudella ei ollut kuitenkaan vaikutusta suhteelliseen pystysuuntaiseen impulssiin, josta voidaan päätellä että painolla on ollut vaikutus tuloksiin. Tiedetään että vauhtimäen nopeus yleensä kasvaa painon kasvaessa, joten tämä voisi selittää absoluuttisten voima-arvojen kasvamisen. Oikean ja vasemman jalan painon jakautuminen vaikutti siten, että tasapainon heiketessä suhteellinen pystysuuntainen impulssi pieneni pääasiassa kummallakin kierroksella. Yksi syy tähän voi olla se että tasapainon säilyttäminen vie keskittymistä itse ponnistuksesta. Tasapaino-erot vaihtelivat samalla henkilöllä kierrosten välillä joten yksilöllisestä ominaisuudesta ei ole kysymys.

9 LÄHTEET

Anderson, R., Harrison, AJ. & Lyons, GM. (2002). Accelerometry Based Ipsative Bio-feedback to Improve Kinematic Consistency and Performance in Rowing. 20th International Symposium on Biomechanics in Sport. University of Caceras, Spain, s. 531 – 534.

Baca A. & Kornfeind P. (2006). Rapid Feedback Systems for Elite Sports Training. University of Vienna. IEEE CS ja IEEE ComSoc, 1536-1268.

Kirby R. (2009). Development of a real-time performance measurement and feedback system for alpine skiers. *Sports Technology*, 2, No. 1-2, s. 43-52.

Müller E. & Schwameder H. (2003) Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski jumping. *Journal of Sport Sciences* 21, s. 679-692.

Nosu, K., Otsuka, T., Okura T. & Hirai Y. (2008). An Immediate Feedback Video Production System for a Table Tennis Class. *Journal of Visualization*, Vol. 12, No. 1, s. 7-8.

Page, P. & Hawkins, D. (2003). A real-time biomechanical feedback system for training rowers. *Sports Engineering*, Vol. 6, s. 67–79.

Pelkonen J. (2000) Sideanturien käyttö mäkihypyn ponnistusvoimien mittaamisessa. Biomekaniikan Pro gradu -tutkielma. Jyväskylän yliopisto, liikuntabiologian laitos, Jyväskylä.

Schmölzer B & Müller W. (2002). The importance of being light: aerodynamic forces and weight in ski jumping. Institut für Medizinische Physik und Biophysik, Harrachgasse 21, 8010 Graz, Austria. *Journal of Biomechanics*, Vol. 35, s. 1059-1069.

Schmölzer B. & Müller W. (2004). Individual flight styles in ski jumping: results obtained during Olympic Games competitions. *Journal of Biomechanics*, Vol. 38, s. 1055-1065.

Sägesser A, Neukomm P.A, Nigg, B, M, Rüegg P & Troxler G. (1981). Force Measurement system for the take-off in ski jumping. Swiss Federal Institute of Technology ETH, Zurich.

Tveit, P. & Pedersen, P.O. (1981). Forces in the take-off in ski-jumping. The Norwegian College of Physical Education and Sport, Oslo.

Vaverka, F., Janura, M., Salinger, J. & Brichta, J. (1993). A Comparison of the take-off measured under laboratory and jumping hill conditions. 14th Congress of the International Society of Biomechanics, Paris, 4-8 July.

Virmavirta, M. & Komi, P.V. (1989). The Takeoff Forces in Ski Jumping. *International Journal of Sport Biomechanics*, s. 248-257.

Virmavirta, M. & Komi, P.V. (1993a). Measurement of take-off forces in ski-jumping Part I. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 3, s. 229–236.

Virmavirta, M. & Komi, P.V. (1993b). Measurement of take-off forces in ski-jumping Part II. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 3, s. 237–243.

Virmavirta, M. & Komi, P.V. (1994). Takeoff analysis of a champion ski jumper. *Coaching and Sport Science Journal*, 1, s. 23–27.

Virmavirta, M. & Komi, P.V. (2000). Ski jumping boots limit effective take-off in ski jumping. Neuromuscular Research Centre, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland.

Virmavirta M., Perttunen J. & Komi P.V. (2000) EMG activities and plantar pressures during ski jumping take-off on three different sized hills. *Journal of*

electromyography and kinesiology, Vol. 11, s. 141-147.

Virmavirta M., Kivekäs J. & Komi P.V. (2001) Takeoff aerodynamics in ski jumping. *Journal of Biomechanics*, Vol. 34, s. 465-470.

Virmavirta, M. & Komi P, V. (2001). Plantar pressure and EMG activity of simulated and actual ski jumping take-off. Neuromuscular Research Centre, Department of Biology of Physical Activity, University of Jyväskylä, Finland.

Virmavirta M., Isolehto J., Komi P., Brüggeman G-P., Müller E. & Schwameder H. (2004) Characteristics of the early flight phase in the Olympic ski jumping competition. *Journal of Biomechanics*, Vol. 38, s. 2157-2163.

Virmavirta, M., Isolehto J., Komi, P., Schwameder, H., Pigozzi, F. & Massazza, G., (2009). Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106 m). *Journal of Biomechanics*, Vol. 42, s.1095-1101

Vodicar, J. & Jost., B. (2010). The Factor Structure of Chosen Kinematic Characteristics of Take-Off in Ski Jumping. *Journal of Human Kinetics*, Vol. 23, s. 37-45.

Yamanobe, K. & Watanabe, K. (1999). Measurement of take-off forces in ski jumping competition. *Japanese Journal of Biomechanics in Sports and Exercise*, Vol. 3, No.4, s. 277-286.