

# **HIIHTOSUUNNISTUKSEN TASATYÖNNÖN BIOMEKANIikka**

## **Sukupuolten ja suoritustasojen väliset erot pitkän matkan kilpailun aikana**

Suvi Oikarinen

Biomekaniikan pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Oikarinen, S. 2024. Hiihtosuunnistuksen tasatyönnön biomekaniikka: Sukupuolten ja suoritus-tasojen väliset erot pitkän matkan kilpailun aikana. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, biomekaniikan pro gradu -tutkielma, 63 s., 2 liitettä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella kansainvälisen ja kansallisen tason hiihtosuunnistajien tasatyönnön biomekaniikkaa sekä vertailla sukupuolten ja suoritus-tasojen välisiä eroja tasatyönnön biomekaniikassa hiihtosuunnistuksen pitkän matkan kilpailun aikana. Tarkoituk-sena oli myös tarkastella tasatyönnön muutoksia tasatyönnön biomekaniikassa pitkän matkan kilpailun aikana. Saatuja tuloksia verrattiin maastohiihdon tasatyönnön biomekaniikkaan, koska hiihtosuunnistuksen biomekaniikasta ei ole aikaisemmin julkaistu tutkimustietoa.

Tutkimus toteutettiin Sodankylässä joulukuussa 2019 järjestettyjen Ensilumenrastien pitkän matkan kilpailun yhteydessä. Tutkimuksen koehenkilöiksi valittiin lopputulosten perusteella 5 parasta naista ja 12 parasta miestä. Miehet jaettiin suoritus-tasojen vertaamista varten nopeam-piin (sijat 1.–6.) ja hitaampiin (sijat 7.–12.). Tutkimuksessa kuvattiin kilpailijoiden tasatyöntö-tekniikkaa rastivälillä, jonka kilpailijat hiihtivät kaksi kertaa pitkän matkan kilpailun aikana. Rastiväli sijaitsi kapealla uralla loivassa ylämäessä. Tutkimus ei häirinyt urheilijoiden kilpai-lusuoritusta. Kilpailun kokonaisaika sekä rastiväliaika saatiin järjestäjien ajanottojärjestelmästä sekä urheilijan hiihtämä matka ja rastivälin pituus gps-seurannasta. Kuvatusta videoaineistosta määritettiin alueen nopeus, syklin aikamuuttujat, työnnön pituus sekä valitut nivelkulmat.

Miehet hiihtivät suuremmalla nopeudella (18-24 %,  $p < 0.005$ ) ja pidemmällä syklillä ( $4.45 \pm 0.50$  m vs.  $3.64 \pm 0.23$  m,  $p < 0.005$ ) kuin naiset. Työntövaiheen alussa miehillä oli pienemmät lonkka- ja polvikulmat kuin naisilla. Nopeampien ja hitaampien miesten välillä ei ollut eroja rastivälinopeudessa. Nopeampien miesten asento työntövaiheen alussa oli vertikaalisempi kuin hitaampien. Naisilla ei tapahtunut eroja tasatyönnön biomekaniikassa kilpailun edetessä. Mie-het hiihtivät rastivälin nopeammin toisella kierroksella kuin ensimmäisellä ( $14.18 \pm 0.86$  km/h vs.  $13.00 \pm 1.01$  km/h,  $p < 0.005$ ). Miehillä työntövaiheen absoluuttinen ja suhteellinen kesto oli lyhyempi toisella kierroksella hiihdettäessä. Työntö- ja palautusvaiheiden kestot olivat yh-teydessä syklin nopeuteen sekä miesten että naisten osalta. Naisilla koko kilpailun suurempi nopeus oli yhteydessä pidempään syklin pituuteen, kun taas miesten puolella suurempi syklin nopeus oli yhteydessä pidempään syklin pituuteen. Miesten puolella suurempi kilpailun nopeus oli yhteydessä lyhyempään työntövaiheen suhteelliseen ja absoluuttiseen keston sekä verti-kaalisempiin sauva-, lonkka- ja keskivartalokulmaan työntövaiheen alussa. Erot eri ryhmien välillä olivat linjassa maastohiihtotutkimuksissa saatujen tulosten kanssa. Miehet eivät käyttä-neet kilpailun aikana positiivista vauhdinjakoa, vaan heidän vauhdinjakonsa oli mahdollisesti negatiivinen (eli loppua kohti kiihtyvä), parabolinen tai vaihteleva.

Asiasanat: hiihtosuunnistus, tasatyöntö, biomekaniikka, kinematiikka

## ABSTRACT

Oikarinen, S. 2024. Biomechanics of double poling in ski orienteering: Differences between sexes and level of performance during long distance competition. Faculty of Sport and Health Science, University of Jyväskylä, Master's thesis, 63 pp., 2 appendices.

The purpose of this study was to investigate biomechanical differences in double poling between sexes and level of performance during a long distance ski orienteering competition. The purpose was also to investigate the differences in double poling biomechanics within long distance competition. Since there are no previous studies on biomechanics of ski orienteering, the results were compared to cross-country skiing studies.

The study took place in Sodankylä (Finland) in December 2019 during long distance WRE-competitions. 5 best women and 12 best men were selected for the study. Men were divided into faster (1<sup>st</sup>-6<sup>th</sup>) and slower (7<sup>th</sup>-12<sup>th</sup>) skiers based on final results. Double poling technique was video recorded during a short leg which each athlete skied during the first and second lap of the long distance competition. The leg was located on a narrow track in moderate uphill (4 °). Video recording did not disturb athletes' performance. The total racing time and time for the leg were obtained from the race organizers and athlete's skied distance and length of the leg were obtained from gps-tracking. Double poling velocity, cycle characteristics, cycle distance and selected joint angles were determined from the 2D video recording.

Men skied with higher cycle velocity (18-24 %,  $p < 0.005$ ) and longer cycle length ( $4.45 \pm 0.50$  m vs.  $3.64 \pm 0.23$  m,  $p < 0.005$ ) than women. Men had smaller hip and knee angle during pole plant than women. There were no differences between faster and slower men in terms of speed for the leg. Faster men had a more vertical body position during pole plant than slower men. Women had no differences in double poling biomechanics between the first and the second lap. Men skied the leg faster during the second lap compared to first lap ( $14.18 \pm 0.86$  km/h vs.  $13.00 \pm 1.01$  km/h,  $p < 0.005$ ). Men had shorter absolute and relative poling times during second lap. Poling and recovery times were connected to cycle velocity for both men and women. Faster competition velocity was connected to longer cycle length for women, but in men longer cycle length was connected to faster cycle velocity. Faster competition velocity was connected to shorter absolute and relative poling time and more vertical pole, hip and trunk angles at pole plant in men. Differences between groups were in line with results from cross-country ski studies. Men didn't use positive pacing strategy, they used negative, parabolic-shaped or variable pacing.

Key words: ski orienteering, double poling, biomechanics, kinematics

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

|       |                                                               |    |
|-------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1     | JOHDANTO.....                                                 | 1  |
| 2     | HIIHTOSUUNNISTUS.....                                         | 3  |
| 2.1   | Henkilökohtaiset kilpailumatkat ja -muodot .....              | 3  |
| 2.2   | Lajin fyysiset vaatimukset .....                              | 5  |
| 2.3   | Lajin taidolliset vaatimukset.....                            | 6  |
| 2.3.1 | Reitinvalinta.....                                            | 6  |
| 2.3.2 | Sujuvuus ja virheettömyys.....                                | 7  |
| 2.3.3 | Vauhdinjako.....                                              | 8  |
| 2.3.4 | Tekniikan valinta .....                                       | 9  |
| 2.4   | Urasto ja eteneminen maastossa .....                          | 10 |
| 2.5   | Hiihtosuunnistajan varusteet.....                             | 12 |
| 3     | TASATYÖNTÖ .....                                              | 15 |
| 3.1   | Lihaskäyttö.....                                              | 15 |
| 3.2   | Voimantuotto .....                                            | 18 |
| 3.3   | Erikoiset tasatyöntötekniikat .....                           | 21 |
| 4     | ERI TEKIJÖIDEN VAIKUTUS TASATYÖNTÖSYKLIN OMINAISUUKSIIN ..... | 24 |
| 4.1   | Hiihtonopeus.....                                             | 24 |
| 4.2   | Alustan kitka ja maaston kaltevuus .....                      | 26 |
| 4.3   | Hiihtäjän taso ja saavuttama maksiminopeus .....              | 27 |
| 4.4   | Sukupuoli.....                                                | 29 |
| 4.5   | Väsymys .....                                                 | 30 |

|     |                                             |    |
|-----|---------------------------------------------|----|
| 4.6 | Sauvojen pituus.....                        | 31 |
| 5   | TASATYÖNNÖN KINEMATIikka .....              | 33 |
| 5.1 | Massakeskipisteen vertikaalinen liike ..... | 33 |
| 5.2 | Sauvojen kinematiikka .....                 | 34 |
| 5.3 | Keskivartalon kulma.....                    | 35 |
| 5.4 | Alavartalon nivelkulmat .....               | 36 |
| 5.5 | Ylävartalon nivelkulmat .....               | 40 |
| 6   | TUTKIMUKSEN TARKOITUS.....                  | 42 |
| 7   | TUTKIMUSMENETELMÄT .....                    | 43 |
| 7.1 | Koehenkilöt .....                           | 43 |
| 7.2 | Tutkimusasetelma.....                       | 43 |
| 7.3 | Aineiston keräys .....                      | 45 |
| 7.4 | Aineiston analysointi .....                 | 46 |
| 7.5 | Tilastolliset menetelmät.....               | 49 |
| 8   | TULOKSET.....                               | 50 |
| 9   | POHDINTA.....                               | 56 |
| 9.1 | Miesten ja naisten väliset erot .....       | 56 |
| 9.2 | Suoritusasteiden väliset erot.....          | 57 |
| 9.3 | Muutokset kilpailun aikana .....            | 58 |
| 9.4 | Nopeuteen yhteydessä olevat tekijät.....    | 58 |
| 9.5 | Vertailu maastohiihtoon .....               | 59 |
| 9.6 | Tutkimuksen rajoitukset .....               | 61 |
| 9.7 | Johtopäätökset .....                        | 63 |
|     | LÄHTEET .....                               | 64 |

## LIITTEET

Liite 1: Naisten pääsarjan (D21E) kilpailukartta.

Liite 2: Miesten pääsarjan (H21E) kilpailukartta.

# 1 JOHDANTO

Hiihtosuunnistus on suunnistuksen laji, jossa kilpailija etenee maastossa rastilta rastille hiihtäen vaihtelevilla latukoneen tai moottorikelkan ajamalla urilla käyttäen valitsemiaan maastohiihdon tekniikoita tai niiden mukaelmia. Yleisin hiihtosuunnistuksessa käytetty tekniikka on tasatyöntö, koska se mahdollistaa nopean ja sujuvan etenemisen myös kapeammilla urilla (Kvåle 2012). Hiihtosuunnistuksessa tasatyöntöä käytetään lähes kaikkialla, missä sivulle suuntautuva potku ei ole mahdollinen uran kapeuden vuoksi, niin tasaisella kuin jyrkissä ylämäissäkin. Hiihtosuunnistuksen ja maastohiihdon tasatyöntötekniikoiden välillä on oletettavasti eroja, sillä hiihtosuunnistuksessa alusta on pehmeämpi, latu-uraa ei ole, potkut sivulle ovat sallittuja, urat ovat mutkaisia ja möykkyisiä sekä käytössä ovat yleensä vapaan hiihtotyylin välineet.

Hiihtosuunnistuksesta ei ole saatavilla julkaistua tieteellistä tutkimusta biomekaniikan puolelta. Ståhl ym. julkaisivat keväällä 2024 ensimmäisen hiihtosuunnistusta käsittelevän tieteellisen artikkelin, joka perustuu saatavilla olevaan tietoon sekä urheilijoiden haastatteluihin. Maastohiihdon puolella on tehty paljon tutkimusta niin biomekaniikan kuin muidenkin osa-alueiden osalta. Kiinnostus tasatyöntöä kohtaan on lisääntynyt viime aikoina tasatyönnön käytön lisääntyessä maastohiihdon perinteisen tyylin kilpailuissa (Welde ym. 2017). Tasatyöntöä on alettu käyttää enemmän ja siitä on tullut tehokkaampaa ylävartalon parantuneiden voimatasojen, paremman tekniikan, erikoistuneemman harjoittelun sekä sauvojen parantuneiden ominaisuuksien myötä (Welde ym. 2017). Tänä päivänä jopa maastohiihdon normaalimatkan perinteisen tyylin kilpailu on mahdollista voittaa hiihtämällä ilman pitovoiteita käyttäen ainoastaan tasatyöntötekniikkaa ja Kansainvälinen hiihtoliitto onkin asetanut rajoituksia perinteisen tyylin hiihtokilpailuihin mm. sauvojen pituuden sekä eri osuuksilla sallittujen käytettävien hiihtotekniikoiden suhteen (International Ski and Snowboard Federation, FIS 2023), jotta perinteisen tyylin asema maastohiihdossa säilyisi eikä tasatyöntö korvaisi sitä. Aikaisemmin tasatyöntöä käytettiin maastohiihdossa lähinnä tasaisissa maastonkohdissa, mutta nykyään erikoistuneemman harjoittelun myötä on mahdollista olla tasatyöntämällä jopa ylämäkiosuuksilla nopeimpien joukossa. (Welde ym. 2017.)

Hiihtosuunnistuksessa hiihtotekniikkaa ja biomekaniikkaa tarkastellaan yleensä maastohiihdon tekniikoiden näkökulmasta (Sipilä 2014). Hiihtosuunnistuksessa korostuu maastohiihtoon verrattuna eri hiihtotekniikoiden vaihtelu uran ominaisuuksien mukaan sekä valitun tekniikan muuttaminen esimerkiksi uran leveyteen ja pehmeeseen (Ståhl ym. 2024). Esimerkiksi pehmeämmällä urilla tasatyönnettäessä hiihtosuunnistajan kannattaa suosia pienempää voimantuottoa ja suurempaa frekvenssiä, jotta sauvat eivät uppoa lumen läpi (Ståhl ym. 2024). Hiihtosuunnistuksessa lopputulosta ei ratkaise kovin hiihtovauhti, joten kilpailun voittaja ei välttämättä ole hiihtänyt maastossa kovinta vauhtia eikä nopein hiihtäjä välttämättä voita kilpailua. Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena on tarkastella hiihtosuunnistuskilpailun aikaista tasatyön biomekaniikkaa.



## 2 HIIHTOSUUNNISTUS

Hiihtosuunnistus on kestävyyslaji, jossa yhdistyvät maastohiihto ja suunnistus. Urheilijan tulee karttaa ja kompassia apuna käyttäen suunnistaa maastoon luodussa tiheässä uraverkostossa ja käydä kartan osoittamilla rasteilla oikeassa järjestyksessä. Uraverkosto muodostuu eri levyisistä ja tasoisista hiihtourista. Urheilija valitsee kullekin rastivälille parhaan reitin perustuen kartan antamaan tietoon urien laadusta, korkeuseroista sekä matkasta. Hiihtosuunnistuksessa nopein hyväksytty suoritus voittaa. Tiedot rasteilla käynnistä rekisteröidään urheilijan mukanaan kantamalla elektronisella kilpailukortilla. (IOF 2022.)

Hiihtosuunnistus haastaa urheilijan mentaalisesti ja fyysisesti. Lajissa yhdistyvät kestävyys, voima, tekniset taidot sekä kyky valita parhaat reitit. Kilpailut suunnitellaan testaamaan urheilijan fyysisiä ominaisuuksia sekä suunnistustaitoja, kuitenkin niin että suunnistustaito on ratkaisevassa roolissa. Maastohiihdon vaatiman fyysisen kapasiteetin lisäksi hiihtosuunnistus vaatii ja kehittää matemaattista ja avaruudellista hahmotuskykyä, lyhytkestoista muistia ja muita mentaalisia ominaisuuksia. Maastohiihtäjiin verrattuna hiihtosuunnistajat ovat nopeampia teknisesti haastavilla kapeilla ja pehmeillä urilla. Hiihtosuunnistuksessa urheilijan tulee kyetä lukemaan karttaa ja tekemään satoja reitinvalintoja radan aikana hiihtäen samalla täydellä vauhdilla. (IOF 2022.) Hiihtosuunnistuksessa vaadittavia taitoja ovat tarkka kartanluku, reitinvalintojen arviointi, keskittyminen stressin alla, nopea päätöksenteko, hiihto erilaisilla urilla yms. (IOF 2021).

Hiihtosuunnistuksessa luonto toimii tapahtumapaikkana, eikä rakennettua ympäristöä välttämättä tarvita. Hiihtosuunnistuskilpailut voidaan järjestää myös olemassa olevalta hiihtostadionilta käsin hyödyntäen pysyvää maastohiihdon tai ampumahiihdon latuverkostoa ja täydentäen sitä hiihtosuunnistusta varten maastoon ajetuilla kapeammilla urilla. (IOF 2022.)

### 2.1 Henkilökohtaiset kilpailumatkat ja -muodot

Hiihtosuunnistuksessa kilpaillaan henkilökohtaisissa kilpailuissa erikoispitkällä matkalla, pitkällä matkalla, keskimatkalla sekä sprintissä. Lähtö voi tapahtua väliaikalähtönä, yhteislähtönä

tai takaa-ajona. Väliaikalähdöissä kilpailijat lähtevät maastoon 1—2 minuutin välein kilpailumatkasta riippuen. Yhteislähdössä kaikki kilpailijat lähtevät yhtä aikaa. Takaa-ajolähdöissä lähtövälit perustuvat edellisen kilpailun tuloksiin. Väliaikalähdössä kilpailija suunnistaa ja hiihtää maastossa itsenäisesti. Yhteislähdöissä ja takaa-ajoissa kilpailijat usein hiihtävät lähellä toisiinsa, mutta kilpailumuoto vaatii silti itsenäistä suunnistamista. (IOF 2021.)

Hiihtosuunnistuksen MM-kilpailut (World Ski Orienteering Championships, WSOC) järjestetään joka toinen vuosi, ja niiden ohjelmaan kuuluvat nykyisin sprintti väliaikalähtönä, takaa-ajo, keskimatka väliaikalähtönä sekä sprinttiviesti. Takaa-ajon lähtövälit määräytyvät sprintin tulosten perusteella ja matka vastaa tunnuspiirteiltään keskimatkan yhteislähtöä. Hiihtosuunnistuksessa kilpaillaan myös maailmancupissa. Lisäksi järjestetään kansainvälisiä WRE-kilpailuja (World Ranking Event), jotka ovat Kansainvälisen suunnistusliiton (International Orienteering Federation, IOF) kilpailukalenteriin hyväksytyt kilpailuja. Niissä jaetaan WRE-pisteitä, joiden perusteella muodostetaan kansainvälinen ranking. (IOF 2021.)

Hiihtosuunnistuksessa rata suunnitellaan niin, että se testaa kilpailijan suunnistustaitoja, keskittymistä sekä hiihtoa. Jokainen kilpailumatka vaatii erilaisia suunnistustekniikoita. Ennen lähtöä urheilija tietää radasta ainoastaan radan pituuden suoraan rastiväliviivaa pitkin mitattuna (kiertäen ainoastaan pakolliset esteet, kuten korkeat aidat), pituuden lyhintä mahdollista reittiä pitkin sekä nousumetreit lyhintä reittiä pitkin. Rata paljastuu urheilijoille vasta lähtöhetkellä. Hiihtosuunnistuksessa radat suunnitellaan niin, että arvioitu voittoaika asettuu lajisääntöjen määrittämiin kunkin kilpailumatkan tavoiteaikoihin. (IOF 2021.)

Erikoispitkällä matkalla tavoiteaika miehille ja naisille on 135–155 min. Suositeltavaa on järjestää kilpailu yhteislähdöllä ja useampaa lenkkiä hyödyntäen, niin että lenkit sisältävät hajontarasteja. Erikoispitkällä matkalla korostuvat reitinvalinta, fyysinen kestävyys, sekä kyky rytmittää suoritus mahdollisimman taloudellisesti niin että voimia säilyy maaliin asti. Uraverkosto on väljempi ja rata sisältää myös erittäin pitkiä (5–6 km) rastivälejä. (IOF 2021.)

Pitkällä matkalla tavoiteaika miehillä ja naisilla on 85–95 min. Lähtö tapahtuu väliaikalähtönä 2 min lähtöväleillä tai yhteislähtönä. Yhteislähtönä toteutetun pitkän matkan kilpailun tulee

sisältää hajontaa ja useampia lenkkejä. Pitkällä matkalla korostuvat reitinvalintojen tekeminen, suunnistuksen rytmitys nopeaa hiihtoa sisältävillä reitinvalintaväleillä ja tarkkaa kartanlukua vaativilla tiheillä urastoilla, sekä fyysistä kestävyyttä ja kykyä hiihtää kovaa hiihtosuunnistusurilla. Rata sisältää pitkiä reitinvalintarastivälejä (3–4 km) sekä enemmän kartanlukua vaativia lyhyempiä rastivälejä (200–400 m) tiheässä uraverkostossa. (IOF 2021.)

Keskimatalla tavoiteaika väliaikalähdössä on miehille ja naisilla 40–45 min ja yhteislähdössä 50–60 min. Väliaikalähtö tapahtuu 2 min lähtövälillä ilman hajontaa. Yhteislähdössä rata koostuu useammasta lenkistä ja sisältää hajontarasteja. Keskimatalla korostuu tarkka kartanluku, tarkka ja sujuva suunnistus tiheällä uraverkostolla, kyky hiihtää kovaa hiihtosuunnistusurilla sekä fyysinen kestävyys. Rata koostuu lyhyistä rastiväleistä (alle 1 km, keskimäärin 350–400 m) erittäin tiheällä uraverkostolla. (IOF 2021.)

Sprintissä tavoiteaika on 10–15 min miehille ja naisille. Lähtö tapahtuu väliaikalähtönä 1 min lähtövälillä. Sprintissä korostuu tarkka kartanluku, tarkka ja sujuva suunnistus tiheällä uraverkostolla, kyky hiihtää kovaa hiihtosuunnistusurilla sekä fyysinen kestävyys. Rata sisältää keskimatkan tavoin lyhyitä (alle 1 km, keskimäärin 350–400 m) rastivälejä erittäin tiheällä uraverkostolla. Sprintti on tunnuspiirteiltään kuin hieman lyhyempi keskimatka. (IOF 2021.)

## **2.2 Lajin fyysiset vaatimukset**

Hiihtosuunnistus on kestävyyslaji, jonka fyysiset vaatimukset ovat lähellä maastohiihdon fyysisiä vaatimuksia. Kilpailusuorituksen aikana syke on anaerobisella kynnyksellä, jolloin tarvitaan hyvää vauhtikestävyyttä. Kuitenkin koska kyseessä on kestävyyslaji, on peruskestävyys kaiken perusta. Kestävyuden lisäksi hiihtosuunnistaja tarvitsee voimaa ja lihaskestävyyttä. Kapeilla urilla eteneminen vaatii urheilijalta erityisesti vahvaa ja kestävää ylävartaloa, sillä kilpailussa voidaan edetä jopa koko 150 minuuttia kestäväen kilpailun ajan tasatyöntäen kapeilla urilla. Tällöin tasatyönnöllä on selvittävä jyrkistäkin ylämäistä. (Sipilä 2014.)

Kestävyuden ja voiman lisäksi hiihtosuunnistaja tarvitsee ketteryyttä ja kimmoisuutta hallitakseen välineensä kapeilla urilla kovassa vauhdissa ja vaihtelevissa olosuhteissa. Tärkeää on

myös eri tekniikoiden ja hiihtonopeuksien sujuva vaihtelu radan eri kohdissa. (Sipilä 2014.) Hiihtosuunnistajan tulee hallita kaikki vapaan hiihtotavan tekniikat sekä muutamia erityisesti hiihtosuunnistuksessa käytettyjä erityistekniikoita. Tällaisia erityistekniikoista ovat mm. askellustekniikka, jota käytetään kaltevilla urilla ja polkemistekniikka, jota käytetään pyöreillä urilla. Askellustekniikassa urheilija toisella suksella askelletaan eteenpäin ja toisella liu'utaan kaltevuuden suuntaan, kun taas polkemistekniikassa painopiste pidetään uran keskellä korkeimmalla kohdalla ja molemmilla suksilla poljetaan sivuille. (Juutilainen 1991.)

## **2.3 Lajin taidolliset vaatimukset**

Hiihtosuunnistuksessa tarvitaan kovan hiihtäjän fyysisen kunnon lisäksi huippusuunnistajan suunnistustaitoa (Sipilä 2014). Oikeiden reitinvalintojen tekemisellä, sujuvalla virheettömällä etenemisellä, itselle parhaan tekniikan valitsemisella ja erityisesti pidemmällä matkoilla vauhdinjoolla on suuri merkitys lopputuloksen kannalta.

### **2.3.1 Reitinvalinta**

Urheilija valitsee itselleen parhaan reitin sen pituuden, uran leveyden, hiihdettävyyden, maastonmuotojen sekä sujuvuuden perusteella. Urheilija myös miettii, onko jossain kohti mahdollisesti tehty tai mahdollisuus tehdä oiko. Oikomisen tarjoamat mahdollisuudet riippuvat maaston muodoista, maastopohjasta, lumen määrästä, oion pituudesta sekä siitä onko oiko jo tehty vai joutuuko urheilija itse tekemään sen. (Kvåle 2012.)

Hiihtosuunnistuksessa etenemisnopeus riippuu paljon uran laadusta sekä maaston muodoista. Ylämäessä leveä ura on selvästi nopeampi kuin kapea ura, kun taas tasaisella hiihdettäessä leveän ja kapean uran välinen ero hiihtovauhdissa on selvästi pienempi. Alamäissä erilaisten urien välillä ei ole suurta eroa, ellei kapea ura ole erityisen tekninen. Vaihtelevien etenemisnopeuksien vuoksi pitkään kierto leveää uraa pitkin voi olla nopeampi kuin lyhyempi reitti kapealla uralla ylämäkeen. Tasaisella edetessä lyhin reitinvalinta on usein nopein, mutta tällöinkin pidempi reitinvalinta leveämmällä uralla voi olla nopeampi, jos siellä eteneminen on sujuvampaa ja urheilija voi tarkan kartanluvun sijasta keskittyä kovaan hiihtovauhtiin. Leveällä uralla

eteneminen säästää myös urheilijan ylävartalon voimia, koska suurempi osa eteenpäin vievästä voimasta voidaan tuottaa alaraajoilla. (Kvåle 2012.)

Sujuvan suunnistuksen takaamiseksi urheilijalla tulisi olla tehtynä seuraavan rastivälin reitinvalinta ennen rastille saapumista. Tämä mahdollistaa rastilla leimaamisen vauhtia hidastamatta ja sujuvan etenemisen kohti seuraavaa rastia. Usein eri reitinvalintojen välillä ei ole suuria eroja, jolloin korostuvat nopea reitinvalinnan tekeminen ja sujuva toteuttaminen. Reitinvalinnan toteuttamiseksi urheilijan tulisi hyödyntää urien lisäksi kartan antamaa informaatiota mm. maaston muodoista, peitteisyydestä sekä ihmisen rakentamista kohteista. Näiden avulla suunnistusta voidaan yksinkertaistaa sekä varmistaa. Urheilijan tulisi koko suorituksen ajan ennakoita ja tietää minne hän on menossa. (Kvåle 2012.)

### **2.3.2 Sujuvuus ja virheettömyys**

Hiihtosuunnistukseen kuuluvien suunnistustaidollisten vaatimusten vuoksi kovin hiihtäjä ei välttämättä ole paras hiihtosuunnistaja. Kilpailuissa pärjää usein fysiikaltaan tasaisista urheilijoista se, jonka suunnistus ja maastossa eteneminen on varmaa eikä hän tee isoja virheitä. Pienetkin virheet voivat pudottaa kovaa hiihtävän urheilijan pois palkintopallilta.

Lyhyillä matkoilla menestyäkseen on tärkeää tehdä päätökset nopeasti ja vauhdin hidastumatta. Pitkillä matkoilla puolestaan korostuu oikeiden reitinvalintojen löytämisen tärkeys, sillä eri vaihtoehtojen väliset erot voivat olla suuria. Pitkällä matkalla tulee myös kyetä rytmittämään kartanlukua ja hiihtovauhtia, sillä välillä tulee karttaa lukea tarkasti tiheällä urastolla ja välillä hiihtää vauhdikkaasti leveällä uralla. Keskimatkan kilpailussa on ominaisuuksia lyhyiltä ja pitkiltä matkoilta. (Kvåle 2012.)

Virheitä tulee, kun kilpailija kuluttaa maastossa ylimääräistä aikaa. Ylimääräistä aikaa voi kuluu monista eri syistä: huono reitinvalinta, kartan lukeminen väärin, maaston lukeminen väärin, risteyksen ohi hiihtäminen, kaatuminen, oman keskittymisen häiriintyminen muista kilpailijoista, liian kova hiihtovauhti ja sen myötä suunnistuksen heikkeneminen, huono keskittyminen yms. Pienetkin virheet voivat olla ratkaisevassa roolissa tiukoissa kilpailuissa. Urheilija saattaa

pyrkii paikkaamaan tekemänsä virhettä vauhtia lisäämällä, mutta tästä voi usein seurata lisää virheitä.

### 2.3.3 Vauhdinjako

Vauhdinjaolla on merkittävä vaikutus urheilijan kokonaissuoritukseen (Abbis & Laursen 2008). Kokeneet urheilijat kontrolloivat omaa vauhtiaan ja kuormitustasoaan saavuttaakseen parhaan mahdollisen lopputuloksen. Vauhdinjako voi olla negatiivinen, ”all-out”, positiivinen, tasainen, parabolinen tai vaihteleva. ”All-out”-strategia on erityisen hyödyllinen alle 30 sekunnin suorituksissa. Yli 2 minuutin kestoissa suorituksissa suoritus aika voi parantua, jos urheilija jakaa vauhdin tasaisemmin. Negatiivisessa vauhdinjaossa urheilijan vauhti kiihtyy kilpailun edetessä, kun taas positiivisessa vauhdinjaossa vauhti hidastuu huippuvauhdin saavuttamisen jälkeen. Tasaisessa vauhdinjaossa vauhti pysyy tasaisena koko suorituksen ajan. Parabolisessa vauhdinjaossa vauhti on suurimmillaan kilpailun alussa ja lopussa ja hitaampaa kilpailun keskivaiheilla. Parabolinen vauhdinjakon kuvaaja voi olla U:n, J:n tai käänteisen J:n muotoinen. Vaihtelevassa vauhdinjaossa kuormitus ja teho vaihtelee suorituksen aikana johtuen yleensä vaihtelevista ulkoisista tekijöistä. (Abbis & Laursen 2008.)

Maastohiihdon puolella Welden ym. (2017) tutkiessa miesten 15 kilometrin perinteisen hiihtotavan väliaikakilpailua, havaittiin kaikkien tutkittavien ryhmien hiihtävän viimeisellä 5 km kierroksella hitaampaa tasaisella ja loivassa ylämäessä kuin ensimmäisellä 5 km kierroksella eli käyttävän positiivista strategiaa vauhdinjaossa. Ylämäessä osa hiihtäjistä hiihti viimeisellä kierroksella kovempaa kuin ensimmäisellä (Welde ym. 2017). Bilodeau ym. (1996) tutkivat mieshiihtäjien vauhdinjakoja Kanadan mestaruuskilpailuissa 30 km vapaan hiihtotyylin kilpailussa sekä 50 km perinteisen hiihtotavan kilpailussa ja havaitsivat vapaan hiihtotyylin kilpailussa urheilijoiden käyttäneen positiivista vauhdinjakoja ja hiihtäneen ensimmäisen 15 km kierroksen 9 % nopeampaa kuin toisen kierroksen. Perinteisen tyylin kilpailussa ensimmäisen puolikkaan keskinopeus oli 3.5 % suurempi kuin toisen puolikkaan (Bilodeau ym. 1996). Positiivinen vauhdinjako havaittiin myös Bolgerin ym. (2015) tutkimuksessa, jossa naiset hiihtivät 10 km ja miehet 15 km perinteisen ja vapaan tyylin kilpailut 5 km kierroksella.

Welde ym. (2017) arvelivat, että vauhdin hidastuminen viimeiselle kierrokselle voi johtua suksien heikentyneistä luisto-ominaisuuksista, jotka ilmenevät vahvemmin tasaisella ja loivassa hiihde- ja jyrkässä ylämäessä. Urheilijat voivat käyttää myös erilaista vauhdinjakoa erilaisissa maastoissa ja osa urheilijoista voi rajoittaa vauhtiaan ylämäessä säästääkseen voimia tasaisemmille osuuksille. Suksen heikentyneen luiston lisäksi vauhdinjakoon voi vaikuttaa esimerkiksi suksen ”imu”, väsymys, rataprofiili, sää- ja lumiolosuhteet sekä voitelu. Hiihtokilpailun aikana alustan kitka voi muuttua huomattavasti lämpötilanmuutosten, auringonpaisteen, suksien likaantumisen (esim. liisteriä kerääntyy pohjaan) sekä ladun kulumisen ja tiivistymisen vuoksi. Näin ollen saman hiihtovauhdin ylläpitämiseksi voidaan kilpailun loppuvaiheessa tarvita merkittävästi enemmän mekaanista työtä kuin aikaisemmin. Voi myös olla, että urheilijat käyttivät ”sisäistä” vauhdinjakoa suorituksen aikana eli pyrkivät hiihtämään koko kilpailun ajan samalla kuormitustasolla. (Welde ym. 2017.) Bilodeau ym. (1996) olivat samoilla linjoilla, sillä he arvelivat nopeuden hidastumisen kilpailujen toiselle puolikkaalle johtuvan väsymyksestä, voiteiden kulumisesta sekä lumenkosteuden lisääntymisestä auringonpaisteen myötä. Bolgerin ym. (2015) tutkimuksessa puolestaan arveltiin mitattujen alamäkinopeuksien perusteella suksien luisto-ominaisuuksien pysyneen samana kilpailujen ajan.

#### **2.3.4 Tekniikan valinta**

Hiihtosuunnistajan tulee hallita kaikki vapaan hiihtotavan tekniikat, tasatyöntö sekä muutamia lajinomaisia erityistekniikoita, jotka mahdollistavat etenemisen kapeilla ja mutkaisilla urilla. Tasatyönnöllä on erityisen tärkeä rooli hiihtosuunnistuksessa, sillä kapeilla urilla ei usein ole muuta mahdollisuutta kuin edetä tasatyönnöin. Haasteellisinta tasatyönnöin eteneminen on erityäin jyrkissä mäissä, jolloin vaihtoehtona on ottaa sukset pois jaloista ja juosta mäen päälle. Kapeat urat vaativat urheilijalta vahvaa ja kestävä ylävartaloa, sillä lähes koko kilpailu voi olla tasatyönnöin etenemistä kapeilla urilla. (Sipilä 2014.)

Hiihtosuunnistuksessa käytetään erilaisissa maastonkohdissa hieman erilaista tasatyöntötekniikkaa. Tasaisella ja loivissa ylä- ja alamäissä tasatyöntö muistuttaa hyvin paljon maastohiihdon tasatyöntöä. Mutkittelevilla urilla työntö on tavallista lyhyempi ja frekvenssi suuri. Jyrkissä

ylämässä puolestaan edetään lyhyillä työnöillä ylävartalon ja käsien ollessa tiukassa paketissa vipuvarsien lyhentämiseksi. (Juutilainen 1991.)

Hiihtosuunnistuksessa tasatyöntötekniikkaa voidaan myös varioida jalkojen roolia muuttamalla. Sivulle suuntautuvaa luistelupotkua on käytetty hiihtosuunnistuksessa tasatyönön vauhtia kiihdyttämään jo pitovoiteiden aikana (Juutilainen 1991). Luistelupotkua käytetään kapeilla urilla usein, kun toispuoleiselle potkulle on tilaa. Sivulle suuntautuvan potkun lisäksi tasatyönön aikana toinen jalka voidaan viedä selvästi kehon painopisteen etupuolelle. Lisäksi usein hiihtosuunnistaja tekee tasatyönön päätteeksi toisella jalalla potkun kaltaisen liikkeen taaksepäin. Nykyhiihdosta tuttua tasatyönön pumpputekniikkaa, jossa jalat tekevät pumppavaa liikettä nopeasti ylävartalon ja käsien liikeradan jäädessä pieneksi, käytetään hiihtosuunnistuksessa paljon erityisesti ylämässä (Sipilä 2014).



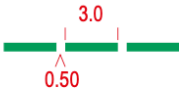

Tekniikka, jota urheilijan kannattaisi kapealla uralla suosia, riippuu siitä kuinka leveä ja kova ura on, onko se ylämäkeä, tasaista vai alamäkeä sekä urheilijan voimasta, tekniikasta ja hiihtoketteryydestä. Normaalisti mitä enemmän urheilija saa tuotettua eteenpäin vievää voimaa jaloilla, sitä enemmän urheilija säästää voimaa käsistä. Hiihdettäessä kapealla uralla tasaisella, on mahdollista saada tuotettua paljon eteenpäin vievää voimaa yksipotkuisella luistelulla, kun taas jyrkässä ylämässä suurimman osan tehosta on tultava ylävartalosta. Suurilla nopeuksilla hiihdettäessä jaloilla on haastavaa tuottaa eteenpäin vievää voimaa, koska sukki voi helposti tarttua irtolumeen kapean uran reunassa ja horjuttaa urheilijan tasapainoa. (Kvåle 2012.)

## **2.4 Urasto ja eteneminen maastossa**

Hiihtosuunnistuksen alkuaikoina 1900-luvun alussa hiihtosuunnistajat hiihtivät pääosin teitä ja umpihankea pitkin. Vuoden 1970 aikoihin moottorikelkat tulivat markkinoille ja mullistivat hiihtosuunnistusurien tekemisen. Moottorikelkoilla ajettujen urien yleistymisen myötä tuli tarve luoda ohjeistus koskien erilaisten urien laatua sekä tarkentaa urien luokitusta ja kuvausta. (Juutilainen, 1991.)



Hiihtosuunnistusuria on neljän laisia (kuva 1); erittäin leveä ura, leveä ura, tavallinen ura sekä hidas ura. Erittäin leveä ura on yli 3.0 m leveä ja ne ovat leveitä maastohiihdon latuja, jotka on tehty latukoneella. Ne merkitään kartalle paksulla yhtenäisellä vihreällä viivalla. Leveä ura on 1.5–3.0 m leveä ja niillä on mahdollista hiihtää luistelutyylillä. Ne on tehty yleensä moottorikelkalla tai kapeammalla latukoneella ja ne merkitään kartalla kapeammalla yhtenäisellä vihreällä viivalla. Tavalliset urat ovat 0.8–1.2 m leveitä moottorikelkalla ajettuja uria, joilla etenemistyylinä on pääasiassa tasatyöntö. Tavalliset urat merkitään kartalle vihreällä katkoviivalla. Hidas ura on 0.8–1.0 m leveä, epätasainen ja nimensä mukaan hidas kasvuston, maaston muotojen tai vähäisen lumimäärän myötä. Se merkitään kartalle vihreällä pisteiviivalla. (IOF 2019.) Hiihtosuunnistaja saa kilpailun aikana hiihtää myös hiihtosuunnistusurien ulkopuolella, esimerkiksi tiellä tai umpihangessa, jos kyseisiä reittejä tai alueita ei ole erikseen merkitty kielletyiksi.

|                                                                                     |        |                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 0.85   | <b>801 Very wide track &gt; 3.0 m (L)</b> | Very fast, wide ski tracks in ski centres, made with a ski trail groomer or a track leveller.<br>Colour: Green for SkiO                                                                                                                                                                                                                          |
|  | 0.60   | <b>802 Wide track 1.5 - 3.0 m (L)</b>     | A fast, skateable track made by a snow mobile, width usually 1.5 - 3.0 m. Skateable tracks rougher and softer than the wide skateable tracks in the area.<br>Colour: Green for SkiO                                                                                                                                                              |
|  | 0.50   | <b>803 Track 0.8 - 1.2 m (L)</b>          | A good track made by a snow mobile, usually 0.8 - 1.2 m wide. In steep slopes, tracks may be made wider to reduce widening during competition.<br>Colour: Green for SkiO                                                                                                                                                                         |
|  | ø 0.70 | <b>804 Track, slow 0.8 - 1.0 m (L)</b>    | A rough, slow track with little snow or some brushwood. This symbol is not used in steep slopes, if the width of the track allows using herringbone steps for uphill, or snow plowing technique for slowing and stopping.<br>In order to clarify a junction, the beginning of a slow track is drawn with a short line.<br>Colour: Green for SkiO |

KUVA 1. Erilaisten hiihtosuunnistusurien karttamerkit sekä määritelmät. ”Very wide track” = erittäin leveä ura, ”wide track” = leveä ura, ”track” = tavallinen ura ja ”track, slow” = hidas ura. (IOF 2019.)

Eri laatuisten urien myötä hiihtosuunnistuksen tekniset vaatimukset ovat erilaiset kuin maastohiihdossa. Leveillä urilla hiihdettäessä luistelutyylin tekniikat ovat samat kuin maastohiihdossa. Suurin osa hiihtosuunnistussuorituksesta tapahtuu kuitenkin tavallisilla kapeilla urilla, jotka ovat vain 0.8–1.2 m leveitä. Kilpailun kuluessa nämä urat voivat hieman leventyä, koska useat urheilijat ovat paikoitellen hiihtäneet niitä pitkin niin, että suksen kärjet käyvät irtolumessa uran ulkopuolella. Kapeilla urilla ei ole mahdollista käyttää luisteluhihdon tekniikoita, koska tilaa kunnolliselle potkulle ei ole. Tämän vuoksi urheilijat käyttävät usein tasatyöntöä tai yksipotkuista luistelua näillä urilla. Jotkut urheilijat pystyvät myös käyttämään kapeaa kahden potkun luistelutekniikkaa kapeilla urilla, erityisesti jos ura on hieman leveämpi tai leventynyt. Jyrkimmissä ylämäissä, kun vauhti on todella hidas eikä tasatyönöllä pääse etenemään, urheilijat voivat käyttää vuoroluistelua (eli ”ankkaa”) päästäkseen ylös. Tällöin urheilija laittaa suksiensa kärjet uran ulkopuolelle irtolumeen ja jos ylämäki on erityisen jyrkkä, voi urheilija myös ottaa sukset pois jalastaan ja juosta mäen ylös. Sukset on mahdollista myös ottaa pois alamäessä, tai missä tahansa muussa maastonkohdassa, jos ura tai umpihankeen tehty oiko on liian jyrkkä tai haastava hiihdettäväksi. (Kvåle 2012.)

## **2.5 Hiihtosuunnistajan varusteet**

Hiihtosuunnistuksessa rata on suoritettava pääosin suksilla. Osan radasta voi suorittaa jalkaisin, jolloin kilpailijan täytyy kantaa varusteita (oikean kokoiset sauvat, sukset ja monot) mukanaan. Rikkoutuneen välineen kilpailija voi kuitenkin vaihtaa maastossa tai jättää maastoon. (IOF 2021.) Aikaisemmin hiihtosuunnistuksessa on käytetty perinteisen välineitä, mutta maastohiihdon luistelutyylin yleistyttyä 1980-luvulla myös hiihtosuunnistuksessa siirryttiin käyttämään luisteluhiihtoa ja luistelutyylin välineitä (Juutilainen, 1991).

Urheilijat käyttävät hiihtosuunnistuksessa pääasiassa tavallisia maastohiihdon luistelutyylin suksia, sauvoja ja monoja muutamien mahdollisten poikkeuksien. Maastohiihdosta poiketen hiihtosuunnistaja hiihtää suurimman osan kilpailustaan yleensä kapeilla ja pehmeillä hiihtosuunnistusurilla. Nykypäivänä hiihtosuunnistajat käyttävät kuitenkin lähes samaa suksipituutta kuin tavallisissa luistelusuksissa tai muutaman sentin lyhyempää. Aikaisemmin valmistettiin aikuisille sopivia lyhyempiä suksia, ajatuksella että ne mahdollistaisivat paremmin luisteluhihdon

kapeilla urilla, mutta ne hävisivät usein luisto-ominaisuuksissa tavallisille luistelusuksille. Pidempi suksi luistaa yleensä lyhyempää paremmin suuremman liukupinta-alan ja sitä myötä pienemmän kitkan myötä, mutta jos pidemmät sukset haukkaavat enemmän lumeen, menetetään paremman luiston tuoma etu. (Kvåle 2012.)

Suurin ero maastohiihtäjien ja hiihtosuunnistajien varusteiden välillä on hiihtosuunnistajien käyttämä rintakehän ympärille kiinnitettävä karttateline, joka mahdollistaa yhtäaikaisen kartanluvun ja hiihtämisen. Karttatelineen voi säätää jokaiselle sopivaksi ja säädöillä voidaan vaikuttaa mm. telineen tiukkuuteen ylävartalon ympärillä sekä kartan etäisyyteen kasvoista. Jokaisella urheilijalla on omat henkilökohtaiset mieltymyksensä, mutta tärkeintä on, että teline on kiristetty niin tiukalle, ettei tuuli pääse liikuttamaan sitä pois paikaltaan. Karttaa pidetään niin lähellä kasvoja, että sitä pystytään vielä lukemaan selvästi, kuitenkin niin, ettei se häiritse maaston havainnointia. Jotkut urheilijoista kokevat, että pitkien rastivälien reitinvalintoja on hankala lukea, jos kartta on liian lähellä kasvoja, mutta tiheiden uraverkostojen lukeminen on usein helppoa, jos kartta on lähellä kasvoja. (Kvåle 2012.)

Hiihtosuunnistuksessa ylävartalolla on suurempi rooli kuin maastohiihdossa, erityisesti ylämäissä, koska urien kapeus rajoittaa mahdollisuuksia tuottaa eteenpäin vievää voimaa jaloilla. Ylävartalon suuremman roolin myötä on tärkeää, että sauvat ovat sopivan mittaiset suhteutettuna omaan kokoon, ylävartalon voimatasoihin sekä persoonalliseen tekniikkaan. Tämän vuoksi sauvojen pituus urheilijoiden välillä vaihtelee paljon. Suurelle osalla urheilijoista on liian haastavaa hiihtää jyrkimpiä ylämäkiä tavallisten luistelusauvojen pituisilla sauvoilla. Urheilijoilla voi olla eri pituisia sauvoja erilaisiin maastoihin. (Kvåle 2012.)

Ylävartalon suurempi rooli lisää vaatimuksia myös sauvojen ominaisuuksille. Voimaa tuotetaan paljon sauvoilla, joten on tärkeää, etteivät sauvat taivu jyrkissäkään ylämäissä ja täten menetä voimaa alustaan. Sauvojen tulee olla siis jäykät ja voimantuoton lisäksi niiden tulee kestää mahdollisia kolhuja puihin hiihdettäessä vauhdikkailla ja mutkittelevilla urilla metsässä. Suurin ero hiihtosuunnistajan ja maastohiihtäjän sauvojen välillä on sompien koko. Hiihtosuunnistusurat ovat usein pehmeitä, jonka vuoksi on tärkeää, että sommat ovat tarpeeksi isot kyetäkseen tuottamaan eteenpäin liikuttavaa voimaa eivätkä ne uppoa lumeen. Isommat sommat

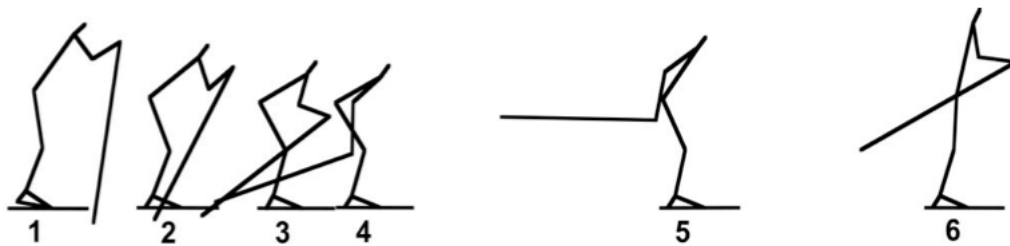
ovat pieniä painavimmat ja vaikuttavat näin ollen sauvan heilahdukseen palautusvaiheen aikana. Isompi sompa hidastaa sauvan heilauttamista eteenpäin, mutta se on pieni hinta eteenpäin vievän voiman tuottamiseksi. (Kvåle 2012.)

Hiihtosuunnistuskilpailujen ajanotto tapahtuu ranteeseen, käteen, sormeen tai sauvan kahvaan kiinnitettävällä leimausjärjestelmän elektronisella kilpailukortilla. Leimausjärjestelmiä on olemassa kahdenlaisia; toisessa urheilijan on fyysisesti kosketettava rastilla olevaa leimausyksikköä ja toisessa leimaaminen rastilla tapahtuu kosketusvapaasti. Kosketusvapaa leimaus mahdollistaa urheilijoiden sujuvamman ja vauhdikkaamman etenemisen maastossa sekä korostaa ennakkoinnin ja reitinvalinnan tärkeyttä. (Kvåle 2012.) Tänä päivänä lähes kaikissa kilpailuissa on käytössä kosketusvapaa leimaus.

Hiihtosuunnistaja suunnistaa maastossa kartan avulla. Urheilija saa kartan lähtöhetkellä tai 15 s ennen lähtöä. Hiihtosuunnistuskartta poikkeaa tavallisesta kesäsuunnistuskartasta, sillä siihen on lisätty maastoon ajettu uraverkosto sekä poistettu hiihtosuunnistuksen kannalta epäolennaisia kohteita. Hiihtosuunnistuskartan tärkeimpiä symboleita ovat karttaan virheällä merkityt eri levyiset urat. Karttaan on jätetty vain hiihtosuunnistuksen kannalta oleellimmat kohteet, kuten maaston peitteisyys, ojat, isot tiet, rakennukset sekä mahdollisia muita kohteita. Suunnistettava rata on merkitty karttaan purppuran värisellä ratapainatuksella. Rasteilla tulee käydä karttaan merkityssä järjestyksessä ja urheilija voi tarkistaa kartalla ja rastilla olevasta koodista käyneensä oikealla rastilla. (Kvåle 2012.)

### 3 TASATYÖNTÖ

Maastohiihdossa kilpailut on jaettu perinteisen ja vapaan tyylin kilpailuihin (Pellegrini ym. 2021). Yksi näitä tyyliä yhdistävä tekijä on tasatyöntöliike. Tasatyöntöliike näkyy vapaan tyylin tekniikoiden työnnössä sekä perinteisen tyyliin osana yksipotkuista tasatyöntöä sekä omana tekniikkanaan. Tasatyönnössä hiihtäjä vie molemmat sauvansa samanaikaisesti lumeen jalkateriensä lähellä, jonka jälkeen hän työntää sauvoilla taaksepäin tuottaakseen eteenpäin suuntautuvan liikkeen (kuva 2). Osaava hiihtäjä hyödyntää alaraajoja ja keskivartaloon massakeskipisteen sijainnin asettamiseen ylös ja eteen ennen sauvojen iskemistä lumeen, lisäten näin sauvojensa välityksellä tuotettavaa eteenpäin vievää voimaa. (Onasch 2017.)



KUVA 2. Tasatyöntötekniikka. (Holmberg ym. 2005.)

#### 3.1 Lihasaktivaatio

Kilpahihtäjien tasatyöntö on monimutkainen liike, johon osallistuu sekä ylä- että alavartalo (kuva 3) (Holmberg ym. 2005). Työnnön aikainen lihasaktivaatioketju muodostuu kolmesta ryhmästä lihaksia. Ensimmäisessä ryhmässä ovat vartalon koukistajat *rectus abdominis*, *obliquus externus* sekä lonkankoukistaja *rectus femoris*. Toisessa ryhmässä ovat olkanivelen ojentajat *latissimus dorsi*, *teres major* ja *pectoralis major*. *Latissimus dorsi* ja *teres major*in aktiivisuudessa on eroja erilaisten tasatyöntötekniikoiden välillä. Kolmannessa ryhmässä on olka- ja kyynärnivelen ojentaja *triceps brachii*. Kaikki näistä ryhmistä ovat hyvin aktiivisena työntövaiheen alkuvaiheessa tuottaakseen työntövoimaa (kuva 3). Tämän jälkeen niiden aktiivisuus vähenee samassa järjestyksessä kuin ne aktivoituivatkin. Vatsalihasten aktiivisuus vähenee

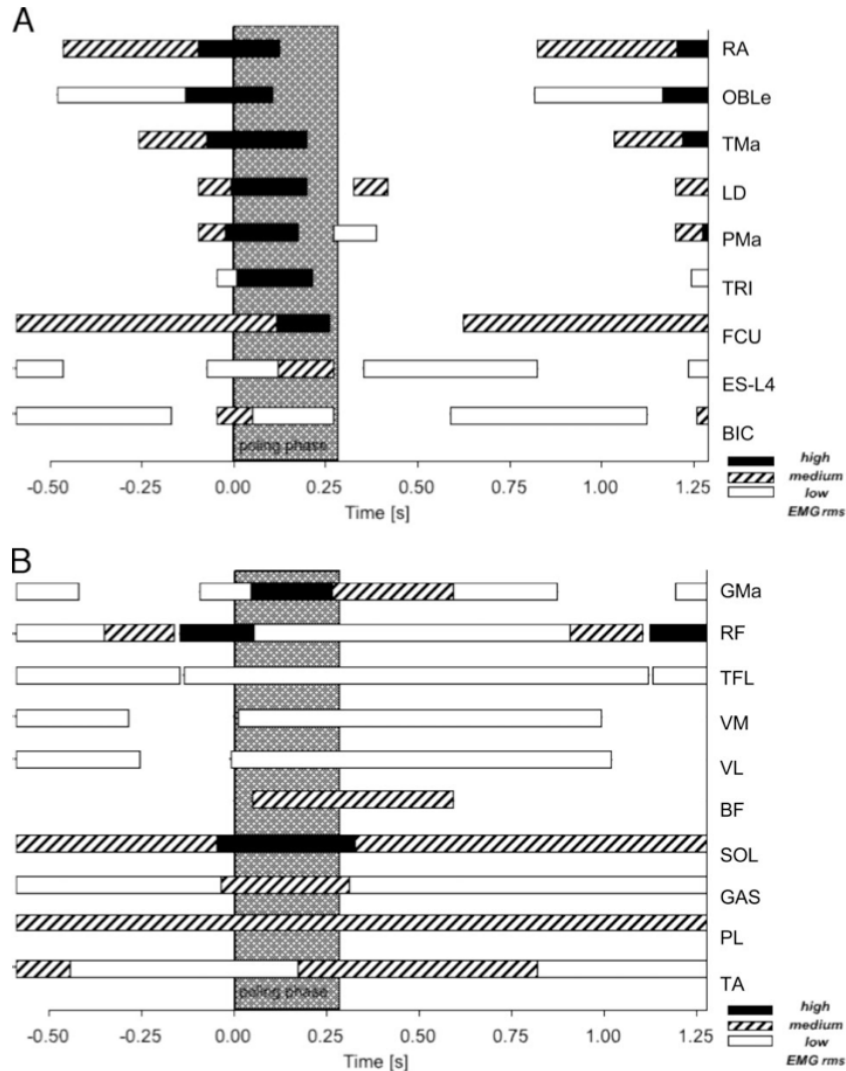
lonkkakulman ollessa minimissä ja olka- ja kyynärnivelen lihasten aktiivisuus aivan työntövaiheen lopussa. (Holmberg ym. 2005.)

Työntövaiheen lopussa aktivoituvat suora selkälihas ylävartalon nostamiseksi takaisin ylös (Zoppirolli ym. 2017) ja kyynärvarressa sijaitseva flexor carpi ulnaris optimaalisen sauvakulman ja sitä kautta suuremman horisontaalisen voiman saavuttamiseksi (Holmberg ym. 2005). Palautusvaiheen aikana kyynärnivelen koukistajat palauttavat sauvat takaisin lähtöasentoon työnnön jäljiltä (Zoppirolli ym. 2017) ja flexor carpi ulnaris pysäyttää sauvojen eteenpäin suuntautuvan heilahduksen ja asettaa sauvat optimaaliseen työntökulmaan (Holmberg ym. 2005).

Tasatyönnön aikana alaraajoissa on merkittävää lihasaktiivisuutta useissa eri lihaksissa (kuva 3) (Holmberg ym. 2005). Lihasaktiivisuuden lisäksi alaraajoissa on merkittävää ojennuskoukistusliikettä lonkka-, polvi- ja nilkkanivelissä tasatyöntösyklin aikana. Alaraajojen korostuneempi käyttö auttaa hiihtäjää käyttämään kehon massaa ja painovoimaa tehokkaammin ylävartalon lihastyön lisänä optimoidakseen työntövoiman ja sitä kautta koko tasatyöntösuorituksen. (Holmberg ym. 2005.) Alaraajojen tehokas käyttö auttaa myös hiihtäjää jakamaan kuormituksen suuremmalle lihasmassalle ja vaikuttaa näin positiivisesti kokonaissuoritukseen vähentämällä aineenvaihdunnallista kuormitusta (Holmberg ym. 2006).

Alaraajoilla on perustehtävänä alavartalon vakauttaminen sekä ylävartalon pystyasennon ylläpitäminen. Vartalon koukistuksen aikana alaraajojen ojentajalihasten lihasaktiivisuus lisääntyy vastustaakseen ylävartalon koukistusta eteenpäin ja ylläpitääkseen tasapainoa. Näillä lihaksilla on myös rooli vartalon palauttamisessa takaisin pystyasentoon valmiiksi seuraavaa työntöä varten. Lonkka- ja polvinivelissä on aktiiviset ojennus- ja koukistusvaiheet tasatyöntösyklin aikana, joka näkyy keskivartalon koukistumisen aikana korkeana rectus femoriksen lihasaktiivisuutena (kuva 3). Aktiiviset ojennus- ja koukistusvaiheet näkyvät myös suurina lonkka- ja polvinivelten nivelkumien liikelaajuuksina lähtien ylhäältä korkea kantapää-korkea lantio -asennosta alas näiden nivelkulmien minimiarvoihin sekä siinä, että hiihtäjillä, joilla rectus femoriksen lihasaktiivisuus on suurempi, on myös suurempi lonkankoukituksen kulmanopeus. Triceps suraen eli gastrocnemiuksen ja soleuksen rooli on pääasiassa tasapainon ylläpidossa ja asennon

vakauttamisessa, mutta aktiivisuudessa on eroja sen mukaan, kuinka aktiivisesti urheilija käyttää korkea kantapää -liikemallia ennen sauvakontaktia. (Holmberg ym. 2005.)



KUVA 3. Ylä- (A) ja alavartalon (B) lihasten aktiivisuus tasatyöntösyklin aikana mitattuna EMG:llä (elektromyografia). Kuva lähtee vasemmalla noin puolivälistä palautusvaihetta, jota seuraa työntövaihe ( $t = 0.00$ ) ja lopuksi palautusvaihe. Tutkitut lihakset olivat rectus abdominis (RA), obliquus externus abdominis (OBL), teres major (TMa), latissimus dorsi (LD), pectoralis major (PMA), triceps brachii (TRI), flexor carpi ulnaris (FCU), erector spinae (ES-L4), biceps brachii (BIC), gluteus maximus (GMa), rectus femoris (RF), tensor fascia latae (TFL), vastus medialis (VM), vastus lateralis (VL), biceps femoris (BF), soleus (SOL), gastrocnemius (GAS), peroneus longus (PL) ja tibialis anterior (TA). (Holmberg ym. 2005.)

Ylävartalon lihakset saavuttavat maksimaalisen lihasaktivaation jo submaksimaalisissa nopeuksissa, jolloin intensiteetin lisääntyessä keskivartalon ja alaraajojen rooli tasatyönnössä korostuu (Bojsen-Møller 2010; Zoppirolli ym. 2017). Nopeuden lisääntyessä yläraajojen lihasaktiivisuus pysyy tietyn pisteen jälkeen muuttumattomana, mutta keskivartalon ja alaraajojen lihasaktiivisuus lisääntyy lineaarisesti nopeuden kasvaessa. Tätä tukee vartalon alaosan lihasten aktiivisuuden lisääntyminen intensiteetin kasvaessa, suurimpien muutosten ollessa rectus abdominiksen ja rectus femoriksen lihasaktivaatiossa. Näyttääkin todennäköiseltä, että intensiteetin lisäys on mahdollista vain muuttamalla tasatyöntötekniikkaa niin, että keskivartalon ja alaraajojen lihasten rooli kasvaa. (Bojsen-Møller ym. 2010; Zoppirolli ym. 2017.)

### 3.2 Voimantuotto

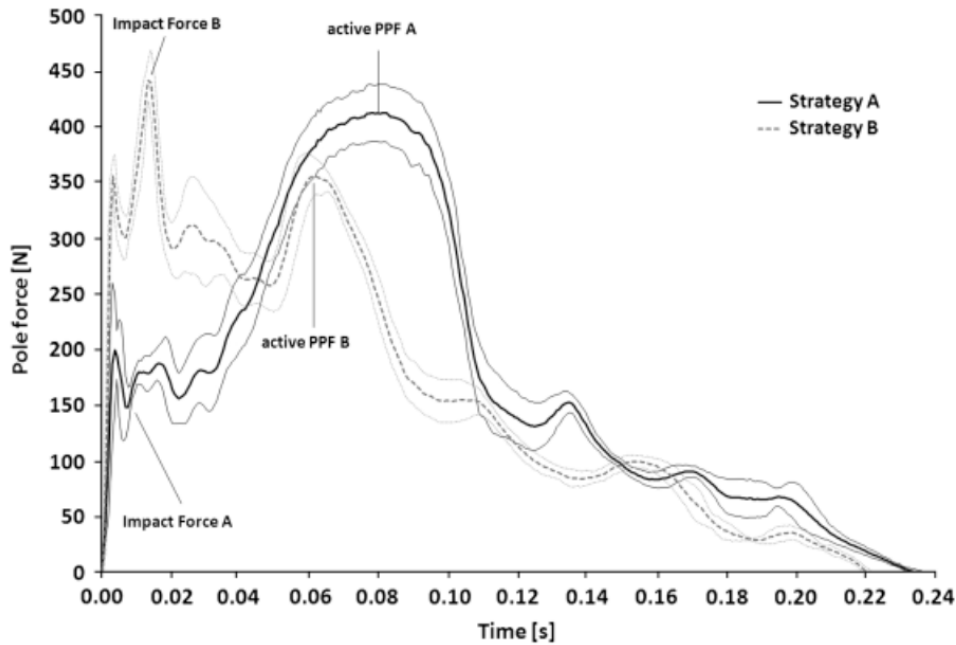
Sauvatyönnöllä tuotetun voiman suuruus on suoraan yhteydessä tasatyöntönopeuteen (Holmberg ym. 2005). Tasatyönnettäessä kovalla vauhdilla tasaisella, voimantuottoaika on 200 ms, joka on samaa luokkaa kuin hyppyissä (esim. pudotushyppy) (Stöggl & Holmberg 2016). Lyhyt voimantuottoaika voi olla suoritusta rajoittava tekijä ja korostaa räjähtävän voimantuoton merkitystä hiihdettäessä kovalla vauhdilla (Holmberg ym. 2005, Lindinger ym. 2009, Stöggl ym. 2011). Siirryttäessä submaksimaalisista nopeuksista maksiminopeuteen, työntövaiheen keston lyhentymisen vaikutus näkyy voimantuoton huippuarvojen pientymisenä (Stöggl ym. 2011). Tasatyönnössä sauvakontaktin voimantuoton huippu ilmenee noin 0,10 sekuntia sauvakontaktin jälkeen (Holmberg ym. 2005).

Tutkittaessa eliitti mieshiihtäjien tasatyönnön voimantuottoa tasaisella (0°, 24 km/h ja 28,5 km/h) sekä ylämäessä (7°, 13 km/h ja 15 km/h) hiihdettäessä, sauvojen huippuvoima oli 13 % suurempi ylämäessä kuin tasaisella ( $417 \pm 68$  N vs.  $368 \pm 62$  N) ja kasvoi nopeuden lisääntyessä (7°:  $409 \pm 62$  N vs.  $424 \pm 75$  N; 1°:  $349 \pm 67$  N vs.  $386 \pm 58$  N) (Stöggl & Holmberg 2016). Ylämäkeen hiihdettäessä sauvavoimien huippuarvon saavuttamiseen tarvittava aika oli 68 % pidempi kuin tasaisella hiihdettäessä ( $129 \pm 33$  ms vs.  $77 \pm 12$  ms) ja laski nopeuden lisääntyessä (7°:  $138 \pm 36$  ms vs.  $115 \pm 30$  ms; 1°:  $86 \pm 16$  ms vs.  $68 \pm 7$  ms). Syklin pituuteen suhteutettuna aika sauvavoimien huippuarvon saavuttamiseksi oli kuitenkin sama ylämäessä ja tasaisella (7°:  $30.4 \pm 7.0$  % vs. 1°:  $28.2 \pm 3.0$  %), mutta laski nopeuden lisääntyessä (7°:  $33.3 \pm$



8.0 % vs.  $27.6 \pm 7.4$  %;  $1^\circ$ :  $31.7 \pm 5.3$  % vs.  $24.7 \pm 1.8$  %). Ylämäessä havaittua sauvojen suurempaa huippuvoimaa sekä huippuarvon esiintymistä myöhemmin syklistä voi selittää ylämäessä käytetty hitaampi hiihtonopeus, joka on mahdollistanut pidemmän voimantuottoajan sekä ylämäkeen hiihdettäessä vaadittava suurempi vertikaalinen voima painovoiman voittamiseksi. (Stöggl & Holmberg 2016.) Nämä tulokset ovat linjassa aikaisempien tutkimusten (Millet 1998a, Millet 1998b) kanssa, joissa työnnön huippuvoiman sekä keskiarvovoiman on todettu kasvavan ylämäen jyrkkyyden sekä hiihtonopeuden lisääntyessä tasatyönnettäessä.

Hoff ym. (1999) osoittivat tutkimuksessaan sauvakontaktin ja voimantuoton huippuarvon välisen lyhyen ajan olevan yhteydessä parantuneeseen tasatyönnon taloudellisuuteen. Holmberg ym. (2005) tutkimus ei tukenut Hoffin ym. (1999) löydöksiä ja se osoitti tasatyönnon voimantuoton koostuvan kahdesta erillisestä huipusta. Ensimmäinen huippu esiintyy välittömästi sauvakontaktin jälkeen ja sitä seuraava toinen, korkeampi huippuarvo, on aktiivisen voimantuoton aikaansaama (kuva 4) (Holmberg ym. 2005). Yli 10 vuotta Hoffin ym. (1999) tutkimusta myöhemmin julkaistussa tutkimuksessa Stöggl ym. (2011) osoittivat, että nopeammilla hiihtäjillä sauvavoimien huippuarvo ilmeni myöhemmin työntövaiheen aikana optimaalisemmilla sauvakulmilla, kun taas hitaammilla sauvavoiman huippuarvo ilmeni pian sauvakontaktin jälkeen (kuva 4). Nopeammilla hiihtäjillä oli käytössään siis erilainen tasatyöntötekniikka ja heillä oli pidempi aika sauvakontaktista voimantuoton huippuarvoon, toisin kuin Hoffin ym. (1999) tutkimuksessa. Tämä kertoo tekniikan kehittymisestä ja lajin vaatimusten muuttumisesta kahden vuosikymmenen aikana. (Stöggl ym. 2011.)

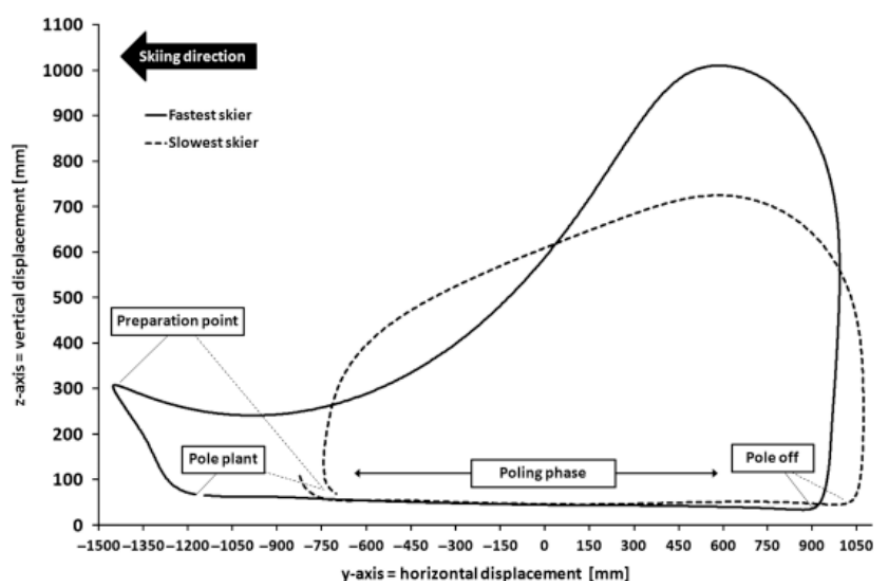


KUVA 4. Kahden erilaista tasatyöntötekniikkaa käyttävän koehenkilön sauvavoimakuvaaja hiihdetäessä korkealla submaksimaalisella sprinttihiihtonopeudella. Kuvattuna on keskiarvo  $\pm$  keskiahjonta. Strategy A = tekniikka A, matalampi sauvavoimaimpulssi, myöhäisempi ja korkeampi aktiivinen huippuvoima ja pidempi työntövaiheen kesto kuin tekniikassa B (strategy B). PPF = sauvavoiman huippuarvo. (Stöggl ym. 2011.)

Suurempien sauvavoimien on osoitettu olevan yhteydessä myös hiihtäjän korkeampaan asentoon palautusvaiheen lopussa sekä pienempään lonkkakulmaan sauvakontaktin alussa (Holmberg ym. 2005). Pienempi lonkkakulma sauvakontaktin alussa on yhteydessä vartalon ja lonkkien aktiiviseen koukistumiseen ja näiden lihasryhmien hyödyntämiseen voimantuotossa. Sauvavoimien huippuarvo on yhteydessä myös kyynärpäiden pieneen minimikulmaan ja suureen ojennusnopeuteen työntövaiheen aikana sekä työntö- ja palautusvaiheiden suhteellisiin kestoihin. Näiden seurauksena työntö on nopea ja tehokas. (Holmberg ym. 2005.) Sauvavoimien huippuarvon myöhäisemmän esiintymisen sekä suurempien sauvavoimien on osoitettu olevan yhteydessä ennen sauvakontaktia tapahtuvan esivaiheen esiintymiseen (Stöggl & Holmberg 2016).

### 3.3 Erilaiset tasatyöntötekniikat

Eri tasoisten hiihtäjien välillä on havaittu eroja tasatyöntötekniikassa (Stöggl & Holmberg 2011; Stöggl ym. 2011; Holmberg ym. 2005). Stöggl ja Holmberg (2011) havaitsivat nopeimmilla hiihtäjillä tasatyöntösyklin aikana esivaiheen ennen sauvakontaktia. Esivaiheella tarkoitetaan erityistä sauvan liikerataa tasatyöntösyklin palautusvaiheen lopussa, juuri ennen sauvakontaktia ja sen tunnistaa sauvan piikin liikkeen lähes pysähtymisestä sauvojen eteen heilautuksen päätteeksi sekä korkeammasta ja edemmästä sijainnista ennen sauvakontaktia (kuva 5) (Stöggl & Holmberg 2011). Tästä edestä ja ylhäältä sauva tuodaan taakse ja alas suuntautuvalla liikkeellä kontaktiin alustan kanssa työntövaiheen alussa. Esivaiheen keston pituus oli tärkein tekijä yhteydessä hiihtäjän saavuttamaan maksimaaliseen tasatyöntönopeuteen. Esivaiheen esiintyminen oli myös yhteydessä sauvojen vertikaalisempaan asentoon työntövaiheen alussa, suurempiin sauvavoimiin, sauvavoimien huippuarvon myöhäisempään esiintymiseen, lyhyempään suhteelliseen työntövaiheen keston, pidempään suhteelliseen palautusvaiheen keston sekä pidempään syklin pituuteen. (Stöggl & Holmberg 2011.)



KUVA 5. Sauvan piikin liikerata sagittaalitasossa ryhmän nopeimman (yhtenäinen viiva) ja hitaimman (katkoviiva) hiihtäjän osalta. Arvot ovat viiden peräkkäisen syklin keskiarvo. Preparation point = esivaihe, pole plant = sauvakontaktin eli työntövaiheen alku, poling phase = työntövaihe, pole off = sauvakontaktin irtoaminen eli työntövaiheen loppu ja skiing direction = hiihtosuunta. (Stöggl & Holmberg 2011.)

Stöggl ym. (2011) kertoivat löytäneensä kaksi erilaista tasatyöntötekniikkaa, joista tekniikkaa A käyttävillä hiihtäjillä oli suuremmat maksiminopeudet, yhtä suuret sauvavoimien huippuarvot sauvakontaktissa ja aktiivisen työnnön aikana, suurempi aktiivinen sauvavoiminen huippuarvo maksiminopeuksilla, pidempi yhden työnnön pituus, pidempi työntövaiheen kesto submaksimaalisilla nopeuksilla, pidempi syklin pituus sekä submaksimaalisilla nopeuksilla pidempi aika sauvavoimien huippuarvon esiintymiseen. (Stöggl. ym. 2011.)

Myös Holmberg ym. (2005) havaitsivat tutkimuksessaan hiihtäjien käyttävän kahta erilaista tasatyöntötekniikkaa. Nopeimmat hiihtäjät käyttivät tekniikkaa, jota tutkijat kutsuivat leveiden kyynärpäiden tekniikaksi. Toisen tekniikan he nimesivät kapeiden kyynärpäiden tekniikaksi. Osa hiihtäjistä asettui tasatyöntötekniikaltaan näiden kahden välimaastoon. Leveiden kyynärpäiden tekniikan tunnuspiirteitä olivat olkavarsien suurempi abduktio eli kyynärpäiden leveämpi asento, pienempi kyynärkulma työntövaiheen alussa ( $89 \pm 5^\circ$  vs.  $112 \pm 11^\circ$ ,  $p < 0.101$ ), nopeampi kyynärkulman koukistuminen työnnön aikana ( $485 \pm 131^\circ/\text{s}$  vs.  $233 \pm 92^\circ/\text{s}$ ,  $p < 0.01$ ), sekä dynaamisempi työntövaihe. Leveiden kyynärpäiden tekniikkaa käyttävillä oli myös korkeampi suhteellinen sauvavoiman huippuarvo ( $36 \pm 7\% \text{BW}$  vs.  $27 \pm 4\% \text{BW}$ ,  $p < 0.05$ ), lyhyempi aika sauvavoiman huippuarvoon ( $0.08 \pm 0.01 \text{ s}$  vs.  $0.11 \pm 0.02 \text{ s}$ ,  $p < 0.05$ ), suurempi suhteellinen sauvavoiman impulssi ( $5.3 \pm 0.4\% \text{BW/s}$  vs.  $4.7 \pm 0.4\% \text{BW/s}$ ,  $p < 0.05$ ), lyhyempi suhteellinen työntövaiheen kesto ( $24 \pm 3\%$  vs.  $28 \pm 2\%$ ,  $p < 0.05$ ), pidempi suhteellinen palautusvaiheen kesto ( $76 \pm 3\%$  vs.  $72 \pm 2\%$ ,  $p < 0.05$ ), pienempi kyynärkulman minimi työntövaiheen aikana ( $55 \pm 9^\circ$  vs.  $86 \pm 17^\circ$ ,  $p < 0.01$ ), suurempi kyynärkulman liikelaajuus työntövaiheen aikana ( $102 \pm 8^\circ$  vs.  $76 \pm 9^\circ$ ,  $p < 0.05$ ), pienempi polvikulman minimi työntövaiheen aikana ( $129 \pm 7^\circ$  vs.  $152 \pm 11^\circ$ ,  $p < 0.05$ ), pienempi lonkkakulma työntövaiheen alussa ( $127 \pm 9^\circ$  vs.  $148 \pm 7^\circ$ ,  $p < 0.05$ ), pienempi lonkkakulman minimi työntövaiheen aikana ( $92 \pm 14^\circ$  vs.  $111 \pm 14^\circ$ ,  $p < 0.05$ ) sekä suurempi lonkkakulman koukistusnopeus työntövaiheen aikana ( $291 \pm 77^\circ/\text{s}$  vs.  $195 \pm 27^\circ/\text{s}$ ,  $p < 0.05$ ).

Stöggl ja Holmberg (2016) vertasivat saamiaan tuloksia aikaisempiin tutkimustuloksiin tasatyönnön biomekaniikasta ja huomasivat merkittäviä eroja kahden vuosikymmenen takaiseen tasatyöntötekniikkaan (kuva 6) (Smith ym. 1996). Nykyaikaisen tasatyönnön tunnuspiirteitä ovat keskivartalon pienempi liikelaajuus, vähentynyt keskivartalon kallistuminen eteenpäin, vähentynyt olkanivelen ojennus sekä korostunut massakeskipisteen vertikaalinen liike syklin

aikana verrattuna aikaisempaan tasatyöntötekniikkaan (taulukko 1) (Smith ym. 1996, Stöggl & Holmberg 2016). Verrattaessa Stöggl'n ja Holmbergin (2016) tuloksia Holmbergin tuloksiin vuodelta 2005, tuoreemmassa tutkimuksessa havaittiin pienemmät kyynär-, polvi-, lonkka- ja nilkkanivelten minimiarvot syklin aikana (taulukko 1). Nykypäivän hiihtäjät siis koukistavat vartalooaan vähemmän ja käyttävät alavartalooaan korostetummin, saaden näin alavartalooan nivelten aktiivisella koukistamisella hyödynnettyä kehon massan paremmin eteenpäin vievän voiman tuottamiseksi. He myös lähtevät työntöön korkeammasta lähtöasennosta, joka mahdollistaa suurempien sauvavoimien tuottamisen. (Stöggl & Holmberg 2016.)

TAULUKKO 1. Tasatyöntötekniikan kehitys nivelkulmien osalta. (Holmberg ym. 2005; Smith ym. 1996; Stöggl & Holmberg 2016.)

|                               | Stöggl & Holmberg 2016 | Smith ym. 1996 | Holmberg ym. 2005 |
|-------------------------------|------------------------|----------------|-------------------|
| Keskivartalooan liikelaaajuus | 28°                    | 47°            |                   |
| Keskivartalooan kulma         | 70–76°                 | 95°            |                   |
| Olkaniivelen ojennus          | 37–47°                 | 50–120°        |                   |
| COM vertikaalinen liike       | 377–507 mm             | 190 mm         |                   |
| Kyynärkulman minimi           | 50–57°                 |                | 69°               |
| Polvikulman minimi            | 107–125°               |                | 138°              |
| Lonkkakulman minimi           | 91–97°                 |                | 101°              |
| Nilkkakulman minimi           | 50–65°                 |                | 86°               |

COM = massakeskipiste.



KUVA 6. Tasatyöntötekniikka vuodelta 1996. Poling phase = työntövaihe ja glide phase = paa-lautusvaihe. (Smith ym. 1996.)

## 4 ERI TEKIJÖIDEN VAIKUTUS TASATYÖNTÖSYKLIN OMINAISUUKSIIN

Tasatyöntösyklillä tarkoitetaan yhtä tasatyöntöä, joka koostuu työntövaiheesta ja palautusvaiheesta. Tasatyöntösyklille voidaan määrittää syklin kesto (s), jolla tarkoitetaan aikaa sauvakontaktin alusta seuraavan sauvakontaktin alkuun. Työntövaiheen kesto (s) alkaa sauvakontaktista ja päättyy kun sauva irtoaa alustasta. Palautusvaiheen kesto (s) alkaa kun sauva irtoaa alustasta ja päättyy seuraavaan sauvakontaktiin. (Holmberg ym. 2005.) Tasatyöntönopeus on syklin frekvenssin (Hz) ja yhden syklin aikana liikutun matkan eli syklin pituuden (m) tulo (Hoffman 1995).

Tasatyöntösyklin ominaisuuksiin eli syklin, palautusvaiheen ja työntövaiheen keston sekä frekvenssiin ja yhden syklin aikana liikuttuun matkaan vaikuttavat monet tekijät. Näitä ovat muun muassa käytetty hiihtonopeus (Millet 1998a, Stöggl & Holmberg 2016, Stöggl & Müller 2009, Stöggl ym. 2011, Hoffman ym. 1995), vastus tai kitka (Nilsson ym. 2013), maaston jyrkkyys (Millet ym. 1998b, Stöggl & Holmberg 2016), hiihtäjän taso ja maksiminopeus (Stöggl & Holmberg 2011, Stöggl ym. 2011, Stöggl & Müller 2009, Jonsson ym. 2019), sukupuoli (Sandbakk ym. 2014, Jonsson ym. 2019), väsymys (Stöggl & Müller 2009) sekä sauvojen pituus (Onasch ym. 2017).

### 4.1 Hiihtonopeus

Maastohiihtäjä säätelee hiihtonopeuttaan muuttamalla syklin pituutta sekä frekvenssiä (Lindinger ym. 2009). Hiihdettäessä submaksimaalisilla nopeuksilla hiihtäjä saa suuremman nopeuden aikaan lisäämällä syklin frekvenssiä eli lyhentämällä yhden tasatyöntösyklin kesto (taulukko 2). Tasatyöntösyklin keston lyhentyessä myös työntö- ja palautusvaiheiden kestot lyhenevät (taulukko 2). (Hoffman ym. 1995, Lindinger ym. 2009, Millet ym. 1998a, Millet ym. 1998b, Nilsson ym. 2004, Nilsson ym. 2013, Stöggl & Müller 2009, Stöggl ym. 2011, Zoppirolli ym. 2013, Stöggl & Holmberg 2016.) Työntövaiheen lyhentymisen myötä korostuu tarve tuottaa voimaa paljon ja nopeasti (Nilsson ym. 2004).

TAULUKKO 2. Syklin kesto, työntövaiheen kesto sekä palautusvaiheen kesto eri nopeuksilla tasatyönnettäessä. (Lindinger ym. 2009; Nilsson ym. 2013; Stöggl & Holmberg 2016; Stöggl & Müller 2009; Stöggl ym. 2011, Zoppirolli ym. 2013.)

|                        | Syklin kesto (s) | Työntövaiheen kesto (s) | Palautusvaiheen kesto (s) |
|------------------------|------------------|-------------------------|---------------------------|
| 8 km/h                 | 1.56 (N)         |                         |                           |
| 9 km/h                 | 1.66 ± 0.21 (L)  | 0.67 ± 0.11 (L)         |                           |
| 14 km/h                | 1.37 ± 0.12 (Z)  | 0.42 ± 0.03 (Z)         |                           |
| 15 km/h                | 1.44 ± 0.17 (L)  | 0.45 ± 0.05 (L)         |                           |
| 16 km/h                | 1.22 ± 0.09 (Z)  | 0.36 ± 0.03 (Z)         |                           |
| 17 km/h                | 1.08 (N)         |                         |                           |
| n. 19 km/h (85 % Vmax) | 1.09 ± 0.12 (Z)  | 0.31 ± 0.04 (Z)         |                           |
| 21 km/h                | 1.22 ± 0.16 (L)  | 0.34 ± 0.03 (L)         |                           |
| 24 km/h                | 1.13 ± 0.08 (SH) | 0.27 ± 0.02 (SH)        | 0.89 ± 0.16 (SH)          |
| 25 km/h                | 1.18 ± 0.15 (SM) | 0.26 ± 0.02 (SM)        | 0.92 ± 0.15 (SM)          |
| 26.2 km/h              | 1.13 ± 0.15 (SM) | 0.25 ± 0.01 (SM)        | 0.88 ± 0.14 (SM)          |
| 27 km/h                | 1.02 ± 0.10 (L)  | 0.28 ± 0.03 (L)         | 0.77 ± 0.15 (S)           |
| 27 km/h                | 1.03 ± 0.16 (S)  | 0.26 ± 0.02 (S)         |                           |
| 27.3 km/h              | 1.08 ± 0.14 (SM) | 0.24 ± 0.01 (SM)        | 0.84 ± 0.14 (SM)          |
| 28.4 km/h              | 1.00 ± 0.15 (SM) | 0.23 ± 0.02 (SM)        | 0.77 ± 0.14 (SM)          |
| 28.5 km/h              | 0.95 ± 0.06 (SH) | 0.24 ± 0.02 (SH)        | 0.74 ± 0.15 (SH)          |
| 29.5 km/h              | 0.98 ± 0.12 (SM) | 0.22 ± 0.02 (SM)        | 0.76 ± 0.12 (SM)          |
| 30.6 km/h              | 0.89 ± 0.09 (SM) | 0.22 ± 0.01 (SM)        | 0.66 ± 0.09 (SM)          |
| 31.7 km/h              | 0.81 ± 0.05 (SM) | 0.21 ± 0.01 (SM)        | 0.60 ± 0.04 (SM)          |
| Vmax (29.5 ± 1.3 km/h) | 0.93 ± 0.09 (L)  | 0.26 ± 0.03 (L)         |                           |
| Vmax (31.6 ± 1.8 km/h) | 0.72 ± 0.07 (S)  | 0.21 ± 0.04 (S)         | 0.51 ± 0.06 (S)           |

L = Lindinger ym. 2009; N = Nilsson ym. 2013; SM = Stöggl & Müller 2009; S = Stöggl ym. 2011; Z = Zoppirolli ym. 2013; SH = Stöggl & Holmberg 2016.

Lindinger ym. (2009) havaitsivat palautusvaiheen suhteellisen keston laskevan 21 km/h nopeuteen asti, jonka jälkeen se pysyi muuttumattomana maksiminopeuteen (29.5 ± 1.3 km/h) asti. 9 km/h nopeudella tasatyönnettäessä palautusvaiheen suhteellinen kesto oli 59.4 ± 4.1 % kun taas 21 km/h nopeudella se oli 71.8 ± 3.3 % (Lindinger ym. 2009). Nilsson ym. (2013) eivät puolestaan havainneet eroja työntö- ja palautusvaiheiden suhteellisissa kestoissa hiihdettäessä 8–17 km/h nopeuksilla. Stöggl ja Müller (2009) eivät myöskään havainneet merkitsevää eroa työntö- ja palautusvaiheiden suhteellisissa kestoissa hiihdettäessä submaksimaalisilla nopeuksilla (25.0–28.4 km/h), mutta maksimaaliseen nopeuteen (29.4 ± 1.1 km/h) siirryttäessä palautusvaiheen suhteellinen kesto oli lyhempi kuin submaksimaalisilla nopeuksilla (74.6 % vs. 76.8–77.7 %).

Nopeuden lisääntyessä syklin frekvenssin lisäämisen lisäksi hiihtäjät yrittävät ylläpitää syklin pituuden (Stöggl & Müller 2009). Submaksimaalisen nopeuden lisääntyessä syklin pituus pysyy tiettyyn pisteeseen asti samana (Hoffman ym. 1995; Millet ym. 1998a; Stöggl & Müller 2009) tai kasvaa (Lindinger ym. 2009), jonka jälkeen se laskee lähestyttäessä maksimaalista nopeutta (Hoffman ym. 1995; Millet ym. 1998a; Stöggl & Müller 2009; Stöggl ym. 2011). Nopeuden lisääntyessä nopeudesta 9 km/h nopeuteen 27 km/h kasvoi syklin pituus  $4.14 \pm 0.53$  metristä  $7.68 \pm 0.78$  metriin (Lindinger ym. 2009). Siirryttäessä submaksimaalisesta nopeudesta (27 km/h) maksimaaliseen nopeuteen ( $31.6 \pm 1.8$  km/h), laski syklin pituus  $7.72 \pm 1.19$  metristä  $6.50 \pm 0.78$  metriin (Stöggl ym. 2011).

Hiihdetäessä vakioidulla frekvenssillä ja nopeudella, tulee hiihtäjän kyetä säätämään syklin pituutta (Lindinger & Holmberg 2011). Pienellä frekvenssillä hiihdetäessä syklin pituus on suurempi kuin suurella frekvenssillä hiihdetäessä nopeuden pysyessä vakiona. Syklin pituus lisääntyy myös, kun frekvenssi pysyy vakiona, mutta nopeus kasvaa. Tasatyönnössä ei ole kyse maksimaalisen syklin pituuden saavuttamisesta vaan optimaalisen työnnön pituuden ja syklin frekvenssin suhteen löytämisestä. (Lindinger & Holmberg 2011.)

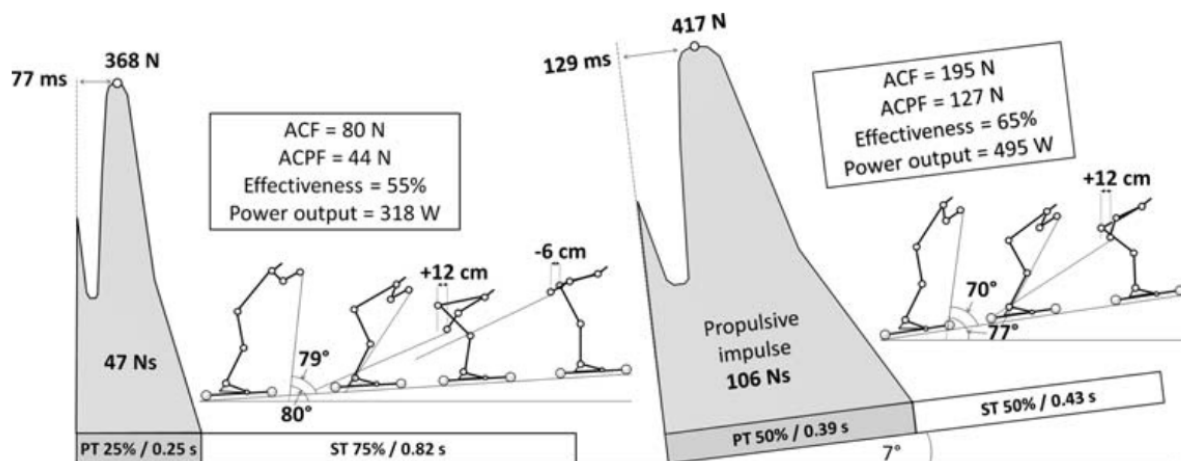
## **4.2 Alustan kitka ja maaston kaltevuus**

Alustan kitkan aiheuttamia muutoksia tasatyöntötekniikassa on tutkittu lisäämällä matolla hiihtävälle urheilijalle vastus, joka vetää häntä taaksepäin (Nilsson ym. 2013). Syklin pituuden havaittiin lyhentyvän vastuksen lisääntyessä. Syklin pituuden lyhentyessä myös palautusvaiheen pituus lyheni, mutta työntövaiheen suhteellinen kesto lisääntyi. (Nilsson ym. 2013.)

Tutkittaessa maaston kaltevuuden vaikutusta tasatyöntötekniikkaan, on havaittu syklin frekvenssin lisääntyvän kaltevuuden lisääntyessä (Millet ym. 1998b; Stöggl & Holmberg 2016). Stöggl ja Holmberg (2016) havaitsivat frekvenssin olevan ylämäessä lähes 30 % suurempi kuin tasaisella, vaikka nopeus ylämäessä ( $7^\circ$ ) oli selvästi hitaampi kuin tasaisella ( $1^\circ$ ) (13–15 km/h vs. 24–28.5 km/h). Tasaisella hiihdetäessä hitaampi nopeus on yhteydessä pienempään frekvenssiin (Lindinger ym. 2009). Kaltevuuden lisääntyessä myös palautusvaiheen pituus lyheni (Millet ym. 1998b), Stögglin ja Holmbergin (2016) tutkimuksessa jopa 48 % (kuva 7).



Työntövaiheen kesto puolestaan lisääntyi 56 %:lla kaltevuuden lisääntyessä. Syklin pituus oli ylämäessä 23 % lyhyempi kuin tasaisella. Ylämäessä tasatyönnettäessä painovoiman vaikutus ja pitovoiteiden puute vaatii hiihtäjää käyttämään nopeampia ja lyhyempi syklejä välttääkseen nopeuden merkittävän hidastumisen (Stöggl & Holmberg 2016).



KUVA 7. Kuva Stöggl'n ja Holmbergin (2016) tutkimuksen tärkeimmistä löydöistä koskien tasatyöntötekniikan eroja tasaisella ja ylämäessä hiihdettäessä. PT = työntövaiheen kesto, ST = palautusvaiheen kesto, ACF = syklin voiman keskiarvo, ACPF = eteenpäin vievän syklin voiman keskiarvo, effectiveness = tehokkuus eli ACF ja ACPF välinen suhde, power output = teho. (Stöggl & Holmberg 2016.)

### 4.3 Hiihtäjän taso ja saavuttama maksiminopeus

Nopeampien ja hitaampien hiihtäjien välisiä eroja tasatyöntötekniikassa on tutkittu useiden eri kilpailujen yhteydessä (Jonsson ym. 2019; Smith ym. 1996; Stöggl ym. 2018; Welde ym. 2017; Zoppirolli ym. 2020). Jonsson ym. (2019) tutkivat 20 nopeamman ja 20 hitaamman hiihtäjän välisiä eroja tasatyöntötekniikassa miesten 15 kilometrin ja naisten 10 kilometrin perinteisen tyylin Norjanmestaruuskilpailujen yhteydessä. Nopeammat naiset tasatyönsivät tutkimuksessa maastonkohdassa 4.3 % hitaampia nopeampaa, mutta ryhmien välillä ei havaittu muita eroja. Nopeammat miehet puolestaan tasatyönsivät 7.8 % suuremmalla nopeudella kuin hitaammat. Nopeammilla miehillä havaittiin 6.5 % pidemmät syklit kuin hitaammilla. Tämä ero todennäköisesti johtui eroista hiihtonopeudessa. Kun otettiin huomioon tasatyöntönopeus, havaittiin

nopeammilla hiihtäjillä suurempi syklin frekvenssi sekä syklin pituus verrattuna hitaampiin hiihtäjiin. (Jonsson ym. 2019.)

Myös Stöggl ym. (2018) tutkivat eroja nopeampien ja hitaampien hiihtäjien välillä Norjanmestaruuskilpailuiden perinteisen tyylin miesten 15 kilometrillä ja naisten 10 kilometrillä. Nopeammat hiihtäjät hiihtivät kyseisessä tasaisessa maastonkohdassa hitaampien hiihtäjiä kovempaa (naisilla 22.68 km/h vs. 21.71 km/h, miehillä 26.71 km/h vs. 24.70 km/h). Nopeammilla hiihtäjillä havaittiin olevan lyhyempi työntövaiheen kesto ja suurempi palautusvaiheen suhteellinen kesto. Syklin frekvenssissä, syklin pituudessa sekä palautusvaiheen absoluuttisessa kestossa ei havaittu eroja eri ryhmien välillä. (Stöggl ym. 2018.)

Welde ym. (2017) tutkivat hiihtäjien välisiä eroja miesten 15 kilometrin perinteisen kilpailuissa ja he havaitsivat nopeampien hiihtäjien hiihtävän tasaisella suuremmalla nopeudella sekä pidemmällä syklin pituudella. Pidempien matkojen puolella Zoppirolli ym. (2020) vertasivat eri tasoisten hiihtäjien välisiä eroja Marcialongan 58 kilometrin pituisen kilpailun 7 km ja 55 km kohdalla. He jakoivat tutkittavat hiihtäjät kymmeneen tasoryhmään, joissa jokaisessa oli sijoitusten perusteella kyseisen sataryhmän ensimmäiset 10 hiihtäjää, jotka täyttivät tutkimukset kriteerit. Syklin nopeus, syklin frekvenssi ja syklin pituus laskivat ja suhteellinen työntövaiheen kesto kasvoi siirryttäessä nopeammista hitaampiin (taulukko 3). Nopeammilla hiihtäjillä oli siis pidemmät ja lyhyempikestoiset sykliä sekä suhteessa lyhyempi työntövaiheen kesto. (Zoppirolli ym. 2020.)

TAULUKKO 3. Eri tasoryhmien 58 km pituisen kilpailun loppuajat sekä tasatyönnön kinemaattiset muuttujat mitattuna 7 km lähtöviivan jälkeen. (Mukailtu Zoppirolli ym. 2020.)

| Tasoryhmä/<br>sijoitus      | 1.–10.         | 101.–<br>110.  | 201.–<br>210.  | 301.–<br>310.  | 401.–<br>410.  | 501.–<br>510.  | 601.–<br>610.  | 701.–<br>710.  | 801.–<br>810.  | 901.–<br>910.  |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Aika (h)                    | 2:09           | 2:25           | 2:34           | 2:41           | 2:47           | 2:52           | 2:56           | 3:01           | 3:05           | 3:09           |
| Syklin nopeus<br>(m/s)      | 6.8 ±<br>0.02  | 6.3 ±<br>0.2   | 5.9 ±<br>0.3   | 5.5 ±<br>0.3   | 5.3 ±<br>0.2   | 5.1 ±<br>0.4   | 4.9 ±<br>0.4   | 4.9 ±<br>0.3   | 4.9 ±<br>0.3   | 4.7 ±<br>0.4   |
| Syklin frek-<br>venssi (Hz) | 0.92 ±<br>0.07 | 0.95 ±<br>0.08 | 0.88 ±<br>0.11 | 0.90 ±<br>0.11 | 0.82 ±<br>0.07 | 0.86 ±<br>0.07 | 0.79 ±<br>0.06 | 0.86 ±<br>0.08 | 0.83 ±<br>0.06 | 0.82 ±<br>0.09 |
| Syklin pituus<br>(m)        | 7.45 ±<br>0.51 | 6.64 ±<br>0.70 | 6.77 ±<br>0.78 | 6.20 ±<br>0.63 | 6.51 ±<br>0.58 | 5.98 ±<br>0.51 | 6.21 ±<br>0.72 | 5.77 ±<br>0.53 | 5.95 ±<br>0.65 | 5.69 ±<br>0.45 |
| Työntövaiheen<br>kesto (%)  | 26.5 ±<br>2.22 | 29.9 ±<br>2.65 | 29.9 ±<br>3.76 | 30.0 ±<br>2.39 | 29.4 ±<br>2.81 | 30.9 ±<br>2.62 | 30.2 ±<br>1.85 | 31.0 ±<br>2.90 | 31.8 ±<br>2.22 | 31.3 ±<br>2.61 |

Vertailtaessa saavutetun maksimaalisen tasatyöntönopeuden yhteyttä syklimuuttujiin submaksimaalisilla nopeuksilla hiihdettyessä, havaittiin nopeammilla hiihtäjillä pidempi syklin kesto (Stöggl & Müller 2009; Stöggl ym. 2011; Zoppirolli ym. 2015), pidempi työntövaiheen absoluuttinen kesto (Stöggl & Holmberg 2011; Stöggl ym. 2011), lyhyempi työntövaiheen suhteellinen kesto (Stöggl & Holmberg 2011; Stöggl & Müller 2009), pidempi palautusvaiheen kesto (Stöggl & Holmberg 2011; Stöggl ym. 2011), pidempi syklin pituus (Stöggl & Holmberg 2011; Stöggl & Müller 2009; Stöggl ym. 2007; Stöggl ym. 2011) sekä pidempi työntövaiheen pituus (Stöggl & Holmberg 2011; Stöggl ym. 2011) kuin hitaammilla. Submaksimaalisilla nopeuksilla hiihdettyessä nopeammilla hiihtäjillä on enemmän kapasiteettia nostaa heidän sillä hetkellä vielä matalaa syklin frekvenssiä (Stöggl ym. 2007).

Saavutettuun maksimaaliseen tasatyöntönopeuteen yhteydessä olevia syklimuuttujia ovat suurempi syklin frekvenssi (Sandbakk ym. 2016), pidempi työntövaiheen pituus (Stöggl ym. 2011) sekä pidemmät syklin pituudet (Stöggl ym. 2011). Kyky yhdistää nopea syklin frekvenssi suhteellisen pitkiin syklin pituuksiin on tärkeää kovien nopeuksien saavuttamiseksi erityisesti tasatyönnössä. Nopealla frekvenssillä hiihdettyessä myös voimantuoton tulee olla nopeaa. Syklin frekvenssin tehokas nostaminen ei onnistu, jos voimantuotto ei ole riittävän nopeaa. (Sandbakk ym. 2016.)

#### **4.4 Sukupuoli**

Suurimmat erot tasatyönnössä miesten ja naisten välillä johtuvat eroista ylävartalon voimatasoissa (Hegge ym. 2015; Sandbakk ym. 2014). Erot sukupuolten välillä lisääntyvät ylävartalon ja yläraajojen merkityksen lisääntyessä (Hegge ym. 2016) sekä sauvatyönnön merkityksen lisääntyessä (Sandbakk ym. 2014). Sukupuolten väliset erot ylävartalon tehontuotossa lisääntyvät intensiteetin kasvaessa ollen suuremmat maksimaalisessa kuin submaksimaalisessa suorituksessa (Hegge ym. 2015). Suurempi ero miesten ja naisten välisessä tehontuotossa ylävartalolla tehtävissä liikkeissä kuin alavartalolla tai koko vartalossa tehtävissä liikkeissä käy yhteen kanssa, että miehillä on korkeampi aerobisen kapasiteetin huippu, suurempi ylävartalon maksimaalinen voima sekä enemmän lihasmassaa ylävartalossa (Hegge ym. 2015).

Suurimmat erot miesten ja naisten välillä tasatyöntöergometrilla työnnettäessä ovat syklin aikana tuotetun työn määrässä. Tätä tuotetun työn määrää voidaan verrata maastossa tai matolla hiihdettäessä syklin pituuteen. (Hegge ym. 2015.) Sandbakk ym. (2014) tutkimuksessa todettiin, että tasatyönnettäessä maksimaalisella nopeudella matolla syklin pituus oli miehillä pidempi kuin naisilla, frekvenssin ollen sama molemmilla sukupuolilla. Myös Jonsson ym. (2019) totesivat matolla tasatyönnettäessä, että naisilla on lyhyempi syklin pituus kuin miehillä ( $6.27 \pm 0.57$  m vs.  $7.76 \pm 0.50$  m). He kuitenkin havaitsivat naisilla myös suuremman frekvenssin ( $0.99 \pm 0.09$  Hz vs.  $0.92 \pm 0.05$  Hz), lyhyemmän syklin keston ( $1.02 \pm 0.09$  s vs.  $1.09 \pm 0.06$  s), pidemmän suhteellisen työntövaiheen keston ( $27.2 \pm 2.6$  % vs.  $24.8 \pm 1.5$  %), lyhyemmän palautusvaiheen suhteellisen ja absoluuttisen keston ( $0.74 \pm 0.08$  s vs.  $0.82 \pm 0.05$  s), työntövaiheen keston ollen sama kuin miehillä. (Jonsson ym. 2019.)

Stöggl ym. (2018) vertailivat miesten ja naisten välisiä eroja tasatyönössä perinteisen hiihtotavan kilpailussa. He havaitsivat edellä mainittujen tutkimusten (Jonsson ym. 2019, Sandbakk ym. 2014) tapaan miehillä olevan pidempi syklin pituus kuin naisilla ( $8.00 \pm 0.48$  m vs.  $6.33 \pm 0.62$  m). He myös havaitsivat miehillä olevan pienempi frekvenssi ( $0.93 \pm 0.05$  Hz vs.  $1.00 \pm 0.09$  Hz) ja pidemmän palautusvaiheen suhteellisen ( $75.4 \pm 1.7$  % vs.  $73.1 \pm 2.4$  %) ja absoluuttisen keston ( $0.82 \pm 0.06$  s vs.  $0.74 \pm 0.09$  s), jotka ovat linjassa Jonssonin ym. (2019) havaintojen kanssa. (Stöggl ym. 2018.)

Jonssonin ym. (2019) ja Stöggl ym. (2018) tutkimuksissa miehet hiihtivät nopeampaa kuin naiset. Sukupuolten väliset erot tasatyöntötekniikassa ovat samankaltaisia, kuin hitaamman ja nopeamman tasatyönön välillä (Hegge ym. 2015; Lindinger & Holmberg 2011). Jonsson ym. (2019) tutkimuksessa sukupuolten väliset erot syklin kestossa, frekvenssissä, syklin pituudessa ja palautusvaiheen kestossa kuitenkin säilyivät vielä sen jälkeen, kun nopeus otettiin huomioon.

#### **4.5 Väsymys**

Tasatyönnettäessä maksimimaalisella nopeudella matolla, Stöggl ja Müller (2009) havaitsivat, että väsymyksen myötä eliittihiihtäjillä syklin frekvenssi kasvoi ( $1.17 \pm 0.16$  Hz vs.  $1.31 \pm 0.16$  Hz), syklin pituus väheni ( $7.2 \pm 1.0$  m vs.  $6.8 \pm 0.8$  m), työntövaiheen kesto pysyi vakiona ( $0.22$

$\pm 0.02$  s), palautusvaiheen kesto lyheni ( $0.65 \pm 0.12$  s vs.  $0.55 \pm 0.08$  s) ja suhteellinen työntövaiheen kesto kasvoi ( $25.4 \pm 3.4$  % vs.  $29.1 \pm 2.4$  %) verratessa tasatyöntösyklin muuttujia 30 sekuntia kestävästä maksimaalisesta intervallista alkuun ja loppuun. Tutkittaessa väsymyksen vaikutusta maastohiihdon perinteisen tyylin 15 kilometrin kilpailussa, Welde ym. (2017) vertailivat ensimmäisen ja viimeisen 5 kilometrin kierroksen välisiä eroja. Kaikilla tutkittavilla viimeinen kierros oli ensimmäistä hitaampi. He havaitsivat, että tasaisella tasatyöntönnäessä nopeimmilla hiihtäjillä syklin pituus väheni ( $8.00 \pm 0.50$  m vs.  $6.69 \pm 0.53$  m) samalla kun syklin nopeus väheni ( $7.43 \pm 0.18$  m/s vs.  $6.04 \pm 0.20$  m/s). Nopeimmilla syklin kesto ( $1.08 \pm 0.06$  s) ja syklin frekvenssi ( $0.93 \pm 0.06$  Hz) pysyivät samana. Hitaammilla hiihtäjillä syklin nopeus ( $6.88 \pm 0.29$  m/s vs.  $5.56 \pm 0.19$  m/s), syklin pituus ( $7.52 \pm 0.40$  m vs.  $6.28 \pm 0.49$  m) ja syklin frekvenssi ( $0.92 \pm 0.04$  Hz vs.  $0.88 \pm 0.05$  Hz) laskivat samalla kun syklin kesto ( $1.09 \pm 0.05$  s vs.  $1.13 \pm 0.07$  s) kasvoi. Hitaammat hiihtäjät eivät siis saaneet väsymyksen myötä ylläpidettyä syklin frekvenssiä toisin kuin nopeammat. (Welde ym. 2017.) Syklin frekvenssi laskee myös keskivartalon lihaksia väsyttävän harjoituksen jälkeen (Bucher ym. 2018).

Tutkittaessa väsymystä simuloitujen sprinttihiihdon aikana, havaittiin työntövaiheen keston kasvavan  $18 \pm 9$  % erän aikana väsymyksen myötä samalla kun nopeus laski  $16 \pm 5$  % (Mikkola ym. 2013). Pitkän matkan kilpailussa (58 km, Marcialonga) kilpailun edetessä syklin nopeus ja syklin pituus ( $7.45 \pm 0.51$  m vs.  $6.58 \pm 0.53$  m) laskivat (Zoppirolli ym. 2020). Frekvenssi pysyi samana, mutta työntövaiheen suhteellinen kesto kasvoi ( $26.5 \pm 2.22$  % vs.  $28.9 \pm 2.64$  %). Nopeammilla hiihtäjillä syklin nopeus laski vähemmän kuin hitaammilla hiihtäjillä. Kyky ylläpitää syklin nopeus kilpailun aikana oli yhteydessä kykyyn ylläpitää pitkä syklin pituus ja suhteellisesti lyhyt työntövaihe. (Zoppirolli ym. 2020.)

#### **4.6 Sauvojen pituus**

Useat tutkimukset eivät ole havainneet eroja syklin aikamuuttujissa sauvapituuden muutoksen myötä (Hansen & Losnegard 2010; Carlsen ym. 2018). Losnegard ym. (2017) eivät havainneet muutoksia syklin kestossa ja palautusvaiheen kestossa eri sauvapituuksien välillä millään testatulla nopeudella, mutta työntövaiheen kesto oli lyhyempi itsevalituilla kuin pitkällä sauvalla hiihdettyä hitailla nopeuksilla (9.0–12.6 km/h). He eivät havainneet muutosta syklin

pituudessa 1000 m testissä, mutta pidemmillä sauvoilla 1000 m testin nopeus oli suurempi. Pidempien sauvojen on havaittu olevan yhteydessä myös pienempään massakeskipisteen liikkeeseen (Losnegard ym. 2017; Losnegard ym. 2019) ja hapenkulutukseen (Losnegard ym. 2017; Losnegard ym. 2019; Onasch ym. 2017).

Pidemmillä sauvoilla saadaan pidemmän työntövaiheen keston myötä myös tuotettua suurempi voimaimpulssi kuin lyhemmillä sauvoilla tasatyönnettäessä (Nilsson ym. 2003; Onasch ym. 2017). Sauvojen suhteellisen pituuden (Stöggl & Holmberg 2011) ja absoluuttisen pituuden (Stöggl & Müller 2009) on myös havaittu olevan yhteydessä suurempaan saavutettuun maksiminopeuteen.

## 5 TASATYÖNNÖN KINEMATIikka

Tasatyönnön kinemaattisia muuttujia tarkastellessa keskitytään yleensä keskivartalon, alaraajojen ja yläraajojen nivelkulmiin työntövaiheen alussa ja lopussa sekä syklin aikaisiin suurimpiin nivelkulmiin eli maksimikulmiin (max) ja pienimpiin nivelkulmiin eli minimikulmiin (min). Lisäksi tarkastellaan sauvan liikerataa syklin aikana ja kulmaa työntövaiheen alussa sekä massakeskipisteen vertikaalista liikettä. Nivelkulmien osalta voidaan tarkastella myös liikelaajuutta syklin aikana sekä ojennus- ja koukistusnopeuksia. (Smith ym. 1996.)

### 5.1 Massakeskipisteen vertikaalinen liike

Massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen minimiarvo ilmenee välittömästi ennen sauvakontaktin irtoamista ja maksimiarvo juuri ennen sauvakontaktia (Zoppirolli ym. 2015). Kansainvälisen tason hiihtäjillä massakeskipisteen vertikaalinen liike tasatyöntösyklin aikana on pienempi kuin kansallisen tason hiihtäjillä ( $10.1 \pm 1.9$  % vs.  $13.3 \pm 2.8$  % hiihtäjän pituudesta). Ryhmien välillä ei havaittu eroa massakeskipisteen maksimiarvossa, mutta kansainvälisellä ryhmällä massakeskipisteen sijainti oli kansallista ryhmään korkeammalla työntövaiheen alussa ja lopussa sekä syklin aikainen minimi oli suurempi. (Zoppirolli ym. 2015.)

Verrattaessa massakeskipisteen vertikaalista liikettä syklin aikana tasaisella hiihdettäessä, havaittiin liikkeen olevan suurempi tasatyönnettäessä  $28.5$  km/h ( $432 \pm 52$  mm) nopeudella kuin  $24$  km/h ( $377 \pm 48$  mm) nopeudella (Stöggl & Holmberg 2016). Vertikaalinen liike oli 25 % suurempaa hiihdettäessä ylämäkeen ( $7^\circ$ ) kuin tasaisella ( $1^\circ$ ) ja kasvoi myös ylämäessä nopeuden lisääntyessä ollen  $13$  km/h nopeudella  $500 \pm 36$  mm ja  $15$  km/h nopeudella  $507 \pm 35$  mm (Stöggl & Holmberg 2016). Massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen on havaittu olevan hie-man pienempää myös tasatyönnettäessä pidemmällä sauvoilla (Carlsen ym. 2018; Losnegard ym. 2017). Losnegard ym. (2019) eivät havainneet eroa massakeskipisteen vertikaalisessa liikkeessä eri mittaisten sauvojen välillä, mutta havaitsivat sen laskevan harjoittelun myötä niin 84 % kuin 90 % hiihtäjän pituudesta mittaisilla sauvoilla tasatyönnettäessä.

## 5.2 Sauvojen kinematiikka

Suurempi sauvojen etäisyys nilkasta sauvakontaktin alussa on yhteydessä suurempaan sauvavoimien horisontaaliseen komponenttiin tasaisella hiihdettäessä (Stöggl & Holmberg 2011). Naisilla sauvan piikin ja monon kärjen välinen etäisyys on pienempi miehiin verrattuna niin työntövaiheen alussa kuin lopussakin ja näin ollen myös työntövaiheen pituus jää naisilla lyhyemmäksi kuin miehillä ( $1.83 \pm 0.12$  m vs.  $2.08 \pm 0.11$  m) (Jonsson ym. 2019). Ylämäkeen tasatyöntäessä hiihtäjä tuo sauvakontaktin alussa sauvanpiikkinsä lähemmäs monon kärkeä ( $24 \pm 11$  cm vs.  $39 \pm 13$  cm) sekä irrottaa sauvansa työntövaiheen lopussa lähempänä monon kärkeä kuin tasaisella hiihdettäessä ( $156 \pm 12$  cm vs.  $166 \pm 13$  cm), työntövaiheen pituuden jäädessä tällöin ylämäessä 12 % lyhyemmäksi kuin tasaisella ( $180 \pm 19$  cm vs.  $205 \pm 17$  cm) (Stöggl & Holmberg 2016). Hiihtäjät vievät lyhyempien sauvojen piikit kauemmas nilkasta kuin pidempien sauvojen (Carlsen ym. 2018).

Maastohiihtokilpailun aikana nopeammilla hiihtäjillä on havaittu työntövaiheen alussa vertikaalisempi sauvojen asento kuin hitaammilla hiihtäjillä ( $5.6 \pm 3.0$  ° vs.  $7.0 \pm 2.9$  °) (Jonsson ym. 2019). Sama ero havaittiin myös miesten ja naisten välillä, miesten asettaessa sauvansa vertikaalisemmin ( $4.8 \pm 2.7$  ° vs.  $7.6 \pm 2.6$  °). Nopeammat hiihtäjät sekä miehet hiihtivät tutkimusalueella nopeampaa, mikä selittää ryhmien välisiä eroja. Miesten myös havaittiin käyttävän sauvanpiikkinsä ennen sauvakontaktia kahvojen etupuolella, jolloin sauvakulma sai negatiivisen arvon aivan palautusvaiheen lopussa. (Jonsson ym. 2019.)

Hiihdettäessä vakioidulla nopeudella (30 km/h) matolla, Stöggl ja Holmberg (2011) havaitsivat suuremman maksiminopeuden saavuttaneiden hiihtäjien asettavansa sauvansa vertikaalisemmin sauvakontaktissa. Pienempi sauvakulma työntövaiheen alussa oli yhteydessä suurempaan horisontaaliseen sauvavoiman komponenttiin. Vertikaalisemmalla sauvojen asennolla työntövaiheen alussa (yhdessä suuremman sauvan piikin ja monon kärjen välisen etäisyyden kanssa) nopeammat hiihtäjät saavat pidennettyä työntövaiheen pituutta ja kestoa ja näin ollen tuotettua yhden tasatyöntösyklin aikana enemmän eteenpäin vievää voimaa (Stöggl & Holmberg 2011). Hiihdettäessä hitaammalla nopeudella (14 km/h, 2 °) matolla, Zoppirolli ym. (2015) havaitsivat



puolestaan kansavälisen tason hiihtäjille suuremman sauvojen kulman suhteessa vertikaalitasoon työntövaiheen alkupuolella kuin kansallisen tason hiihtäjillä.

Tasatyönnettäessä ylämäkeen ( $7^\circ$ ) sauvojen asento suhteessa horisontaalitasoon pysyi työntövaiheen alussa samana kuin tasaisella ( $1^\circ$ ) ( $78 \pm 3^\circ$  vs.  $80 \pm 6^\circ$ ) (Stöggl & Holmberg 2016). Työntövaiheen lopussa sauvojen asento oli ylämäkeen hiihdettäessä vertikaalisempi kuin tasaisella ( $33 \pm 2^\circ$  vs.  $23 \pm 1^\circ$ ). Nopeuden lisääntyessä sauvojen kulma suhteessa horisontaalitasoon pieneni niin työntövaiheen alussa kuin lopussakin. (Stögg & Holmberg 2016.)

Nilsson ym. (2003) havaitsivat horisontaalitasoon suhteutetun sauvakulman työntövaiheen alussa pienenevän hiihdettäessä lyhyemmillä sauvoilla (itse valittu:  $81^\circ$  vs.  $-7.5$  cm:  $77^\circ$ ) ja kasvavan puolestaan pidemmillä sauvoilla hiihdettäessä ( $+7.5$  cm:  $84^\circ$ ). Losnegard ym. (2017) käyttivät tutkimuksessaan Nilssonin ym. (2003) kanssa saman mittaisia sauvoja, mutta he eivät havainneet eri mittaisten sauvojen välillä eroa sauvakulmissa.

### 5.3 Keskivartalon kulma

Keskivartalon (olkapää-lonkka-linja) kulma suhteutettuna vertikaalitasoon on tasatyönnettäessä ylämäessä pienempi kuin tasaisella työntövaiheen alussa ( $42 \pm 5^\circ$  vs.  $44 \pm 5^\circ$ ) ja lopussa ( $68 \pm 7^\circ$  vs.  $74 \pm 5^\circ$ ) (Stöggl & Holmberg 2016) (kuva 7). Keskivartalon ja vertikaalitason välinen maksimikulma syklin aikana on sama ylämäessä ja tasaisella ( $75^\circ$ ), mutta se kasvaa nopeuden lisääntyessä molemmissa jyrkkyyksissä ollen horisontaalisempi suuremmilla nopeuksilla hiihdettäessä (Stöggl & Holmberg 2016). Hiihtokilpailun aikana tehdyssä tutkimuksessa (Jonsson ym. 2019) havaittiin miehillä pienempi keskivartalon ja vertikaalitason välinen kulma työntövaiheen alussa kuin naisilla, miesten hiihtäessä suuremmalla nopeudella.

Tutkittaessa koko vartalon kallistumista eli massakeskipisteen ja jalkapohjan keskipisteen muodostaman linjan suhdetta vertikaalitasoon nähden, havaittiin kansainvälisen tason hiihtäjillä suurempi koko vartalon kallistus eteenpäin työntövaiheen alussa kuin kansallisen tason hiihtäjillä (Zoppirolli ym. 2015). Kehon eteenpäin kallistuminen suhteessa vertikaalitasoon yhdessä massakeskipisteen vertikaalisen liikkeen kanssa olivat yhteydessä tasatyönnon

taloudellisuuteen. Kehon kallistaminen eteenpäin ja näin ollen massakeskipisteen vieminen jalkapohjan tukipinnan etupuolelle mahdollistaa painonvoiman paremman hyödyntämisen työntövaiheen aikaisen sauvavoimien tuottamisessa (Zoppirolli ym. 2015).

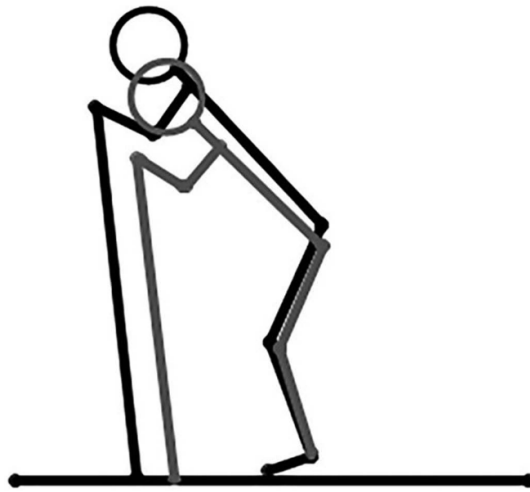
#### 5.4 Alavartalon nivelkulmat

Polvi- ja nilkkanivelten liikkeet ovat olennainen osa taidokasta tasatyöntötekniikkaa ja näiden nivelten liikkeen rajoittaminen vaikuttaa merkittävästi tasatyönnön biomekaanisiin ja fysiologisiin muuttujiin heikentäen tasatyöntösuoritusta (Holmberg ym. 2006). Näiden nivelten vapaa käyttö mahdollistaa 9.4 % suuremman maksiminopeuden, 11.7 % pidemmän ajan uupumukseen ja 7.7 % suuremman VO<sub>2</sub>max:n verrattuna rajoitettuun käyttöön. Lisäksi lukituilla polvi- ja nilkkanivelillä tasatyönnettäessä syke on korkeampi, sauvavoimat matalammat sekä syklin kesto lyhyempi kuin vapailla nivelillä. (Holmberg ym. 2006.)

Työntövaiheen aikana lonkka- ja polvikulmat pääasiassa koukistuvat ja palautusvaiheen aikana puolestaan ojentuvat (Nilsson ym. 2013). Lonkka-, polvi- ja nilkkanivelten maksimaalinen ojentuminen saavutetaan palautusvaiheen viimeisen kolmanneksen aikana, josta alkaa koukistuminen hieman ennen työntövaiheen alkua (Holmberg ym. 2005, Nilsson ym. 2013). Modernissa tasatyöntötekniikassa on ominaista koukistaa polvia aktiivisesti työntövaiheen aikana massakeskipisteen laskemiseksi tarkoituksena käyttää kehon massaa sauvavoimien vertikaalisen ja horisontaalisen voimakomponentin kasvattamiseksi (Nilsson ym. 2013). Alaraajojen aktiivisesta koukistus-ojennus-mallista kertoo lonkka-, polvi- ja nilkkanivelten minimikulma ilmeneminen sauvavoiman huippuarvon kanssa yhtä aikaa ja se on yhteydessä pieneen lonkkakulmaan työntövaiheen alkaessa (Holmberg ym. 2005).

Nopeammilla hiihtäjillä on havaittu nopeampi ja selkeämpi lonkkakulman koukistuminen työntövaiheen aikana kuin hitaammilla (Holmberg ym. 2005). Verrattaessa hitaampien hiihtäjiä nopeampiin, havaittiin hitaammilla hiihtäjillä myös suurempi lonkkakulma työntövaiheen lopussa kuin nopeammilla ( $69.0 \pm 6.4^\circ$  vs.  $64.4 \pm 5.4^\circ$ ) (Jonsson ym. 2019). Verrattaessa miesten ja naisten välisiä eroja perinteisen tyylin maastohiitokilpailun (10/15 km) aikana, havaittiin naisilla työntövaiheen alussa pienempi lonkkakulma kuin miehillä ( $107.6 \pm 7.8^\circ$  vs.  $112.6 \pm 5.8$

°) naisten hiihtäessä pienemmällä nopeudella kuin miehet (Jonsson ym. 2019). Kun ero hiihtonopeudessa otettiin huomioon, oli naisilla pienempi lonkkakulma työntövaiheen alun lisäksi myös työntövaiheen lopussa (kuva 8). Naisilla oli myös suurempi polvikulma ( $141.6 \pm 5.2^\circ$  vs.  $135.4 \pm 6.6^\circ$ ) ja pienempi säären ja vertikaalitason välinen kulma ( $15.1 \pm 4.3^\circ$  vs.  $21.3 \pm 5.5^\circ$ ) työntövaiheen alussa eli kokonaisuudessaan pystympi asento kuin miehillä (kuva 8) (Jonsson ym. 2019.)



KUVA 8. Kuva miesten (musta) ja naisten (harmaa) keskimääräisestä asennosta työntövaiheen alussa tasatyöntösyklin aikana. Hiihtäjien koko on skaalattu vastaamaan keskipituuksia. (Jonsson 2019.)

Polvi- ja lonkkakulmat työntövaiheen alussa ja lopussa sekä minimiarvot työntövaiheen aikana laskivat nopeuden lisääntyessä (taulukot 4 ja 5) (Lindinger & Holmberg 2011; Lindinger ym. 2009). Polvikulman maksimi pysyi muuttumattomana nopeuden lisääntyessä (taulukko 4) (Lindinger & Holmberg 2011; Lindinger ym. 2009). Osassa tutkimuksista lonkkakulman maksimi palautusvaiheen aikana kasvoi nopeuden lisääntyessä (Lindinger & Holmberg 2011), kun taas osassa lonkkakulman maksimaalinen ojennus väheni nopeuden kasvun myötä (Nilsson ym. 2013). Lindingerin ym. (2009) tutkimuksessa ei havaittu merkitsevää eroa lonkkakulman maksimissa nopeuden lisääntymisen myötä, mutta se antoi merkkejä pienentymisestä. Lonkkanivelen maksimaalinen ojennus väheni myös vastuksen lisääntyessä (Nilsson ym. 2013). Koukistus- ja ojennusvaiheiden liikelaajuudet ja kulmanopeudet kasvoivat polvi- ja lonkkanivelissä nopeuden lisääntyessä (Lindinger ym. 2009; Nilsson ym. 2013).

Ylämäkeen tasatyönnettäessä lonkkakulma työntövaiheen alussa ja lopussa on ojentuneempi kuin tasaisella, mutta lonkkakulman minimi säilyy samana eikä siihen vaikuttanut hiihtonopeus (Stöggl & Holmberg 2016). Polvikulma työntövaiheen alussa on sama ylämäessä ja tasaisella, mutta ylämäkeen hiihdettäessä sen minimiarvo ja kulma työntövaiheen lopussa ovat pienempiä. Nilkkakulma työntövaiheen alussa oli sama kummassakin maastossa, mutta nilkan minimikulma ja kulma työntövaiheen lopussa olivat pienempiä ylämäkeen tasatyönnettäessä. Maksimaalinen nousu päkiöille oli samanlainen ylämäessä kuin tasaisellakin, mutta sen ajankohta oli ylämäessä lähempänä sauvakontaktin alkua. (Stöggl & Holmberg 2016). Verrattaessa nopeampien ja hitaampien hiihtäjien päkiöille nousua, nopeammat hiihtäjät lopettivat päkiöille nousut myöhemmin syklin aikana kuin hitaammat hiihtäjät (Jonsson ym. 2019).

Hiihdettäessä tasatyöntöä normaalia pidemmällä sauvoilla lonkka- ja polvikulmat olivat ojentuneempia sauvakontaktin alussa ja lopussa sekä syklin aikaiset minimi- ja maksimikulmat olivat suuremmat (Carlsen ym. 2018). Myös nilkkanivelen on havaittu olevan ojentuneempi pidemmällä sauvoilla tasatyönnettäessä koko syklin ajan (Losnegard ym. 2017). Pidemmällä sauvoilla hiihdettäessä hiihtäjällä oli siis pystympi hiihtoasento eli ojentuneemmat nilkka-, polvi- ja lonkkanivelet sekä pienemmät liikelaajuudet polvi- ja lonkkanivelissä (Carlsen ym. 2018).

TAULUKKO 4. Eri tutkimuksissa havaitut polvikulmat tasatyöntösyklin aikana eri nopeuksilla hiihdettyäessä. (Jonsson ym. 2019; Lindinger ym. 2009; Lindinger & Holmberg 2011; Stögg & Holmberg 2016.)

| Tutkimus                  | Nopeus ja kulma                                    | Polvikulma (°)       |                             |                       |                                |
|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|
|                           |                                                    | Työntövaiheen alussa | Minimi työntövaiheen aikana | Työntövaiheen lopussa | Maksimi palautusvaiheen aikana |
| Lindinger 2009            | 9 km/h<br>(1 °)                                    | 161 ± 9              | 148 ± 12                    | 152 ± 8               | 165 ± 8                        |
| Lindinger & Holmberg 2011 | 12 km/h<br>(60 Hz, 1 °)                            | 160 ± 4              | 150 ± 5                     | 153 ± 9               | 167 ± 5                        |
| Lindinger 2009            | 15 km/h<br>(1 °)                                   | 157 ± 9              | 141 ± 13                    | 148 ± 10              | 166 ± 7                        |
| Lindinger & Holmberg 2011 | 18 km/h<br>(60 Hz, 1 °)                            | 155 ± 5              | 144 ± 6                     | 145 ± 6               | 168 ± 5                        |
| Lindinger 2009            | 21 km/h<br>(1 °)                                   | 151 ± 11             | 134 ± 14                    | 142 ± 12              | 166 ± 6                        |
| Jonsson ym. 2019          | 22.2 ± 1.0 km/h<br>(10 km kilpailu naiset, -0.3 °) | 141.6 ± 5.2          | 125.7 ± 6.4                 | 128.5 ± 6.4           |                                |
| Lindinger & Holmberg 2011 | 24 km/h<br>(60 Hz, 1 °)                            | 150 ± 5              | 135 ± 6                     | 136 ± 5               | 168 ± 4                        |
| Stögg & Holmberg 2016     | 24 km/h<br>(1 °)                                   | 126 ± 13             | 97 ± 8                      | 98 ± 7                |                                |
| Holmberg ym. 2005         | 24.5 ± 1.4 km/h<br>(85 % V <sub>max</sub> 1°)      | 150 ± 14             | 138 ± 14                    | 141 ± 16              | 167 ± 6                        |
| Jonsson ym. 2019          | 25.7 ± 1.3 km/h<br>(15 km kilpailu miehet, -0.3 °) | 135 ± 7              | 126 ± 6                     | 130 ± 6               |                                |
| Lindinger 2009            | 27 km/h<br>(1 °)                                   | 145 ± 12             | 129 ± 13                    | 135 ± 14              | 165 ± 7                        |
| Stögg & Holmberg 2016     | 28.5 km/h<br>(1 °)                                 | 124 ± 11             | 91 ± 6                      | 92 ± 7                |                                |
| Stögg & Holmberg 2016     | 13 km/h<br>(7 °)                                   | 142 ± 10             | 92 ± 8                      | 100 ± 7               |                                |
| Stögg & Holmberg 2016     | 15 km/h<br>(7 °)                                   | 139 ± 13             | 94 ± 13                     | 102 ± 12              |                                |

TAULUKKO 5. Eri tutkimuksissa havaitut lonkkakulmat tasatyöntösyklin aikana eri nopeuksilla hiihettäessä. (Jonsson ym. 2019; Lindinger ym. 2009; Lindinger & Holmberg 2011; Stöggl & Holmberg 2016.)

| Tutkimus                  | Nopeus ja kulma                                    | Lonkkakulma (°)      |                             |                       |                                |
|---------------------------|----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------------|
|                           |                                                    | Työntövaiheen alussa | Minimi työntövaiheen aikana | Työntövaiheen lopussa | Maksimi palautusvaiheen aikana |
| Lindinger 2009            | 9 km/h<br>(1 °)                                    | 161 ± 14             | 126 ± 14                    | 134 ± 13              | 173 ± 10                       |
| Lindinger & Holmberg 2011 | 12 km/h<br>(60 Hz, 1 °)                            | 150 ± 7              | 123 ± 8                     | 127 ± 11              | 170 ± 7                        |
| Lindinger 2009            | 15 km/h<br>(1 °)                                   | 153 ± 14             | 113 ± 13                    | 118 ± 12              | 173 ± 8                        |
| Lindinger & Holmberg 2011 | 18 km/h<br>(60 Hz, 1 °)                            | 142 ± 6              | 118 ± 6                     | 119 ± 7               | 174 ± 9                        |
| Lindinger 2009            | 21 km/h<br>(1 °)                                   | 141 ± 13             | 104 ± 14                    | 108 ± 14              | 171 ± 9                        |
| Jonsson ym. 2019          | 22.2 ± 1.0 km/h<br>(10 km kilpailu naiset, -0.3 °) | 108 ± 8              |                             | 66 ± 7                |                                |
| Lindinger & Holmberg 2011 | 24 km/h<br>(60 Hz, 1 °)                            | 137 ± 11             | 111 ± 9                     | 112 ± 9               | 175 ± 10                       |
| Stöggl & Holmberg 2016    | 24 km/h<br>(1 °)                                   | 126 ± 13             | 97 ± 8                      | 98 ± 7                |                                |
| Holmberg ym. 2005         | 24.5 ± 1.4 km/h<br>(85 % V <sub>max</sub> 1°)      | 136 ± 14             | 101 ± 16                    | 102 ± 17              | 170 ± 8                        |
| Jonsson ym. 2019          | 25.7 ± 1.3 km/h<br>(15 km kilpailu miehet, -0.3 °) | 113 ± 6              |                             | 67 ± 6                |                                |
| Lindinger 2009            | 27 km/h<br>(1 °)                                   | 133 ± 12             | 96 ± 13                     | 100 ± 14              | 168 ± 9                        |
| Stöggl & Holmberg 2016    | 28.5 km/h<br>(1 °)                                 | 124 ± 11             | 91 ± 6                      | 92 ± 7                |                                |
| Stöggl & Holmberg 2016    | 13 km/h<br>(7 °)                                   | 142 ± 10             | 92 ± 8                      | 100 ± 7               |                                |
| Stöggl & Holmberg 2016    | 15 km/h<br>(7 °)                                   | 139 ± 13             | 94 ± 13                     | 102 ± 12              |                                |

## 5.5 Ylävartalon nivelkulmat

Olka- ja kyynärnivelten liike on kaksivaiheista (Nilsson ym. 2013). Työntövaiheen alussa kumpikin nivel koukistuu hieman, jota seuraa työntövaiheen toisella puolikkaalla nivelten ojentaminen (Nilsson ym. 2013). Aktiivinen kyynärnivelen fleksio-ekstensio-liike on yhteydessä

pienempään kyynärnivelen minimikulmaan sekä lyhyempään suhteelliseen työntövaiheen kesto-  
toon (Holmberg ym. 2005). Nopeammilla hiihtäjillä on havaittu tekniikka, jossa on abduktoi-  
tuneemmat olkanivelet, pienempi kyynärnivelen kulma työntövaiheen alussa, nopeammat ja  
selkeämmät kyynär- ja lonkkanivelten koukistumiset kokonaisuudessaan dynaamisemman  
työntövaiheen aikana. (Holmberg ym. 2005.)

Ylämäkeen hiihdettyessä kyynärnivelen koukistuneempi työntövaiheen alussa ( $65 \pm 8^\circ$  vs.  $78 \pm 9^\circ$ ) ja lopussa ( $112 \pm 9^\circ$  vs.  $129 \pm 9^\circ$ ) sekä saavuttaa pienemmän työntövaiheen aikaisen  
minimiarvon ( $51 \pm 6^\circ$  vs.  $55 \pm 6^\circ$ ) verrattaessa tasaisella hiihtoon (Stöggl & Holmberg 2016).  
Ylämäkeen hiihdettyessä myös kyynärnivelen liikelaajuudet ovat pienemmät ja työntövaiheen  
alussa olkanivelen kulma on vähemmän koukistunut ( $42 \pm 5^\circ$  vs.  $44 \pm 5^\circ$ ) ja abduktoitunut ( $70 \pm 6^\circ$  vs.  $74 \pm 5^\circ$ ) kuin tasaisella tasatyönnettäessä (Stöggl & Holmberg 2016).

Nopeuden lisääntyessä kyynärpäähän liikelaajuus lisääntyy (Bojsen-Møller ym. 2010; Stöggl &  
Holmberg 2016; Lindinger ym. 2009) ja työntövaiheen aikainen minimikulma laskee (Lin-  
dinger ym. 2009). Kyynärnivelen kulma työntövaiheen alussa pysyy muuttumattomana nopeu-  
den lisääntyessä ( $105 \pm 16^\circ$ ) (Lindinger ym. 2009), mutta kasvaa frekvenssin laskiessa (Lin-  
dinger & Holmberg 2011). Työntövaiheen alun kyynärnivelen koukistus korostuu nopeuden li-  
säntyessä. Nopeuden lisääntyessä palautusvaiheen kesto lyhenee ja kyynärnivelen liikelaajuu-  
den lisääntyessä myös kyynärnivelen koukistuksen ja ojennuksen kulmanopeus kasvaa. (Lin-  
dinger ym. 2009.)

Jonsson ym. (2019) eivät havainneet eroja eri tasoisten hiihtäjien eivätkä miesten ja naisten  
välillä kyynärpäiden kulmissa työntövaiheen alussa tai lopussa naisten 10 km ja miesten 15 km  
perinteisen tyylin hiihtokilpailun aikana. He kuitenkin havaitsivat naisilla suuremman kyynär-  
nivelen minimikulman työntövaiheen aikana kuin miehillä ( $75.1 \pm 8.5^\circ$  vs.  $69.4 \pm 8.7^\circ$ ,  $p < 0.01$ ) (Jonsson ym. 2019). Sauvan pituuden lisääntyessä olkapään abduktio ja kyynärpäähän flek-  
sio työntövaiheen alussa lisääntyivät  $4.5^\circ$  kaltevuudella tasatyönnettäessä sekä olkapään ab-  
duktio myös tasaisella tasatyönnettäessä (Carlsen ym. 2018). Losnegard ym. (2017) eivät ha-  
vainneet eroa olka- ja kyynärnivelen kulmissa eri pituisten sauvojen välillä.

## 6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tämän tutkimuksen tarkoitus on tarkastella kansainvälisen ja kansallisen tason hiihtosuunnistajien tasatyönnön biomekaniikkaa sekä vertailla sukupuolten ja miehillä suoritustasojen välisiä eroja tasatyönnön biomekaniikassa hiihtosuunnistuksen pitkän matkan kilpailun aikana. Lisäksi tarkoituksena on tarkastella tasatyönnön biomekaniikan muuttumista pitkän matkan kilpailun aikana. Aikaisempaa tutkimustietoa hiihtosuunnistuksen tasatyönnön biomekaniikasta ei ole käytettävissä, joten saatuja tuloksia verrataan maastohiihdon tasatyönnön biomekaniikkaan.

**Tutkimuskysymys 1:** Miten hiihtosuunnistuksen tasatyönnön biomekaniikka eroa miesten ja naisten välillä?

**Tutkimuskysymys 2:** Miten hiihtosuunnistuksen tasatyönnön biomekaniikka eroaa miehillä eri suoritustasojen välillä?

**Tutkimuskysymys 3:** Miten hiihtosuunnistuksen tasatyönnön biomekaniikka muuttuu pitkän matkan kilpailun aikana?

**Tutkimuskysymys 4:** Mitkä tekijät ovat yhteydessä suurempaan tasatyöntönopeuteen tutkimusalueella?

**Hypoteesi:** Eri ryhmien välillä on havaittavissa eroja tasatyönnön biomekaniikassa ja tasatyönnön biomekaniikka muuttuu pitkän matkan kilpailun aikana. Suuri osa eroista on eri hiihtonopeuksista johtuvia.



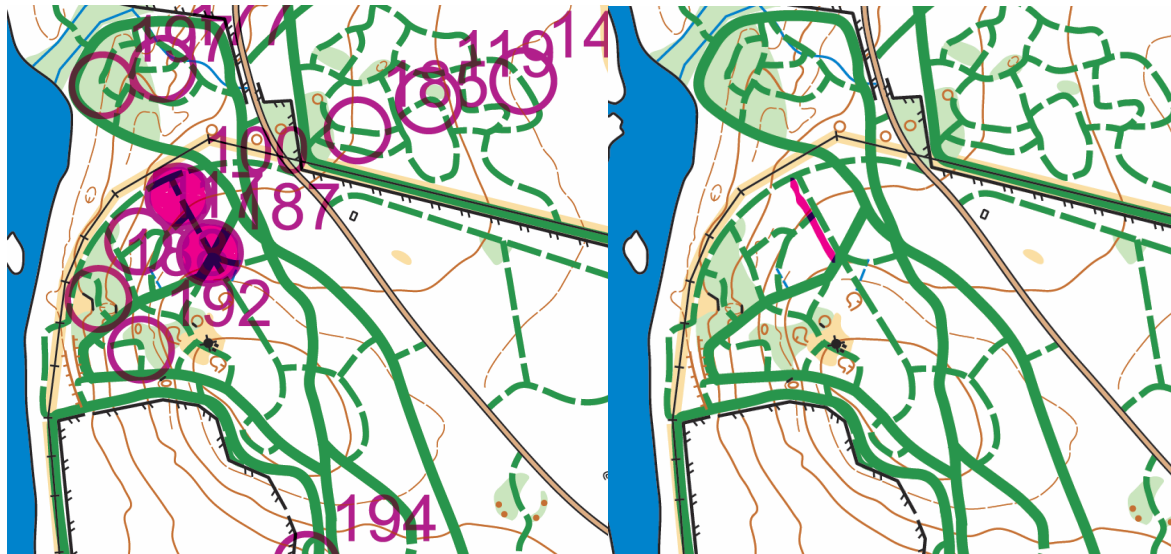
## 7 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 7.1 Koehenkilöt

Tutkimuksen koehenkilöinä toimivat vuoden 2019 joulukuussa Sodankylässä järjestettyjen Ensilumenrastien miesten ja naisten pääsarjojen pitkän matkan kilpailujen osallistajat. Kilpailu oli samalla WRE-kilpailu (World Ranking Event), joten kilpailusta sai pisteitä kansainväliseen rankingiin ja kilpailussa oli mukana lajin kansainvälisiä kärkiurheilijoita. Naisten pääsarjassa maaliin hiihti hyväksytysti 11 urheilijaa ja miesten sarjassa 28 urheilijaa. Koehenkilöiksi valittiin naisten sarjan 5 parasta ja miesten sarjan 12 parasta, kyseisten urheilijoiden edustaessa lajin kansainvälistä ja kansallista kärkitasoa. Miesten sarjan 12 parasta jaettiin lopputuloksen perusteella kahteen ryhmään: nopeammat (1.–6.) ja hitaammat (7.–12.). Tutkimuksen toteuttamisesta tiedotettiin urheilijoille etukäteen kilpailun nettisivuilla suomeksi ja englanniksi. Tietoon perustuvaa suostumusta ei toteutettu, koska kyseessä oli julkinen kilpailu. Tutkimus ei häirinnyt urheilijoiden kilpailusuoritusta.

### 7.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin Lapin Veikkojen järjestäminen Ensilumenrastien yhteydessä joulukuussa 2019 Sodankylässä. Tutkimusta suunniteltaessa otettiin yhteyttä kilpailun järjestäjiin, jotka olivat yhteistyöhaluisia. He tarjosivat ratasuunnittelulla mahdollisuuden saman rastivälin kuvaamiseen kilpailun aikana kahdesti koostamalla pitkän matkan kilpailun kahdesta erillisestä lenkistä, joihin molempiin sisältyi sama loivassa ylämäessä kapealla uralla sijaitseva rastiväli. Rastivälillä, jolla videokuvauks tapahtui (kuva 9), kaikki pääsarjojen urheilijat hiihtivät samaa kapeaa uraa eteenpäin loivassa ylämäessä (4 °), toisen rastin ollessa uran alapäässä ja toisen yläpäässä. Rastivälillä oli yksi risteys, mutta urheilijoiden tuli rastivälin aikana hiihtää vain suoraa eteenpäin. Rastivälin pituus kartalta mitattuna oli 90 metriä. Videokuvaus toteutettiin tämän rastivälin loppupäässä. Kuvauksen ajankohta oli kaikilla urheilijoilla hieman ennen kilpailun puoliväliä sekä muutama kilometri ennen maalia (taulukko 6).



KUVA 9. Aineiston keräykseen käytetty rastiväli rastipisteineen (väritetyt rastiympyrät) sekä ilman rastiympyröitä. Urheilijoiden hiihtosuunta oli pohjoisesta etelään.

TAULUKKO 6. Kuvauspaikkojen sijainnit suhteutettuna kilpailijoiden hiihtämään matkaan GPS-seurannan perusteella. Ilmoitettu keskiarvo (min-max) sekä suhteellinen sijainti verrattuna hiihdettyyn kokonaismatkaan.

|        | Kuvaus 1                          | Kuvaus 2                          | Maali                     |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Naiset | 11.1 km<br>(10.9–11.2 km)<br>42 % | 23.4 km<br>(23.2–23.7 km)<br>88 % | 26.5 km<br>(26.3–26.8 km) |
| Miehet | 12.4 km<br>(12.1–13.0 km)<br>39 % | 28.9 km<br>(28.3–29.9 km)<br>91 % | 31.7 km<br>(31.3–32.8 km) |

Jokainen urheilija käytti omia hiihtosuksiaan- ja sauvojaan. Sauvojen tai suksien ominaisuuksia ei mitattu tai tutkittu. Urheilijoiden välillä on voinut siis olla eroja esimerkiksi sauvojen pituudessa tai suksien luisto-ominaisuuksissa. Lämpötila kilpailupäivänä oli -2 °C. Mittauspäivänä kuvatulla osuudella hiihtosuunnistusura oli sen verran kova, etteivät sauvan piikit uponneet siihen. Olosuhteet pysyivät samanlaisina päivän ajan.

### 7.3 Aineiston keräys

Tutkimuksen aineistona toimi kuvattu 2D videokuva hiihtosuunnistusuran varrelta sekä järjestäjien ajanottojärjestelmästä (EmiTag-leimaus (Emis AS), tulospalvelun toteutus AA-ventures Oy) ja GPS-seurannasta (gpsseuranta.net, Tmi Pekan GPS-seuranta) saadut tiedot urheilijoiden suorituksista. Kilpailun kokonaisaika sekä rastiväliaika saatiin järjestäjien ajanottojärjestelmästä ja rastivälin pituus ja urheilijan hiihtämä matka GPS-seurannasta. Alueen nopeus, syklin aikamuuttujat, työnnön pituus sekä valitut nivelkulmat saatiin kerätystä 2D videokuvasta ja analysoitiin Vicon Motus 10 -ohjelmalla (Vicon Motion Systems Ltd, Iso-Britannia & CONTEMPLAS GmbH, Saksa).

Kuvausalueen leveys oli 14.90 m ja kalibroitikepit asetettiin uran taakse lumihankeen 1.3 m etäisyydelle uran keskikohdasta (kuvat 10 ja 11). Kamera oli 13.6 m etäisyydellä uran keskikohdasta ja se oli asetettu uran suhteen kohtisuorasti, kuvausalueen keskelle. Kukin kilpailija teki kuvausalueella vähintään kolme kokonaista tasatyöntösykliä.



KUVA 10. Tutkimusalue. Etualalla kalibroitikeppi merkitsemässä kuvausalueen alkua. Uran leveys kuvausalueella oli 0.8–1.0 m.



KUVA 11. Tutkimusalue. Oikealla kuvassa 10 näkyvä kalibroitikeppi. Ylämäen jyrkkyys  $4^{\circ}$ .

Kuvaus toteutettiin Sony RX10 II -kameralla ja Sony Vario-Sonnar T\* F2,8 -putkella. Kuvausnopeus oli 100 p, valotusaika  $1/1000$  ja herkkyys ISO AUTO. Käytössä oli manuaalitarkennus. Kamera oli asetettu kolmijalkaan, jota ei liikuteltu mittausten aikana. Kalibroitikeppien halkaisija oli 2.8 cm ja yhden väriraidan korkeus 0.30 m.

#### 7.4 Aineiston analysointi

Järjestäjän tarjoaman GPS-seurannan sekä ajanottojärjestelmän perusteella määritettiin urheilijoille heidän hiihtämänsä matka kilpailun aikana, ratanopeus (ratapituus jaettuna kilpailun kokonaisajalla), hiihtonopeus (kilpailijan hiihtämä matka jaettuna kokonaisajalla) sekä rastivälinopeus (rastivälin pituus jaettuna rastiväliajalla).

Kuvatun videoaineiston digitointi toteutettiin Motus-ohjelmalla. Tutkimuksen haluttiin häiritsevät kilpailijoita mahdollisimman vähän, joten digitointi tapahtui anatomisten nivelpisteiden perusteella. Alkuperäisenä tarkoituksena oli määrittää valitut muuttujat kolmesta peräkkäisestä tasatyöntösyklistä ja käyttää näiden keskiarvoja tilastollisissa analysoinnissa, mutta lopulliseen analyysiin valittiin vain kuvausalueen keskellä tapahtunut tasatyöntösykli. Kuvausalueen

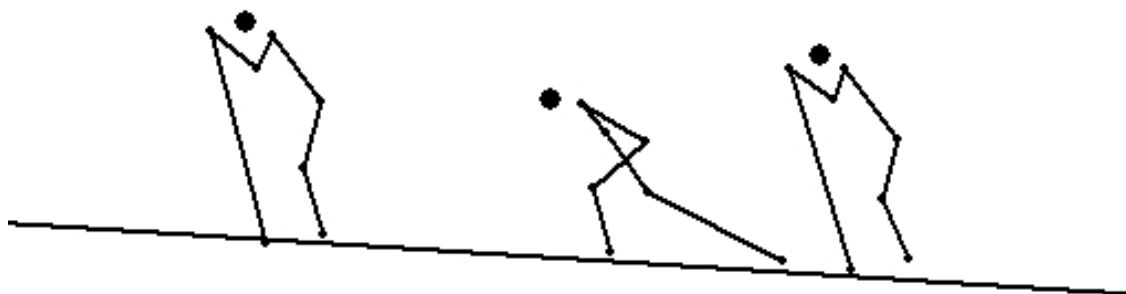
reunoilla olevissa sykleissä kuvauskulma oli niin viistosta, että digitoidut nivelkulmat vaihtelivat kuvakulman mukaan paljon syklien välillä.

Yhdeksi tasatyöntösykliksi määritettiin kahden peräkkäisen sauvakontaktin alkamisen välinen aika (kuva 12). Sauvan somman ja piikin kontaktia lumen kanssa ei voitu suoraan havaita videokuvasta, koska se jäi uran korkean reunan taakse. Sauvakontaktin alkamiseksi määritettiin se hetki, jolloin sauvan liike pysähtyi ja sauva taipui siihen kohdistetun voimantuoton myötä. Työntövaiheeksi määritettiin syklin osa, jolloin sauvan olivat lumikontaktissa. Työntövaihe alkoi sauvakontaktista, ja päättyi sauvan irrotessa lumesta. Sauvan irtoamisen hetkeksi määritettiin se hetki, kun sauvan alaosan havaittiin liikkuvan. Palautusvaiheeksi määritettiin työntövaiheen ulkopuolinen aika syklissä. Syklille laskettiin sekä absoluuttiset sekä suhteelliset työntö- ja palautusvaiheiden kestot.

Syklille määritettiin videokuvan sekä sauvakontaktin ja sauvan irtoamisen ajankohtien perusteella syklin pituus, syklin nopeus, työnnön pituus sekä liu'un pituus. Syklin pituus on koko syklin aikana tapahtunut siirtymä, työnnön pituus työntövaiheen aikainen siirtymä ja liu'un pituus puolestaan palautusvaiheen aikainen siirtymä. Siirtymä katsottiin nilkkanivelen digitoidusta sijainnista kullakin ajanhetkellä. Lisäksi videokuvan perusteella määritettiin nopeus koko kuvausalueelle.

Nivelkulmia digitoidessa tarkasteltiin kehon vasenta puolta ja käytetyt segmentit olivat käsi- varsi, olkavarsi, keskivartalo, reisi sekä sääri. Lisäksi digitointiin oma segmentti sauvalle. Digitoituja pisteitä olivat nilkka, polvi, lonkka, olkapää, kyynärpää, kämmen, sauvan sompa ja pää (kuva 12). Pää ja kämmen kuvattiin pistemäisinä. Kämmenen piste digitointiin niin, että se toimi sekä kyynärvarsi- että sauvasegmenttien pisteenä. Sauvasegmentin toisena pisteenä toimi sauvan sompa tai sen ollessa näkymättömissä distaalisin sauvan näkyvä osa. Jalkaterä oli videokuvassa osittain lumihangen takana, joten sitä ei voitu digitoida segmenttinä. Lumihangen reunaa pyrittiin hieman madaltamaan jalkaterän ja sauvakontaktin näkemiseksi, mutta täydellistä näkyvyyttä ei voitu saada, koska tällöin ura olisi levennyt niin, että urheilijat olisivat voineet edetä kyseisellä uran osuudella luistelupotkuin. Alaraajojen pisteitä digitoidessa käytettiin ensisijaisesti kameran puoleista eli vasenta puolta kuten muidenkin pisteiden kohdalla, mutta osa

kilpailijoista teki syklin aikana alaraajoillaan sivulle, eteen tai taakse suuntautuvia epäsymmetrisiä liikkeitä, jolloin analysoinnissa käytettiin sitä alaraajaa, joka toimi tukijalkana ja pysyi lumikontaktissa. Nilkan jäädessä uran reunan taakse, käytettiin distaalista näkyvillä olevaa säären osaa. Kyynärpään nivelpiste oli osassa videoissa erittäin hankala havaita vähäisen päivänvalon sekä urheilijoiden tumman vaatetuksen takia. Tämän takia kyynärpään ja olkapään nivelkulmia ei saanut määriteltyä luotettavasti käytössä olleesta videomateriaalista, joten niiden tarkastelu jätettiin pois tuloksista.



KUVA 12. Yksi tasatyöntösykli. Kuvattuna sauvakontakti (työntövaiheen alku), sauvan irtoaminen (työntövaiheen loppu) sekä seuraava sauvakontakti. Digitoituja pisteitä nilkka, polvi, lonkka, olkapää, kyynärpää, kämmen/sauva, sauvan sompa sekä pää.

Tutkimuksessa käytetyt nivelkulmat olivat polvi- ja lonkkanivelen kulmat, keskivaratalon ja alustan (loiva ylämäki,  $4^\circ$ ) välinen kulma sekä sauvan ja alustan välinen kulma. Tarkasteltaviksi muuttujiksi valittiin näiden nivelkulmien minimi- ja maksimi-arvot sekä arvot sauvakontaktin ja sauvan irtoamisen hetkillä poikkeuksena sauvakulma, jonka kohdalla tarkasteltiin työntövaiheen aikaista minimikulmaa koko syklin aikaisen minimikulman sijasta. Sauvakontaktin alkamisen hetkestä käytetään myöhemmässä tekstissä termiä ”työntövaiheen alussa” ja sauvakontaktin irtoamisen hetkestä termiä ”työntövaiheen lopussa”.

Tarkasteltaessa miesten ja naisten välisiä eroja, eroja miesten eri suoritustasojen välillä sekä nopeuteen yhteydessä olevia tekijöitä käytettiin kultakin urheilijalta sekä ensimmäisen että toisen kierroksen tasatyöntösuoritusta. Tällöin aineiston koko oli kussakin tapauksessa kaksi kertaa suurempi kuin koehenkilöiden määrä (kaikki n=34, miehet n=24, naiset n=10, hitaammat/nopeammat miehet n=12). Tarkasteltaessa tasatyönnön biomekaniikan muutoksia kilpailun aikana, oli aineiston koko sama kuin koehenkilöiden määrä (kaikki n=17, miehet n=12, naiset n=5, hitaammat/nopeammat miehet n=6)

## **7.5 Tilastolliset menetelmät**

Eri ryhmien väliset muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat sekä tilastolliset merkitsevyydet laskettiin ja testattiin IBM SPSS Statistics 28 ohjelmistolla (IBM Corporation, Armonk, NY, USA). Aineiston normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilk-testillä. Ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin riippumattomien otosten t-testillä (independent samples t-test). Muuttujien kierrosten välisiä eroja tarkasteltiin riippuvien otosten t-testillä (paired samples t-test). Eri muuttujien välisiä korrelaatioita tarkasteltiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella. Merkitsevänä pidettiin alle 0.05 arvoa.

## 8 TULOKSET

Miesten pääsarjan voittajalla meni 22.6 km pituisen radan suorittamisessa 93 minuuttia ja 54 sekuntia. Hän oli 58 sekuntia toiseksi tullutta kilpailijaa nopeampi. Naisten puolella voittajalla meni 18.1 km pituisen radan suorittamiseen 93 minuuttia ja 5 sekuntia, ollen 1 minuutin ja 28 sekuntia toiseksi tullutta nopeampi. Miesten pääsarjasta tarkempaan tarkasteluun valittiin lopputulosten perusteella 12 parasta. Heidät jaettiin sijoituksen perusteella kahteen ryhmään: nopeammat (sijoitukset 1.–6.) ja hitaammat (sijoitukset 7.–12.). Naisten pääsarjasta tarkasteluun valittiin kilpailun 5 parasta. Miesten ja naisten sekä hitaampien ja nopeampien miesten ryhmien tutkitut muuttujat (keskiarvo  $\pm$  keskihajonta) sekä ryhmien väliset erot löytyvät taulukoista 7 ja 8.

Vertailtaessa miesten ja naisten välisiä eroja, miehillä oli suurempi nopeus kaikissa tutkituissa tilanteissa (18-24 %,  $p < 0.005$ ), pidempi syklin pituus ( $4.45 \pm 0.50$  m vs.  $3.64 \pm 0.23$  m,  $p < 0.005$ ) sekä pidemmät työnnön ja liu'un pituudet ( $2.03 \pm 0.18$  m vs.  $1.80 \pm 0.10$  m ja  $2.50 \pm 0.34$  m vs.  $1.85 \pm 0.15$  m, molemmat  $p < 0.005$ ) (taulukko 7). Syklin aikamuuttujissa ei ollut eroja miesten ja naisten välillä. Kinemaattisten muuttujien puolella miehillä oli alustaan suhteutettuna suurempi sauvakulma työnnön lopussa kuin naisilla ( $25 \pm 2^\circ$  vs.  $23 \pm 2^\circ$ ,  $p < 0.05$ ), eli miesten sauvat olivat naisia vertikaalisemmassa asennossa (taulukko 8) (kuva 13). Myös sauvakulman minimi työntövaiheen aikana oli miehillä naisia suurempi ( $24 \pm 2^\circ$  vs.  $21 \pm 3^\circ$ ,  $p < 0.01$ ). Työnnön alussa miehillä oli pienempi lonkkakulma ( $120 \pm 5^\circ$  vs.  $127 \pm 7^\circ$ ,  $p < 0.005$ ) ja polvikulma ( $143 \pm 6^\circ$  vs.  $148 \pm 8^\circ$ ,  $p < 0.05$ ) kuin naisilla. Syklin aikainen polvikulman maksimi oli miehillä pienempi kuin naisilla ( $155 \pm 6^\circ$  vs.  $162 \pm 7^\circ$ ,  $p < 0.005$ ).

Vertailtaessa nopeampia ja hitaampia miehiä, loppuajan lisäksi eroa ryhmien välillä oli hiihtonopeudessa sekä ratanopeudessa, nopeampien hiihtäessä 0.4 km/h suuremmalla nopeudella (taulukko 7). Lisäksi nopeammilla miehillä sauvakulma ( $74 \pm 2^\circ$  vs.  $72 \pm 3^\circ$ ,  $p < 0.05$ ) ja keskivartalokulma ( $53 \pm 3^\circ$  vs.  $49 \pm 4^\circ$ ,  $p < 0.01$ ) työnnön alussa olivat suurempia eli asento oli vertikaalisempi kuin hitaammilla (taulukko 8).



TAULUKKO 7. Kokonaissuorituksen sekä tasatyönön mitattuja muuttujia sekä niiden keskiarvot. Taulukossa myös nähtävillä naisten ja miesten sekä eri ryhmien väliset merkitsevät erot muuttujissa. Arvot ilmoitettu muodossa keskiarvo ± keskihajonta.

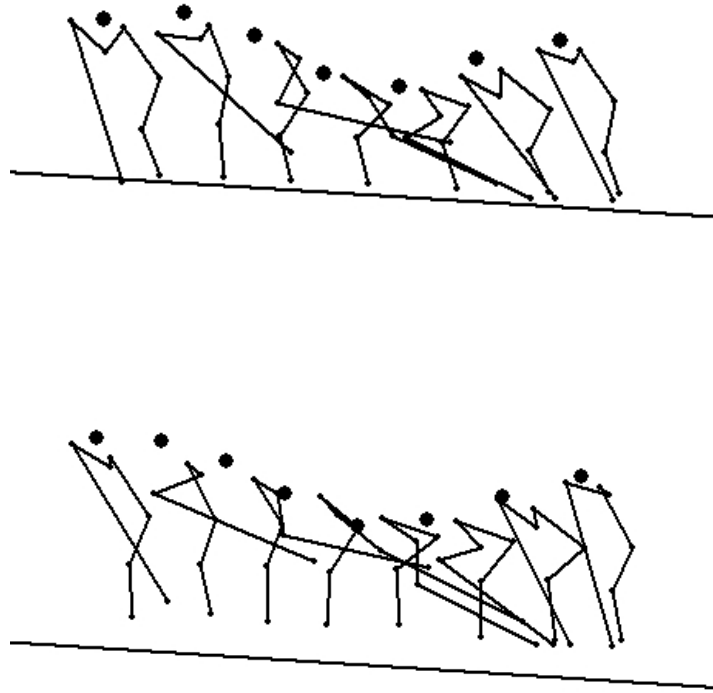
| Muuttuja                     | Naiset                         | Miehet               |                           |                           | Kaikki             |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|
|                              | Kaikki<br>(n = 10)             | Kaikki<br>(n = 24)   | Nopeammat<br>(n = 12)     | Hitaammat<br>(n = 12)     | Kaikki<br>(n = 34) |
| Loppuaika (min)              | 96.81 ± 2.85                   | 97.78 ± 1.88         | 96.41 ± 1.56<br>d***      | 99.16 ± 0.91<br>c*** a*   | 97.50 ± 2.21       |
| Hiihdetty matka<br>(km)      | 26.52 ± 0.22<br>b*** c*** d*** | 31.66 ± 0.54<br>a*** | 31.49 ± 0.38<br>a***      | 31.84 ± 0.63<br>a***      | 30.15 ± 2.43       |
| Ratanopeus<br>(km/h)         | 11.56 ± 0.32<br>b*** c*** d*** | 13.86 ± 0.25<br>a*** | 14.08 ± 0.22<br>a*** d*** | 13.68 ± 0.14<br>a*** c*** | 13.07 ± 1.26       |
| Hiihtonopeus<br>(km/h)       | 16.42 ± 0.47<br>b*** c*** d*** | 19.44 ± 0.29<br>a*** | 19.62 ± 0.29<br>a*** d*** | 19.26 ± 0.22<br>a*** c*** | 18.54 ± 1.44       |
| Rastivälinopeus<br>(km/h)    | 10.91 ± 0.97<br>b*** c*** d*** | 13.61 ± 1.12<br>a*** | 13.57 ± 1.22<br>a***      | 13.64 ± 1.01<br>a***      | 12.82 ± 1.62       |
| Aluenopeus<br>(km/h)         | 13.18 ± 1.66<br>b*** c*** d*** | 16.02 ± 1.66<br>a*** | 15.77 ± 1.84<br>a***      | 16.31 ± 1.48<br>a***      | 15.19 ± 2.09       |
| Syklin nopeus<br>(km/h)      | 13.68 ± 1.58<br>b*** c*** d*** | 16.24 ± 1.66<br>a*** | 15.91 ± 2.05<br>a***      | 16.60 ± 1.15<br>a***      | 15.48 ± 2.02       |
| Syklin pituus (m)            | 3.64 ± 0.23<br>b*** c* d***    | 4.45 ± 0.50<br>a***  | 4.39 ± 0.56<br>a*         | 4.50 ± 0.46<br>a***       | 4.21 ± 0.57        |
| Työnön pituus<br>(m)         | 1.80 ± 0.10<br>b*** c** d***   | 2.03 ± 0.18<br>a***  | 1.99 ± 0.19<br>a**        | 2.07 ± 0.17<br>a***       | 1.96 ± 0.20        |
| Liu'un pituus<br>(m)         | 1.85 ± 0.15<br>b*** c*** d***  | 2.50 ± 0.34<br>a***  | 2.49 ± 0.39<br>a***       | 2.51 ± 0.31<br>a***       | 2.31 ± 0.42        |
| Syklin kesto (s)             | 0.97 ± 0.12                    | 0.99 ± 0.09          | 1.00 ± 0.08               | 0.98 ± 0.09               | 0.98 ± 0.10        |
| Työntövaiheen<br>kesto (s)   | 0.44 ± 0.08                    | 0.43 ± 0.05          | 0.43 ± 0.06               | 0.43 ± 0.05               | 0.43 ± 0.06        |
| Palautusvaiheen<br>kesto (s) | 0.53 ± 0.05                    | 0.56 ± 0.06          | 0.57 ± 0.05               | 0.55 ± 0.07               | 0.55 ± 0.06        |
| Työntövaihe (%)              | 45.40 ± 2.17                   | 43.52 ± 3.49         | 42.91 ± 3.55              | 43.58 ± 3.55              | 43.88 ± 3.28       |
| Palautusvaihe<br>(%)         | 54.60 ± 2.17                   | 56.75 ± 3.49         | 57.08 ± 3.55              | 56.41 ± 3.55              | 56.12 ± 3.28       |

<sup>a</sup> Eroa naisten tuloksista, <sup>b</sup> Eroa miesten tuloksista, <sup>c</sup> Eroa nopeampien miesten tuloksista, <sup>d</sup> Eroa hitaampien miesten tuloksista. \* p < 0.05; \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.005 tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä.

TAULUKKO 8. Mitatut sauva- sekä nivelkulmat ja niiden keskiarvot. Taulukossa myös nähtävillä naisten ja miesten sekä eri ryhmien väliset merkitsevät erot muuttujissa. Arvot ilmoitettu muodossa keskiarvo  $\pm$  keskihajonta.

| Muuttuja                                | Naiset                  | Miehet              |                       |                       | Kaikki             |
|-----------------------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
|                                         | Kaikki<br>(n = 10)      | Kaikki<br>(n = 24)  | Nopeammat<br>(n = 12) | Hitaammat<br>(n = 12) | Kaikki<br>(n = 34) |
| Sauvakulma työnnön alussa (°)           | 71 $\pm$ 3<br>c***      | 73 $\pm$ 3          | 74 $\pm$ 2<br>a***d*  | 72 $\pm$ 3<br>c*      | 73 $\pm$ 3         |
| Sauvakulma työnnön lopussa (°)          | 23 $\pm$ 2<br>b*c*      | 25 $\pm$ 2<br>a*    | 25 $\pm$ 2<br>a*      | 25 $\pm$ 3            | 24 $\pm$ 3         |
| Sauvakulma max (°)                      | 73 $\pm$ 3<br>c*        | 76 $\pm$ 3          | 77 $\pm$ 3<br>a*      | 75 $\pm$ 4            | 75 $\pm$ 3         |
| Sauvakulma min työntövaiheen aikana (°) | 21 $\pm$ 3<br>b**c*d*   | 24 $\pm$ 2<br>a**   | 25 $\pm$ 2<br>a*      | 24 $\pm$ 2<br>a*      | 23 $\pm$ 3         |
| Lonkkakulma työnnön alussa (°)          | 127 $\pm$ 7<br>b***d**  | 120 $\pm$ 5<br>a*** | 122 $\pm$ 3           | 118 $\pm$ 7<br>a**    | 122 $\pm$ 7        |
| Lonkkakulma työnnön lopussa (°)         | 80 $\pm$ 12             | 84 $\pm$ 9          | 84 $\pm$ 8            | 84 $\pm$ 10           | 83 $\pm$ 10        |
| Lonkkakulma min (°)                     | 74 $\pm$ 9              | 75 $\pm$ 9          | 76 $\pm$ 9            | 73 $\pm$ 9            | 74 $\pm$ 9         |
| Lonkkakulma max (°)                     | 142 $\pm$ 10            | 141 $\pm$ 13        | 138 $\pm$ 9           | 144 $\pm$ 16          | 141 $\pm$ 7        |
| Polvikulma työnnön alussa (°)           | 148 $\pm$ 8<br>b*d*     | 143 $\pm$ 6<br>a*   | 144 $\pm$ 5           | 141 $\pm$ 6<br>a*     | 144 $\pm$ 7        |
| Polvikulma työnnön lopussa (°)          | 130 $\pm$ 7             | 128 $\pm$ 11        | 129 $\pm$ 10          | 126 $\pm$ 12          | 128 $\pm$ 10       |
| Polvikulma min (°)                      | 123 $\pm$ 6             | 122 $\pm$ 8         | 123 $\pm$ 8           | 121 $\pm$ 9           | 122 $\pm$ 8        |
| Polvikulma max (°)                      | 162 $\pm$ 7<br>b***c*d* | 155 $\pm$ 6<br>a*** | 155 $\pm$ 6<br>a*     | 155 $\pm$ 7<br>a*     | 157 $\pm$ 7        |
| Keskivartalokulma työnnön alussa (°)    | 52 $\pm$ 5              | 51 $\pm$ 4          | 53 $\pm$ 3<br>d**     | 49 $\pm$ 4<br>c**     | 51 $\pm$ 4         |
| Keskivartalokulma työnnön lopussa (°)   | 29 $\pm$ 12             | 32 $\pm$ 8          | 33 $\pm$ 6            | 31 $\pm$ 10           | 31 $\pm$ 9         |
| Keskivartalokulma min (°)               | 23 $\pm$ 10             | 24 $\pm$ 8          | 25 $\pm$ 7            | 23 $\pm$ 9            | 24 $\pm$ 9         |
| Keskivartalokulma max (°)               | 64 $\pm$ 5              | 66 $\pm$ 7          | 66 $\pm$ 5            | 65 $\pm$ 9            | 65 $\pm$ 7         |

<sup>a</sup> Eroaa naisten tuloksista, <sup>b</sup> Eroaa miesten tuloksista, <sup>c</sup> Eroaa nopeampien miesten tuloksista, <sup>d</sup> Eroaa hitaampien miesten tuloksista. \* p < 0.05; \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.005 tilastollisesti merkitsevä ero ryhmien välillä.



KUVA 13. Keskiarvoja lähinnä olevat esimerkit miesten (alhaalla) ja naisten (ylhällä) tasatyöntötekniikoista. Kuvattuna yksi tasatyöntösykli.

Vertailtaessa ensimmäisen ja toisen kierroksen välisiä eroja, naisilla ei tasatyönnössä tapahtunut merkitseviä muutoksia kierrosten välillä. Miesten puolella rastivälin ja alueen nopeus oli suurempi toisella kierroksella kuin ensimmäisellä ( $14.18 \pm 0.86$  km/h vs.  $13.00 \pm 1.01$  km/h,  $p < 0.005$  ja  $16.52 \pm 1.37$  km/h vs.  $15.55 \pm 1.84$  km/h,  $p < 0.05$ ). Lisäksi työntövaiheen absoluuttinen ja suhteellinen kesto olivat lyhyempiä toisella kierroksella ( $0.41 \pm 0.04$  s vs.  $0.44 \pm 0.05$  s,  $p < 0.01$  ja  $42.4 \pm 2.9$  % vs.  $44.1 \pm 4.0$  %,  $p < 0.05$ ). Työntövaiheen suhteellisen keston ollessa lyhyempi palautusvaiheen suhteellinen kesto oli pidempi toisella kierroksella ( $57.6 \pm 2.9$  % vs.  $55.9 \pm 4.0$  %,  $p < 0.05$ ). Nopeammilla miehillä rastivälinopeus oli toisella kierroksella ensimmäistä nopeampi ( $14.15 \pm 1.04$  km/h vs.  $12.96 \pm 1.15$  km/h,  $p < 0.005$ ) ja työntövaiheen absoluuttinen kesto lyhyempi ( $0.42 \pm 0.06$  s vs.  $0.44 \pm 0.06$  s,  $p < 0.05$ ). Myös hitaammilla miehillä rastivälinopeus oli toisella kierroksella nopeampi kuin ensimmäisellä ( $14.22 \pm 0.76$  km/h vs.  $13.10 \pm 0.94$  km/h,  $p < 0.01$ ), jonka lisäksi syklin kesto oli heillä toisella kierroksella ensimmäistä lyhyempi ( $0.95 \pm 0.10$  s vs.  $1.01 \pm 0.09$  s,  $p < 0.05$ ). Hitaammilla miehillä syklin aikainen

polvikulman maksimi oli toisella kierroksella pienempi kuin ensimmäisellä ( $151 \pm 7^\circ$  vs.  $158 \pm 5^\circ$ ,  $p < 0.50$ ).

Nopeuteen yhteydessä olevat muuttujat miesten osalta sekä niiden väliset korrelaatiokertoimet löydät taulukosta 9. Tarkasteltaessa nopeuteen yhteydessä olevia tekijöitä miesten osalta, havaittiin syklin pituuden ja palautusvaiheen suhteellisen keston olevan positiivisesti ja työntövaiheen absoluuttisen sekä suhteellisen keston olevan negatiivisesti yhteydessä rastivälinopeuteen, alueen nopeuteen sekä syklin nopeuteen (kaikki  $p < 0.01$ ). Lisäksi lonkkakulma työntövaiheen lopussa sekä lonkkakulman minimiarvo olivat negatiivisesti ja maksimiarvo positiivisesti yhteydessä nopeuteen kuvausalueella ( $p < 0.05$ ). Koko kilpailun hiihtonopeuteen positiivisesti yhteydessä olevat muuttujat olivat palautusvaiheen suhteellinen kesto, sauva-, lonkka- ja keskivartalokulmat työntövaiheen alussa sekä keskivartalon kulman maksimiarvo (kaikki  $p < 0.05$ ). Negatiivisesti koko kilpailun hiihtonopeuteen olivat yhteydessä työntövaiheen absoluuttinen ja suhteellinen kesto sekä polvikulman minimiarvo (kaikki  $p < 0.05$ ).

TAULUKKO 9. Eri nopeuksiin yhteydessä olevat muuttujat sekä niiden korrelaatiokertoimet tarkasteltaessa miesten ryhmää ( $n = 24$ ).

|                                         | Syklin nopeus | Alueen nopeus | Rastivälinopeus | Hiihtonopeus | Ratanopeus |
|-----------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|------------|
| Sijoitus                                |               |               |                 | -0.503*      | -0.998**   |
| Loppuaika                               |               |               |                 | -0.503*      | -0.998**   |
| Hiihdetty matka                         |               |               |                 |              | -0.526**   |
| Ratanopeus                              |               |               |                 | 0.497*       |            |
| Hiihtonopeus                            |               |               | 0.413*          |              | 0.497*     |
| Rastivälinopeus                         | 0.754**       | 0.856**       |                 | 0.413*       |            |
| Alueen nopeus                           | 0.884**       |               | 0.856**         |              |            |
| Syklin nopeus                           |               | 0.884**       | 0.754**         |              |            |
| Syklin pituus                           | 0.624**       | 0.615*        | 0.429*          |              |            |
| Työntövaiheen absoluuttinen kesto       | -0.601**      | -0.671**      | -0.781**        | -0.422*      |            |
| Työntövaiheen suhteellinen kesto        | -0.596**      | -0.691**      | -0.709**        | -0.496*      |            |
| Palautusvaiheen suhteellinen kesto      | 0.596**       | 0.691**       | 0.709**         | 0.496*       |            |
| Lonkkakulma työntövaiheen lopussa       |               | -0.545**      |                 |              |            |
| Lonkkakulman minimi                     |               | -0.497*       |                 |              |            |
| Lonkkakulman maksimi                    |               | 0.453*        |                 |              |            |
| Lonkkakulma työntövaiheen alussa        |               |               |                 | 0.530**      |            |
| Sauvakulma työntövaiheen alussa         |               |               |                 | 0.420*       |            |
| Keskivartalokulma työntövaiheen alussa  |               |               |                 | 0.499*       | 0.515*     |
| Keskivartalokulma työntövaiheen lopussa |               | -0.444*       |                 |              |            |
| Keskivartalokulman maksimi              |               |               |                 | 0.415*       |            |
| Polvikulman minimi                      |               |               |                 | -0.474*      |            |

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ .

Nopeuteen yhteydessä olevat muuttujat naisten osalta sekä niiden väliset korrelaatiokertoimet löydät taulukosta 10. Naisten puolella ratanopeus oli positiivisesti yhteydessä syklin pituuteen ( $p < 0.05$ ), työnnön pituuteen ( $p < 0.01$ ) sekä lonkkakulmaan työntövaiheen alussa ( $p < 0.05$ ). Hiihtonopeus oli positiivisesti yhteydessä työnnön pituuteen ( $p < 0.05$ ). Rastivälinopeus ja alueen nopeus olivat negatiivisesti yhteydessä syklin keston ( $p < 0.01$  ja  $p < 0.05$ ), työntövaiheen absoluuttiseen keston ( $p < 0.01$  ja  $p < 0.05$ ) ja palautusvaiheen absoluuttiseen keston ( $p < 0.05$ ). Myös syklin nopeus oli negatiivisesti yhteydessä palautusvaiheen absoluuttiseen keston ( $p < 0.05$ ). Lisäksi rastivälinopeus oli negatiivisesti yhteydessä työntövaiheen suhteelliseen keston ja negatiivisesti palautusvaiheen suhteelliseen keston (molemmat  $p < 0.05$ ). Polvikulman minimiarvo oli negatiivisesti yhteydessä rastivälinopeuteen ( $p < 0.05$ ) sekä alueen nopeuteen ( $p < 0.05$ ) ja polvikulma kontaktin alussa negatiivisesti yhteydessä rastivälinopeuteen ( $p < 0.05$ ).

TAULUKKO 10. Eri nopeuksiin yhteydessä olevat muuttujat sekä niiden korrelaatiokertoimet tarkasteltaessa naisten ryhmää ( $n = 10$ ).

|                                     | Syklin nopeus | Alueen nopeus | Rastivälinopeus | Hiihtonopeus | Ratanopeus |
|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|------------|
| Sijoitus                            |               |               |                 | -0.900**     | -1.000**   |
| Loppuaika                           |               |               |                 | -0.900**     | -1.000**   |
| Ratanopeus                          |               |               |                 | 0.900**      |            |
| Hiihtonopeus                        |               |               |                 | 0.763*       | 0.900**    |
| Rastivälinopeus                     | 0.738*        | 0.865**       |                 |              |            |
| Alueen nopeus                       | 0.845**       |               | 0.865**         |              |            |
| Syklin nopeus                       |               | 0.845**       | 0.738*          |              |            |
| Syklin pituus                       |               |               |                 |              | 0.640*     |
| Työnnön pituus                      |               |               |                 |              | 0.837**    |
| Syklin kesto                        |               | -0.716*       | -0.782**        |              |            |
| Työntövaiheen absoluuttinen kesto   |               | -0.711*       | -0.781**        |              |            |
| Palautusvaiheen absoluuttinen kesto | -0.652*       | -0.685*       | -0.752*         |              |            |
| Työntövaiheen suhteellinen kesto    |               |               | -0.656*         |              |            |
| Palautusvaiheen suhteellinen kesto  |               |               | 0.656*          |              |            |
| Lonkkakulma työntövaiheen alussa    |               |               |                 |              | 0.665*     |
| Keskivartalokulman maksimi          |               |               | 0.668*          |              |            |
| Polvikulma kontaktin alussa         |               |               | -0.736*         |              |            |
| Polvikulman minimi                  |               | -0.708*       | -0.710*         |              |            |

\*  $p < 0.05$ ; \*\*  $p < 0.01$ .

## 9 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella kansainvälisen ja kansallisen tason hiihtosuunnistajien tasatyönnon biomekaniikkaa sekä vertailla sukupuolten ja miehillä suoritustasojen välisiä eroja tasatyönnon biomekaniikassa hiihtosuunnistuksen pitkän matkan kilpailun aikana. Lisäksi tarkoituksena oli tarkastella tasatyönnon biomekaniikan muuttumista pitkän matkan kilpailun aikana. Hypoteesin mukaisesti eri ryhmien välillä havaittiin eroja tasatyönnon biomekaniikassa ja tasatyönnon biomekaniikassa havaittiin muutoksia pitkän matkan kilpailun aikana.

### 9.1 Miesten ja naisten väliset erot

Miehet hiihtivät kaikissa tutkituissa tilanteissa naisia suuremmalla nopeudella, ja heillä oli pidempi syklin pituus sekä pidemmät työnnon ja liu'un pituudet kuin naisilla. Tämä on linjassa maastohiihdon puolella tehtyjen tasatyöntötutkimusten kanssa, joissa miehillä on havaittu pidempi syklin pituus kuin naisilla. (Sandbakk ym. 2014; Jonsson ym. 2019; Stöggl ym. 2018). Maastohiihdon puolella on myös havaittu sukupuolten välillä eroja syklin aikamuuttujissa miesten hiihtäessä pienemmällä frekvenssillä kuin naiset (Jonsson ym. 2019; Stöggl ym. 2018), mutta tässä tutkimuksessa ei havaittu eroja syklin aikamuuttujissa miesten ja naisten välillä.

Miehillä havaittiin vertikaalisempi sauvojen asento työnnon lopussa kuin naisilla. Maastohiihdon tasatyönnon puolella merkittävimmät erot miesten ja naisten sekä eri tasoisten urheilijoiden välillä on havaittu sauvakulmassa työntövaiheen alussa, jonka on havaittu olevan suurilla nopeuksilla hiihdettäessä vertikaalisempi miehillä sekä nopeammilla urheilijoilla (Jonsson ym. 2019; Stöggl & Holmberg 2011), mutta hitaammilla nopeuksilla (14 km/h) hiihdettäessä kansallisen tason urheilijat asettivat sauvansa vertikaalisemmin kuin kansainvälisen tason (Zoppirolli ym. 2015).

Työntövaiheen alussa miehillä oli pienemmät lonkka- ja polvikulmat kuin naisilla. Polvikulman maksimi oli miehillä pienempi kuin naisilla. Pieni lonkkakulma työntövaiheen alussa on yhteydessä alaraajojen aktiiviseen koukistus-ojennus-malliin ja kehon massakeskipisteen liikkeen tehokkaaseen hyödyntämiseen sauvavoimien tuottamiseksi (Nilsson ym. 2013; Holmberg ym.

2005). Maastohiihdon puolella naisilla on havaittu tästä tutkimuksesta poiketen työntövaiheen alussa pienempi lonkkakulma kuin miehillä (Jonsson ym. 2019), mutta havaittu miesten suurempi polvikulma työntövaiheen alussa on linjassa maastohiihdon puolella tehdyn tutkimuksen kanssa (Jonsson ym. 2019). Miesten tasatyöntönopeus tässä tutkimuksessa oli naisten nopeutta suurempi ja työntövaiheen alun polvi- ja lonkkakulmien on maastohiihdon puolella havaittu laskevan nopeuden lisääntyessä (Lindinger & Holmberg 2011; Lindinger ym. 2009).

## 9.2 Suoritustasojen väliset erot

Nopeammat miehet eli sijoilla 1.–6. olleet kilpailijat hiihtivät ratapituuteen ja hiihdettyyn matkaan suhteutettuna nopeampaa kuin hitaammat eli sijoilla 7.–12. olleet kilpailijat. Lopputuloksissa nopeimmilla miehillä on tietysti ollut ratapituuteen suhteutettuna suurin nopeus, koska heidän loppuaikansa on ollut pienin ja ratapituus on kaikilla miehillä ollut sama. Syklin nopeudessa ja rastivälinopeudessa ryhmien välillä ei kuitenkaan ollut merkitseviä eroja, mutta tarkasteltaessa ryhmien keskinopeuksia, hitaampien miesten ryhmä (sijat 7.-12.) hiihti suuremmalla syklin nopeudella ( $16.6.0 \pm 1.15$  km/h) kuin nopeampien miesten ryhmä (sijat 1.-6.) ( $15.91 \pm 2.05$  km/h). Hiihtosuunnistuksessa yhden rastivälin nopeus ei ratkaise lopputulosta eikä nopein hiihtäjä välttämättä voita kilpailua, joten lopputulos ei välttämättä kerro paljoa urheilijan hiihtovauhdista maaston eri kohdissa. Lisäksi tarkastelu tapahtui vain yhdellä rastivälillä, jolloin urheilijan vauhdinjaolla on myös merkitystä hiihtonopeuteen kyseisellä rastivälillä. Tarkasteltu rastiväli oli todella yksinkertainen, joten osa urheilijoista on esimerkiksi voinut helpolla rastivälillä yrittää kiriä takaisin aikaisempiin virheisiinsä menettämää aikaa. Lisäksi urheilijoilla on erilaisia vahvuuksia, jolloin toiset etenevät kovalla vauhdilla ja sujuvasti tiheässä uraverkostossa suunnistuksen ollessa vaativaa ja ovat tällaisilla rastiväleillä nopeimpia, kun taas yksinkertaisilla ja hiihtovauhtia vaativilla rastiväleillä he eivät yleensä ole rastivälin nopeimpia. Toiset puolestaan hiihtävät erittäin kova selkeillä rastiväleillä ja ovat näillä rastiväleillä kilpailuin nopeimpia, mutta mahdollisesti tekevät kilpailun aikana enemmän virheitä tai heidän etenemissensä vaativammilla rastiväleillä on epävarmempaa.

### 9.3 Muutokset kilpailun aikana

Vertailtaessa muutoksia tasatyönnön biomekaniikassa kilpailun aikana, naisilla ei tapahtunut tekniikassa merkitseviä muutoksia kierrosten välillä. Miehet puolestaan hiihtivät toisella kierroksella rastivälin ja kuvausalueen nopeammin kuin ensimmäisellä kierroksella. Lisäksi miehillä työntövaiheen absoluuttinen ja suhteellinen kesto olivat toisella kierroksella lyhyempiä. Miehet siis eivät käyttäneet positiivista vauhdinjakoa, eli heidän hiihtonopeutensa ei hidastunut kilpailun edetessä. Heidän vauhdinjakonsa oli mahdollisesti negatiivinen (eli loppua kohti kiihtyvää), parabolinen tai vaihteleva (Abbis & Laursen 2008).

Nopeammilla miehillä rastivälinopeus oli toisella kierroksella suurempi sekä työntövaiheen kesto lyhyempi kuin ensimmäisellä kierroksella. Rastivälinopeus oli toisella kierroksella nopeampi sekä nopeammilla että hitaammilla miehillä, jonka lisäksi nopeammilla miehillä työntövaiheen kesto ja hitaammilla miehillä syklin kesto olivat lyhyempiä toisella kierroksella kuin ensimmäisellä. Maastohiihdon puolella tasatyönnön syklin keston on havaittu lyhenevän väsymyksen myötä (Stöggl & Müller 2009) ja erityisesti hitaammilla hiihtäjillä on havaittu haasteita ylläpitää syklin frekvenssiä väsymyksen myötä (Welde ym. 2017). Hitaammat hiihtäjät ovat siis voineet olla nopeampia hiihtäjiä väsyneempiä toisella kierroksella. Hitaammilla miehillä polvikulman maksimi oli toisella kierroksella pienempi kuin ensimmäisellä.

### 9.4 Nopeuteen yhteydessä olevat tekijät

Koko kilpailun hiihto- tai ratanopeuteen yhteydessä olevia tekijöitä olivat miesten puolella palautusvaiheen suhteellinen kesto, sauva-, lonkka- ja keskivartalokulma työntövaiheen alussa, keskivartalon kulman maksimiarvo, polvikulman minimikulma sekä työntövaiheen absoluuttinen ja suhteellinen kesto. Naisten puolella hiihto- tai ratanopeuteen yhteydessä olivat syklin pituus, työnnön pituus sekä lonkkakulma työntövaiheen alussa. Nämä tekijät ovat siis yhteydessä koko kilpailusuoritukseen, jonka aikana urheilijat ovat edenneet muillakin hiihtotekniikoilla ja voineet tehdä virheitä sekä edetä eri reittejä pitkin. Miesten puolella koko kilpailussa kovempaa hiihtäneillä on siis ollut kuvausalueella tasatyöntöön lähdeittäessä pystympi asento.



Tarkasteltaessa nopeutta rastivälillä, kuvausalueella tai yhden syklin aikana, miesten tasatyöntönopeuteen olivat yhteydessä syklin pituus, työntö- ja palautusvaiheiden kestot sekä lonkkakulmat. Naisten puolella rastiväli-, alue- tai syklin nopeuteen yhteydessä olevia tekijöitä olivat syklin kesto, työntö- ja palautusvaiheiden absoluuttiset kestot, palautusvaiheen suhteellinen kesto sekä polvikulman minimiarvo ja polvikulma kontaktin alussa. Suuremmalla nopeudella tasatyöntäneet naiset hiihtivät siis koukistuneemmilla polvilla, suuremmalla frekvenssillä, lyhyemmällä työntövaiheen kestolla sekä pidemmällä palautusvaiheen kestolla. Maastohiihdossa hiihtonopeuden säätely tapahtuu muuttamalla syklin frekvenssiä sekä työntön pituutta (Lindinger ym. 2009). Nopeampaa tasatyöntäneillä miehillä syklin pituus oli suurempi eli he tuottivat enemmän eteenpäin vievää voimaa suhteellisesti lyhyemmän työntövaiheen aikana. Lisäksi he hyödynsivät tehokkaammin alaraajojen nivelten liikkeitä työntövoiman tuottamisessa ojentamalla lonkkakulmansa suuremmaksi palautusvaiheen aikana ja koukistamalla sitä tehokkaasti jo työntövaiheeseen valmistauduttaessa, koska alaraajojen aktiivinen koukistus-ohjennusmalli on yhteydessä pieneen lonkkakulmaan työntövaiheen alussa (Holmberg ym. 2005).

## 9.5 Vertailu maastohiihtoon

Tutkitun tasatyöntösyklin nopeus naisilla oli tässä tutkimuksessa  $13.68 \pm 1.58$  km/h ja miehillä  $16.24 \pm 1.66$  km/h. Verrattaessa näiden syklien ominaisuuksia maastohiihdon tasatyöntön puolelta saatuihin tuloksiin, hiihtivät urheilijat Zoppirollin ym. (2019) tutkimuksessa 14 km/h nopeudella, jolloin syklin kesto oli  $1.37 \pm 0.12$  s ja työntövaiheen kesto  $0.42 \pm 0.03$  s. Tässä tutkimuksessa vastaavalla nopeudella hiihtäneiden naisten syklin kesto oli  $0.97 \pm 0.12$  s eli selvästi lyhyempi kuin Zoppirollin ym. (2019) tutkimuksessa kun taas työntövaiheen kesto  $0.44 \pm 0.08$  s on lähellä Zoppirollin ym. (2019) tuloksia. Miesten hiihtonopeus vastaa Zoppirollin ym. (2019) tutkimuksessaan käyttämää 16 km/h nopeutta sekä Nilssonin ym. (2013) käyttämää 17 km/h nopeutta. Zoppirollin ym. (2019) tutkimuksessa syklin kesto oli  $1.22 \pm 0.09$  s ja työntövaiheen kesto  $0.36 \pm 0.03$  s kun taas Nilssonilla ym. (2013) syklin kesto oli 1.08 s. Nämä eroavat selvästi tässä tutkimuksessa todetusta  $0.99 \pm 0.99$  s syklin kestosta sekä  $0.43 \pm 0.05$  s palautusvaiheen kestosta. Zoppirollin ym. (2019) ja Nilssonin ym. (2013) tutkimuksissa urheilijat rullahiihtivät tasatyöntöä tasaisella ( $1^\circ$ ) matolla, kun taas tässä tutkimuksessa maaston jyrkkyys oli  $4^\circ$ . Maaston kaltevuuden lisääntyessä syklin keston on havaittu lyhentyvän (Millet ym. 1998b; Stöggl & Holmberg 2016). Myös alustan ja suksen välistä kitkaa jäljittelevän vastuksen

lisääntyessä syklin pituus lyhenee ja työntövaiheen suhteellinen kesto pidentyy (Nilsson ym. 2013). Hiihtosuunnistaessa urheilijoilla ei ole kapeilla urilla käytössään latukoneen tekemää liukasta latu-uraa, joten alustan ja suksen välinen kitka on mahdollisesti suurempi.

Tässä tutkimuksessa havaitut syklin aikaiset lonkkanivelen kulmat ovat selvästi pienempiä kuin maastohiihdon puolella rullahiihtäen ( $1^\circ$  ja  $7^\circ$ ) saadut tulokset (taulukko 5). Myös Jonssonin ym. (2019) maastohiihdon perinteisen tyylin hiihtokilpailun aikaiset tulokset ovat selvästi pienempiä kuin laboratorio-olosuhteissa rullahiihtäen saadut nivelkulmat. Tässä tutkimuksessa lonkkakulma työntövaiheen alussa oli naisilla  $127 \pm 7^\circ$  ja miehillä  $120 \pm 5^\circ$  kun Jonssonilla ym. (2019) se oli naisilla  $108 \pm 8^\circ$  ja miehillä  $113 \pm 6^\circ$ . Jonssonin ym. (2019) tutkimuksessa hiihtovauhti oli kuitenkin merkittävästi suurempi (22.2 km/h ja 25.7 km/h) ja kaltevuus pienempi ( $-0.3^\circ$ ). Lindingerin ym. (2009) 15 km/h nopeudella ( $1^\circ$ ) tehdyssä tutkimuksessa lonkkakulma työntövaiheen alussa oli  $153 \pm 14^\circ$  ja työntövaiheen lopussa  $118 \pm 12^\circ$ . Hiihtosuunnistuksessa urheilija käyttää tasatyönnössä pidempiä sauvoja kuin maastohiihtäjä perinteisen tyylin kilpailussa. Pidemmillä sauvoilla tasatyönnettäessä urheilijoilla on havaittu ojentuneemat lonkkanivelet työntövaiheen alussa ja lopussa (Carlsen ym. 2018).

Polvikulmien osalta tässä tutkimuksessa saadut tulokset vastasivat lonkkakulmia paremmin maastohiihdon tasatyönnön polvikulmia ( $-0.3^\circ$ ,  $1^\circ$  ja  $7^\circ$ ) (taulukko 4). Polvikulma työntövaiheen alussa oli tässä tutkimuksessa  $144 \pm 7^\circ$  ja polvikulma työntövaiheen lopussa  $128 \pm 10^\circ$ . Läpi käydyistä tutkimuksista oli suurta vaihtelua polvikulmien osalta ja pienin polvikulma työntövaiheen alussa oli Stöggli & Holmberg (2016) tutkimuksessa, jossa se oli  $124 \pm 11^\circ$  tasatyönnettäessä 28.5 km/h nopeudella. Suurin polvikulma puolestaan oli Lindinger ym. (2009) tutkimuksessa, jossa se oli  $161 \pm 9^\circ$  9 km/h nopeudella. Työntövaiheen lopun suuri polvikulma löytyi Lindingerin ja Holmbergin (2011) tutkimuksesta, jossa hiihrettiin 12 km/h nopeudella ja polvikulma oli  $153 \pm 9^\circ$  työntövaiheen lopussa ja pienin Stögglin ja Holmbergin (2016) tutkimuksesta, jossa se oli  $92 \pm 7^\circ$  hiihdettyäessä 28.5 km/h nopeudella.

## 9.6 Tutkimuksen rajoitukset

Tutkimusasetelmassa oli monia rajoittavia tekijöitä, joiden myötä tuloksissa voi esiintyä virheitä. Ensinnäkin koehenkilöiden määrä oli pieni, sillä koehenkilöitä oli yhteensä 17, joista 5 naisia ja 12 miehiä. Jokaiselta urheilijalta analysoitiin kaksi eri kierroksilla tapahtunutta tasatyöntösykliä, joten tarkasteltuja syklejä oli yhteensä 34. Kaikki pääsarjojen kilpailijat kuvattiin tutkimusalueella, mutta tarkasteluun valittiin vain kansainvälistä ja kansallista kärkeä edustavat urheilijat. Tasatyöntösyklejä tarkastellessa oli tarkoitus käyttää kolmen peräkkäisen kuvausalueelle sijoittuneen syklin keskiarvoja, mutta nivelkulmien tarkastelu kuvausalueen laidoilla todettiin epäluotettavaksi ja tämän vuoksi päädyttiin käyttämään vain kuvausalueen keskellä tapahtunutta tasatyöntösykliä. Tämän vuoksi tässä tutkimuksessa tarkastellut nivelkulmat ja tasatyöntösyklin muuttujat eivät ole kovin luotettavia, koska ne perustuvat vain yhteen tasatyöntösykliin. Erityisesti hiihtosuunnistuksessa hiihtoalusta ja -nopeus vaihtelevat jatkuvasti ja peräkkäiset syklin voivat olla ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia. Vaikka nivelkulmista saatiin käyttöön vain yksi tasatyöntösykli kameran kuvauskulman vuoksi, olisi näin jälkikäteen ajateltuna tasatyöntösyklin muita muuttujia kuitenkin voinut tarkastella kolmen peräkkäisen työnnön keskiarvoina luotettavuuden lisäämiseksi.

Tutkimus toteutettiin Sodankylässä joulukuussa, joka tarkoittaa, että saatavilla oleva luonnonvalon määrä oli rajallista. Valon vähäisyyden vuoksi videokuva oli hieman epätarkkaan ja erityisesti tummia kilpailuasuja käyttäneiden urheilijoiden nivelpisteiden määrittäminen videokuvasta oli haastavaa vasten tummaa taustaa. Valon vähyys ja tummat vaatteet tekivät ylävartalon nivelkulmien määrittämisen mahdottomaksi, joten ne jätettiin kokonaan pois tarkastelusta. Kuvaaminen pelkästään sagittaalitasosta eli sivusta katsottuna oli myös rajoittava tekijä. Kuvaaminen myös edestä tai takaa olisi antanut lisää tietoa urheilijan alaraajojen käytöstä tasatyönnön aikana. Osa urheilijoista nimittäin työskenteli alaraajoilla epäsymmetrisestä (kuva 14) ja teki työntöä tehostaakseen mahdollisuuksien mukaan toisella alaraajalla kapeaa sivuttaispotkua tai vei toista alaraajaa edemmäs tai taemmas kuin toista. Tämä alaraajojen epäsymmetrinen työskentely teki myös alaraajojen nivelkulmien määrittämisestä epäluotettavampaa, sillä kaikki urheilijat eivät hiihtäneet tutkimusalueella puhtaasti tasatyöntöä. Urheilijan viedessä toista alaraajaa eteen, taakse tai sivulle tasatyöntämisen aikana, käytettiin digitoinnissa tukijalkana

toimineen alaraajan nivelkulmia, jotka ovat voineet olla hyvinkin erilaisia kuin mitä ne olisivat olleet symmetrisessä alaraajatyöskentelyssä.



KUVA 14. Esimerkkejä urheilijoiden käyttämistä erilaista tasatyöntötekniikoista.

Olosuhteet rajoittivat myös sauvakontaktin ja sauvojen liikeradan analysoinnin luotettavuutta, sillä sauvakontaktia lumen kanssa ei nähty korkean uran reunan vuoksi eikä käytössä ollut sauvavoimista kertovia antureita. Videokuvasta kyllä erotti selvästi tärähdyksen sauvoissa sauvojen osuessa maahan, mutta sauvakontaktin päättymisen havaitseminen oli haastavampaa. Myöskään sauvakontaktin sijaintia suhteessa esimerkiksi nilkkaniveleen ei voitu tutkia uran korkean reunan vuoksi. Lisäksi osalla urheilijoista sauvakontakti tapahtui hieman eri aikaan sauvoilla.

Tutkimuksessa analysoitiin tasatyöntötekniikkaa ja urheilijan etenemistä vain yhdellä rastivälillä, eikä vertailussa otettu huomioon tapahtumia muiden rastivälien aikana. Yksi lyhyt ja yksinkertainen rastiväli ei todennäköisesti kerro paljoa hiihtosuunnistajan kokonaissuorituksesta. Urheilijoiden asenne, taktiikka ja vauhdinjako on voinut olla hyvinkin erilaista kyseisellä rastivälillä toisten hiihtäessä helpon rastivälin kovaa ja toisten mahdollisesti hiihtäen maltillisemmin ja samalla valmistautuessa tuleviin rastiväleihin. Kyseessä oli pitkäkestoinen kestävyys-suoritus eivätkä urheilijat todennäköisesti ole hiihtäneet kyseisellä rastivälillä maksimaalisella vauhdilla. Urheilijat ovat todennäköisesti ensimmäisellä kierroksella edenneet taloudellisesti, koska kilpailua on ollut vielä paljon jäljellä, kun taas toisella kierroksella maaliin on ollut enää muutama kilometri, jolloin voimia ei ole enää tarvinnut säästellä yhtä paljoa.

Maastohiihdon tasatyöntötekniikkaan verrattaessa hiihtosuunnistuksessa on hyvinkin erilaiset olosuhteet. Suuri osa maastohiihdon tasatyönnön tutkimuksista on tehty matolla rullahihtäen sekä suurilla nopeuksilla hiihtäen. Matolla rullahihdossa urheilijalla ei ole käytettävissä latu-uraa, kuten ei hiihtosuunnistuksessakaan, mutta matolla urheilijalla on koko ajan tasainen ja kova alusta kun taas hiihtosuunnistuksessa alusta kovuus vaihtelee ja alusta on epätasainen. Tässä tutkimuksessa käytetyt hiihtonopeudet olivat hitaita verrattuna suurimpaan osaan maastohiihtotutkimuksista.

Koehenkilöt hiihtivät kaikki omilla välineillään eikä välineiden ominaisuuksia kartoitettu tutkimuksessa. Ei siis ole tietoa urheilijoiden välisistä eroista esimerkiksi suksien luistossa tai sauvojen pituudessa. Lisäksi uran olosuhteet ovat voineet muuttua kilpailun kuluessa esimerkiksi ladun liippautuessa tai pehmetessä hiihtäjien myötä.

## **9.7 Johtopäätökset**

Sukupuolten ja suoritusasteiden väliltä löytyi eroja tasatyönnön biomekaniikassa, ja ne ovat pitkälti saman kaltaisia kuin erot maastohiihdon tasatyönnön puolella. Urheilijoiden käyttämä vauhdinjako suorituksen aikana erosi maastohiitokilpailuissa havaitusta positiivisesta vauhdinjaosta, sillä naisten osalta ei ollut eroja rastivälin hiihtonopeudessa ensimmäisen ja toisen kierroksen välillä, kun taas miehet hiihtivät rastivälin suuremmalla nopeudella toisella kierroksella kuin ensimmäisellä kierroksella. Pidempi syklin pituus ja lyhyempi suhteellinen työntövaiheen kesto ovat yhteydessä tasatyöntön nopeuteen hiihtosuunnistuksessa. Tämä tutkimus oli tiettävästi ensimmäinen tutkimus hiihtosuunnistuksen tasatyönnön biomekaniikasta ja aiheesta riittää vielä paljon tutkittavaa. Mielenkiintoista olisi ainakin tutkia tasatyönnön ”alatekniikoiden” eli jalkojen epäsymmetrisen työskentelyn välisiä eroja tasatyöntötekniikan kinematiikassa. Erityisesti alaraajojen nivelkulmien vertailu sivulle suuntautuvan potkun, eteen viedyn toisen jalan, taakse potkaisun sekä symmetrisen jalkatyöskentelyn välillä olisi mielenkiintoista.

## LÄHTEET

- Abbis, C. R. & Laursen, P. B. (2008). Describing and Understanding Pacing Strategies during Athletic Competition. *Sports Med* 2008: 38 (3): 239-252.
- Bilodeau, B., Rundell, K. W., Roy, B. & Boylay, M. R. (1996) Kinematics of cross-country ski racing. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 28: 128-138.
- Bojsen-Møller, J., Losnegard, T., Kempainen, J., Viljanen, T., Kalliokoski, K. K. & Hallén, J. (2010). Muscle use during double poling evaluated by positron emission tomography. *J Appl Physiol* 109: 1895-1903.
- Bolger, C. M., Kocbach, J., Hegge, A. M. & Sandbakk, Ø. (2015). Speed and Heart-Rate Profiles in Skating and Classical Cross-Country Skiing Competitions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2015 (10): 873-880.
- Bucher, E., Sandbakk, Ø., Donath, L., Roth, R., Zahner, L. & Faude, O. (2018). Exercise-induced trunk fatigue decreases double poling performance in well-trained cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology* 2018 (118): 2077-2087.
- Carlsen, C., Rud, B., Myklebust, H. & Losnegard, T. (2018). Pole lengths influence O<sub>2</sub>-cost during double poling in highly trained cross-country skiers. *European Journal of Applied Physiology*, 118: 271-281.
- International Ski and Snowboard Federation, FIS. (2023). The International Ski Competition Rules (ICR). Book II, Cross-Country, October 2023. Viitattu 22.6.2024. <https://www.fis-ski.com/cross-country/documents#Competition:%20Rules%20and%20Regulations> .
- Hansen, E. & Losnegard, T. (2010). Pole length affects cross-country skiers' performance in an 80-m double poling trial performed on snow from standing start. *Sports Eng*, 12: 171-178.
- Hegge, A., Bucher, E., Ettema, G., Faude, O., Holmberg, H.-C. & Sandbakk, Ø. (2016). Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling. *Eur J Appl Physiol*, 116: 291-300.

- Hegge, A., Myhre, K., Welde, B., Holmberg, H.-C. & Sandbakk, Ø. (2015). Are Gender Differences in Upper-Body Power Generated by Elite Cross-Country Skiers Augmented by Increasing the Intensity of Exercise? *PLoS ONE* 10(5): e0127509.
- Hoff, J., Helgerud, J. & Wisløff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 31: 870-877.
- Hoffman, M., Clifford, P. & Bender, F. (1995). Effect of Velocity on Cycle Rate and Length for Three Roller Skiing Techniques. *Journal of Applied Biomechanics* 11: 257-266.
- Holmberg, H.-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. & Müller, E. (2005). Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 37(5): 807-818.
- Holmberg H.-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Björklund, G. & Müller, E. (2006). Contribution of the Legs to Double-Poling Performance in Elite Cross-Country Skiers. *Med Sci Sports Exec* 38(10): 1853-1860.
- International Orienteering Federation, IOF. (2019). ISSkiOM 2019, International Specification for Ski Orienteering Maps. Viitattu 1.7.2022. <https://orienteering.sport/iof/mapping/mc-archive/> .
- International Orienteering Federation, IOF. (2021). IOF Ski Orienteering Rules dec 2021 v1.16. Viitattu 17.2.2020. <https://orienteering.sport/skio/competition-rules/> .
- International Orienteering Federation, IOF. (2022). Ski Orienteering. Viitattu 27.6.2022. <https://orienteering.sport/skio/> .
- Jonsson, M., Welde, B. & Stöggl, T. (2019). Biomechanical differences in double poling between sexes and level of performance during a classical cross-country skiing competition. *Journal of Sports Sciences* 37(14): 1582–1590.
- Juutilainen, A. (1991). Hiihtosuunnistus. 1.painos. Helsinki: Suomen Suunnistusliitto.
- Kvåle, H. J. (2012). Ski Orienteering Training Handbook. Version 1.0. <https://www.oeffol.at/wp-content/uploads/2018/09/SkiO-training-Handbook.pdf> .
- Lindinger, S. J. & Holmberg, H.-C. (2011). How do elite cross-country skiers adapt to different double poling frequencies at low to high speeds? *Eur J Appl Physiol* 111: 1103-1119.
- Lindinger, S. J., Stöggl, T., Müller, E. & Holmberg, H.-C. (2009). Control of Speed during the Double Poling Technique Performed by Elite Cross-Country Skiers. *Med Sci Sports Exec* 41(1): 210-220.

- Losnegard, T., Myklebust, H., Skattebo, Ø., Stadheim, H., Sandbakk, Ø. & Hallén, J. (2017). The Influence of Pole Length on Performance, O<sub>2</sub> Cost, and Kinematics in Double Poling. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 12: 211-217.
- Losnegard, T., Tosterud, O. K., Trøen, E., Carlsen, C. H., Paulsen, G. & Rud, B. (2019). The influence of pole lengths on O<sub>2</sub>-cost, kinematics, and performance in double poling at high speeds before and after a training period with long poles. *European Journal of Applied Physiology* 119: 2579-2587.
- Mikkola, J., Laaksonen, M. S., Holmberg, H.-C., Nummela, A. & Linnamo, V. (2013). *Sports Biomechanics* 12(4): 355-364.
- Millet, G., Hoffman, M., Candau, R. & Clifford, P. (1998a). Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 30(11): 1645-1653.
- Millet, G., Hoffman, M., Candau, R. & Clifford, P. (1998b). Poling forces during roller skiing: effects of grade. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(11): 1637-1644.
- Nilsson, J., Jakobsen, V., Tveit, P. & Eikrehagen, O. (2003). *Sports Biomechanics* 2(2): 227-236.
- Nilsson, J., Tveit, P. & Eikrehagen, O. (2004). Effects of Speed on Temporal Patterns in Classical Style and Freestyle Cross-Country Skiing. *Sports Biomechanics* 3(1): 85-108.
- Nilsson, J., Tinmark, F., Halvorsen, K. & Arndt, A. (2013). Kinematic, kinetic and electromyographic adaptation to speed and resistance in double poling cross country skiing. *Eur J Appl Physiol* 113: 1385-1394.
- Onasch, F., Killick, A. & Herzog, W. (2017). Is there an Optimal Pole Length for Double Poling in Cross Country Skiing? *Journal of Applied Biomechanics* 33: 197-202.
- Pellegrini, B., Sandbakk, Ø., Stöggl, T., Supej, M., Ørtenblad, N., Schürer, A., Steiner, T., Lunina, A., Manhard, C., Liu, H., Ohtonen, O., Zoppirolli, C. & Holmberg, H.-C. 2021. Methodological Guidelines Designed to Improve the Quality of Research on Cross-Country Skiing. *Journal of Science in Sports and Exercise*, 3: 207-223.
- Sandbakk, Ø., Ettema, G. & Holmberg, H.-C. (2014). Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 24: 28-33.

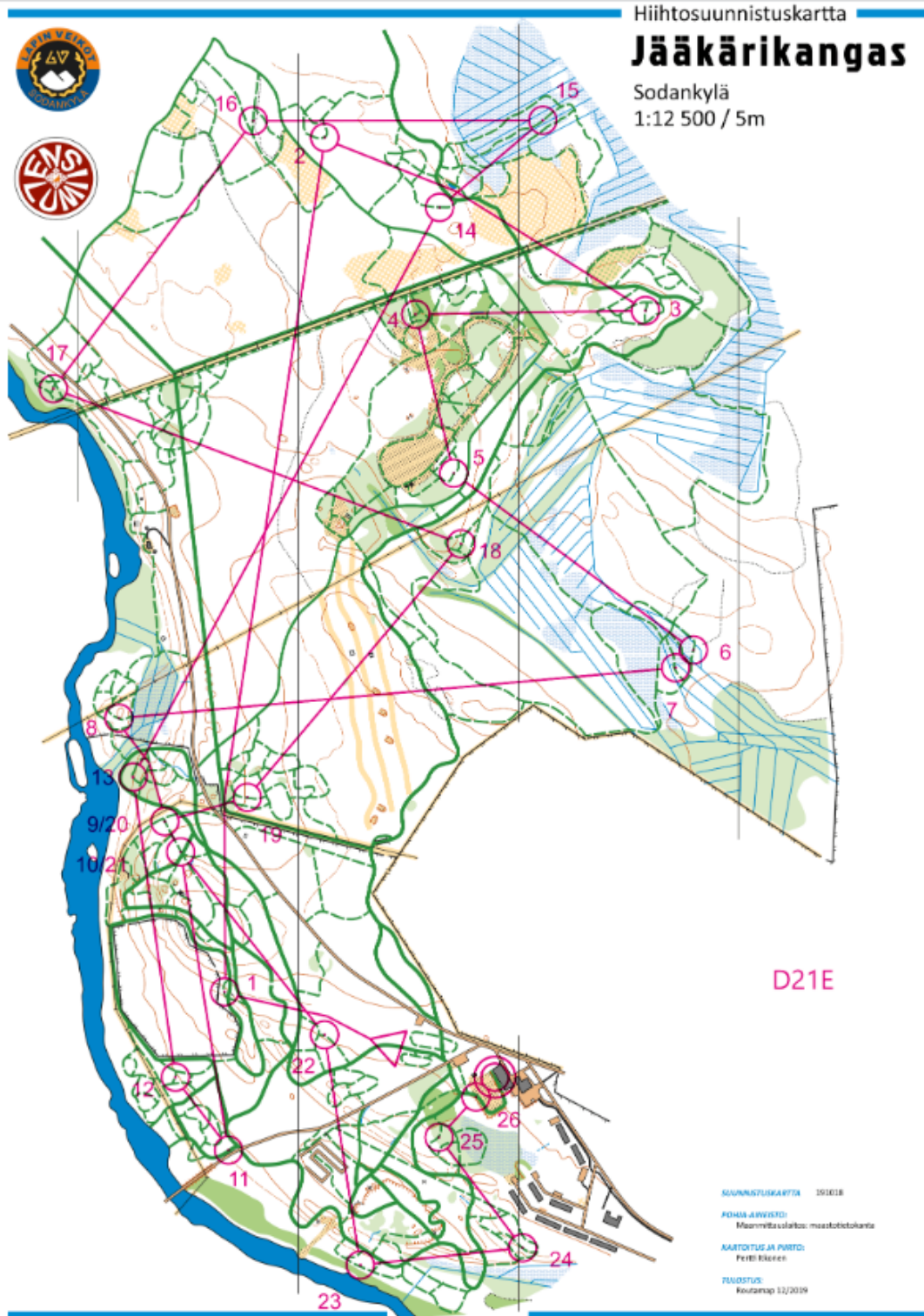


- Sandbakk, Ø., Hegge, A., Losnegard, T., Skattebo, Ø., Tønnessen, E. & Holmberg, H.-C. (2016). The Physiological Capacity of the World's Highest Ranked Female Cross-country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48(6): 1091–1100.
- Sipilä, J. (2014). Hiihtosuunnistuksen lajiantalyysi ja valmennuksen ohjelmointi. Jyväskylän yliopisto. Liikuntabiologian laitos. Valmentajaseminaarityö.
- Smith, G. A., Fewster, J. B. & Braudt, S. M. (1996). Double Poling Kinematics and Performance in Cross-Country Skiing. *Journal of Applied Biomechanics* 12: 88-103.
- Ståhl, J., Lansson, R. & Holmberg, H.-C. (2024). Ski-orienteeing: a scientific perspective on a multi-dimensional challenge. *Sport Sciences of Health*. <https://doi.org/10.1007/s11332-024-01199-4>
- Stöggl, T. & Holmberg, H.-C. (2011). Force interaction and 3D pole movement in double poling. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21: 393-404.
- Stöggl, T. & Holmberg, H.-C. (2016). Double-Poling Biomechanics of Elite Cross-Country Skiers: Flat versus Uphill Terrain. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48(8): 1580-1589.
- Stöggl, T. & Müller, E. (2009). Kinematic Determinants and Physiological Response of Cross-Country Skiing at Maximal Speed. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41(7): 1476-1487.
- Stöggl, T., Lindinger, S. & Müller, E. (2007). Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 17: 362-372.
- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M. & Holmberg, H.-C. (2011). General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross-country skiing? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 21: 791-803.
- Stöggl, T., Welde, B., Supej, M., Zoppirolli, C., Rolland, C. G., Holmberg, H.-C. & Pellegrini, B. (2018). Impact of Incline, Sex and Level of Performance in Kinematics during a Distance Race in Classical Cross-Country Skiing. *Journal of Sports Science and Medicine* 17: 124-133.
- Welde, B., Stöggl, T., Mathisen, G., Supej, M., Zoppirolli, C., Winther, A., Pellegrini, B. & Holmberg, H.-C. (2017). The pacing strategy and technique of male cross-country skiers with different levels of performance during a 15-km classical race. *PLoS ONE* 12(11): e0187111.

- Zoppirolli, C., Holmberg, H.-C., Pellegrini, B., Quaglia, D., Bortolan, L. & Schena, F. (2013). The effectiveness of stretch-shortening cycling in upper-limb extensor muscles during elite cross-country skiing with the double-poling technique. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 23: 1512-1519.
- Zoppirolli, C., Pellegrini, B., Bortolan, L. & Schena, F. (2015). Energetics and biomechanical of double poling in regional and high-level cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol* 115: 969-979.
- Zoppirolli, C., Pellegrini, B., Modena, R., Savoldelli, A., Bortolan, L. & Schena, F. (2017). Changes in upper and lower body muscle involvement at increasing double poling velocities: an ecological study. *Scand J Med Sci Sports* 27: 1292-1299.
- Zoppirolli, C., Bortolan, L., Schena, F. & Pellegrini, B. (2020). Double poling kinematic changes during the course of a long-distance race: effect of performance level. *Journal of Sports Sciences* 38(8): 863–872.

# LIITTEET

LIITE 1: Naisten pääsarjan (D21E) kilpailukartta.



LIITE 2: Miesten pääsarjan (H21E) kilpailukartta.

