

**HYPPYKORKEUDEN MÄÄRITTÄMINEN  
OPETUSKÄYTTÖÖN SOVELTUVIEN  
TIETOKONEAVUSTEISTEN  
MITTALAITTEIDEN AVULLA**

*Pessi Pöllänen*

Kandidaatintutkielma  
Lokakuu 2018  
Fysiikan ja matematiikan laitos  
Itä-Suomen yliopisto

Pessi Pöllänen	Fysiikan kandidaatintutkielma Itä-Suomen yliopisto Fysiikan koulutusohjelma Fysiikan aineenopettajakoulutus
Työn ohjaaja	FT Mikko Kesonen

## Tiivistelmä

Tässä tutkielmassa keskitytään hyppykorkeuden määrittämiseen opetuskäyttöön soveltuvilla tietokoneavusteisilla mittalaitteilla. Tutkielmassa verrataan voimalevy-, ultraäänisensori- ja suurnopeuskameramenetelmiä, sekä pohditaan niiden hyödynnettävyyttä opetuskäyttöön PER-kirjallisuuden (Physics Education Research) ja Suomen valtakunnallisten opetussuunnitelmien näkökulmista. Tutkimuksen tavoite oli selvittää, kuinka voimalevyä, ultraäänisensoria ja suurnopeuskameraa hyödyntäen voidaan määrittää hyppääjän massakeskipisteen nousukorkeus. Tavoite oli myös kartoittaa, minkälaisia haasteita menetelmien käyttöön liittyy. Tutkimuksessa määritettiin hyppyjen massakeskipisteiden nousukorkeudet siten, että hypyt mitattiin jokaisella tutkimuksen mittausmenetelmällä yhdenaikaisesti. Tämän jälkeen eri menetelmillä saatuja tuloksia verrattiin toisiinsa. Tulokset osoittivat, että vaikka hypyt olisivat identtisiä, voivat eri menetelmillä määritetyt nousukorkeudet poiketa toisistaan merkittävästi. Tulosten perusteella voimalevymenetelmä osoittautui luotettavimmaksi tutkituista menetelmistä hyppykorkeuden määrittämiseen. Sen tulokset olivat uskottavia ja mittauksissa ei havaittu tapahtuneen merkittäviä virheitä. Kaksi muuta menetelmää puolestaan osoittautuivat virheherkiksi. Tutkittujen menetelmien opetuskäytön kannalta löytyi kirjallisuudesta viitteitä siitä, että ne voivat tukea erityisesti voimaan ja liikkeeseen liittyvien tietojen ja taitojen oppimista.

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Teoria .....</b>	<b>4</b>
2.1	Hypyn aikana vaikuttavat voimat ja hyppääjän idealisointi .....	4
2.2	Hyppykorkeuden tarkastelua dynamiikan näkökulmasta .....	5
2.2.1	Hyppääjän lähtönopeuden ratkaiseminen impulssiperiaatteella .....	7
2.2.2	Hyppykorkeuden määrittäminen lähtönopeudesta mekaanisen energian säilymislailla .....	9
2.3	Hyppykorkeuden määrittäminen hyppääjän liikerataa tutkimalla .....	9
<b>3</b>	<b>Menetelmät .....</b>	<b>11</b>
3.1	Voimalevymenetelmä .....	11
3.2	Ultraäänisensorimenetelmä .....	12
3.3	Videoanalyysimenetelmä .....	12
3.4	Menetelmien käyttö samanaikaisesti mittauksissa .....	13
<b>4</b>	<b>Tulokset.....</b>	<b>15</b>
4.1	Voimalevymittausten tulokset .....	15
4.2	Ultraäänisensorimittausten tulokset.....	18
4.3	Videoanalyysimittausten tulokset .....	20

<b>5</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Tutkimuksen aikana havaitut haasteet ja virheet.....</b>	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Menetelmien soveltuvuus opetuskäyttöön.....</b>	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Jatkotutkimukset.....</b>	<b>29</b>

Hyppykorkeuden määrittämistä voidaan käyttää useilla eri tavoilla ja useisiin eri tarkoituksiin. Sitä voidaan hyödyntää esimerkiksi urheilutieteissä, terveystutkimuksessa, fysiikassa tai opetuksessa. Hyppykorkeuden määrittämiseksi on olemassa monia erilaisia menetelmiä. Siihen voidaan käyttää esimerkiksi kontaktimattoa, Vertec-hyppytestiä tai voimalevyä (Whitmer ym. 2015). Tässä tutkielmassa keskitytään hyppykorkeuden määrittämiseen ponnistusvoima-, ultraäänisensori- ja videoanalyysimittauksilla. Lisäksi perehdytään niiden sisältämään fysiikkaan, sekä siihen kuinka ne soveltuvat opetusvälineinä Suomen valtakunnallisten opetussuunnitelmien mukaiseen opetukseen.

Keskeisinä teemoina fysiikan perusopetuksen opetussuunnitelman tavoitteissa vuosiluokille 7-9 esiintyy kokeellisuus, mittaaminen, ilmiöiden kuvaaminen ja mallintaminen, sekä niiden selittäminen ja ennustaminen erilaisten mallien pohjalta (Opetushallitus, 2014). Myös lukion opetussuunnitelman fysiikan kurssien tavoitteissa esiintyvät samat teemat. Lisäksi lukion fysiikan kurssien tavoitteissa pyritään siihen, että oppilaat oppivat käyttämään ja soveltamaan fysiikan käsitteitä myös arkielämässä. (Opetushallitus, 2015) Eräs tapa edistää edellä mainittuja tavoitteita voisi olla hyppykorkeuden määrittäminen tietokoneavusteisilla mittalaitteilla.

Beichner (1994) kertoo artikkelissaan “Testing student interpretation of kinematics graphs”, että fysiikan peruskurssien oppilailla on usein vaikeuksia kuvaajien hyödyntämisessä ”oikean elämän” tilanteissa. Tutkimuksessaan Beichner testasi yläaste- ja lukioikäisten oppilaiden kinematiikan kuvaajien ymmärtämisen ja tulkitsemisen taitoja TUG-K testillä (Test of Understanding Graphs-Kinematics). Testin tulokset osoittivat, että oppilailla oli vaikeuksia kaikilla testissä testatuilla kinematiikan

kuvaajien tulkinnan osa-alueilla, vaikka oppilaille oli opetettu aihepiirin perusteet ennen testiä.

Myös McDermott, Rosenquist ja van Zee (1987) ovat artikkelissa “Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics” tehneet samankaltaisia havaintoja kuin Beichner. Heidän mukaan ongelmat kuvaajien tulkinnassa eivät selity pelkästään puutteellisilla matemaattisilla valmiuksilla, sillä vaikeuksia kuvaajien soveltamisessa fysiikkaan esiintyy usein myös matemaattisesti kyvykkäiden oppilaiden keskuudessa. McDermott, Rosenquist ja van Zee (1987) näkevätkin todellisen tilanteen ja kuvaajan välisen yhteyden ymmärtämisen kannalta tärkeäksi sen, että oppilaalla on kyky muuntaa todellinen tilanne kuvaajaksi ja vastaavasti kuvaaja todelliseksi tilanteeksi.

McDermottin ryhmä ehdottaakin artikkelissaan, että eräs tapa kehittää oppilaiden kykyä tulkita kinematiikan kuvaajia voisi olla videoanalyysin hyödyntäminen opetuksessa (McDermott ym. 1987). Videoanalyysin käyttöä opetuksessa tukee myös Beichnerin (1998) artikkelin ”The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills” tutkimuksessa tehdyn TUG-K testin tulokset, jotka osoittivat videoanalyysin käytön opetuksessa kehittävän oppilaiden kykyä ymmärtää kinematiikan kuvaajia. Kamela (2007) puolestaan esittää artikkelissaan ”Demonstrating kinematics and Newton’s laws in a jump”, että oppilastyö, jossa oppilaat mittaavat ja analysoivat hyppyjä käyttäen voimalevy-liikesensori mittausasetelmaa voisi auttaa oppilaita muodostamaan yhteyden paikan, nopeuden ja kiihtyvyyden, sekä voiman ja kiihtyvyyden välille.

Beichnerin (1998), McDermottin ym. (1987) ja Kamelan (2007) artikkelien perusteella hyppykorkeuden määrittäminen voimalevy-, ultraäänisensori- ja videoanalyysimenetelmillä voisi kehittää oppilaiden ilmiöiden kuvaamisen ja mallintamisen, sekä ilmiöiden selittämisen ja ennustamisen taitoja. Lisäksi se edistäisi opetuksen ilmiö- ja tutkimuslähtöistä lähestymistapaa ja kokeellisuutta, jotka esiintyvät myös suomalaisissa opetussuunnitelmissa keskeisinä teemoina (Opetushallitus, 2015) (Opetushallitus, 2014).

Tässä tutkielmassa tutkitaan, kuinka opetuskäyttöön soveltuvilla mittausmenetelmillä, voimalevy-, ultraäänisensori- ja videoanalyysimittaus, voidaan määrittää hyppykorkeus. Lisäksi tutkitaan, minkälaisia haasteita ne pitävät opetuskäytön kannalta sisällään ja

kuinka ne edistäisivät oppilastyönä Suomen perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien sisältöjä ja tavoitteita.

Tutkielman seuraavassa luvussa käsitellään hyppykorkeuden määrittämiseksi vaadittavaa fysiikan teoriaa. Tämän jälkeen kolmannessa luvussa esitellään tässä tutkimuksessa käytetyt hyppykorkeuden määrittämismenetelmät, kuinka mittaukset suoritettiin ja minkälaista mittausasetelmaa käytettiin. Neljännessä luvussa käsitellään mittauksien tuloksia ja määritetään tuloksista mitattujen hyppyjen nousukorkeudet. Viimeisessä luvussa esitetään tulosten yhteenveto ja johtopäätökset saaduista tuloksista.

Tässä luvussa käsitellään tarvittavaa teoriaa hyppykorkeuden määrittämiseksi erilaisin tietokoneavusteisin menetelmin.

## 2.1 Hypyn aikana vaikuttavat voimat ja hyppääjän idealisointi

Jotta hyppääjä nousisi pystysuoraan ylöspäin hypätessään ilmaan, tulee hänen kumota omasta massastaan aiheutuva gravitaatiovoima  $\vec{G}$ . Ylöspäin hyppääjään vaikuttava voima on pinnan tukivoima  $\vec{F}_{tuki}$  (*normal force*). Tällöin hyppääjän massakeskipisteeseen (*center of mass*) vaikuttaa Newtonin toisen lain mukainen kokonaisvoima

$$\sum \vec{F}_{kok} = \vec{F}_{tuki} + \vec{G} = \vec{F}_{tuki} + m\vec{g} = m\vec{a}, \quad (2.1)$$

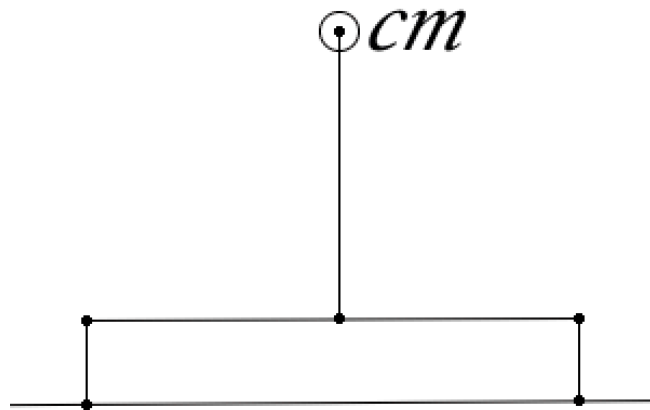
missä  $m$  on hyppääjän massa,  $\vec{g}$  gravitaatiokiihtyvyys ja  $\vec{a}$  massakeskipisteen kiihtyvyys. Hypyn lento-osuuden aikana massakeskipiste on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä, jolloin sen paikalle on voimassa yhtälö

$$y(t) = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2. \quad (2.2)$$

Hyppykorkeutta tarkasteltaessa tulokseen saattaa vaikuttaa kuitenkin useita ennustamattomia tekijöitä. Hyppääjä saattaa esimerkiksi ponnistuksen aikana tehdä tilanteen tarkastelua monimutkaistavia liikkeitä. On siis järkevää yksinkertaistaa tilannetta tarkastelun helpottamiseksi. Jotta hyppykorkeuden tarkastelu olisi mahdollisimman yksiselitteistä, voidaan hyppääjä idealisoida kuvan 2.1 mukaiseksi



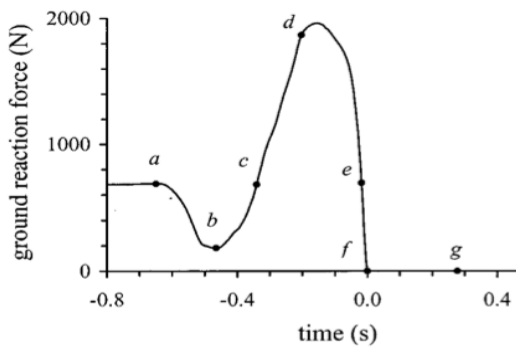
äärettömän ohuen massattoman jäykän tangon varassa seisovaksi pistemäiseksi massakeskipisteekseen. Tangon ainoa tarkoitus on välittää massasta aiheutuva voima alustaan, eikä sitä huomioida laskuissa. Tämän mallinnus keskittyy hyppääjän massakeskipisteen liikkeen tarkasteluun ja siten mahdollistaa hyppääjän raajojen ylimääräisistä liikkeistä johtuvien seikkojen huomiotta jättämisen tarkastelussa. Ilmanvastus voidaan myös jättää tarkasteluissa huomiotta, sillä hyppääjän pinta-ala liikettä vasten kohtisuorassa on suhteellisen pieni ja lisäksi hyppääjän nopeus hypyn aikana ei ehdi kasvaa merkittävän suureksi.



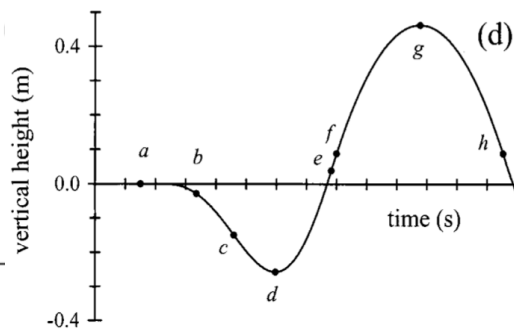
**Kuva 2.1** Hyppääjä idealisoituna massakeskipisteekseen (*cm*).

## 2.2 Hyppykorkeuden tarkastelua dynamiikan näkökulmasta

Tarkasteltaessa hyppykorkeutta, eräs tapa mitata hyppääjän massakeskipisteen korkeuden muutosta on ponnistusvoimamittauksen avulla käyttäen voimalevyä. Linthornen (2001) mukaan pystysuoran hypyn voimalevymittauksista voidaan saada kuvan 2.2 mukaisia aika-tukivoima kuvaajia.



**Kuva 2.2** Linthornen aika-tukivoima kuvaaja. (Linthorne, 2001, s. 1200)



**Kuva 2.3** Linthornen aika-paikka kuvaaja. (Linthorne, 2001, s. 1200)

Kuvan 2.2 aika-tukivoima kuvaaja esittää voimalevyn pinnan hyppääjään kohdistamaa tukivoimaa  $\bar{F}_{tuki}$  ajan funktiona ponnistuksen aikana. Kuvassa 2.3 on Linthornen (2001) artikkelissa esitetty aika-paikka kuvaaja hyppääjälle, josta nähdään hyppääjän massakeskipisteen korkeus kullakin ajanhetkellä  $a-f$ . Käyriin merkityt pisteet vastaavat merkittäviä hetkiä ponnistuksen aikana hypyn tarkastelun kannalta.

Piste  $a$  vastaa hetkeä, jolloin hyppääjän massakeskipiste on paikoillaan levossa voimalevyn päällä ennen ponnistuksen aloittamista. Välillä  $a-b$  hyppääjä antaa polvien, sekä vyötärön taipua painon vaikutuksesta. Tästä seuraa, että tukivoima pienenee ja kokonaisvoima  $\bar{F}_{kok} = \bar{F}_{tuki} + m\bar{g}$  saa hetkellisesti negatiivisia arvoja, joten massakeskipiste lähtee kiihtyvään liikkeeseen alaspäin. (Linthorne, 2001)

Kun hyppääjä saavuttaa pisteen  $b$ , massakeskipisteen kiihtyvyys alaspäin on suurimmillaan. Tämän jälkeen välillä  $b-c$  hyppääjä ryhtyy jälleen vastustamaan lihaksillaan liikettään. Tästä huolimatta massakeskipisteen liikesuunta on edelleen alaspäin ja lisäksi massakeskipisteeseen vaikuttava kokonaisvoima ja kiihtyvyys saavat negatiivisia arvoja. (Linthorne, 2001)

Pisteessä  $c$  massakeskipisteen vaikuttava kokonaisvoima on jälleen nolla. Tämä tarkoittaa sitä, että pinnan tukivoima ja hyppääjään vaikuttava paino ovat hetkellisesti yhtä suuria. Lisäksi massakeskipisteen nopeus alaspäin on suurimmillaan. Kun ponnistus etenee välille  $c-d$  massakeskipisteen liike alas alkaa hidastua. Toisin sanoen kiihtyvyyden suunta on ylöspäin, josta seuraa, että myös kokonaisvoiman tulee olla positiivista. Vaikka kiihtyvyys ja kokonaisvoima saavatkin nyt positiivisia arvoja liikkeen suunta on edelleen alas. (Linthorne, 2001)

Kun massakeskipiste tulee pisteeseen  $d$ , se on ponnistuksen alimmassa pisteessä. Toisin sanoen tässä pisteessä hyppääjä on kyykyssä lihaket jännittyneenä valmiina työntämään itsensä ylös. Tässä pisteessä massakeskipiste on hetkellisesti levossa ja paikoillaan. Väli  $d-e$  kuvaa ponnistuksen vaihetta, jossa hyppääjä työntää itsensä liikkeeseen ylöspäin. Kuten kuvasta 2.2 nähdään, tukivoiman suurin arvo saavutetaan usein tämän vaiheen alkupuoliskolla. (Linthorne, 2001)

Pisteeseen  $e$  tultaessa massakeskipisteeseen vaikuttava kokonaisvoima on jälleen nolla. Tällöin myös massakeskipisteen kiihtyvyys on pisteessä  $e$  nolla. Massakeskipisteen nopeus ylöspäin saa kuitenkin tässä pisteessä suurimman arvonsa. Välillä  $e-f$  hyppääjä alkaa vähitellen irrota voimalevyiltä. Tästä seuraa, että pinnan tukivoima pienenee, jolloin hyppääjään vaikuttava kokonaisvoima muuttuu negatiiviseksi painon vaikutuksesta. Tämä tarkoittaa sitä, että massakeskipiste saa negatiivisen kiihtyvyyden ja sen nopeus alkaa pienentyä jo ennen alustasta irtoamista. (Linthorne, 2001)

Piste  $f$  kuvaa hetkeä, jolloin hyppääjä irtoaa voimalevyiltä ja aloittaa ilmalennon. Välillä  $f-g$  massakeskipiste on lennon nousuvaiheessa ja massakeskipisteeseen vaikuttaa ainoastaan maan vetovoima. Pisteessä  $g$  hyppy saavuttaa huippukorkeutensa ja massakeskipiste on hetkellisesti levossa. Tämän jälkeen alkaa hyppääjän lennon laskeutumisvaihe  $g-h$ . Alas tullessaan hyppääjä on tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä ja massakeskipisteen nopeus saa negatiivisia arvoja. Pisteessä  $h$  hyppääjä palaa maan pinnalle. (Linthorne, 2001)

### 2.2.1 Hyppääjän lähtönopeuden ratkaiseminen impulssiperiaatteella

Kun massakeskipisteen korkeus alussa on 0, sen nousukorkeus  $h$  riippuu mekaanisen energian säilymislain nojalla ainoastaan sen liike-energiasta alussa. Kineettisen energian suuruus puolestaan riippuu massakeskipisteen lähtönopeudesta  $\bar{v}_{ih}$  ja massasta  $m$ . Massakeskipisteen liike-energia alkaa alustasta irtoamishetkellä muuntumaan sen potentiaalienergiaksi ja lakikorkeudessa se on kokonaisuudessaan muuttunut potentiaalienergiaksi. Koska potentiaalienergia muodostuu massasta  $m$ , gravitaatiokiihtyvyydestä  $\bar{g}$  ja korkeudesta  $h$ , voidaan mekaanisen energian säilymislakia käyttäen ratkaista massakeskipisteen nousukorkeus. Koska

massakeskipisteen massa  $m$  on tunnettu, tulee sen lähtönopeus  $\bar{v}_{ih}$  ratkaista nousukorkeuden selvittämiseksi. Tämä voidaan tehdä hyödyntäen impulssiperiaatetta.

Integroimalla mitattua aika-voima –kuvaajaa saadaan selvitettyä kokonaisvoiman massakeskipisteeseen kohdistama impulssi, joka impulssiperiaatteen nojalla vastaa massakeskipisteen liikemäärän muutosta. Impulssi

$$\bar{J} = \int \bar{F}_{kok} dt = \Delta \bar{p}, \quad (2.3)$$

missä  $\bar{F}_{kok}$  on hyppääjään vaikuttava kokonaisvoima ja  $\Delta \bar{p}$  hyppääjän liikemäärän muutos ponnistuksen aikana. (Linthorne, 2001)

Massakeskipisteen lähtönopeus  $\bar{v}_{ih}$  saadaan ratkaistua aika-tukivoima –kuvaajasta seuraavasti. Ponnistuksen alussa hetkellä  $t_{alku}$  hyppääjän nopeus  $\bar{v}_{alku} = 0$ . Integroimalla aika-voima –kuvaajaa ponnistuksen aloitus hetkestä  $t_{alku}$  hyppääjän irtoamisen hetkeen  $t_{ih}$  voidaan selvittää hyppääjän lähtönopeus, sillä

$$\int_{t_{alku}}^{t_{ih}} (\bar{F}_{tuki} + m\bar{g}) dt = m\bar{v}_{ih} + m\bar{v}_{alku} = m\bar{v}_{ih}, \quad (2.4)$$

Saatu yhtälö voidaan kirjoittaa myös muotoon

$$\int_{t_{alku}}^{t_{ih}} \bar{F}_{tuki} dt + \int_{t_{alku}}^{t_{ih}} m\bar{g} dt = \bar{J}_{tuki} + \bar{J}_{paino} = m\bar{v}_{ih}, \quad (2.5)$$

josta nähdään hyppääjän painosta aiheutuvan impulssin vaikutus kokonaisimpulssiin. (Linthorne, 2001)

Voimalevymittausta tehtäessä, kun massakeskipiste on suorituksen alussa levossa voima-anturin päällä, anturin lukema vastaa massakeskipisteen painoa. Paino ei ponnistuksen aikana muutu, joten sen aiheuttama impulssi  $\bar{J}_{paino}$  muodostaa suorakaiteen muotoisen pinta-alan aika-voima kuvaajaan. (Linthorne, 2001) Mittaustulosten käsittelyn helpottamiseksi on mahdollista kalibroida voima-anturi siten, että massakeskipisteen paino vastaa voima-anturin lukemaa 0, jolloin painon aiheuttamaa impulssipinta-alaa ei aika-voima kuvaajaan muodostu. Tästä seuraa, että tulosten tarkastelua tehtäessä painon aiheuttama impulssi voidaan jättää huomiotta. Toisin sanoen  $\bar{J}_{paino} = 0$ . Jakamalla nyt jäljelle jäävä tukivoiman aiheuttama impulssi hyppääjän massalla saadaan selville massakeskipisteen lähtönopeus  $\bar{v}_{ih}$  alustasta irtoamishetkellä. Lähtönopeus on tällöin

$$\bar{v}_{ih} = \frac{1}{m} \int_{t_{alku}}^{t_{ih}} \bar{F}_{tuki} dt. \quad (2.6)$$

### 2.2.2 Hyppykorkeuden määrittäminen lähtönopeudesta mekaanisen energian säilymislailla

Kun tunnetaan hyppääjän lähtönopeus, voidaan hypyn korkeus määrittää mekaanisen energian säilymislailla. Säilymislain nojalla hyppääjän kineettinen energia alustasta irtoamisen hetkellä muuttuu hyppääjän potentiaali energiaksi hypyn huippukorkeudessa. Tämä voidaan esittää muodossa

$$\frac{1}{2}mv_{ih}^2 + mgy_{ih} = \frac{1}{2}mv_{huippu}^2 + mgy_{huippu}. \quad (2.7)$$

Kun tästä supistetaan massat pois ja huomioidaan, että  $y_{ih} = 0$  ja  $v_{huippu} = 0$  voidaan ratkaista hypyn huippukorkeus seuraavasti:

$$\frac{1}{2}v_{ih}^2 = gy_{huippu} \Rightarrow y_{huippu} = \frac{v_{ih}^2}{2g}. \quad (2.8)$$

(Linthorne, 2001)

## 2.3 Hyppykorkeuden määrittäminen hyppääjän liikerataa tutkimalla

Hyppykorkeutta voidaan tutkia myös tarkastelemalla hyppääjän liikerataa suorituksen aikana. Liikeradan tarkastelu voidaan tehdä esimerkiksi videoanalyysin tai ultraäänisensorimittauksen avulla.

Ultraäänisensorimittauksella voidaan tarkastella hyppääjän pään korkeuden muutosta ponnistuksen aikana. Hyppääjän pään liike hypyn aikana vastaa lähestulkoon hyppääjän massakeskipisteen liikettä (Kamela, 2007). Tuloksista pystytään selvittämään suoraan hypyn korkeus määrittämällä hyppääjän pään huippukorkeus ja korkeus lähtötilanteessa. Huippukorkeuden ja lähtökorkeuden erotuksesta saadaan selville pään korkeuden muutos, joka vastaa lähestulkoon massakeskipisteen korkeuden muutosta. Pään paikan muutokselle saadaan, että

$$\Delta y_{hyppy} = y_{huippu} - y_{alku}. \quad (2.9)$$

Mikäli sensori nollataan, ennen mittauksen suorittamista, voidaan hypyn korkeus lukea suoraan tulosten suurimmasta arvosta, sillä tällöin  $y_{alku} = 0$  ja  $\Delta y_{hyppy} = y_{huippu}$

Videoanalyysi tarjoaa hyppääjän liikkeelle hyvin samankaltaisen aika-paikka kuvaajan, kuin ultraäänisensorimittaus, mutta videoanalyysillä voidaan tarkastella hyppääjän massakeskipisteen paikan muutosta pään paikan sijaan. Videokuvan analysointiohjelmilla voidaan origo asettaa massakeskipisteen paikkaan alussa, jolloin hypyn korkeus voidaan lukea suoraan suurimman korkeuden arvon kohdalta.

Vaihtoehtoisesti hyppykorkeus voidaan määrittää videoanalyysin tapauksessa matemaattisesti muodostamalla hypyn lento-osuuden datapisteistä sovituskäyrä, joka on alaspäin aukeava paraabeli eli siis muotoa  $f(x) = Ax^2 + Bx + C$ . Koska käyrä kuvaa massakeskipisteen lentorataa ajan funktiona saa se muodon  $y = At^2 + Bt + C$ , missä  $t$  kuvaa kulunutta aikaa mittauksen aloitushetkestä  $t_0$  ja  $y$  massakeskipisteen korkeutta. Derivoimalla saatua sovituskäyrää ja ratkaisemalla derivaatan nollakohta saadaan selville ajan  $t$  arvo, joka vastaa hetkeä  $t_{huippu}$ , jolloin hyppy on korkeimmillaan. Kun sijoitetaan hetkeä  $t_{huippu}$  vastaava  $x$ :n arvo takaisin alkuperäiseen paraabelin yhtälöön, saadaan siitä ratkaistua hypyn huippukorkeus.

Tässä luvussa esitellään tutkielmassa tarkasteltavia hyppykorkeuden määrittämismenetelmiä voimalevymittaus, ultraäänisensorimittaus, sekä videoanalyysi. Voimalevymenetelmä eroaa kahdesta muusta menetelmästä siinä, että se mittaa hyppääjään kohdistuvaa pinnan tukivoimaa, kun puolestaan ultraäänisensori- ja videoanalyysimittaukset perustuvat paikan muutoksen mittaamiseen ajan funktiona.

### **3.1 Voimalevymenetelmä**

Voimalevymenetelmä perustuu hyppääjään ponnistuksen aikana kohdistuvaan pinnan tukivoimaan ja siitä aiheutuvaan impulssiin. Voimalevy mittaa hyppääjään kohdistuvaa tukivoimaa ajan suhteen. Linthorne kutsuu tätä voimaa ”maan reaktivoimaksi” (*ground reaction force*) (Linthorne, 2001). Tämä on osuva nimitys tukivoimalle hyppykorkeutta määrittäessä, sillä tukivoiman suuruus on suoraan verrannollinen hyppääjän voimalevyyn kohdistaman voiman suuruuteen ponnistuksen aikana. Mittausohjelmat, kykenevät piirtämään aika-tukivoima kuvaajan mitatuista tukivoiman arvoista, joka puolestaan mahdollistaa hyppykorkeuden määrittämisen.

Suoritimme voimalevymittaukset käyttäen Vernier merkkistä voimalevyä, Vernier Labquest- datakeräintä, sekä Vernierin Logger Pro- datan analysointiohjelmaa kannettavalla tietokoneella. Mittauksen alussa voimalevy nollattiin datan analysoinnin helpottamiseksi siten, että hyppääjään kohdistuva tukivoima alussa vastasi voimalevyn mittausarvoa 0 N. Kaikki voimalevymittaukset suoritettiin siten, että hyppääjä lähti suoritukseen voimalevyn päältä seisovasta asennosta. Hyppääjä ponnisti tasajalkaa

suoraan ylös päin ja laskeutui tämän jälkeen maahan siten, että jalat osuivat maahan voimalevyn molemmin puolin.

Mittauksen lähtötilanteessa hyppääjä seiso voimalevyn päällä ja mittaaja oli valmiina käynnistämään mittauksen. Mittaus käynnistyi siitä, kun mittaaja aloitti mittapisteiden keräämisen ja antoi hyppääjälle luvan suorittaa hyppy. Hyppääjän osuessa maahan mittaaja lopetti datan keräämisen ja tietokoneen näytölle muodostui datapisteistä saatu aika-tukivoima kuvaaja.

### **3.2 Ultraäänisensorimenetelmä**

Ultraäänisensorimenetelmässä ultraäänisensori mittaa hyppääjän pään paikkaa ajan suhteen. Menetelmä tarjoaa informaatiota hyppääjän vertikaalisista liikkeistä sekä ponnistuksen, että ilmalennon aikana ja auttaa tarkastelemaan sitä, kuinka hyppääjän liike muuttuu suorituksen aikana.

Myös ultraäänisensorimittauksissa käytimme Logger Pro- datan analysointiohjelmaa ja Vernierin LabQuest- datakeräintä. Mittalaitteena käytimme Vernierin Motion Detector-ultraäänisensoria. Ennen mittaamista sensori nollattiin siten, että hyppääjän pään paikkaa alussa vastasi paikka  $y=0$ . Lisäksi sensorin mittaus suunta käännettiin siten, että liikkeen suunta sensoriin päin oli positiivinen.

Mittauksen aikana ultraäänisensori oli kiinnitettynä kattoon suoraan hyppääjän pään yläpuolelle. Hyppääjä piti hypyn aikana päänsä päällä levyä, jotta ultraäänisensorin ”keila” osuisi mahdollisimman hyvin mittapisteeseen eli päähän. Mittaus ja hypyt suoritettiin samalla tavalla kuin voimalevyn tapauksessa. Tuloksena Logger Pro- datan analysointiohjelma piirsi mittausdatasta aika-paikka kuvaajan pään korkeuden muutokselle suorituksen ajalta.

### **3.3 Videoanalyysimenetelmä**

Videoanalyysimenetelmä perustuu suurnopeuskamerakuvasta tarkkailtavan pisteen koordinaattien merkkäämiseen ruutu kerrallaan. Sen etuna verrattuna ultraäänisensorimenetelmään on se, että sillä voidaan tarkkailla esimerkiksi hyppääjän massakeskipisteen liikettä, mihin ultraäänisensori ei suoraan pysty.

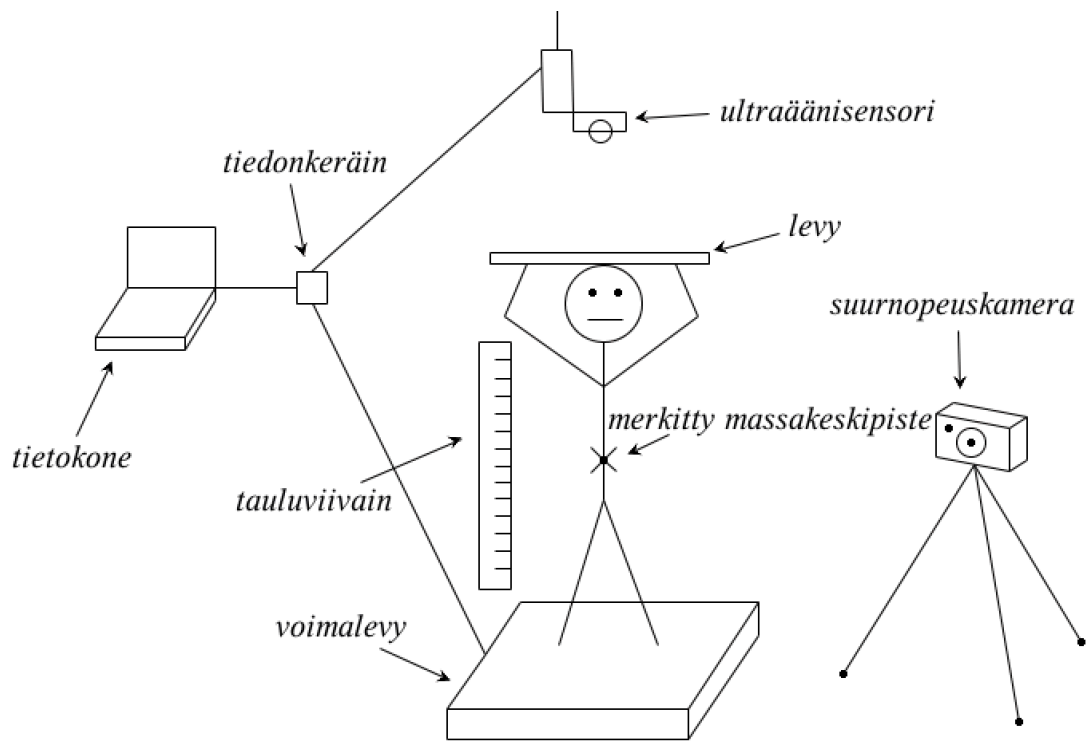


Videoanalyysimittauksessa käytettiin Casion EX-FH100 suurnopeuskameraa, joka oli asetettu 120 fps kuvaustaajuudelle, sekä Vernierin Logger Pro- datan analysointiohjelmalla. Mittauksen valmistelu vaiheessa suurnopeuskamera asetettiin kameranjalan varaan siten, että hyppääjä näkyi kokonaisuudessaan kameran kuvassa koko mittauksen ajan. Lisäksi kameran kuvaan sisällytettiin metrin tauluviivain mittakaavan asettamiseksi analysointia varten. Hyppääjään merkittiin ennen mittausta arvioitu massakeskipisteen paikka tämän paitaan noin navan kohdalle, sillä se on melko hyvä arvio kehon massakeskipisteen paikalle. Merkki toimi mittauspisteenä videokuvan analysoimisvaiheessa. Hyppyt suoritettiin samalla tavalla kuin voimalevy- ja ultraäänisensorimenetelmien tapauksessa.

Mittauksen jälkeen videokuva siirrettiin kameran muistikortilta tietokoneelle, jossa video avattiin Logger Pro- datan analysoimisohjelmalla. Logger Pron videoanalyysiohjelmassa asetettiin koordinaatisto siten, että origo sijaitsi hyppääjän massakeskipisteessä hyppääjän seistessä lähtötilanteessa paikoillaan. Koordinaatiston y- akseli asetettiin puolestaan siten, että se osoitti suoraan ylöspäin hyppysuuntaan nähden. Mittakaavan asettaminen tapahtui asettamalla videokuvassa näkyvän metrivivaimen pituus yhden metrin mittaiseksi. Tämän jälkeen videokuva kelattiin ruutu kerrallaan siten, että joka neljänten ruutuun merkittiin hyppääjän oletetun massakeskipisteen paikka. Kun koko video oli kelattu läpi Logger Pro -ohjelma piirsi merkatuista mittapisteistä aika-paikka kuvaajan massakeskipisteen liikkeelle.

### **3.4 Menetelmien käyttö samanaikaisesti mittauksissa**

Kokonaisuudessaan suoritimme mittaukset siten, että kahdessa hypyssä käytimme kaikkia kolmea mittausmenetelmää samanaikaisesti. Kolmannen hypyn tapauksessa mittasimme korkeuden käyttäen ainoastaan voimalevy- ja ultraäänisensorimenetelmää. Hyppyjen mittaaminen yhtä aikaa kaikilla mittausmenetelmillä tekee tuloksista vertailukelpoisempia kuin erillisten mittauksien tapauksessa, sillä näin ei pääse syntymään erilaisista hypyistä johtuvia eroja. Mittaukset suoritettiin kuvan 3.1 mukaisella mittausjärjestelyllä.

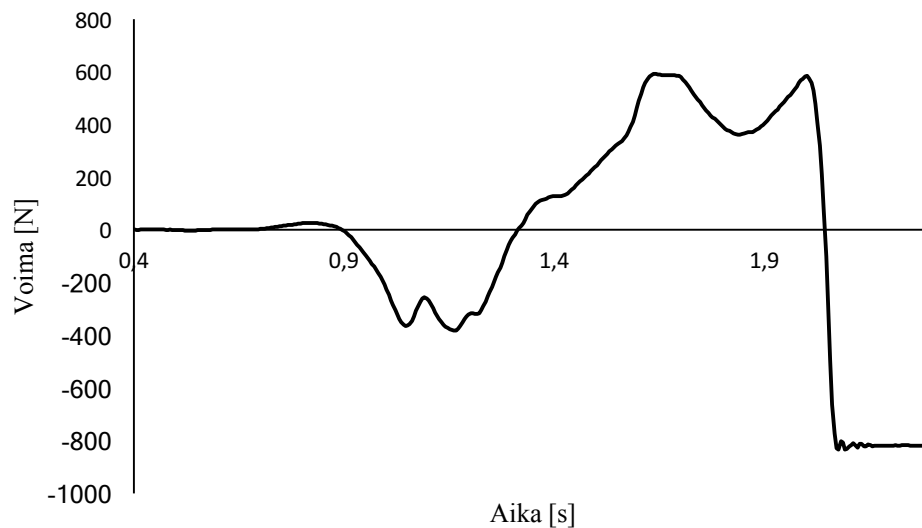


**Kuva 3.1** Periaatekuva mittausjärjestelystä.

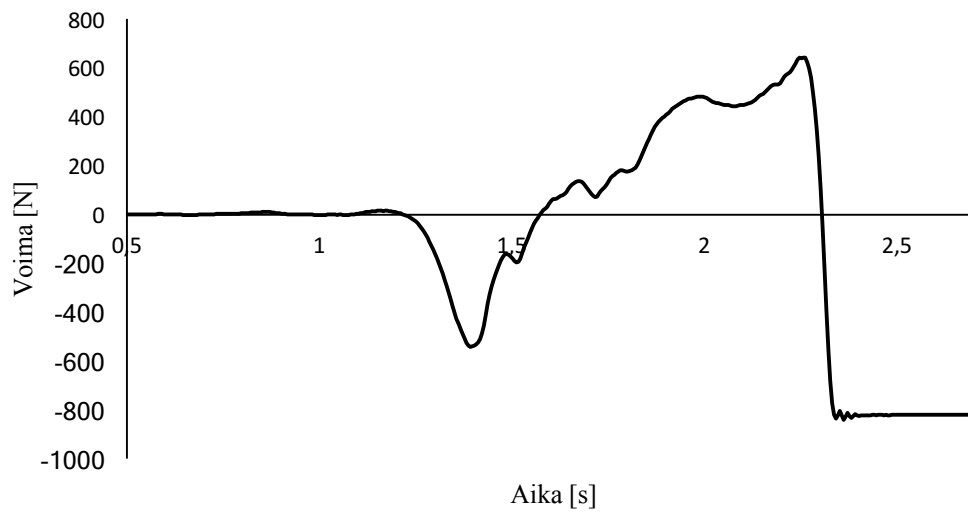
Tässä luvussa käsitellään tekemiemme voimalevy-, ultraäänisensori- ja videoanalyysimittausten tuloksia.

#### 4.1 Voimalevymittausten tulokset

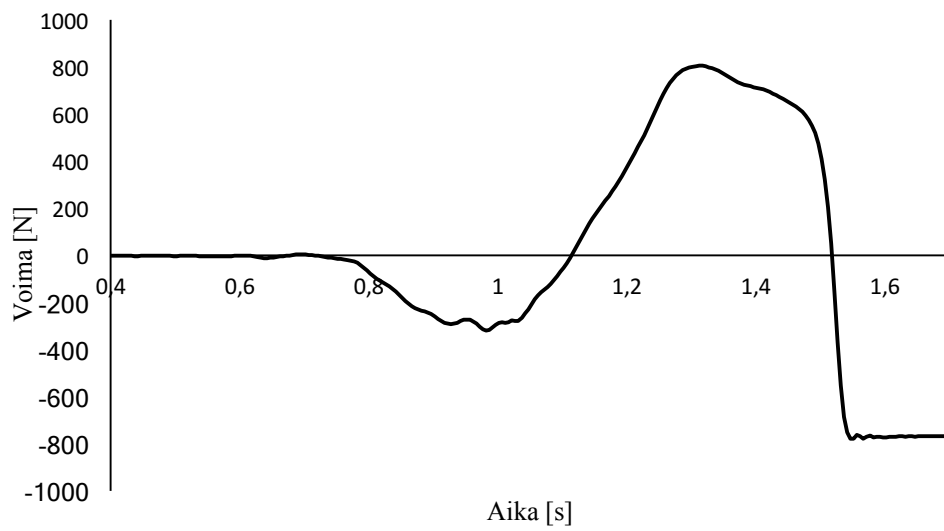
Voimalevymittausten tuloksina saatiin kuvien 4.1, 4.2 ja 4.3 mukaiset aika-tukivoima –kuvaajat ponnistusten ajalta. Hyppääjän massa  $m$  oli kaikissa hyppyissä sama 80,0 kg.



**Kuva 4.1** Voimalevymittausten ensimmäisen hypyn aika-tukivoima –kuvaaja.



**Kuva 4.2** Voimalevymittausten toisen hypyn aika-tukivoima –kuvaaja.



**Kuva 4.3** Voimalevymittausten kolmannen hypyn aika-tukivoima –kuvaaja.

Kuvaajista voidaan laskea integroimalla fysikaaliset pinta-alat, joista jokainen vastaa yhden hypyn aikana tukivoiman hyppääjään kohdistamia impulsseja. Logger Pro:n integraali työkalulla impulsseiksi saatiin Taulukon 4.1 mukaiset arvot.

**Taulukko 4.1** Hyppyjen kuvaajista määritetyt hyppääjään kohdistuneet impulssit.

Hyppy	Impulssi [Ns]
1	175,646...
2	167,783...
3	155,895...

Koska voimalevy oli nollattu siten, että voimalevyn arvo  $N = 0$  vastasi hyppääjään massasta aiheutuvaa painoa, kun hyppääjä oli paikoillaan ei sen aiheuttamaa impulssipinta-alaa näy aika-voimakuvaajassa. Lisäksi hyppääjän nopeus alussa  $v_{alku} = 0$ , joten tuloksista voidaan nyt ratkaista kaavan 2.6 mukaisesti jokaiselle hypylle lähtönopeudet voimalevyn pinnasta. Ensimmäisen hypyn lähtönopeus

$$v_{ih_1} = \frac{1}{m} \int_{t_{alku_1}}^{t_{ih_1}} F_{tuki} dt = \frac{175,6465912 \frac{\text{kgm}}{\text{s}}}{80 \text{ kg}} = 2,19558239 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Hypyille määritetyt lähtönopeudet löytyvät taulukosta 4.2.

**Taulukko 4.2** Massakeskipisteelle impulsseista lasketut lähtönopeudet.

Hyppy	Lähtönopeus [m/s]
1	2,195...
2	2,097...
3	1,948...

Ratkaistujen lähtönopeuksien avulla voidaan ratkaista hyppyjen korkeudet mekaanisen energian säilymislain kautta johdettua kaavaa 2.8 hyödyntäen. Näin ollen ensimmäisen hypyn korkeudeksi saadaan, että

$$y_{huippu_1} = \frac{v_{ih_1}^2}{2g} = \frac{(2,19558239 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,245697351 \text{ m}.$$

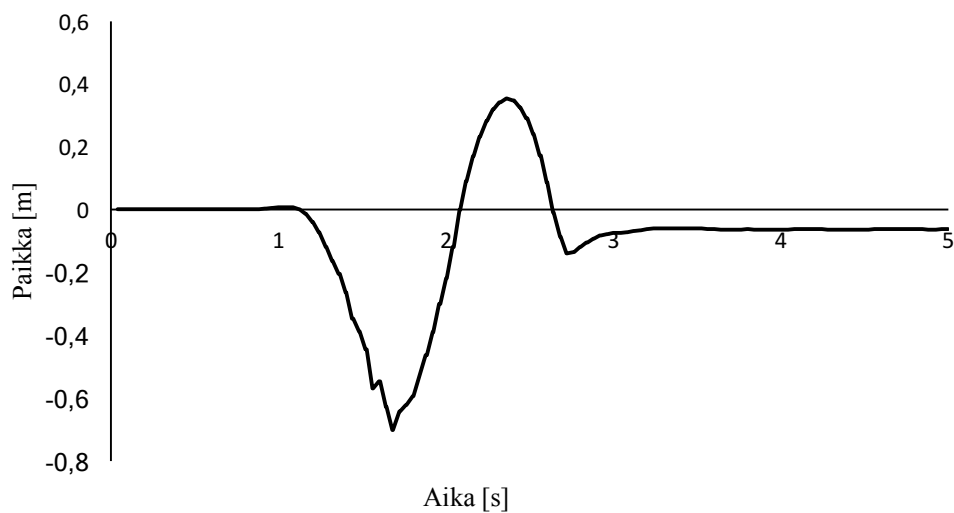
Muille hypyille voimalevymenetelmällä ratkaistut korkeudet löytyvät taulukosta 4.3.

**Taulukko 4.3** Massakeskipisteelle voimalevymenetelmällä määritetyt hyppykorkeudet.

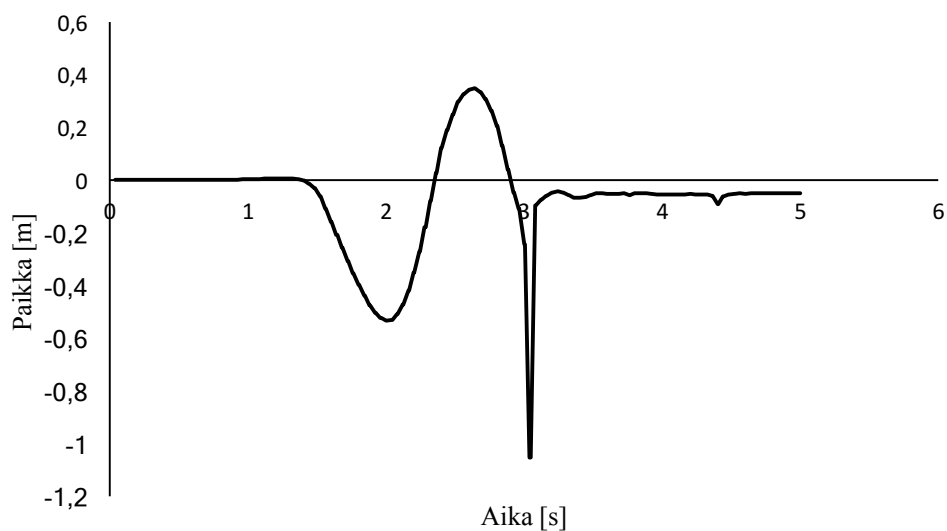
Hyppy	Korkeus
1	24,6
2	22,4
3	19,4

## 4.2 Ultraäänisensorimittausten tulokset

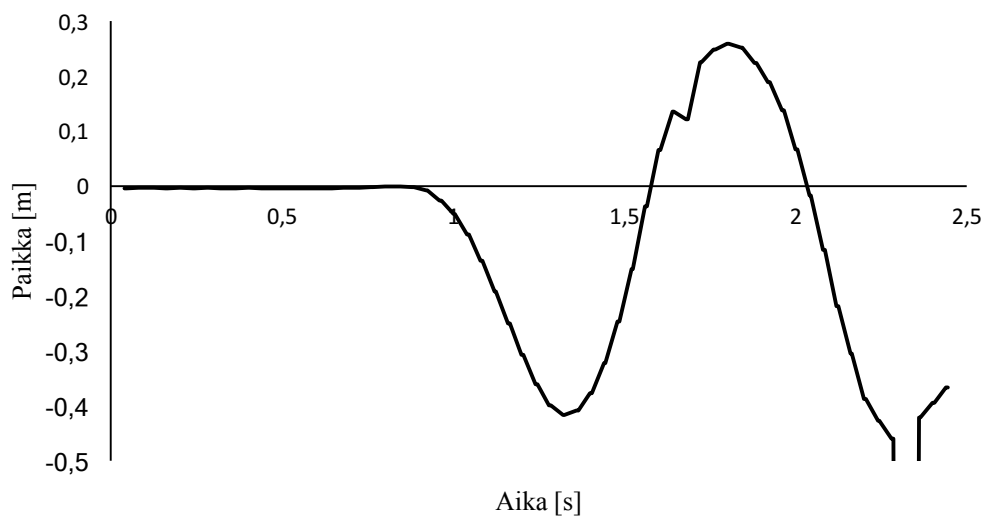
Ultraäänisensorimittauksista saatiin kuvien 4.4, 4.5 ja 4.6 mukaisia aika-paikka – kuvaajia. Kuvassa 4.5 terävä piikki lento-osuuden jälkeen on aiheutunut todennäköisesti siitä, että hyppääjän pää on hetkellisesti heilahtanut pois ultraäänisensorin keilasta.



**Kuva 4.4** Hypylle 1 ultraäänisensorilla mitattu aika-paikka –kuvaaja.



**Kuva 4.5** Hyppylle 2 ultraäänisensorilla mitattu aika-paikka –kuvaaja.



**Kuva 4.6** Hyppylle 3 ultraäänisensorilla mitattu aika-paikka -kuvaaja.

Hyppyjen aika-paikka –kuvaajista voidaan määrittää hyppyjen korkeudet liikerataa tutkimalla kaavan 2.9  $\Delta y_{hyppy} = y_{huippu} - y_{alku}$  mukaisesti. Koska ultraäänisensori nollattiin siten, että hyppääjän pään paikan arvo alussa vastasi nollaa eli  $y_{alku} = 0$ ,

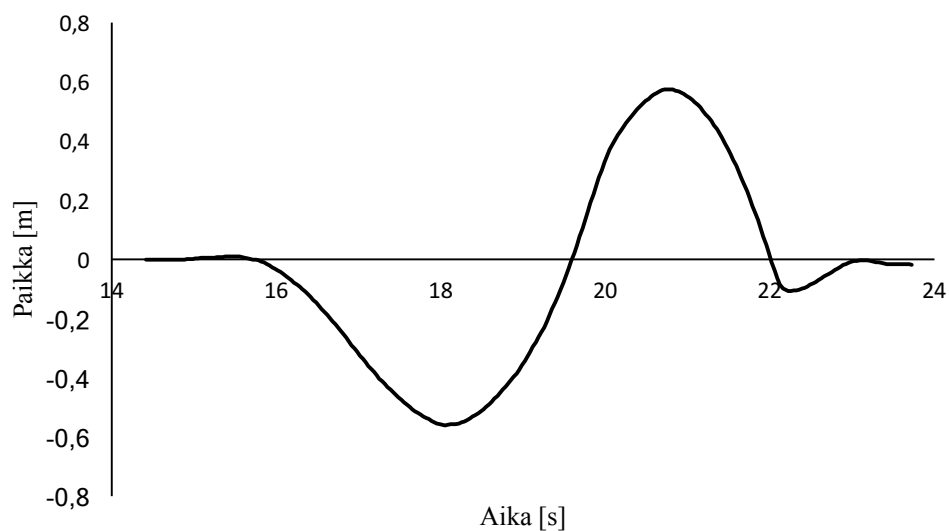
voidaan hyppykorkeus lukea suoraan mittaustulosten suurimman arvon kohdalta eli  $\Delta y_{hyppy} = y_{huippu}$ . Hyppyjen ultraäänisensorimittauksella mitatut korkeudet löytyvät taulukosta 4.4.

**Taulukko 4.4** Ultraäänisensorimenetelmällä päänpaikalle määritetyt hyppykorkeudet.

Hyppy	Korkeus [cm]
1	35,3
2	34,8
3	25,9

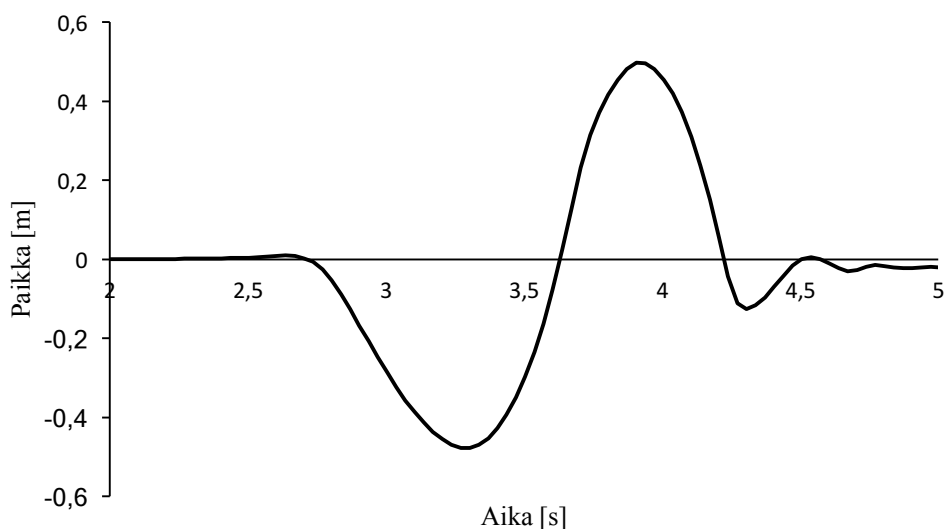
### 4.3 Videoanalyysimittausten tulokset

Videoanalyysimittaus suoritettiin ainoastaan hypyille 1 ja 2. Mittauksista saatiin kuvien 4.7 ja 4.8 mukaiset aika-paikka –kuvaajat.



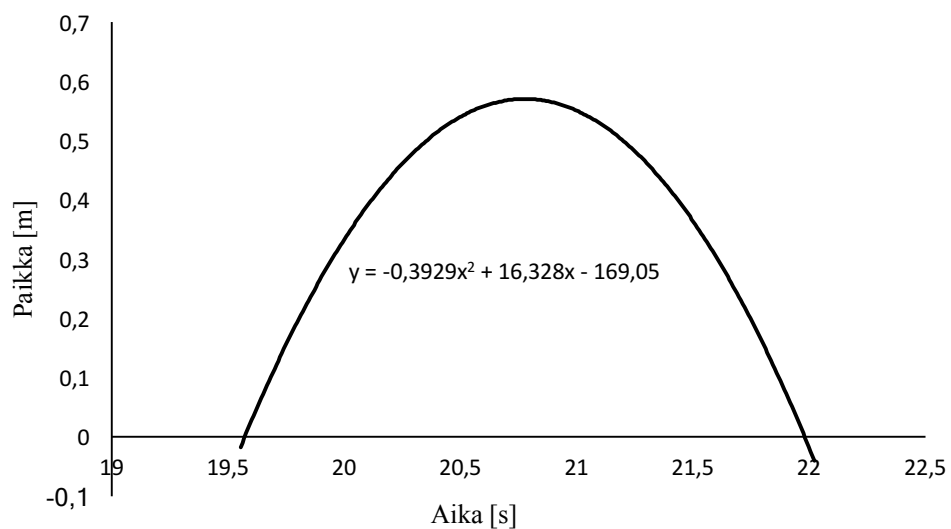
**Kuva 4.7** Videoanalyysimittauksesta hypyille 1 saatu aika-paikka -kuvaaja.



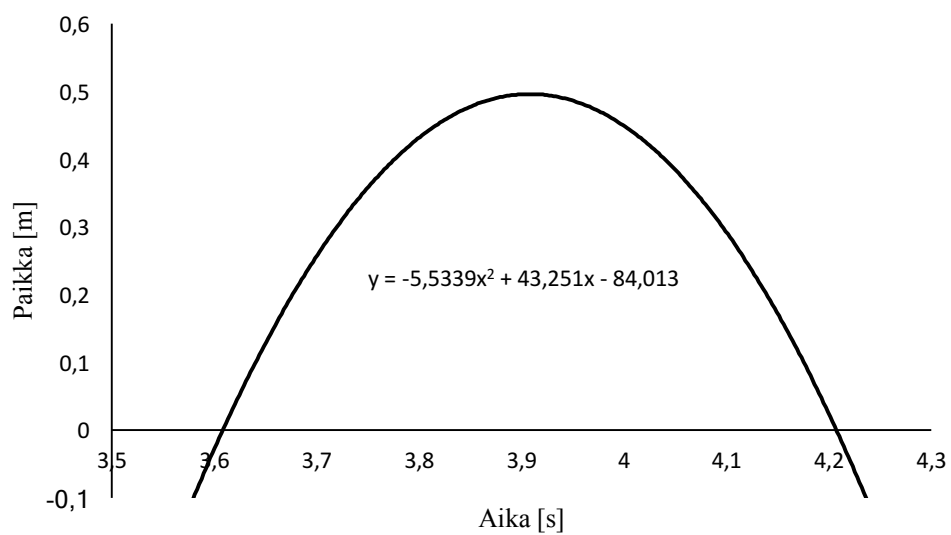


**Kuva 4.8** Videoanalyysimittauksesta hypylle 2 saatu aika-paikka -kuvaaja.

Videoanalyysimittauksen tuloksista voidaan lukea hyppykorkeus suoraan suurimman korkeuden arvon kohdalta, kuten ultraäänianturimittauksen tapauksessa, koska analyysiohjelmalla origo asetettiin hypääjän oletetun massakeskipisteen paikalle lähtötilanteessa. Tällöin massakeskipisteen lähtökorkeus  $y_{alku} = 0$  ja kaava 2.9 saa jälleen muodon  $\Delta y_{hyppy} = y_{huippu}$ . Videoanalyysimenetelmällä voidaan laskea hypyille massakeskipisteen nousukorkeus myös muodostamalla hypyjen lento-osuuksien mittapisteille sovituskäyrät. Sovituskäyristä muodostui kuvien 4.9 ja 4.10 mukaisia alaspäin aukeavia paraabeleja.



**Kuva 4.9** Hyyille 1 videoanalyysin aika-paikka –kuvaajan lento-osuuden mittapisteille muodostettu sovituskäyrä.



**Kuva 4.10** Hyyille 2 videoanalyysin aika-paikka –kuvaajan lento-osuuden mittapisteille muodostettu sovituskäyrä.

Sovituskäyrien yhtälöistä voidaan ratkaista massakeskipisteen nousukorkeudet. Hypyn 1 massakeskipisteen nousukorkeus saadaan ratkaistua derivoimalla ensin sen sovituskäyrän yhtälöä  $x$ :n suhteen.

$$f(x) = -0,3929x^2 + 16,328x - 169,05$$

$$f'(x) = -0,7858x + 16,328$$

Funktio saa suurimman tai pienimmän arvonsa välin päätepisteissä tai derivaatan nollakohdissa. Kuvaajasta (Kuva 4.9) voidaan päätellä, että sovitusfunktio saa suurimman arvonsa derivaatan nollakohdassa, joten ratkaistaan se.

$$f'(x) = -0,7858x + 16,328 = 0$$

$$\Leftrightarrow 0,7858x = 16,328$$

$$\Leftrightarrow x = \frac{16,328}{0,7858} = 20,7788$$

Koska  $x$  akseli vastaa tarkastelemassamme kuvaajassa mittausaikaa, tiedämme nyt, että massakeskipisteen korkeus  $y$  sai suurimman arvonsa ajanhetkellä 20,8 sekuntia. Muodostamamme sovituskäyrä esittää hyppääjän massakeskipisteen paikkaa ajan funktiona, joten massakeskipisteen huippukorkeus saadaan sijoittamalla ratkaistu ajanhetki takaisin alkuperäiseen sovitusfunktioon. Näin ollen hypyn 1 korkeudeksi saadaan

$$y = f(20,7788 \text{ s}) = -0,3929 * (20,7788 \text{ s})^2 + 16,328 * (20,7788 \text{ s}) - 169,05 \\ = 0,58832 \text{ m.}$$

Hypylle kaksi voidaan ratkaista massakeskipisteen nousukorkeus samoin kuin hypyn 1 tapauksessa. Hyppyjen mittauspisteiden mukaiset ja lasketut korkeudet löytyvät taulukosta 4.5.

**Taulukko 4.5** Videoanalyysimittauksella massakeskipisteelle hypyistä saadut korkeudet.

Hyppy	Mitattu korkeus [cm]	Laskettu korkeus [cm]
1	57,4	58,8
2	50,2	49,6

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää kuinka opetuskäyttöön soveltuvilla hyppykorkeuden määrittämismenetelmillä, ponnistusvoimamittaus, ultraäänisensorimittaus ja videoanalyysimittaus, voidaan selvittää hyppääjän massakeskipisteen nousukorkeus. Lisäksi haluttiin selvittää minkälaisia haasteita menetelmät pitävät opetuskäytön kannalta sisällään ja kuinka ne tukevat suomalaisen opetussuunnitelman sisältöjä ja tavoitteita. Tutkimuksessa onnistuttiin selvittämään, kuinka hyppykorkeus voidaan edellä mainituilla menetelmillä määrittää. Tutkimuksesta saatiin myös tietoa siitä, minkälaisia haasteita mittaukset voivat pitää sisällään, minkälaisille virheille ne ovat alttiita ja kuinka nämä voivat vaikuttaa soveltuvuuteen opetuskäytössä.

Mittauksissa havaittiin, että eri menetelmillä määritetyt hyppykorkeudet voivat poiketa toisistaan merkittävästi. Eniten toisistaan poikkesivat ensimmäiselle hypylle voimalevymittauksella ja videoanalyysillä määritetyt massakeskipisteen nousukorkeudet. Tulokset poikkesivat toisistaan enimmillään jopa 34,2 cm, joka tarkoittaa sitä, että videoanalyysillä määritetty nousukorkeus oli tässä tapauksessa noin 139% voimalevyllä saatua tulosta korkeampi.

Luotettavimmaksi hyppykorkeuden määrittämismenetelmäksi osoittautui voimalevy menetelmä, sillä sen mittauksissa ei havaittu tapahtuneen merkittäviä virheitä ja mittauksista määritetyt nousukorkeudet olivat uskottavia. Suurnopeuskamera- ja ultraäänisensorimittauksissa tapahtui joitakin selviä mittavirheitä, jotka ilmenivät tulosten käsittelyvaiheessa. Niiden avulla määritetyt massakeskipisteen nousukorkeudet olivat epärealistisen paljon voimalevy mittauksen tuloksia korkeammat. Ultraäänisensorimenetelmän tapauksessa myös mittausasetelman rakentaminen

osoittautui haasteelliseksi, sillä ultraäänisensorin kattoon asentamisen mahdollisuudet olivat rajalliset. Mittavirheistä ja haasteista huolimatta kaikki kolme mittausmenetelmää tukevat useita Suomen valtakunnallisten opetussuunnitelmien tavoitteita ja sisältöjä ja niitä voidaan hyödyntää fysiikan opetuksessa. Ne voivat edistää oppilaiden voimaan ja liikkeeseen liittyviä fysiikan tietoja ja taitoja, mutta tarvittaisiin lisää tutkimusta, jotta menetelmien opetuskäytön vaikutuksista oppimistuloksiin voitaisiin sanoa enemmän.

## **5.1 Tutkimuksen aikana havaitut haasteet ja virheet**

Mittauksien aikana havaittiin useita haasteita. Eräs haaste oli kalibroida voimalevy ja ultraäänisensori siten, että niillä mitattujen hyppyjen kuvaajat vastaisivat aika-akselien suhteen toisiaan. Erityisen haastavaksi tämä osoittautui sen vuoksi, että virhe johtui mittausohjelman satunnaisesta viiveestä mittauksen käynnistyessä, jolloin ultraäänisensori aloitti mittauksen voimalevystä jäljessä. Lopulta ongelma ratkaistiin asettamalla voimalevy aloittamaan mittaus negatiiviselta ajan arvosta, jolloin aika-akselit vastasivat mittaustuloksissa tarkemmin toisiaan. Tästä huolimatta mittalaitteiston viive vaikuttaa heikentävästi mittaustulosten vertailukelpoisuuteen erityisesti opetuskäytössä, sillä oppilaille saattaa syntyä virheellisiä käsityksiä siitä, kuinka hyppääjän paikan muutos ja pinnan hyppääjään kohdistuva tukivoima suorituksen aikana suhteutuvat toisiinsa.

Myös mittausasetelman rakentaminen osoittautui oletettua vaikeammaksi. Ultraäänisensorin kiinnittäminen kattoon hyppääjän pään yläpuolelle riittävälle korkeudelle oli haaste sensorin muodon ja koneeseen kiinnitetyn johdon vuoksi, joka pyrki muuttamaan sensorin asentoa. Lisähaastetta loi myös rajalliset kiinnityskohtat, joihin ultraäänisensori oli mahdollista asettaa. Opetusnäkökulmasta tämä voi olla rajoittava tekijä, sillä osalla kouluista ei ole välttämättä käytössään tiloja joissa sensorin kiinnittäminen kattoon on mahdollista.

Videoanalyysimittauksessa puolestaan hyppääjän paitaan merkityn massakeskipisteen pitäminen paikallaan mittauksien aikana oli hankalaa. Merkitsimme massakeskipisteen ennen mittauksen aloittamista hyppääjän paitaan, jonka jälkeen teippasimme paidan kiinni hyppääjän housuihin, jotta paita pysyisi paikallaan. Teippi oli kuitenkin liian heikko ratkaisu paidan kiinni pitämiseksi ja paita pääsi hyppyjen aikana nousemaan. Tästä seurasi selkeä mittavirhe, joka ilmeni siten, että videoanalyysimittauksen

tuloksista saatiin hyppyjen nousukorkeuksiksi huomattavasti suurempia kuin ponnistusvoima- ja ultraäänisensorimittausten tapauksessa.

Mittavirhe on saattanut vaikuttaa videoanalyysin tuloksiin myös siten, että hyppääjän lentoajaksi on saatu mahdottoman suuri. Kuten kuvasta 4.9 nähdään, hyppääjän lentoaika on siinä n.2,5 s. Tämä on kuitenkin mahdotonta. Hyppääjä on koko lennon ajan tasaisesti kiihtyvässä liikkeessä, eikä häneen vaikuta maan gravitaatiovoiman  $\bar{G}$  lisäksi muita voimia. Tästä seuraa, että hänellä kuluu yhtä paljon aikaa nousta huippukorkeuteen kuin laskeutua sieltä. Tällöin  $t_{nousu} = t_{lasku}$  ja lisäksi  $t_{nousu} + t_{lasku} = 2,5 \text{ s} \Rightarrow t_{lasku} = 1,25 \text{ s}$ . Hyppääjän nopeus huippukorkeudessa on hetkellisesti nolla eli  $v_0 = 0$ . Kun asetetaan hyppääjän paikka huippukorkeudessa nollassa  $y_{huippu} = 0$ . Hyppääjän putoamiskorkeudeksi kaavan (2.2) mukaisesti saadaan

$$y = y_{huippu} + v_0 t_{lasku} - \frac{1}{2} g t_{lasku}^2 = 0 + 0 - \frac{1}{2} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * (1,25 \text{ s})^2 = -7,664 \dots \text{m} \\ \approx -7,7 \text{ m},$$

mikä on ihmiselle fyysisesti mahdoton tulos.

Myös ultraäänisensorimittauksissa tapahtui todennäköinen mittavirhe, sillä sen tuloksista määritetyt hyppykorkeudet eivät myöskään vastanneet voimalevymittauksen tuloksista määritettyjä korkeuksia. Voimalevymittauksissa ei havaittu virheitä, joten virhe johtui todennäköisesti siitä, että hyppääjän pään päälle asetettu levy oli suoritusten aikana vinossa. Tästä seurasi ultraäänisensorimittauksen tapauksessa suuremmat nousukorkeudet kuin voimalevymittauksessa. Ultraäänisensorimittauksen tuloksissa esiintyi myös piikkejä, joissa hyppääjän pään paikka putosi kuvaajassa mahdottoman alas. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että hyppääjän pää heilahti suorituksen aikana hetkellisesti ulos ultraäänisensorin ”keilasta”, jolloin sensori luki etäisyyden arvon lattiasta.

Videoanalyysimittauksen tapauksessa mittaustarkkuutta voisi parantaa massakeskipisteen merkkäminen hyppääjän kylkeen esimerkiksi vyöllä, jolloin hyppääjän etukenoon kumartuminen ponnistuksen alussa ja paidan nouseminen hypyn aikana ylös eivät pääsisi vaikuttamaan tuloksiin yhtä voimakkaasti. Ultraäänisensorimittauksista puolestaan voisi parantaa rakentamalla hyppääjän pään päällä olevalle levylle telineen, joka varmistaisi levyn suorassa pysymisen hypyn aikana. Lisäksi levyn kokoa voisi suurentaa, jolloin todennäköisyys pään heilahtamiselle ulos sensorin keilasta olisi pienempi.

## 5.2 Menetelmien soveltuvuus opetuskäyttöön

Vaikka tutkimuksen mittaukset eivät onnistuneet täydellisesti ja eri mittausmenetelmillä saadut tulokset eivät vastanneet toisiaan, aiemmat tutkimukset tukevat tässä tutkimuksessa käytettyjen mittausmenetelmien käyttöä opetuksessa. Beichnerin (1998) artikkelissa ”The impact of video motion analysis on kinematics graph interpretaion skills” tehty tutkimus osoitti, että videoanalyysin käytön määrä opetuksessa heijastui oppilaiden kinematiikan kuvaajien tulkinnan taitoihin positiivisesti.

Kamela (2007) puolestaan ehdottaa artikkelissaan ”Demonstrating kinematics and Newton’s laws in a jump”, että hyppyjen tutkiminen samalla tavalla kuin tässä tutkielmassa voimalevyn ja ultraäänisensorin avulla auttaa oppilaita kehittämään selkeät riippuvuussuhteet paikan, nopeuden ja kiihtyvyyden, sekä kiihtyvyyden ja voiman välille. Hänen mukaan mittaustulosten analysointia voidaan käyttää opetusvälineenä myös impulssin ja liikemäärän yhteyden osoittamiseen ja tästä päästään siirtymään energian käsitteeseen hyppyjen tapauksessa.

Myös Lawson ja McDermott (1987) kertovat artikkelissaan ”Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems”, että kehittääkseen todellisen fysiikan ymmärryksen useimmat oppilaat tarvitsevat kokemuksia, joissa he joutuvat tekemään fysikaalisia johtopäätöksiä useissa erilaisissa konteksteissa ja tilanteissa. Heidän mukaansa fysiikan syvällistä ymmärtämistä ei todennäköisesti saavuteta, mikäli oppilaat seuraavat opetusta ainoastaan sivusta.

Fysiikan sisältöjen osalta hyppykorkeuden määrittäminen käyttäen ponnistusvoima-, ultraäänisensori- ja videoanalyysimittauksia voi sopia oppilastyöksi erityisesti Suomen perusopetussuunnitelman sisältöalueiden S1 ”Luonnontieteellinen tutkimus” ja S5 ”Vuorovaikutus ja liike”, sekä suomalaisen lukion opetussuunnitelman kursseille FY1 ”Fysiikka luonnontieteenä” ja FY4 ”Voima ja liike” opetukseen.

Sisältöalueella S1 keskitytään tutkimusprosessin vaiheisiin, kuten ilmiöiden tai ongelmien pohtimiseen, suunnitteluun, koejärjestelyiden rakentamiseen, havainnointiin, mittaamiseen, tulosten koontiin, niiden käsittelyyn, sekä tulosten arviointiin ja esittämiseen (Opetushallitus, 2014). Hyppykorkeuden määrittäminen oppilastyönä tässä tutkielmassa käytetyillä menetelmillä kattaa siis lähestulkoon koko sisältöalueen S1. Voimalevymittauksen tuloksista hyppykorkeuden määrittäminen vaatii kuitenkin

perusopetuksen ylittäviä fysiikan tietoja ja taitoja, mutta mittaus voidaan suorittaa esimerkiksi käyttämällä ainoastaan ultraäänisensori- ja videoanalyysimenetelmiä.

Sisältöalueesta S5 sanotaan, että ”Sisällöt liittyvät erilaisiin vuorovaikutuksiin ja kappaleiden liiketiloihin. Kahden kappaleen vuorovaikutuksista siirrytään yhteen kappaleeseen vaikuttaviin voimiin ja niiden vaikutukseen kappaleen liikkeeseen. Liiketilaa kuvataan tasaisen ja muuttuvan liikkeen malleilla myös kvantitatiivisesti. Mekaaninen työ ja teho kytketään kvalitatiivisesti energiaan.” (Opetushallitus, 2014, s. 391). Sisältöalueelle S5 hyppykorkeuden määrittäminen käyttäen voimalevy- ja ultraäänisensorimenetelmää, sekä videoanalyysiä sopisi sisältöjen puolesta erinomaisesti, sillä Kamelan (2007) mukaan erityisesti voimalevy-ultraäänisensori mittaus auttaa kehittämään oppilaille selkeän käsityksen paikan, nopeuden ja kiihtyvyyden, sekä voiman ja kiihtyvyyden suhteista.

Lukion opetussuunnitelmassa kurssin FY1 keskeisiä sisältöjä ovat muun muassa voima liikkeen muutoksen aiheuttajana, liikeilmiöt, tutkimukset ja mallintaminen fysikaalisen tiedon rakentumisessa, tulosten kerääminen, esittäminen graafisesti ja luotettavuuden arviointi. (Opetushallitus, 2015) Hyppykorkeuden määrittäminen tämän tutkimuksen menetelmillä pitää sisällään kaikki edellä mainituista kurssin FY1 sisällöistä. Lisäksi kolmen mittausmenetelmän käyttö yhtä aikaisesti tukee erityisesti luotettavuuden arvioinnin osa-aluetta, sillä kuten tämän tutkimuksen mittauksissa huomattiin tulokset voivat poiketa merkittävästi toisistaan.

Parhaiten käyttämämme ponnistusvoima-, ultraäänisensori-, videoanalyysimittaus voi sopia kurssille FY4, sillä se kattaa suurimmaksi osaksi sekä kurssin tavoitteet että sisällöt. Kurssin FY4 tavoitteiksi on listattu, että opiskelija ”osaa käyttää ja soveltaa voiman ja liikkeen käsitteitä jokapäiväisen elämän, ympäristön, yhteiskunnan ja teknologian ilmiöissä”, ”ymmärtää säilymislakien merkityksen fysiikassa”, ”osaa tutkia kokeellisesti voimaan ja liikkeeseen liittyviä ilmiöitä” ja ”harjaantuu graafisten esitysten käyttämisessä ja tuottamisessa” (Opetushallitus, 2015, s. 171). Kurssin sisältöjä ovat puolestaan tasaisesti kiihtyvä suoraviivainen liike, impulssiperiaate, liike- ja potentiaaliperiaate, mekaanisen energian säilymislaki, sekä ”mallien käyttäminen ja muodostaminen sekä niiden rajoitukset ja puutteet” (Opetushallitus, 2015, s. 171).

Oppilastyönä hyppykorkeuden määrittäminen voimalevy, ultraäänisensori ja videoanalyysimenetelmillä haastaa oppilaan soveltamaan oppimaansa voiman ja liikkeen käsitteistä oikeaan tilanteeseen. Oppilas tutkii kokeellisesti hyppyä, joka on



voimia ja liikettä sisällään pitävä ilmiö. Mittauksen tulokset oppilas saa kuvaajien muodossa, joka puolestaan harjaannuttaa graafisten esitysten käyttämiseen. Tarkastelun yksinkertaistamiseksi oppilas voi mallintaa hyppääjän massakeskipisteekseen, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin. Hyppääjä on lentonsa aikana tasaisesti kiihtyvässä suoraviivaisessa liikkeessä, jossa hyppääjän kineettinen energia muuntuu potentiaalienergiaksi ja ratkaistakseen voimalevy-mittauksen tuloksista hyppääjän korkeuden oppilas joutuu hyödyntämään impulssiperiaatetta, sekä mekaanisen energian säilymlakia. Näin ollen oppilastyö on erittäin kattava kurssin FY4 sisältöjen ja tavoitteiden kannalta.

### **5.3 Jatkotutkimukset**

Tässä tutkimuksessa ei selvinnyt kuinka hyppykorkeuden määrittäminen voimalevy- ja ultraäänisensorimittauksia, sekä videoanalyysiä hyödyntäen todellisuudessa vaikuttaisi oppimistuloksiin suomalaisessa opetuksessa, joten tutkimusta voisi jatkaa esimerkiksi tutkimalla parantaisiko menetelmän käyttö oppimistuloksia verrattuna perinteiseen mekaniikan opetukseen eri luokka-asteilla. Tutkimus myös keskittyi ainoastaan voimalevy-, ultraäänisensori- ja videoanalyysimenetelmiin hyppykorkeuden määrittämiseksi, mutta menetelmiä on useita muitakin, joten voisi olla mielekäästä tutkia kuinka esimerkiksi kontaktimatto käyttäen hyppääjän lentoajasta saadaan määritettyä hyppykorkeus ja kuinka sen käyttö opetusvälineenä soveltuisi suomalaisten opetussuunnitelmien mukaiseen opetukseen.

- Beichner, R. J. (1994, 8.). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8).
- Beichner, R. J. (1998). The Impact of video motion analysis on kinematics graph interpretation skills. *American Journal of Physics*, 64(10).
- Joan Solomon, R. B. (1991). Can pupils learn through their own movement? A study of the use of a motion sensor interface. *Physics Education*, 26(6).
- Kamela, M. (2007). Demonstrating kinematics and Newton's laws in a jump. *Physics Education*, 42(2).
- Knight, R. D. (2013). *Physics for Scientists and Engineers – A Strategic Approach with Modern Physics (Third edition)*. San Francisco: Pearson.
- Lillian C. McDermott, M. L. (1987, 6). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6).
- Linthorne, N. P. (2001, Marraskuu). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, 69(11).
- Opetushallitus. (2014). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014. 00531, Uudenmaan maakunta, Suomi. Voimassa (1.1.2015 alkaen toistaiseksi)
- Opetushallitus. (2015). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015. 00531, Uudenmaan maakunta, Suomi. Voimassa (1.8.2016 alkaen toistaiseksi)
- Ronald A. Lawson, L. C. (1987, 9). Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 55(9)

Seppänen R., Kervinen M., Parkkila I., Karkela L., Meriläinen P. (2005). *MAOL taulukot* (2.-6. ed.). Kustannusosakeyhtiö Otava.

Tyler D. Whitmer, A. C. (2015). Accuracy of a vertical jump contact mat for determining jump height and flight time. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 4(29).

