



*Tapani Keränen, Simo Ihalainen ja Harri Kapustamäki  
sekä  
Rukan ja Tahkon alppikoulujen valmentajat*

## **Voimantuotto suurpujottelun karvingkäännöksessä**



**Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU  
Jyväskylä 2011**

# Voimantuotto suurpujottelun karvingkäännöksessä

Tapani Keränen<sup>1</sup>, Simo Ihalainen<sup>1</sup> ja Harri Kapustamäki<sup>1</sup>  
sekä Rukan ja Tahkon alppikoulujen valmentajat

<sup>1</sup> Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus KIHU

---

## SISÄLTÖ

SISÄLTÖ.....	2
TIIVISTELMÄ.....	3
VOIMANTUOTTO SUURPUJOTTELUN KARVINGKÄÄNNÖKSESSÄ.....	4
RINNE JA VOIMANMITTAUS.....	4
LASKIJAT .....	5
SUKSIIN KOHDISTUVA VOIMA .....	5
VÄRINÄ .....	6
VÄSYMYKSEN LÄHTEITÄ .....	8
KÄÄNNÖS JA VOIMANTUOTTOKÄYRÄT.....	11
PUUTTEELLINEN KANTTAUS .....	11
VAUHDIN HALLINTAA .....	12
LASKULINJA .....	13
HUOMIOITA VOIMANTUOTOSTA.....	16

---

## TIIVISTELMÄ

Tässä käyttöraportissa on tarina Levillä tehdystä suurpujottelun karvingkäännöksen voimantuotomittauksesta. Koehenkilöinä oli 10 mieslaskijaa, jotka laskivat Levi Black rinteeseen tehdyn suurpujotteluradan kahteen kertaan. Laskujen ajalta heidän suksiinsa tuottama voima mitattiin painepohjallisilla. Analyysiin valittiin vain rinteiden loppujyrkällä tehdyt käännökset, jotka myös videoitiin.

Käännösten (111 kpl) kesto oli  $1,29 \pm 0,15$  s, joka oli n. 0,5 s pidempi kuin aikaisemmissa pujottelumittauksissamme vuosina 2006 – 2008. Ulkosukseen laskijat tuottivat 1000 – 1200 N voiman, johon yksittäiset muutaman millisekunnin kestoiset 700 – 1000 N värinävoimat toivat oman lisänsä, joidenka ansiosta voima nousi hetkellisesti yli 2000 N.

Korkealle rankingsijalla olevilla värinän voimapiikkejä oli vähemmän kuin rankinglistalla jäljempänä olevilla. Korkeammalle rankatut pystyivät laskulinjan ja -asennon ansiosta säilyttämään vartalon jännityksen koko käännöksen ajan, jolloin heillä sukset leikkasivat käännöksen paremmin kuin heikommin rankatuilla.

# VOIMANTUOTTO SUURPUJOTTELUN KARVINGKÄÄNNÖKSESSÄ

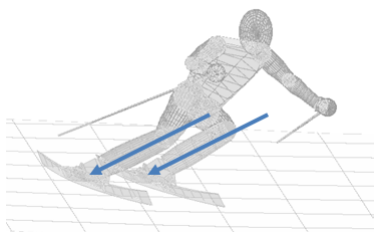
## RINNE JA VOIMANMITTAUS

Tämä suurpujottelun karvingkäännösmittaus tehtiin Levi Black rinteessä 16.-18.11.2010 (kuva 1). Rinteen pinta oli jäinen edellisen viikonlopun pujottelun maailmancup kisan jäljiltä. Lämpötila oli  $-10$  -  $-20$  C° ja näkyvyys hyvä.



Kuva 1. Mittauskohta Levi Black rinteän loppujyrkässä.

Päivien aikana mitattiin 10 mieslaskijan harjoituslaskujen voimantuotto kahdesta laskusta. Mittavälineenä olivat Novel painepohjalliset, jotka mittaavat niihin kohtisuoraan kohdistuvan paineen (kuva 2).



Kuva 2. Voimantuotto painepohjallisiin.

## LASKIJAT

Kaikki laskijat olivat miehiä. Ski Sport Finlandin, Tahkon ja Rukan alppikoulujen valmentajat valitsivat laskijat, siten että joukossa oli laskijoita joilla oli kisalaskuja maailmancupin osakilpailuista, eurooppacupiin ja FIS-kisoihin. Tässä raportissa laskijoiden tasonmittarina käytetään joulukuun 2010 suurpujottelun FIS-rankingia (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Mittauksessa mukana olleet laskijat ja heidän suurpujottelun FIS-rankingsijoituksensa joulukuulta 2010.

Nimi	FIS-ranking	Nimi	FIS-ranking
Räsänen Joonas	363	Koski Max	947
Hietanen Kasper	514	Luukko Max	1313
Henttinen Jens	801	Kurki Kristian	1365
Peltola Kalle	813	Näkki Aleks	1417
Kuukka Justus	829	Hellberg Teemu	1959

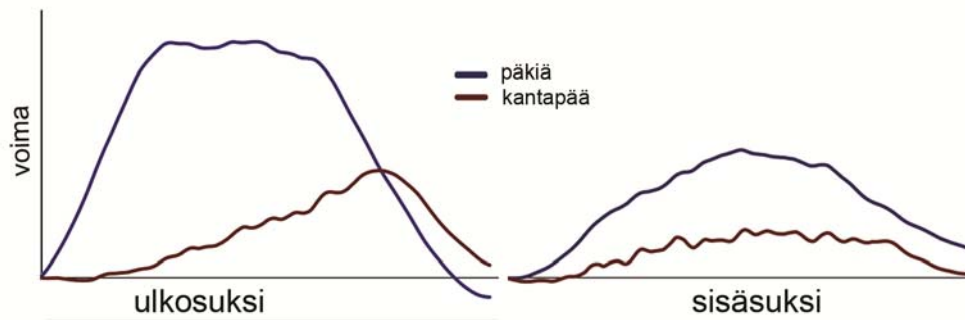
Painepohjalliset asennettiin laskijan monoihin. Sen jälkeen kun monet olivat jalassa, laskija kiristi monet laskusäätöihin, jonka mukaan painepohjalliset kalibroitiin. Näin mittasignaalista poistettiin monojen kiristyksen aiheuttama paine. Asennuksen jälkeen monet löysättiin ja laskija meni hissillä rinteeseen päälle, jossa monet kiristettiin uudelleen ennen laskua.

Harjoitusratana oli Levi Black rinne. Rinne oli jäinen ja hyvässä kunnossa. Rinteeseen kulumisesta johtuen harjoitusradan porttien paikkoja muutettiin mittauspäivien välillä, joten kaikki laskijat eivät laskeneet samaa rataa.

Kukin laskija laski kaksi kertaa suurpujotteluradan, jonka ajalta hänen voimantuottonsa mitattiin painepohjallisilla 100 Hz keräystaajuudella. Tässä raportissa tarkasteluun valittiin rinteeseen loppujyrkän 6 – 8 käännöstä.

## SUKSIIN KOHDISTUVA VOIMA

Nopeassa vauhdissa, jyrkällä ja jäisellä pinnalla leikkaavan käännöksen tekeminen on haastava taito. Hyvässä leikkaavassa käännöksessä tuotettu voima ulkosukseen kasvaa nopeasti, säilyy aktiivisen ohjausvaiheen ajan lähellä maksimivoimatasoa ja lopussa heikkenee nopeasti. Sisäukseen voimantuotto kasvaa maltillisesti ja saavuttaa ulkosukseen verrattuna vain n. 30 % suuruisen huipputasonsa vasta käännöksen loppuvaiheessa. (Kuva 3)



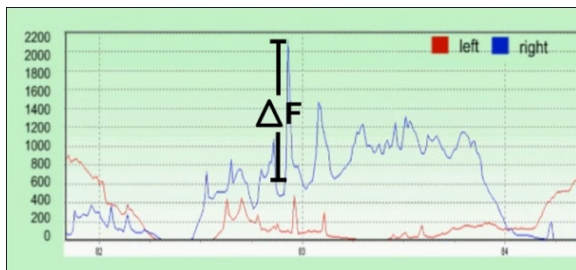
**Kuva 3.** Hyvän leikkaavan karvingkäännöksen voimantuottoprofiilit ulko- ja sisäsukeen.

Laskijoiden tekemien käännösten ( $n = 111$ ) keskiaika oli  $1,29 \pm 0,15$  s. Joka oli n. 0,5 s pidempi, kuin aikaisemmissa pujottelumittauksissamme vuosina 2006 – 2008. Laskijat tuottivat ulkosukseen 1000 – 1200 Newtonin voiman, johon yksittäiset muutaman millisekunnin kestoiset 700 – 1000 N värinävoimat toivat oman lisänsä. Pujottelumittauksiimme verrattuna suurpujottelussa tuotettu voima ilman värinäpiikkejä oli samaa tasoa.

Merkittävin ero pujottelukäännökseen verrattuna suurpujottelukäännöksessä oli sen kesto, joka oli kolmasosan pidempi. Tämän seurauksena lihassupistusten kestot suurpujottelussa ovat pidempiä, joten voiman ”alalajeista” voimakestävyys on suurpujottelussa painottuneessa asemassa.

## VÄRINÄ

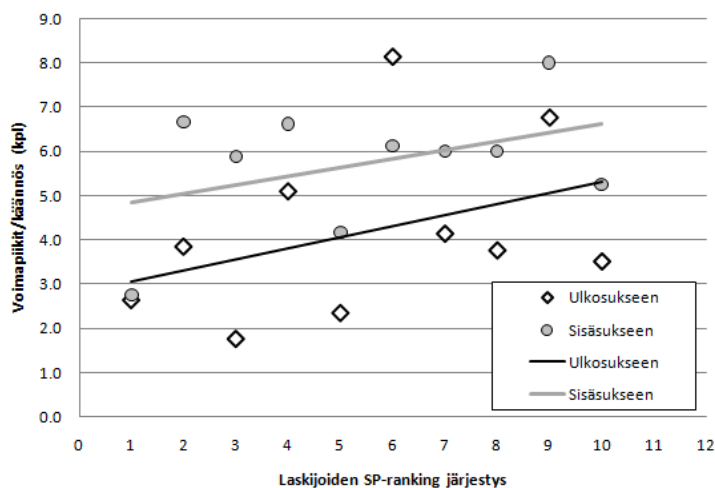
Painedatassa oli jokaiselta laskijalta havaittavissa vahvoja voimapiikkejä (kuva 4). Ne johtuivat sukseen kohdistuvasta radan pinnan epätasaisuudesta, suksen poikkeavasta liikkeestä suhteessa liikesuuntaan tai aiottuun liikesuuntaan. Käännöksen aikana laskijat tuottivat n. 1 000 N huippuvoiman ulkosukseen. Ulkojalkaan kohdistuvien muutaman millisekunnin kestoisten voimapiikkien myötä maksimit nousivat kuitenkin yli 2 200 N, joten hetkellinen ”iskevä” voimamuutos oli kaksinkertainen verrattuna laskijan tietoiseen käännöksen voimantuottoon (kuva 3).



**Kuva 4.** Sisä- ja ulkojalan vasemmalle käännöksen voimantuottokäyrät. Ulkojalkaan kohdistuvan yksittäisen voimapiikin voimamuutos ( $\Delta F$ ) nousee yli kaksinkertaiseksi käännöksen voimantuottokäyrältä.

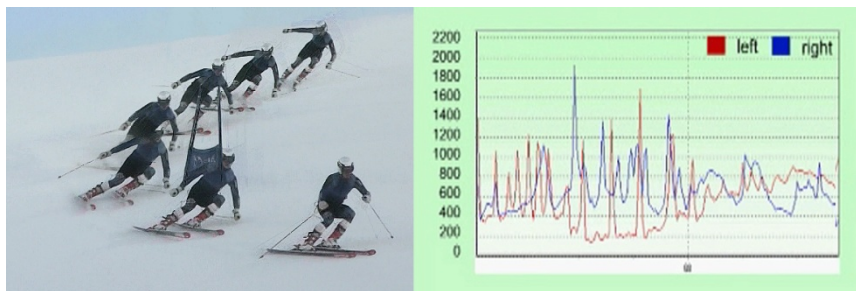
Voimapiikit olivat kestoltaan hyvin lyhyitä, joita peräkkäin tapahtuessa voisi kuvailla värinäksi. Lyhyestä kestosta johtuen yhdelläkään yksittäisellä voimapiikillä ei ole akustisesti suoraa vaikutusta suorituskykyyn.

Korkealle rankingsijalla olevilla värinän voimapiikkejä näyttää olevan vähemmän kuin rankinglistalla jäljempänä olevilla (kuva 5). Yleistrendinä oli, että ulkojalkaan kohdistuva värinän frekvenssi on harvaa ja amplitudi voimakasta, kun taas värinä sisäjalkaan on tiheää ja matalavoimaista. Korkeammalle rankatut pystyivät laskulinjan ja -asennon ansiosta säilyttämään vartalon jännityksen koko käännöksen ajan, jolloin sukset leikkasivat koko matkan. Sen sijaan heikommilla lihasjännitys purkautui aiheuttaen passiivista joustoa ja hakkaavaa värinää suksiin.



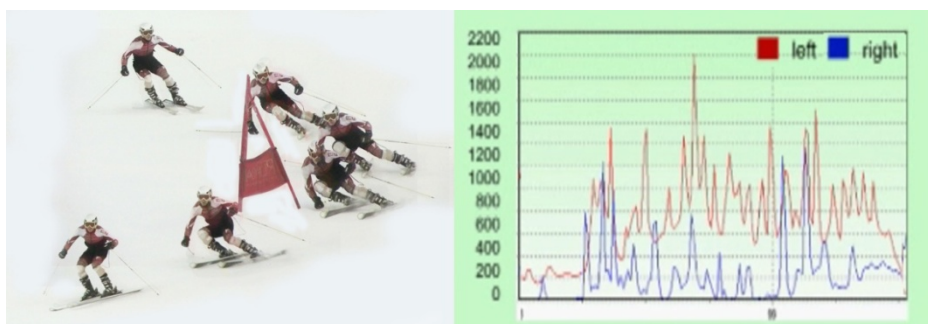
**Kuva 5.** Voimapiikkien aiheuttaman värinän ja laskijoiden suurpujottelun rankingjärjestyksen välinen suhde.

Rinteen epätasaisuuden lisäksi värinän lähteenä saattoi olla myös laskijan tekniikka ja/tai taktiikkavirheet. Sivuttaisen lanauksen ajan värinä oli voimakasta, esim. tilanteissa joissa laskija liian aikaisen käännöksen aloituksen takia höllää kokovartalon jännitystä sekä painetta suksiin ja odottaa otolliselle käännöslinjalle osumista (kuva 6).



Kuva 6. Lanaus käännöslinjalle ja portin kierto. Voimantuotto newtoneina (N).

Aktiivisen ohjausvaiheessa vuorostaan sivuttainen lonkkakulman puute johtaa heikentyneeseen suksipaineeseen ja hakkaavaan värinään (kuva 7).



Kuva 7. Lonkkakulman puute värinän lähteenä.

## VÄSYMYKSEN LÄHTEITÄ

Laskijalla on todettu suuren osan lihaksista olevan aktiivisia koko laskusuorituksen ajan (Ferguson 2010). Lihasten happisaturaatio vähenee laskua edeltävästä tasosta, joka kuvastaa rajoittunutta veren virtausta verisuonista kapillaareihin ja sen myötä tapahtuvaa ravinteiden ja kuona-aineen vaihtoa lihassolun ja verenkierron kesken.

Suurpujottelussa happisaturaation väheneminen on voimakkaampaa kuin pujottelussa, mikä johtuu suurpujottelun pitemmistä staattisista asennoista laskun aikana (Szmedra et al, 2001). Saatavilla olevan hapen rajallisuus ja lihaksilta vaadittava jatkuva aktiivisuus laskun aikana johtaa väistämättä lihäväsämykseen ja sitä seuraavaan suorituskyvyn heikkenemiseen.

Hapen saannin rajallisuus johtaa lihassolussa hapettomaan energiantuottoon, jolla pitkitetään suorituskyvyn laskua. Tällainen "anaerobinen" energiantuotto on tehokasta ja nopeaa, mutta sen sivutuotteena on maitohappo, joka kumuloituessaan uuvuttaa lihasen lyhyessä ajassa. Alppihiihdossa tämä suorituskykyä haittaava uupuminen voi tapahtua huomattavan lyhyessäkin ajassa, sillä happamuus kasautuu kylmässä huomattavasti nopeammin kuin lämpimässä (Westerblad et al 1997).

---

Suorituskyvyn heikkenemiseen ei vaikuta ainoastaan lihaksen sisällä tapahtuvat muutokset ja sen ravinteiden sekä kuona-aineiden vaihtomekanismit. Väsymiseen oman lisänsä tuo hermoston uupuminen. Kontrolloiduissa yksittäisten lihasryhmien voimantuototutkimuksissa väsytystä seurannut 60 – 70 % maksimivoiman heikkenemiseen liittyi 10 – 35 % lasku motoristen hermoratojen maksimaalisessa sähköisessä aktiivisuudessa, - eli lihassoluihin menevässä supistuskäskyvirrassa (mm. Gandevia et al. 1996, Babault et al. 2006).

Viestitys ei ole vain yksisuuntaista, sillä lihassoluista menee vieviä hermoratoja selkäyttimeen ja aivoihin. Näiden ratojen kautta lihassolut antavat palautetta toimintakyvystään, jolla on vaikutuksensa motoristen hermoratojen sähköiseen aktiivisuuteen. Submaksimaalisessa työssä palaute johtaa lisääntyneeseen aktiivisuuteen, jonka seurauksena työkyvyn ylläpitämiseksi työhön kutsutaan mukaan uusia motorisia yksiköitä (yhden hermoradan käskyttämien lihassolujen ryhmä). Uuvuttavassa työssä vuorostaan viesti happamuuden lisääntymisestä lihassolun sisällä, voi johtaa sähköisen aktiivisuuden säännöstelyyn, jonka tavoitteenaan on suorituskykyisyyden pitkittäminen sen intensiteetin kustannuksella.

Kuten edellä mainittiin, suurpujottelussa lihassolujen happisaturaatio on alentunut johdettujen pitkistä staattisista laskuasennoista. Staattisilla vaiheilla on verenvirtausta haittaava vaikutus, koska lihassolun hapen saanti estyy ja happamuus ei pääse ulos. Näin ollen lihassolun tilasta palautetta antavia vieviä hermoratoja pitkin välittyy viestejä, jotka johtavat heikentyneeseen sähköiseen aktiivisuuteen motorisissa hermoradoissa (Bigland-Ritchie *et al.* 1986). Tämän seurauksena ovat heikkenevät voimantuotot ja ajoitusmuutokset laskusuorituksessa.

Aerobisella harjoittelulla laskija voi kehittää lihassolujen verenvirtauskapasiteettia. Se kasvattaa lihastyön aiheuttaman kuona-aineen poistoa lihaksista. Näin niiden haittavaikutukset lihasten toiminnalle ja lihassolujen tilasta välittyvät toimintaa rajoittavat viestit keskushermostolle siirtyvät myöhemmäksi, jolloin laskijan motorinen kontrolli ja optimaalinen suorituskyky säilyvät pitempään (Ferguson 2010).

Laskusuorituksessa suksien värinä välittyy laskijaan. Tiukan ja fiksoidun side-mono yhdistelmän ansiosta värinä välittyy hyvinkin suodattamattomana koko kehoon. Matala amplitudisella ja 20 – 30 Hz:n taajuisella koko kehon värinällä on todettu olevan myönteinen vaikutus voimaharjoitteluun ja voimantuottoon (mm. Bosco et al. 1999a, Bosco et al. 1999b, Martin et al. 1997, McBride et al. 2004). Nämä hyötynäkökohdat liittynevät korkean hermostollisen käskytuskynnyksen omaavien nopeiden motoristen yksiköiden synkronoituun aktiivisuuden lisääntymiseen värinäaltistuksessa (McBride et al. 2004).

---

Värinän stimuloivalla vaikutuksella on kuitenkin rajansa. Motoristen yksiköiden sähköinen aktiivisuus alenee taajuuden tai amplitudin kasvaessa liian suureksi. Supistuskäskyvirran käydessä lihassoluille liialliseksi, lihasten tilaa aistivat lihassukkulat ja golgiäjäneelimet lähettävät inhiboivaa viestiä motoristen hermoratojen sähköiseen aktiivisuuteen, suojellen hermolihasjärjestelmää liialliseksi menevältä kuormitukselta. Korkea amplitudinen värinä vuorostaan johtaa lihastyön lyhenevään uupumisaikaan (Motttram et al. 2006).

Edellä kuvattua taustaa vasten laskijaan kohdistuvalla värinällä on niin myönteisiä kuin kielteisiä vaikutuksia laskusuoritukseen. Hallitussa laskussa, jossa laskija säätää vartalon jännitystä ja suksien ote rataa säilyy, rinteeseen aiheuttamalla perusvärinällä ei ole ainakaan kielteistä vaikutusta laskusuoritukseen. Sen sijaan kun suksi joutuu poikkeavaan asentoon suhteessa liikesuuntaan tai aiottuun liikesuuntaan voivat voimapiikkien tiheys ja amplitudit kasvaa niin korkeiksi, että niillä on jatkuessaan uupumusta nopeuttava vaikutus. Joten käännöksen aikaisella voimakkaalla hakkaavalla värinällä on yksittäisen käännöksen aikatappion lisäksi haittaa jäljempänä seuraavien käännösten taitamiseen ja jaksamiseen.

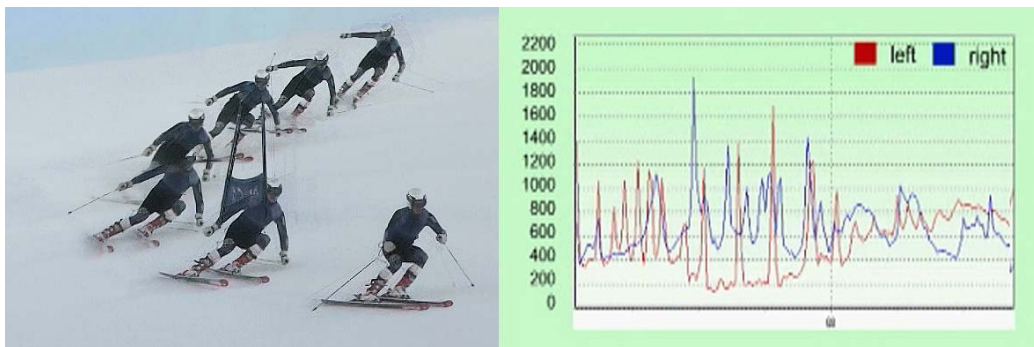
## KÄÄNNÖS JA VOIMANTUOTTOKÄYRÄT

Alla olevat käännökset tapahtuivat Levi Blackin loppujyrkällä. Yläporttien haasteena oli siirtyminen loivalta jyrkälle sekä nopeuden hallinta ja alaosassa nopeuden kasvattaminen kohti lopun loivaa sektoria.

Tähän kappaleeseen on valittu esimerkkikäännöksiä laskulinjan, –asennon sekä kanttauksen vaikutuksesta sukseen kohtisuoraan kohdistuvaan voimaan.

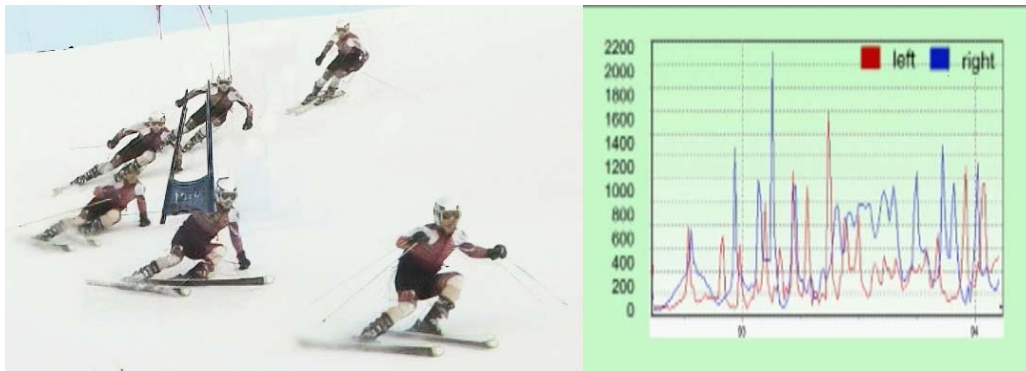
### PUUTTEELLINEN KANTTAUS

Kuvassa 8 laskija on väärällä laskulinjalla, jolloin hän ensin jarruttaa vauhtia lanaamalla ja odottaa päästäkseen oikealle laskulinjalle. Suksien kuormitus on perustasoltaan alhaista ja epävakaata. Vasta portin kierrettyään kantit saavat otteen rinteestä, jolloin voimakäyristä katoavat voimakkaasti hakkaavat kuormituspiikit.



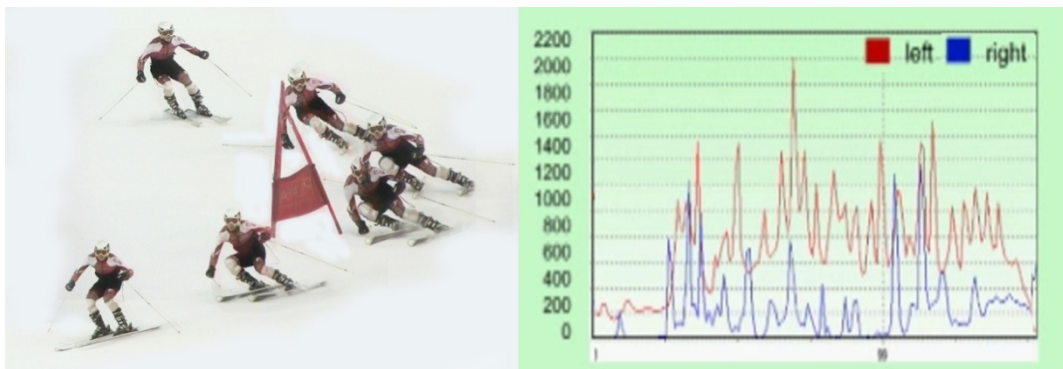
**Kuva 8.** Käännös pitkällä lanaavalla aloituksella. Oikealla olevassa grafiikassa jalkojen voimantuottokäyrät koko käännöksen ajalta (10 N  $\approx$  1 kg).

Kuvassa 9 laskijan sisäsuksen puoleinen nyrkki nojaa rinteeseen. Se toimii ylimääräisenä tukipisteenä käännökselle ja estää lantiokanttauksen. Tällöin ulkosuksen paine jää käännösvaiheeseen nähden hyvin vähäiseksi. Vasta käännöksen loppupuolella, kun nyrkki nousee irti rinteestä ulkosukseen paine kasvaa sisäsuksia suuremmaksi ja säilyy hetken tasaisena.



Kuva 9. Käännös jossa sisäsuksen puoleinen nyrkki nojaa rinteeseen, ja sen vaikutus suksiin tuotettuun voimaan. Grafiikassa voima Newtonina (N).

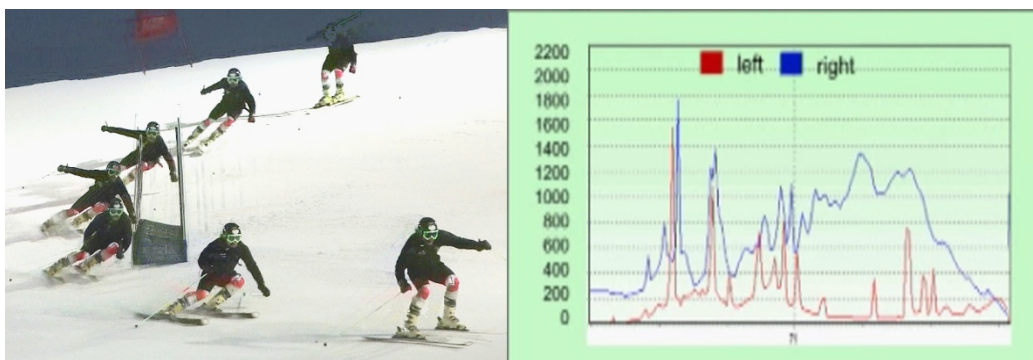
Lonkkakallistuksen puute jyrkällä johtaa hakkaavaan käännökseen (kuva 10). Suksiin ei tule yhtenäistä kuormitusta, kun vartalojännitys puuttuu.



Kuva 10. Lonkkakulman puute johtaa hakkaavaan käännökseen.

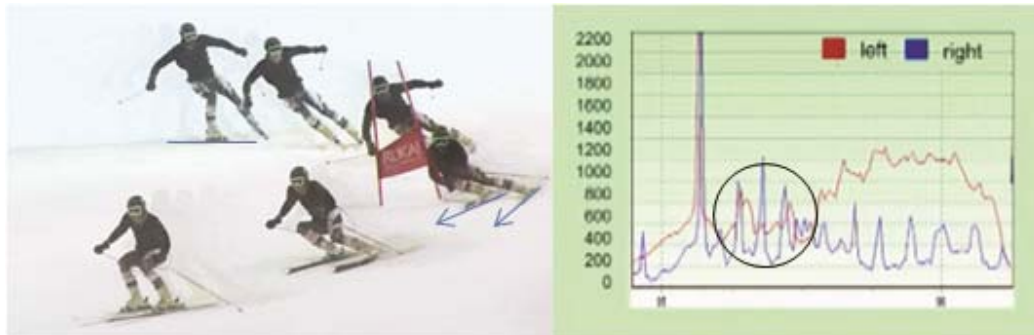
## VAUHDIN HALLINTAA

Kuvassa 11 laskija hillitsee nopeutta lanaamalla käännöksen alun, jolloin sisäsuksi on myös kuormitettuna. Portin kohdalla alkaa polvi- ja lantiokantaus, jonka seurauksena paine ulkosukseen kasvaa ja sisäsuksen heikkenee.

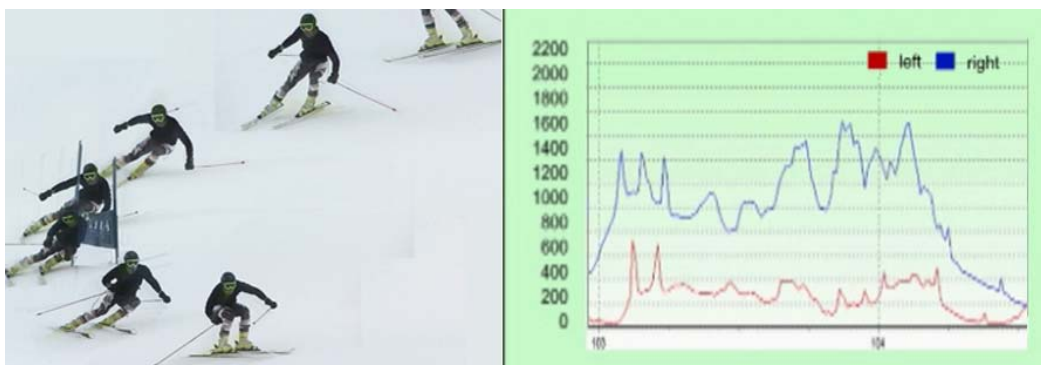


Kuva 11. Lanauksesta leikkaavaan käännökseen ja käännöksen voimantuotto (N).

Vauhdin hallinta nopealla A-asennolla aiheuttaa suuren hetkellisen voimapiikin molempiin suksiin (kuva 12). Sen jälkeisen lanauksen jälkeen laskija iskee kantit rinteeseen, jolloin kuormittunut sisäsuksi ohjaa aluksi käännöstä omaan suuntaansa, kunnes paine portin kohdalla siirtyy ulkosukselle.



Kuva 12. Käännöstä edeltää A-asento ja sen aiheuttama voimapiikki sekä sisäsukselle jäävä kuormitus portin kohdalla.

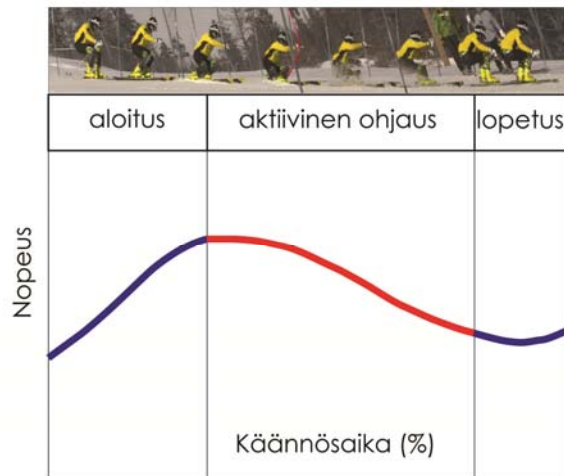


Kuva 13. Nopealla painopisteen siirrolla leikkaavaan käännökseen.

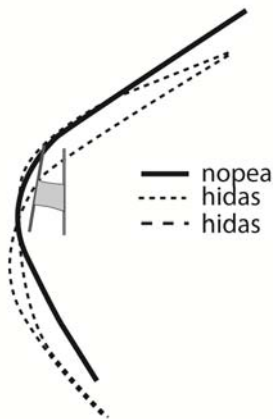
Painopiste edessä, nopea painopisteen siirto, ylävartalon kiertyminen sekä polvi- ja lantiokanttaus (kuva 13). Kantipaine ulkosukseen alkaa heti ja säilyy koko käännöksen ajan. Näin sukset kääntävät heti ja käännös on portin jälkeen ylhäällä valmis.

## LASKULINJA

Laskija kasvattaa nopeutta käännösten välissä ja menettää sitä käännösten aikana (kuva 14). Pujottelussa suoralla linjalla laskettua porttiväliä seuraa poikkeuksetta pitkä laskulinjainen porttiväli ja päinvastoin (Lesnik ja Zvan 2007), joten lyhin mahdollinen laskulinja ei takaa korkeaa nopeutta enää seuraavassa porttivälissä. Samassa tutkimuksessa todettiin kuitenkin, että kahden perättäisen porttivälin suorimmin laskeneiden laskijoiden nopeus oli suurin. Tämä osoittaa, että keskimääräisesti suorimmalla laskulinjalla laskevat olivat nopeimpia. Vastaavaa tutkimusta ei ole tehty suurpujottelusta, mutta voisi olettaa edellä esitetyn pätevän myös siihen lajiin.



Kuva 14. Nopeuden muutos käännöksen aikana (Haugen ym 2007).



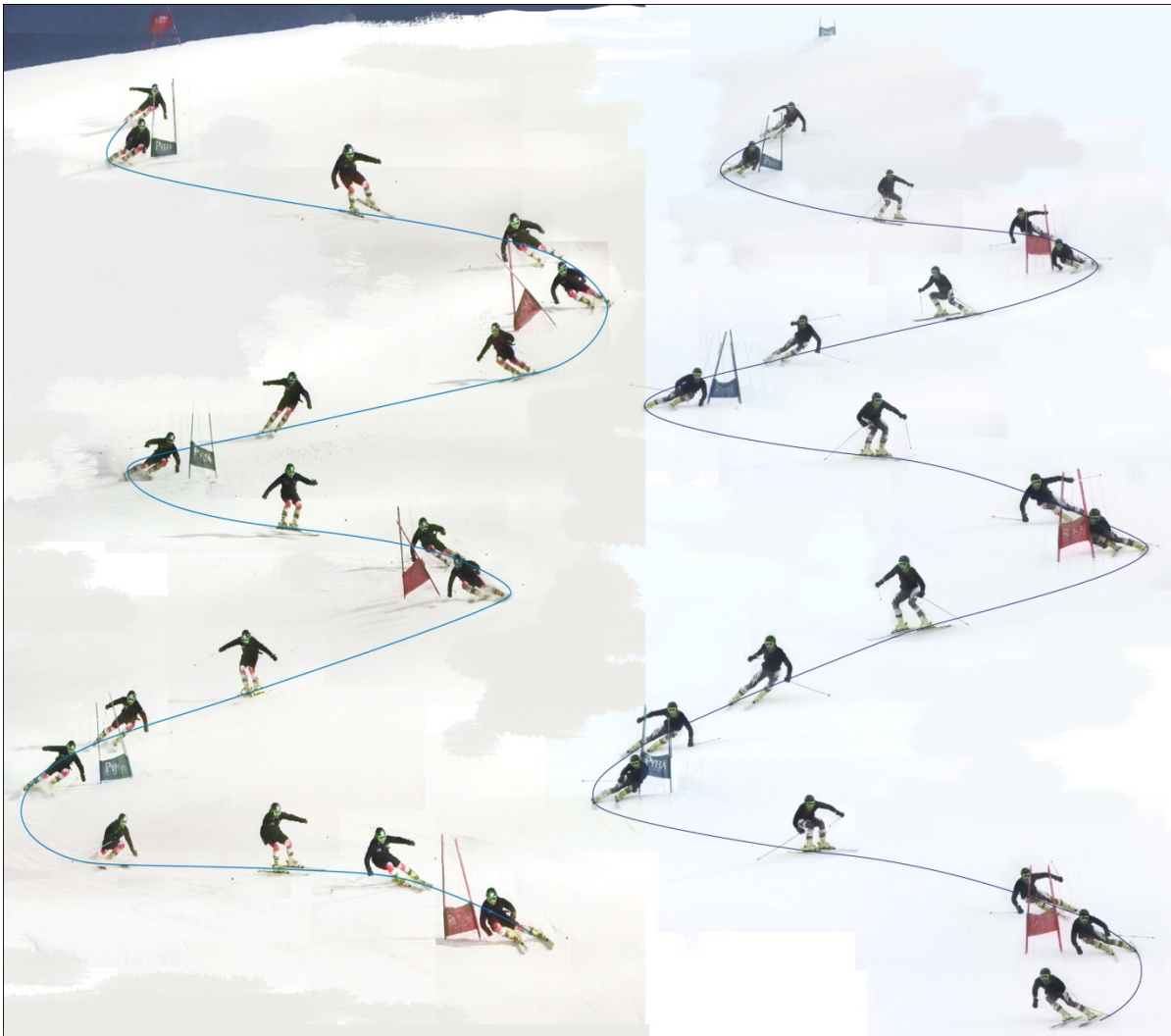
Kuva 15. Laskulinjat (Spörri 2010).

Jörg Spörrin suurpujottelun käännöslinjatutkimuksessa (2010) todettiin, että "nopeat käännökset alkoivat pitkästä eteenpäin liu'usta terävällä painopisteen siirrolla ja ne olivat valmiita aikaisemmin ja korkeammalla kuin hitaat käännökset" (kuva 15).

Nopeuden ollessa alle 40 km/h oikolinjasta poikkeava laskunopeus on kaarevana nopeampi kuin suoralla linjalla. Tällä on vaikutus pujotteluun, mutta suurpujottelussa, - suuremman vauhtinsa takia, suorat laskulinjat ovat tavoiteltavamman arvoisia (vrt. kuvat 16 ja 17).

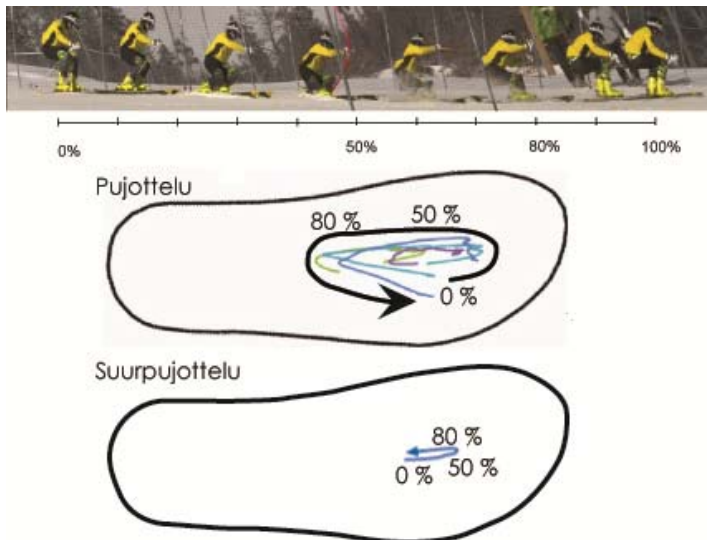


Kuva 16. Kaksi laskijaa samalla portilla.



Kuva 17. Kahden laskijan laskulinjat jyrkällä. Kuvasarjat ovat synkronoitu alkamaan samasta kohdasta ja niiden kokonaisajat ovat yhtä pitkät, joten oikeanpuoleinen laskija ennättää samassa ajassa pidemmälle. Kuvasarjojen mittasuhte-ero johtuu kameran erilaisesta zoomauksesta.

Pujottelukäännöksessä painepiste piirtää ovaalin muotoisen radan ulkosuksen jalkapohjassa (kuva 18). Suurpujottelun käännöksessä painepiste siirtyy aluksi eteen ja säilyy siellä lähes käännöksen loppuun saakka, kunnes palaa aloituskohtaansa. Painepisteen liikerata on lyhempi kuin pujottelussa vaikka käännösmatka on pidempi ja käännös kestää kauemmin.



**Kuva 18.** Painekeskisteen rata ulkojalassa leikkaavan vasemmalle käännöksen aikana. Pujottelukäännöksessä viiden ja suurpujottelun käännöksessä yhden laskijan painekeskisteen liikerata.

## HUOMIOITA VOIMANTUOTOSTA

- Vartalon lihasjännitys säilyy kehon liikkeillä ja eksentrisellä lihastyöllä keskipakovoimaa vasten. Pelkkä staattinen lihasten jännittäminen ei riitä.
- Tiukka käännössäde tuottaa suuren keskipakovoiman. Joten vain voimakkaat laskijat pystyvät kovassa vauhdissa leikkaaviin lyhyen kääntösäteen käännösiin.
- Laskija tuottaa ulkosukseen n. 1,25 x kehonsa painoisen voiman yhdellä jalalla. Se on samansuuruinen kuin pujottelussa, mutta lähes kaksi kertaa pitempikestoinen.
- Tuon voiman toki sietää myös heikkojalkainen suhteellisen ojentuneella raajalla, mutta silloin polvi- ja lantiokanttaus vaikeutuvat.