

**ERI TOIMINTAPERIAATTEEN MUKAISIEN PERINTEISEN HIIHDON
SUKSIEN PITO- JA LUISTO-OMINAISUUKSIEN VERTAILU**

Topi Kiljunen

Biomekaniikan Pro Gradu-tutkielma

kevät 2019

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Ohjaajat:

Vesa Linnamo

Olli Ohtonen

TIIVISTELMÄ

Kiljunen, T. 2019. Eri toimintaperiaatteen mukaisien perinteisen hiihdon suksien pito- ja luisto-ominaisuuksien vertailu. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, biomekaniikan pro gradu -tutkielma, 92 s. 1 liite.

Suksi- ja voideteollisuus ovat viime vuosina kehittäneet erilaisia menetelmiä, joilla on pyritty korvaamaan normaali pitovoitelu. Yleisimmät tunnetut pitovoitelun korvaamiseen suunnitellut sukset ovat pitokarva- ja nanosukset. Voideteollisuus taas on kehittänyt pitoteipin helpottamaan kuntohiittäjän suksien pitovoitelua. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää näiden yleisimpien käytössä olevien pitovoitelun korvaavien menetelmien vaikutus suksien pito- ja luisto-ominaisuuksiin sekä hiittäjän voimantuottokykyyn erilaisissa olosuhteissa.

Kenttämittauksien kuivan vanhan lumen sekä kostean vanhan lumen olosuhteiden mittaukset suoritettiin Vuokatin latureitistöllä ja kuivan keinolumen olosuhteen mittaukset Vuokatin hiihtotunnelissa. Laboratoriomittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopiston Vuokatin toimipisteen yhteyteen rakennetussa kylmäkontissa kuivan vanhan lumen ja kostean vanhan lumen olosuhteissa. Kenttätutkimuksiin osallistui kaksi aktiivisesti kuntohiittävää vapaaehtoista koehenkilöä kahdesta eri painoluokasta (75 ja 85 kg). Tutkittavina suksipareina olivat molempien painoluokkien osalta normaalisti voidellut sukset, pitoteippi-, pitokarva- ja nanosukset. Kenttämittausten luisto- ja pitotestit suoritettiin väliaikamittauksina valokennojen avulla tasaisen nousukulman (latureitistöllä $4,4^\circ$ ja hiihtoputkessa 4°) maastonkohdassa. Luistomittaukset toteutettiin vauhdittomalla lähdöllä normaalilla laskutekniikalla ja pitomittaukset suoritettiin sauvoitta hiihtona maksimaalisena suorituksena. Pitomittauksen ajaksi suksiin kiinnitettiin myös sidevoima-anturit (Jyväskylän yliopisto), joiden avulla pystyttiin mittaamaan potkun syklin vaiheiden muuttujat sekä jalkojen voimantuotto. Laboratoriomittaukset toteutettiin lineaaribrometrin (Jyväskylän yliopisto), eli niin kutsutun suksitesterin avulla. Suksitesterin mittausten perusteella jokaiselle suksiparille saatiin muodostettua keskimääräinen lepo- ja liikekitkan arvo eri mittaolosuhteissa.

Tutkimuksen päätuloksia olivat: (1) Lumen kosteus vaikuttaa suksien toimintaan ja niiden välisiin eroihin. Nanosuksen luistotestin aika lyheni kostean vanhan lumen olosuhteessa jopa 66,6% ja vastaavasti pitoteipatun suksen vaakasuuntainen voimantuotto tippui jopa 54,7% verrattuna kuivan keinolumen olosuhteeseen. Muiden suksien osalta erot eivät olleet yhtä huomattavia. (2) Paremmiin toimivaihtoehtoihin mahdollistavat suuremman voimantuoton maksimaalisessa suorituksessa. Suurimmat voimantuoton erot mitattiin kostean vanhan lumen olosuhteessa 75 kilon painoluokassa, missä heikoimmin pitävällä pitoteippisuksien pysty- sekä vaakasuuntaisen maksimaalisen voimantuoton arvot olivat 836N ja 113N kun taas vastaavasti parhaimmin pitäneen nanosuksiparin arvot olivat 1088N ja 331N. (3) Suksitesterin tulokset olivat yhtenevät kenttämittauksissa saatujen tuloksien kanssa.

Normaalisti voideltu suksi on edelleen paras vaihtoehto eri keliolosuhteissa, mutta helppohoitaiset pitokarvasukset ovat myös hyvä vaihtoehto kuntohiittäjälle. Toisaalta taas pitoteipin avulla saadaan toteutettua riittävän hyvä pito karkealle pakkaslumelle ja keinolumen olosuhteisiin. Nanosuksen luiston ero pieneni verrattuna muihin suksiin lumen kosteuden kasvaessa sekä kenttä- että laboratoriomittauksissa. Moni kuntohiittäjä toivoo perinteisen hiihdon suksiltaan hyvää pitoa ja niiden huoltaminen ei saisi viedä liikaa aikaa. Tämän vuoksi suksivalintaa tehtäessä onkin hyvä miettiä millaiseen käyttöön ja olosuhteeseen sukset tulevat.

Avainsanat: maastohiihto, lepokitka, liikekitka, voitelu, voimantuotto

ABSTRACT

Kiljunen, T. 2019. Comparison of gliding and grip properties of different types classical cross-country skis. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis in Biomechanics, 92 p. 1 attachment.

The cross-country ski and the ski wax industries have developed various methods that have been made to replace the normal grip waxing. The most common kick wax free classic style skis are skin-skis and nanogrip skis. Whereas the ski wax industry has developed grip tape to ease the grip waxing of the classic style skis. The aim of this study was to examine how these new developed skis and the grip tape influence on the skis' gliding and grip properties and to the skiers' leg force production in different snow condition.

The dry old snow and the wet old snow field tests were carried out on Vuokatti ski tracks and the dry artificial snow field test was carried out on Vuokatti ski-tunnel. The laboratory tests were carrying out in the University of Jyväskylä Sports Technology Unit in a specific cold laboratory at the dry and the wet old snow conditions. Two active cross-country skiing volunteer subjects participated in the field tests from two different weight class (75 kg and 85 kg). Both subjects had the same four pairs of skis in their own weight class. Used pairs of skis were normally grip waxed skis, grip tape skis, skin skis and nanogrip skis. In the field tests both the grip and the gliding properties were collected on a same terrain point on a constant 47,5 meter up- or downhill (in the ski track 4,4° and in the ski tunnel 4°) zone. In the glide tests skiers slid down the downhill in a normal downhill position and in the grip test skiers skied up the uphill by diagonal style without poles as a maximum performance. The grip and the gliding interval times were measured with the photocell timing system (Spin Test Oy) and in the grip tests the cycle characteristics and the legs force production were collected with the force plate attached to ski bindings (University of Jyväskylä). In the laboratory test all the skis were tested with the special linear tribometer (University of Jyväskylä). Outcome of the linear tribometer was the averaged static and kinetic frictions for all the pairs of skis in two different conditions.

Main results of the study were as follows: (1) Snow humidity affects to the skis properties and to differences between the skis. For example, on the wet old snow condition the nanogrip skis interval time in a gliding test decreased by 66,6% and the grip tape skis horizontal force producing capability decreased by 54,7% when comparing to the dry artificial snow condition. (2) Skis with better grip properties enabled greater force production in a maximum performance. The biggest differences in the legs force production were measured on the wet old snow condition for a 75 kg weight class where the lowest collected vertical and horizontal maximum force production values were 836 N and 113 N and respectively the highest collected values were 1088 N and 331 N. (3) The collected values from the linear tribometer were convergent to the values collected from the field tests.

Normal waxed skis are still the best choice for different kind of condition, but easy-care skin skis are also a good choice for active cross-country skier also. On the other hand, with a grip tape it is possible to get good grip properties for the rough and the artificial snow condition. Comparing to the other skis the differences in the nanogrip skis gliding properties decreased when the snow humidity increases in both in the field and in the laboratory tests. In classic style cross-country skiing requirement is that skis have enough grip and skis preparation doesn't take too much time from skiing itself. Therefore, when making ski selection, it is good to think what kind of use and conditions the skis would come to.

Keywords: Cross-country skiing, static friction, kinetic friction, ski waxing, force production

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT	3
JOHDANTO	4
1 PERINTEISEN HIIHDON TEKNIikka	5
1.1 Vuorohiihto	6
1.1 Tasatyöntö	8
1.1.1 Yksipotkuinen tasatyöntö.....	10
2 PERINTEISEN HIIHDON SUKSIEN RAKENNE	11
2.1 Suksen toiminnalliset osat.....	12
2.2 Perinteisen hiihtotyylin suksien toiminnan kuvaus sekä rakenteelliset erot	13
2.2.1 Normaalisti voideltavat sukset ja pitoteipatut sukset	13
2.2.2 Skin-base skis eli pitokarvasukset.....	14
2.2.3 Nanopohjasukset	14
3 PITO- JA LUISTO-OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	16
3.1 Painovoima.....	16
3.1 Ilmanvastus	17
3.2 Kitka.....	18
3.2.1 Kitka suksen ja lumen välissä	19
3.3 Lumi	23
3.3.1 Lumen olomuodot lumipeitteessä	25
3.4 Ilman kosteus ja lämpötila	27
3.5 Suksen rakenteen, voitelun ja hionnan vaikutus	28

3.5.1	Voitelu.....	30
3.5.2	Hionta.....	32
4	LUISTON JA PIDON MITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MITTAUSMENETELMÄT	33
4.1	Laboratoriomittausmenetelmät	33
4.1.1	Kehätribometrit	33
4.1.2	Lineaaritribometrit	34
4.2	Voiman mittaaminen maastohiihdossa	36
4.2.1	Jalkojen reaktiovoimamittaukset maastohiihdossa	37
4.3	Kenttämittausmenetelmät pito- ja luistotesteissä.....	45
5	TUTKIMUKSEN TARKOITUS	47
6	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	48
6.1	Koehenkilöt sekä tutkimuksessa käytetyt sukset	48
6.1.1	Normaalisti voidellut ja pitoteipatut sukset	50
6.1.2	Pitokarvasukset	50
6.1.3	Nanopohjasukset.....	50
6.2	Tutkimuksessa käytetyn suksikaluston voitelu	50
6.3	Kenttämittaukset	53
6.3.1	Lasku- ja nousuaikojen mittaus.....	53
6.3.2	Reaktiovoimien mittaus	54
6.4	Laboratoriomittaukset	58
6.4.1	Mittausprotokolla.....	58
6.4.2	Mittausdatan käsittely ja analysointi.....	59
7	TULOKSET	61

7.1	Kenttämittausten tulokset.....	61
7.1.1	Lasku- ja nousuaika sekä subjektiivinen kokemus	61
7.1.2	Syklin vaiheiden muuttujat	63
7.1.3	Voimantuotto	66
7.2	Laboratoriomittausten tulokset.....	70
8	POHDINTA	72
8.1	Lasku- ja nousuaika sekä subjektiivinen kokemus	72
8.2	Syklin vaiheiden muuttujat	75
8.3	Voimantuotto	77
8.4	Laboratoriomittaukset	79
9	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	84
	LÄHTEET	87
	LIITE 1.....	93

JOHDANTO

Maastohiihto on aikoinaan kehittynyt Skandinaaveissa, missä pitkä talvi ja lumen olomuoto ovat mahdollistaneet puusuksella liikkumisen. Lumen koostumusta onkin tutkittu jo 1930-luvulta lähtien samoin kuin myös sen ja eri kappaleiden välillä vaikuttavaa kitkaa. Myös maastohiihdon tieteellisellä tutkimuksella on pitkät perinteet jo useiden vuosikymmenten ajalta. Ensimmäisiä maastohiihdon voimamittauksia tehtiin perinteisen hiihdossa 1981 Ekströmin tutkimuksessa, minkä jälkeen on julkaistu useita eri menetelmin toteutettuja maastohiihdon voimamittauksia. Samalla vuosikymmenellä maastohiihtosuksien kehityksessä tapahtui suurempia harppauksia eteenpäin ja samalla välineisiin kohdistuva tutkimus lisääntyi. Viime vuosina etenkin kuntoilijoille suunnatut perinteisen tyylin maastohiihtosukset ovat kehittyneet merkittävästi ja pyrkimyksenä on ollut toteuttaa mahdollisimman huoltovapaita suksia, jotta harrastushiihdon kynnyks madaltuisi. Näiden suksien toimintatapa sekä ominaisuudet vaihtelevat keskenään merkittävästikin ja kuluttajalle oikean suksivalinnan tekeminen voi muodostua haastavaksi.

Tutkimuksen tarkoituksena on mitata ja vertailla eri tekniikoilla valmistettujen perinteisen hiihtotyylin suksien pito- ja luisto-ominaisuuksia vaihtelevissa keliolosuhteissa. Mittaukset toteutetaan luisto- ja pitotestein sekä hyödyntämällä Jyväskylän yliopiston rakentamia suksien liikutuslaitetta ja hiihdon sidevoima-antureita. Laboratoriomittauksissa suksien liikutuslaitteella testataan suksien lepo- ja liikekitkaa jokaisesta käytössä olevasta suksiparista kahdessa eri mittausolosuhteessa. Kenttämittauksissa luisto ja pitotesti toteutetaan väliaikamittauksena valokennojen avulla loivassa mäessä. Pitotestit suoritetaan sauvoitta hiihtona mitaten samalla potkuvoimat siteen alle kiinnitettävän sidevoima-anturin avulla. Käytössä on neljä eri tavoin toteutettua suksiparia: normaalit voideltavat sukset, pitoteippisukset, nanosukset ja pitokarvasukset. Jokaista edellä mainittua suksiparia on mittauksissa käytössä kaksi paria, naisten painolle (~60 kg) ja miesten painolle (~80 kg) olevat parit. Kenttämittauksissa olosuhteet ovat kostean vanhan lumen, kuivan vanhan lumen ja kuivan keinolumen mittausolosuhteet. Laboratoriomittauksissa olosuhteet ovat kylmän ja kostean vanhan lumen mittausolosuhde.

1 PERINTEISEN HIIHDON TEKNIikka

Maastohiihto yleisesti jaetaan tekniikaltaan kahteen eri osa-alueeseen, vapaaseen ja perinteiseen hiihtotyyliin. Näistä jälkimmäistä on käytetty yleisesti tekniikkana suksen kehittymisestä lähtien. Vapaan hiihtotyyli kehittyi rakennettujen ja hoidettujen latuverkostojen kehittymisen myötä. Hiihtolatujen leventyessä sekä koneellisesti ajettujen kovempien latupohjien johdosta sukset kapenivat ja hiihtovauhti kasvoi. Vauhdin kasvaessa perinteisen tyylin potkua ei ehditä enää normaalilla tavalla suorittamaan ja yleiseksi tavaksi onkin tullut suksien kanttien hyväksikäyttö eteenpäin vievän voimantuoton ja vauhdin ylläpidossa. Vapaan hiihtotyyli kilpahiihdossa yleistyi 1980-luvulla ja kaudella 1985-86 siitä tuli myös virallinen osa kansainvälistä kilpahiihtoa. (Kantola & Rusko 1985, 144; Smith 2003, 45)

Merkittävimmät erot perinteisen ja vapaan maastohiihtotyylien välillä on se, että perinteisen hiihdossa liikeradat tapahtuvat pääosin sagittaalitasossa ja potku suoritetaan aina pysähtyneeseen sukseen, kun taas vapaan hiihtotyyliissä liikeradat ovat frontaali- ja sagittaalitasoisia ja potku suoritetaan aina liukuvaan sukseen. Nykyaikaiseen perinteiseen hiihtotekniikkaan on vaikuttanut merkittävästi puusuksen korvaaminen muovisuksella. Muovipohjaisten suksien jäykkyys on erilainen kuin puusuksien sekä muovipohja on myös huomattavasti liukkaampi kuin puupohja ja voitelun avulla suksen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa aikaisempaa herkemmin. Näiden muutosten myötä perinteisen hiihtotekniikka kehittyi nopeammaksi. (Kataja 1996, 34)

Vaikka vapaan hiihtotekniikka onkin nostanut suosiotaan, hiihtävät useat kuntohiihtäjät edelleen pääosin perinteisen hiihtotekniikalla, helpommin omaksuttavammista liikeradoista johtuen. Liike perinteisen hiihtotekniikassa tapahtuu kahdessa tasossa eteenpäin ja ylös-alas liikkeenä sekä suurin osa voimantuotosta tapahtuu jalan lihaksilla ponnistuksen yhteydessä. Sivuttaisliikettä perinteisen hiihtotekniikassa tapahtuu lähinnä painon siirroissa sukselta toiselle, askellettaessa esimerkiksi alamäessä ja haaranousussa. Nykyaikaisessa perinteisen

hiihtotekniikassa ponnistus on lyhyt ja nopea. Potkun aikana tuotettu voima on hieman hiihtäjän omaa painoa suurempi. Tehokkaan ponnistuksen onnistuminen edellyttää hiihtäjältä hyvää tasapainoa, koska hiihtäjän painopisteen tulee olla suoraan ponnistavan suksen päällä. (Kataja 1996, 35-36; Kirvesniemi ym. 2006, 74; Anttila & Roponen 2008, 73-74)

Perinteisen hiihtotyylissä käytettäviä selvästi toisistaan erotettavia hiihtotekniikoita katsotaan olevan neljä: 1. haarakäynti 2. vuorohiihto 3. tasatyöntö 4. yksipotkuinen tasatyöntö. Näistä haarakäynti muistuttaa sauvakävelyä ja tämän vuoksi se on jätetty tässä yhteydessä tarkemmin esittelemättä.

1.1 Vuorohiihto

Perinteisen tyylin yleisimmin käytetty tekniikka, etenkin kuntohiihtäjillä, on vuorohiihto (diagonal stride). Vuorohiihdossa on hyvin paljon samankaltaisuutta kävelyn ja juoksun kanssa, joten se on myös helppo omaksua. Kyseistä tekniikkaa käytetään pääosin ylämäkien nousutekniikkana ja silloin kun luisto on huono. Radasta riippuen myös kilpahiihtäjät voivat käyttää vuorohiihtoa jopa 50-70 % kilpailun hiihtoajasta (Anttila & Roponen 2008, 75). Oikeaoppisella potkutekniikalla alaraajojen ja pakarän suurilla lihaksilla pystytään suureen voimantuottoon. Hyvässä ja rytmikkäässä vuorohiihtopotkussa voimantuottoon osallistuu myös ylävartalon lihaksisto ja tehokas potku saadaan tuotettua koko vartaloa apuna käyttäen. Vuorohiihdon varsinainen potku lähtee lantiosta ja se suuntautuu alaspäin niin, että pitoalue painautuu kiinni latuun. Perinteisen hiihtotyylissä potku suoritetaan aina pysähtyneeseen sukseen ja tällöin potkun voimantuoton täytyy olla nopeaa ja oikea-aikaista. Vastakkainen käsi ja jalka työskentelevät yhdensuuntaisesti ja niiden liikkeessä pyritään symmetriseen liikesuoritukseen. Perinteisen hiihdon tekniikoista voidaan erottaa kaksi vaihetta, jotka ovat voimantuottovaihe ja vapaan liu'un vaihe. Vuorohiihdon liikesarja voidaan taas jakaa 5 eri osa-alueeseen voimantuottovaiheen ja vapaan liu'un vaiheen välillä.

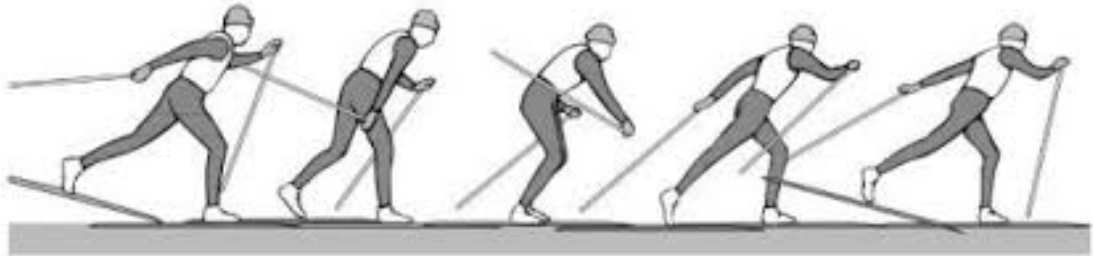
Vapaan liu'un vaihe:

1. Vapaa liuku
2. Liuku tukijalka ojentuen
3. Liuku tukijalka koukistuen

Voimantuottovaihe:

4. Potku jalka koukistuen
5. Potku jalka ojentuen

Vuorohiihdon sykli koostuu kahdesta peräkkäisestä voimantuotto- ja vapaan liu'un vaiheesta. Kuvassa 1 on havainnollistettu vuorohiihdon puolikkaan syklin vaiheet, missä vasen käsi tekee työnnön ja oikea jalka potkun eri vaiheet. (Anttila & Roponen 2008, 75-79; Kirvesniemi ym. 2006, 76-77)



KUVA 1. Vuorohiihdon tekniikassa vastakkainen käsi ja jalka suorittaa voimantuoton yhtäaikaisesti. (Smith 2003)

Vuorohiihdon nopeus riippuu merkittävästi vapaan liu'un pituudesta sekä ladun jyrkkyydestä. Useiden tutkimusten pohjalta vertikaalinen voimantuotto vuorohiihdon aikana on mitattu olevan 1,5 – 3 kertaa kehon painon suuruinen. (Ekström 1981; Komi 1985; Komi

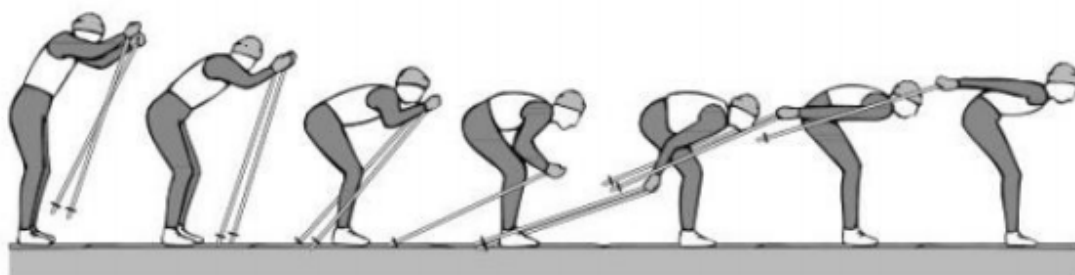
& Norman 1987). Horisontaalisen voimantuoton Vähäsöyrinki ym. (2008) totesi olevan noin 300 N nousukulman ollessa 2,5°. Suurin osa (2/3-osaa) tuotettavasta voimasta on suoraan vertikaalista ja tämän tuotetun voiman avulla suksen pitoalue painetaan latua vasten, jotta sukki saadaan pitämään potkun aikana. Vertikaalisen voiman suuruus riippuu hiihtäjän tasosta, kehon painosta, lihasvoimasta, hiihtoaskeleen kestosta, ja ladun kovuudesta. Varsinainen propulsiivinen voima on vain 10 – 25% kehon painosta ja se tuotetaan hyvin lyhyen ajan kuluessa (0,1 – 0,25 s). (Komi & Norman 1987)

1.1 Tasatyöntö

Vauhdin kasvaessa perinteisessä hiihtotyylissä ei ole enää aikaa ja mahdollisuutta tehdä pysähtyneeseen sukseen kohdistuvaa potkua ja näin eteenpäin suuntaava voima täytyy tuottaa kokonaan ylävartalon lihaksiston avulla. Tasatyöntö (Double poling) onkin perinteisen hiihtotekniikan nopein etenemismuoto. Tasatyöntö on viime vuosikymmenen aikana kehittynyt perinteisen tyylin tekniikoista eniten johtuen välinekehityksestä sekä eri tyyppisten kilpailumuotojen (sprintti- ja massahiihdot) kehittymisestä johtuen. Uudet kilpailumuodot ovat muokanneet perinteisen tekniikkaa nopeammaksi sekä taloudellisemmaksi. Sprinttimatkoilla on pyrittävä nopeampaan voimantuottoon ja näin tasatyönnön työntövaihe on lyhentynyt huomattavasti. (Holmberg ym. 2006; Stöggli ym. 2010a) Väline- ja voideteknologian kehittyminen on myös lisännyt perinteisen hiihdon nopeuksia ja sitä kautta myös tasatyönnön osuus kilpahiihdossa on kasvanut (Saltin 1997). Myös tämä kehitys on osaltaan vaikuttanut tasatyöntötekniikan muuttumiseen ja suoritustekniikan taloudellistumiseen. Osa pitkistä massahiihdoista hiihdetäänkin nykyisin pelkästään tasatyönnöin. Tämä vaatii hiihtäjältä voimakkaampia ylävartalon lihasvoimaominaisuuksia (Holmberg ym. 2005). Kuntohiihtäjälle tasatyöntö soveltuu etenkin loivaan alamäkeen ja tasaisella edetessä.

Tasatyönnössä molemmat jalat ovat rinnakkain ja sauvat isketään maahan yhtäaikaaisesti. Sauvan sommat osuvat maahan lähelle suksien siteitä. Työntö tapahtuu vatsalihaksien ja yläselän sekä hartioiden lihasten avulla. Liikerata alkaa vatsalihasten ja lantion

koukistajalihasten aktivaatiolla ja jatkuu hartioiden ja kyynärpäiden ojentajalihaksiin (Holmberg ym. 2005). Vatsalihasten tehdessä suurimman osan työstä kyynärpäät pysyvät lukittuna noin 90° kulmaan. Aivan työnnön lopussa kyynärkulma hieman aukeaa, jotta voimaa saadaan tuotettua myös käsivarsien lihaksilla. Hiihtäjä voi tasatyönnön aikana vaikuttaa nopeuteensa liikeradan frekvenssiä ja pituutta muuttamalla (Stöggl ym. 2011). Verrattaessa kilpahiihtäjien tasamaan tasatyöntötekniikkaa suhteessa ylämäen tekniikkaan, havaittiin kyynärkulmien pienenevän työnnön aikana ja työnnön saatto oli 48% lyhyempi sekä maksimaalinen voimantuotto 13% suurempi (Stöggl ym. 2016). Oleellista tasatyönnössä on, että voimantuotto kohdistuu liikesuunnan mukaisesti ja ettei liikeradassa oleellisimpien nivelkulmien kautta eteenpäin vievät voimat pääse niin sanotusti karkaamaan. Uuteen työntöön lähdettäessä kädet tuodaan takaa terävästi takaisin eteen, jolloin niiden avulla saadaan heilurimainen eteenpäin vievä liike. Tasatyöntöä voidaan tehostaa nousemalla työnnön alussa päkiöille ja saavuttamalla näin suurempi voimantuotto työnnön alussa. Tasatyönnön eri vaiheet seuraavat toisiaan yhteneväisesti, jolloin saadaan kokonainen liikesarja (kuva 2). Maastosta riippuen tasatyönnön sykliä ja liikesarjan pituutta vaihdellaan niin, että suksien nopeus säilyisi mahdollisimman tasaisena eikä voimaa kuluisi niin paljon suksien nopeuden kiihdyttämiseen. (Anttila & Roponen 2008, 80-85; Kirvesniemi ym. 2006, 78-79)



KUVA 2. Tasatyönnön eri vaiheet. (Smith 2003)

1.1.1 Yksipotkuinen tasatyöntö

Yksipotkuinen tasatyönnön (Kick double poling) avulla voi tehostaa ylävartalotyötä ja sitä käytetään yleensä loivassa ylämäessä tai kun tasatyönnön voimantuotto ei riitä nopeuden ylläpitämiseen. Kyseinen tekniikka on kuntoilijoille usein haastavaa, koska tässä tekniikassa hiihtäjän pitää pystyä liukumaan tasaisesti yhden suksen varassa sekä mahdollisimman tehokkaan voimantuottovaiheen vuoksi käsi- ja jalkatyön pitää olla mahdollisimman yhtä aikaista. Yksipotkuisessa tasatyönnössä potkuun yhdistetään tasatyöntö ja yleensä potkut vuorottelevat oikean ja vasemman jalan osalta (kuva 3). Samalla, kun potku suuntautuu taakse kädet ojentuvat eteen. Työntö alkaa potkun tehneen jalan palautuessa takaisin toisen jalan viereen. Työnnön vaiheet menevät kuten normaalissa tasatyönnössäkin. Käsien ja potkaisevan jalan liikkeen pitää olla samassa rytmissä toisiinsa nähden, millä mahdollistetaan elastisen energian hyödyntäminen eteenpäin vievissä voimissa. Yksipotkuista tasatyöntöä hiihdettäessä hiihtäjällä on yleensä jo selvästi liikenopeutta ja näin myös hyvin aikaa liikesarjan tekemiseen. (Anttila & Roponen 2008, 87)



KUVA 3. Yksipotkuisen tasatyönnön eri vaiheet. (Smith 2003)

2 PERINTEISEN HIIHDON SUKSIEN RAKENNE

Sukset on kehitetty pohjoismaissa, missä talvet ovat olleet lumisia, helpottamaan talvella liikkumista. Hiihdon historian katsotaan ulottuvan aina 3500 luvulle ennen ajan laskumme alkua, miltä aikakaudelta on löytynyt myös ensimmäisiä suksia arkeologisissa tutkimuksissa. Nykyaikaisen hiihdon katsotaan taas alkaneen Telemarkista Norjasta, missä valmistettiin ensimmäisiä tasapitkiä, kapeita ja sivuleikkauksellisia suksia. Tämän jälkeen suksien kehityksessä merkittävimmät vaiheet ajatellaan tapahtuneen 1930-luvulla, jolloin tuli ensimmäiset laminoidut sukset, joissa pinta ja pohja oli valmistettu eri puulajista, sekä 1960-luvun lopulla, jolloin esiteltiin ensimmäiset nykyaikaiset muovipohjaiset sukset. Myöhemmin hiihtolatuksen rakentamisen ja hoitamisen myötä suksien ominaisuudet ovat kehittyneet edelleen näille laduille sopivammiksi. Pohjamuovin ominaisuudet ovat parantuneet ja runkomateriaaleina käytetään myös muita kevyempiä materiaaleja kuin puuta minkä lisäksi maastohiihtosukset ovat huomattavasti kapeampia kuin aikaisemmin. (Kuzmin, 2013; Carlsson, 2015)

Nykyaikainen maastohiihtosuksien rakenne on pääsääntöisesti aina samanlainen. Pinta sekä pohja suksessa on muovia ja runko koostuu joko puu-, vaahto- tai kennorakenteisesta ytimestä. Kennorakenteisella ytimellä valmistetut sukset ovat kevyempiä, elastisempia ja aggressiivisempia. Tämän vuoksi yleensä kilpahiihtäjien sukset on valmistettu kennorunkoon. Puuytimen omaavat sukset ovat painavampia sekä rauhallisempia ja tätä kautta monesti helpommin hiihdettäviä. Vaahtorakenteisella ytimellä olevat sukset ovat ominaisuuksiltaan näiden edellä mainittujen suksien väliltä. Suksien pinta- ja pohjamateriaaleissa käytetään erilaisia polyeteenimuoviyhdisteitä riippuen suksen hintaluokasta. Halvemmissa suksissa käytetään ekstruoitua muovipohjaa, kun taas kalliimman hintaluokan suksissa käytetään sintrattua muovipohjaa. Pohjamateriaalin valinnalla voidaan vaikuttaa pohjan huokoisuuteen ja täten myös sen voideltavuuteen. (Kirvesniemi ym. 2006, 33)

Nykyisin suksiteollisuudessa on kehitetty paljon uusia pohjamateriaaleja sekä valmistusmenetelmiä, jotta suksien huoltaminen olisi helpompaa ja kynnys hiihdon aloittamiseen madaltuisi. Erilaiset mekaanisella pitoalueella varustetut pitopohjasukset ja pitokarvasukset ovat vallanneet suksimarkkinat lähes kokonaan perinteisen suksien osalta. Näiden suksien vähäisemmän huoltotarpeen avulla on tarkoituksena houkutella uusia harrastajia lajin pariin.

2.1 Suksen toiminnalliset osat

Perinteisen suksen rakenne jaetaan suksen etu- ja takaosassa oleviin painealueisiin sekä pitoalueeseen. Hiihtäjän painon ollessa jakautuneena tasaisesti molemmilla suksilla painealueet vastaavat latuun ja pitoalue on tällöin irti ladusta. Paine- ja pitoalueiden muoto vaikuttaa suksen jäykkyyteen ja niiden soveltuvuuteen eri kelialueille. Suksen jäykkyys vaikuttaa siihen minkä painoiselle hiihtäjälle sukset soveltuvat. Hiihtäjälle sopivaa suksea valittaessa suksen jäykkyys voidaan testata joko ”paperitestillä” suoraa pintaa vasten hiihtäjän seisoessa testattavien suksien päällä, suksenjäykkyyksmittarin (Nastolan Vaaka ja Kone Oy, Suomi) tai erillisen perinteisen suksien voidepesän määritykseen kehitetyn CSC-mittalaitteen (Classic Ski Control, Suomi) avulla. Suksien jäykkyyden arviointiin on kehitetty myös koneellisia mittausten menetelmiä, joista yleisin käytössä oleva laite on SkiSelector (SkiSelector AS, Norja). Laite määrittää suksen jäykkyysominaisuudet painaen suksea sen tasapainopisteestä eri kuormin. Lopullisena mittaustuloksena ohjelma määrittää suksiparille soveltuvan hiihtäjän painon sekä voidepesän pituuden. (SkiSelector, 2018) Suksenjäykkyyksmittaria käytettäessä suksiparin pohjat puristetaan noin seitsemän senttiä suksen tasapainopisteen takaa toisiaan vasten yhteen. Suksien alkujännitys saadaan määritettyä voimasta, millä suksien pitoalueet jäävät edelleen avoimeksi. Loppujäykkyys kuvaa taas voimaa, mikä vaaditaan suksien yhteen puristamiseen koko matkaltaan. Kuntoilijan helposti hiihdettävissä suksissa alkujännityksen suksessa on syytä olla pieni, jolloin puhutaan niin sanotusti löysästä suksesta. Pakkaskelin suksissa voidepesä on pitkä ja loiva, kun taas vesikelin suksissa se on normaalisti korkeampi. (Anttila & Roponen 2008, 181) Yleensä painealueiden mittaus tehdään sisätiloissa normaalissa

huoneenlämmössä. Breitschädelin ym. (2010) tekemässä tutkimuksessa kuitenkin havaittiin, että suksien painealueet voivat muuttua huomattavastikin vietäessä sukset talvella ulos ja tämä olisi syytä ottaa huomioon etenkin kylmälle pakkaskelille suksia valittaessa. Paine- ja pitoalueen ohella suksen hiihdettävyyteen vaikuttaa myös muut suksen ominaisuudet. Suksen kärki ottaa vastaan ladun epätasaisuudet sekä ohjaa suksen vapaata liukua ja pohjan olas, eli pohjaura sekä suksen kanta pitävät suksen suuntavakaana. Etenkin perinteisen hiihdossa nykyisillä hoidetuilla laduilla kärjen merkitys on pienentynyt verrattaessa umpihangessa hiihtämiseen.

2.2 Perinteisen hiihtotyylin suksien toiminnan kuvaus sekä rakenteelliset erot

Muutamien vuosien aikana maastohiihtosuksien tuotannossa on tapahtunut suurta kehitystä ja nykyisin perinteisen hiihtotyylin suksien osalta niin sanottujen voiteluvapaiden suksien osuus ladulla on kasvanut huomattavasti. Näissä suksissa yleisesti hankalaksi koettu pitovoitelu on korvattu teknisesti toteutettujen erilaisten mekaanista pitoa tuottavien tekniikoiden avulla. Tällaisia suksia ovat esimerkiksi pitopohjasukset, pitokarvasukset sekä erilaisilla nanopinnoitteilla käsitellyt sukset.

2.2.1 Normaalisti voideltavat sukset ja pitoteipatut sukset

Normaalien voideltavien perinteisen tyylin suksien rakenne on kuvattu edellä. Pitoteipatuiksi suksiksi soveltuvat normaalit voideltavat perinteisen hiihtotyylin sukset. Suksen kannattaa kuitenkin olla jalkavuudeltaan kuitenkin mieluummin matala kuin liian korkea, koska pitoteipin korkeus ei voidepesän kohdalla ole kovinkaan korkea. Matalamman profiilisen suksen pitoalueen saa helpommin painettua latua vasten potkun voimantuoton ajaksi.

2.2.2 Skin-base skis eli pitokarvasukset

Pitokarvasuksissa pitoalueen kohdalle suksien pohjaan on asennettu erillinen pitokarva, mikä korvaa suksien pitovoitelun. Pitokarva on yleisimmin valmistettu mohairvillasta sekä asennettu suksen kulkusuunnan myötäisesti niin, että se luistaa hyvin myötakarvaan vapaan liu'un aikana sekä pitää potkuvaiheessa vastakarvaan potkaistaessa. Vastaavaa pitokarvaa on käytetty jo useiden kymmenien vuosien ajan esimerkiksi hiihtovaeltajien ja vapaalaskijoiden käytössä heidän tarvitessaan voimakasta pitoa nousuissa. Tällöin niin kutsutut nousukarvat ovat kuitenkin asennettu koko suksen pohjan alalle väliaikaisesti ja otettu taas luistoa tarvittaessa kokonaan pois. Skin-base suksien runkona on joko kenno- tai puuydin runko ja pohjamateriaaleina käytetään normaaleja pohjamateriaaleja. Painealueiltaan pohjat vaativatkin edelleen suksen kuntoa ylläpitävää luistovoitelua. Pitoalueelle suksen valmistusprosessin aikana jyrsitään ura mihin pitokarva liimataan. Sopivaa suksea valittaessa suksien jäykkyys täytyy valita niin, että suksen vapaan liu'un aikana pitokarva ei osu latuun, kun taas potkun aikana se saadaan taas herkästi painettua latua vasten ja sukki saadaan näin pitämään. Niin kutsuttuja skin-base suksia valmistaa tällä hetkellä kaikki suurimmat suksimerkit tai pitokarvan voi myös asentuttaa sukkiin erillisenä jälkiasennuksena (www.pitokarva.fi). Pitokarvasuksia pidetään yleisesti useamman kelialueen suksina ja ne ovatkin viime vuosina kasvattaneet suosiotaan huomattavasti helpomman hoidettavuutensa ansiota. Suomessa kaudella 2017 – 2018 suksien myynti oli noin 150 000 suksiparia, joista pitokarvasuksien myynti oli jopa 85 prosenttia (Asko Lahdelma – Normark Oy)

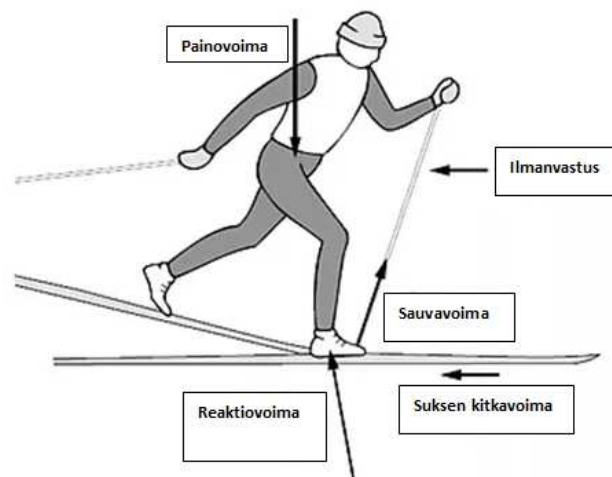
2.2.3 Nanopohjasukset

Niin kutsutuissa nanosuksissa joko suksen koko pohja tai osa siitä käsitellään nanopinnoitteen avulla. Nanopinnoitettu osa suksesta hyödyntää ladun ja suksen väliin muodostuvaa vesipatjaa sekä pito- että luistovoitelun osalta. Potkuvaiheessa suksen nanopinnoite rikkoo vesimolekyylien muodon ja sen seurauksena ladun ja suksen väliin muodostuu voimakas kapillaari-ilmiöstä johtuva ”imu”, mikä saa suksen pitämään.

Liukuvaiheen aikana taas suksen pohjan nano-ominaisuudet pienentävät liukukitkaa. Koska suksissa ei ole erillistä pitoaluetta, ei myöskään suksen jäykkyydellä ole niin suurta merkitystä ja suksien valittaessa riittää, että sukset ovat hiihtäjää n. 5-20 cm:ä pidemmät. Nanosukset valmistetaan usein jalkavuudeltaan hyvin matalarunkoisina, jotta riittävä pito pystytään saavuttamaan ja runkomateriaalina toimii joko polyuretaani- tai puuydinrunko. Ominaisena kelialueena nanosuksille pidetään kostean ja märän lumen olosuhdetta, jolloin suksen ja lumen välisen kitkan muodostaman vesikerroksen paksuus on optimaalinen. Usein nanosuksia suositellaan juurikin vesikelin suksiksi sekä satunnaisille kuntohiihtäjille, jotka haluavat miltei hoitovapaan suksen. Nanopinnoitteelle on suunniteltu omia puhdistus- ja kyllästysaineita, joiden avulla suksen pohjaa sekä siinä olevaa pinnoitusta voidaan tarvittaessa huoltaa. (MJ Optima-Sport Oy)

3 PITO- JA LUISTO-OMINAISUUKSIIN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Hiihtäjän liikenopeuteen vaikuttavia tekijöitä on useita. Suurin vaikuttava tekijä on tietysti hiihtäjän oma voimantuotto, mutta myös häneen vaikuttavat ulkoiset voimat vaikuttavat hiihtonopeuteen. Tuntemalla vaikuttavat tekijät voidaan myös näiden ulkoisten voimien vaikutusta pienentää samalla, kun omaa voimantuottoa kehitetään. (Smith 2003) Hiihtäjään vaikuttavat voimat on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Hiihtäjään vaikuttavat voimat suorituksen aikana. (Smith, 2003, muokattu)

3.1 Painovoima

Painovoima (gravitaatio) vaikuttaa hiihtäjän etenemiseen sekä suoraan hiihtäjän ja varusteiden painon kautta, kuin myös epäsuorasti vaikuttavien tekijöiden kautta. Painovoima vaikuttaa aina suoraan alaspäin riippumatta hiihtoalustan kaltevuudesta. Gravitaatiovoimat vaikuttavat hiihtäjään mäkisessä maastossa, sekä vauhtia hidastavina, että lisäävinä tekijöinä. Gravitaatiovoiman johdosta painovoiman vaikutus vaihtelee siinä noustavan tai laskettavan mäen jyrkkyyden suhteessa ja se on laskettavissa trigonometrisen funktion avulla. Mitä jyrkempi mäki on, sitä voimakkaammin vauhtia vastustava tai lisäävä voima painovoimasta muodostuu. Tasaisessa alamäessä hiihtäjän vauhti kasvaa

painovoiman avulla aina pisteeseen, missä vaikuttavat voimat ovat jälleen tasapainotilassa. Muita hiihtäjään merkittävästi vaikuttavia ulkoisia voimia ovat kitka ja ilmanvastus. Newtonin I lain mukaan, jos kitka pystyttäisiin eliminoimaan nollaan ja myötätuuli laskussa vastaisi ilmanvastuksen suuruutta, jatkaisi hiihtäjän liike etenemistään samaan suuntaan samalla vauhdilla loputtomasti. Hiihdon mekaniikan osalta ehkä oleellisin on Newtonin II – laki, eli dynamiikan peruslaki. Sen mukaan hiihtäjään vaikuttava hiihtäjän massaa suurempi ulkoinen voima F antaa kappaleelle kiihtyvyyden a (kaava 1).

$$F = ma$$

KAAVA 1.

Kaikki hiihtäjän liikkeeseen vaikuttavat voimat (hiihtäjän itse tuottama voima, kitka, ilmanvastus) muodostavat kokonaisvoiman F . Osa voimista vaikuttaa liikkeeseen nähden negatiivisesti ja osa positiivisesti. Lopulta kaikki voimat ovat myös jatkuvasti vaikutuksessa hiihtäjän kiihtyvyyteen ja näiden voimien yhteisvaikutuksella voidaan vaikuttaa hiihtäjän vauhtiin. (Smith 2003, 32-33)

Newtonin III – laki on voiman ja vastavoiman laki. Maastohiihtoon sovellettaessa hiihtäjään siis vaikuttaa aina yhtä suuri, mutta vastakkaissuuntainen voima kuin millä hiihtäjä vaikuttaa toiseen kappaleeseen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi, että hiihtäjän lihaksiston tuottaessa voiman suksien ja sauvojen välityksellä lumeen vaikuttaa myös yhtä suuri vastavoima suoraan lumesta hiihtäjään. Hiihdossa lumeen tuotettu voima jakautuu horisontaaliseen ja vertikaaliseen voiman komponenttiin, jotka yhdessä muodostavat voimien resultantin. Mitä suurempi horisontaalinen voima on, niin sitä voimakkaamman kiihtyvyyden hiihtäjä saavuttaa. Painovoima taas vaikuttaa suksen painautumiseen latua vasten ja täten osittain suksen ja lumen väliseen kokonaiskitkaan.

3.1 Ilmanvastus

Ilmanvastuksella tarkoitetaan jonkin liikkuvan kappaleen pinnan ja siihen kohdistuvan ilman hiukkasten välistä vuorovaikutusta. Ilmanvastus kasvaa nopeuden neliöön, joten sillä

on merkittävä vaikutus mitä suuremmaksi nopeus kasvaa. Ilmanvastukseen vaikuttaa kappaleen koko ja muoto sekä ilmanpaine ja tuuli. Korkeammassa ilman alassa ilman tiheys pienenee ja näin myös ilmanvastuskin pienenee. Tuulen vaikutuksen voi maastohiihtäjään nähden olla joko etenemissuuntaan myötäinen tai sitä vastaan. Tämä on, kuten painovoimakin, joko vauhtia lisäävä tai vähentävä tekijä. (Smith 2003, 34-35) Pienikin vastatuuli voi jopa kaksinkertaistaa ilmanvastuksen tunteen hiihtäjällä ja kovemmassa vastatuulella maastohiihtäjä joutuu usein muuttamaan hiihtoasentoaan tai -tekniikkaansa. (Smith 2003, 54) Ilmanvastuksen voittamiseen on tutkittu kuluvan hiihtäjän kokonaisenergiankulutuksesta jopa 18 – 40% (Suominen 1983, 6). Hiihtäjä voi pienentää ilmanvastuksen vaikutusta laskemalla alamäet etukumarassa, vaatetuksellaan tai niin sanotusti peesaamalla edellä hiihtävää. ”Peesauksen” johdosta ilmanvastuksen on todettu pienenevän perässä hiihtävällä jopa 25-30% ja peesauksesta on jopa hieman hyötyä edessä hiihtävälle turbulenssin vähenemisen johdosta. (Suominen 1983; Smith 2003, 54)

3.2 Kitka

Kitka on kahden liikkuvan kappaleen välinen liikettä vastustava voima. Kitka on oleellinen tekijä monissa itsestään selvissä tilanteissa kuten esimerkiksi kävellessä. Kuitenkin sen liikettä vastustava voima aiheuttaa toisissa tilanteissa myös energiahäviötä sekä kulumista ja tämän vuoksi sitä pyritään minimoimaan materiaalivalinnan sekä voitelun avulla. Kitka yleisesti jaetaan (staattiseen) lepo- ja (kineettiseen) liikekitkaan, joista lepokitka vaikuttaa kappaleiden välisessä liikkeellelähdössä ja jälkimmäinen liikkeen jatkuessa. Lepokitka on yleensä liikekitkaa suurempi. Saavutetun nopeuden ylläpitämiseksi liikkuva kappale tarvitsee ulkoisen voiman, mikä on liikekitkavoiman suuruinen mutta vastakkaissuuntainen. Kitkaa kuvataan usein kitkakertoimella (kaava 2), mikä tarkoittaa kitkavoiman (F_{μ}) ja normaalivoiman (F_N) välistä suhdetta. (Kivioja ym. 2007, 63)

$$\mu = F_{\mu} / F_N$$

KAAVA 2.

Kitkakertoimen (μ) suuruus riippuu kahden toisiinsa vaikuttavien kappaleiden välisten pintojen ominaisuuksista sekä siitä, miten voimakkaasti ne vaikuttavat toisiinsa liikkeen aikana. Kitkan vaikutukseen voidaan vaikuttaa materiaaliparien valinnalla, kappaleiden pinnan muokkaamisella ja käyttämällä voiteluaineita. Kaavaa 2. tarkasteltaessa voidaan todeta, että kitkakertoimen ollessa 0 ei myöskään kitkavoimaa ole olemassa ja vastaavasti kitkakertoimen ollessa 1 kappaleet eivät liu'u toisiaan vasten ollenkaan.

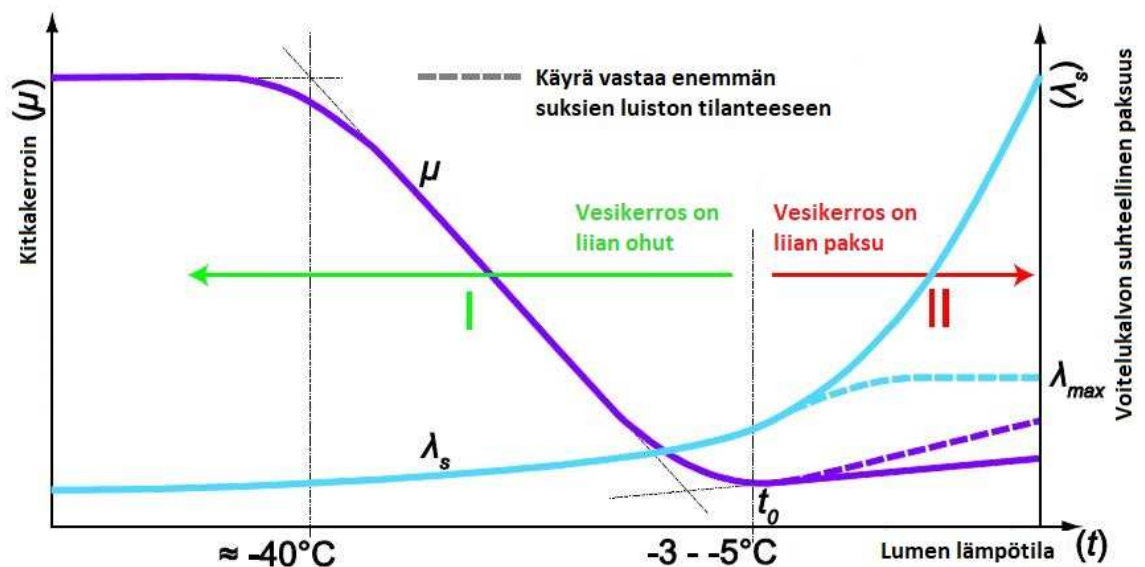
3.2.1 Kitka suksen ja lumen välissä

Hiihdossa kitka vaikuttaa suksen ja lumen välissä. Yleisen käsityksen mukaan suksen ja lumen välisen kitkan tuottama lämpöenergia sulattaa pinnan lumikiteitä muodostaen samalla suksen ja lumen välille voitelevan vesikalvon. Suksen ja lumen välistä kitkaa ja kosketusta on tutkittu paljon usean vuosikymmenen aikana ja jo 1930-luvulla Bowden ja Hughes (1939) havaitsivat, että suksen ja lumen välisen liikkeen aikana muodostuvan ohuen vesikerroksen viskositeetti vaikuttaa liikekitkaan ja sitä pidetäänkin merkittävimpana yksittäisenä tekijänä liikekitkan suuruudelle. Myöhemmissä tutkimuksissa on todettu, että suksen liikekitkaan vaikuttavia tekijöitä on useita ja niiden yhteisvaikutus muodostaa kokonaiskitkakertoimen μ . Kokonaiskitkakertoimen muodostumiseen vaikuttavat tekijät on esitetty kaavassa 3. Missä μ_{plow} on suksen latuun painumisesta aiheutuvasta aurasvaikutuksesta johtuva kitkakerroin, μ_{dry} on kuivakitkakerroin, μ_{lub} on märkäkitkakerroin, μ_{cap} on kapillaari-ilmiöstä johtuva kitkakerroin ja μ_{dirt} on suksen pohjaan kertyvän lian aiheuttama kitkakerroin. (Colbeck 1992)

$$\mu = \mu_{plow} + \mu_{dry} + \mu_{lub} + \mu_{cap} + \mu_{dirt} \quad \text{KAAVA 3.}$$

Näiden kokonaiskitkaan vaikuttavien tekijöiden vaikutussuhteet vaihtelevat jatkuvasti lumen ja ilman olosuhteiden vaihdellessa. Tämän lisäksi hiihtäjän latuun aiheuttama paine sekä suksen liikenopeus vaikuttavat etenkin korkeammissa lämpötiloissa kitkan muodostumiseen. (Buhl ym. 2001; Nachbauer ym. 2016) Tästä johtuen tietyllä ajanhetkellä kokonaiskitkaan vaikuttavien tekijöiden suuruutta onkin hyvin vaikea tarkalleen arvioida.

Toisaalta myös muodostuvan vesikerroksen paksuus vaikuttaa siihen miten voimakkaasti eri kitkatekijät vaikuttavat toisiinsa ja kokonaiskitkan muodostumiseen. Jos edellä mainituista tekijöistä μ_{dir} rajataan pois, voidaan jäljelle jäävistä tekijöistä johtaa Stribeckin käyrää mukaillen kuvan 5. mukainen graafi, missä kitkakerroin μ ja voitelukalvon (tässä ohuen vesikalvon) suhteellisen paksuuden λ välistä riippuvuutta verrataan lumen lämpötilaan. Alkuperäisessä Stribeckin käyrässä kitkakertoimen muodostuminen on jaettu kolmeen osa-alueeseen; rajavoiteluun, sekavoiteluun sekä hydrodynaamiseen voiteluun. Toisin sanoen rajavoitelussa voitelukalvon paksuus on liian ohut ja kaksi toisiinsa vaikuttavaa kappaletta pääsevät mekaanisesti koskemaan toisiinsa, kun taas sekavoitelussa voitelukalvon paksuuden kasvaessa myös kitkakerroin pienenee ja hydrodynaamisessa voitelussa voitelukalvon paksuus kasvaa liian suureksi aiheuttaen kapillaarisesta imusta johtuvan kitkakertoimen kasvun. Raja-arvoiksi kitkakertoimen muodostumisessa jään vaikutuksesta on tutkimuksissa mitattu rajavoitelusta sekavoiteluun siirryttäessä -40 °C lämpötila ja sekavoitelusta hydrodynaamiseen voiteluun siirryttäessä $-3 - -5\text{ °C}$ lämpötila. Voitelevan vesikerroksen on todettu olevan kitkakertoimen kannalta optimaalisin juuri $-3 - -5\text{ °C}$ lämpötilassa. (Kuzmin 2006) Tällöin muodostuvan vesikerroksen paksuudeksi on mitattu $4-5\text{ }\mu\text{m}$ (Ambach ym. 1981).

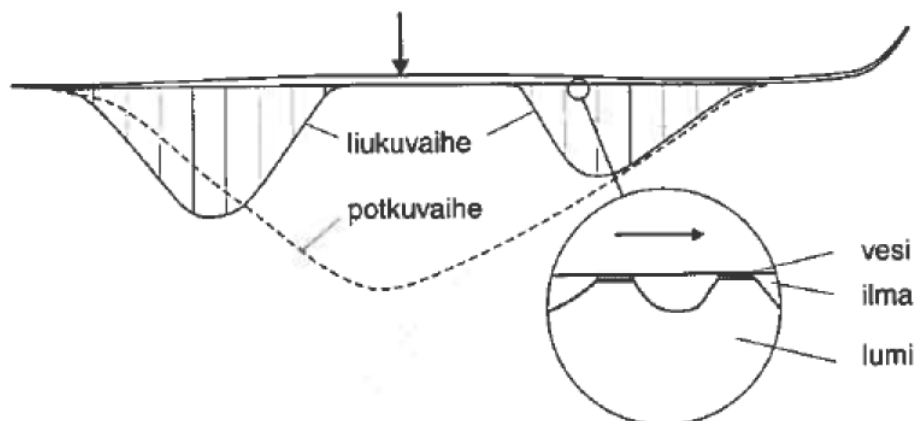


KUVA 5. Stribeckin käyrä, missä on esitetty kitkakertoimen (μ) ja voitelukalvon

suhteellisen paksuuden (λ) välinen riippuvuus verrattuna lumen lämpötilaan. (Kuzmin & Fuss, 2013, muokattu)

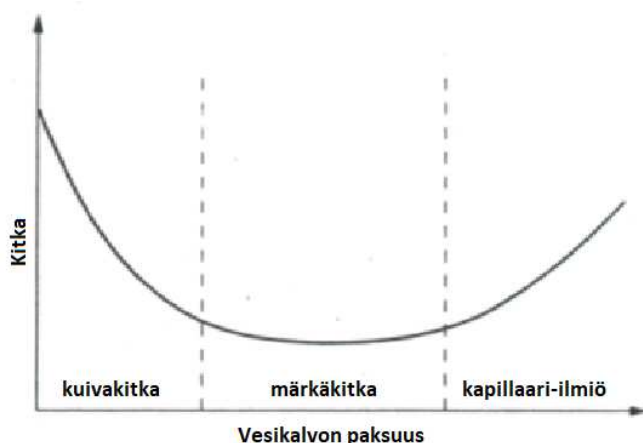
Koska sekä lumi että suksen pohjamateriaali ovat molekyyllitasolla epätasaisia, muodostuu niiden välinen kosketus useista pistemäisistä kosketuksista. Näiden kosketuskohtien lukumäärän ja pinta-alan määrittäminen on keskeistä lumen kitkamekanismeja selvittäessä. Yksittäisillä kosketusalueiden pinta-aloilla on merkittävä vaikutus suksen ja lumen väliin muodostuvan vesikalvon paksuuteen ja sitä kautta kitkakertoimeen (Lehtovaara 1989; Bäurle ym. 2007). Vesikalvon ominaisuudet riippuvat taas lumessa olevan vapaan veden määrästä, lumen raakoosta, muodosta ja lämpötilasta (Kivioja ym. 2007, 229). Toki liikekitkaa pienentävää vesikalvoa ei pääse muodostumaan ilman liikettä. Useissa tutkimuksissa (Bowden & Taylor 1964; Shimbo 1961; Spring 1987) on havaittu, että liikekitka pienenee merkittävästi vauhdin kasvaessa ja pienimmillään sen on todettu olevan 5 m/s – 10 m/s välillä. Vauhdin edelleen kasvaessa liikekitkan aiheuttaman lämmön vaikutuksesta suksen ja lumen välinen vesikerros paksunee ja kitkakerroin kasvaa. Kitkakertoimen muodostumiseen vaikuttaakin vallitsevien olosuhteiden (lumi ja sää) lisäksi suksissa käytetty pohjamateriaali, pohjan käsittely (voitelu ja hionta) sekä hiihtäjän lumeen aiheuttama paine sekä nopeus. Kuvassa 6 on havainnollistettu perinteisen hiihtotyylin suksien liuku- ja potkuvaiheen painejakauma ja kosketustilanne.

Perinteisen hiihdossa sukselle pitäisi pystyä saamaan mahdollisimman alhainen liikekitka liu'un ajaksi sekä mahdollisimman korkea lepokitka potkuvaiheeseen. Edellä mainittuihin asioihin vaikuttamalla pyritään liikekitkaa pienentämään liukuvaiheen aikana, kun taas potkuvaiheessa pitovoitelun, pitopohjakuvioinnin tai muun mekaanisen tekijän avulla pyritään lepokitkakerrointa kasvattamaan mahdollisimman suureksi. Olosuhteiden ollessa optimaaliset (lumen lämpötilan ollessa n. $-3 - -5^{\circ}\text{C}$) suksien liikekitkakerroin luiston osalta voidaan saada minimissään arvoon 0,02 (Buhl ym. 2001). Pitokäsittelyn avulla potkun aikainen lepokitkakerroin voi taas olla 0,25 – 0,4 riippuen vallitsevista olosuhteista. (Kivioja 2007, 232)



KUVA 6. Kaavioesitys perinteisen hiihtotyylin suksen painejakaumasta ja kosketustilanteesta suksen alla liukutilanteessa. (Kivioja ym. 2007, 229)

Suksen pohjan ja lumen välistä kitkaa tutkittaessa yleensä tutkitaan nimenomaan liikekitkaa, koska se on edellä mainituista kitkan lajeista hiihtosuorituksen kannalta merkittävämpi. Lumen tai jään ollessa toisena vaikuttavana pintana liikekitka voidaan jakaa märkä- tai kuivakitkaan. Susken ja lumen välisessä vuorovaikutuksessa liikekitkaa pidetäänkin kuivakitkan, märkäkitkan ja kapillaari-ilmion summana. Märkäkitkasta puhuttaessa susken ja lumen välillä on ohut vesikalvo, mikä toimii kahden kiinteän pinnan välissä tehokkaana voiteluaineena parantaen susken luistoa. Tällöin kitkakerroin on myös alhaisimmillaan. Vesikalvon muodostumiseen vaikuttaa lumen vapaan veden määrä, vallitseva lämpötila ja susken liikekitkan aiheuttaman lämpöenergian suuruus (kuva 7). Lumen vapaan veden määrän ja sitä myötä vesikalvon kasvaessa liian suureksi kitkakerroin alkaa kasvamaan susken pohjan ja vesikalvon välisestä kapillaari-ilmioista johtuen. Tällöin tuntuu kuin sukki ”imisi” latuun kiinni. Kuivakitkasta puhuttaessa susken liikekitkan tuottama lämpöenergia ei riitä sulattamaan lumen pintakerrosta riittävästi ja näin riittävän paksua voitelevaa vesikerrosta susken ja lumen välille ei pääse muodostumaan. Kuivakitka onkin havaittavissa alhaisilla liikenopeuksilla sekä lumen lämpötilan ollessa alhainen ja kaikissa olosuhteissa suskien liu’un alussa ennen kitkan tuottaman lämmön aiheuttamaa lumen sulamista. Kuivakitkassa susken luistoon vaikuttaa susken pohjamateriaalin pinnan karheus sekä lumikiteiden muodon keskinäinen vaikutus. (Colbeck 1992; Suominen 1983)



KUVA 7. Vesikalvon paksuuden vaikutus kitkaan. (Colbeck 1992, muokattu)

3.3 Lumi

Vesi alkaa muuttua kiinteäksi eli jäätymään alle nollan celsiusasteen lämpötilassa. Lumi ei siis koskaan voi olla lämpötilaltaan lämpimämpää kuin $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vapaan veden määrä lumessa kuitenkin vaihtelee eri lämpötilassa niin, että alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa lumen vapaan veden määrä on hyvin vähäistä ja $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa ennen lumen sulamista se on suurimmillaan. Lumipeitettä tarkemmin tutkittaessa veden eri olomuotoja on kuitenkin havaittavissa koko ajan. (Suominen 1983).

Lumihiutaleen muotoon sekä lumessa tapahtuviin muutoksiin vaikuttaa vesimolekyylien rakenne. Vesimolekyyli muodostuu yhdestä happiatomista ja kahdesta vetyatomista. Happiatomilla on kuusi elektronia ja vetyatomeilla on molemmilla yksi elektroni. Elektroniensa välityksellä vetyatomit ovat liittyneet happiatomiin vahvoilla kovalenttisillä sidoksilla ja niiden muodostaman sidosten välinen kulma suhteessa happiatomiin on $104,5^{\circ}$. Vesimolekyylit liittyvät toisiinsa vetysidosten vaikutuksesta vety- ja happiatomien erilaisista osittaisvarauksista johtuen. (Perttilä 1997)

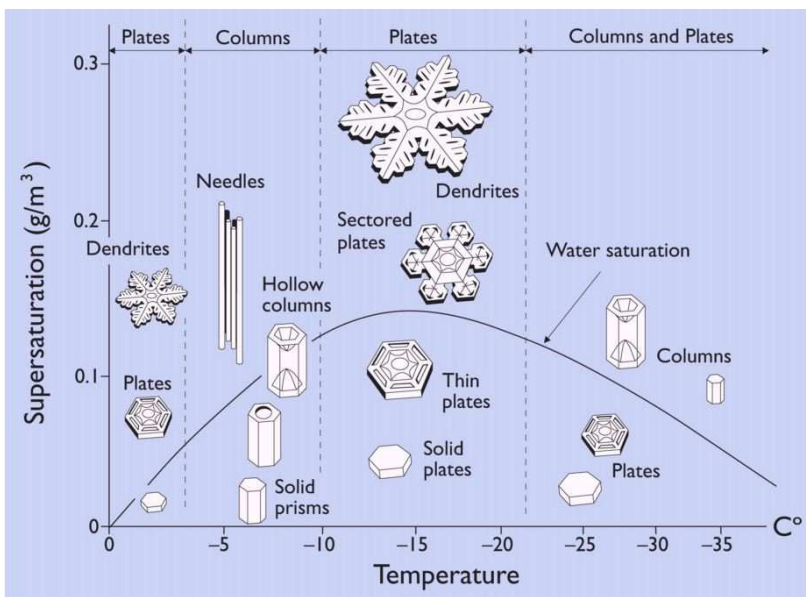
Lumihiutale muodostuu jäätyneistä vesimolekyyleistä ja on näin osaltaan myös veden faasien kiinteä olomuoto. Jäässä veden molekyylien liike on pysähtynyt ja sen

molekyylirakenteen mukaisesti järjestäytynyt säännölliseen kuusikulmaiseen hilarakenteeseen. Säännöllisesti järjestäytyneitä molekyylirakenteita kutsutaan kiderakenteiksi ja tämän vuoksi puhutaankin lumi- tai jääkiteistä. Jään pinnassa ja ilman kanssa kosketuksissa olevat kiteet voivat liikkua vapaammin kuin sisempänä jäässä olevat molekyylit. Tästä johtuen jään pintakerroksen ominaisuudet ovat sekoitus jään sekä veden olomuodoista ja tämän pintakerroksen johdosta jään pinnalla on alhainen kitka muiden materiaalien suhteen (Granberg 1998). Hiihdon kannalta tämä pintakerroksen alhainen kitka on oleellinen tekijä suksen luiston kannalta.

Lumella tarkoitetaan sekä taivaalta satavaa, että jo maassa olevaa lunta. Fysikaalisesti nämä kaksi eroavat toisistaan kuitenkin huomattavasti. Lumikiteet muodostuvat valtameristä ja suurista järivistä ilmakehään haihtuneesta vesihöyrystä. Jäähdyvän ilmamassan suhteellinen kosteus vesihöyryn vaikutuksesta kasvaa, kunnes se saavuttaa ylikyllästyksen. Ylikyllästeinen ilma sisältää liikaa vettä ja tätä kautta vesihöyry tiivistyy tai härmistyy, riippuen vallitsevan ilman lämpötilasta, ilmassa olevien pienhiukkasten ympärille. Tämä härmistynyt kide jatkaa pilvessä liikettään eri lämpötiloissa, jolloin siihen härmistyy yhä lisää vesihöyryä tai se höyrystyy jälleen vesihöyryksi. Otollisissa olosuhteissa lumikide jatkaa kasvuaan härmistymisen vaikutuksesta, jolloin niistä muodostuu lumihiualeita. Lumihiualeiden massa kasvaa lopulta niin suureksi, että maan vetovoima vetää niitä alaspäin. Ilman lämpötilasta riippuen lumihiuale voi kasvattaa tai pienentää kokoaan vielä maahan putoamisen aikana. (Karttunen ym. 2008, 222; Libbrecht 2003, 60-63)

Lumikiteiden muotoon vaikuttaa ilman lämpötila sekä kosteus. Kaikissa lumikiteissä voidaan kuitenkin havaita vesimolekyylin sijoittumisen mukainen kuusikulmainen muoto. Lumikiteiden lopullinen koko vaihtelee 0,2 mm:stä aina 7,5 mm:n asti ja niiden yleisin luokittelu on Ukichiro Nakayan (1954) laatiman luokittelun mukainen. Lumikiteet voidaan jakaa karkeasti laattoihin tai pylväisiin riippuen niiden kasvusuunnan mukaan. Kasvusuuntaan taas vaikuttaa vallitsevan ilman lämpötila. Suurimmat lumikiteistä ovat tähtimäisiä dendriittejä ja ne saavat muotonsa kasvamalla ulospäin sivuhaarojen mukaan. Voimakkaimmin dendriittejä muodostuu pilven lämpötilan ollessa noin -15 °C. Lohkolaatat

taas ovat pyöreämpi kärkeisiä sekä olomuodoltaan hauraampia. Niitä syntyy vain hyvin harvoin, koska olosuhteiden täytyy olla juuri otolliset lohkolaattojen muodostumiseen. Pylväsmäiset lumikiteet ovat yleisiä ja ne syntyvät, kun kiteen pohjapinnat kehittyvät prismapintoja nopeammin. Pylväitä kasvaa joko -5 °C tai kun lämpötila alittaa -25 °C . Näiden kiteiden välimuotoja on nähtävissä, kun kiteen lämpötila vaihtelee pilvessä liikkumisen johdosta (Libbrecht 2003, 67–76) Kuvassa 8 on esitetty ilman ylikyllästyksen sekä lämpötilan vaikutus muodostuvien lumikiteiden muotoon.



KUVA 8. Kaaviokuva ilman ylikyllästyksen sekä lämpötilan vaikutuksesta muodostuvien lumikiteiden muotoon. (Libbrecht 2003)

3.3.1 Lumen olomuodot lumipeitteessä

Maahan laskeutuneet lumikiteet muuttavat muotoaan jatkuvan termomekaanisten prosessien eli metamorfoosien avulla. Metamorfoosiin vaikuttaa lumikiteitä ympäröivät olosuhteet kuten ilman lämpötila, auringon säteily, lumi- tai vesisade, tuuli, maaperän geoterminen lämpö ja painovoima. Lumikiteissä aiheutuvien muutosten mukaan metamorfoosi jaetaan mekaaniseen-, sulamis- tai lämpötilametamorfoosiin. Vaikuttavan metamorfoosin kautta lumen koostumus muuttuu ja maata peittävä lumipeite kerrostuu näistä useista eri

paksuisista ja muotoisista lumikidekerroksista. Kerrokset pystytään erottelemaan toisistaan erilaisten kidekokojen ja -muotojen sekä lumikiteiden sitoutuneisuuden perusteella. Lumipeitteen tiheys, huokoisuus, lämmönjohtavuus, heijastuskyky ja kokoonpuristuvuus on siis koko talven ajan jatkuvassa muutoksessa metamorfoosien johdosta. (Oksanen 1999)

Lumen termodynaamiset ominaisuudet, kuten sen lämmönjohtavuus vaikuttaa myös suksia vasten muodostuvan kitkakertoimen suuruuteen. Lumen lämmönjohtavuuteen vaikuttaa lumipeitteen tiheys sekä sen lämpötila. Lämpötilan laskiessa lämmönjohtavuus heikkenee, mikä vaikuttaa lumen ja suksen välisen ohuen vesikerroksen muodostumiseen. (Suominen 1983, 6-7) Auringon säteily taas vaikuttaa voimakkaasti lumen metamorfoosiin etenkin kirkkaalla kelillä ja lumen lämpötila sekä tiheys muuttuvat. Colbeck (1992) havaitsi tutkimuksessaan, että auringon säteilyn lumesta heijastuman vaikutuksesta suksen musta pohja voi absorboida itseensä lähes yhtä paljon lämpöä kuin mitä suksen pohja itsessään tuottaa lämpöä kitkan vaikutuksesta. Kitkan vaikutuksesta suksen pohjan lämpötila taas nousee $1\text{ }^{\circ}\text{C} - 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ riippuen liikenopeudesta sekä vaikutuspisteestä suksen pohjassa (Schindelwig ym. 2014) Lämmönjohtavuus ja auringon säteilyn vaikutus onkin syytä huomioida suksien pohjamateriaaleja ja voiteita valmistettaessa.

Lumen metamorfoosin johdosta lumen kovuus muuttuu lumen olomuodon muuttuessa ja lumikiteiden pyöristyessä. Lumipeitteen kovuus kasvaa lineaarisesti lämpötilan laskiessa (Sturm 1991). Suksen luiston kannalta olisikin oleellista, että suksen pohjan sekä voiteiden kovuuden tulisi vastata lumen kovuutta. Kova ja terävä lumikide pystyy takertumaan liukupintaan ja aiheuttaen näin mekaanista luiston heikkenemää, kun taas suksen pohjan ollessa liian kova muodostuu suksen ja lumen kosketuspintaan liian voimakas sidostuminen, eli suksi niin sanotusti ”imee latuun kiinni”. (Suominen 1983, 7-8) Fauve ym. (2005) ovat omassa tutkimuksessaan taas todenneet, että lumen kovuudella ja raekoolla on selvä yhteys suksen luistoon etenkin uudella lumella. Toisin sanoen, mitä kovempaa lumi on, sitä parempi on myös suksen luisto. Tämän lisäksi tutkimuksessa todettiin, että lumen ollessa kuivaa pakkaslunta sen tiheys on yhtenevä lumen kovuuden kanssa. Lumen ollessa taas niin

sanotusti vanhaa lunta merkittäväksi luistoa heikentäväksi tekijäksi nousee lumen vesipitoisuus. Vallitsevalla olosuhteella sekä lumen olomuodolla (lämpötila, raekoko, vesipitoisuus) onkin merkittävä vaikutus suksen luistolle ja se on syytä ottaa huomioon tarkempaa suksi- ja voidevalintaa tehtäessä. (Fauve ym. 2005)

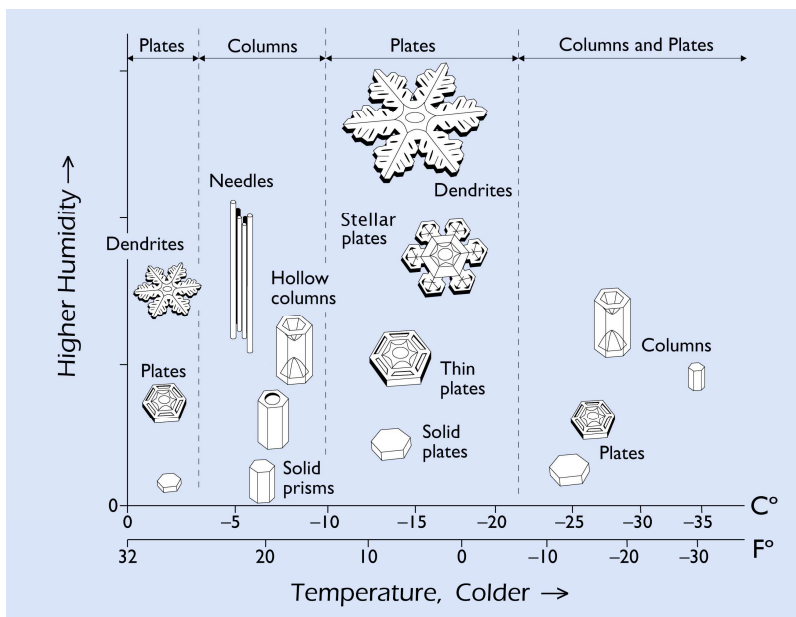
3.4 Ilman kosteus ja lämpötila

Ilman kosteus kuvaa vesihöyryn suhdetta kuivaan ilmaan nähden. Ilmakehän alaosassa ilman kaasujen olosuhteet pysyvät hyvin stabiilina, mutta ilman kosteus vaihtelee merkittävästi. Vesihöyryn määrää ilmasta määritettäessä otetaan aina huomioon vain todellinen vesihöyryn määrä ja muut veden olomuodot kuten vesipisarot, sumu ja pilvet jätetään pois mittauksesta. Ilman kosteuden yleisin esitystapa on esittää ilman suhteellinen kosteus, jolloin verrataan ilman absoluuttisen kosteuden suhdetta ilman kyllästyskosteuteen vallitsevassa lämpötilassa. Absoluuttinen kosteus ilmoittaa kuinka paljon kuutiometrissä ilmaa on vettä [g/m^3]. Kyllästyskosteus taas määrittää kuinka paljon vesihöyryä tietyn lämpöinen ilma voi sisältää ennen kuin se alkaa tiivistymään pisaroiksi. Kylmä ilma voi sisältää vähemmän vesihöyryä kuin lämmin. (Karttunen ym. 2008, 46)

Veden eri olomuotojen välisessä rajapinnassa, esimerkiksi jään tai veden ja ilman rajapinnassa, tapahtuu haihtumista ja/tai tiivistymistä koko ajan. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi jäätä haihtuu vesihöyryksi ja ilman sisältämää vesihöyryä tiivistyy jääksi. Ilman kosteuden tasapainotilassa saavutetaan kyllästystila missä haihtuminen ja tiivistyminen ovat yhtä suuria. Tätä tilaa kutsutaan myös kyllästyskosteudeksi jääpinnan suhteen. Tällöin vesihöyryä härmistyy jään pinnalle yhtä paljon kuin sitä jäästä sublimoituu ilmaan vesihöyrynä. Ilman jäähtyessä edelleen sen suhteellinen kosteus jatkaa kasvuaan kyllästymispisteeseen asti jonka jälkeen vesihöyry alkaa tiivistymään tai härmistymään. Lumen pinnalle härmistymisen johdosta muodostuu kuuraa.

Lumikiteiden muotoon vaikuttaa ilman kosteus ja sen lämpötila. Matalassa ilman kosteudessa lumikiteiden muodot ovat yksinkertaisia, kuusikulmaisia prismoja, mutta

kosteutta lisättäessä niiden muodot monimutkaistuvat. Ilman lämpötila vaikuttaa lähinnä siihen tuleeko lumikiteistä laattoja vai pylväitä, kun taas ilman kosteus vaikuttaa lumikiteen monimuotoisuuteen. Maahan satavien lumikiteiden muodosta pystytäänkin päättelemään millaisissa olosuhteissa ne ovat muodostuneet. (Libbrecht 2007, 45-47) Kuvassa 9 on esitetty ilman kosteuden ja lämpötilan vaikutus muodostuvien lumikiteiden muotoon.



KUVA 9. Lumikiteiden muodot ilman kosteuden ja lämpötilan suhteen. (Libbrecht 2003)

3.5 Suksen rakenteen, voitelun ja hionnan vaikutus

Suksen profiililla on merkittävä vaikutus suksen toimintaan. Perinteisen hiihdossa potku tehdään pysähtyneeseen sukseen, kun taas vapaan hiihtotyylissä potku suoritetaan liukuvaan sukseen. Tämän vuoksi eri tyyleillä hiihdettäessä eroaa sukselta vaadittavat ominaisuudetkin toisistaan. Siinä missä vapaan suksen täytyy vain luistaa mahdollisimman hyvin, täytyy perinteisen suksesta löytyä myös pitoa potkun aikana. Suksen jäykkyydellä voidaan vaikuttaa suksen pintapainejakaumaan. Perinteisen tyylin suksesta pintapainejakauma vaihtelee luisto- ja potkuvaiheiden aikana. (Kivioja ym. 2007, 230) Pohjamateriaalin valinnalla pystytään vaikuttamaan merkittävimmin taas suksen luistoon. Nykyisin suksien

pohjissa käytetään pääosin suurimolekyylipainoista polyeteeniä (UHMWPE), johon on sekoitettu hiiltä ja grafiittia. Polyeteenimuovin hyviä ominaisuuksia ovat hydrofobisuus, isku- ja kulutuskestävyys sekä helppo valmistusprosessi. Polyeteenimuovi on myös helposti kuvioitavissa sekä se ottaa hyvin vastaan voiteita. Näin sitä onkin helppo muokata vallitsevien keliolosuhteiden mukaisesti. Bowden ja Taylor totesivat (1964), että kahden toisiinsa koskettavan plastisen materiaalin välillä tapahtuu aina muodonmuutosta.

Hiihdossa muutoksen pitää tapahtua lumessa, ei suksen pohjassa, jotta suksen ominaisuudet säilyvät stabiilina. Täten suksen pohjan täytyykin olla jäätä kovempaa materiaalia vallitsevassa lämpötilassa ja tästä johtuen polyeteenin on todettu olevan hyvä materiaali suksen pohjassa käytettäväksi. Grafiitin avulla suksen pohjamuovi saadaan väriltään mustaksi ja rakenteeltaan kovemaksi, mikä lisää pohjan kulutuskestävyyttä ja sähköjohtavuutta. Grafiitilla on myös polyeteeniä parempi lämmönjohtavuus. Suksen pohjan lämmönjohtavuus vaikuttaa suksen ja lumen välisen vesikalvon muodostumiseen ja näin suksen pohjan värillä voidaan myös vaikuttaa muodostuvan vesikalvon paksuuteen. (Puukilainen 2002) Pakkaskelillä lämmönjohtavuuden pitää olla mahdollisimman suuri, joten silloin käytetään mustia pohjia. Aurinkoiselle vesikelillä etenkin kilpahiihdossa käytetään usein valkoista väriä suksen pohjassa, jotta pohjan lämpötila ei kasvaisi liian suureksi (Colbeck 2003).

Polyeteenipohjan pitkittäissuuntaisella kuvioinnilla voidaan vaikuttaa kitkakertoimeen. Etenkin vesikelillä pohjakuvioinnilla voidaan vaikuttaa pohjan hydrofobisuuteen ja näin madaltaa kitkakerrointa. Tiiviillä latupohjalla pohjakuviointi pienentää adheesiota, kun taas hienorakeisessa lumessa se lisää kitkaa. (Kivioja ym. 2007, 230) Käytettävän kuvioinnin on oltava mahdollisimman pyöreäharjainen, koska muuten se aiheuttaisi ylimääräistä mekaanista vastusta ja näin kitkakerroin kasvaisi (Suominen 1985, 23).

3.5.1 Voitelu

Suksen pohjia on voideltu aina niiden kehittamisestä lähtien, aluksi voiteluun käytettiin puhdasta tervaa ja myöhemmin 1930-luvulta lähtien erilaisia voidesekoituksia. 1940-luvun alkupuolella Ruotsissa koottiin yhteen joukko kemistejä, jotka kehittivät yleiset ohjeet suksien voiteluun sekä erilaisia voidekoostumuksia eri kelialueilla. (Kuzmin 2006) Voitelun avulla pyritään muodostamaan suksen ja lumen kosketuspintaan voiteleva kerros, mikä osaltaan vaikuttaa suksen lepo- ja liikekitkan suuruuteen. Erilaisten suksivoiteiden tarkoituksena on vaikuttaa pohjan veden- ja lianhylykivyyteen, kovuuteen, lisäämään pohjan sähkövarausta sekä estämään pohjien hapettumista ja kulumista. Parhaiten liikekitkaa pienentävä luistovoitelu toimii silloin, kun se ei vaikuta suksen pohjakuviointiin. Näin ollen suksen voidekerroksen onkin oltava hyvin ohut. (Colbeck 1994)

Eri kemiallisten seoksien avulla vaikutetaan voiteiden koostumukseen ja niiden ominaisuuksiin, kuten esimerkiksi molekyylipainoon, sulamispisteeseen, lämmön sitomis- ja johtokykyyn. Luistovoiteet ovat parafiinipohjaisia seoksia, joissa voidaan käyttää erilaisia ja eri vahvuisia fluoriyhdisteitä lisäämässä hydrofobisuutta. Koska suksen luistoon vaikuttaa suksen ja lumen välinen kitka sekä sen muodostaman lämmön johdosta syntyvä ohut vesikerros, pyritäänkin pakkaskelillä luistovoitelulla optimoimaan tämän vesikerroksen paksuutta. Vesikelillä kyseinen vesikerros pyrkii taas muodostumaan itsestään liian paksuksi ja tällöin luistovoitelulla pyritään lisäämään suksen pohjan hydrofobisuutta ja tätä kautta pienentämään suksien liikekitkaa. Suksen ja lumen väliseen kitkakertoimeen vaikuttaa suksen pohjakuvion sekä lumikiteiden muodostaman kokonaiskosketuspinta-alan suuruus, mihin taas vaikuttaa suksen pohjan ja lumen välisen vesikerroksen kontaktikulman suuruus. Kontaktikulmaan voidaan vaikuttaa käyttämällä fluorivoitelua vesikelissä, jolloin pohjan hydrofobisuus suurentaa kontaktikulmaa. (Puukilainen, 2002)

Pitovoiteet ovat koostumukseltaan joko tervapohjaisia, synteettisiä tai fluorivoiteita. Pitovoiteita käytetään vain perinteisen hiihdossa suksen pitoalueella ja niiden tarkoituksena on lisätä suksien lepokitkaa potkuvaiheessa. (Suominen 1983) Onnistuneen pitovoiteen

valinta koetaan etenkin harvemmin hiihtävien kuntohiihtäjien keskuudessa hankalaksi ja se voikin rajoittaa hiihtämään lähtemistä. Etenkin uuden lumen olosuhteissa ja lähellä 0°C tai sitä lämpimämmässä lämpötilassa liikuttaessa onnistuneen pitovoitelun toteutus edelleen hankaloituu. Valittaessa sopivaa pito- tai luistovoidetta voiteen kovuus tulisi valita vallitsevan lumen jääkiteiden kovuuden mukaisesti. Mitä kovempi lumikiteiden kovuus on, niin sitä kovempi voide myös valitaan ja toisin päin. Jos valittu pitovoide on liian pehmeä vallitsevaan keliin, voi se jäätyä suksen pohjaan ja riittävää pitoa ei tällöin saada aikaiseksi. Pitovoitelussa kannattaa suosia ilman lämpötilaan verrattuna hieman lauhempia voideseoksia, koska yleensä myös lumen lämpötila on hieman ilman lämpötilaa korkeampi. Luistovoitelussa suksen luistoalue pyritään saamaan mahdollisimman kovaksi ja näin ollen, mitä kylmempi ilman lämpötila on, niin sitä kovempi voide pyritään myös valitsemaan. Yleensä tämä tarkoittaa, että pidemmät alkaaniketjuiset voiteet soveltuvat parhaiten kylmälle lumelle ja lyhyemmät alkaaniketjuiset voiteet soveltuvat paremmin taas lämpimämmälle lumelle. Jään kovuus kasvaa nopeasti lämpötilan laskiessa, kun taas voiteiden ja polyeteenin kovuus kasvaa hitaammin laskevan lämpötilan vaikutuksesta. (Bowden & Taylor 1964) Tässä yhteydessä kannattaa kuitenkin huomioida, että suksen liike ja siitä aiheutuvan kitkan vaikutuksesta lumen lämpötila nousee vauhdin kasvaessa muutoksen ollessa jopa useita Celsius-asteita. Tämä aiheuttaa lumen jääkiteiden sulamista ja näin myös lumen jääkiteet muuttavat muotoaan ja pehmenevät. (Schindelwig ym. 2014)

Pääsääntöisesti luistovoiteiden levitys tapahtuu edelleen niin sanotusti kuumavoitelun avulla, missä luistovoide palaa sulatetaan voiteluraudan avulla suksen pohjaan. Jäähtynyt voide poistetaan siklaamalla pohjasta ja suksen pohja viimeistellään erilaisilla harjoilla (teräs, nylon, jouhi) harjaamalla. Näin luistovoidetta jää pintaan mahdollisimman ohut kerros ja suksen pohjan kuviointi ei mene tukkoon voiteen vaikutuksesta. Pitovoitelu suksen pohja karhennetaan hiomapaperilla voidepesän kohdalta, jolloin pitovoiteen tarttuvuus paranee. Tämän jälkeen pitovoidetta lisätään ohuina kerroksina ja kerrokset tasoitetaan välillä korkin avulla hangaten. Lämpimälle ja kostealle lumelle tarkoitettut liisterivoiteet lämmitetään suksen pohjaan kuumailmapuhaltimella ja tasoitetaan esimerkiksi sormella. Pitovoitelussa suksen jäykkyys sekä halutun pidon voimakkuus määrittää käytettävien

pitovoidekerrosten määrän. (Myllylä ym. 1994) Nykyisin voideteollisuudessa on kehitetty paljon uusia helposti käytettäviä voideratkaisuja, niin sanottuja pikavoiteita, jotka voidaan levittää ilman erillistä lämmittämistä. Voiteet ovat koostumukseltaan nestemäisiä ja levitettävissä joko voidepurkissa olevan sienen avulla tai painepullosta suihkuttamalla. Pitovoiteisiin on kehitetty myös helposti käytettäviä pitoteippejä. Pitoteippi sisältää pitovoidekerroksen, joka saadaan kiinnittymään suksen pohjaan teipistä hankaamalla. (Start Grip Tape)

3.5.2 Hionta

Voitelun lisäksi suksen pohjaa voidaan käsitellä myös kivihionnan avulla. Kivihionnan tarkoituksena on poistaa mahdolliset naarmut ja voidejäämät suksen pohjasta sekä tehdä pohjaan uusi kuviointi. Toisin sanoen kivihionnan avulla suksen pohjasta saadaan uusi pinta esiin. Kivihionnan lisäksi nykyisin on tutkittu myös metallileikkauksen vaikutusta pohjan mekaanisena käsittelynä. (Breitschädel 2015) Metallileikkauksella suksen pohjasta saadaan tasaisempi kuin kivihionnalla. Matalassa lämpötilassa, missä suksen ja lumen välistä vesikerrosta ei pääse muodostumaan, on sileästä pinnasta selvästi apua suksen luistolle, kun taas korkeammassa lämpötiloissa ja vesikelillä, kun vesikerroksen paksuus kasvaa liian suureksi, pystytään kivihionnalla tekemään suksen pohjaan pitkittäissuuntainen kuviointi, mikä auttaa rikkomaan liian paksun vesikerroksesta pohjaan kohdistuvaa ”imua” sekä näin pienentämään liikekitkaa. (Colbeck 1994). Kivihionnan yhteydessä on huomioitava, että suksien pohjaan jää hyvin pieniä naarmuja mitkä huonontavat suksien luistoa. Nämä pienet naarmut saadaan tasoitettua voitelun avulla ja tämän vuoksi kivihionnan jälkeen suksiin onkin syytä aina tehdä kuumavoitelu. (Kuzmin & Tinnsten 2005)

4 LUISTON JA PIDON MITTAUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MITTAUSMENETELMÄT

4.1 Laboriomittausmenetelmät

Laboriomittaukset ovat tärkeä osa liikuntabiologian tutkimuksessa, koska sen avulla kenttämittauksissa vaikuttavien olosuhteiden ja koehenkilöiden inhimilliset tekijät pystytään eliminoimaan pois sekä voidaan käyttää erilaisia mittausmenetelmiä ja näin saada myös tarkempaa mittausdataa analysoitavaksi. Erilaisia mittausmenetelmiä on kehitetty tieteenalan kehittymisestä lähtien. Tässä tutkimuksessa laboriomittauksia sovellettiin suksen ja lumen välisen kokonaiskitkavoiman mittauksessa siihen suunnitellun suksen liikutuslaitteen avulla.

4.1.1 Kehätribometrit

Lumen tai jään ja eri materiaalien välistä kitkaa on tutkittu useiden vuosikymmenten ajan. Bowden ja Hughes (1964) kehittivät ensimmäisen mittalaitteen, jonka avulla he pystyivät mittaamaan kokonaiskitkavoimaa. Mittaukset on toteutettu erilaisten kehätribometriä avulla, mutta tekniikan kehittyessä on viime vuosina pystytty kehittämään myös suurempia lineaarisia tribometrejä.

Keinonen ym. (1978) kehitti kehätribometrin, millä pystyi mittaamaan lumen tai jään ja suksen pohjan välistä kitkaa. Laite koostui pyöreästä ja pyörivästä pohjalevystä, minkä päällä oli joko lunta tai jäätä. Levyn päällä oli varsi mihin lumeen kosketuksissa oleva materiaali pystyttiin kiinnittämään. Pohjalevyn pyörimisnopeutta voitiin säätää sähkömoottorin avulla sekä varren painumaa lumeen/jäähän painojen avulla. Varteen oli kiinnitettynä jousi, jonka avulla sen liikettä pystyttiin rajoittamaan ja tästä jousesta pystyttiin myös mittaamaan varteen vaikuttaneet kitkavoimat. (Keinonen 1978) 1980-luvun lopulla Lehtovaara (1989) kehitti vastaavan mittalaitteen lumen ja muovin välisten

kosketusparametrien mittaukseen. Kehitetyn laitteen avulla pystyttiin mittaamaan painon, nopeuden ja lämpötilan vaikutusta liikekitkavoimaan. Mittalaitteessa pyörivän levyn päälle oli valmistettu jääkerros mitä pyöritettiin sähkömoottorin avulla. Muovipintainen mitta-anturi laskettiin jäälevyn päälle ja sitä pystyttiin kuormittamaan erilaisilla kuormilla. Jäälevy ja mitta-anturi sijaitsivat polyuretaanilla eristetyssä laatikossa ja täten niille pystyttiin muodostamaan stabiilit olosuhteet mittausten ajaksi. Lämpötila pystyi vaihtelemaan +2°C ja -20°C välillä sekä jäälevyn pyörimisnopeutta voitiin nostaa aina 12 m/s asti. Lehtovaara teki mittalaitteellaan mittauksia eri nopeuksilla, painoilla sekä lämpötilassa niin, että pystyi vertailemaan kitkan vaikutusta eri muuttujien vallitessa. (Lehtovaara 1989) Myöhemmissä tutkimuksissa Bäurle ym. (2006) kehittivät vastaavan kehätribometrin kuin Lehtovaaran laite oli, mutta mittakaava oli hieman suurempi, mikä mahdollisti suurempien koekappaleiden käytön sekä mittausten suuremman muunneltavuuden (Bäurle ym. 2006).

4.1.2 Lineaaritribometrit

Uudemmissa tutkimuksissa suksen ja lumen välistä kitkaa on alettu tutkimaan myös lineaaristen tribometrien avulla, jolloin mittauksissa on voitu käyttää suurempi pinta-alaisia kappaleita tai oikeita suksia. Tällöin kitkaan vaikuttavat eri fysikaaliset tekijät ovat todellisemmin läsnä ja tulokset ovat suuremmin johdettavissa käytäntöön. Suksien käyttäminen mittauksissa mahdollista myös uusien tutkimusasetelmien muodostamisen ja kenttäolosuhteissa tulleiden ongelmien tutkimisen suljetuimmissa laboratorio-olosuhteissa.

Vuokatissa on Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen rakentama lineaaritribometri, niin kutsuttu suksen liikutuslaite, jonka avulla voidaan mitata suksen pysty- ja vaakavoimia sekä kokonaiskitkavoimaa. (Kolehmainen 2006; Linnamo ym. 2008) Kyseinen lineaaritribometri on esitetty kuvassa 10. Laite koostuu 13680 mm runko-osasta, minkä yläpuolelle on kiinnitetty vapaasti suksea liikuttava kelkka. Runkoon on asennettu kaksi hammashihnalla liikutettavaa kelkkaa, joita ohjaa 7,5 kW oikosulkumoottori. Kelkoissa on kiinni pneumaattinen sylinteri, pystysuunnan voima-anturi (U9C, Hottinger

Baldwin Messtechnik GmbH, Saksa) ja vaakasuunnan voima-anturi (C2, Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Saksa). Pneumaattinen sylinteri painaa suksen alas latua vasten ja voima-anturit mittaavat analogista summasignaalia mV:na josta se muunnetaan voimaksi (N). Suksi on kiinnitetty mittalaitteeseen siteestään normaalia monon ja siteen kiinnitystapaa mukailleen. Mittauksia ohjataan LabVIEW-ohjelmiston (LabVIEW 2014; National Instruments. Austin, Texas, USA) avulla. Suksen vaakaliikkeitä LabVIEW-ohjelmisto ohjaa sähkömoottoriin kytketyn taajuusmuuttajan avulla, kun taas horisontaalivoimia ohjataan pneumaattisen sylinterin painetta säätämällä. Mittalaitteen alla on jäälatu, joka saadaan jäädytettyä nestekiertoisin jäähdytyksen avulla. Kokonaisuus sijaitsee kahden eristetyn merikontin sisällä, jotka on osastoitu jäähdytetyyn ja lämpimään osaan. Suksen liikutuslaite sijaitsee jäähdytetyssä osassa kontteja ja mittauksia voidaan ohjata oman erillisen ohjelmiston kautta konttien lämmitetyssä osassa. LabVIEW-ohjelmiston avulla voidaan määrittää maastohiihtäjän painoa vastaava voima, suksen liukunopeus sekä hiihtotekniikan vaihe (vapaa liuku / potku). Perinteisen potkua mallinnettaessa pneumaattinen sylinteri painaa suksen pitoalueen kiinni latuun ja laite tekee pienen liikkeen taaksepäin. Vapaan liu'un mittauksessa pneumaattinen sylinteri painaa suksen kiinni latuun määritetyn hiihtäjän painon mukaisesti ja sähkömoottori kiihdyttää suksen asetettuun tavoitenopeuteen. (Kolehmainen 2006; Nieminen 2013) LabVIEW-ohjelma laskee suksen liike- ja lepokitkan edellä esitetyn kaavan 2 mukaisesti liikettä vastustavan kitkavoiman ja normaalivoiman välisen suhteen perusteella.



KUVA 10. Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian laitoksen Vuokatin yksikön lineaaritribometri.

Myöhemmin vastaavan lineaarisen tribometrin on kehittänyt Nachbauer ym. (2016) Innsbruckin yliopistolla. Jyväskylän yliopiston kehittämään tribometriin verrattuna suksea ja mittausyksikköä voidaan siirtää sivusuunnassa niin, että mittauksia voidaan tehdä kymmenellä eri kohdalla lumipatjan päällä. Tämä mahdollistaa useamman mittauksen toteuttamisen samanlaisessa lumiolosuhteessa.

4.2 Voiman mittaaminen maastohiihdossa

Maastohiihto on voimantuotollisesti ajateltuna monipuolinen laji, missä lihasten ja elimistön kuormitus on kokonaisvaltaista, riippumatta siitä kummalla maastohiihdon tyyleistä hiihdetään. Voimantuoton suunta sekä ylä- että alaraajojen osalta vievät hiihtäjään eteenpäin, mutta toiminnalliset erot voivat kuitenkin poiketa kävelyn ja juoksun reaktivoimiin nähden. Juuri näitä voimia onkin mitattu jo useiden vuosikymmenten ajan menestyksekkäästi erilaisin menetelmin, mutta hiihdon voimamittaukset alkoivat kehittyä vasta 1980-luvulla. Tutkittaessa maastohiihtoa sen luonnollisessa ympäristössä asettaa vallitsevat olosuhteet aina haasteen mittauksien toteuttamiselle. (Komi & Norman

1987) Vuosien saatossa mittausten menetelmät ovat kuitenkin kehittyneet, mikä on helpottanut mittausten toteutusta sekä tulosten analysointia.

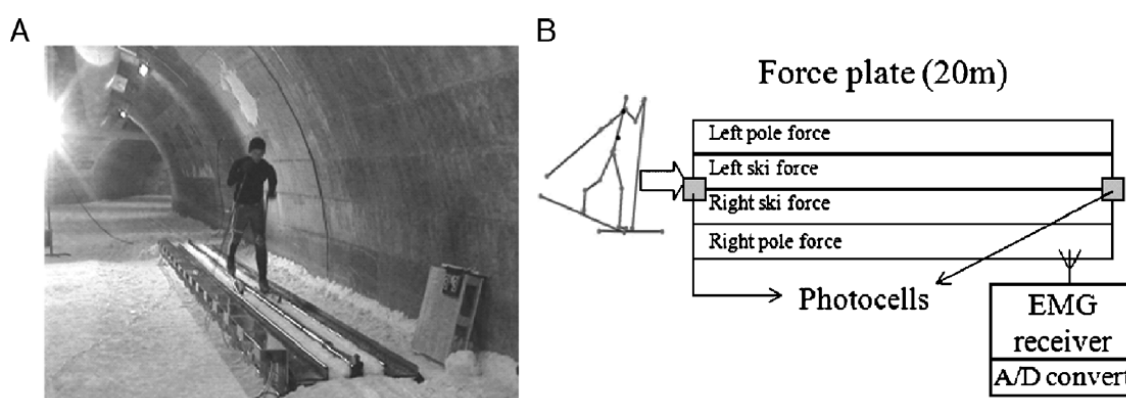
Voimaa mitattaessa biomekaniikassa yleisesti käytettäviä menetelmiä ovat kondensaattorit, konduktorit (johtavuuteen perustuvat), pietsoelektroniset anturit sekä venymäliuskat. Näistä kondensaattorit koostuvat yleensä kahdesta sähköä johtavasta metallilevyä, joiden välissä on ohut kerros johtamatonta tai johtuvaa (riippuen kondensaattori tyypistä) elastista materiaalia. Levyjen kuormittuessa niiden välissä oleva materiaali myös kuormittuu, mikä aiheuttaa sähköisen resistanssin muutoksen. Pietsoelektroniset anturit sisältävät taas materiaalia, jonka ominaisuutena on kuormittuessaan muodostaa sähköinen varaus. Venymäliuska taas sovelletaan mitta-anturin muutoksesta aiheutuvan resistanssin muutosta ja se voidaan toteuttaa vastus, pietsoresistiivisiin, pietsoelektrisiin, kapasitiivisiin, induktiivisiin tai valosähköisiin menetelmiin perustuen. Yleisimmin etenkin biomekaanisissa mittauksissa käytetty menetelmä on vastusvenymäliuska toteutettu sovellutus, mistä esimerkkinä voimalevy mittaukset. Voimalevyyn kohdistuva kuormitus muuttaa rakenteen geometriaa ja tällöin myös resistanssi eli vastus muuttuu. Resistanssin muutos voidaan taas edelleen kalibroida tietylle voimalle. (Nigg & Herzog 2007)

4.2.1 Jalkojen reaktivoimamittaukset maastohiihdossa

Jalkojen reaktivoimia maastohiihdon aikana on tutkittu kahdella eri mittaustekniikalla, lumen alle haudattujen voimalevyjen (Komi 1985; Komi & Norman 1987; Leppävuori ym. 1993; Vähäsöyrinki ym. 2008; Piirainen, 2008) sekä sukseen siteen alle asennettävien pienempien voimalevyjen (Ekström 1981; Komi & Norman 1987; Leppävuori 1989; Babieli 2003; Ohtonen ym. 2013) avulla. Mittaukset on toteutettu pääosin perinteisen hiihdon tekniikalla, koska sen mittaaminen on esimerkiksi lumen alle asennettävien voimalevyjen avulla helpompi toteuttaa.

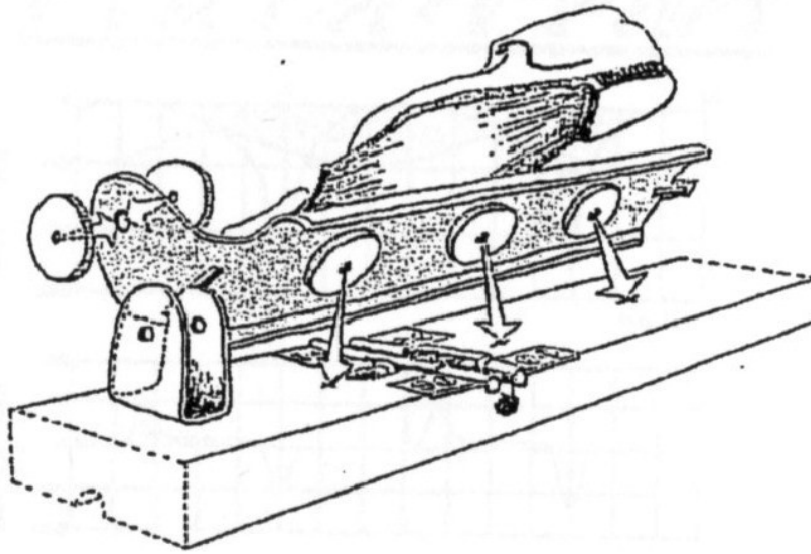
Lumen alle sijoitettavilla voimalevyillä maastohiihdon voimantuottoa mitattaessa on otettava huomioon maastohiihdon vapaan liu'un vaikutuksesta johtuva hiihtäjän etenemä

yhden syklin aikana ja käytettävän voimalevykokoonpanon pituus onkin mitoitettava tämän mukaisesti. Yleisesti kyseistä menetelmää koskevissa tutkimuksissa onkin käytetty 6 – 20 metrin pituisia voimalevykokoonpanoja. Perinteisen hiihtoa mitattaessa mitattavat voimat sijaitsevat vaaka- (F_y) ja pystysuunnassa (F_z). Paavo Komi teki 1980-luvun puolivälissä ensimmäisiä mittauksia lumen alle sijoitettujen voimalevyjen avulla. Näissä tutkimuksissa voimalevykokoonpano koostui neljästä 1,5 metrin pituisesta voimalevy-yksiköstä, joissa kussakin oli neljä 15 senttimetrin levyistä voimalevyä rinnakkain. Tällä voimalevykokoonpanolla saatiin mitattua sekä sauva- että suksivoimista 100 hertsin (Hz) taajuudella vaaka- ja pystysuunnan voimat koko 6 metrin matkalla. (Komi 1985; Komi & Norman 1987) Pitkiä lumen alle sijoitettavia voimalevyjä on käytetty myös uudemmissa tutkimuksissa (Vähäsöyrinki ym. 2008; Piirainen 2008) mittaamenetelmänä. Näissä mittauksissa käytetty voimalevykokoonpano on ollut 20 metrin pituinen, mikä on mahdollistanut useamman syklin sauva- että suksivoimien vaaka- ja pystyvoimien mittaamisen jokaisella mittauskerralla (kuva 11). Kokonaisuus koostui nelirivisistä 1 metrin pituisista erillisistä voimalevyistä, jotka oli kytketty sarjaan. Voimalevykokoonpano on sijainnut Vuokatin hiihtotunnelissa 100 metriä pitkällä testialueella, jonka kaltevuus oli kauttaaltaan $2,5^\circ$.

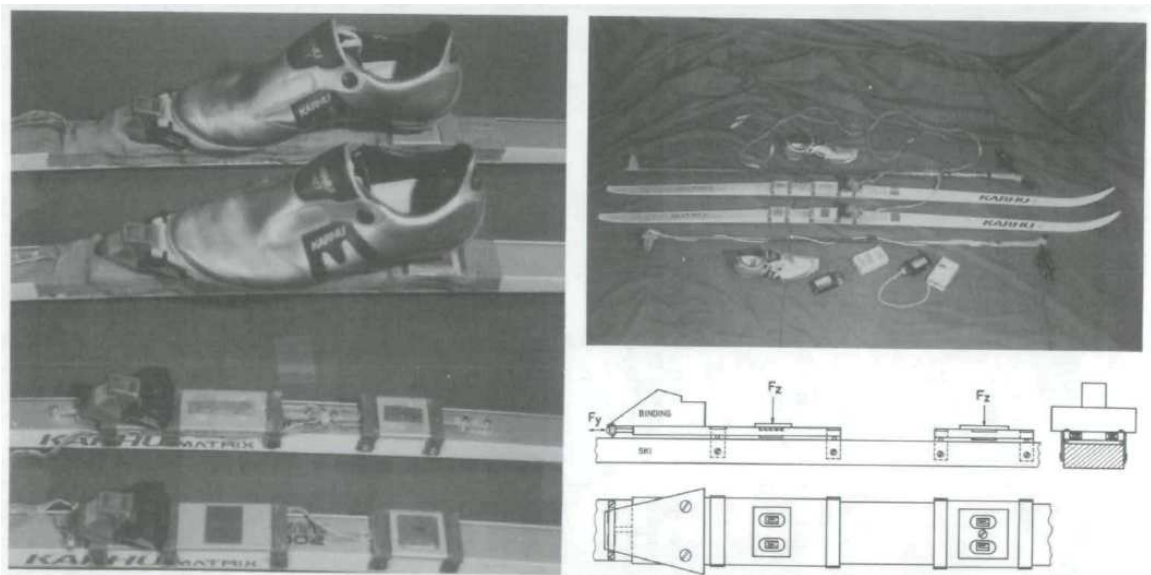


KUVA 11. Uudemmissa tutkimuksissa käytetty 20 metrin voimalevykokoonpano perinteisen hiihtoa tutkittaessa. (Vähäsöyrinki ym. 2008)

Jalkojen reaktivoimien mittaamiseen maastohiihdossa on kehitetty myös pienempiä sukseen kiinnitettäviä voimalevyjä sekä painepohjallisia. Ekström (1981) toteutti ensimmäiset voimamittaukset sukseen kiinnitettävän voimalevyn avulla (kuva 12) ja myöhemmin Komi ja Norman (1987) käytti vastaavaa menetelmään omassa tutkimuksessaan (kuva 13). Ekströmin tutkimuksessa sukseen kiinnitettävään erilliseen levyyn oli kiinnitetty viisi voimamittausosaa (ELF 1000-250, Entran Devices inc., USA), jotka pystyivät mittaamaan pysty- sekä vaakasuuntaisia voimia (mittatarkkuus $\pm 10\%$). Mittausyksikkö toi lisäpainoa 280 grammaa yhdelle sukselle. (Ekström 1981) Komin ja Normanin (1987) tutkimuksessa sukseen kiinnitetty voimalevykokoonpano koostui kolmesta erillisestä voimalevystä. Päkiän ja kannan alla sijaitsi pystysuunnan voimalevyt ja siteen etuosassa sijaitsi vaakasuunnan voimalevy. Voimalevyt kiinnitettiin suksien kylkiin ja yhden suksen voimalevykokoonpanon paino oli 200 grammaa, joten siitä ei aiheutunut haittaa hiihtäjän suoritukselle. Voimalevyt olivat siirrettävissä yhdestä suksesta toiseen noin 10 minuutissa, mikä mahdollisti tutkimuksen myös eri suksien välillä. (Komi & Norman 1987) Tämän tutkimuksen lisäksi kyseisiä mittausantureita käytettiin myös Leppävuoren (1989) tutkimuksessa. Tähän tutkimukseen voimalevyjä modifioitiin niin, että oikean jalan voimalevyt mittasivat suksen pysty- ja pituussuuntaisia voimia, kun taas vasemman suksen voimalevyt mittasivat suksen pysty- ja poikittaissuuntaisia voimia. Osaa mitatuista tuloksista ei kuitenkaan saatu luotettavasti mitattua, koska suksien luonnollinen taipuminen ponnistusvaiheessa aiheutti pituussuuntaiseen voimaan vääristymää sekä poikittaista voimaa mitanteen anturin toiminnassa oli epätarkkuutta. (Leppävuori 1989)



KUVA 12. Ekströmin tutkimuksessa käytetyn suksen ja siteen väliin kiinnitetty mittauslevy. (Ekström 1981)

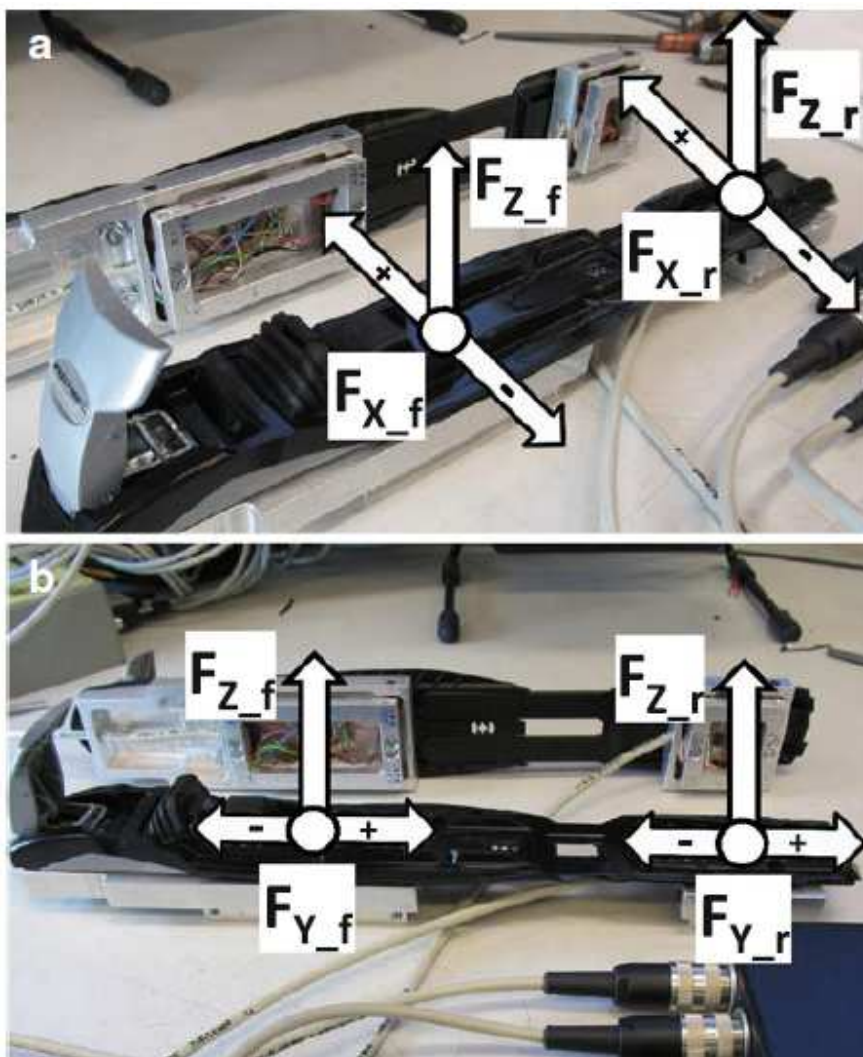


KUVA 13. Komin ja Normanin tutkimuksessa käytetty suksiin kiinnitettävä voimalevykokoonpano. (Komi & Norman 1987)

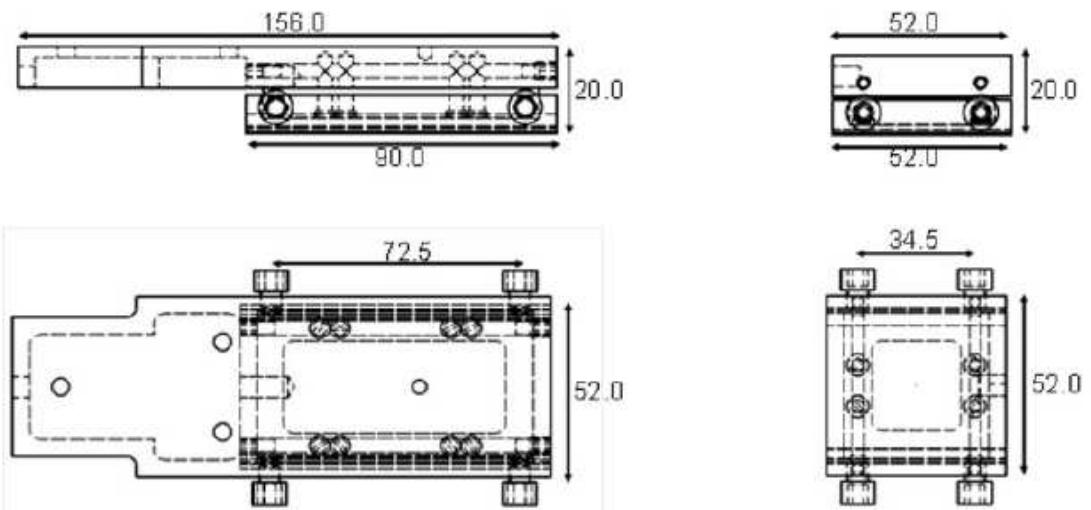
Uudemmissa tutkimuksissa sukseen kiinnitettävien voimalevyjen menetelmää on kehittäneet Babel (2003) sekä Linnamo ym. (2012). Babelin tutkimuksessa kaikkien

kolmen suunnan reaktivoimia mittaavat voimalevyt kiinnitettiin rullasuksiin. Sukseen jakaantuvien vertikaalisten voimien mittaamiseen oli neljä anturia, sukseen poikittain vaikuttavien voimien mittaamiseen oli kaksi anturia ja eteenpäin vievälle pituussuunnan voimien mittaamiseen yksi anturi. (Babiel 2003) Linnamon johtamassa (2012) tutkimuksessa käytettiin voimalevykokoonpanoa (myöhemmin sidevoima-anturi), jotka kiinnitettiin suoraan suksessa olevaan NIS-siteenkiinnityslevyyn (Nordic Integrated System, Rottefella as, Klokkearstua, Norway). Nykyisin useissa suksissa olevat NIS-siteenkiinnityslevyt mahdollistavat sidevoima-antureiden nopean siirron suksesta toiseen. Tutkimusta varten kehitetyt sidevoima-anturit koostuvat kahdesta päkiän alle tulevasta voimalevystä sekä kahdesta kannan alle tulevasta voimalevystä. Voimalevyt on toteutettu venymäliuskaamenetelmällä ja pystyvät mittaamaan voimia jokaiseen kolmeen eri suuntaan (Fz, Fx, Fy). Sidevoima-antureista data siirrettiin kaapeleiden avulla vahvistimelle (12-channel ski force amplifier, Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä, Finland) josta edelleen A/D-muuntimelle (samplin rate 1 kHz, NI 9205, National Instruments, Austin Texas, USA). A/D-muunnin oli kytketty langattomaan lähettimeen (WLS-9163, National Instruments, Austin Texas, USA), mitä kautta mittausdata välitettiin tietokoneelle. Testihenkilö kantoi edellä mainittua mittauslaitteistoa suorituksen aikana mukanaan ja tämän kokonaisuuden paino oli 3,3 kiloa, mistä sidevoima-antureiden osuus oli 1070 grammaa. Linnamon johtamassa tutkimuksessa sidevoima-antureita verrattiin aikaisemmin käytössä olleeseen menetelmään (20 metrin lumen alle sijoitettu voimalevykokoonpano) ja havaittiin että menetelmien välillä oli suhteellisen suuri korrelaatio, joten sidevoima-antureita voidaan pitää luotettavana mittausmenetelmänä. (Linnamo ym. 2012) Myöhemmissä Jyväskylän yliopistolla toteutetuissa tutkimuksissa (Ohtonen ym. 2013) sidevoima-antureita on kehitetty edelleen ja nykyisin perinteisen hiihtotekniikalle ja vapaan hiihtotekniikalleen on omat sidevoima-anturinsa. Molemmat näistä ovat rakenteeltaan vastaavia kuin jo 2008 kehitetyt versiot, mutta mittaussuuntia on yksinkertaistettu niin, että kannan ja päkiän pystyvoimien lisäksi perinteisen hiihtotekniikan sidevoima-anturit mittaavat suksen suuntaisia voimia ja vapaan hiihtotekniikan sidevoima-anturit mittaavat suksen suuntaan poikittaisia voimia. Uudempien sidevoima-antureiden kokonaispaino on 980 grammaa, eli yhden suksen sidevoima-anturin painoksi tulee 490

grammaa, joka koostuu 200 grammaa painavasta takaosasta ja 290 grammaa painavasta etuosasta. Samassa yhteydessä kehitettiin sidevoima-antureille erillinen kalibroitilaitteisto (tarkempi kokoonpano esitetty jäljempänä). Kehitettyjä sidevoima-antureita on verrattu erilaisin hyppytestein normaalia voimalevyä vasten, missä näiden kahden mittaustavan välillä saatiin suuri korrelaatio ja todettiin, että kyseiset sidevoima-anturit ovat erittäin validi kenttämittausten menetelmänä. (Ohtonen ym. 2013) Kuvissa 14, 15 ja 16 on esitetty perinteisen ja vapaan sidevoima-antureiden mittaussuunnat, rakenne ja kokoonpano.



KUVA 14. Jyväskylän yliopiston kehittämät sidevoima-anturit vapaan hiihtotekniikalle (a) ja perinteisen hiihtotekniikalle (b).



KUVA 15. Jyväskylän yliopiston kehittämän sidevoima-anturin rakennekuva. (Ohtonen ym. 2013)



KUVA 16. Jyväskylän yliopiston kehittämät sidevoima-anturit.

Uudempi mittausmenetelmä maastohiihdon reaktivoimamittauksissa on painepohjallisten käyttö ja sen osalta tutkimukset ovatkin toteutettu 2000-luvun puolella. Ensimmäisenä pohjallisia käytti tutkimuksessaan Holmberg ym. (2005), jossa mitattiin tasatyönön biomekaanisia ominaisuuksia rullasuksilla juoksumatolla tehtävän suorituksen aikana. Mittauksissa hän käytti Pedar Mobile System (Novel GmbH, Munich, Germany) painepohjallisia oikean jalan paineiden mittaamiseen. Mittaukset suoritettiin 100 Hz

näytteenottotaajuudella. (Holmberg ym. 2005) Myöhemmin Lindinger ym. (2009) käytti vastaavaa menetelmää tutkiessaan vauhdin kontrollointiin liittyviä tekijöitä tasatyönön yhteydessä sekä Stöggl ym. (2010b) tutkiessaan luisteluhiihdossa eri tekniikan välisiä biomekaanisia eroja (Lindinger ym. 2009; Stöggl ym. 2010b)

Sekä erillisillä lumen alle sijoitettavilla voimalevyillä kuin myös sukseen kiinnitettävillä voimalevyillä ja painepohjallisilla on omat hyvät ja huonot puolensa. Lumen alle sijoitettavien voimalevyjen huonona puolena on mittausjärjestelmän koko ja hidas käyttöönotto. Levyjen sijoittelu lumen alle vie aikaa sekä niiden siirtäminen eri maaston kohtaan on työlästä. Tutkimuksissa myös havaittiin, että levyjen väliin kerääntynyt irtolumi ja jää häiritse mittauksia ja hankaloitti näin tutkimusta. Voimalevyjen päällä olevan lumipatjan on myös oltava tasainen, jotta voimasignaali pysyy luotettavana. Komi ja Norman (1987) totesivat tutkimuksessaan, että levyjen asennuksen jälkeen pystyttiin tekemään vain kaksi tai kolme mittausta yhden testikerran aikana, jotta tulosten luotettavuus säilyi. Toisaalta taas kiinteästi sijoitetut voimalevyt helpottavat useampien koehenkilöiden käyttämistä mittauksissa, koska koehenkilölle itselleen tai heidän välineisiinsä ei tarvitse kiinnittää erillisiä mittalaitteita ja näin liikeradat myös pysyvät täysin normaaleina. Kiinteästi sijoitettujen voimalevyjen osalta myös mittausdatan kerääminen on helpompaa, sillä ne voidaan kytkeä suoraan ilman erillisiä langattomia lähettämiä dataa keräävään tietokoneeseen. (Komi & Norman 1987) Sidevoima-antureiden sekä painepohjallisten etuna taas on se, että niiden avulla voidaan helposti mitata useita syklejä yhdellä mittauksella. Mittauksia ei ole myöskään sidottu vain yhteen maaston kohtaan, vaan järjestelmä on helpommin liikuteltavissa. Etenkin vanhempien sidevoima-antureiden ongelmana on kuitenkin ollut niiden hidas siirrettävyys suksesta toiseen ja näin esimerkiksi eri suksiparien välisiä eroja mitattaessa on ollut helpompi käyttää lumen alle sijoitettavia voimalevyjä. Uudemmissa sidevoima-antureissa tämä on kuitenkin otettu huomioon, mikä on mahdollistanut hyvin monipuolisen maastohiihdon reaktivoimien tutkimisen. (Komi & Norman 1987; Ohtonen 2010; Ohtonen ym. 2013) Painepohjallisten puutteena on taas se, että niillä ei pystytä mittaamaan kuin pystysuoraa suuntaa, mikä rajoittaa tutkimusasettelua

huomattavasti. Paine pohjallisten avulla voidaan kuitenkin tutkia jalkapohjan paineen jakautumista, mihin voimalevymenetelmillä ei pystytä.

4.3 Kenttämittausmenetelmät pito- ja luistotesteissä

Yhä edelleen merkittävin tekijä vallitsevaan olosuhteeseen soveltuvan suksen valinnassa on suksen pito- ja luistotestien järjestäminen kenttäolosuhteissa. Tätä mittausmenetelmää sovelletaan lähes kaikissa hiihtokisoissa aina junioritasolta huippu-urheiluun asti. Luistotesti toteutetaan normaalisti loivaan alamäkeen asennettujen valokennojen tai muiden väliaikamittausmenetelmien avulla. Kahden pisteen välisiä väliaikoja hyväksi käyttäen verrataan suksien, voiteiden ja pohjakuviointien välisiä eroja. Luistomittauksista tehdessä oleellista on, että mittaukset saataisiin suoritettua muuttumattomassa olosuhteessa ja esimerkiksi käytettävä testilatu olisi verrattavien suksien välillä sama. Vertailtavat suksien syytä mitata useampaan kertaan sekä muuttuvassa järjestyksessä, jotta metamorfoosin johdosta jatkuvasti muuttuvan ladun pinnan, vallitsevan olosuhteen vaikutus suksen pohjaan sekä hiihtäjään vaikuttavat ulkoiset voimat eivät vaikuttaisi mittauksien tuloksiin merkittävästi. Kunkin suksiparin laskuajoista poistetaan hitain ja nopein aika sekä jäljelle jäävistä ajoista muodostetaan keskiarvot vertailua varten.

Tieteellisissä tutkimuksissa suksien luistotestejä kenttämittauksina on toteutettu esimerkiksi Kuzminin (2006) tutkiessa suksien pohjan likaantumisen vaikutusta suksen luistoon. Kenttämittauksissa heidän tutkimuksessaan käytettiin 170 metrin mittaista alamäkeä. Ensimmäinen 70 metriä alamäessä oli hieman jyrkempää, kun taas varsinainen 100 metrin mittausalue oli loivempaa. Ajanottoon mittauksissa käytettiin digitaalista kronometriä (Start Ski Wax, Suomi) ja infrapuna tunnistimia mittausalueen alku- ja loppupisteessä. Kenttämittauksessa testattavana kalustona oli aina yhtä aikaa kaksi suksiparia: referenssi suksipari ja käsitelty suksipari. Jokainen suksipari testattiin kolmeen kertaan ja mittauksien keskiarvot laskettiin tulosten analysointia varten. Suksiparit testattiin aina järjestyksessä 1-2-2-1-2-1, joista ensimmäinen pari valittiin testiin aina satunnaisesti.

Pitotestien kenttämittausten menetelmänä voidaan käyttää vastaavaa mittausten menetelmää ja -protokollaa kuin luistotestissäkin. Testisuoritus toteutetaan ylämäkeen hiihtäen ja maksimaalisella suoritusteholla. Yleinen käytäntö on toteuttaa pitotestit sauvoilla hiihtona, jolloin eteenpäin vievä kontakti tapahtuu pelkästään suksien välityksellä ja näin saadaan luotua parempi käsitys pidon toimivuudesta. Hiihtäjän subjektiivinen kokemus suksen pidosta on tärkein yksittäinen vaikuttava tekijä sopivaa pitovoitelua valittaessa. Fyysiset erot hiihtäjien välillä sekä hiihdettävän ladun profiili vaikuttavatkin usein käytettävän pitovoitelun vahvuuteen. Suksien pohjia käsiteltäessä on kuitenkin huomioitava, että yleensä pidon lisääminen heikentää suksen luisto-ominaisuuksia.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Suksien valmistustekniikoiden sekä materiaalien kehittyminen ja toisaalta kuluttajien toiveiden sekä elintapojen muutokset ovat saaneet suksien valmistajat kehittämään uusia lähes hoitovapaita perinteisen suksia. Vaikka maastohiihtosuksien valmistajien määrä onkin globaalisti hyvin pieni, on markkinoilla nykyisin tarjolla kuitenkin hyvin paljon erilaisia vaihtoehtoja. Kuntohiihtäjälle suksien ostaminen on harvinaisen hetki ja jokainen haluaisikin löytää itselleen sellaisen parin millä voi nauttia hiihdosta ja talviluonnossa liikkumisesta useiden vuosien ajan. Uusien ”voiteluvapaiden” suksien kehittäminen on taas toisaalta hyvin uusi ilmiö ja tämä on näkynyt sekä suurina eroina markkinoilla olleiden tuotteiden välillä kuin myös väärinä valintoina ostopäätöksiä tehtäessä. Kaupassa hiihtäjälle valitut sukset eivät olekaan toimineet kuten oma toive on ollut ja valinta on ladulla osoittautunut vääräksi. Sukset eivät olekaan pitäneet tai ne on pitäneet jopa liian hyvin eikä luistoa ole tällöin löytynyt juurikaan. Tässä vaiheessa sukset ovat kuitenkin jo käytetyt ja harva liike on niitä valmis enää ottamaan vastaan. Tämä kaikki voi johtaa siihen, että juuri orastanut maastohiihtoinnostus lopahtaa yhtä nopeasti kuin se ehti muodostumaankin ja sukset jäävät muiden vanhojen ja hiihtämättömien suksien kylkeen nojailemaan varaston perälle.

Tässä tutkimuksessa tarkoituksena onkin selvittää erityisesti seuraavat asiat:

1. Miten kuntohiihtäjää voisi valistaa ja auttaa oikean suksivalinnan tekemiseen?
2. Onko markkinoilla olevissa eri tekniikoin valmistetuissa perinteisen hiihtotyylin suksissa merkittäviä eroja, kun verrataan niiden pito- ja luisto-ominaisuuksia käytössä oleviin tieteellisiin menetelmiin?
3. Pystymmekö antamaan suosituksia tutkimuksen mukaan tehtyjen mittausten perusteella kuntoilijan suksivalintaa varten?
4. Vastaavatko kenttäolosuhteissa tehdyt mittaukset käytössä olevan lineaaritribometrin tulosten kanssa?

6 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksessa selvitettiin suksien pito- ja luisto-ominaisuuksia ulkona kenttätestein sekä sisällä laboratoriomittauksin suksen liikituslaitteen (myöh. suksitesteri) avulla. Kenttämittaukset suoritettiin Vuokatin Urheiluopiston latureitistöllä sekä Vuokatti Sportin hiihtotunnelissa ja laboratoriomittaukset suoritettiin Jyväskylän yliopiston Vuokatin toimipisteen biomekaniikan laboratorion yhteyteen kuuluvassa kylmäkontissa. Kaikki mittaukset suoritettiin kevään 2018 aikana. Ulkona latureitistöllä tehdyt kenttämittauspäivät ajoitettiin niin, että mittaukset päästiin toteuttamaan kahdessa eri olosuhteessa. Ensimmäisen mittauspäivän olosuhde vastasi kuivaa pakkaskelin olosuhdetta, kun taas toinen mittauspäivän olosuhde vastasi vesikelin olosuhdetta. Hiihtotunnelissa olosuhde pysyi vakiona koko tutkimuksen ajan. Latureitistöllä suoritettuina kenttämittauspäivinä Ilmatieteenlaitoksen Sotkamon Kuolaniemen (suora etäisyys 4,1 km testipaikasta) havaintoasemalla mitatut säähavainnot on esitetty oheisessa taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Sotkamon Kuolaniemen havaintoaseman keskimääräiset säähavainnot ulkona suoritettujen mittauspäivien testiajankohtana. (Ilmatieteen Laitos, Havaintojen lataus – nettipalvelu)

Mittauspäivä	Lämpötila [°C]	Suhteellinen kosteus [%]	Tuulen nopeus [m/s]	Pilvisuus
4.4.2018	3,2	37,3	2,9	Selkeää
18.4.2018	12,4	35,5	1,8	Selkeää

6.1 Koehenkilöt sekä tutkimuksessa käytetyt sukset

Kenttämittauksissa käytettiin kahta vapaaehtoista koehenkilöä, nais- ja mieshiihtäjää. Naishiihtäjän ikä oli 44, pituus 174 senttimetriä ja paino 74 kiloa, kun taas mieshiihtäjän ikä oli 33, pituus 182 senttimetriä ja paino 85 kiloa. Molemmilla koehenkilöillä oli hiihtotaustaa

useiden vuosien ajan ja mittausten aikaan he luokittelivat itsensä aktiivisiksi kuntohiihtäjiksi.

Tutkimuksessa käytettiin yhteensä seitsemää suksiparia, joista parit 1-3 oli painoluokaltaan yli 60 kiloille hiihtäjälle ja niillä hiihti naiskoehenkilö, kun taas parit 5-7 oli painoluokaltaan yli 80 kiloille hiihtäjälle ja niitä tutkimuksessa käytti mieskoehenkilö. Molemmilla koehenkilöillä oli käytössään sama nanosuksipari (pari 4. ja 8.) suksen toiminnallisesta rakenteesta johtuen. Kaikille mitatuille kelialueille käytettiin samoja suksipareja, koska se kuvastaa parhaiten myös normaalisti kuntohiihtäjän käytössä olevaa suksikalustoa. Mittauksissa käytetyt sukset olivat aktiivihiihtäjälle suunnattuja ja laadultaan korkeatasoisia, jotta mittausvirheet tämän osalta pystyttiin minimoimaan. Suksitesterillä tehdyissä mittauksissa käytettiin myös erillistä kalibrointiin tarkoitettua suksiparia (kalib.). Tutkimukseen valitut eri toimintatavoin toimivat sukset on esitelty aiemmin kappaleessa 2.2. Käytössä olleen suksikaluston mallit, painoluokka ja valmistaja on esitetty tarkemmin taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Mittauksissa käytetty suksikalusto.

		Suksimerkki	Suksimalli	Painoluokka	Valmistaja	Maa
yli 60 kg	pari 1 - void	Peltonen	Infra X Classic	60 kg	Peltonen Ski Oy	Suomi
	pari 2 - teippi	Peltonen	Infra X Classic	60 kg	Peltonen Ski Oy	Suomi
	pari 3 - pitok.	Peltonen	Skin Pro	60 kg	Peltonen Ski Oy	Suomi
	pari 4 - nano	Yoko	YXC 3.0	-	KSF Sport Oy	Suomi
yli 80 kg	pari 5 - void	Fischer	RCS Carbon Lite	80 kg	Fischer Sports GmbH	Itävalta
	pari 6 - teippi	Fischer	RCS Carbon Lite	80 kg	Fischer Sports GmbH	Itävalta
	pari 7 - pitok.	Peltonen	Skin Pro	80 kg	Peltonen Ski Oy	Suomi
	pari 8 - nano	Yoko	YXC 3.0	-	KSF Sport Oy	Suomi
	kalib.	Peltonen	Infra X		Peltonen Ski Oy	Suomi

6.1.1 Normaalisti voidellut ja pitoteipatut sukset

Kelivoideltuina ja pitoteipillä voideltuina suksina tässä tutkimuksessa käytettiin aktiivihiihtäjälle suunniteltuja perinteisen hiihtotyylin suksia (60kg koehenkilö: Peltonen – Infra X, 80kg koehenkilö: Fischer Carbonlite Classic Plus). Rakenteeltaan sukset olivat kennorunkoisia ja pohjamateriaalina niissä oli polyeteeni. Voidepesän pituus voitelua varten määriteltiin suksien puristusmittarin avulla kummallekin koehenkilölle sopivaksi.

6.1.2 Pitokarvasukset

Tutkimuksessa käytettyjen skin-base suksien (Peltonen SkinPro) runkona on kennorunko ja pohjamateriaalina polyeteeni. Pitoalueelle on 100% mohairvillasta valmistettu pitokarva. Suksien runkomuoto on suunniteltu toimivaksi pitokarvan kanssa ja poikkeaa hieman normaalista voideltavasta suksesta. Jäykkyydeltään kyseisiä suksia valmistetaan kolmea eri jäykkyyttä ja pitokarvan pituus suksen suunnitellusta jäykkyydestä riippuen on joko 320, 384, 414 tai 444 millimetriä. (Peltonen Hiihto 2017-2018)

6.1.3 Nanopohjasukset

Tutkimuksessa käytettiin molemmilla hiihtäjillä samaa nanosuksiparia (YOKO YXC 3.0). Suksen runko on valmistettu polyuretaanista ja se on rakenteeltaan hieman matalampi normaaliin voideltavaan sukseen verrattuna. Nanopinnoitteena suksesta on käytetty Optigrip-mallinimellä valmistettua pinnoitetta, mikä on levitetty sukseen erillisen pohjan hionnan jälkeen. (Sylvin J. – KSF Sport Oy, henkilökohtainen tiedonanto 8.5.2018)

6.2 Tutkimuksessa käytetyn suksikaluston voitelu

Tutkimuksessa käytetyt sukset valmistettiin ennen jokaista mittauskertaa vallinnutta mittausolosuhdetta vastaavan voitelun mukaisesti. Suksipareihin 1. ja 5. tehtiin normaali

pito- ja luistovoitelu, parit 2. ja 6. voideltiin vastaavalla luistovoitelulla, mutta pitovoiteluna käytettiin pitoteippiä ja suksipareihin 3. ja 7. tehtiin pelkkä luistovoitelu ennen jokaista testiä. Suksien luistovoitelut tehtiin niin kutsuttuna kuumavoiteluna ja pohjavoiteena käytettiin kaikille kelialueille matala fluorista parafiinia, jonka päälle laitettiin kelin mukainen hieman korkeamman fluoripitoisuuden mukainen parafiini. Jokaisen voidekerran jälkeen ylimääräinen voide siklattiin sekä suksien pohjakuviot harjattiin auki teräs- ja nylonharjoilla. Pitovoitelussa pohjavoiteen päällä käytettiin pakkaskelillä purkkivoiteita ja vesikelillä sekä hiihtoputkessa liisteriä. Suksipareissa 2. ja 6. pitoalueella käytettiin pitoteippiä. Kaikki voitelut pyrittiin toteuttamaan kuntohiihtäjän käytössä olevien voiteiden sekä voiteluvälineiden avulla. Voiteet hankittiin paikallisesta hyvin varustellusta urheiluliikkeestä. Ennen jokaista voitelua vanhat voidejäämät poistettiin suksista ja suksien pohjat puhdistettiin voiteenpoistoaineella. Nanosuksipari käsiteltiin ennen mittauksia kyseisiä suksia varten suunnitelluilla puhdistus- sekä hoitoaineilla. Tarkemmin käytetyt voiteet ja käsittelyaineet on esitetty taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Kenttä- ja laboratoriomittauksissa käytetyt pito- ja luistovoitelut.

<u>Kenttämittaukset</u>			
Kuiva vanha lumi	luistovoitelu		
	pohjavoide	Vauhti LF Race Cold	Vauhti Speed Oy, Suomi
	kelivoide	Start Medium Fluor Glide 8	Startex Oy, Suomi
	pitovoitelu		
	pohjavoide	Swix Base Binder Spray	Swix Sport As, Norja
	kelivoide 1.	Start Tar Kick Wax	Startex Oy, Suomi
kelivoide 2.	-	-	
Kostea vanha lumi	luistovoitelu		
	pohjavoide	Vauhti LF Race Cold	Vauhti Speed Oy, Suomi
	kelivoide	Start Medium Fluor Glide 4	Startex Oy, Suomi
	pitovoitelu		
	pohjavoide	Swix Base Binder Spray	Swix Sport As, Norja
	kelivoide 1.	Start Wide Universal Glistex	Startex Oy, Suomi
kelivoide 2.	Swix KR60 Vario Klister	Swix Sport As, Norja	
Keinolumi	luistovoitelu		
	pohjavoide	Vauhti LF Race Cold	Vauhti Speed Oy, Suomi
	kelivoide	Start Medium Fluor Glide 8	Startex Oy, Suomi
	pitovoitelu		
	pohjavoide	Swix Base Binder Spray	Swix Sport As, Norja
	kelivoide 1.	Start Blue Klister	Startex Oy, Suomi
kelivoide 2.	Start Purple Klister	Startex Oy, Suomi	
<u>Laboriomiittaukset</u>			
Kuiva vanha lumi	luistovoitelu		
	pohjavoide	Vauhti LF Race Cold	Vauhti Speed Oy, Suomi
	kelivoide	Start Medium Fluor Glide 8	Startex Oy, Suomi
	pitovoitelu		
	kelivoide	Swix Universal VM Klister	Swix Sport As, Norja
Kostea vanha lumi	luistovoitelu		
	pohjavoide	Vauhti LF Race Cold	Vauhti Speed Oy, Suomi
	kelivoide	Start Medium Fluor Glide 4	Startex Oy, Suomi
	pitovoitelu		
	kelivoide	Swix Universal VM Klister	Swix Sport As, Norja
<u>Pitoteippaus</u>			
pitoteippi	Start Grip Tape	Startex Oy, Suomi	
<u>Nanosuksien huolto</u>			
puhdistus	Optiwax Gripcleaner	MJ Optima-Sport Oy, Suomi	
käsittely	Optiwax Gripcare	MJ Optima-Sport Oy, Suomi	
<u>Suksien puhdistus</u>			
Voiteen poisto	Start Remover	Startex Oy, Suomi	

6.3 Kenttämittaukset

Kenttämittauksissa suksien pito- ja luisto-ominaisuuksien välisiä eroja selvitettiin mittaamalla kahden pisteen välillä kulunutta aikaa sekä hiihtäjän reaktiivoimia mittaamalla. Ensin mitattiin kaikkien suksien väliset laskuajat ja nousuaikoja mitattaessa suksiin kiinnitettiin erilliset sidevoima-anturit reaktiivoimien mittausta varten. Kenttämittausten lopuksi koehenkilöt tekivät myös subjektiivisen arvion suksille ja asettivat sukset paremmuusjärjestykseen oman tuntemuksensa mukaan. Subjektiivisen arvion merkittävyys otettiin huomioon myös tuloksissa. Lasku- ja nousuaikojen mittaustulokset sekä mittauksissa ilmenneet huomiot kirjattiin mittauspöytäkirjaan LIITE 1.

6.3.1 Lasku- ja nousuaikojen mittaus

Kenttämittauksissa lasku- ja nousuaikoja mitattiin valokennolaitteiston (Spin Test Oy, Tallinna, Viro) avulla. Kennot sijaitsivat loivassa mäessä 47,5 metrin etäisyydellä toisistaan. Käytetyt etäisyydet määräytyivät käytössä olleen laitteiston sekä kyseisen maastonkohdan mukaan. Latureitistön varrella tehdyissä kenttämittauksissa käytetyn nousun jyrkkyys oli 4,4 astetta ja hiihtoputkessa tehdyissä mittauksissa käytetyn nousun jyrkkyys oli 4 astetta. Molempiin mittauskohtiin ajettiin latukoneella kaksi uutta perinteisen hiihdon latu-uraa ennen mittausten aloittamista. Molemmat hiihtäjät käyttivät vain yhtä uraa koko mittausjakson ajan. Tällä varmistettiin, että latujen lumen metamorfoosi pysyi vertailukelpoisena.

Laskuaikoja mitattaessa hiihtäjä lähti 10,7 metrin päästä ennen ensimmäistä valokennoa. Lähtö tapahtui paikaltaan ilman vauhdin ottoa ja hiihtäjä laski valokennojen läpi normaalissa matalassa laskuasennossa sekä pyrki pitämään suorituksen jokaisella testikerralla samanlaisena. Laskuaikoja mitattaessa kaikki sukset testattiin viisi kertaa vaihdellen kronologisen ja käänteisen järjestyksen välillä, jotta ladun muutos ei vaikuttaisi mittaustuloksiin. Laskuajoista vähennettiin paras ja heikoin tulos sekä laskettiin kolmen jäljelle jääneen ajan keskiarvo. Nousuaikoja mitattaessa hiihtäjä lähti 18 metriä ennen

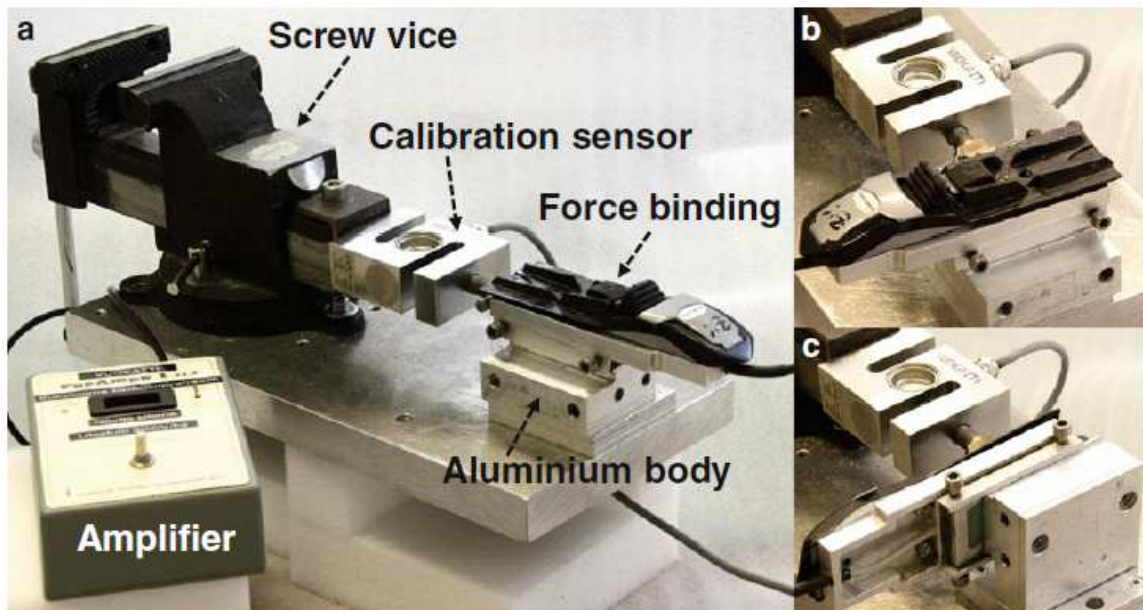
ensimmäistä valokennoa kiihdyttämään vauhtiaan. Tavoitteena oli hiihtää maksimaalisella yrityksellä sauvoitta hiihtoa kahden valokennon välinen matka. Kaikki sukset testattiin kahteen kertaan, jolloin mitattiin valokennojen välillä kulunut aika. Pitotestin aikana suksissa oli sidevoima-anturit kiinni ja niiden kautta saatu data oli tutkimuksen asetelman kannalta oleellisempi, joten nousuaikoja ei ollut tarpeen mitata useampaan kertaan.

6.3.2 Reaktivoimien mitta

Sidevoima-antureiden kiinnitystä varten suksien siteet irrotettiin NIS-levyistään ja anturit kiinnitettiin siteiden tilalle suksipariin ennen pitomittauksia. Oikealle ja vasemmalle jalalle oli omat sidevoima-anturinsa, jotta mittaustulokset pysyivät yhtenevinä. Sidevoima-anturit lähettivät mittaustietoa Coachtech-järjestelmän (Jyväskylän yliopisto, Suomi) kautta langattomasti tietokoneelle. Kahden onnistuneen mittauskerran jälkeen sidevoima-anturit siirrettiin välittömästi seuraaviin suksiin.

6.3.2.1 Sidevoima-antureiden kalibrointi

Sidevoima-anturit kalibroitiin kyseiseen käyttöön valmistetun kalibrointilaitteiston avulla. Kalibrointilaitteisto koostuu alumiinilevyllä kiinnitetystä ruuvipuristimesta sekä sidevoima-anturin kiinnitystelineestä. Ruuvipuristimeen oli kiinnitetty punnitusanturi (Raute precision TB5, Suomi) ja sidevoima-anturin telineen asentoa pystyi muuttamaan niin, että sidevoima-anturien kaikki mittaussuunnat voitiin kalibroida. Sidevoima-anturin ja punnitusanturin signaali siirrettiin vahvistimen (PowerAmps, Jyväskylän yliopisto, Suomi) ja AD-muuntimen (CED Power 1401, valmistaja: Cambridge Electronic Design Limited, Englanti) kautta tietokoneelle Spike2-ohjelmalla (Spike2 5.21, valmistaja: Cambridge Electronic Design Limited, Englanti) analysoitavaksi. Kalibroinnin avulla sidevoima-anturien päkiän sekä kannan voimalevyjen jokaiselle mittaussuunnalle saatiin omat kalibrointikertoimet, joiden avulla kenttämittausten tulokset saatiin muutettua voimaksi (N).

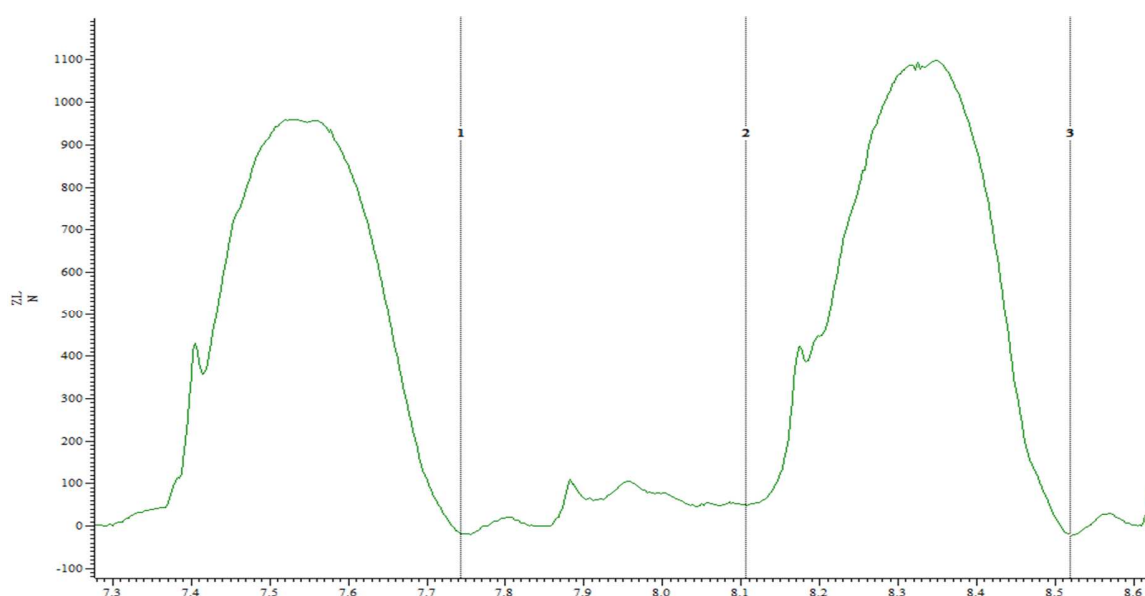


KUVA 17. Kalibrointilaitteiston kokoonpano sekä sidevoima-anturin vaaka- (a), poikki- (b) ja pystysuunnan (c) kalibrointitapa. (Ohtonen ym. 2013)

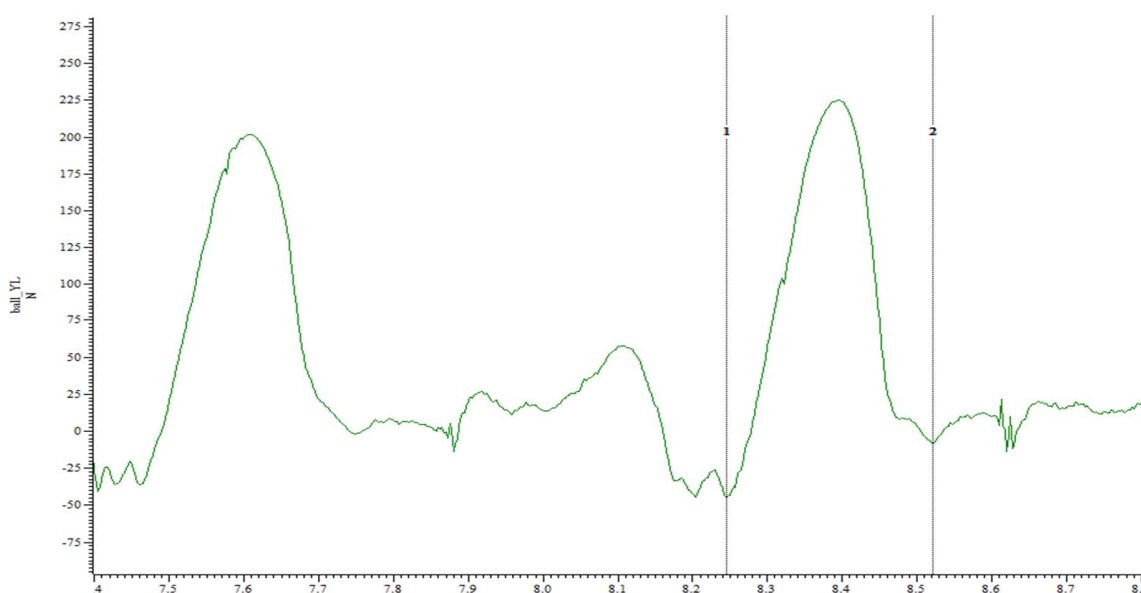
6.3.2.2 Mittausdatan analysointi

Kenttämittauksissa mitattuja sidevoima-anturien dataa käsiteltiin Spike2-ohjelmalla korjaamalla dataa saadun kalibrointikertoimen mukaisesti sekä määrittämällä reaktivoimakäyrien 0-kohdat. Kunkin testatun suksen kahdesta reaktivoimakäyrästä analysoitiin vain laadukkaampi mittausdata. Koska oikean jalan sidevoima-anturin osassa mittauskanavissa havaittiin mittausten aikana sekä analysoitaessa häiriötä, jätettiin oikean jalan reaktivoimat analysoimatta tässä tutkimuksessa. Vasemman jalan päkiän (ball) ja kannan (heel) pystyvoimat (ZL) yhdistettiin yhdeksi yhdistelmäkanavaksi, mikä huomioitiin tarkemmassa analysoinnissa. Vaakavoimista huomioitiin ainoastaan vasemman päkiän reaktivoimat (ball_YL), koska kannan voimat eivät ole perinteisen hiihdossa merkittäviä. Näille kahdelle kanavalla määritettiin syklin eri muuttujien kesto sekä voimantuoton analysointi jokaiselta sukselta jokaisena kenttämittauspäivänä. Syklin muuttujista analysoitiin seuraavat vaiheet: 1) Syklin kesto (CT – Cycle Time); absoluuttinen aika siitä, kun vasemman jalan potku irtoaa maasta siihen hetkeen, kun seuraava vasemman jalan potku taas irtoaa maasta. 2) Syklin taajuus (CR – Cycle Rate); yksi jaettuna syklin kestolla

3) Palautusvaiheen kesto (RT – Recovery Time); absoluuttinen aika, kun vasen jalka irtoaa maasta ja kun se jälleen seuraavan kerran osuu maahan. 4) Potkun kesto pystysuunnassa ($KT_{(z)}$ – Kick Time); absoluuttinen aika siitä, kun vasen jalka osuu maahan ja aloittaa uuden voimantuoton siihen, kun voimantuotto päättyy. Pystyvoiman syklin eri vaiheiden havaintopisteet on esitetty kuvassa 18. Vaakavoimista analysoitiin vaakavoimantuoton kesto ($KT_{(y)}$), joka määritettiin hetkestä, kun vaakavoimantuotto potkun alussa alkaa siihen hetkeen, kun potku suoritettu loppuun, katso tarkemmin kuva 19. Samoilta ajan hetkiltä potkun pysty- ja vaakavoiman tuottoajan kanssa kerättiin myös voimantuoton analysointia varten voimantuoton pinta-ala eli impulssi (Area), keskimääräinen voimantuotto (Mean) ja maksimaalinen voimantuotto (Maximum).



KUVA 18. Syklin eri muuttujien määrittämisessä käytetyt havaintopisteet pystyvoimien osalta: 1) CT; kursoreiden 1 ja 3 välillä kulunut absoluuttinen aika, 2) RT; kursoreiden 1 ja 2 välillä kulunut absoluuttinen aika, 3) KT; Kursoreiden 2 ja 3 välillä kulunut absoluuttinen aika.



KUVA 19. Syklin eri muuttujien määrittämisessä käytetyt havaintopisteet vaakavoimien osalta: 4) Vaakavoiman tuottoaika; Kursoreiden 1 ja 2 välillä kulunut absoluuttinen aika.

Mittauksissa analysoitiin kymmenen perättäistä sykliä jättämällä jokaisesta reaktivoimagraafista kolme viimeistä sykliä pois ja ottamalla sitä edeltävät kymmenen sykliä mukaan analysoitavaksi. Edellä mainitut muuttujat näiden kymmenen syklin osalta kerättiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA), missä laskettiin kustakin käsittelystä mittauksesta muuttujien keskiarvot. Varsinaisessa tulosten analysoinnissa käytettiin näitä keskiarvotettuja muuttujia.

6.3.3 Subjektiivinen kokemus

Subjektiivinen kokemus kerättiin jokaisen kenttämittauspäivän jälkeen suullisesti molemmilta koehenkilöiltä. Koehenkilö arvioi käytössä olleet sukset keskenään paremmuusjärjestykseen sen mukaan millä suksiparilla mieluiten olisi kyseisessä olosuhteessa lähtenyt hiihtämään. Subjektiivisen arviointiin näin vaikutti sekä suksien pitoettä luisto-ominaisuudet. Jos koehenkilö ei pystynyt subjektiivisen arvioinnin mukaan löytämään kahden suksen välille eroavaisuutta, annettiin molemmille suksille sama sijoitus paremmuusjärjestyksessä ja seuraava astetta heikompi sijoitus jätettiin antamatta.

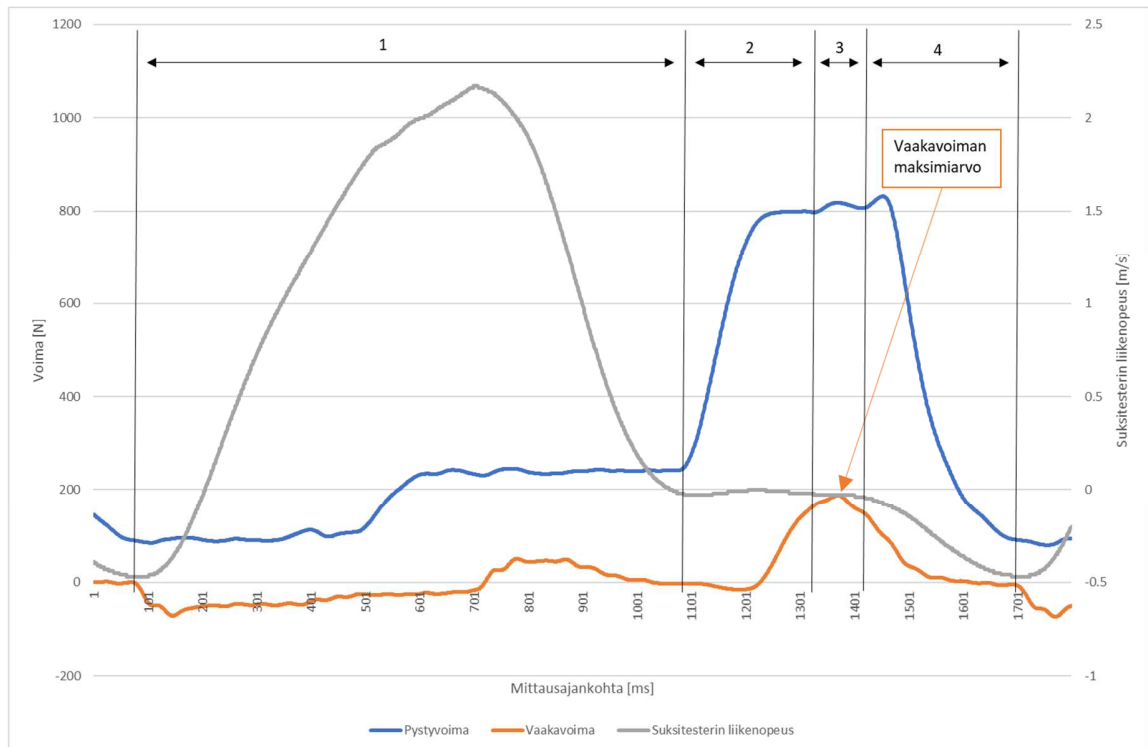
6.4 Laboratoriomittaukset

Suksitesteri on kuvattu kohdassa 4.1.2 Lineaaritribometri. Testerin avulla tutkimuksessa suoritettiin kaksi eri mittauskertaa toisistaan poikkeavissa olosuhteissa. Ensimmäisellä mittauskerralla olosuhde oli kylmän vanhan lumen olosuhde, kylmä kontin ilman lämpötilan ja kosteuden ollessa $-4,0^{\circ}\text{C}$ / 55%. Toinen mittauskerta suoritettiin lämpimässä kostean lumen olosuhteessa ilman lämpötilan ja kosteuden ollessa $8,4^{\circ}\text{C}$ / 67%.

6.4.1 Mittausprotokolla

Testerin alla olevaan jääpatjaan valmisteltiin latu-ura, jonka pintaan lisättiin kerros luonnon lunta. Suksiparien sukset yksilöitiin A ja B tunnuksilla ja parit testattiin niin, että A-parit testattiin kronologisessa järjestyksessä ja B-parit käänteisessä järjestyksessä. Näin pyrittiin välttämään ladun pinnan aiheuttamat muutokset mittaustuloksissa. Ladun pinta tarkastettiin jokaisen suksen testaamisen jälkeen läpi ja latua korjattiin tarvittaessa, jotta se olisi pysynyt mahdollisimman yhtenäisenä läpi mittauksen. Ennen jokaisen testisuksen mittaamista suoritettiin kalibrointi kalibrointisuksen avulla. Kalibrointi suksella suoritettiin liikekitkan mittaus normaalin protokollan mukaisesti. Kalibrointituloksien avulla varmennettiin, että mittausolosuhde pysyi stabiilina.

Kaikille suksille suoritettiin saman protokollan mukainen liike- ja lepokitkan mittaus. Liikekitkan mittauksessa testeri kiihdytti suksen 6 m/s nopeuteen ja tämän jälkeen mittasi suksen liikekitkan keskiarvon 5,00 - 7,85 metrin etäisyydeltä mittauksen alkupisteeseen nähden. Liikekitka mitattiin jokaisesta suksesta kuusi kertaa. Koska testeri ei pystynyt mallintamaan hiihtäjän perinteisen tyylin potkua, niin pitotestissä suksen lepokitka mitattiin kuormittamalla suksea 1,2 kertaa hiihtäjän painon mukaisella suuruudella ja liikauttamalla suksea samalla taaksepäin. Lepokitka mitattiin jokaisesta suksesta viisi kertaa yhden saman mittauskerran aikana. Kuvassa 20 on esitetty yhden lepokitkamittaussyklin vaiheet sekä pysty- ja vaakavoiman signaali. Lepokitkat jokaiselle sukselle mitattiin heti liikekitkan mittausprotokollan suorituksen jälkeen omana erillisenä mittauksenaan.



KUVA 20. Yhden lepokitkamittaussyklin vaiheet sekä pysty- ja vaakavoimien mittaussignaali ja suksitesterin liikenoisuus. 1. vaihe: Suksi siirtyy uuteen mittauskohtaan. 2. vaihe: Suksen liike on pysähtynyt ja pneumaattinen sylinteri nostaa pystyvoiman suuruutta lepokitkan mittausta varten. 3. vaihe: Suksi liikahdaa taaksepäin ja samalla LabVIEW-ohjelma mittaa suksen lepokitkan 50 ms etäisyydeltä vaakavoiman maksimiarvon molemmin puolin. 4. vaihe: Pneumaattinen sylinteri laskee pystyvoiman ja suksitesterin liike pysähtyy ennen uuteen mittauskohtaan siirtymistä.

6.4.2 Mittausdatan käsittely ja analysointi

Testerin voima-anturin keräämä mittaustulokset analysoitiin Microsoft Excel-taulukkolaskentaohjelmiston avulla. Tulosten analysointia varten mittaustuloksia käsiteltiin niin, että jokaiselta sukselta mitatuista liike- ja lepokitkakertoimista vähennettiin paras sekä heikoin tulos ja laskettiin jäljelle jääneiden mittaustuloksen välinen keskiarvo. Näin jokaiselle sukselle muodostui omat liike- ja lepokitka-arvonsa, eli jokaisella suksiparilla oli kaksi arvoa. Suksiparin kahden tuloksen välinen keskiarvo laskettiin, jotta jokaiselle

suksiparille jäi vain yksi liike- ja lepokitkan keskiarvostettu mittausarvo. Lepo- ja liikekitkan välistä eroa arvioitiin erikseen vielä laskemalla P-luku kaavan 3. avulla.

$$P - luku = \frac{\mu_{lepo}}{\mu_{liike}}$$

KAAVA 3.

Mitä suurempi P-luku on, niin sitä parempi on myös suksiparin lepo- ja liikekitkan välinen ero. Toisin sanoen P-luku kuvaa suksen pidon ja luiston välisen eron.

7 TULOKSET

Tuloksissa on esitetty suksien vertailun osalta oleelliset muuttujat kenttä- ja laboratoriomittauksissa. Kenttämittauksissa nais- ja mieskoehenkilön käyttämiä suksia vertailtiin ajan, subjektiivisen kokemuksen ja sidevoima-anturilla mitattujen muuttujien perusteella. Mitattujen nousu- ja laskuaikojen sekä subjektiivisen arvionnin perusteella sukset saatiin jaettua paremmuusjärjestykseen jokaisen kenttämittauspäivän osalta. Näiden tuloksien pohjalta pystyttiin vertailemaan olosuhteista johtuvia eroja kuin myös hiihtäjien kesken muodostuneita eroavaisuuksia kaluston osalta.

Laboratoriomittauksissa arviointi toteutettiin mitattujen lepo- ja liikekitkan arvojen mukaan. Näiden tulosten mukaan sukset pystyttiin jakamaan paremmuusjärjestykseen sekä arvioimaan niiden ominaisuuksien eroja eri mittausolosuhteissa.

7.1 Kenttämittausten tulokset

7.1.1 Lasku- ja nousuaika sekä subjektiivinen kokemus

Kullekin suksiparille on muodostettu kokonaisaika laskemalla suksiparin lasku- ja nousuajat yhteen. Kokonaisaikoja vertaamalla käytössä olleet sukset on jaettu keskenään paremmuusjärjestykseen nais- ja mieskoehenkilölle erikseen. Sukset jaettiin paremmuusjärjestykseen myös koehenkilöiltä kysytyn subjektiivisen arvion perusteella.

Laskuaikojen perusteella pitoteipatut sukset olivat nopeimmat kaikissa muissa tapauksissa paitsi kostean lumen mittausolosuhteessa miesten suksia verrattaessa. Tällöin pitokarvasukset olivat hieman pitoteipattuja nopeammat. Laskuajoissa verrattuna kaikissa mittausolosuhteissa normaalisti voidellut, pitoteipatut ja pitokarvasukset olivat keskenään lähellä toisiaan, nopeimman ja hitaimman suksiparin laskuaikojen eron ollessa suurimmillaan kuivan vanhan lumen olosuhteessa 6,2%. Nanosukset jäivät laskuajoissa

selvästi muista suksista molemmissa kuivan lumen olosuhteissa, kun taas kostean vanhan lumen mittausolosuhteessa nanosuksien ero muihin suksiin nähden pieneni. Nousuaikoja verrattaessa kuivan vanhan lumen mittausolosuhteessa suksiparit olivat keskenään hyvin lähellä toisiaan. Kostealla vanhalla lumella pitoteipatun suksen nousuaika on huomattavasti heikompi kuin muiden suksiparien ja kuivalla keinolumella taas nanosuksiparien nousuajat ovat selkeästi muita heikommat. Subjektiiivista järjestystä verrattaessa mitattuihin lasku- ja nousuaikoihin selvästi heikoimmin mittauksissa pärjänneet sukset saivat myös subjektiivisessa arviossa heikomman tuloksen. Subjektiiivisessa järjestyksessä normaalisti voideltu sukki on arvioitu kaikissa muissa paitsi miesten suksien kuivan keinolumen olosuhteessa parhaimmaksi suksipariksi. Taulukoissa 4. – 6. on esitetty kenttämittauksien lasku- ja nousuajat, niiden mukaan jaettu paremmuusjärjestys sekä subjektiivisen arvio eri kenttämittausolosuhteissa.

TAULUKKO 4. Kuivan vanhan lumen olosuhteessa mitatut lasku- ja nousuajat, kokonaisaika ja sen mukaan määritetty paremmuusjärjestys sekä suksien subjektiivinen paremmuusjärjestys naisten (1-4) ja miesten (5-8) suksiparien osalta.

	Kuiva vanha lumi							
	1. void	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. void	6. teippi	7. pitok.	8. nano
Laskuaika [s]	9.92	9.77	10.37	21.70	9.64	9.61	10.25	15.09
Laskuaikojen ero [%]	1.5 %	-	5.8 %	55.0 %	0.2 %	-	6.2 %	36.3 %
Nousuaika [s]	13.87	13.90	13.69	14.23	14.92	14.23	15.53	15.00
Nousuaikojen ero [%]	1.3 %	1.5 %	-	3.8 %	4.6 %	-	8.3 %	5.1 %
Kokonaisaika	23.79	23.67	24.06	35.93	24.56	23.84	25.77	30.09
Aikaperusteinen järjestys	2	1	3	4	2	1	3	4
Subjektiiivinen järjestys	1	3	2	4	2	2	1	4

TAULUKKO 5. Kostean vanhan lumen olosuhteessa mitatut lasku- ja nousuajat, kokonaisaika ja sen mukaan määritetty paremmuusjärjestys sekä suksien subjektiivinen paremmuusjärjestys naisten (1-4) ja miesten (5-8) suksiparien osalta.

Kosteaa vanha lumi								
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
Laskuaika [s]	9.40	9.23	9.25	12.01	9.45	9.40	9.24	11.44
Laskuaikojen ero [%]	1.8 %	-	0.2 %	23.1 %	2.2 %	1.7 %	-	19.3 %
Nousuaika [s]	11.33	19.57	12.89	12.69	12.49	23.23	14.86	13.46
Nousuaikojen ero [%]	-	42.1 %	12.1 %	10.7 %	-	46.3 %	16.0 %	7.2 %
Kokonaisaika	20.73	28.80	22.14	24.69	21.94	32.63	24.09	24.90
Aikaperusteinen järjestys	1	4	2	3	1	4	2	3
Subjektiivinen järjestys	1	4	3	2	1	4	3	2

TAULUKKO 6. Kuivan keinolumen olosuhteessa mitatut lasku- ja nousuajat, kokonaisaika ja sen mukaan määritetty paremmuusjärjestys sekä suksien subjektiivinen paremmuusjärjestys naisten (1-4) ja miesten (5-8) suksiparien osalta.

Kuiva keinolumi								
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
Laskuaika [s]	11.27	11.15	11.48	22.04	10.70	10.55	10.77	14.54
Laskuaikojen ero [%]	1.0 %	-	2.8 %	49.4 %	1.4 %	-	2.1 %	27.4 %
Nousuaika [s]	13.30	13.97	13.64	20.87	14.03	13.73	13.91	21.46
Nousuaikojen ero [%]	-	4.8 %	2.5 %	36.3 %	2.2 %	-	1.3 %	36.0 %
Kokonaisaika	24.57	25.12	25.12	42.90	24.73	24.28	24.68	36.00
Aikaperusteinen järjestys	1	2	2	4	3	1	2	4
Subjektiivinen järjestys	2	1	2	4	2	1	2	4

7.1.2 Syklin vaiheiden muuttajat

Syklin vaiheiden muuttujia määritettiin sidevoima-anturin mittaustuloksista. Käsitellyt muuttujat olivat: syklin kesto (CT), syklin taajuus (CR), palautusvaiheen kesto (RT) ja potkun kesto pystysuunnassa (KT_z) sekä potkun kesto vaakasuunnassa (KT_y). Jokaisen tarkastellun suureen osalta laskettiin myös prosentuaalinen ero suhteessa kyseisen suureen heikoimpaan tulokseen nähden. Mittaustulosten perusteella pyrittiin arvioimaan eri suksien avulla suoritettujen voimantuoton syklien eroavaisuuksia.

Syklin vaiheiden muuttujien perusteella tehtävässä vertailussa havaittiin, että syklin kesto (CT), eli kahden vasemman jalan potkun välinen aika, oli naiskoehenkilöllä vaihdellut 0.716 – 0.906 sekunnin ja mieskoehenkilöllä 0.834 – 1.017 sekunnin välillä riippumatta mittausolosuhteista. Molempien koehenkilöiden osalta merkittävimmät erot syklin keston osalta (CT-%) oli havaittavissa kostean vanhan lumen olosuhteessa, jolloin naiskoehenkilöllä parin 2 syklin kesto oli 19,3% pidempi kuin parilla 1. Mieskoehenkilöllä vastaavasti parin 7 syklin kesto oli 11,2% pidempi kuin mitä se oli parilla 6 ollut samassa mittausolosuhteissa. Verrattaessa suksien välisiä syklien kestoja eri mittausolosuhteissa keskenään havaittiin, että nousuajaltaan hitaammilla suksilla on myös syklien kestotkin pidempiä. Mitä korkeampi syklin taajuus taas oli, niin sitä nopeammin peräkkäiset potkut seurasivat toisiaan. Taajuus taas oli suoraan verrannollinen syklin keston kanssa. Näin ollen suksia keskenään verrattaessa havaittiin, että pääsääntöisesti sukset, joilla nousu on hiihdetty hitaammin ei myöskään ole saavutettu niin suurta frekvenssiä suorituksen aikana. Tämä ei päde jokaisessa mittausolosuhteessa, mutta ero oli selkeimmin havaittavissa niissä mittauksissa missä aikaerotkin olivat suurimpia. Palautumisaika (RT) kertoo kuinka kauan potkun suorituksen jälkeen sidevoima-anturiin ei kohdistunut voimaa ja jalka oli näin lepotilassa. Tämän palautumisajan suhde syklin keston laskettiin, jotta pystyttiin arvioimaan, saako jollain suksella suhteessa toiseen enemmän lepoa yhden syklin keston aikana. Palautumisajat poikkesivat toisistaan huomattavasti eri suorituksen aikana ja systemaattisia muutoksia näiden arvojen välillä ei ollut havaittavissa. Potkuaikojen ($KT_{(z)}$ ja $KT_{(y)}$) perusteella saatiin arvioitua kuinka kauan voimantuotto sekä pysty- että vaakasuuntaan oli kestänyt. Molempia muuttujia verrattiin myös syklin keston. Vaakavoimantuoton ajoissa on nähtävissä mittausolosuhteissa, joissa nousuaikojen erot ovat suurimpia selvästi pidemmät voimantuottoajat heikommin pitävämmillä suksilla suhteessa syklin keston. Esimerkiksi kostean vanhan lumen olosuhteessa parin 2 vaakavoimantuoton aika on 49,5% syklin keston ja parilla 5 vastaavasti 36,8%. Toisin sanoen, mitä heikommin pitävä suksi sitä pidempään hiihtäjä vaakavoimantuottoon käytti aikaa. Taulukoissa 7. – 9. on esitetty syklin eri vaiheiden keskimääräiset kestot sekä niiden suhde syklin pituuteen nähden.

TAULUKKO 7. Kuivan vanhan lumen olosuhteessa mitatut syklin vaiheiden muuttajat sekä näiden muuttujien vertailu syklin pituuden suhteen.

Kuiva vanha lumi								
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
CT - Cycle Time [s]	0.745	0.724	0.716	0.819	0.913	0.923	0.941	0.935
CT - %-ero	3.9 %	1.1 %	-	12.6 %	-	1.1 %	3.0 %	2.3 %
CR - Cycle Rate [Hz]	1.34	1.38	1.40	1.22	1.10	1.08	1.06	1.07
RT - Recovery Time [s]	0.398	0.378	0.367	0.394	0.485	0.331	0.331	0.332
RT / CT [%]	53.5 %	52.2 %	51.3 %	48.1 %	53.1 %	35.9 %	35.2 %	35.5 %
KT(z) - Kick Time [s]	0.347	0.346	0.349	0.426	0.428	0.592	0.609	0.603
KT(z) / CT [%]	46.5 %	47.8 %	48.7 %	51.9 %	46.9 %	64.1 %	64.8 %	64.5 %
KT(y) [s]	0.255	0.258	0.261	0.302	0.285	0.289	0.309	0.276
KT(y) / CT [%]	34.2 %	35.7 %	36.4 %	36.8 %	31.3 %	31.3 %	32.8 %	29.5 %

TAULUKKO 8. Kostean vanhan lumen olosuhteessa mitatut syklin vaiheiden muuttajat sekä näiden muuttujien vertailu syklin pituuden suhteen.

Kostea vanha lumi								
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
CT - Cycle Time [s]	0.731	0.906	0.780	0.771	1.001	0.903	1.017	0.919
CT - %-ero	-	19.3 %	6.3 %	5.2 %	9.8 %	-	11.2 %	1.7 %
CR - Cycle Rate [Hz]	1.37	1.10	1.28	1.30	1.00	1.11	0.98	1.09
RT - Recovery Time [s]	0.439	0.385	0.225	0.168	0.253	0.457	0.323	0.212
RT / CT [%]	60.0 %	42.5 %	28.8 %	21.8 %	25.3 %	50.7 %	31.8 %	23.0 %
KT(z) - Kick Time [s]	0.292	0.521	0.555	0.603	0.748	0.445	0.693	0.707
KT(z) / CT [%]	40.0 %	57.5 %	71.2 %	78.2 %	74.7 %	49.3 %	68.2 %	77.0 %
KT(y) [s]	0.201	0.415	0.238	0.211	0.245	0.332	0.296	0.270
KT(y) / CT [%]	27.5 %	45.9 %	30.4 %	27.4 %	24.5 %	36.8 %	29.1 %	29.5 %

TAULUKKO 9. Kuivan keinolumen olosuhteessa mitatut syklin vaiheiden muuttajat sekä näiden muuttujien vertailu syklin pituuden suhteen.

	Kuiva keinolumi							
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
CT - Cycle Time [s]	0.753	0.802	0.773	0.848	0.864	0.834	0.839	0.910
CT - %-ero	-	6.2 %	2.6 %	11.2 %	3.6 %	-	0.6 %	8.4 %
CR - Cycle Rate [Hz]	1.33	1.25	1.29	1.18	1.16	1.20	1.19	1.10
RT - Recovery Time [s]	0.158	0.171	0.207	0.315	0.498	0.456	0.360	0.442
RT / CT [%]	21.0 %	21.3 %	26.7 %	37.1 %	57.6 %	54.7 %	42.9 %	48.6 %
KT(z) - Kick Time [s]	0.595	0.632	0.567	0.533	0.367	0.377	0.479	0.467
KT(z) / CT [%]	79.0 %	78.7 %	73.3 %	62.9 %	42.4 %	45.3 %	57.1 %	51.4 %
KT(y) [s]	0.225	0.229	0.226	0.316	0.257	0.259	0.250	0.317
KT(y) / CT [%]	29.9 %	28.5 %	29.3 %	37.3 %	29.8 %	31.0 %	29.8 %	34.8 %

7.1.3 Voimantuotto

Sidevoima-anturin avulla mitatun voimantuoton osalta tarkasteltavina suureina oli vasemman jalan pysty- (Z) ja vaakavoimien (Y) impulssi (Area), keskivoima (Mean) sekä maksimivoima (Maximum). Taulukoissa 10. – 12. on esitetty edellä mainittujen voimantuoton suureiden keskiarvot kymmenen potkun ajalta eri mittausolosuhteissa. Jokaisen tarkastellun suureen osalta laskettiin myös prosentuaalinen ero suhteessa kyseisen suureen heikoimpaan tulokseen nähden. Nämä prosentuaaliset vertailuarvot on esitetty jokaisen mittaussuureen alla taulukoissa.

TAULUKKO 10. Kuivan vanhan lumen olosuhteessa mitatut voimantuoton muuttujat.

Kuiva vanha lumi								
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
ZL - Area [Ns]	203	198	198	211	309	321	342	348
ZL - Area %-ero	2.6 %	-	0.3 %	6.1 %	-	3.7 %	9.7 %	11.3 %
ZL - Mean [N]	581	582	568	606	655	545	561	572
ZL - Mean %-ero	2.2 %	2.3 %	-	6.2 %	16.9 %	-	2.9 %	4.9 %
ZL - Maximum [N]	1033	1039	1047	1065	1324	1355	1290	1365
ZL - Maximum %	-	0.6 %	1.4 %	3.0 %	2.6 %	4.8 %	-	5.4 %
YL - Area [Ns]	19	20	22	25	33	35	27	33
YL - Area %-ero	-	0.4 %	13.1 %	23.2 %	18.2 %	21.4 %	-	18.3 %
YL - Mean [N]	75	77	87	111	116	122	88	121
YL - Mean %-ero	-	3.2 %	13.8 %	32.9 %	24.3 %	28.3 %	-	27.6 %
YL - Maximum [N]	222	215	227	244	285	323	231	297
YL - Maximum %-ero	3.2 %	-	5.4 %	12.1 %	18.9 %	28.5 %	-	22.2 %

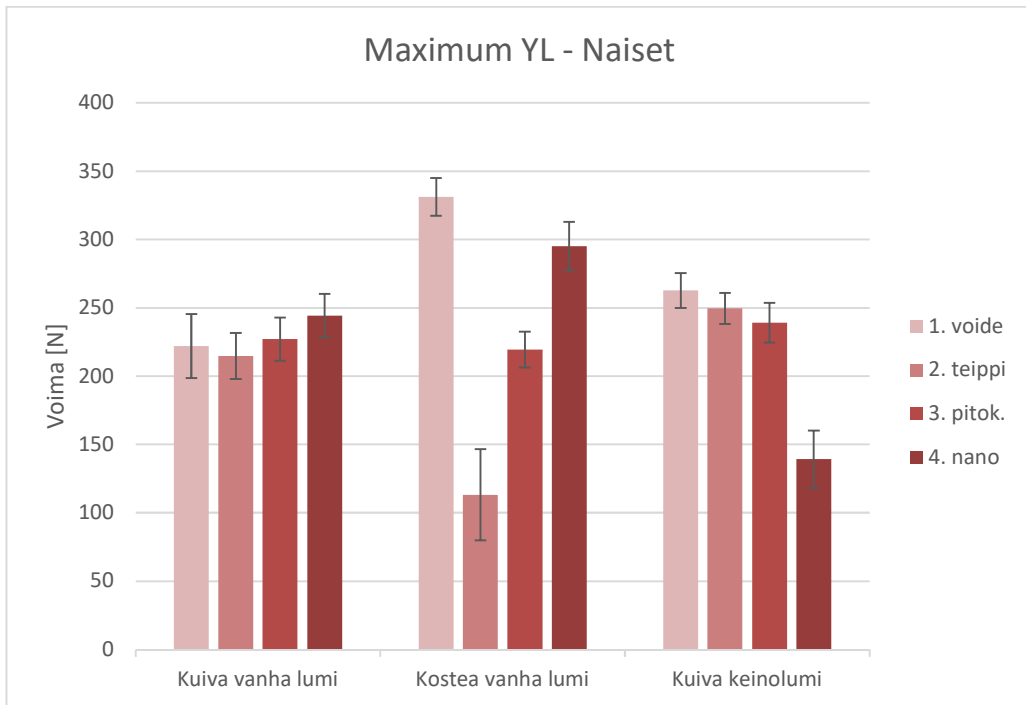
TAULUKKO 11. Kostean vanhan lumen olosuhteessa mitatut voimantuoton muuttujat.

Kostea vanha lumi								
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
ZL - Area [Ns]	223	274	218	248	345	280	331	313
ZL - Area %-ero	2.5 %	20.5 %	-	12.1 %	18.8 %	-	15.4 %	10.5 %
ZL - Mean [N]	406	529	389	410	491	641	481	434
ZL - Mean %-ero	4.2 %	26.6 %	-	5.3 %	11.6 %	32.3 %	9.8 %	-
ZL - Maximum [N]	1088	836	989	1084	1458	1173	1203	1312
ZL - Maximum %	23.2 %	-	15.4 %	22.9 %	19.6 %	-	2.5 %	10.6 %
YL - Area [Ns]	28	15	20	27	33	21	30	36
YL - Area %-ero	46.4 %	-	25.1 %	44.2 %	36.3 %	-	30.3 %	41.4 %
YL - Mean [N]	137	37	82	124	132	63	88	129
YL - Mean %-ero	72.9 %	-	54.7 %	70.1 %	52.6 %	-	28.7 %	51.6 %
YL - Maximum [N]	331	113	219	295	325	161	243	300
YL - Maximum %-ero	65.8 %	-	48.4 %	61.7 %	50.5 %	-	33.6 %	46.2 %

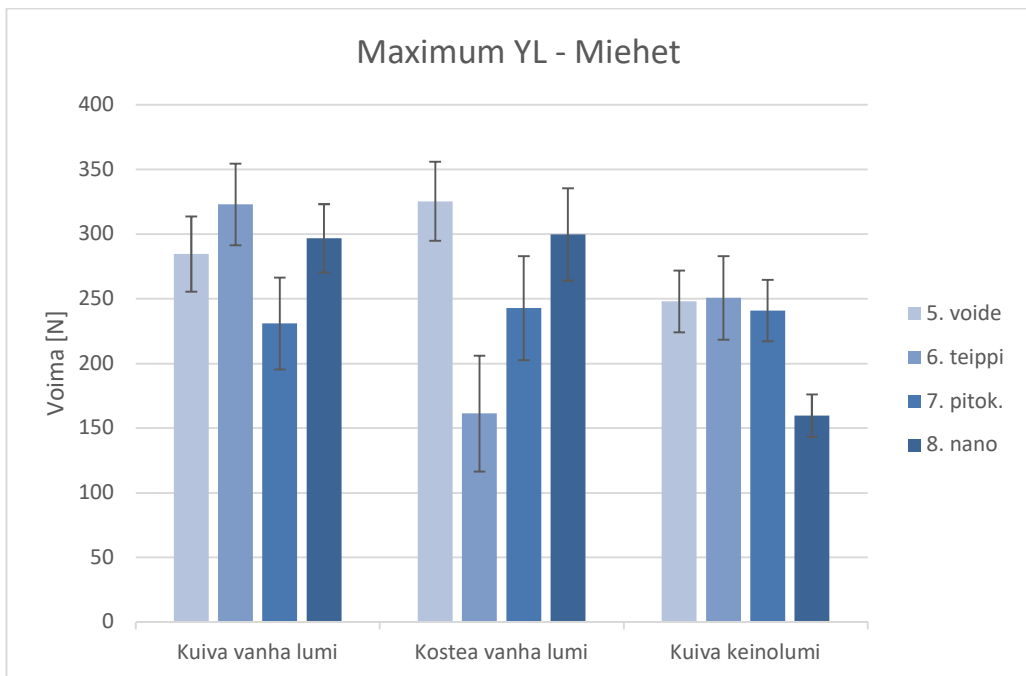
TAULUKKO 12. Kuivan keinolumen olosuhteessa mitatut voimantuoton muuttujat.

	Kuiva keinolumi							
	1. voide	2. teippi	3. pitok.	4. nano	5. voide	6. teippi	7. pitok.	8. nano
ZL - Area [Ns]	235	249	241	263	258	256	265	335
ZL - Area %-ero	-	5.7 %	2.5 %	10.6 %	0.6 %	-	3.4 %	23.6 %
ZL - Mean [N]	396	395	418	507	647	672	603	704
ZL - Mean %-ero	0.3 %	-	5.5 %	22.2 %	6.8 %	10.3 %	-	14.3 %
ZL - Maximum [N]	1074	1094	1086	974	1336	1360	1365	1375
ZL - Maximum %	9.3 %	11.0 %	10.3 %	-	-	1.7 %	2.1 %	2.8 %
YL - Area [Ns]	23	23	20	17	25	25	25	19
YL - Area %-ero	23.0 %	24.9 %	14.8 %	-	23.3 %	21.2 %	22.3 %	-
YL - Mean [N]	99	100	90	58	95	93	98	57
YL - Mean %-ero	41.7 %	42.3 %	35.7 %	-	39.8 %	38.0 %	41.4 %	-
YL - Maximum [N]	263	250	239	139	248	251	241	160
YL - Maximum %-ero	47.0 %	44.2 %	41.8 %	-	35.6 %	36.3 %	33.7 %	-

Vertailemalla voimantuottoa kymmenen potkun osalta nähdään, kuinka paljon hiihtäjä on keskimäärin pystynyt tuottamaan reaktivoimaa latuun pysty- ja vaakasuunnassa kunkin suksen välityksellä. Mitä suurempi reaktivoima on ollut, sitä suurempi on myös hiihtäjää eteenpäin työntävä voima. Lipsuvilla suksilla etenkin maksimaalinen vaakavoimantuotto on selkeästi heikompaa kuin, mitä se on ollut hyvin pitävillä suksilla. Vaakavoimantuottoja vertaamalla voidaan kunkin suksiparin pito-ominaisuuksia verrata eri keliolosuhteissa. Kuvassa 21 on esitetty naisten ja kuvassa 22 miesten suksien keskinäinen vertailu eri keliolosuhteissa.



KUVA 21. Naisten suksiparien maksimaalinen vaakavoimantuotto eri mittausolosuhteissa.



KUVA 22. Miesten suksiparien maksimaalinen vaakavoimantuotto eri mittausolosuhteissa.

7.2 Laboratoriomittausten tulokset

Laboratoriomittauksissa mitattiin suksien liike- ja lepokitkat jokaiselta sukselta erikseen erillisissä mittauksissa. Mitattujen arvojen perusteella laskettiin jokaisen suksiparin yksi yhteinen keskiarvo sekä liike- että lepokitkan arvolle. Jokaiselle suksiparilla laskettiin myös P-luku, mikä kertoo lepokitkan suhdetta liikekitkaan. Mitä suurempi P-luku on, niin sitä suurempi on myös suksen lepo- ja liikekitkan välinen ero. Taulukossa 13. on esitetty kylmällä vanhalla lumella tehdyn mittauksen tulokset.

TAULUKKO 13. Kylmän vanhan lumen olosuhteessa mitatut lineaaribometrin tulokset sekä %-erot suhteessa alhaisimman liikekitkan saaneeseen suksipariin sekä korkeimman lepokitkan ja P-luvun saaneeseen suksipariin.

	Liikekitka	%-ero	Lepokitka	%-ero	P-luku	%-ero
1. voide	0.0465	-	0.2652	8.8 %	5.71	-
2. teippi	0.0573	18.9 %	0.2907	-	5.07	11.1 %
3. pitok.	0.0683	31.9 %	0.2152	25.9 %	3.15	44.8 %
4. nano	0.0542	14.3 %	0.1433	50.7 %	2.65	53.6 %
5. voide	0.0466	-	0.2615	7.1 %	5.61	-
6. teippi	0.0517	9.9 %	0.2816	-	5.50	2.0 %
7. pitok.	0.0662	29.6 %	0.2168	23.0 %	3.27	41.7 %
8. nano	0.0512	9.0 %	0.1388	50.7 %	2.72	51.5 %

Toinen mittauskerta suoritettiin kostean vanhan lumen olosuhteessa. Taulukossa 14. on esitetty kostean vanhan lumen olosuhteessa tehtyjen mittausten tulokset.

TAULUKKO 14. Kostean vanhan lumen olosuhteessa mitatut lineaaribrometrin tulokset sekä %-erot suhteessa alhaisimman liikekitkan saaneeseen suksipariin sekä korkeimman lepokitkan ja P-luvun saaneeseen suksipariin.

	Liikekitka	%-ero	Lepokitka	%-ero	P-luku	%-ero
1. voide	0.0351	-	0.2749	42.3 %	7.87	11.2 %
2. teippi	0.0396	11.3 %	0.0671	85.9 %	1.69	80.9 %
3. pitok.	0.0543	35.3 %	0.3571	25.0 %	6.62	25.3 %
4. nano	0.0540	35.0 %	0.4763	-	8.87	-
5. voide	0.0329	1.0 %	0.2572	42.4 %	7.76	27.0 %
6. teippi	0.0326	-	0.0864	80.6 %	2.65	75.0 %
7. pitok.	0.0528	38.3 %	0.4029	9.7 %	7.65	28.1 %
8. nano	0.0424	23.1 %	0.4463	-	10.63	-

8 POHDINTA

Hiihtäjän henkilökohtaisen suorituskyvyn sekä vallitsevan sään lisäksi nautinnolliseen hiihtosuoritukseen vaikuttaa merkittävästi käytettävät hiihtovälineet. Vallitsevaan säähän emme pysty vaikuttamaan, mutta välineisiin ja hiihtäjän suorituskykyyn kylläkin. Toisaalta taas hiihtäjän suorituskyky ja taloudellisuus ei kasva ilman riittävää hiihtoharjoittelua ja harjoittelumotivaatioon vaikuttaa käytettävien välineiden kunto. Perinteisen hiihtotyylin välineissä merkittävin vaikutus suoritukselle on suksilla. Tämän tutkimuksen tarkoituksena olikin vertailla erilaisia kuntohiihtäjälle tarjottavia perinteisen hiihtotyylin suunniteltuja suksia sekä kenttä- että laboratoriomittausmenetelmin. Eri olosuhteissa toteutetuissa mittauksissa vertailtiin kunkin suksiparin pito- ja luisto-ominaisuuksia. Suksipareja oli kahdessa painoluokassa niin, että tutkittavana oli vastaavat suksiparit sekä nais- että mieskoehenkilölle. Tuloksien perusteella voidaan esittää suosituksia suksivalinnan tekemiseen sekä lisätä ymmärrystä erilaisten suksien välisistä eroista.

Tutkimuksen päätuloksia ovat: (1) Lumen kosteus vaikuttaa huomattavasti suksien toimintaan ja niiden välisiin eroihin, (2) Paremmiin toimivampiin sukset mahdollistavat suuremman voimantuoton maksimaalisessa suorituksessa, (3) Lineaaritribometrimittauksen tulokset ovat yhtenevät kenttämittauksissa saatujen tuloksien kanssa, (4) Voideltu suksi on edelleen paras vaihtoehto eri keliolosuhteissa, mutta helppohoitaiset pitokarvasukset ovat hyvä vaihtoehto kuntohiihtäjälle.

8.1 Lasku- ja nousuaika sekä subjektiivinen kokemus

Perinteisen hiihdossa suksesta täytyy löytyä ennen kaikkea riittävästi pitoa, jotta pystytään suorittamaan rento ja tehokas potku. Hyvän luiston avulla saadaan taas potkun voimantuotto hyödynnettyä mahdollisimman pitkään. Molemmat ominaisuudet siis tukevat toisiaan hyvää kalustoa valittaessa. Laskuaikaan vaikuttaa suksien luisto ja sen osalta normaalisti voideltavien, pitoteipattujen ja pitokarvasuksien väliset erot olivat hyvin pieniä jokaisessa

mittausolosuhteessa. Pitoteipatut sukset olivat liukkaimmat kaikilla muilla mittauskerroilla paitsi miesten suksien osalta kostean vanhan lumen olosuhteessa, jolloin pitokarvasukset olivat liukkaimmat. Kuivan lumen olosuhteissa (kuiva vanha lumi ja kuiva keinolumi) pitokarvasukset jäivät liukkaimmista pitoteipatuista suksista 2,1 - 6,2 % ja normaalisti voidellusta suksista 0,7 - 6,0 %. Heikompaan luistoon todennäköisesti vaikuttaa pitokarvasuksien pitoalueella olevan pitokarvan koskettaminen latuun vapaan liu'un aikana, mikä on nähtävissä etenkin kuivan lumen olosuhteessa. Pitokarvasuksia valittaessa suksen jäykkyys onkin valittava tarkkaan hiihtäjän painon mukaisesti. (Hiihto 2017-2018, Normark Oy) Kostealla lumella pitokarva vettyi, mikä tämän tutkimuksen tulosten perusteella paransi myös pitokarvasuksen luistoa. Normaalisti voideltu sukki jäi jokaisella mittauskerralla laskuaikoja verrattaessa sekä naisten että miesten suksiparien osalta alle 1,8 % päähän pitoteipatusta suksesta. Suksien luistot olivat siis keskenään hyvin lähellä toisiaan, mutta yleisellä tasolla voidaan todeta, että pitoteipatun suksen luisto on normaalisti voideltua suksea parempi. Pitoteipatun suksen parempaan luistoon vaikuttanee pitoteipin koostumus sekä pitovoiteen paksuus. Pitoteippi on rakenteeltaan normaalia pitovoidetta hieman kovempaa ja pitovoidekerroksen paksuus on ohuempi. Näin jääkiteiden sakarat eivät pääse tarttumaan pitovoiteen pintaan yhtä herkästi kuin normaaleissa purkkivoiteissa.

Nanosukset taas jäivät luistossa selvästi muista suksipareista kaikissa olosuhteissa, ollen heikoimmillaan kuivan vanhan lumen olosuhteessa naisten suksipareja keskenään verrattaessa. Nanosuksia lukuun ottamatta, muiden suksien pohjamateriaali ja suksien luistovoitelut olivat keskenään samanlaisia, mikä selittää myös laskuaikojen eron nanosuksiin verrattaessa. Normaalisti voideltujen, pitoteipattujen ja pitokarvasuksien välisistä pienistä eroista on pääteltävissä, että suksikaluston valinta on onnistunut hyvin, eikä pitovoitelut tai pitokarvasuksien pitokarva haitanneet suksien luistoa merkittävästi. Nanosuksien heikko luisto vaikeutti jopa mittausten teknistä suorittamista, koska niillä jouduttiin usein ottamaan muutama kevyt työntö laskuun lähettäessä. Nanosuksien luistoon selvästi vaikuttaa kuitenkin lumen kosteus, koska kostean vanhan lumen mittausolosuhteessa nanosuksen laskuajan ero muihin sukkiin nähden paranee huomattavasti.

Nousuajoissa suksien välisiin eroihin tulee vaihtelua etenkin kostean lumen olosuhteissa. Nanosuksien pito paranee, mitä kosteammaksi lumi muuttuu ja tämä vaikuttaa myös nousunopeuteen. Vastaavassa olosuhteessa pitoteipatulla suksella nousuaika taas kasvaa ja pito heikkenee. Kelin lämmitessä lumen pinnassa tapahtuva ilman ja vesihöyryn konvektio muokkaa lumikiteitä koko ajan (Sturm, 1991). Tämän taas vaikuttaa lumen ja pitoteipin välisen mekaanisen pidon vähenemisestä. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että pitoteipatun suksen pito toimii hyvin kuivan lumen olosuhteissa sen ollen molemmissa mittausolosuhteissa nopein miesten suksien nousuaikoja verrattaessa.

Normaalisti voidellun suksen nousuaika on jokaisessa olosuhteessa hyvä ja kostean vanhan lumen olosuhteessa se on selvästi nopein. Tämä osoittaa, että mittauksia varten toteutetut normaalit pitovoitelut ovat onnistuneet jokaiselle kelialueelle hyvin. Pitokarvasuksen nousuajat yltyvät kuivan vanhan lumen olosuhteissa lähelle voidellun suksen tasoa tai se on jopa sitä nopeampi, kun taas kostean lumen olosuhteessa eroa tulee naiskoehenkilön suksia vertailtaessa 12,1% ja mieskoehenkilön suksia vertailtaessa 16%. Tämä johtuu jo laskuaikoja vertailtaessa todetusta pitokarvan vettymisestä. Tulosten pohjalta voidaan kuitenkin todeta, että pitokarvasuksien pito toimii normaalisti voideltuihin suksiin nähden parhaiten nimenomaan kuivan lumen olosuhteissa. Naisten ja miesten nanosuksien nousuaikoja verrattaessa on nähtävissä huomattava ero kuivan vanhan lumen olosuhteessa, mikä selittyy mittauspäivän aikana muuttuneella olosuhteella. Miesten suksien nousuajat mitattiin iltapäivällä ja tällöin latu oli ehtinyt jo lämmitä ja kostua aamupäivän olosuhteeseen nähden, jolloin naisten suksien nousuajat mitattiin. Näin ollen nanosuksen toiminta parani iltapäivällä lisääntyneestä lumen kosteudesta johtuen.

Vertaamalla suksia lasku- ja nousuajojen perusteella voidaan todeta, että normaalisti voideltu sukki onnistuneella voitelulla tarjoaa hyvän pidon ja luiston jokaisessa olosuhteessa. Pitokarvasuksi jää pidon osalta normaalisti voidellusta suksesta vain kosteissa olosuhteissa, mutta toimii muuten lähes yhtä hyvin. Nanosuksien luisto ja pito toimii parhaiten silloin, kun lumessa on paljon kosteutta. Pitoteipattujen suksiparien luisto on jokaisessa olosuhteessa hyvä, mutta pito toimii parhaiten kuivan lumen olosuhteissa.

Subjektiiivisen arvion tulokset vastaavat yhteenlaskettujen lasku- ja nousuaikojen perusteella muodostettua järjestystä. Kaikkien mittausolosuhteiden subjektiiivisia arvioita verrattaessa normaalisti voideltu suksi erottuu selvästi muista suksista sen ollessa sekä naisten että miesten suksissa jokaisessa mittausolosuhteessa kahden parhaimman subjektiiivisen arvion saaneen suksiparin joukossa. Tieteellisiä tutkimuksia asiaan liittyen ei ole löydettävissä, mutta vastaavia tuloksia on todettu kaupallisissa kuluttajille suunnatuissa suksitesteissä. (Antila, 2014)

8.2 Syklin vaiheiden muuttujat

Sidevoima-anturien avulla pystyttiin mittaamaan syklin eri vaiheiden muuttujia. Mittaustulosten perusteella voidaan arvioida kuinka suksen toiminta vaikuttaa syklin eri muuttujiin ja näin myös itse hiihtosuoritukseen. Käsiteltävät muuttujat tässä tutkimuksessa olivat: syklin kesto (CT), syklin taajuus (CR), palautusvaiheen kesto (RT) ja potkun kesto pystysuunnassa (KT_z) sekä potkun kesto vaakasuunnassa (KT_y).

Yhdistävää tekijää hyvin ja huonosti toimivien suksien välillä on vaikea löytää syklin eri vaiheiden muuttujista ja tuloksissa onkin nähtävissä vaihtelevuutta eri olosuhteiden välillä. Syklin muuttujiin vaikuttaakin paljon itse suoritustekniikka sekä henkilön fyysinen rasittuneisuus. Syklin keskimääräinen kesto voi vaihdella merkittävästikin, jos koehenkilöllä on esimerkiksi ollut fyysisestä kuormituksesta johtuvaa rasitusta päällä ja hermoston toimintakyky on vaihdellut eri mittauspäivien välillä. Taas toisaalta tarkasteltaessa vain syklin vaiheiden muuttujia voi sauvoitta hiihdon suoritustekniikalla olla merkittäväkin vaikutus tuloksiin. Kahden koehenkilön välillä tekniikat voivat erota toisistaan myös niin paljon, että tulokset eivät näin ole keskenään suoraan vertailukelpoisia. Tässä tutkimuksessa vaakasuuntainen ponnistusaika naiskoehenkilöllä vaihteli 201 – 415 ms välillä ja mieskoehenkilöllä 245 – 332 ms välillä. Aikaisemmissa tutkimuksissa vuorohiihdon ponnistusajoiksi on mitattu 100 – 200 ms välisiä aikoja (Donskoj ym. 1971, Waser 1976, Komi 1985). Tämä osaltaan kertoo sauvoitta hiihdon hieman erilaisesta tekniikasta verrattuna vuorohiihtoon. Koska eteenpäin vievä voima tuotetaan vain jaloin, on suorituksen

voimantuoton kestokin hieman pidempi kuin vuorohiihdossa. Vuorohiihdossa sauvoja käyttämällä heikompa pitoa pystytään kompensoimaan ylävartalon lihasten voimantuoton avulla.

Katsottaessa yksittäisen mittauspäivien tuloksia yksilötasolla, on syklin keston osalta erotettavissa säännönmukaisuutta paremmin ja heikommin pitävien suksien välillä. Naisten suksipareja verrattaessa keskimääräinen syklin kesto on sitä lyhyempi mitä paremmin testattava suksipari on pitänyt. Vastaava havainto on tehty myös useissa muissa tutkimuksissa, joissa on todettu, että hiihtovauhdin hidastuessa potkuaika pitenee (Vähäsöyrinki 1996; Vähäsöyrinki ym 2008; Nilsson 2004) Toisaalta taas vastaava arvo miesten suksipareja verrattaessa ei käyttäydy samalla tavalla, joten tämän perusteella voidaan päätellä koehenkilöiden suoritustekniikoissa olleen eroa. Syklin kesto vaikuttaa suoraan myös syklin taajuuteen ja naisten suksiparien osalta onkin nähtävissä, että paremmin toimivilla suksilla päästään myös korkeampaa taajuuteen.

Potkun voimantuottoaikoja pysty- ja vaakasuunnassa tarkasteltaessa havaitaan, että paremmin pitävillä suksilla voimantuottoaika pystysuunnassa suhteessa syklin keston on suurempi, kun taas vastaavasti voimantuottoaika vaakasuunnassa on lyhyempi verrattaessa heikommin pitävien suksiparien vastaaviin arvoihin. Tämä osoittaa, että pystyvoimaa tuotetaan syklin kokonaiskeston nähden pitkään, kun taas vaakavoimantuotto tapahtuu hyvin nopeasti. Pystyvoimantuotolla saadaan suksen pitoalue pureutumaan kiinni latuun, kun vaakavoimantuotolla saadaan vastaavasti hiihtäjän liike suuntautumaan eteenpäin. Nopea vaakasuuntainen voimantuotto taas saa aikaan suuremman impulssin ja liikkuvan kappaleen nopeampaan kiihtyvään liikkeeseen. (Nilsson, 2004) Mahdollisimman terävän potkun aikaansaamiseksi vaakasuunnan voimantuottoajan suhteessa pystysuuntaiseen voimantuottoaikaan onkin oltava mahdollisimman alhainen. Koska sideanturista pystyvoiman muuttajat mitattiin sekä kannan että päkiän alla olevien voimalevyjen avulla, muodostui pystyvoiman voimantuottoaika näiden yhdistelmänä. Liikettä eteenpäin vievän vaakasuunnan voimantuotto tapahtuu yksinomaan päkiällä, joten kannan voimalevyjen mittaustulokset jätettiin huomioimatta.

Paremmiin pitävillä suksilla on nähtävissä myös, että palautusvaiheen kesto on lyhyempi verrattuna huonommin pitäviin suksiin. Parhaiten tämä on nähtävissä kostean vanhan lumen olosuhteissa, missä erot suksien aikaperusteisessa vertailussakin olivat suurimpia. Tämä osoittaa, että paremmiin pitävällä suksella maksimaalisessa suorituksessa liikkeelle tärkeämmässä osassa oleva voimantuottoaika pysyy korkeana. Yksi selittävä tekijä myös lyhyemmälle palautumisajalle on paremmiin pitävällä suksella saavutetun nopeamman liikenopeuden aiheuttama jatkuvuus liikkeessä. Uuteen työvaiheeseen päästään nopeammin ja näin myös palautusvaiheen kestokin on lyhyempi.

8.3 Voimantuotto

Sidevoima-anturin avulla mitattujen voimantuoton tuloksien perusteella suksien pitojen keskinäisiä eroja voidaan arvioida eri mittausolosuhteissa. Voimantuoton mittausarvot on analysoitu samojen kymmenen potkun keskiarvon perusteella kuin mistä myös syklin vaiheiden eri muuttujienkin arvot on kerätty. Keskiarvotuloksien avulla saadaan luotettavimmat vertailuarvot keskenään, sillä jo aiemmissa tutkimuksissa on havaittu kokeneidenkin hiihtäjien yksittäisten suorituksien välillä olevan eroja (Linnamo 2008). Mitatuista voimantuoton suureista impulssi (Area) osoittaa kuinka paljon voimaa pystytään keskimäärin tuottamaan yhden sekunnin aikana. Keskiavoima (Mean) on taas kymmenen analysoidun potkun keskimääräinen voimantuotto ja maksimivoima (Maximum) on vastaavasti näiden potkujen keskimääräinen maksimivoimantuotto. Jokaiselle voimantuoton suurelle on laskettu myös prosentuaalinen erotus suhteessa vastaavan mittausarvon alhaisimpaan arvoon nähden.

Tarkasteltaessa impulssien muutoksia ei näiden välillä ole nähtävissä selkeää johdonmukaisuutta suhteessa aiemmin subjektiivisen arvion ja nousuaikojen perusteella muodostettujen pito-ominaisuuksien vertailujen välillä. Näin ollen impulssien perusteella ei voida muodostaa johtopäätöksiä suksien pito-ominaisuuksien suhteen. Impulssin mittausarvoon vaikuttaa merkittävästi se, kuinka pitkällä aikavälillä pysty- ja vaakavoimaa on tuotettu ja tähän taas vaikuttaa merkittävästi suoritustekniikka. Impulssien analysointiin

haastetta aiheuttikin suksien pitoeroista johtuvan tekniikkamuutoksen vaikutus voimakäyriin. Sidevoima-antureilla mitatut voimakäyrät poikkesivat toisistaan hyvin ja heikosti pitävien suksien välillä, mikä vaikeutti syklien muuttujien alku- ja loppupisteiden määrittystä ja osaltaan vaikutti myös mittaustuloksiin. Hiihdettäessä huonosti pitävällä suksella sauvoitta hiihtoa ylämäkeen, hiihtäjän tekniikassa oli nähtävissä muutos verrattuna hyvin pitävällä suksella hiihtämiseen. Suorituksen voimantuoton suunta kohdistui enemmän pysty- kuin vaakasuuntaan, minkä voi todeta myös verrattaessa pysty- ja vaakavoimantuottoja kokonaisvoimantuottoon nähden. Sauvoitta hiihdossa hiihtäjä ei pysty hakemaan tukea liikkeeseen sauvatyönnön kautta ja näin vartalon asento nousee enemmän pystyyn ja myös liikerytmi muuttuu erilaisten pitovoiteluiden välillä. Liikerytmin muutos on nähtävissä syklin vaiheiden muuttujien taajuuksia (CR) vertailtaessa. Sauvoitta hiihdosta johtuen tässä tutkimuksessa mittaustulosten todettiin muistuttavan voimantuotoltaan jopa enemmän juoksua kuin hiihtoa.

Pysty- ja vaakavoimantuottoa tarkastelemalla voidaan arvioida suksien pitoa. Reaktiivoiman tuotto heikkenee, jos suksi luistaa potkua tehtäessä hiihtäjän alta. Tuotettu voima ei näin vie hiihtäjää eteenpäin, vaan purkautuu suksen lipsahtamiseen. Aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu suksen pidon parantuessa maksimaalinen reaktiivoimantuoton kasvavan huomattavasti, etenkin vaakasuunnassa, kun taas pystysuunnassa voimantuoton ero on pienempi (mm. Komi, 1985; Vähäsöyrinki, 1996; Linnamo, 2008). Myös tämän tutkimuksen tuloksissa tämä on nähtävissä ZL-Mean, ZL-Maximum ja YL-Mean, YL-Maximum arvoja vertailtaessa. Paremmin pitävien suksien vaakasuuntaisen keskivoiman (YL-Mean) ja maksimivoiman (YL-Maximum) tuotto on suurempaa, mitä se on heikommin pitävillä suksilla. Vertailtaessa suksia vaakavoimantuoton osalta on selvästi nähtävissä, että kostean vanhan lumen olosuhteessa molemmilla koehenkilöillä parhain pito on saavutettu normaalisti voidelluilla suksilla. Toiseksi parhaiten tässä olosuhteessa pidon osalta on toiminut nanosukset. Pitokarvasuksillakin on kosteassa olosuhteessa saatu vielä hyvä pito aikaiseksi, mutta pitoteipatun suksen pito on ollut selvästi heikoin. Eroa heikoimman ja parhaimman parin pidon välillä kostean vanhan lumen olosuhteessa on ollut jopa yli 65%. Kuivan keinolumen

olosuhteessa erot normaalisti voidellun, pitoteipatun ja pitokarvasuksen välillä ovat olleet tasaisempia, kun taas nanosuksen pito on jäänyt selvästi heikommaksi molempien koehenkilöiden kohdalla. Vaakasuuntaisen keskivoiman (YL-Mean) ja maksimivoiman (YL-Maximum) mittausravot vastaavat kyseisissä olosuhteissa myös subjektiivista arviota suksien pidosta. Tulokset ovat linjassa myös aiemmissa tutkimuksissa saatujen mittaustulosten kanssa, missä pystysuuntaisen voimantuoton suuruus potkun aikana on todettu olevan 1,6-kertainen ja vaakasuuntaisen voimantuoton 0,25-kertainen kehon painoon nähden (Komi & Norman 1987). Toki hieman suurempiin vaakasuuntaisen voimantuoton arvoihin (keskimäärin noin 0,31-kertaa kehon paino) vaikuttaa se, että suoritus tehtiin sauvoitta hiihtona. Sauvoja käyttäessä voimantuottoa tapahtuu myös ylävartalon lihaksilla ja jaloin tehtävä eteenpäin suuntautuva voimantuoton osuus jää pienemmäksi.

Kuivan vanhan lumen olosuhdetta mitattaessa keli ehti koehenkilöiden mittausten aikana muuttumaan niin paljon, että selvää johdonmukaisuutta ei tuloksissa ole nähtävissä. Kyseinen olosuhde mitattiin myös ensimmäisenä, mikä voi osaltaan aiheuttaa mittaustuloksiin eroa suhteessa subjektiiviseen arvioon. Koehenkilöt käyttivät tällöin sidevoima-antureita ensimmäisen kerran, eikä heillä ollut vastaavista mittauksista aiempaa kokemusta. Sidevoima-anturit nostavat hiihtäjän painopistettä korkeammalle sukseen nähden ja näin vaikuttavat hiihtäjän tasapainoon, mikä oli nähtävissä myös sauvoitta hiihdon suoritustekniikassa.

8.4 Laboratoriomittaukset

Lineaaritribometrin, eli niin kutsutun suksitesterin, avulla pystytään mittaamaan suksien pito- ja luisto-ominaisuuksia hyvinkin stabiileissa olosuhteissa. Etu suksitesteriä käytettäessä muodostuu siitä, että koneellisesti suoritettu vapaan liuku sekä etenkin mallinnettu perinteisen tyylin potku pysyy kaikissa mittauksissa keskenään identtisinä. Linnamon ym. (2008) hiihtosuoritusta ja suksitesteriä vertailevassa tutkimuksessa (2008) todettiin, että toisin kuin hiihtäjä, suksitesteri pystyy tekemään hyvin toistettavan suorituksen ja mittaustulokset ovat luotettavia sekä pysty- että vaakasuunnan voimien

osalta. Vaikkakin keskinäisissä hiihtäjän ja suksitesterin voimakäyrissä havaittiinkin tutkimuksessa pientä eroavaisuutta keskenään, voitiin silti todeta, että suksitesterin avulla pystytään simuloimaan luonnollista hiihtosuoritusta. Myös Kolehmainen (2006) totesi omassa tutkimuksessaan, että suksitesterin avulla perinteisen hiihdon simulointi on mahdollista ja se mahdollistaa erilaisten suksen ominaisuuksien testaamisen ja vaikutuksen arvioinnin vakioituissa olosuhteissa. Näin ollen voidaan todeta, että erot yksittäisten mittaustulosten välillä aiheutuukin muista mittaukseen vaikuttavista tekijöistä kuin itse suksitesteristä. Vaikuttaviksi tekijöiksi voidaan rajata lumen metamorfoosin aiheuttama ja/tai suksen pohjassa tapahtuvat kosteus- sekä lämpötilamuutokset. Näiden muuttujien vaikutus näkyy suoraan kunkin suksen lepo- ja liikekitkan mittausarvoissa. Tässä tutkimuksessa suksiparien todellisen keskinäisen eron selville saamiseksi pidimme lumen olomuodon stabiilina ja tämän lisäksi jokainen mittaus toistettiin useamman kerran, jotta yksittäisten mittaustulosten keskiarvojen perusteella saataisiin muodostettua varsinaiset suksiparien väliset vertailuarvot. Ladun stabiili olosuhde varmistettiin käyttämällä kalibrointisuksiparia aina neljän suksen mittauksen jälkeen.

Saadut mittaustulokset noudattivat hyvin aikaisemmissa tutkimuksissa saatuja liike- ja lepokitkan mittausarvoja. Optimaalisissa olosuhteissa (lumen lämpötilan ollessa n. -3 – -5°C) suksien liikekitkakerroin on saatu minimissään arvoon 0,02 (Buhl ym. 2001). Tässä yhteydessä ei kuitenkaan ollut tarkoituksena hakea optimaalisinta olosuhdetta, suksen pohjarakennetta tai voitelua vaan vertailla tutkimuksissa käytettyjä suksipareja keskenään. Tähän tavoitteeseen päästiin hyvin ja alhaisimmillaan liikekitkan osalta päästiin kostean lumen mittausolosuhteessa arvoon 0,0326, kun taas korkeimmillaan se oli kylmän vanhan lumen olosuhteessa 0,0683. Pitokäsittelyn avulla potkun aikainen lepokitkakerroin aiemmissa tutkimuksissa on todettu olevan 0,25 – 0,4 riippuen vallitsevista olosuhteista. (Kivoja 2007, 232) Vastaavasti aiemmissa tutkimuksissa kyseistä suksitesteriä käytettäessä lepokitkan mittausarvoiksi on saatu 0,11 – 0,15 (Nieminen, 2013). Tämän tutkimuksen lepokitkan mittaustulokset olivat hyvin linjassa myös näiden aiempien tuloksien kanssa, vaihteluvälin ollessa pääsääntöisesti 0,1388 – 0,4763 välillä. Selvästi edellä mainituista

tuloksista jäi ainoastaan pitoteipatut sukset kostean vanhan lumen olosuhteessa, jolloin naiskoehenkilön suksen lepokitkan arvo oli 0,0671 ja mieskoehenkilön 0,0864.

Verrattaessa kylmän vanhan lumen olosuhteessa tehtyjä liikutuslaitemittauksien tuloksia eri painoluokan kalustojen välillä nähdään tuloksissa selvä yhteneväisyys vastaavien suksiparien osalta. Tämä itsessään jo osoittaa tutkimuksessa käytetyn mittausprotokollan luotettavuuden sekä hyvän toistettavuuden. Tulosten perusteella normaalisti voideltujen suksien liikekitka oli molemmissa painoluokissa selvästi alhaisin ja mittaustulokset olivat jopa hyvin lähellä toisiaan. Kylmän vanhan lumen olosuhteessa naiskoehenkilön suksiparien alhaisin liikekitkan arvo oli 0,0465 ja mieskoehenkilön suksiparien liikekitkan arvo 0,0466. Liikekitkan osalta toiseksi parhaimpaan tulokseen ylsi jopa hieman yllättäen nanosukset molempien painoluokkien osalta, liikekitkan ollessa tällöin 0,542 / 0,512. Tähän vaikuttavina tekijöinä voidaan pitää mittauksessa käytetyn keinolumen kiderakennetta, ladun ”liippaantumista” mittausten aikana sekä nanosuksesta puuttuvaa erillistä pitoaluetta, mikä muissa pareissa on selvästi aiheuttanut liikekitkan mittaustulokseen heikkenemää. Pitoteipattujen suksien liikekitkan tulokset jäivät hieman nanosuksen tuloksista molemmissa painoluokissa, kun taas pitokarvasuksien liikekitka-arvot jäivät selvästi kaikista muista suksipareista. Tulosten perusteella voidaan todeta pitokarvasuksen pitokarvan vaikuttavan merkittävimmin suksen liikekitkaan sen osuessa latuun myös suksen vapaan liu’un aikana.

Samassa olosuhteessa molempien painoluokkien lepokitkan arvojen vaihteluväli muodostui suuremmaksi kuin mitä se oli liikekitkan osalta. Heikoimmat lepokitkan arvot molemmissa painoluokissa olivat 50,7% alhaisemmat parhaimpaan suksipariin verrattuna, kun vastaavasti heikoimman suksiparin liikekitkan ero parhaimpaan oli 31,9%. Parhaimmat lepokitkan arvot mitattiin molemmissa painoluokissa pitoteipatusta suksesta. Pitoteipin todettiin toimivan hyvin myös kylmän olosuhteen kenttämittauksia suoritettaessa ja tämä mittaustulos tukee kyseistä ajatusta. Toiseksi suurimmat lepokitkan arvot mitattiin normaalisti voidelluista suksista. Lepokitkan perusteella nanosuksien pito oli 50,7% heikompi kuin mitä parhaimmaksi mitatun pitoteipatun suksen osalta. Vaikka nanosuksi luisti hyvin, oli se kuitenkin vertailuarvona käytetyn P-luvun perusteella molempien

painoluokkien suksipareista heikoin. P-luku osoittaaakin hyvin suksien keskinäisen pito- ja luisto-ominaisuuksien välisen eron, eli kertoo miten perinteisen tyylin sukset toimivat kokonaisuutena. Tämän perusteella normaalisti voideltu sukki osoittautui tässä mittausolosuhteessa kokonaisuutena parhaiten toimivaksi sukseksi. Tämä oli myös odotettu mittaustulos tutkimussuunnitelmaa laadittaessa.

Vastaavasti lämpimän kostean lumen olosuhteessa molempien painoluokkien suksia verrattaessa mittaustulokset ovat keskenään hyvin vertailukelpoisia. Alhaisimmat liikekitkan arvot naisten painoluokan suksissa mitattiin normaalisti voidelluista suksista (0,0351) ja miesten painoluokassa pitoteipatusta suksesta (0,0326). Pitokarvasuksen sekä nanosuksen liikekitkakertoimet jäivät selvästi parhaimmin luistavista suksipareista. Pitoteipattujen suksiparien välistä eroa selittää eri painoluokkien suksien väliset profiilit. Miesten painoluokassa suksen profiili on jalkavampi, jolloin myös pitoteipille jää enemmän tilaa ja se ei vastaa liikekitkan mittauksessa latuun, kun taas matalammassa suksiprofiilissa vastaava voidekerroksen paksuus vaikuttaa myös liikekitkan mittaustulokseen. Lepokitkan osalta nanosukset molemmissa painoluokissa saavuttivat selvästi parhaimman tuloksen ollen jopa vajaa 60% paremmat kuin pitoteipatut sukset. Tulos on yhtenevä myös kostean vanhan lumen olosuhteessa tehdyn kenttämittauksen voimantuoton kanssa, missä pitoteipatulla suksella tuotettu vaakasuuntainen voima jäi selvästi nanosuksien vastaavasta mittaustuloksesta. Toiseksi parhaat lepokitkan mittausravot tässä mittausolosuhteessa mitattiin pitokarvasuksista, mikä taas poikkeaa kenttämittauksissa suoritettujen voimantuoton mittaustuloksista. Olosuhteet eivät kuitenkaan ole täysin vertailukelpoisia ja laboratoriomittausten aikana suksien pitokarva ei ehtinyt vettymään ja näin heikentämään pitoa, kuten se teki kenttämittausten aikana. Pitoteipatut ja normaalisti voidellut suksiparit suhteessa vastaavan painoluokan parhaiten toimineeseen nanosuksipariin olivat lepokitkan suhteellisen eron osalta hyvin lähellä toisiaan, kun verrataan kahta painoluokkaa keskenään. Tämä osoittaa lähinnä voitelun olleen onnistunut ja toimineen molemmissa painoluokissa samalla tavalla. P-lukuja verrattaessa nanosukset erottuvat selvästi molempien painoluokkien osalta. Ero toiseksi parhaimman P-lukuarvon saavuttavaan pitokarvasukseen on naisten painoluokassa 25,3% ja miesten painoluokassa 28,1%. Ero on yllättävä etenkin,

kun liikekitkan osalta nanosukset jäävät selvästi parhaiten toimivista pareista. Vaikuttavana tekijänä onkin nanosuksien todella suuri lepokitka muihin suksipareihin nähden. Muita suksipareja keskenään verrattaessa normaalisti voidellut sukset myös tässä olosuhteessa saavuttavat parhaimman P-lukuarvon pitokarvasuksien tuloksen ollessa vain hieman heikompi etenkin miesten painoluokan suksissa.

Koska lämpimän kostean lumen olosuhteessa nanosuksien lepokitkan mittausarvot olivat huomattavasti suuremmat verrattuna muihin sukseen nähden, vääristyy myös P-luvun perusteella tehty arviokin. Tässä yhteydessä onkin kiinnitettävä enemmän huomiota sekä liikekitkan että lepokitkan mittausarvoihin ja vertailtava kalustoa niiden perusteella. Vaikkakin perinteisen hiihtotyylillä hiihdettäessä suksen pito on ehdottoman tärkeää ja nanosuksi pitää mittausten perusteella todella hyvin, voi hiihtäjä kokea sillä hiihtämisen kuitenkin raskaaksi heikon luiston vuoksi. Ilman riittävää luistoa hiihdosta puuttuu rentous ja voimaa joudutaan tuottamaan myös sellaisissa maaston kohdissa, joissa normaalisti voidellulla suksella voitaisiin edetä vapaasti liukuen.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustulosten perusteella voidaan todeta normaalisti voideltujen perinteisen hiihtotyylin suksien olevan edelleen paras vaihtoehto valittaessa hyvin toimivaa suksea erilaisiin keliolosuhteisiin. Sekä pito- että luistovoitelut tässä tutkimuksessa toteutettiin yleisesti kuntohiihtäjien käytössä olevien voiteiden ja voitelumenetelmien avulla. Toki suksien onnistunut voitelu vaatii aina jonkin verran voitelukalustoa, hieman kokemusta sekä aikaa. Tämän vuoksi onkin kehitetty uusia helpompia voitelumenetelmiä, kuten esimerkiksi pitoteippi. Tutkimuksen tulosten perusteella pitoteippi onkin hyvä vaihtoehto hiihettäessä kuivan lumen olosuhteessa ja etenkin keinolumessa. Teipin asentaminen sukseen oli tutkimusta varten voitelut suorittaneelle henkilölle uusi kokemus ja jo ensimmäisellä kerralla todettiin, että pitoteipin asentaminen on hyvin yksinkertaista. Näin ollen pitoteippiä voikin suositella kuntohiihtäjälle testattavaksi normaalin pitovoitelun tilalle. Markkinoille on tullut ja tulee jatkossakin lisää erilaisia pikavoitelumenetelmiä, jotka edelleen helpottavat kuntohiihtäjän varastosta mahdollisesti jo löytyvien suksien huoltamista. Voidekehityksen myötä myös pikavoiteiden ominaisuudet paranevat edelleen ja niiden kulutuskestävyydenkin on todettu olevan jo varsin hyvä.

Jos kuntohiihtäjä on harkitsemassa uusien perinteisen hiihtotyylin suksien hankkimista, voidaan hänelle myös tämän tutkimuksen tulosten perusteella suositella pitokarvasuksia. Etenkin kuivan lumen olosuhteessa pitokarvasuksien pito ja luisto ovat hyvin lähellä normaalisti voidellun kuntohiihtäjän suksen toimintaa. Kostealla kelillä kyseisten suksien pito heikkenee, mutta luisto toimii edelleen hyvin. Sopivaa pitokarvasuksea valittaessa on kuitenkin syytä kääntyä kokeneen ammattilaisen apuun, joka osaa valita hiihtäjän painoon ja tekniikkaan parhaiten soveltuvan suksi-profiilin. Mitä korkeampi suksen profiili on, sitä todennäköisemmin suksen pitokarvakaan ei osu latuun vapaan liu'un aikana. Toisaalta taas korkeamman profiilin omaava sukki vaatii enemmän voimantuottoa potkun aikana, jotta suksen pitoalue saadaan vastaamaan latuun. Pitokarvasuksi vaatiikin, että perinteisen hiihdon potku on teknisesti oikeaoppista ja voimantuotoltaan tehokasta.

Nanosuksea voidaan taas suositella kostean lumen olosuhteeseen, joka usein onkin koettu kuntohiittäjien keskuudessa voitelun kannalta haastavimmaksi olosuhteeksi. Keväällä, kun auringon valon vaikutuksesta lumen kosteus kasvaa mahdollistaa nanosuksi hyvän pidon. Yleisesti aurinkoisia kevät kelejä pidetään myös nautinnollisimpana hiihdon kannalta ja tällöin ladulla näkyykään kuntohiittäjiä paljon. On kuitenkin syytä muistaa, että nanosuksien pohjassa käytettyjen nanopinnoitteiden koostumukset vaihtelevat eri suksivalmistajien välillä ja toisaalta kehittyvät edelleen. Tässä tutkimuksessa käytössämme oli YOKO YXC 3.0 nanosukset, joiden nanopinnoitteesta käytetään mallinimeä optigrip ja merkintä 3.0 kuvaa pinnoitteen kehitysversiota. Eri merkkien nanosuksia on myös hieman väärinä nähty mainostettavan täysin voiteluvapaina suksina. Toki ne eivät vaadikaan normaalia pito- ja luistovoitelua, mutta nanosuksetkaan eivät ole täysin huoltovapaita. Siinä missä muutkin suukset, keräävät myös nanosukset lumessa olevaa likaa pohjaan ja vaativat aika ajoin pohjan puhdistamista. Tästä syystä kyseisille suksille voidevalmistajat ovat valmistaneet erillisiä pohjan puhdistusaineita sekä pohjan kyllästysaineita. Tässäkin tutkimuksessa suksien pohjat käsiteltiin ennen tutkimusta ja kertaalleen tutkimuksen aikana kyseisillä aineilla. Kyllästeen avulla saadaan pienennettyä riskiä suksien pohjan jäätymiselle, mikä on joissain olosuhteissa mahdollista nanosuksien osalta. Vaikka nanosuksi jäi muista suksista luiston osalta jokaisella kelialueella, ei se kuitenkaan tee suksista huonoa ajatellen kuntohiittoa. Suksi soveltuukin erittäin hyvin vasta-alkajille tai rauhallisesta hiihtovauhdista nauttiville kuntohiittäjille. Suksen pohjan toimiessa sekä pito- että luistoalueena, on suksen toiminta tasaista ja näin se myös muodostaa turvallisen alustan itse hiihtosuoritukselle. Suksen pohjan toimintatavasta johtuen hiihtäjän painolla ei myöskään ole juurikaan merkitystä itse suksivalintaa tehtäessä ja tämä osaltaan helpottaa oikean suksiparin valintaa.

Mittaustulosten perusteella voidaan myös todeta, että käytettyjen mittausten menetelmien avulla voidaan tehdä hyvinkin laajaa suksien välistä arviointia. Etenkin uudemmat sidevoima-anturin sekä suksitesterin avulla saadut mittaustulokset koettiin arvokkaaksi lisätiedoksi ja tulosten pohjalta pystyttiin tekemään laajamittaisempaa suksien arviointia. Sidevoima-anturien avulla hiihdon suoritustekniikkaa päästään tutkimaan niin, että siitä aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa itse hiihtäjän suoritukselle, kun taas suksitesteri mahdollistaa

suurienkin suksimäärien kohtuullisen nopean vertailun luotettavalla tavalla. Sekä sidevoima-anturit että suksitesteri mahdollistavat aiempaa monipuolisemmat suksikalustojen ja voidetestien tekemisen sekä itse hiihtosuorituksen suoritustekniikkaan liittyvien muuttujien vertailun. Näiden kahden mittaustavan välillä havaittiin myös tässä tutkimuksessa hyvä vertailtavuus ja mittausmenetelmät tukevatkin toisiaan erinomaisesti.

Jatkokehityksenä sidevoima-antureita olisi syytä kuitenkin madaltaa edelleen niin, että hiihtäjän painopiste suhteessa sukseen pysyisi mahdollisimman muuttumattomana. Myös sidevoima-antureiden kiinnitysmenetelmää edelleen kehittyviin NIS-levyihin voisi viedä eteenpäin, jotta antureiden asentaminen hiihtäjän omiin suksiin tai suksista toiseen nopeutuisi. Suksitesteriä kehitettiin tähän tutkimukseen niin, että sillä pystyttiin yhä tarkemmin mallintamaan myös perinteisen potkua ja näin mittaamaan myös lepokitkaa. Tutkimuksen aikana lepokitkan mittaus todettiin toimivaksi mittausmenetelmäksi. Kehitettävänä osa-alueena suksitesterin mittausolosuhteiden stabiiliutta voitaisiin edelleen viedä eteenpäin. Tällä hetkellä mittaukset suoritettiin jääpatjan päällä, jossa oli ajettu latu-ura ja siinä vallitsevan olosuhteen mukaista irtolunta. Mittausalustaa voisi edelleen kehittää niin, että siinä olevan lumen laatuun pystyisi vaikuttamaan monipuolisemmin. Toisaalta myös suksitesterin liikuteltavuus erilaisiin kenttäolosuhteisiin olisi mielenkiintoinen kehitysalue.

LÄHTEET

- Ambach, W., Mayer, B., 1981, Ski gliding and water film. *Cold Region Science and Technology* 5. 59-65.
- Anttila, S. Roponen, T. 2008. Kaikki hiihdosta: tekniikka, välineet & harjoittelu. WSOYpro Docendo. Jyväskylä.
- Anttila, S. 2014. Zero, nano, skini ja kruunupohja – Pitopohjat paranevat. *Hiihto-lehti* 06/2014. Kustannus Oy Juoksija.
- Babiel, S. 2003. Studies on Intra-individual Variability of Selected Cross-Country Skiing Techniques. *European Journal of Sport Science*, vol. 3, issue 3.
- Bowden, F. P. & Hughes, T. P. (1939). The mechanism of sliding on ice and snow. *Proc. R. Soc. Lond. A*, 172(949), 280-298.
- Bowden, F.P. & Taylor, D. 1964, *The Friction and Lubrication of Solids Part II* , Clarendon Press, Oxford.
- Breitschädel, F., Klein-Paste, A., & Løset, S. 2010. Effects of temperature change on cross-country ski characteristics. *Procedia Engineering*, 2(2), 2913-2918.
- Breitschädel, F. 2015. A new approach for the grinding of Nordic skis. *Procedia Engineering*, 112, 385-390.
- Buhl, D., Fauve, M., Rhyner, H. 2001. The kinetic friction of polyethylene on snow: the influence of the temperature and the load. *Cold Reg. Sci. Technol.* 2001, 33, 133-140
- Bäurle, L., Szabó, D., Fauve, M., Rhyner, H., & Spencer, N. D. 2006. Sliding friction of polyethylene on ice: tribometer measurements. *Tribology Letters*, 24(1), 77-84.
- Bäurle, L., Kaempfer, T. U., Szabo, D., & Spencer, N. D. (2007). Sliding friction of polyethylene on snow and ice: contact area and modeling. *Cold Regions Science and Technology*, 47(3), 276-289.
- Carlsson, M. 2015. Physiological demands of competitive elite cross-country skiing. Sport Medicine Unit. Umeå University.
- Colbeck, S.C. 1992. A Review of the Processes That Control Snow Friction. U.S. Army Corps of Engineers.

- Colbeck, S. C. 1994. A review of the friction of snow skis. *Journal of sports sciences*, 12(3), 285-295.
- Colbeck, S. C. 2003. Temperature effects of black versus white polyethylene bases for snow skis. *Cold Regions Science and Technology* 39, s. 33-38.
- CustomSki – internetsivut. Luettu 8.5.2018. www.pitokarva.fi
- Fauve, M., Buhl, D., Rhyner, H. U., Schneebeli, M., & Ammann, W. 2005. Influence of snow and weather characteristics on the gliding properties of skis. *Science and Skiing III*, s. 401-410.
- Ekström, H. 1981. Force interplay in cross-country skiing. *Scandinavian Journal of Sports Science*. S. 69-76.
- Granberg, H. B. 1998. Snow cover on Sea Ice. In *Lecture Notes From a Summer School in Savonlinna, Finland 6-17 June 1994*. Vol 2 pp 605-651, Yliopisto paino, Helsinki.
- MJ Optima-Sport Oy. Hoitoaineet voiteluvalmistukselle. Viitattu 8.5.2018. <http://www.optiwax.fi/fi/tuotteet/hoitoaineet-nanopohjasuksille/>
- Holmberg, H-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Eitzlmair, E. ja Müller, E. 2005. Biomechanical Analysis of Double Poling in Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2005, 37, 807-818.
- Holmberg, H-C., Lindinger, S., Stöggl, T., Bjorklund, G. Müller, E. 2006. Contribution of the legs to double-poling performance in elite cross-country skiers. *Med.Sci.Sports Exerc.* 38, 1853-1860.
- Ilmatieteen Laitos, Havaintojen lataus. Ilmatieteen Laitoksen –internetsivut. Haettu 14.5.2018. <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>
- Kantola, H, Rusko, H. 1985. Sykettä ladulle. *Valmennuskirjat*. Helsinki
- Karttunen, H., Koistinen, J., Saltikoff, E., & Manner, O. 2008. Ilmakehä, sää ja ilmasto. *Tähtitieteellinen yhdistys Ursa*. Ursan julkaisu, 107.
- Kataja, H. 1996. *Cross country skiing: techniques and equipment*. Finnish Ski Association. Helsinki.
- Keinonen, J., 1978. An experimental device for measuring friction between ski and snow. *Finnish Academy of Technical Sciences*.
- Kirvesniemi, H. Sorjonen, A. Syväri, K. 2006 *Hyvä hiihtokoulu*. Teos.

- Kolehmainen, V. 2006. Perinteisen hiihtotavan simulointi suksen liikutuslaitteessa, sekä luistoon ja pito-ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät. Pro gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- Komi, P. V. 1985, Ground reaction forces in cross-country skiing, *Int. J. Sport Biomec.*, 3, 370-381.
- Komi, P. V. & Norman, R. W. 1987. Preloading of the thrust phase in cross-country skiing. *Int. J.Sports Med.* 8 Suppl 1, 48-54.
- Kivioja, S. Kivivuori, S. Salonen, P. Tribologia - kitka, kuluminen ja voitelu. 2007. Otatieto Oy Yliopistokustannus. Helsinki
- Kuzmin, L. & Tinnsten, M. 2005. Contact angles on the running surfaces of cross country skis. In: SUBIC, A. & UJIHASHI, S. (eds.) *The Impact of Technology on Sport*. Melbourne, Australia: Australasian Sports Technology Alliance Pty Ltd.
- Kuzmin, L. 2006. Investigation of the most essential factors influencing ski glide. Luleå University of Technology.
- Kuzmin, L. & Fuss, F. 2013. Cross country ski technology. In book: *Routledge Handbook of Sports Technology and Engineering*. Fuss, F. K., Subic A., Strangwood, A. Mehta, R. Routledge.
- Lehtovaara, A. 1989. Kinetic Friction between Ski and Snow. *Acta polytechnica Scandinavica, Mech. Ser. No 98*
- Leppävuori, A. 1989. Lihasaktiivisuus ja voimankäyttö maastohiihdossa s. Pro gradu –tutkielma, Jyväskylän yliopisto.
- Leppävuori, A.P, Karras, M., Rusko, H. & Viitasalo, J.T., 1993. A New Method of Measuring 3-D Ground Reaction Forces Under the Ski During Skiing on Snow. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 315-328
- Libbrecht, K. 2003. *The Snoflake: Winter's Secret Beauty*. Voyageur Press.
- Libbrecht, K. 2007. *The Art of the Snowflake: A Photographic Album*. Voyageur Press.
- Lindinger, S., J. Stöggl, T., Muller, E., Holmberg, HC. 2009. Control of Speed during the Double Poling Technique Performed by Elite Cross-Country Skiers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. P. 210-220

- Linnamo, V., Kolehmainen, V., Vähäsöyrinki, P., Komi, P. 2008 Simulation of classical skiing using a new ski tester. Neuromuscular Research Center, University of Jyväskylä.
- Linnamo, V., Ohtonen, O., Stöggl, T., Komi, P., Müller, E., Lindinger, S., 2012. Multi-dimensional force measurement binding used during skating in cross-country skiing. *Science and Skiing V*.
- Myllylä, M., Virtanen, A. & Hyttinen, J. 1994. Luistoa ladulle. Vuokatti sport. Vuokatti.
- Nachbauer, W., Kaps, P., Hasler, M., & Mössner, M. 2016. Friction between ski and snow. In *The engineering approach to winter sports* (pp. 17-32). Springer, New York.
- Nakaya, U. 1954. *Snow Crystals: Natural and Artificial*. Cambridge: Harvard University Press.
- Nigg, B. M. & Herzog, W. 2007. *Biomechanics of the musculo-skeletal system*. 3rd ed. Chichester: Wiley.
- Nieminen, Veli-Matti. 2013. *Suksen Pito- Ja Luisto-Ominaisuuksien Muutoksen Vaikutus Voimantuottoon Ja Lihasaktiivisuuteen Maksimaalisessa Pitkäkestoisessa Hiihtosuorituksessa Perinteisellä Hiihtotavalla*. Pro gradu- tutkielma. Jyväskylän yliopisto.
- Nilsson, J., Tveit, P. & Eikrehagen, O. 2004. Effects of speed on temporal patterns in classical style and freestyle cross-country skiing. *Sports Biomechanics*, 3 (2004), pp. 85–107
- Ohtonen, O. 2010. *The effect of ski gliding properties on the force production of V2-technique*. Jyväskylän yliopisto. Pro-gradu tutkielma.
- Ohtonen, O., Lindinger, S., Lemmettylä, T., Seppälä, S., Linnamo, V. 2013 *Validation of portable 2D force binding systems for cross-country skiing*. *Sports Engineering*.
- Oksanen, T. 1999. *Suomen lumipeitteen alueellinen vaihtelu*. Pro gradu- tutkielma. Geofysiikan laitos. Helsingin yliopisto.
- Peltonen Hiihto 2017 – 2018. Peltonen Ski Oy.
- Perttilä, M. 1997. *Meriympäristön kemian perusteet*. Report series of the Finnish Institute of Marine Research. No.31.
- Piirainen, J. 2008. *Vuorohiihdon voimantuoton muutokset suksen pito-ominaisuuksia vaihtelemalla*. Pro gradu –tutkielma, Jyväskylän yliopisto.

- Puukilainen, E. 2002. Suksen pohjamateriaalien ja suksivoiteiden karakterisointi. Joensuun yliopisto.
- Saltin, B.1997. The Physiology of competitive cross-country skiing across a fourdecade perspective; with a note on training induced adaptations and role of training at medium altitude. Proceedings of the 1st International Congress on Skiing and Science, St. Christoph a. Arlberg, Itävalta. E & FN Spon, Lontoo, s. 435-469.
- Shimbo, M. 1961. The mechanism of sliding on snow. Union Geodesique et Geophysique Internationale. Association Internationale d'Hydrologie Scientifique, 101-06.
- SkiSelector – Jokaiselle hiihtäjälle oikeat sukset parhaaseen mahdolliseen hiihtoelämykseen. Haettu 8.5.2018. Skiselector AS. <http://www.skiselector.com/wp-content/uploads/pdf/skiselector-folder-suomi.pdf>
- Schindelwig, K., Hasler, M., Van Putten, J., Rohm, S. and Nachbauer, W., 2014. Temperature below a gliding cross country ski. Procedia Engineering, 72, pp.380-385.
- Smith, G. A. 2003. Biomechanics of cross-country skiing. In book: Cross-country skiing. Rusko, H. Handbook of sports medicine and science, blackwell publishing, 32-61.
- Spring, E. 1987. Hiihdon fysikaaliset perusteet. University of Helsinki. Reports Series in Physics.
- Start Grip Tape. Luettu 8.5.2018. Startex Oy. <http://www.startskiwax.com/fi/suksivoiteet/pitovoiteet/pitoteippi/product/1512/start-grip-tape>
- Sturm, M. 1991. The Role of Thermal Convection in Heat and Mass Transport in the Subarctic Snow Cover. U.S. Army Corps of Engineers.
- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M. ja Holmberg, H-C. 2010a. General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 2010, 21, 791-803.
- Stöggl, T., Kappel, W., Müller, E., Lindinger, S., 2010b. Double-push skating versus V2 and V1 skating on uphill terrain in cross-country skiing. Medicine & Science in Sports & Exercise. 2010 Jan;42(1):187-96.

- Stöggl, T., Müller, E., Ainegren, M., Holmberg, HC., 2011 General strength and kinetics: fundamental to sprinting faster in cross country skiing? *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21(6):791–803.
- Stöggl, T. Holmberg, HC., 2016 Double-Poling Biomechanics of Elite Cross-Country Skiers: Flat versus Uphill Terrain. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol.48, No.8, pp. 1580-1589.
- Suominen, H. 1983. Suksen ja lumen välinen kitka. *Sitra*. Sarha A. Nro 741983. Helsinki
- Svensson, E. 1994. *Ski Skating with Champions: How to Ski with Least Energy*. Svensson, Seattle, WA.
- Vähäsöyrinki, P., 1996. Vuorohiihdon voimantuotto hiihtonousun kulman ja suksen pito-ominaisuuksien vaihtuessa. *ProGradu*. Jyväskylän YO.
- Vähäsöyrinki, P., Komi, P. V., Seppälä, S., Ishikawa, M., Kolehmainen, V., Salmi, J. A., & Linnamo, V. 2008. Effect of skiing speed on ski and pole forces in cross-country skiing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(6), 1111-1116.

LIITE 1

Perinteisen suksien testaus

Vuokatti

pvm. _____

aika: _____

Testipaikka: _____

Olosuhde:

Ilma		
lämpötila	kosteus	pilvisuus

lumi	
lämpötila	kosteus

Suksiparit:

pari 1	Voideltu ~60kg	pari 5	Voideltu ~80kg
pari 2	Pitoteippi ~60kg	pari 6	Pitoteippi ~80kg
pari 3	Skinisukset ~60kg	pari 7	Skinisukset ~80kg
pari 4	Optigrip ~60kg	pari 8	Optigrip ~80kg

Luistomittaukset [s]

	pari 1	pari 2	pari 3	pari 4	pari 5	pari 6	pari 7	pari 8
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

Pitomittaus (aika [s])

	pari 1	pari 2	pari 3	pari 4	pari 5	pari 6	pari 7	pari 8
1.								
2.								

Huom! (Testissä ilmenneet ongelmat/asiat mitkä on oleellisia analysointia varten.)
