

Perinteisen hiihtotavan simulointi suksen liikutuslaitteessa, sekä luistoon ja pito-ominaisuuksiin vaikuttavat tekijät.

Veli Kolehmainen

Jyväskylän yliopisto
Liikuntabiologianlaitos
Pro Gradu tutkielma
Syyskuu 2006
Työnohjaaja
Vesa Linnamo

1. Johdanto

Suksen luistaminen ja toisaalta pito-ominaisuus perinteisen hiihdon potkuvaiheessa ovat erittäin tärkeitä ominaisuuksia kun haetaan hyvää ja miellyttävää hiihtokokemusta niin kilpailu- kuin harrastussuoritukseenkin. Oikein suunnattu ja tuotettu voima potkuvaiheessa ja toisaalta suksen ja lumen väliset tekijät ovat merkittävässä osassa.

Vaikka luisto- ja pito-ominaisuuksia pidetään yleisesti erittäin merkittävänä, löytyy alalta julkaistua tutkimustietoa hyvin niukalti. Ilmeisesti tuorein tieto on kilpailevien yritysten ja toisaalta kilpailijoiden hallussa. Niin henkilökohtaisten ja myöskin kansallisten etujen varjeleminen edellyttää matalan profiilin ylläpitoa asian tiimoilta. Ympäristöolosuhteet, kuten ilman lämpötila, -kosteus, lumen vesipitoisuus, lumen kovuus ja lumen lämmön johtokyky, vaikuttavat merkittävästi suksen luisto- ja pito-ominaisuuksiin.

Luisto- ja pito-ominaisuuksista on mahdollista saada tutkimustietoa käyttäen hyväksi erilaisia voimanmittausjärjestelmiä. Koska tuotettu voima vaihtelee suoritusten ja hiihtäjien välillä, vaikeuttaa se tutkimustulosten luotettavaa arviointia. Tämän vuoksi olisi tarpeellista pystyä luomaan kontrolloidut olosuhteet vakioidulla voimantuotolla luisto- ja pito-ominaisuuksien arvioimiseksi.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää luonnollisen hiihdon voiman tuottoa ja voimien ajoitusta perinteisen hiihdon potku- ja liukuvaiheessa. Tavoitteena on suunnitella ja valmistaa laite, jolla voidaan simuloida perinteisen hiihdon voimantuottoa ja nopeuksia eri hiihdon vaiheessa sekä niiden välisiä ajoituksia. Laite on tarkoitus sijoittaa Vuokatin hiihtoputkeen, jolloin mittauksia voidaan tehdä vakioolosuhteissa. Toisaalta voidaan jossakin määrin tehdä muutoksia ympäristöolosuhteisiin, kuten esimerkiksi lämpötilaan ja lumen koostumukseen ja mitata niiden vaikutuksia hiihtoon.

1. JOHDANTO	2
2. PERINTEINEN HIIHTO	4
2.1 PAINON JAKAUTUMINEN SUKSELLA VUOROHIIHDON ERIVAIHEISSA	4
2.2 VUOROHIIHDON JALKAPOTKUN SUORITUSMALLI	4
2.3 VUOROHIIHDON JALKAPOTKUN KESTOAJAT	4
2.4 VOIMAN TUOTTO VUOROHIIHTOASKELEEN AIKANA	5
2.5 PERINTEISEN HIIHTOTAVAN SUKSEN RAKENNE	6
2.5.1 SUKSEN TOIMINNALLISET OSAT	6
2.5.2 SUKSEN POHJAMATERIAALI JA SUKSEN POHJAN URITUS	7
2.5.2 JALKAVUUSMUOTO JA SUKSEN JÄYKKYYS	8
3.0. LUISTOON VAIKUTTAVAT YMPÄRISTÖTEKIJÄT JA NIIDEN MITTAAMISEEN KÄYTETYT VÄLINEET	10
3.1. ILMAN KOSTEUS	10
3.2 LUMEN LÄMPÖTILA JA LUMEN VESIPITOISUUS	11
3.3 LUMEN KOOSTUMUS	12
3.3.1 VESIMOLEKYYLIN JA JÄÄKITEEN RAKENNE	12
3.3.2 VEDEN OLOMUODOT L. FAASIT JA NIIDEN VÄLISET MUUTOKSET	13
3.3.3. KAAREVUUSSÄTEEN VAIKUTUS FAASIEN VÄLISIIN MUUTOKSIIN	15
3.4 METAMORFOOSIT	16
3.5 LADUNPINNAN KOVUUS	17
3.6 LUMEN LÄMMÖNJOHTAVUUS	18
3.7 KÄYTÖSSÄ OLEVAT MITTAUSLAITTEET	18
3.7.1. ILMAN KOSTEUDEN-, LÄMPÖTILAN- JA VESIPITOISUUDEN MITTAUS	18
3.7.2. LUMEN KOOSTUMUKSEN- JA LADUNPINNAN KOVUUDEN MITTAUS	19
3.8 LUISTON TESTAUKSEEN KÄYTÖSSÄ OLEVAT MENETELMÄT	20
3.9 TESTAUKSISSA HUOMIOITAVAT YMPÄRISTÖOLOSUHTEET	21
4. TUTKIMUKSEN TARKOITUS	22
5. TUTKIMUSMENETELMÄT	22
5.1 REFERENSSIMITTAUKSET	22
5.1.2 VIDEOANALYYSI	24
5.2 SUKSENLIIKUTUSLAITTEEN TEKNISEN TOTEUTUKSEN KUVAUS	25
5.3 VOIMALEVYILTÄ SAATAVIEN SIGNAALIEN KÄSITTELY	26
5.4. SUKSENLIIKUTUSLAITTEELLA TEHTÄVÄT MITTAUKSET	26
5.5. PITÄVÄN-, KESKIPITOISEN- JA LIPSUVANSUKSEN VÄLINEN VERTAILU	26
6. MITTAUSTULOKSET	27
6.1. REFERENSSIMITTAUSTEN JA TESTERILLÄ TEHTYJEN MITTAUSTEN VERTAILU----- VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.	
6.2 REFERENSSIMITTAUKSET	29
6.3. TESTERIN VOIMAMITTAUKSET	31
6.4. PITÄVÄN-, KESKIPITOISEN- JA LIPSUVANSUKSEN VÄLINEN VERTAILU	33
7. POHDINTA	35
LÄHDELUETTELO ----- VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.	
LIITE 1	41

2. Perinteinen hiihto

Perinteisessä hiihdossa sukset kulkevat yhdensuuntaisesti latu-uralla ja potku potkaistaan paikallaan olevaan sukseen. Hiihtotekniikka vaatii pitävät sukset, joista tulee löytyä selkeä voidesä. Se voidellaan kelin mukaisella pitovoiteella. (Suomen kuntourheiluliitto)

2.1 Painon jakautuminen suksella vuorohiihdon erivaiheissa

Perinteisen hiihdon vuorohiihto tekniikka voidaan jakaa Suvikas (1980)mukaan eri vaiheisiin, jossa:

Vapaa liuku	suksi liukuu
Liuku tukijalka liukuen	
Liuku tukijalka koukistuen	
Potku jalka koukistuen	suksi paikallaan
Potku jalka ojentuen	

2.2 Vuorohiihdon jalkapotkun suoritusmalli

Eri nivelten liikkeet eivät esiinny yksittäisinä erikseen tapahtuvina liikkeinä, vaan samanaikaisina peräkkäisinä tapahtumina. Varsinaisessa potkussa hiihtäjä tuottaa pystyvoimaa, jotta sukset ei lipsuisi. Pystyvoiman suuruuteen vaikuttaa hiihtäjän kokemus, kehon paino, lihasvoima, askeleen kesto, suksen rakenne, ladun kovuus sekä nousukulma. Suurimmillaan pystyvoima saavutetaan kovalla ladulla ja voi olla jopa 2-3 kertaa kehonpaino. (Ekström 1980) Vuorohiihtopotkussa tuotettu vaakavoima aiheuttaa nopeuden kiihtymisen liiketasossa. Vaakavoimaa hiihtäjä voi tuottaa vain suksen ollessa pysähtyneenä. Vaakavoiman suuruus loivassa ylämäessä on n. 40-45 % kehonpainosta (Skard ja Larsson 1981).

2.3 Vuorohiihdon jalkapotkun kestoajat

Vuorohiihdon jalkapotkussa eteenpäin vievän vaakavoiman tuottamiseen käytettävä aika on lyhyt, koska sukset täytyy pysäyttää potkun ajaksi latuun. Mittauksilla saadut ponnistusajat vaihtelevat 100ms:sta 200ms:iin. Tasaisella hiihdettäessä voiman

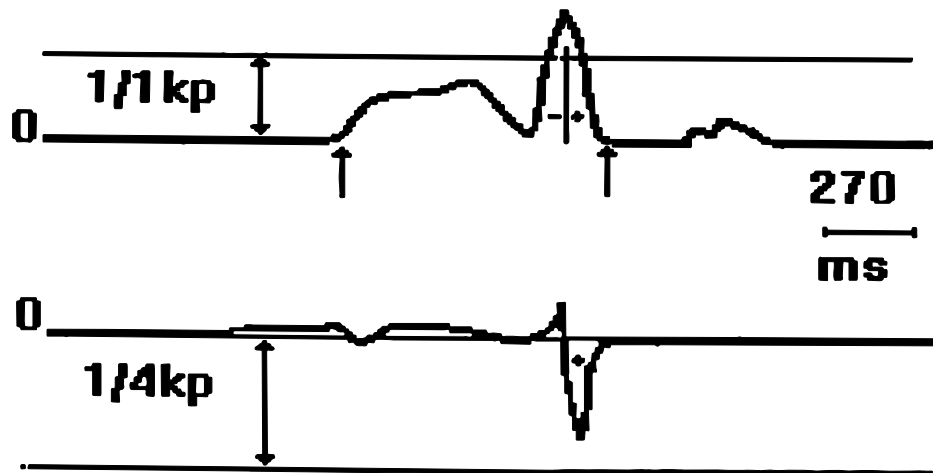
vaikutusajat ovat huomattavasti lyhempiä kuin ylämäkeen hiihdettäessä. Vastaavasti potkuvaiheiden tiheys kasvaa ylämäen jyrkkyyden kasvaessa. Näin ollen ylämäessä potkujen väliset palautusajat lyhenevät huomattavasti. (Donskoj ym. 1971, Waser 1976, Komi 1985).

2.4 Voiman tuotto vuorohiihtoaskeleen aikana

Jakamalla vuorohiihtoaskel neljään eri osaan eli; liuku-, kevennys-, jarrutus- ja potkuvaiheeseen (Komi 1985), voidaan tarkastella erivaiheiden pysty- ja vaakavoimia. (Kuva 1)

Liukuvaihe alkaa pystyvoimakuvaajan alapuolella olevan ensimmäisen nuolen kohdalta. Liukuvaiheen aikana esiintyy pystyvoima , joka ei saavuta koko kehon painon määrää. Kevennyksen ansiosta pystyvoima pienenee ennen suksen pysähtymistä. Suksen jarrituksen aikana syntyy pystyvoima, joka on yli kehon aiheuttaman pystyvoiman määrän. Konsentrisen potkuvaiheen aikana pystyvoima heikkenee nopeasti.

Liukuvaihetta ennen ja sen aikana esiintyy vaakavoimassa pieni negatiivinen voimakomponentti, joka johtuu suksen ja ladun välisestä kitkasta. Suksen jarrutusvaiheessa näkyy hieman isompi negatiivinen voima , joka johtuu suksen pitoalueen kosketuksesta latuun. Eteenpäin vievä vaakavoima syntyy konsentrisen potkuvaiheen lopussa (Komi 1985).

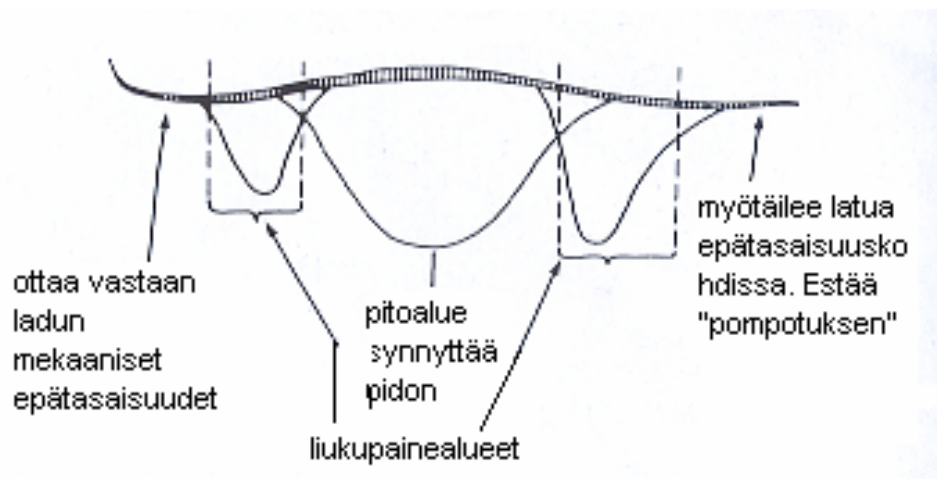


Kuva 1. Vuorohiihtoaskel ja sen erivaiheissa tapahtuva voimantuotto. Ylemmässä käyrässä on kuvattu pystyvoiman muodostuminen vuorohiihtoaskeleen aikana ja alemmassa käyrässä vaakavoiman muodostuminen. Kp kuvaa hiihtäjän kehonpainoa vastaavaa voimantasoa. (Komi, 1985.)

2.5 Perinteisen hiihtotavan suksen rakenne

2.5.1 Suksen toiminnalliset osat

Suksen toiminnalliset alueet voidaan jakaa suksen etu- ja takaosassa oleviin liukupainealueisiin ja suksen keskellä olevaan pitoalueeseen (Kuva 2) Suksen tärkeimmät toiminnalliset osat ovat liukupainealueet. Muuttuvat olosuhteet ja hiihtosuorituksen vaiheet asettavat suksen rakenteelle ja toiminnalle erilaisia vaatimuksia.



Kuva 2 Suksen toiminnalliset osat .(Kantola ,1985.)

Suksen rakenteessa on Suvikkaan (1980) mukaan luiston ja pidon kannalta seuraavia oleellisia osa-alueita:

- pohjamateriaali
- pohjan uritus ja hionta
- jalkavuusmuoto
- jäykkyys
- värähtelyominaisuudet

2.5.2 Suksen pohjamateriaali ja suksen pohjan uritus

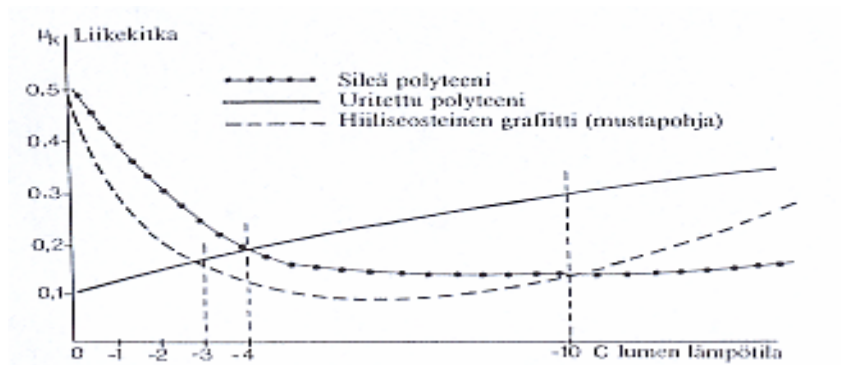
Käytetyin pohjamateriaali on korkeamolekyylinen polyteeni. Oikean pohjamateriaalin ja voiteen tulee olla kussakin sääolosuhteessa yhteensopiva lumen rakenteen ja kovuusasteen kanssa. Kylmällä pakkassäällä pohjamateriaalin täytyy olla lämpöä eristävä, koska pakkaslumen vesipitoisuus on vähäinen. Suksen ja lumen välinen kitkalämpö lisää vesikalvon paksuutta ja näin ollen lämmön häviäminen suksen runkoon täytyy minimoida. Leudoissa olosuhteissa (-2...-5 astetta) pohjamateriaalin on oltava lämpöä johtava, koska silloin vesikalvon paksuus on optimaalinen.

Ylimääräinen kitkalämpö täytyy johtaa pois, koska se on omiaan lisäämään vesikalvon paksuutta. Vesikalvon optimoimiseksi pyritään käyttämään myös vettä hylkiviä pohjamateriaalia. (Kantola 1985)

Puhtaalla vesikelillä pyritään käyttämään vettä hylkivää ja kulutusta kestäväää pohjamateriaalia. Kulutuksen kestävyyttä tarvitaan, koska karkea lumi sisältää epäpuhtauksia, jotka helposti vaurioittavat suksen pintaa. Pohjamateriaalin lämmönjohtavuuden merkitys vähenee, koska vesikalvo on paksu ilman kitkalämpöäkin ja yleensä vesikelillä käytetään paksuja voidekerroksia. (Kantola 1985)

Urittamalla suksenpohja voidaan parantaa luisto-ominaisuuksia joillakin ongelmakäytöksillä (Kuva 3). Erilaisia urituksia käytetään esimerkiksi vesikelille kuin lumisateella ja vuosittaiselle lumelle. Vanhalle ja uudelle lumelle on myös omat

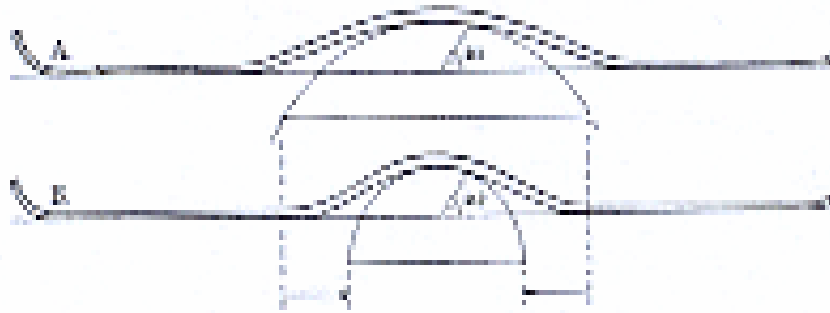
urituksensa. Uritusmallit, urien lukumäärät ja syvyydet poikkeavat eri hiihtäjillä hyvinkin paljon toisistaan samallekin kelille. Sileään pintaan nähden voidaan urituksella parantaa luistoa jopa 10...20%. Väärä uritus voi taas toisaalta heikentää luistoa 0...10%. (Kantola 1985)



Kuva 3 Pohjamateriaalin ja sen pintakäsittelyn (urituksen) vaikutus liikekitkaan laboratorio olosuhteissa. (Kantola, 1985.)

2.5.2 Jalkavuusmuoto ja suksen jäykkyys

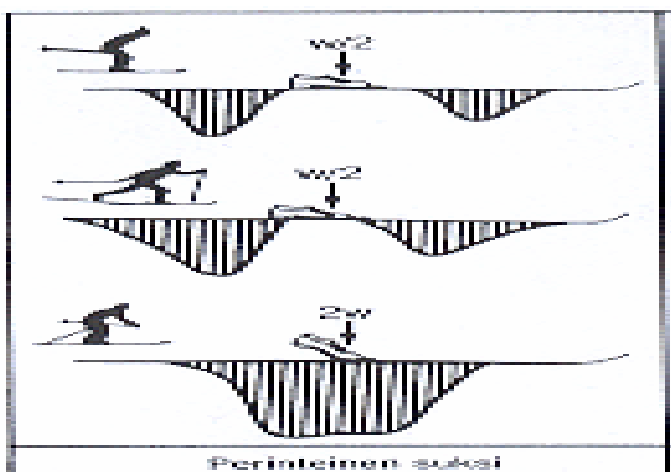
Jalkavuusmuodolla tarkoitetaan suksen keskellä olevan voidepesän jyrkyyttä eli jalkavuuskaaren sädettä. (Kuva 4) Eri keleille tarkoitettuihin suksiin se tehdään erilaiseksi. Suksen jäykkyyden ja jalkavuusmuodon avulla voidaan vaikuttaa suksen ja lumen väliseen painejakautumaan hiihdon eri vaiheissa. Jyrkässä jalkavuuskaaressa voitelualue jää lyhemmäksi ja liukuminen tapahtuu voitelupinnan molemmiin puolin olevien liukupintojen varassa. Pitovoide koskettaa ladun pintaa vain potkuvaiheen aikana. Loivalla jalkavuuskaarella saadaan tasaisempi pintapaine ja pidempi pitoalue, joka parantaa pitoa pehmeällä ja irtonaisella lumella. Lumi- ja pakkaskelille loiva voidepesä, märälle kelille jyrkkä voidepesä. (Kantola, 1985.)



Kuva 4 Loiva ja jyrkkä jalkavuuskaari. (Kantola ,1985)

Suksen jäykkyydellä tarkoitetaan sitä voimaa joka tarvitaan painamaan suksi jäykimmältä ponnistuskohdalta kiinni alustaan. Alkujäykkyydellä suksi painautuu alustaan pitoaluetta myöten. Loppujäykkyys on se voima millä pitoalue kokonaisuudessaan painuu alustaan. (Kuva 5)

Tarvittava jäykkyys riippuu hiihtäjän painosta ja potkuvoimasta. Pieni jäykkyisellä suksella saadaan parannettua pito-ominaisuuksia, mutta vastaavasti huononnetaan luisto-ominaisuuksia varsinkin pehmeällä lumella ja kosteissa lumiolosuhteissa. (Kantola 1985)



Kuva 5 Perinteisen suksen pintapaineet laskun, yhden suksen liu'un ja ponnistuksen aikana. (Suvikas ,1980.)

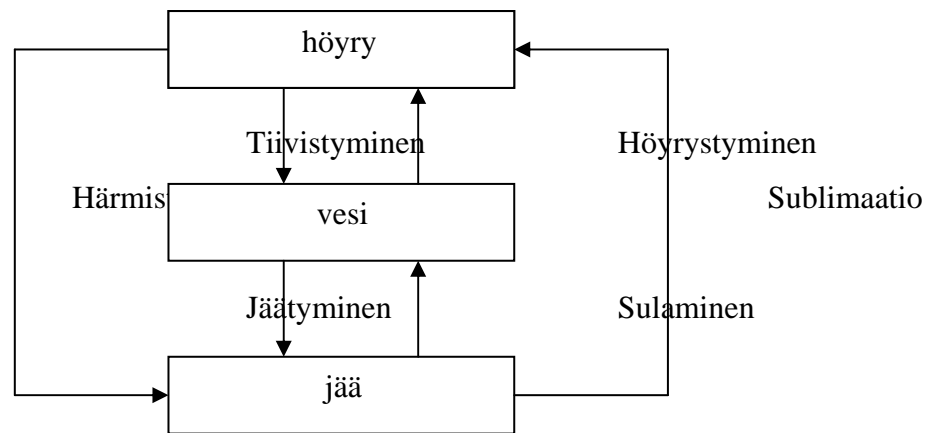
Värähtelyominaisuudet puolestaan kuvaavat suksen joustavuuden kimmoisuusvaimennustaipumista. Erilaiset hiihtoalustat vaativat erilaisia jousto-ominaisuuksia. Kimmoisan ja vaimentavan rakenteen avulla jousto-ominaisuuksia voidaan vaihdella. Pehmeä alusta vaatii kimmoisan, kevyen ja nopealiikkeisen suksen. Alusta itsessään toimii silloin vaimentimena. Kova alusta vaatii vaimentavan rakenteen liiallisten värähtelyiden vaimentamiseksi ja tasaisen luiston aikaansaamiseksi. (Kantola 1985)

3.0. Luistoon vaikuttavat ympäristötekijät ja niiden mittaamiseen käytetyt välineet

3.1. Ilman kosteus

Ilman kosteus kertoo ilman sisältämän vesihöyryn määrän. Ilman kosteus voidaan ilmaista absoluuttisena kosteutena, joka ilmoitetaan vesihöyryn massana tietyssä tilavuudessa ilmaa. Tavallinen yksikkö on g/dm^3 . Suhteellinen kosteus ilmoitetaan mitatun absoluuttisen kosteuden ja sellaisen absoluuttisen kosteuden, jossa ilma olisi samassa lämpötilassa täysin vesihöyryllä kylläinen, suhteena. Suhteellinen kosteus kertoo montako prosenttia absoluuttinen kosteus on vallitsevan lämpötilan kyllästymiskosteudesta. Ominaiskosteus kertoo suurimman vesihöyryn määrän, jota tietyn lämpöinen ilma voi sisältää. Se ilmaistaan grammoina (vesi) kilogrammaa (ilma) kohden. Kastepistelämpötila l. kastepiste on lämpötila johon ilman pitäisi jäähtyä, jotta kyllästymispiste saavutettaisiin. (Karttunen ym. 1998)

Sekä ilmaa että jäätä sisältävässä tilassa tapahtuu haihtumista ja tiivistymistä jään ja ilman rajapinnassa. Tasapainotilassa ilman kosteus saavuttaa kylläystilan ja haihtuminen ja tiivistyminen ovat yhtä suuria. Tätä sanotaan kylläystymiskosteudeksi jääpinnan suhteen. Vesihöyryä härmistyy jään pinnalle ja jäästä sublimoituu ilmaan vesihöyryä. Ilman jäähtyessä sen suhteellinen kosteus kasvaa kyllästymiseen asti ja sen jälkeen alkaa vesihöyryn tiivistyminen tai härmistyminen. Lumen pinnalla härmistyminen näkyy kuurana. Vastaavasti lämpötilan noustessa suhteellinen kosteus pienenee ja tapahtuu sublimaatiota. Kuvassa 6 on yhteenveto veden olomuodoista ja niiden välisistä muutoksista. Tutkittua tietoa ilmankosteuden vaikutuksesta luistoon ja pitoon on niukalti saatavilla. (Kuva 6). (Karttunen ym. 1998)



Kuva 6 Veden kolme olomuotoa ja niiden väliset muutokset.(Karttunen ym. 1998.)

3.2 Lumen lämpötila ja lumen vesipitoisuus

Lumen lämpötila ei voi nousta yli 0 °C. Sulaminen pitää siitä huolen. Lumen vesimäärä laskee lämpötilan laskiessa, siten että –5 asteessa lumessa ei ole juuri lainkaan vapaata vettä. Paras luisto saavutetaan –4 lämpötilassa. (Suominen 1983).

Suksen luisto perustuu suksen pohjan ja lumen kontaktipintaan muodostuvaan mikroskooppiseen vesikalvoon. Tämä puolestaan aiheutuu kitkan synnyttämästä hankauslämmöstä, joka sulattaa vesipisaroita lumikiteiden kärkiin. Suksi luistaa syntyneen vesikalvon varassa. Leudolla ilmalla vesikalvon paksuus on ihanteellinen ja suksen luisto erinomainen (kosteaa kitka). Kovalla pakkasella vettä syntyy ainoastaan vesihelminä lumikiteiden kärkiin. Liian vähäinen vesimäärä heikentää luistoa (kuiva kitka). Alle –20 °C lämpötiloissa luisto on erittäin huono. 0 °C lämpötilassa vesikalvo on jatkuvana mattona, koska lumi sisältää ilman kitkaakin runsaasti vettä. Suksi luistaa huonosti liian veden aiheuttaman imun ansiosta. Vesikalvon paksuus vaihtelee 0-50µm paksuisena.(Kantola 1985) Vesikalvon paksuus 0 asteessa on 10.6 µm, mutta kalvo ohenee 5.0 µm:iin kun lämpötila laskee –4:n asteeseen celsiusta (Ambach 1981).

3.3 Lumen koostumus

Lumipeite muodostuu useista päällekkäisistä ja eripaksuisista kerroksista. Kerrokset voidaan erottaa toisistaan mm. kidekokojen ja -muotojen sekä lumikiteiden sidostuneisuuden avulla. Lumikiteitä ja niiden välisiä sidoksia muovaavat metamorfoosit ovat jatkuvia termomekaanisia prosesseja, jotka alkavat heti lumisateen jälkeen ja jatkuvat lumen sulamiseen asti. Metamorfoosien johdosta myös seuraavat lumipeitettä kuvaavat fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat talven kuluessa: tiheys, huokoisuus, lämmönjohtavuus, heijastuskyky sekä kokoonpuristuvuus. Ajallisen vaihtelun lisäksi lumipeitteessä havaitaan huomattavaa rakenteen alueellista vaihtelua, joka johtuu pääasiassa ilmastollisista tekijöistä. Suksen luistoon vaikuttaa lumen sisältämä veden määrä. (Oksanen,1999) Veden määrä on suoraan verrannollinen lämpötilaan. Vesimäärä sukseen alla olevaan lumeen lisääntyy myöskin sukseen ja lumen välisen kitkan vaikutuksesta. Näin syntyvän veden määrään vaikuttaa lämpötilan lisäksi lumen muut fysikaaliset ominaisuudet. Hiihdon kannalta näiden fysikaalisten ominaisuuksien muutoksista ei juurikaan ole julkaistuja tutkimuksia.

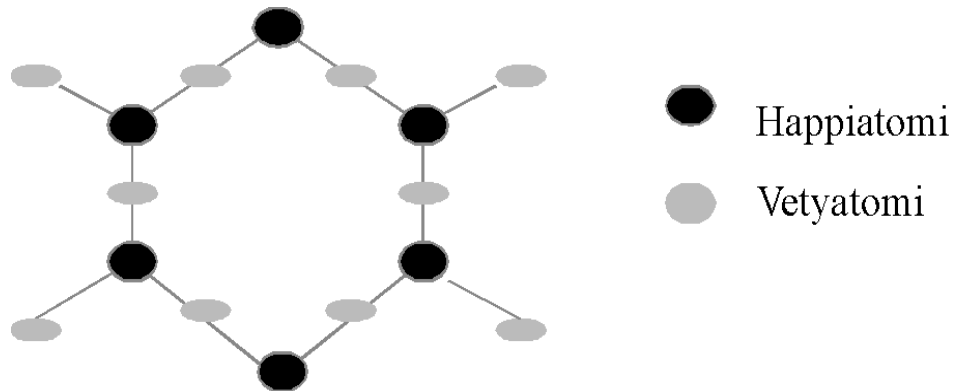
3.3.1 Vesimolekyylin ja jääkiteen rakenne

Lumessa tapahtuvien prosessien kulkuun vaikuttaa suuresti vesimolekyylin rakenne. Vesimolekyylissä kuusi elektronia happiatomista ja yksi elektroni kummastakin vetyatomista muodostavat kemikaalisia sidoksia. Vetyatomit ovat sitoutuneet kovalenttisesti happiatomiin siten, että niiden välinen kulma on 104.5° . Kovalenttisessä sidoksessa atomit jakavat elektroneja keskenään, mistä aiheutuu sidoksen vahvuus. Sidokset aiheuttavat myös vesimolekyyliin epäsymmetrisen varausjakauman ja siten vesimolekyylin poolisuuden. Tämä aiheuttaa van der Waals-vuorovaikutuksen kahden vesimolekyylin välille, ja myös elektrostaattisen vetovoiman veden happiatomin ja kahden sen lähistöllä olevan vesimolekyylin vetyatomien välillä. Vesimolekyylit voivat liittyä tällaisten vetysidosten kautta toisiinsa. Vetysidoksen vahvuus on noin kymmenesosa tavallisen kovalenttisen happi-vetysidoksen vahvuudesta. Veden jäätymispisteen lähellä molekyylien

kineettinen energia ei ole riittävä rikkomaan molekyylien välille muodostuvia vetysidoksia. Tällöin muodostuu kuvan 7 kaltaista polymeeristä vettä.

Veden jäätyessä molekyylit järjestäytyvät tilaa vievään säännölliseen kuusikulmaiseen hilarakenteeseen. Hilarakenteesta johtuu veden, toisin kuin useampien muiden aineiden, laajeneminen olomuodon muuttuessa nestemäisestä kiinteäksi. Jään kuusikulmainen olomuoto I. faasi on ainoa, joka voidaan havaita luonnon lumipeitteessä vallitsevissa olosuhteissa. (Perttilä 1997)

Jään pinnassa olevat molekyylit voivat liikkua vapaammin kuin hilan sisäosissa olevat molekyylit. Pintakerroksen ominaisuudet ovat tämän johdosta jotakin veden ja jään väliltä. Pintakerroksen paksuus on suurin lämpötilan ollessa lähellä sulamispistettä. Pintakerroksessa molekyylit voivat liikkua myös pinnan suuntaisesti. Pintakerroksen ominaisuudet aiheuttavat myös alhaisen kitkan jään ja muiden materiaalien välille (Granberg 1998). Hiihdon kannalta tämä on olennainen ilmiö, koska nimenomaan tämä ilmiö luo perustan suksen luistolle. Hiihdon kannalta aiheesta ei löydy julkaistuja tutkimuksia.

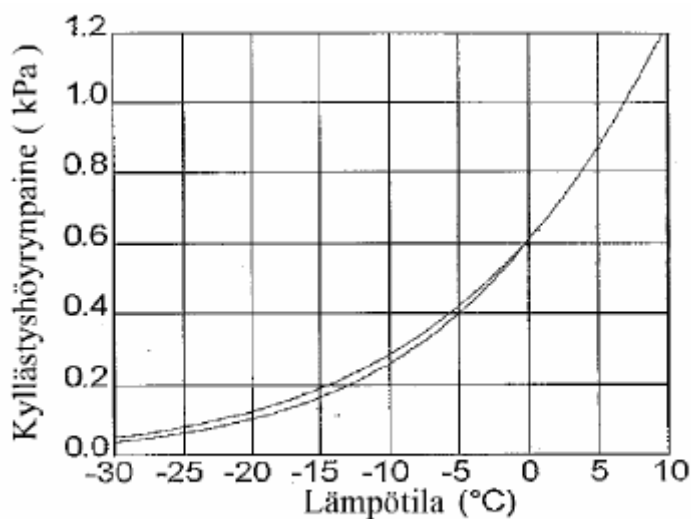


Kuva 7 Jään kuusikulmainen faasi

3.3.2 Veden olomuodot I. faasit ja niiden väliset muutokset

Lumipeitteessä vesimolekyylejä voi esiintyä veden kaikissa olomuodoissa. Vesitai jäämolekyylit eivät voi muodostaa vetysidoksia ilman kanssa. Tämän johdosta niiden ulkopinnoille muodostuu molekyylin sisään suuntautuneita pintajännitysvoimia. Pintajännitysvoimien ja vetysidosten rakenteen vuoksi vedellä

on paljon kaltaisista aineista poikkeavia fysikaalisia ominaisuuksia. Pintajännitysvoima ja siitä riippuva vesihöyrinpaine ovat kuperissa kohdissa korkeampia kuin koverissa. Vedellä on suuri ominaislämpökapasiteetin $4.2 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ja höyrystymislämmön, 2260 kJ kg^{-1} arvo verrattuna muihin nesteisiin. Jään sulamiseen vaadittava energia on 335 kJ kg^{-1} . Veden fysikaalisten ominaisuuksien lisäksi olomuotojen muutosprosesseihin vaikuttavat ympäristön lämpötila sekä vesihöyrinpaine. Kuvassa 8 on esitetty veden faasi- eli olomuotodiagrammi. Kaareva käyrä erottaa vesi ja nestefaasin toisistaan, eli ilmoittaa siinä kastepisteen arvon. Alle 0°C asteessa käyrä jakaantuu kahteen osaan. Alempi käyrä kuvaa tasaisen jääpinnan höyrinpainetta ja ylempi puolestaan alijäähtyneen veden höyrinpainetta. Kolmoispisteen alapuolella vesihöyry härmistyy suoraan jääksi tai jää sublimoituu suoraan vesihöyryksi. Käyrien yhtymäkohtaa kutsutaan veden kolmoispisteeksi. Siinä kaikki kolme faasia ovat keskenään tasapainossa. (Lind ja Sanders 1996)



Kuva 8 Vesihöyrinpaineen riippuvuus lämpötilasta. (Lind ja Sanders, 1996.)

3.3.3. Kaarevuussäteen vaikutus faasien välisiin muutoksiin

Vesihöyrynpaine e_s lumipeitteessä voidaan esittää integroidun Clausius-Clapeyron yhtälön avulla seuraavasti (Granberg 1998):

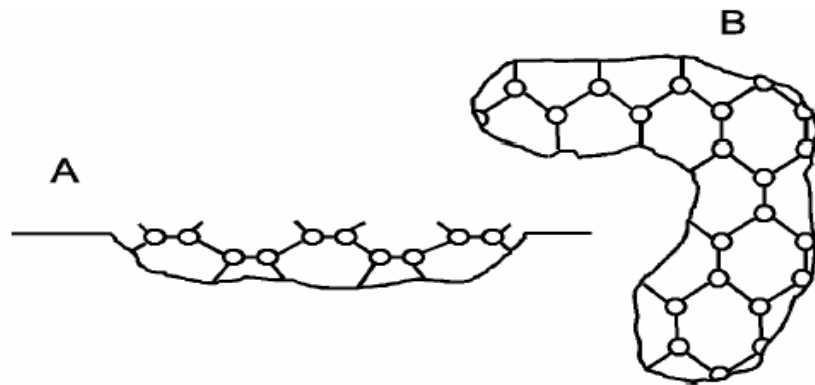
$$\ln\left(\frac{e_s}{e_{s0}}\right) = \left(\frac{L}{r_v}\right)\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right) \quad (1)$$

missä e_{s0} on 0.611kPa kun $T_0 = 273\text{K}$. L on jään ominaishöyrystymislämpö ja R_v on vesihöyryn kaasuvakio $461 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Ylläesitetty Clausius-Clapeyron yhtälö on voimassa vain faasien välisille tasaisille rajapinnoille. Lumikiteitä varten yhtälöä (1) joudutaan muokkaamaan siten, että se huomioi myös kappaleiden geometrioista aiheutuvat pintajännitysvoimat. Pintajännitysvoimat vaikuttavat vesihöyrynpaineeseen kuperilla pinnoilla positiivisesti ja koverilla puolestaan negatiivisesti. Ympyrän muotoisen vesipisaran höyrynpaineelle $e_s(r)$ voidaan esittää seuraava Kelvinin yhtälö (2) (Granberg 1998):

$$e_s(r) = e_s(\infty) e^{\frac{2\sigma}{rR_v d_d T}} \quad (2)$$

missä $e_s(\infty)$ on tasaisen pinnan vesihöyrynpaine, r lumikiteen säde, σ pintajännitys ja d_n tiheysjakauma lämpötilassa T . Pintajännitysvoimia voidaan havainnollistaa kuvan 9a. avulla. Tasaisella pinnalla käytettävien sidosten määrä on lähes vakio, kun taas kuperalla pinnalla pintajännityksestä johtuen huomataan käytettävissä olevien sidosten puuttuvan lähes kokonaan. Kuperalla pinnalla olevat atomit ovat tämän johdosta helpommin irrotettavissa lumikiteestä kuin koveralla pinnalla olevat molekyylit. Irrotustyöhön käytetty energia voi olla peräisin molekyylin lämpövärähtelystä tai ulkoisten molekyylien kineettisestä energiasta (Lind ja Sanders 1996). Suksen ja lumen välinen kitka käynnistää tämän ilmiön. Tasaisella pinnalla käytettävissä olevien sidosten määrä on lähes vakio. Molekylaarisella tasolla pinta ei kuitenkaan ole käytännössä aivan tasainen. 9b.

Kuperalla puolella ei ole juuri lainkaan käytettävissä olevia sidoksia pintajännityksen johdosta. Vain happiatomit on merkitty kuvioihin.



Kuva 9 a ja b Pintajännitysvoimat. (Lind ja Sanders, 1996.).

3.4 Metamorfoosit

Lumipeitteen metamorfooseihin eli lumikiteiden muodonmuutosprosesseihin vaikuttavat lumipeitteen ylä- ja alapintoihin kohdistuvat reunaehdot. Lumipeitteen yläpinnassa auringosta tuleva lyhytaaltainen säteily ja ilmakehästä tuleva pitkäaaltoinen säteily absorboituvat ja siroavat. Lämmönvaihtoa tapahtuu lumipeitteen yläpinnassa jonkin verran myös säteilemällä. Sateen ja sulamisvesien myötä lumipeitteeseen siirtyy myös suuria määriä veteen sitoutunutta ominaislämpöä. Tuulenpaine vaikuttaa lumipeitteen yläkerrokseen irrottamalla lumikiteitä tai pakkaamalla lumipeitettä tiheämmäksi. Alapinnalla puolestaan maaperän geoterminen lämpö sekä maan jäätymisessä vapautuva latenttilämpö riittävät nostamaan (arktisia alueita lukuun ottamatta) lumipeitteen eristävän vaikutuksen johdosta lämpötilan lähelle 0°C. Lumipeitteessä olevien lämpötilaerojen takia siinä tapahtuu ilman ja vesihöyryn konvektiota, joka muovaa voimakkaasti lumikiteitä (Sturm 1991). Osa ylöspäin kulkeutuvasta

vesihöyrystä voi myös läpäistä lumen pinnan ja näin haihtua pois lumipeitteestä. Suomen maaliskuisissa ilmasto-oloissa haihtuminen on kuitenkin vain 3-6 mm luokkaa kuukautta kohden (Kuusisto 1984). Metamorfoosit aiheuttavat muutoksia mm. lumen vesipitoisuuteen, kovuuteen, huokoisuuteen ja kiderakenteeseen ja sitä kautta suksen ja lumen väliseen kitkaan.

3.5 Ladunpinnan kovuus

Tyynellä ilmalla ja kovalla pakkasella satava lumi voi muodostaa lumipeitteen, jonka tiheys on vain 10 kg m⁻³. Tällaisesta lumesta käytetään nimitystä puuterilumi. Kaikkein keveintä lunta sataa ilman ollessa tyyni ja pakkasen kireä (U.S. Army Corps of Engineers 1956). Sataessaan maahan tuulisella ilmalla lumihiuksien sakaraiset muodot rikkoontuvat osin jo ilmassa hiukkasten törmäillessä toisiinsa. Kulkeutuessaan tuulen mukana maassa hiukkaset menettävät lisää alkuperäistä muotoaan. Lumikiteet kykenevät tällöin pakkautumaan tiiviimmin ja saavuttamaan tuulen nopeudesta riippuen tiheyksiä välillä 100-400 kg m⁻³ (Seligman 1936). Talven aikana lumipeitteen tiheys kasvaa hitaasti alkutalven noin 200 kg m⁻³ arvosta keväiseen maksimitiheyteen, joka on Suomessa noin 300-400 kg m⁻³. Tundra-alueilla lumipeitteen tiheys ei juurikaan muutu talven aikana, koska siellä tuuli pakkaa jo ensilumen noin 300 kg m⁻³ tiheyteen. Vertailun vuoksi todetaan, että jäätikköjääksi muuttuvan lumen tiheys on 830 kg m⁻³ (Paterson 1994).

Lumipeitteen tiheyden kasvaessa luonnollisesti tai keinotekoisesti esimerkiksi tamppaamalla, yhä useammat kiteet joutuvat kosketuksiin toistensa kanssa. Tällöin kiteiden välisten sidosten määrä ja siten myös lumipeitteen kovuus kasvavat. Tähän ilmiöön perustuu mm. upottavaan hankeen hiihdetyn ladun kantavuus seuraavana päivänä tai lumipallojen teko pakkaslumesta. Jos vasta satanut lumi seisoo useita päiviä niin lumikiteiden muoto pyöristyy, lumi kiinteytyy ja ladun pinta kovenee. Lämpötilan laskiessa lumen kovuus kasvaa lineaarisesti. Parhaan pidon saamiseksi ladun ja voiteen kovuuden täytyy vastata toisiaan. (Kantola 1985)

3.6 Lumen lämmönjohtavuus

Lumen ja suksen väliin syntyvän vesikerroksen paksuuteen vaikuttaa myös suksen alla olevan lumen lämmönjohtavuus. Mitä huonommin lumi johtaa lämpöä, sitä enemmän kitkan synnyttämää lämpöenergiaa jää sulattamaan lunta suksen ja lumen väliin. Lumen lämmönjohtavuuteen vaikuttavat pääasiassa lumen tiheys ja lumen lämpötila. Kun lumen lämpötila laskee, lumen lämmönjohtavuus heikkenee ja kun lumen tiheys kasvaa sen lämmönjohtavuus paranee.

3.7 Käytössä olevat mittauslaitteet

3.7.1. Ilman kosteuden-, lämpötilan- ja vesipitoisuuden mittaus

Yleensä testaustilanteessa mitataan ilman suhteellista kosteutta, mutta sen vaikutusta luistoon ei huomioida sen kummemmin tuloksissa. Luistotestejä tehdessään hiihtoliitto mittaa perustietoihin ilman suhteellisen kosteuden Vaisalan valmistamalla yhdistelmämittarilla, jolla mitataan myös ilmanlämpötila. (Puukilainen 2005)

Lämpötilan mittauksiin käytetään yleisesti pistolämpömittareita, joilla saadaan nopeasti mitattua yhden pisteen lämpötila halutulta syvyydeltä lumesta. Muista käytetyistä menetelmistä ei ole havaintoa. Hiihtoliiton tekemissä luistotesteissä alkutietoihin liitetään ilman lämpötilan lisäksi lumenlämpötila 1 cm ja 5cm syvyydestä mitattuna. Mittaukset tehdään Testo 826-T3 pistolämpömittarilla. Ladun ja luistelu-uran kosteuden mittaamisen on mittari , joka antaa lumen kosteuden prosentteina. Mittarin valmistajasta, mittausmenetelmästä ei ole tietoa.(Puukilainen Esa).

Lumen vesipitoisuuden ”nyrkkisääntö”: Otetaan kourallinen lunta ja puristetaan se palloksi. Avataan nyrkki; Ei synny lumipalloa, lumi on kuivaa pakkaslunta. Muodostuu lumipallo, nuoskakeli. Lumipallo on pinnaltaan vetinen, vesikeli (Suvikas 1980).

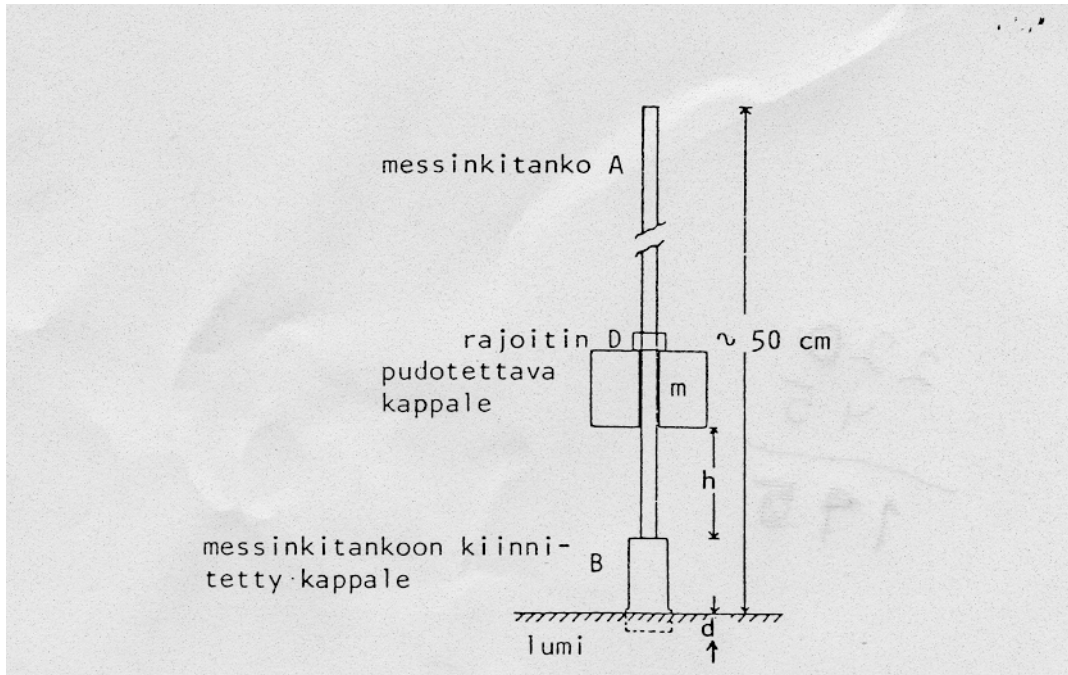
Erityisesti Suomen lumitutkimuksen historiasta on syytä mainita Professori V.V.

Korhosen nimenomaan Suomen olosuhteisiin suunnittelema lumivaaka, jonka asteikosta tietyn paksuisen luminäytteen vesiarvo saadaan suoraan millimetreinä (Angervo 1952). Mittausperiaate perustuu lumen tilavuuden pienenemiseen sen sulaessa.

3.7.2. Lumen koostumuksen- ja ladunpinnan kovuuden mittaus

Lumen koostumuksen määrittely perustuu tänä päivänä silmämääräiseen arvioon. Liitteessä 2 on Hiihtoliiton käyttämät luokitukset mm. lumen koostumuksesta. LK on ladun kovuus (perinteisen hiihtoura) ja LUK on luistelu-uran kovuus. Ne arvioidaan ”silmä- / sormimääräisesti” asteikolla 1-5, 1 = erittäin pehmeä ja 5 = erittäin kova. Lumityyppi, kiteen muoto ja koko, ladun pinta ja lumen kosteus määritellään niin ikään suhteellisesti ilman mittalaitetta.

Ladunpinnan kovuuden mittaamiseksi on rakennettu mittauslaite. Sillä voidaan selvittää ladunpinnan kovuserot eri maastonkohdissa. (Kuva 10) Tietoa voidaan käyttää hyväksi voittoa suunniteltaessa ja suksia valittaessa. Laitteen toiminta perustuu siihen, että tietyltä korkeudelta pudotetaan massallinen kappale alas ohjausrunkoa pitkin. Kun se törmää toiseen kappaleeseen, tämä tunkeutuu iskun voimasta lumeen. Kappaleen tunkeutumissyvyyden avulla saadaan määritetyksi ladunpinnan kovusero (N/m²). Esimerkiksi karkearakeinen lumi muuttuu kolmen vuorokauden aikana -12°C lämpötilassa 60% kovemmaksi. Tällaisen muutoksen jälkeen suksen voittoa on suunniteltava uudelleen, vaikka lumen lämpötila ja raekoko pysyisivät muuttumattomina. (Suominen 1983).



Kuva 10. Ladunpinnan kovuusmittari (Suominen, 1983.)

3.8 Luiston testaukseen käytössä olevat menetelmät

Tämän päivän testausmenetelmät liittyvät kaikkien haastateltujen tahojen kohdalla sopivaan alamäkeen asennettuihin valokennoihin, joiden avulla saatuja laskuaikoja hyväksi käyttäen verrataan eri suksien, voiteiden tai pohjarakenteiden eroja.

Liitetiedostolla (1) on esimerkkitesti selventämään Hiihtoliiton testauskäytäntöä ja tulosten raportointia. Raportin yläosassa on sekä kalibraation että testin (tässä tapauksessa kuviotestin) olosuhdetiedot. Keskivaiheilla on kalibraation tulokset, eli laskuajat viideltä rinnakkaislaskulta ja niistä lasketut keskiarvo, keskihajonta, kalibraatiokerroin, ero verrattuna pariin nro 1 ja virheprosentti. Tämän alla laskujen trendit ja tulokset pylväsdiagrammina. Alaosassa on varsinainen testi ja niistä saman tyyppisesti, rinnakkaislaskujen ajat (tässä tapauksessa lopputuloksista on jätetty pois nopein ja hitain aika), keskiarvo, keskihajonta, kalibraatiokertoimella korjattu keskiarvo, kuvion tuoma prosentuaalinen parannus ja virhe. Alinna laskujen termit ja tulokset pylväsdiagrammina. Käytännössä testaus siis pitää sisällään seuraavat vaiheet:

1. Suksien kalibraatiolaskut viisi rinnakkaislaskua
2. Lasketaan tulokset kalibraatiosta

3. Voidellaan tai kuvioidaan sukset
4. Lasketaan viisi rinnakkaislaskua voidelluilla (tai kuvioiduilla) suksilla
5. Lasketaan testitulokset käyttäen kalibraatiokertoimia. Kalibraationa voidaan käyttää myös aiemmin samantyyppisessä olosuhteessa tehtyä kalibraatiota, jolloin kohdat 1 ja 2 jäävät pois. (Puukilainen 2005)

Sveitsin Davosissa on vuonna 2005 on kehitetty laite, jossa 180 cm halkaisijaltaan olevassa ympyrän muotoisessa testilaitteessa liikutetaan maksimissaan 20 cm pitkää polyeteeni liuskaa ympyrän muotoista rataa. Liuskan alle voidaan laittaa lunta tai jäätä. Alustan lämpötilaa voidaan säätää 0...-20 °C välillä. Myöskin liuskaa painavaa voimaa voidaan säädellä. Tutkimuksen kohteena on ollut liuskan ja lumen välinen kitka, kitkan synnyttämä lämpöenergia ja liuskan ja lumen välille syntyvän veden määrä. Tutkimuksesta saatuja tuloksia ei voi suoraan soveltaa hiihtoon.(Baurle ym. 2006)

3.9 Testauksissa huomioitavat ympäristöolosuhteet

Testausvaiheessa mitattavien ympäristöolosuhteiden arvot tallennetaan nykyisin mittauspöytäkirjoihin, mutta niitä ei käytetä hyväksi tuloksia analysoitaessa matemaattisesti, ainoastaan viitteellisenä tietona voitelua ja ehkä suksen pohjamateriaalia valittaessa yksittäiseen kilpailuun. Liitteessä 2 on Hiihtoliiton talteen ottamat tiedot ja luokitukset eri ominaisuuksille.

4. Tutkimuksen tarkoitus

Suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien hallinnan tärkeys on yleisesti tiedostettu, niin tuloksellisessa kilpasuorituksessa kuin miellyttävässä harrastesuorituksessakin.

Aiheesta on hyvin rajallisesti saatavissa tutkimusmateriaalia. Mittausolosuhteiden vakioiminen, niin ympäristöolosuhteiden kuin testaaajien kannalta on vaikeaa, ellei jopa mahdotonta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on rakentaa suksenliikutuslaite, jolla voidaan simuloida perinteisen hiihdon voiman tuottoa ja voimien ajoituksia. Laitteella voidaan säätää sukselle haluttu nopeus ja latuun kohdistuva paine. Pysty- ja vaakavoimien mittausta tapahtuu ladun alle sijoitettavien voimalevyjen avulla. Tutkimuksessa selvitetään laitteen toistettavuus sekä voitelun merkitys voimantuottoon simuloidussa suorituksessa.

5. Tutkimusmenetelmät

5.1 Referenssimittaukset

Suksen liikutuslaitteella (myöh. testeri) tuotettavien suksen luisto- ja pito-ominaisuuksien mittaustulosten tarkastelun helpottamiseksi, sekä oikeellisuuden varmistamiseksi tehtiin referenssimittaukset Vuokatin hiihtoputkessa. Vertailumittausten suoritusta varten asennettiin hiihtoputken hiihtoladun alle Jyväskylän yliopiston liikuntabiologian valmistama voimalevyjärjestelmä, jonka yhteispituus on kuusi metriä (Kuva 11).

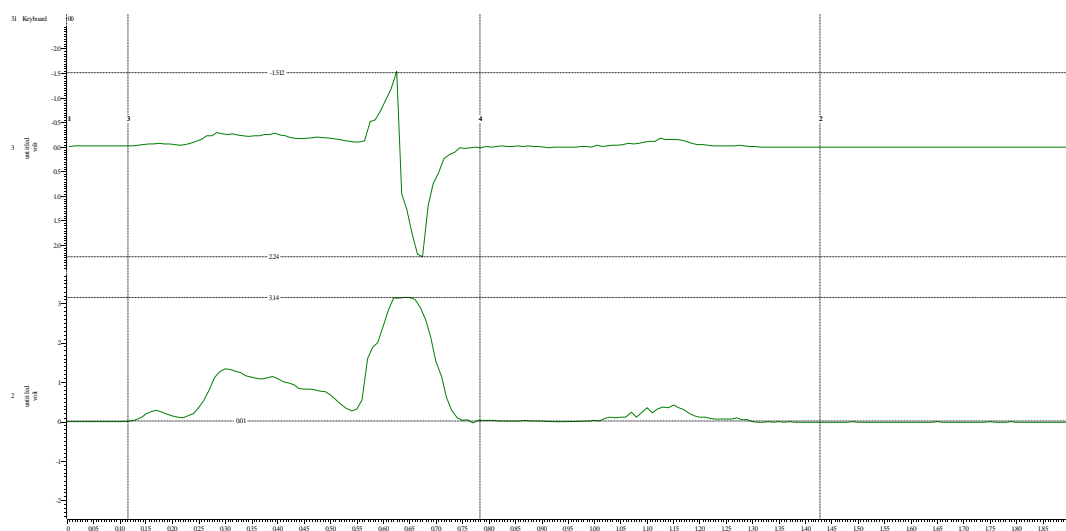


Kuva 11. Voimalevy-yksikkö

Levyt sijoitettiin siten, että koehenkilöt pystyivät hiihtämään tasaisella nopeudella koko voimalevyjonon läpi. Hiihtotyylinä oli perinteinen hiihto eri nopeuksilla.

Voimalevyiltä saatu vahvistettu voimasignaali talletettiin CED 1401-A/D-muuntimen (CED, Cambridge, UK) kautta PC:n Spike2- ohjelmaan (Discovering Peak Motus, Centennial, USA) jälleenkäsittelyä varten. Voimalevyiltä saatua pystyvoimasignaalia käytettiin suksen liikutuslaitteen suunnittelussa ohjearvona sukseen kohdistuvaa pystyvoimaa ohjattaessa. Suorituspaikalla lumen ja ilman lämpötila oli -5,5 astetta celsiusta. Ilman kosteus puolimetriä lumen yläpuolella oli 75 %. Latu oli tehty kaksi vuorokautta aikaisemmin vanhasta suurirakeisesta tykkilumesta. Koehenkilönä oli 80 kg painava kokenut hiihtäjä. Suksivalinta oli hieman ylipitoinen, pitoteipillä varustettu perinteisen hiihdon suksi. Koehenkilö teki hiihtosuorituksia eri nopeuksilla, siten että hän pyrki hiihtämään viisi kertaa peräkkäin samalla nopeudella mahdollisimman samanlaisia suorituksia.

Referenssimittauksiksi valittiin keskinopeudella (n. 4 m/s) suoritettu hiihto. Referenssihiihdon voimakäyrät ovat kuvassa 12. Suorituksen pystyvoimaa (kuvassa alempana) käytetään myöhemmin ohjausarvona suksenliikutus laitteessa, ohjaamaan sukseen kohdistuvan voiman ohjauksessa.



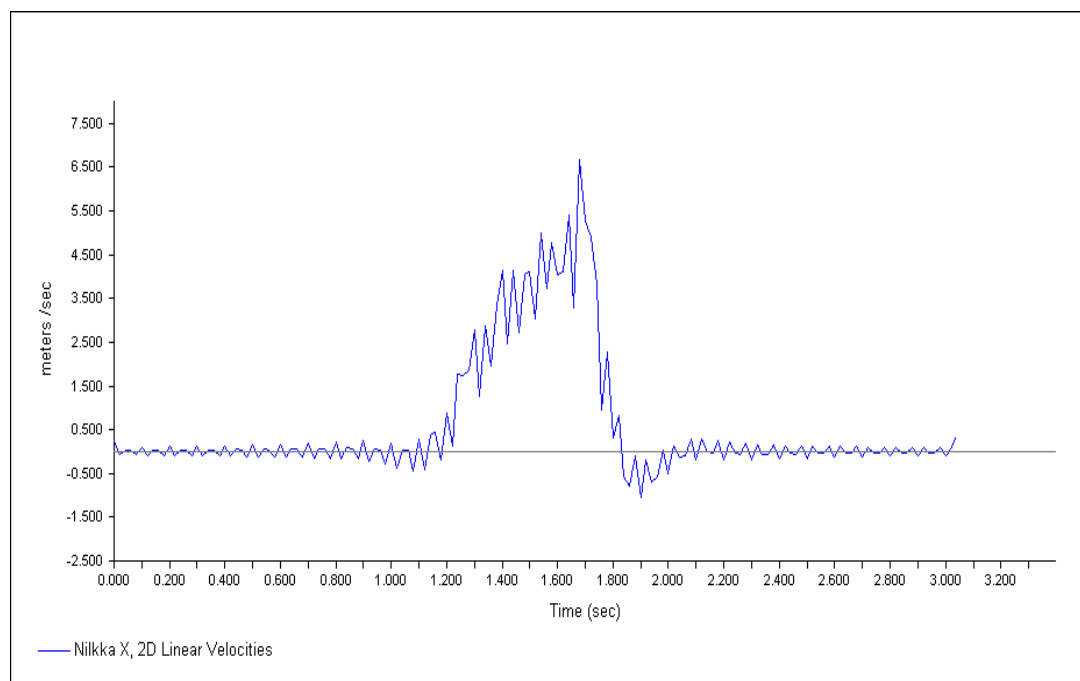
Kuva 12. Referenssihiihdon voimakäyrät voimalevyiltä

Saatuja voimakäyriä verrataan myöhemmin myös suksen liikituslaitteella ajettuun samalla nopeudella ja saman samanpainoiseksi kuvitellulla hiihtäjällä saatuihin voimakäyriin.

5.1.2 Videoanalyysi

Referenssisuoritukset kuvattiin myös videokameralla. (Panasonic NV-GS400, Panasonic Corporation of North America). Yhdestä suorituksesta tehtiin 2D-analyysi (Discovering Peak Motus, Centennial, USA). Analyysin tarkoituksena oli selvittää hiihtäjän jalan nopeudet perinteisen hiihdon eri vaiheissa. Syntynyttä nopeuskäyrää käytettiin testerin suunnittelussa ohjearvona suksea liikuttavalle moottorille.

Analyysissa mittauspiste oli hiihtäjän hiihtokengän kärjessä oleva piste. Saatu nopeuskäyrä on kuvassa 13. Videokameran kuvatiheys (50 Hz) osoittautui liian vähäiseksi nopeuteen nähden. Myös valaistus olisi saanut olla parempi. Käyrän sahalaitaisuus johtuu markkerin hämärtymisestä ja näin ollen kohdistusvaikeuksista analysointia tehdessä. Mutta kun suodatetaan e.o. virheet, niin jalan nopeuskäyrä on epäsymmetrinen siniaallon puolikas, jossa nousuaika on laskuaikaa pitempi.



Kuva 13. Jalan nopeuden muutokset perinteisessä hiihdossa

5.2 Suksenliikutuslaitteen teknisen toteutuksen kuvaus

Testerin runkona toimii 13680 mm:n pituinen lineaarijohdin. K.o. johtimella saadaan sukselle 12000 mm liikematka.

Lineaarijohtimessa on kaksi hammashihnalla liikutettavaa kelkkaa.

Kelkkojen liikutukseen saadaan voima 7.5 kW oikosulkumoottorista.

Kelkkoihin on kiinnitetty suksen kiinnityslaitteen lisäksi pneumaattinen sylinteri, jolla saadaan suksea painettua alustaa vasten.

Alustaan voidaan tehdä lumesta latu. Alustassa on kuusi kappaletta metrin mittaisia voimalevyjä, liikealueen keskellä (3-9m), jotka mittaavat sukseen kohdistuvaa vaakaja pystyvoimaa. (Kuva 14)



Kuva 14. Suksen liikutuslaite

Voimalevyiltä saadaan analogia signaalit, kaikkien kuuden voimalevyn summasignaalinä sekä pysty, että vaakavoimista. Pystyvoimasta saadaan signaali, jossa 2,5mV vastaa 1 N:a. Vastaavasti vaakavoimasta saatava signaali on 10mV/ 1N

Liikkeitä , voimia ja ajoituksia ohjataan ja säädellään käyttämällä NI 6259-tiedonkeräilykorttia sekä LabWiev – instrumentointijärjestelmää. (National Instruments Corporation, USA)

Laitteen ohjaus tapahtuu LabView-ohjelmalla. Ohjelma ohjaa taajuusmuuttajan avulla sähkömoottorin kierroksia ja momenttia. Tällä simuloidaan suksen vaakaliikettä. Suksesta alustaan kohdistuvia voimia simuloidaan ohjaamalla pneumaattisen sylinterin painetta. Pc:n kuvaruudulta voidaan ohjelmalle antaa arvoja hiihtäjän kehonpainosta, hiihtonopeudesta ja hiihtotavasta. Hiihtotavasta riippuen ohjelma säätää alustaa vasten hiihtäjän kehonpainoa vastaavan voiman. Kuvaruudulta voidaan antaa myös arvo potkuindeksi. Potkuindeksi voidaan määrittää jokaiselle hiihtäjälle erikseen. Arvo kertoo sen kuinka suuren potkuvoiman hiihtäjä maksimissaan pystyy tuottamaan suhteessa omaan kehonpainoon.

5.3 Voimalevyiltä saatavien signaalien käsittely

Voimalevyiltä saatavat voimia kuvaavat esivahvistetut signaalit kerätään CED Power 1401 tiedonkeräily-yksikköön. Signaalien analysointi tehdään Spike tai Signal ohjelmiston avulla tai signaalit siirretään ja käsitellään suoraan LapWiev:lla.

5.4. Suksenliikutuslaitteella tehtävät mittaukset

Testerit sijoitettiin Vuokatin hiihtoputkeen. Mittaukset suoritettiin 5,8-asteenlämpötilassa, ilman kosteuden ollessa 78%.

Latu oli tehty edellisenä päivänä vanhasta rakeisesta tykkilumesta.

Mittaukset suoritettiin samalla suksella kuin referenssimittaukset. Mittauksia tehtiin eri nopeuksilla perinteistä hiihtotapaa simuloiden. Kullakin nopeudella ajettiin kymmenen suoritusta. Esimerkkimittaukseksi valittiin mittaus, joka ajettiin nopeudella 4m/s ja sukseen kohdistuva pystyvoima asetettiin vastaamaan 80 kg painavaa hiihtäjää.

5.5. Pitävän-, keskipitoisen- ja lipsuvansuksen välinen vertailu

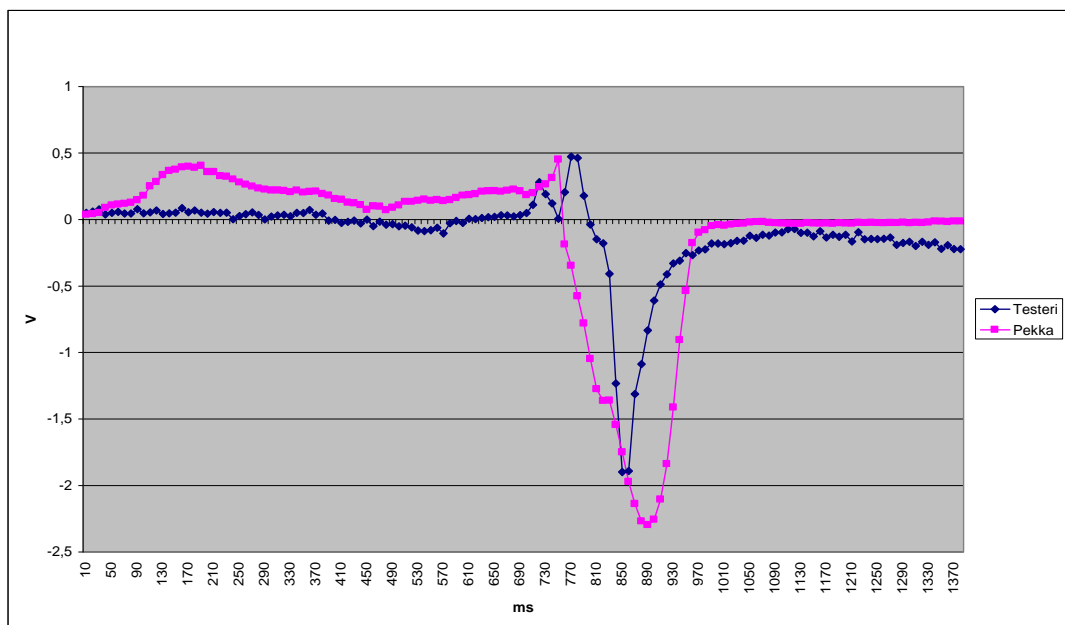
Valittiin kolme erilaisen luisto- ja pito-ominaisuuden omaavaa suksea. Suksilla ajettiin kaksi ajoa kullakin. Tuloksiin valittiin jälkimmäinen ajo. Nopeutena käytettiin 4m/s ja hiihtäjän painoksi valittiin 80 kg. Latu oli pinnasta uutta tykkilunta. Lämpötila oli -6

astetta. Ilman kosteus 78%. Pitävä suksi oli sama, jolla referenssisuoritukset hiihdettiin. Keskipitoinen suksi oli voitelematon ja pitoa oli lisätty vain pitoaluetta karhentamalla. Lipsuva suksi oli ilman pitovoidetta oleva luistelusuksi.

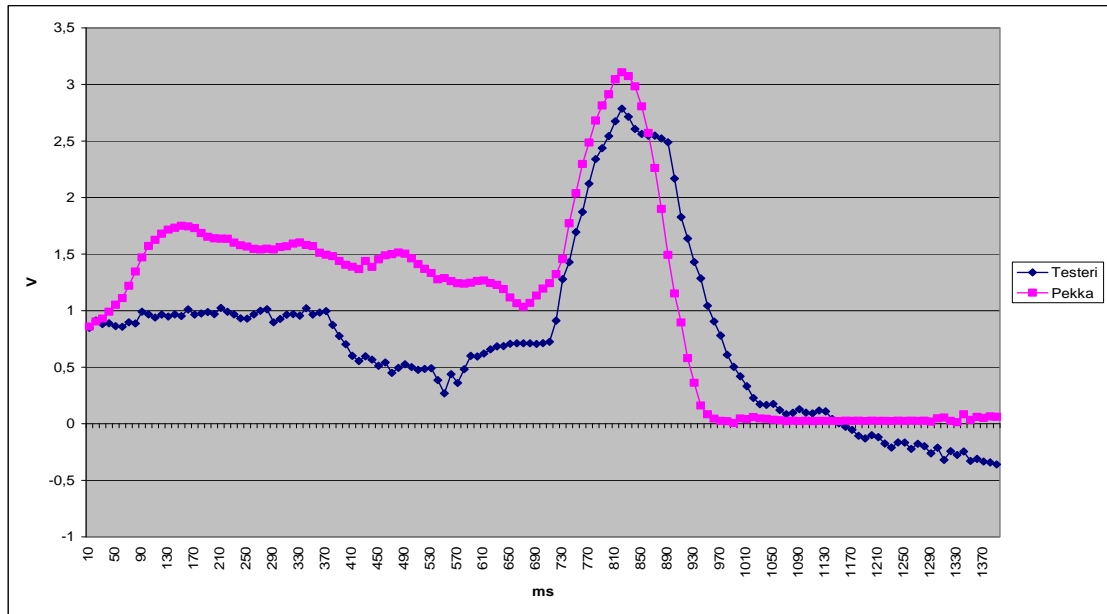
6. Mittaustulokset

6.1. Referenssimittausten ja testerillä tehtyjen mittausten vertailu

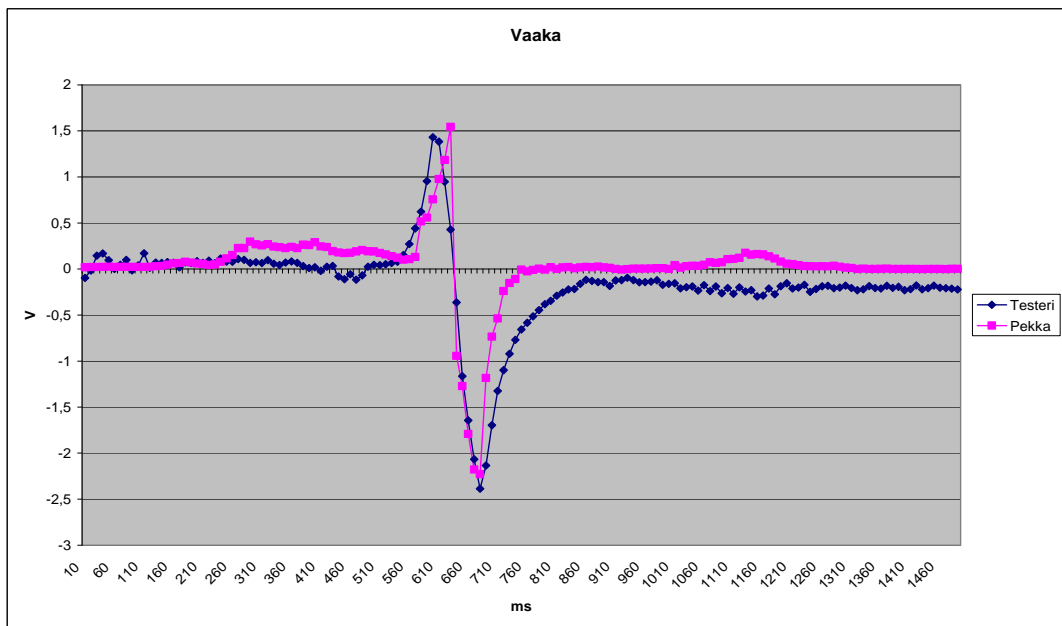
Referenssimittausten ja testerillä suoritettujen mittausten vertailussa otettiin molemmista yksi jo aikaisemminkin tämän tutkimuksen yhteydessä esiin tullut suoritus. Asettamalla näistä saadut vaak- ja pystyvoimat parittain samalle koordinaatistolle nähdään että testerillä pystyy kohtuullisen hyvin simuloimaan perinteisen hiihtotavan liuku- ja potkuvaihetta. Sekä vaak- että pystyvoiman osalta testerin antama voima ennen potkua oli hieman alhaisempi ja palautuminen nollassa kesti hieman kauemmin (kuvat 15 ja 16) nopeudella 3 m/s ja (kuvat 17 ja 18) nopeudella 4 m



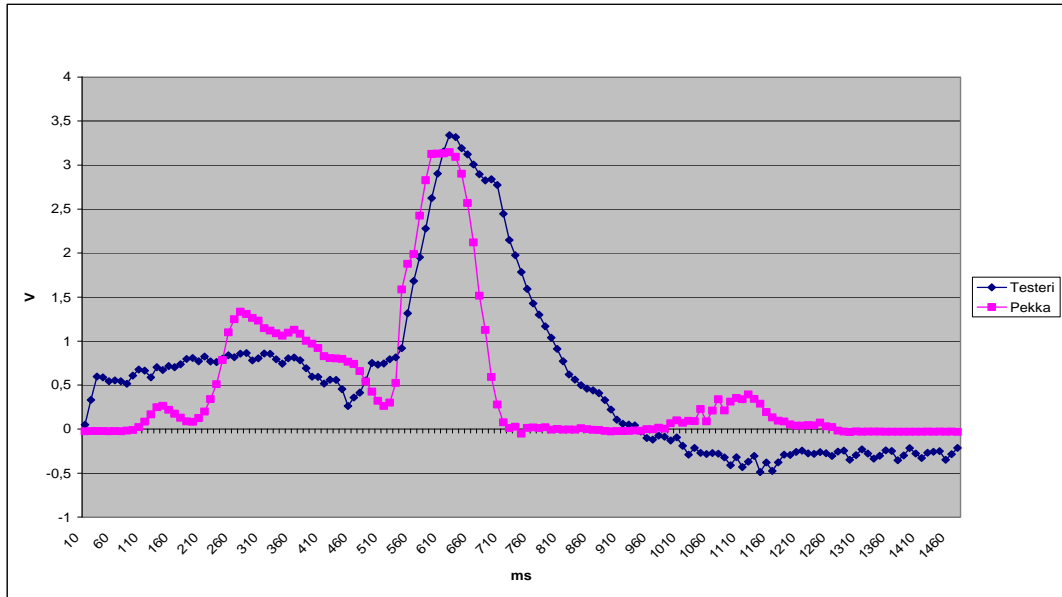
Kuva 15. Koehenkilön ja testerin vertailu vaakavoimat 3m/s



Kuva 16. Koehenkilön ja testerin vertailu pystyvoimat 3 m/s



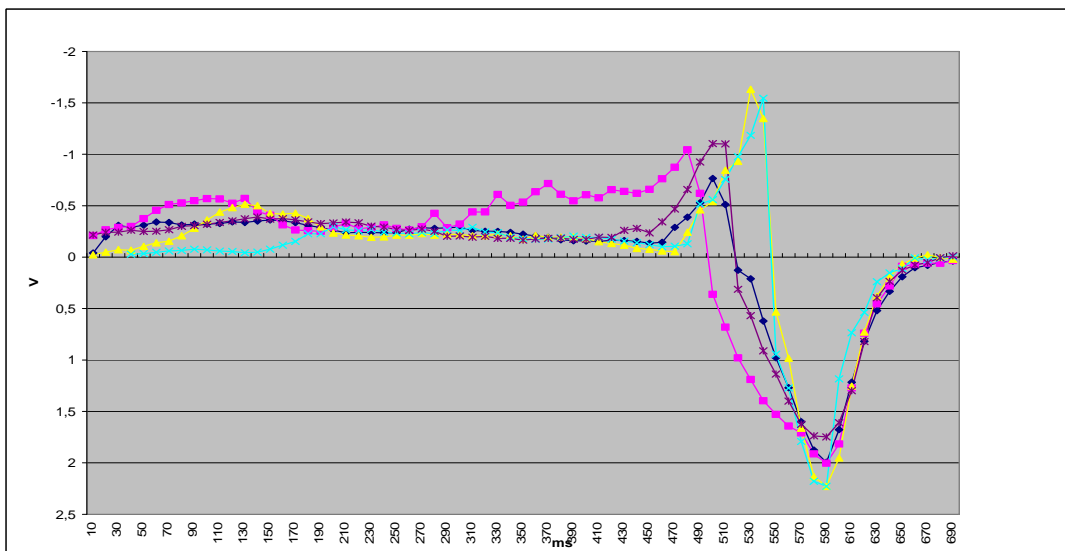
Kuva 17. Koehenkilön ja testerin vertailu vaakavoimat 4 m/s



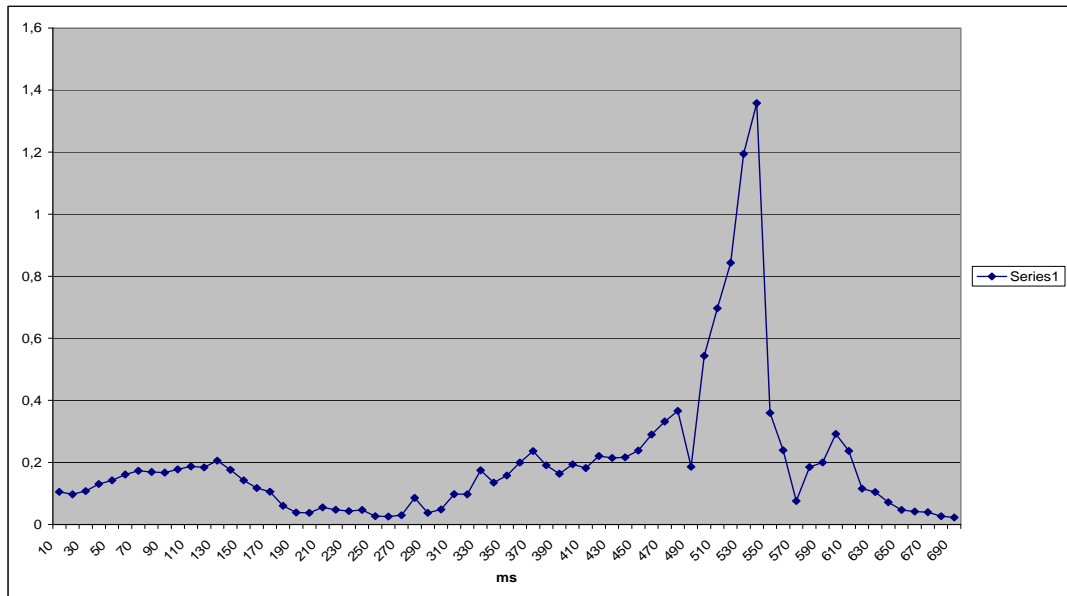
Kuva 18. Koehenkilön ja testerin vertailu pystyvoimat 4 m/s

6.2 Referenssimittaukset

Koehenkilön viiden suorituksen sarjasta tehtiin myös toistettavuusvertailu, joiden tulokset näkyvät kuvassa 19 (Vaakavoima) ja kuvassa 20 käyrien keskihajonta.

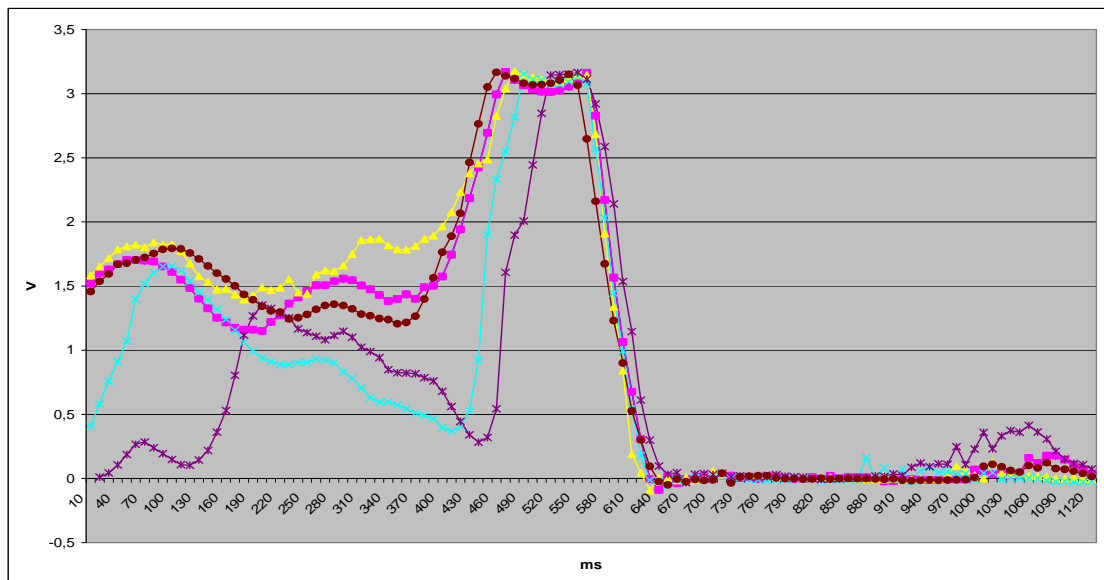


Kuva 19. Referenssisuoritusten vaakavoimakäyrät

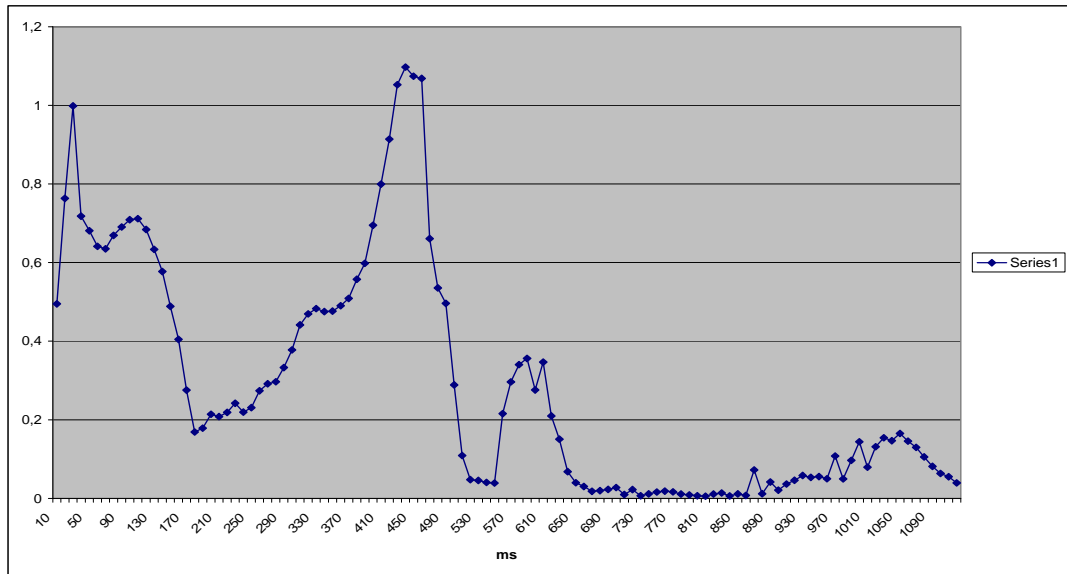


Kuva 20. Referenssisuoritusten vaakavoimien keskihajonta

Kuvissa 21 ja 22 on vastaavat käyrät pystyvoimista.



Kuva 21. Referenssisuoritusten pystyvoimakäyrät

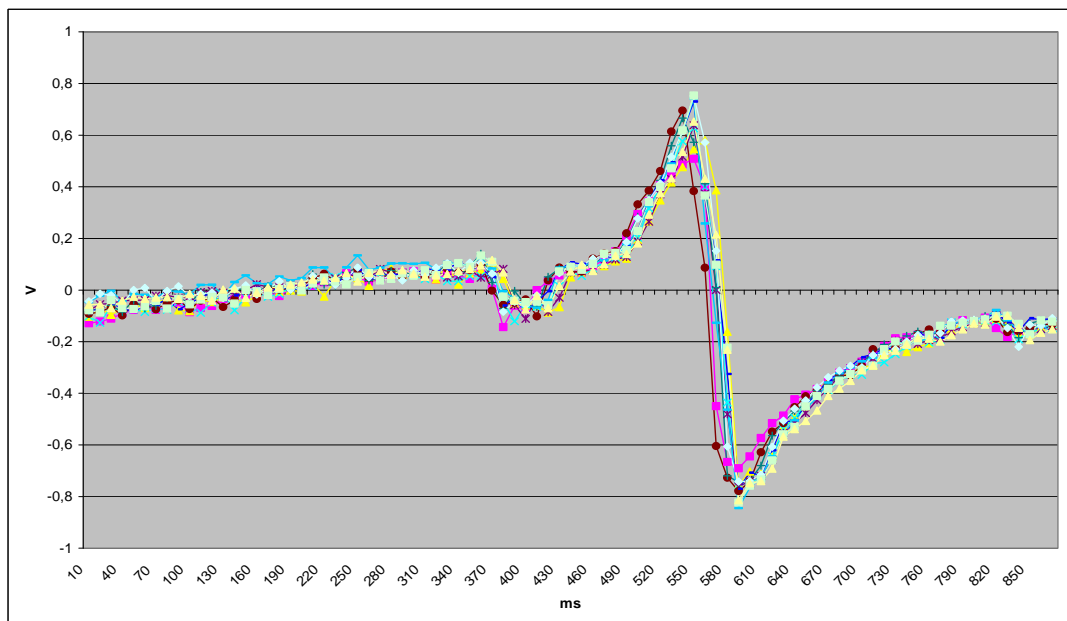


Kuva 22. Referenssiuoritusten pystyvoimien keskihajonta

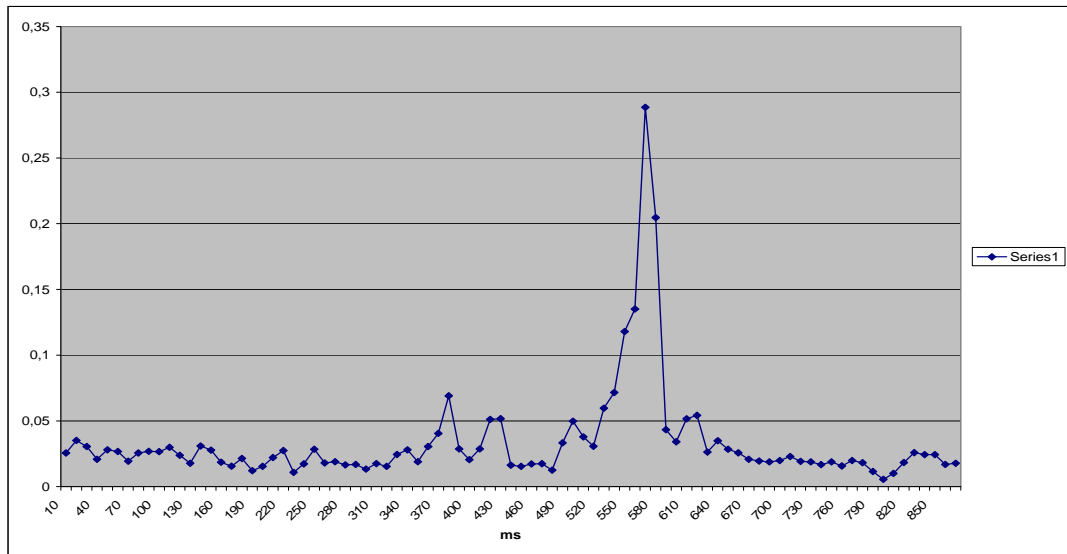
6.3. Testerin voimamittaukset

Ajetaessa peräkkäin 10 suoritusta osoittavat voimakäyrät hyvää toistettavuutta.

Toistettavuusvertailun tulokset vaakavoiman osalta ovat kuvassa 23. Kuvassa 24 on vaakavoimien keskihajonta.

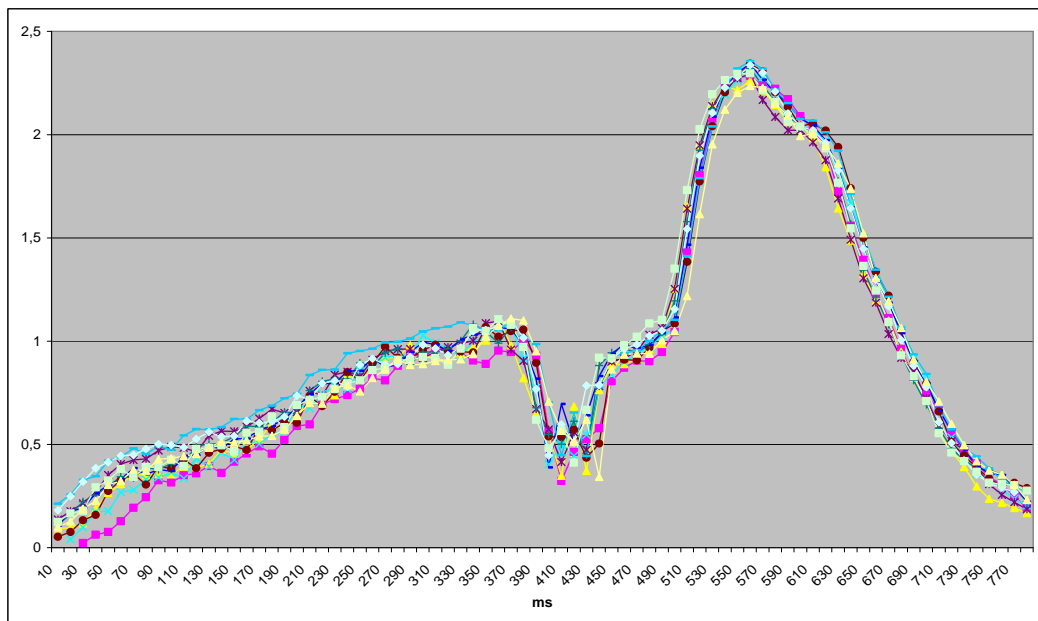


Kuva 23. Suksenliikutuslaite suoritukset vaakavoima

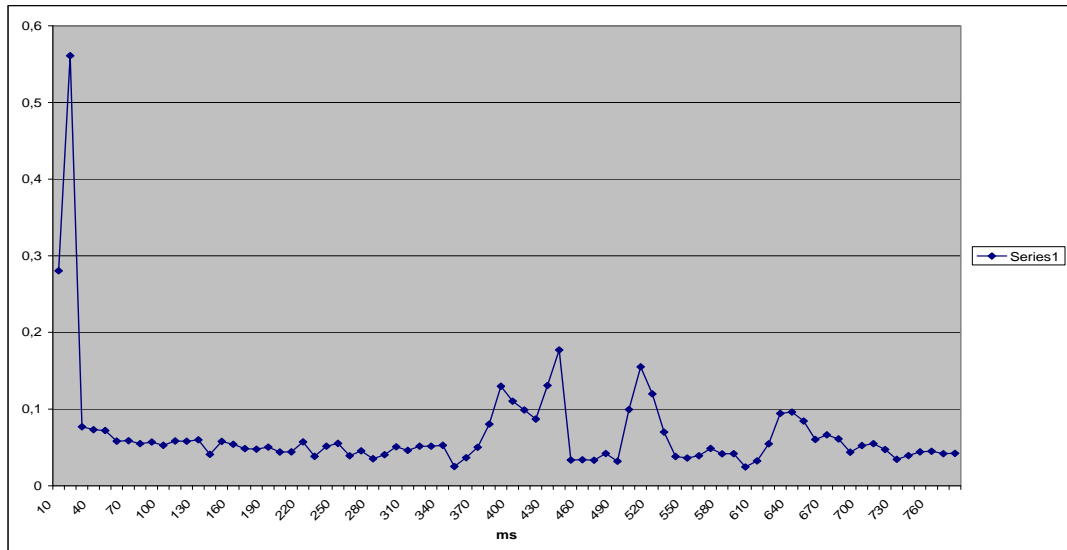


Kuva 24. Testeri vaakavoimien keskihajonta

Vastaavat käyrät pystyvoimien osalta ovat kuvissa 25 ja 26.



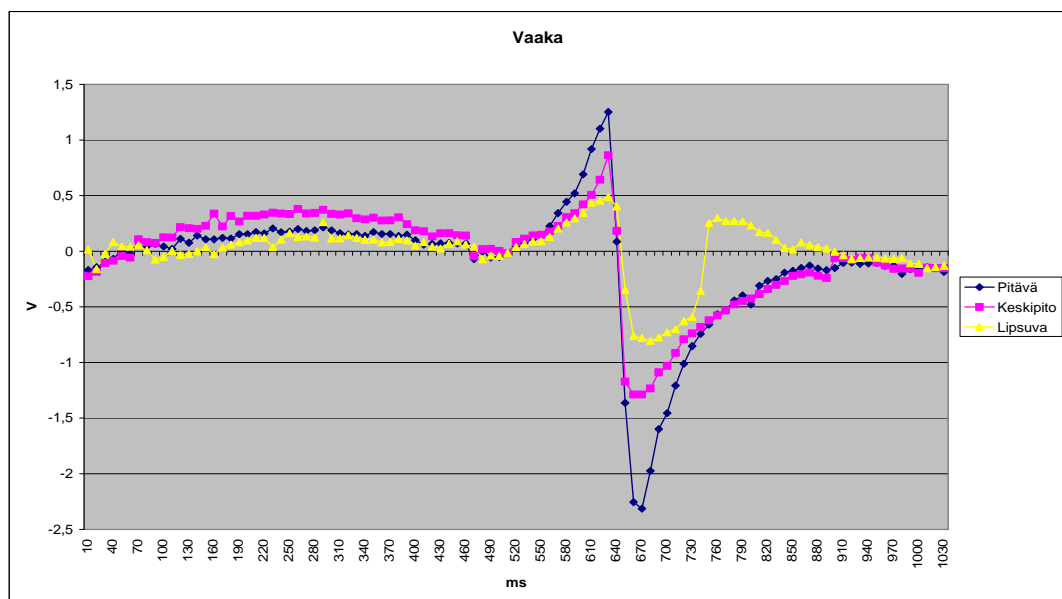
Kuva 25. Testeri pystyvoimat



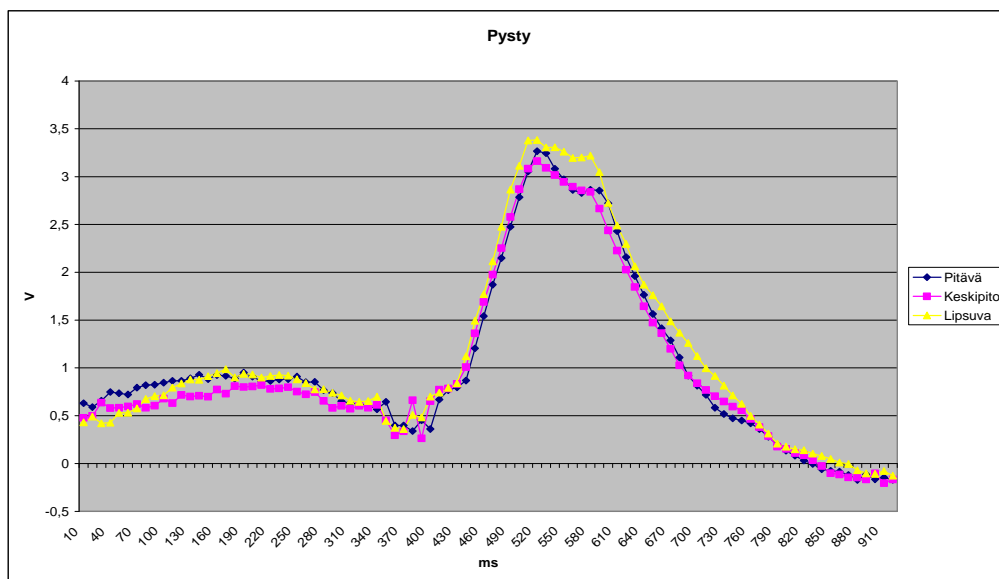
Kuva 26. Testeri pystyvoimien keskihajonta

6.4. Pitävän-, keskipitoisen- ja lipsuvansuksen välinen vertailu

Ajettaessa vertailu erilaisilla pito-ominaisuuksilla varustetuilla suksilla havaittiin vaakavoimissa selvä ero eri suksien välillä (kuva 27). Liukuvaiheessa alhaisin voima oli lipsuvalla suksella ja korkein keskipitoisella. Potkuvaiheessa korkein voima oli pitävällä suksella ja alhaisin lipsuvalla. Pystyvoimassa ei eroja juuri näkynyt (kuva 28)



Kuva 27. Pitävän-, keskipitoisen- ja lipsuvan suksen vaakavoimakäyrät



Kuva 28. Pitävän-, keskipitoisen- ja lipsuvan suksen pystyvoimakäyrät

7. Pohdinta

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että perinteisien hiihtotavan voimantuottoa voidaan simuloida suksen liikutuslaitteella. Laite toimii toistettavasti konrolloiduissa olosuhteissa ja sen avulla voidaan arvioida esim. eri pito-ominaisuuksilla varustettuja suksia

Suksen luiston ja pidon tutkimuksesta on hyvin niukalti käytettävissä olevaa tietoa. Hyvin pitkälti samat testausmenetelmät näyttävät toistuvan eri tahojen testauksissa jo useiden kymmenien vuosien ajan. Kehitystä on lähinnä tapahtunut vain yksittäisten mittalaitteiden, kuten käytettävien lämpö- ja kosteusmittareiden osalta. Myös valokennojen käyttöönotto on antanut lisätarkkuutta ajan mittauksiin (Puukilainen 2005). Varsinaisissa testausmenetelmissä ei ole tapahtunut muutoksia. Tutkimuksen perinteisiä testausmenetelmien esimerkkinä on Suomen hiihtoliiton edelleenkin käytössä oleva alamäki-testaus. Menetelmässä kirjataan hyvin ylös vallitsevat ympäristöolosuhteet. Olosuhdearvoja voidaan käyttää vain viitteellisinä arvoina, koska alalta puuttuu tieteellinen tutkimus, joka mahdollistaisi olosuhteiden matemaattisen kytkennän saatuihin mittaustuloksiin.

Mittausmenetelmän suunnitteluun on panostettu. Kalibrointimenetelmä mahdollistaa menetelmän hyödyntämisen eri paikoissa, - koehenkilöillä sekä – suksilla. Eri aikoina tehdyt mittaustulokset eivät kuitenkaan ole suoraan verrattavissa toisiinsa. Mittaustuloksia tarkasteltaessa havaitaan, että sekä kalibroinnissa, että varsinaisessa mittauksessa parhaan ajan saanut sukki sijoittuu lopputuloksissa vasta neljännelle sijalle. (Liite 1) Tällä menetelmällä saadaan esille sukki, jonka luisto paranee eniten toimenpiteen (voitelu, pohjanhionta) ansiosta. Samalla suksella tehtyjen laskujen ajoissa on suuria hajontoja. Suuret hajonnat johtunevat satunnaisista virheistä, jotka johtuvat koehenkilöstä ja muuttuvista ympäristöolosuhteista (tuuli, lämpötila jne.)

Tämä sama ilmiö oli havaittavissa myös nyt tehdyssä tutkimuksessa. vaikka kyseessä oli kokenut hiihtäjä ja ympäristöolosuhteet pysyivät vakiona, oli voimantuotossa suuria eroja samalla nopeudella hiihdettyjen suoritusten välillä. Koehenkilön voimakäyristä (kuvat 18 ja 19) voidaan päätellä, että koehenkilön suoritusten huono toistettavuus näyttelee suurinta roolia voimakäyrissä, ei suksen ominaisuudet joita

näillä mittauksilla oli tarkoitus tutkia. Käyristä näkee mm. hiihtäjän ajoituksen onnistumisen liukuvaiheen lopussa olevan kevennyksen aikana, niin voiman- kuin nopeuden tuotossa. Oikealla ajoituksella saadaan suurempi eteenpäin vievä vaakavoima tuotettua. Pito-ominaisuuden näin tehdyssä tutkimuksessa määrää koehenkilö eikä suksen ominaisuudet. Aikaisemmissa tutkimuksissa on syvennytty tutkimaan perinteisen hiihdon voimantuottoon ja voimantuoton ajoituksiin esim.. (Komi 1987). Julkaistuja tutkimuksia, joissa tutkittaisiin koehenkilöiden suoritusten toistettavuutta, on heikosti saatavilla. Kun tutkitaan useimmiten hyvinkin pieniä eroja, voivat nämä inhimilliset virheet nousta ratkaisevaan asemaan koko mittauksen lopputuloksessa.

Sivulla 21 esitetty Sveitsiläisten kehittämän pyörivän laitteen tuloksia ei voi hyödyntää hiihtoon, koska siinä liikkuva liuska toistaa samaa rataa useasti ja hyvin nopeasti. Näin liuskan ja lumen väliin syntyvä vesimäärä kasvaa joka kierroksella. Hiihdossa sukki liikkuu eteenpäin koko ajan uudella uralla.

Lumeen vaikuttavista ympäristöolosuhteista ja niiden muutosten vaikutuksista on paljon ja hyvinkin perusteellista tutkimustietoa käytettävistä niin Suomesta kuin maailmaltakin (Angervo 1952, Granberg 1998). Pääsääntöisesti tutkimuksissa on vain käsitelty ”luonnon” lunta ja nimeen omaan luonnon tilassa. Näiden tutkimustulosten suora hyödyntäminen koneella tehtyihin tampattuihin latuihin ja jopa tykkilumeen, ei ole mahdollista.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli perehtyä perinteisen hiihdon eri suoritusvaiheisiin, niihin vaikuttaviin tekijöihin ja valmistaa niiden pohjalta suksenliikutuslaite. Suksenliikutuslaitteella voidaan tutkia eri voiteiden luisto- ja pito-ominaisuuksia. Suksen rakenteen käyttäytymistä eripainoisten hiihtäjien käytössä. Muuttamalla ympäristön lämpötilaa tai alustan lumenkoostumusta, saadaan selville miten ne vaikuttavat luistoon ja pitoon. Mahdollisesti jopa erilaisten hiihtotekniikoiden eroja voidaan mitata.

Käyttämällä referenssimittauksista saatuja tuloksia suunnittelun perusteina, saatiin suksen liikutuslaite rakennettua. Liikutuslaitteella tehtyjen mittausten perusteella voidaan todeta, työn onnistuneen kohtuullisen hyvin. Toistettavuustestien tulosten

perusteella havaitaan liikituslaitteen pystyvän huomattavasti parempaan toistettavuuteen kuin koehenkilö. Tuloksissa ei erikseen puututa liikituslaitteen suksen liikitusnopeuteen, mutta se on helposti laskettavissa ajasta jonka suksi viipyy voimalevyjen päällä. Myöskin nopeus on helpommin vakioitavissa liikituslaitteella kuin koehenkilöllä.

Tutkimuksen alussa perehdyttiin hyvin hiihtoon vaikuttaviin ympäristöolosuhteisiin. Ympäristöolosuhteiden muutos mahdollisuus antaa tulevaisuudessa lisämahdollisuudet suksen luiston tutkimiseen. Jo sen tiedon osoittaminen, että paras luisto on -4 asteessa (Suominen 1987), antaisi hyvän lähtökohdan tutkia lämpötilan vaikutusta laajemmalla alueella. Myöskin aikaisemmin on todistettu, että lämpötilan laskiessa lumen kovuus muuttuu lineaarisesti ja parhaan luiston ja pidon aikaan saamiseksi ladun ja voiteen kovuuden täytyy vastata toisiaan (Kantola 1985). Tähänkin ilmiöön perustuva tutkimus toivottavasti tulevaisuudessa mahdollistuu. Erilaisen lumenkoostumuksen vaikutuksia hiihto-ominaisuuksiin ei nyt tutkittu, koska mittaukset tehtiin pääsääntöisesti sulanmaan aikana. Käytettävissä oli vain tykkilunta. Talven ja luonnonlumen avulla on mahdollista päästä kiinni myös lumen metamorfooseihin. Esimerkiksi ilman ja vesihöyryn konvektio muovaa voimakkaasti lumikiteitä (Sturm 1991). Lumikiteiden koolla on taas todistettavasti vaikutusta suksen luistoon ja pitoon.

Vakio-olosuhteet mahdollistavat suksen pohjamateriaalin ja pohjan urituksen vaikutuksen testauksen. Nähtäväksi jää, onko sillä -10...+20% vaikutus luistoon (Kantola 1985). Tässä tutkimuksessa ei nyt paneuduttu kyseiseen asiaan. Sen sijaan osoitettiin, että laite mahdollistaa hyvin erilaisten pito-ominaisuuksien tutkimisen. Tarkasteltaessa käyriä (Kuvat 25 ja 26), joissa verrataan kolmea erilaisen pito-ominaisuuden omaavaa suksea, havaitaan, että suksen rakenteesta johtuen huonostikaan luistava suksi ei omaa hyviä pito-ominaisuuksia. Keskipito-suksella on huonoimmat liukuominaisuudet. Vastaavasti parhaalla pito-ominaisuudella varustettu suksi liikuu lähes yhtä hyvin kuin huonoimman pidon omaava suksi. Lipsuvan suksen potkun jälkeinen huomattavasti suurempi positiivinen (jarruttava) voima johtunee suksen suuresta jalkavuudesta. Lipsuvana suksena käytettiin luistelusuksea, kun taas muut kaksi olivat perinteisen hiihdon suksia. Tukea ajatukselle antaa lipsuvan suksen hitaammin laskeva pystyvoima. Suksen pito-ominaisuuden tutkimuksesta on niukalti

julkaistua tutkimus aineistoa. Yleisin käytäntö lienee pidon tekemiseen, hiihtäjän omakohtainen hiihtämällä saatu tuntuma pidon riittävyteen.

Suksenliikutuslaite itsessään vaikuttaa hyvin toimivalta kokonaisuudelta.

Vertailtaessa koehenkilön ja testerin suoritusten voimakäyriä havaitaan, että testerin pystyvoiman nollautuminen potkun jälkeen on hieman hitaampi kuin koehenkilöllä. (Näkyvät myös vaakavoiman käyrässä). Asiaan saadaan korjaus muuttamalla tällä hetkellä yksitoimisena oleva voimantuottosylinteri kaksitoimiseksi. Toinen asia johon täytyy jatkossa kiinnittää huomiota on voimalevyvahvistimen häiriönsietokyky. Suksen liikutuslaitteen moottorin käynnistyminen aiheuttaa noin 200mV:n negatiivisen 50HZ:n taajuuden häiriön voimalevyvahvistimen ulostuloon. Liikutuslaitteen mittausten toistettavuuden säilyttämiseksi ja varmistamiseksi täytyy myös kehittää helppo ja nopea menetelmä, jolla laitteen nopeus ja voimantuotto on tarkistettavissa.

Johtopäätöksenä voidaan todeta perinteisen hiihtotavan simuloinnin olevan mahdollista suksen liikutuslaitteella. Tämä antaa jatkossa mahdollisuudet erilaisten ympäristöolosuhteiden (esim lumen lämpötila ja rakenne) ja suksen ominaisuuksien (esim pito-ominaisuudet, pohjan rakenne, jäykkyys) vaikutusten tutkimiseen suksen luistoon ja pitoon vakioituissa olosuhteissa.

Lähdeluettelo

- Ambach, W., Mayer, B. (1981). Ski Gliding and water film, cold region Science and Technology 5, s. 59-65.
- Angervo, J. M. (1952). Lumitutkimuksesta. Terra, årg. 64, No. 4. S. 8
- 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.
- Kantola Heikki, Rusko Heikki, (1985). Sykettä ladulle . Valmennuskirjat Oy. s. 15-20.
- Karttunen, Koistinen, (1998) Saltikoff, Manner; Ilmakehä ja sää. s. 48, 56.
- Komi Paavo, (1987) Force Measurements During Gross Country Skiing
- Kuusisto, E.(1984). Snow accumulation and snowmelt in Finland. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 55. s. 18.
- Lind, D. ja Sanders, S. (1996). The physics of skiing. United Book Press, Inc., Baltimore, MD. s. 75
- Paterson, W. S. B. (1994). The Physics of Glaciers 3rd edit. Redwood Books, Trowbridge. s. 18.
- Perttilä, M. (1997). Meriympäristön kemian perusteet. Report series of the Finnish Institute of Marine Research. No.31. s. 32.
- Puukilainen Esa, hiihtoliitto, (2004). esa.puukilainen@joensuu.fi
- Seligman, G. (1936). Snow structure and ski fields. London, Macmillian. s. 44.
- Sturm, M. (1991). The role of Thermal Convection in Heat and Mass Transport in the Subarctic Snow Cover. *CRREL Report* 91-19. P. 28.
- Suomen Kuntourheiluliitto, (2006) www.kunto.info
- Suominen Heikki (1983); Suksen ja lumen välinen kitka, Sitra, sarja A Nro 741983 s. 23-28
- Suvikas Jorma, (1980) Maastohiihto, WSOY , s. 15, 19, 64
- Tari Oksanen, (1999), Pro gradu- tutkielma, Geofysiikan laitos, Helsingin yliopisto s. 34-38.
- U.S. Army Corps of Engineers (1956). Snow Hydrology: *Summary report of the Snow Investigations. North Pacific Division*, Portland, Oregon. 437p.
- L. Bäurle, D. Szado, M. Fauve, H. Rhyner ja N.D. Spencer (2006)



Paikka: Formazza
Pvm: 08.03.2004
Testaaja: TJ7

Kisavoitelu:

Empty box for race lubrication details.

HUOM:

KALIBROINTI : 7-0,02-1200
300-8-150

KALIBROINTI

Table with 2 columns for time points 11:30 and 12:15, listing various parameters like Aika, Li, L1, L5, RH, Td, Pilv, Sumu, Tuuli, Latu, L ura, NetRad, Ilm.p.

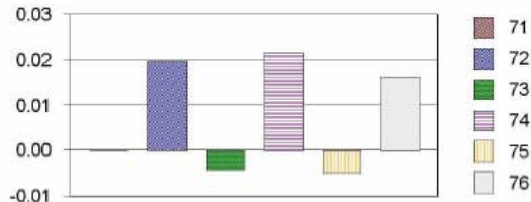
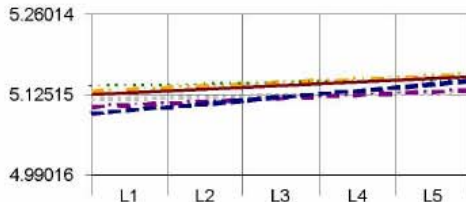
KUVIOTESTI

Table with 2 columns for time points 15:00 and 15:50, listing various parameters like Aika, Li, L1, L5, RH, Td, Pilv, Sumu, Tuuli, Latu, L ura, NetRad, Ilm.p.

Summary table with columns: LUMI, Lumi, Kiteen muoto, Kiteen koko, L kovuus, LU kovuus, Lumen pinta, Lumen kosteus. Rows include Kalibrointi and Kuviotesti.

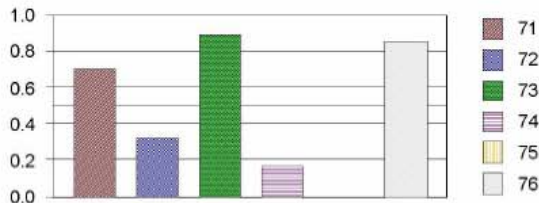
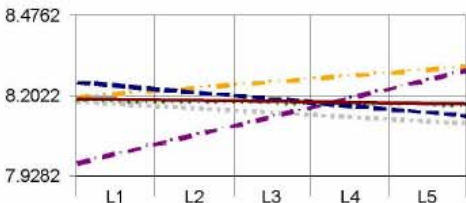
Kalibrointi:

Table with columns: Suksj, ID, Voitelu, Tunne, Ka., Haj., SukCal, Ero, Virhe%, Lasku1-Lasku6. Rows 71-76.



Kuviotesti:

Table with columns: Suksj, ID, Kuvio, Tunne, Ka., Haj., SukCal, Kuvio%, Vertailu, Virhe%, Lasku1-Lasku6. Rows 71-76.



Liite 1

Olosuhdemuuttuja	Arvot	Selite
Ilma (C)	-30 - +30	
Suht. kosteus (%)	0 - 99	
Lumi (C) 1cm	-0,1 ->	
Lumi (C) 5cm	-0,1 ->	
Kastepiste (C)	-30 - +30	
Pilvisyys	0 - 8	0=selkeä, 8=täysin pilvinen
Tuuli	0 ->	m/s
Ladun kosteus (%)	0 - 99	
Uran kosteus (%)	0 - 99	
Lumi	LS	Lumisade
	UL	Uusi lumi
	HL	Hienorakeinen vanha lumi
	KL	Karkea rakeinen vanha lumi
	TL	Tykkilumi
Kiteen koko	1	Erittäin hieno
	2	Hieno
	3	Medium
	4	Karkea
	5	Erittäin karkea
Kiteen muoto	U	Uusi lumi
	E	Epäsäännöllinen
	P	Pyöristynyt
Ladun kovuus	1	Erittäin pehmeä
	2	Pehmeä
	3	Keskikova
	4	Kova
	5	Erittäin kova
Uran kovuus	kts. ladun kovuus	
Ladun pinta	PP	Pehmeä
	VK	Vähän kiiltävä
	KP	Kiiltävä
Lumen kosteus	1	Kuiva
	2	Kostea
	3	Märkä
	4	Erittäin märkä
	5	Loska

Liite 2