

Lumilaji- tutkimus käytännön valmennuksen tukena

Vuokatissa toimiva Jyväskylän yliopiston Liikuntateknologian yksikkö etsii uusia keinoja hiihtosuorituksen mittaamiseen. Yksikössä tutkitaan myös suksen liukuun vaikuttavia tekijöitä. Hiihto on pitkälti välineurheilua. Välineet sekä niihin vaikuttavat tekijät on tunnettava tarkoin, jotta hyvin harjoitellut urheilija voisi menestyä.

Iivo Niskanen harjoittelemassa Vuokatin hiihtoputkessa.

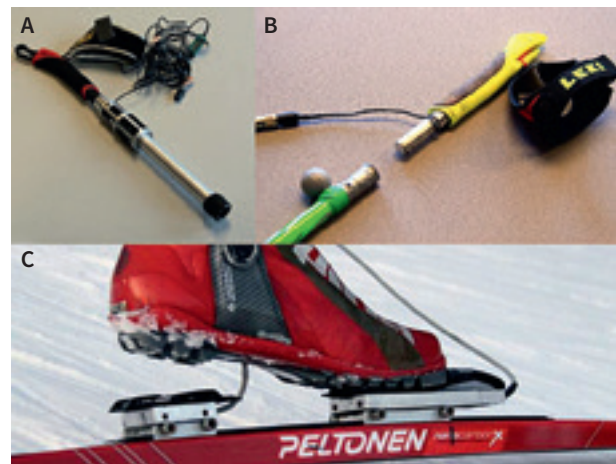
Kuva Vuokatti Sport

LIIKUNTATEKNOLOGIAN YKSIKÖSSÄ VALMISTUI kesällä 2019 Olli Ohtosen luisteluhiihdon biomekaniikkaa käsittelevä väitöskirjatyö. Tutkimus käsittelee luisteluhiihdon biomekaanisia muuttujia, kuten voimantuottoja käsillä ja jaloilla. Kohteena olivat myös luisteluhiihdon syklimuutujat, kuten hiihtosyklin kesto ja pituus sekä voimantuottojen ja palautusvaiheiden kesto. Näitä muuttujia tutkittiin erilaisissa vauhti- ja väsymystilanteissa hiihdettäessä Vuokatin hiihtotunnelissa.

Voimia hiihtosuorituksen aikana mitattiin erityisvalmisteisilla voima-antureilla niin sauvoista (Kuva 1 A ja B) kuin suksistakin (Kuva 1 C). Lisäksi tutkimuksen viimeisessä osaraportissa voimamittauksiin yhdistettiin liikkeenanalyysi ns. propulsiovoiman laskemiseksi. Propulsiovoima kuvaa voimaa, joka hiihtosuorituksen aikana lopulta vie hiihtäjää eteenpäin. Propulsiovoiman laskeminen toteutettiin laskemalla suksi- ja sauva-antureiden voimantuottojen hiihtäjän massakeskipisteeseen osuvasta ns. resultanttivoimasta hiihtosuuntaan vievä komponentti. Tämän voiman suuruus vastaa vakionopeudella hiihdettäessä hiihtosuoritusta vastustavia voimia, mitä ovat ylämäen aiheuttama gravitaation vastus, ilmanvastus sekä suksen ja lumen välinen kitkavoiman vastus.

Tutkimuksessa vertailtiin sauvoilla ja suksilla tuotettuja huippuvoimia ja voiman impulsseja samaa aineistoa käyttäen sekä perinteistä analyysia että propulsiovoima-

menetelmää. Perinteinen tapa ja propulsiovoimamenetelmä antavat samanlaiset tulokset sauvavoimista. Monimutkaisemman, useampaan liikesuuntaan tapahtuvan luistelupotkun analysoinnissa propulsiomenetelmä oli tarkempi. Menetelmällä pystyttiin todentamaan täsmällisemmin väsymyksen aiheuttamia muutoksia hiihtotekniikassa, jotka hidastivat hiihtovuhtia.



Kuva 1. Tutkimuksessa käytettyjä voima-anturointeja sauvoissa (A ja B) ja suksessa (C)

Uusi menetelmä jalostuu valmennuksen avuksi

Tutkimuksessa löydettiin kaksi tapausta, joissa hiihtovauhti putosi merkittävästi 20 kilometrin hiihtosuorituksen aikana. Henkilöiden ”hyytyminen” johtui eri syistä. Toisella sauvavoimat vähenivät 50 prosenttia lähtö- ja lopputilanteiden välillä sekä perinteistä mittaustapaa että propulsiomenetelmää käytettäessä. Toisella henkilöllä jalkojen tuottamat voimat vähenivät perinteisen analysointimenetelmän mukaan 20 prosenttia. Propulsiomenetelmällä mitattuna pudotus oli 50 prosenttia.

Tämä osoittaa, että perinteinen, vain voimien resultantin huomioon ottava menetelmä ei mittaa yhtä herkästi väsymisen aiheuttamia tekniikan muutoksia erityisesti jalkojen osalta verrattuna propulsiomenetelmään. Kirjallisuudessa onkin todettu aikaisemmin, että propulsi- ja resultanttivoiman suhdetta voitaisiin käyttää hiihdon taloudellisuuden mittarina kuvaten sitä osaa tuotetuista voimista, mikä vie hiihtäjään eteenpäin.

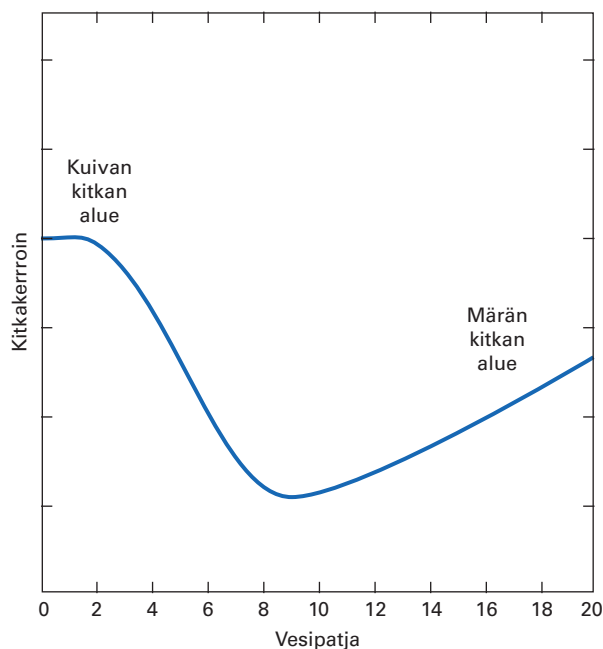
Tutkimuksessa löydetty tulokset olivat lupaavia hiihto- ja valmennuksen kannalta, vaikka käytetty koehenkilömäärä oli pieni sekä mittausalue lyhyt. Jatkossa propulsiovoimamenetelmä pyritään saamaan helpompikäyttöisemmäksi, jotta sitä voidaan hyödyntää valmennustilanteissa. Jatkokehittelyä tekee Liikuntateknologian yksikön väitöskirjaopiskelija **Shuang Zhao**, joka työssään pyrkii optimoimaan välineissä ja hiihtäjässä tarvittavien tunnistinten määrää. Lisäksi voimanmittausantureita pyritään kehittämään kevyemmäksi, jotta ne vaikuttaisivat vähemmän hiihtosuoritukseen.

Propulsiovoimamittaukset tuodaan lisäksi sisätiloihin rullahiihtosuorituksen mahdollistavalle juoksumatolle. Samalla hiihtäjälle voidaan näyttää hiihtosuorituksesta reaaliaikaisesti videokuvaa sekä hiihtoon liittyviä suoritusmuuttujia, kuten sykli ja propulsiovoima. Tämä voidaan tehdä Liikuntateknologian yksikössä kehitetyllä Coachtech-järjestelmällä, joka yhdistää automaattisesti video- ja analogidataa erilaisilta antureilta sekä laskee muuttujat valmiiksi lähes reaaliaikaisesti.

Välineiden merkitys maastohiihdossa

Suksen luisto-ominaisuudet vaikuttavat merkittävästi lopputulokseen maastohiihdossa. Maajoukkueet panostavat luiston parantamiseen merkittäviä summia vuosittain. Suksen liukumista vastustava kitka muodostuu mekaanisesta kitkasta ja nestekerroksen paksuuden vaikutuksesta. (Kuva 2). Nestekerroksen paksuus on ihanteellisimmillaan luiston kannalta tavallisesti noin kolmessa pakkasasteessa. Kylmemmällä säällä nesteen muodostumisen väheneminen kasvattaa kitkaa. Vastaavasti lämpimämmissä olosuhteissa nestekerroksen paksuuntuminen lisää kitkaa ja hidastaa liukumista.

Lopulliseen kitkaan vaikuttaa lämpötilan lisäksi suuresti myös lumen laatu. Hienorakenteinen, kovaksi tampautunut lumi ei päästä liiallista nestettä lumen sisälle ja läpi, vaan se jää kokonaisuudessaan pintojen väliin. Karkea keinolumi sitä vastoin päästää nesteen pois pintojen välistä ja voi olla hyvinkin liukas, vaikka lämpötila olisi reilusti plussan puolella. Näiden lisäksi luistoon vaikuttaa lumen likaisuus. Vaikka lämpötila ja vesipatja olisivat optimaalisella alueella, likainen lumi voi heikentää liukua.



Vesipatjan vaikutus kitkakertoimeen kuivan ja märän kitkan alueilla (Hamrock & Dawson 1981).

Kuva 2. Suksen kitkakerron esitettyä U-muotoisena graafina nestekerroksen paksuuden suhteen.

Lumen ja pohjan välistä kitkaa pyritään minimoimaan sukset valinnalla, pohjankuvioinnilla sekä pohjan käsittelyllä eli voitelulla. Optimaalisen sukset valinnan tavoitteena on pitää painealueet oikean kokoisina, vaikka paine sukset päällä muuttuisi urheilijan liikkeen myötä potkujen ja liukujen aikana. Liian löysällä sukset painepinnat ovat liian suuria sukset mittaan verrattuna, eivätkä ne voi jakaa painetta urheilijan potkujen alla. Liian jäykkillä sukset hiihtäessä sukset ei oikene riittävästi potkujen alla, vaan painepinnat jäävät liian pieniksi.

Pohjan kuviointi tulee valita lumikiteiden ja nestekerroksen mukaan. Kiteen koon kasvaessa kuvion muodot voivat olla harvempia. Paksumpi nestekerros vaatii syvempiä kuvioita. Kovemmilla pakkasilla ovat hyviä enemmän poikittaista muotoa sisältävät kuvioinnit – esimerkiksi havukuvioinnit. Kosteammalla kelillä kuvion tulee olla enemmän sukset suuntainen. Optimaalinen lumikiteen vaatima sukset pohjan kovuus säädetään voitelulla, jolla myös pyritään säätämään oikea hydrofobisuus, eli pohjan vedenhylkivyyttä. Lian pohjaan tarttumiseen voidaan vaikuttaa pohjakuvion muodolla sekä voitelulla.

Pohjan pinnan karheutta ja muotoa on suhteellisen helppoa mitata. Myös lumikiteen muotoa ja kokoa pääsee tarkastelemaan helposti. Sen sijaan pintojen väliin jäävän nestekerroksen paksuutta on vaikeampaa tarkastella. Asiaa selvitetäänkin useimmiten kokeilemalla erilaisia kuviointivaihtoehtoja. Sama pätee myös voiteisiin. Erilaiset kuviot ja voiteet testataan omissa ”testipakoissa”, joissa sukset on pyritty valitsemaan ja testaamaan niin, että ne ovat mahdollisimman samanlaisia, jotta sukset vaikuttaisi testiin mahdollisimman vähän. Likaisuuteen päästään käsiksi erilaisten sulatetusta lumesta tehtyjen analyysien perusteella.

Testissä myös sauvat

Suksien lisäksi hiihtäjällä on käytössä sauvat, joiden avulla hiihtäjä välittää voimaa lumeen. Normaalisissa hiihdossa mieshiihtäjä tuottaa voimaa noin 200–300 N huippuvoimalla sauvaa kohden. Esimerkiksi sprinttihiihdon startissa voimat ovat kuitenkin 500 N luokkaa. Putkien voimavälityskyky voidaan selvittää puristamalla sauvaa pituussuunnassa ja mittaamalla putken läpi välittyvä voima.

Todellisissa hiihtotilanteissa pelkän kohtisuoran voiman lisäksi putkeen kohdistuu vääntöjä ja kiertoja. Sauvan suuntaisen voiman välityskyvyn mittaamisella voi-

daan kuitenkin hyvin arvioida sauvojen soveltuvuutta eritasoisille hiihtäjille. Vuokatissa tehdyissä mittauksissa käytetään putkia, joiden mitta vastaa 155-senttisen sauvan putkea. Parhaat mitatut putket ovat välittäneet yli 1000 N voiman, kun kilpailukäyttöön tarkoitettujen putkien voimavälityskyky on keskimäärin 850 N luokkaa. Harrastajille tarkoitetuissa sauvoissa välityskyky laskee noin puoleen kilpailusauvoista painon normaalisti noustessa.

Vuokatissa meneillään olevan Teemu Lemmettylän välineiden ja hiihtosuorituksen välistä yhteyttä selvittävän väitöstutkimuksen aiheena on selvittää kitkan vaikutuksia hiihdon biomekaniikkaan. Erityisen ajan-kohtaisen työstä tekee yleisesti voiteiden lisäaineina käytettyjen fluoriyhdisteiden käytön kieltäminen maasto- ja ampumahiihdossa. Tämä heikentää ainakin alkuvaiheessa kilpasuksien luistoa ennen kuin voidevalmistajat onnistuvat kehittämään täysin fluoriyhdisteet korvaavia tuotteita. Väitöstutkimuksessa yhdistetään suksien kitkakerroimen mittaamiseen kehitetyn lineaaritribometrin käyttö biomekaniikassa käytössä oleviin tutkimusmenetelmiin. Tavoitteena on vastata kysymykseen, miten hiihtäjä muuttaa tekniikkaansa luiston muuttuessa.

Olli Ohtonen, LitT, projektipäällikkö

Vuokatin liikuntateknologian yksikkö
Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto
olli.ohtonen@jyu.fi

Teemu Lemmettylä, LitM, projektipäällikkö

Vuokatin liikuntateknologian yksikkö
Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto
teemu.lemmettyla@jyu.fi

Vesa Linnamo, LitT, professori

Vuokatin liikuntateknologian yksikkö
Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto
vesa.linnamo@jyu.fi

LISÄTIETOA

<https://www.jyu.fi/sport/fi/liikuntateknologia>

Hiihtotutkimus Vuokatissa

Jyväskylän yliopiston liikuntateknologian yksikkö aloitti toimintansa Vuokatissa 2004, jolloin ensimmäiset liikuntateknologian maisteriopiskelijat aloittivat opintonsa. Vuotta myöhemmin Vuokatissa alkoi myös tohtorikoulutus. Vuoden 2019 loppuun mennessä maistereita on yksiköstä valmistunut 75 ja tohtoreita kuusi. Erityisesti tohtorikoulutuksessa ja siihen liittyvässä tutkimuksessa on keskitytty talviurheiluun. Neljä valmistuneista ja kuusi tekeillä olevaa väitöskirjaa liittyvät joko maastohiihtoon tai ampumahiihtoon (taulukko 1).

Tutkimuksissa on kehitetty uusia mittaamenetelmiä yhdessä kansallisten ja kansainvälisten yhteistyökumppaneiden kanssa. Tavoitteena on ollut ja tulee olemaan tutkimustiedon siirtäminen käytäntöön. Tutkimustoiminnan käytäntöön viennissä yhteistyötä on tehty Vuokatti-Ruka Urheiluakatemia, Vuokatin Urheiluo-
piston, Suomen Hiihto- ja Ampumahiihtoliiton, Suomen Olympiakomitean ja Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen kanssa. Kansainvälisiä hiihtokongresseja tulosten esittelemiseksi Vuokatissa on järjestetty neljä kertaa, joista tuorein ”International Congress on Science and Skiing” järjestettiin maaliskuussa 2019.

Taulukko 1. Vuokatin talviurheiluun liittyvät väitöskirjaprojektit

Tutkijan nimi	Tutkimuksen nimi	Valmistumisvuosi tai suunniteltu valmistuminen (S)
Caroline Göpfert	Performance characteristics in classic and skating techniques of cross-country skiing; effects of kick double poling and arm swing	2017
Simo Ihalainen	Technical determinants of superior rifle shooting technique	2018
Olli Ohtonen	Biomechanics in cross-country skiing skating technique and measurement techniques of force production	2019
Valeria Rosso	Biomechanics in Paralympic Cross-Country sit-skiing; evidence-based tests for classification	2019
Christina Mishica	Progress and Development of Junior Cross-Country Skiers During Sports High School	2021 (S)
Teemu Lemmettylä	Friction adaptations in cross-country skiing	2022 (S)
Jonathan McPail	Practical methods of monitoring and detecting neuromuscular fatigue, post exercise recovery and chronic training adaptation in alpine and freeski skiers	2022 (S)
Shuang Zhao	Factors related to treadmill cross-country skiing performance	2022 (S)
Miika Köykkä	Technical and physiological assessment of biathlon shooting	2023 (S)
Oona Kettunen	Relative Energy Deficiency and Performance in Female Cross Country Skiers	2023 (S)

Hiihtolajien välinekehitys

Maastohiihdossa kilpailuvauhdit ovat kasvaneet eniten kestävyyslajeista viimeisen 40 vuoden kuluessa. Yksi merkittävä tekijä muutoksen taustalla on luisteluhiihdon kehittyminen ja eriytyminen omaksi tekniikakseen 1980-luvulla. Vapaa hiihtotapa ja latujenteon koneellistuminen korostivat luiston merkitystä ja asettivat uusia vaatimuksia hiihtovälineille..

Urheiluvälineiden kehityksessä puhutaan yleensä kevyemmistä ja jäykemmistä tuotteista. Tämä on loogista, koska kevyemmät välineet pienentävät liikuttamiseen tarvittavaa työmäärää. Jäykkyys taas parantaa voiman välittymistä. Hiihdossa tähän on kuitenkin joitakin poikkeuksia. Suksiin etsitään juuri hiihtäjän painolle ja tekniikalle sopivaa jäykkyyttä. Sauvojen ei myöskään tarvitse olla äärettömän jäykät, vaan joissain tilanteissa ne voivat vaimentaa värähtelyä tai varastoida työntöliikkeen aikana tuotettua voimaa suorituskyvyn parantamiseksi.

Suksien kehityksessä on kaksi käännekohtaa. Ensimmäinen tapahtui, kun puu korvattiin käyttämällä luistoltaan ylivoimaista muovia suksien pohjamateriaalina 1970-luvun alussa. Toisen suuren muutoksen sukset kokivat noin kymmenen vuotta myöhemmin, kun täyspuurunko korvattiin kevyemmällä kennorakenteella. Kennorakenne on edelleen käytössä, mutta suksia on edelleen kevennetty ja jäykistetty korvaamalla materiaaleja hiilikuidulla. Sauvojen osalta isoimmat muutokset ovat tapahtuneet, kun rottinki korvattiin ensin alumiinilla ja sitten hiilikuidulla 1970-luvulla. Monoissa nahka on korvattu ensin muovilla ja sittemmin hiilikuidun määrä on lisääntynyt myös hiihtokengissä.

Suksien kuvioinnissa kehitys on alkanut muovipohjaan siirtymisen myötä. Ensin pohjia hiottiin ja kuvioitiin itse käyttäen hiomapaperia ja urarautoja, mutta 1990-luvulla siirryttiin tietokoneohjattuihin hiontakoneisiin. Tämän lisäksi voitelijan käsin tekemien kevytkuviointien kehitys on jatkanut näihin päiviin asti. Tällä hetkellä näköpiirissä ovat koneella tehtävät kevytkuviointit lopputuloksen paremman vakioinnin vuoksi sekä laserilla tehtävät entistä tarkemmat ja vapaammin suunniteltavat kuvioinnit.

Voiteiden kehityksessä isoin harppaus otettiin, kun 1990-luvun alussa tuotteisiin alettiin lisätä fluoriyhdisteitä. Fluori parantaa voiteiden liukkautta ja vähentää luistopintojen likaantumista erityisesti märissä olosuhteissa. Fluorin luistoa parantavat ominaisuudet ovat kuitenkin niin hyvät, että sitä käytetään tällä hetkellä kaikissa olosuhteissa luistovoiteissa ja laajalti myös pitovoiteissa parantamassa niiden ominaisuuksia. Seuraava merkittävä muutos voiteiden käytössä on näköpiirissä, kun Kansainvälinen hiihtoliitto FIS on päättänyt kieltää fluorattujen tuotteiden käytön kauden 2020–2021 alusta. Tämä pakottaa voidevalmistajat lisäämään panostustaan korvaavien tuotteiden kehittämiseksi.