

TARTU ÜLIKOOL

Spordibioloogia ja füsioteraapia instituut

Mats Piho

**Äratõuget iseloomustavate biomehaaniliste karakteristikute
iseloomustus suusahüppel**

Bakalaureusetöö

Kehalise kasvatuse ja spordi õppekava

Juhendaja: lektor, PhD J. Ereline

Tartu 2013

Sisukord

Sissejuhatus	4
Kirjanduse ülevaade.....	5
1. Biomehaanilise analüüsi meetodid suusahüppel	5
1.1 Kinemaatiline alanüüs	5
1.2 Dünaamiline analüüs.....	5
1.3 Aerodünaamika elektromüograafia ja teised vähem kasutatud meetodid	5
1.4 Analüüsimeetodite üheaegne kasutus.....	6
2. Hoovõtt	7
2.1 Hoovõtt on eelduseks heaks äratõukeks	7
2.2 Hoovõtukaare (raadiuse) mõju suusahüppajale, äratõukele.....	9
3. Äratõuge otsatasandikul.....	12
3.1 Dünaamika äratõukel	13
3.2 Kinemaatika äratõukel.....	18
3.3 Imitatsioonhüpete ja mäehüpete kinemaatika võrdlus	23
4. EMG ja tallaalune surve mäetingimustes ja imitatsioonhüpetel	26
4.1 EMG ja tallaalune surve eri suurustega hüppemägedel	27
Kokkuvõte	29
Kasutatud kirjandus.....	31
Summary.....	34
Lisad.....	35

Töös kasutatud lühendid

EMG -	<i>Electromyography</i> ; elektromüograafia
KRK-	Keha üldine raskuskese
SD -	<i>Standard Deviation</i> ; standardhälve
K -	<i>Construction Point</i> ; kriitilise maandumistsooni algus
HS -	<i>Hill Size</i> ; hüppemäe suurus - vahemaa äratõukelava lõpust maandumisala lõpuni
GL -	<i>m. gluteus</i> ; suur tuharalihas
BF -	<i>m. biceps femoris</i> ; reie kakspealihas
VL -	<i>m. vastus lateralis</i> ; külgmine pakslihas
GA -	<i>m. gastrocnemius</i> ; kaksik-sääremarjalihas
TA -	<i>m. tibialis anterior</i> ; eesmine sääreluulihas
m-	meeter
ms-	millisekund
OM-	olümpiamängud

Sissejuhatus

Lendamine pakub kindlasti emotsionaalset elamust. Vähesed kogevad lennutunnet ilma lennuvahendi abita. Suusahüpetes on see igati võimalik. Suusahüpe toimub järgmiselt: sõidetakse mööda hoovõturada mäest alla, hoovõtu lõpus tõugatakse end maast lahti, järgneb õhulend ja siis maandumine. Inimese oluliseks abivahendiks on hüppesuusad, millega moodustatakse õhus aerodünaamiline tervik. Hüppe eesmärk on lennata võimalikult kaugele. Kõige pikem suusalend on ligi veerand kilomeetrit (maailmarekord 246,5 m kuulub suusahüppajale Johan Remen Evensen).

Olulised suusahüppefaasid oleksid järgmised: hoovõtt, äratõuge, varajane lennufaas, stabiilne lennufaas ja maandumine (Chardonens jt., 2012). Treeningul keskenduvad sportlane ja treener peamiselt hoovõtule ja äratõukele. Hoovõtt on eeldus heaks äratõukeks. Tihti saavutatakse äratõukeliigutuse muutus pelgalt hoovõtuasendi korrigeerimisega. Äratõuge on hüppe lennufaaside alus. Korrektnel äratõuge teeb lendamise hüppajale lihtsaks, mugavaks ja lennu pikaks. Ka maandumist on lihtsam teostada, kui äratõukeasjastus ja tehnika on korrektsed. Peatreeneri positsioon hüppemäel on valitult selliselt, et oleks näha esimesi faase. Abitreenerid jälgivad lennufaasi ja maandumist. See näitab, et hoovõtt ja äratõuge on asjaosaliste silmis prioriteetsed.

Tegelesin suusahüpetega kolmteist aastat. Puutusin kokku erinevate treeneritega ja kogesin erinevaid nägemusi suusahüpetest. Kui hüppaja tunnetus ja treeneri nägemus tehnikast samastusid oli töö produktiivne. Mind huvitas alati, mis on hüppaja tunnetust mõjutavad tegurid hüppemäel. Tahtsin teada ka põhjusi, miks treenerid eelistasid ühte äratõuketehnikat teise ees. Soovitusi äratõukeks oli erinevaid. Seda, mis tagab edu äratõukel, pole iga kord lihtne selgitada. Hüppajate erinevad antropomeetrlised näitajad lubavad oletada, et võimalusi edu saavutamiseks suusahüpetes on kindlasti rohkem kui üks. Liigutusmuutrite ja neid mõjutavate tegurite tundmine aitab suusahüppetreenerit tema töös.

Antud töö eesmärgiks oli iseloomustada suusahüppaja liikumist hoovõtukaarel ja otsatasandikul. Selleks valitud biomehaaniline lähenemine aitaks selgitada suusahüppaja äratõuke liigutuslikku tegevust lähtuvalt liikumisel mõjuvatest jõududest.

Kirjanduse ülevaade

1. Biomehaanilise analüüsi meetodid suusahüppel

1.1 Kinemaatiline alanüüs

Kinemaatilised meetodid on välja töötatud nii imitatsioonhüpete kui mäehüpete uurimiseks ning antud meetodite abil saab uurida hüppajat ilma teda häirimata. Võimalus uurida suusahüppaja sagitaaltasapinnalist liikumist ruumis tähendab jäädvustada seda mitme sünkroniseeritud suusahüppaja liikumisega risti asetatud kaameraga. On koostatud kahe- ja kolmedimensioonilisi hüppaja mudeleid. Antud mudelite põhjal on võimalik hinnata hüppaja uuritavas liigeses toimuvat liikumise ulatust kolme risti asetseva koordinaattelje suhtes teatava aja jooksul (Schwameder jt., 2008).

1.2 Dünaamiline analüüs

Dünaamilisi meetodeid kasutatakse laboris ja hüppemäel. Dünamograafilisel platvormil laboritingimustes saab teostada treeningumonitoringut uurides toereaktsiooni alusel hüppevõimet iseloomustavaid karakteristikuid (Schwameder jt., 2008).

Hüppemäe äratõukelava sisse ehitatud dünamograafiliste platvormide kasutamine toereaktsioonide registreerimiseks on levinud praktika. Seda meetodit on kasutatud 1970-ndate lõpust kuni tänapäevani (Virmavirta ja Komi, 1993(a)). Sõltuvalt dünamograafilise platvormi tüübist saab mõõta vertikaalsete jõudude (toereaktsioonide) projektsioone kahes või kolmes suunas, mõlemal rajal eraldi. See võimaldab eraldi hinnata vasaku ja parema suusa poolt avaldatud jõukomponentide suurusi ja resultantjõudude suunda (Schwameder jt., 2008).

85 anduriga Pedar- ning 16 anduriga Paromed süsteemide survetundlike sisetaldadega on edukalt mõõdetud jõu väärtuste muutusi ning suusahüppaja talla survetsentri muutust hoovõttust kuni maandumiseni. Antud süsteeme pole paraku lubatud kasutada võistluste ajal (Schwameder jt., 2008).

1.3 Aerodünaamika elektromüograafia ja teised vähem kasutatud meetodid

Hoovõttuasendi ja äratõukeliigutuse aerodünaamikat on uuritud tuuletunnelis (Virmavirta jt., 2001(a); Virmavirta jt., 2011). Suusahüppaja alajäsemete elektromüograafia abil tehti kindlaks lihaste bioelektriline aktivatsioon tõukeliigutuse ajal imitatsioonhüpetel (Müller jt., 1998 ; Virmavirta ja Komi, 2001(a)) ja hüppemäe tingimustes (Virmavirta ja Komi, 2001(a)). Suusahüppaja biomehaanilise kehamudeli arvuti simulatsiooni abil saab hinnata ja võrrelda suusahüppajate äratõuke kiirust, jõumomendi väärtuste muutust ja rakendust ja kehasegmentide vahelisi absoluutseid ja suhtelisi nurki. Simulatsioonhüppe liikumise- ja

varustuse parameetreid muutes saab analüüsida muudatuste edasist efekti hüppele (Hermsdorf jt., 2008).

1.4 Analüüsimeetodite üheaegne kasutus

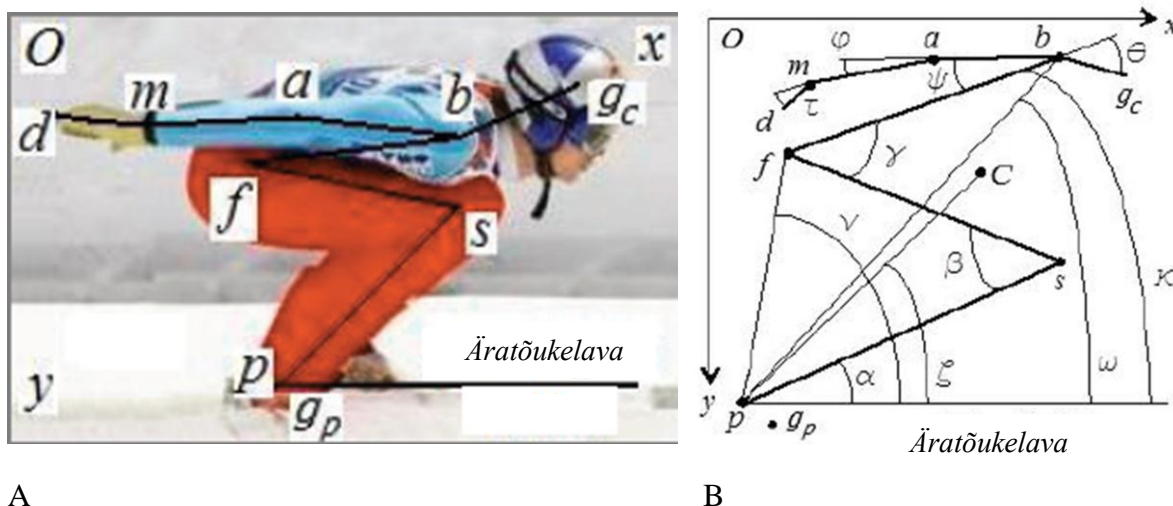
Suusahüpete tehnika uurimisel on oluline prognoosida täpselt liikumist kirjeldavaid biomehaanilisi karakteristikuid, mis arvestaks samaaegselt kinemaatiliste-, dünaamiliste karakteristikute ja lihaste bioelektrilise aktivatsiooni mustritega (Schwameder jt., 2008).

Suusahüpete biomehaanika meetodika meta-analüüsist ilmnes, et kõige sagedamini uuriti suusahüpete tehnika kinemaatikat 49%-l uuringutest, toereaktsiooni jälgiti 38%-l analüüsitud uuringutest, aerodünaamika aspekte ning asendeid tuuletunnelis analüüsiti 23%-l uuringutest, elektromüograafiat 9%-l ja arvutisimulatsioone 8%-l uuringutest (Schwameder, 2006).

2. Hoovõtt

2.1 Hoovõtt on eelduseks heaks äratõukeks

Zanevskyy ja Banakh (2010) leidsid märkimisväärse seose suusahüppaja äratõuke-eelse hoovõtuasendi (Joonis 1 A) ja hüppepikkuse vahel. Hoovõtuasendi parameetrite ja lennu pikkuse vaheline korrelatsioon on keskmise ja tugeva vahepealne. Nad leidsid, et 53% hüppe pikkusest sõltub äratõuke-eelsest hoovõtuasendist ja järele jääv 47% muudest faktoritest.



Joonis 1. Suusahüppaja keha kinemaatiline skeem (Zanevskyy ja Banakh, 2010).

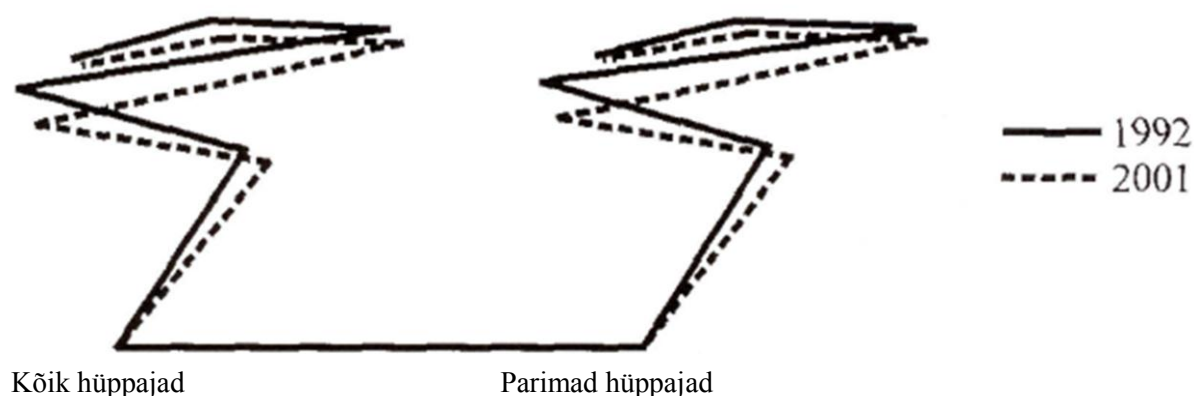
Hüppe pikkuste ja äratõuke-eelse hoovõtuasendi parameetrite (Joonis 1 B) α , β , γ , ζ ja ω vaheline negatiivne korrelatsioon lubab oletada, et vähendades hoovõtuasendi parameetrite suurusi, suureneb hüppe pikkus. Korrelatsioonikordajad hüppe pikkuse ja äratõuke hetkel liigese nurkade vahel on toodud tabelis 1.

Parameetrid	Hüppe pikkus
Hüppeliigese nurk α	-0,61
Põlveliigese nurk β	-0,60
Puusaliigese nurk γ	-0,44

Tabel 1. Korrelatsioonikordajate väärtused (Zanevskyy ja Banakh, 2010).

Virmavirta ja Komi (1993(b)) leidsid võistlushüppeid uurides, et kuuel paremal võistlejal oli sügavam hoovõtuasend kui 7.-12. koha saanutel. Parimate hüppajate äratõuke-eelsed nurgad puusa- ja põlveliigeses olid väiksemad.

Innsbrukis 1992-2001 aastatel läbi viidud longituuduuringu tulemused näitasid, et suusahüppajate hoovõtuasendi hüppe- ja põlveliigese nurgad on aastatega vähenenud. Puusaliiges on liikunud hüppeliigese suhtes taha suunas ja ülakeha asend on hoovõtus tõusnud püstisemaks (Joonis 2) (Lisa 1). Aastate jooksul hoovõtukiirused vähenesid, samal ajal kui hüppepikkused kasvasid (Lisa 2). Hoovõtukiirus võis olla vähenenud püstisema ülakehaasendi põhjustatud suuremast õhutakistusest, mille puhul suusahüppaja keha ristlõikepindala suureneb. Alajäesmete suurem painutatatus hoovõtuasendis võimaldab kompenseerida püstise kehaasendi tekitatud täiendavat õhutakistust. Kümne aasta jooksul muutunud varustus ja hüppajate vähenenud kehakaal mõjutavad hüppe pikkust (Janura jt., 2010).



Joonis 2. Hoovõtuasendite graafiline võrdlus aastatel 1992 ja 2001 (Janura jt., 2010).

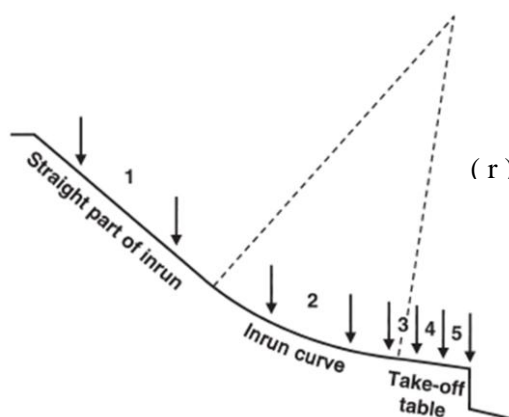
Kui hüppaja kehasegmenid on madalamale koondunud, (sügavam hoovõtuasend) suureneb sportliku õnnestumise võimalus. Kompaktsem hoovõtuasend on väiksema õhutakistusega, mis võimaldab suuremaid hoovõtukiirusi. Mida kompaktsem on hoovõtuasend, seda suurem hulk potentsiaalset energiat akumulereerub hoovõtukaarel lihastesse ning kandub üle äratõukeliigutusse. See võimaldab äratõukel hüpata kõrgemale äratõukelava suhtes (Zanevskyy ja Banakh, 2010). On oluline välja tuua, et hoovõtukiirus on peamine

suusahüppepikkust mõjutav tegur (Janura jt., 2011; Virnavirta jt., 2009; Vodigar ja Jost, 2010). Kõrge hoovõtuasend, rohkem väljasirutatud jalad ja suuremad nurgad hüppe- ja põlveliigeses ei võimalda efektiivset äratõuet ning ka õhutaksitusest tulenev väiksem hoovõtukiirus vähendab hüppe pikkust (Ettema ja Braten, 2006).

Kui võrrelda hüppepikkusi, hoovõtukiirusi (Lisa 2) ja liigeste nurki hoovõtuasendis (Lisa 1) (Joonis 2), siis võib järeldada, et parimad hüppajad olid paremad äratõukel kas tehniliselt või füüsiliselt. Sarnaste äratõukenäitajate korral valdasid nad paremini lennufaasi, sest hoovõtu liigesenurgad ja hoovõtukiirused muutuvad aastate jooksul parimate ja kõigi hüppajate puhul sarnaselt, küll aga on parimate hüppajate hüppepikkused aastate vältel kasvanud rohkem kui kõigil hüppajatel.

2.2 Hoovõtuakaare (raadiuse) mõju suusahüppajale, äratõukele

Hoovõtt koosneb kahte sirget ühendavast kaarest. Seda kaart kutsutakse hoovõturaadiuseks- või kaareks (Joonis 3). Raadiuse mõju on hüppajale mäeti erinev. See sõltub hoovõtuakaare raadiusest (r).



Joonis 3. Hoovõtu profiil (Virnavirta jt., 2001(b)).

Straight part of inrun - hoovõtu sirge (1);

Inrun Curve - hoovõtu kaar raadiusega r (2); *Take-off table* - äratõukelava või otsatasandik (3,4,5).

Erinevate profiilide ja raadiustega hüppemäed muudavad äratõuke keeruliseks, eriti juhul kui hüppemägesid vahetada. Üleminek raadiusest otsatasandikule on oluline, kuna ta avaldab mõju äratõukeajastusele ning lihaskoordinatsioonile. Peamine mõju tuleneb tsentrifugaaljõu kadumisest antud hetkel (Virnavirta ja Komi, 2001(c)).

Hüppaja ülesanne on kaar läbida selliselt, et staatiline hoovõtuasend ei muutuks. Tasakaal võiks olla optimaalses- või asendi säilitamise tsoonis. Kõige sagedamini toimub kaare lõpus KRK liikumine sagitaalselt tahasuunas. Otsatasandikul või äratõukelaval on hüppaja nii

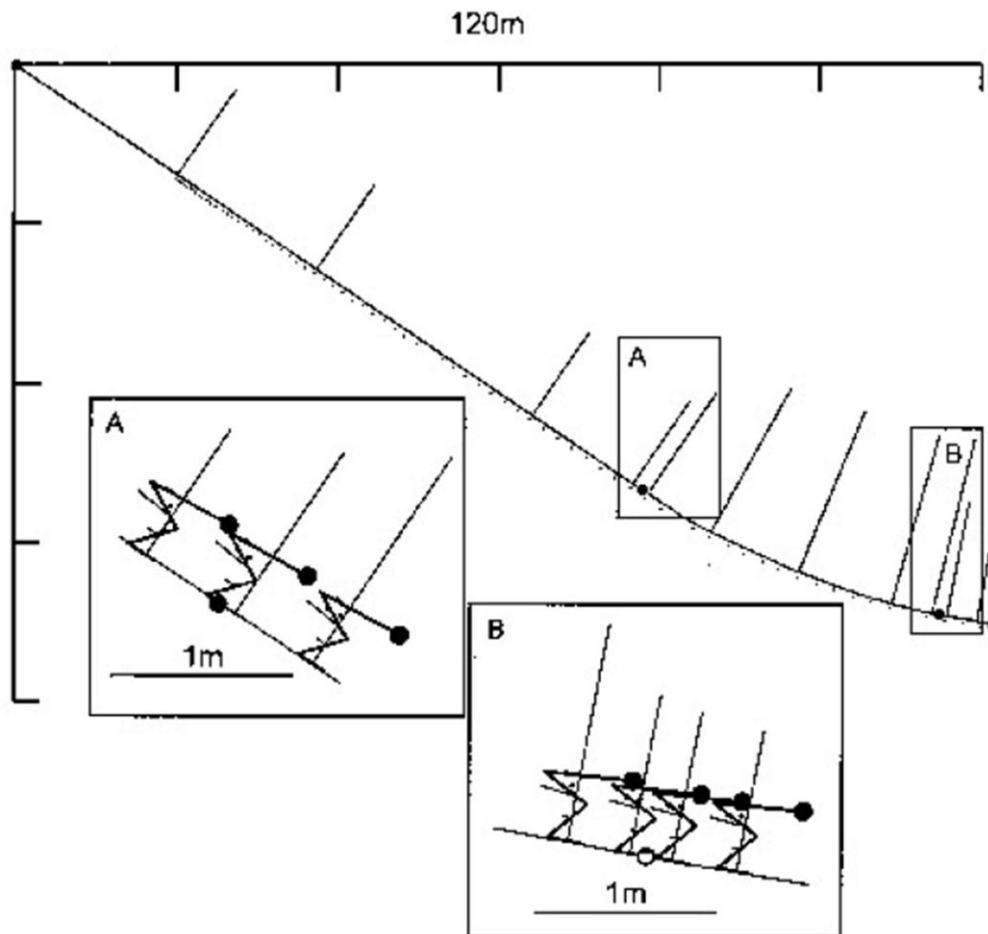
lühikest aega, et seal ei jõuta kaarel tekkinud asendimuutust korrigeerida, ning üsna tõenäoliselt kannatab äratõuketehnika. Selleks hetkeks, kui kaarel tekkinud asendimuutust korrigeeritakse, võib parim aeg tõuke alustamiseks juba möödunud olla, ning äratõuge hilineb.

Praktika on näidanud, et enamik hüppajaid tulevad kaare läbimisega edukalt toime. Ettema jt. (2005) uurisid jäiga keha abil kaare mõju hüppaja liigestele, taldade survetsentrile ning KRK-le.

See, mis toimub suusahüppajaga kaarel, mõjutab otseselt suusahüppaja äratõuke lähteasendit ja seeläbi ka äratõuget (Ettema jt., 2005). Vormavirta ja Komi (1993(b)) on arvanud, et kaarel tekkivad tsentrifugaaljõud võivad segada suusahüppaja äratõuke tegelikku algust. Tsentrifugaaljõu poolt tekitatud lisasurve ja selle kadumine otsatasandikule jõudes, muudab äratõuke ajastuse komplitseerituks.

Hoovõtukaarel on suusahüppaja jaoks kaks tähtsat momenti. Kaarele sisenedes asendub sirge liikumine kaarjaga. Kaarelt väljudes on situatsioon vastupidine. Kaarel tekkiv KRK kiirendus avaldub normaalsuunalise survejõu kasvus 515-lt N-ilt 970 N-ni (0,88G-st 1.65G-ni) kaare lõpu suunas. Kaare alguses tekib tagasisuunaline, negatiivse jõumomendi rakendus (Lisa 3 D). Nurkkiirenduse tulemusena liigub survetsenter hetkeks varba piirkonda. Kasvanud survejõu rakenduspunkti kujutav vektor liigub KRK-st hetkeks kaugemale ette ja siis KRK lähedusse tagasi. See kõik juhtub kasvanud survejõu ja liugehõõrdejõu ning hoovõtukaare koosmõjul. Kaarde sisenedes tekkiv järsk survejõu suurenemine põhjustab suusa libisemise pinna ja hoovõturaja vahelise liugehõõrdejõu kasvu. Kaarelt väljudes ilmneb vastupidine situatsioon. Äkiline survejõu vähenemine põhjustab tallaaluse survetsentri liikumise varba piirkonnast kannale, ning survejõu rakenduspunkti kujutav vektor liigub KRK-st läbi, varbast kannast suunas (Joonis 4) (Ettema jt., 2005).

Jäigal mannekeenil ilmnenesid äkilised liigete jõumomentide muutused kaarde sisenemisel ja väljumisel (Lisa 3 A,B,C). Need muutused nõuavad sportlastelt täpset lihasaktiivsiooni säilitamiseks nurki puusa-, põlve- ja hüppeliigeses. Edasisuunalised, positiivsed jõumendid liigestes aitavad säilitada hoovõtuasendit kaarel. See koos väliste jõududega võib olla põhjuseks, miks survetsenter kaare alguses varbasse liigub. Raadiuse negatiivse jõumomendi rakenduse (Lisa 3 D) põhjustatud positiivne impulsimoment (Lisa 3 E) muutub otsatasandikule jõudes negatiivseks. Heaks äratõukeks peab hüppaja tekitama edasisuunalise jõumomendi rakenduse pärast seda, kui on lihasjõu abil peatanud kaarel tekkinud tagasisuunalise jõumomendi rakenduse (Ettema jt., 2005)



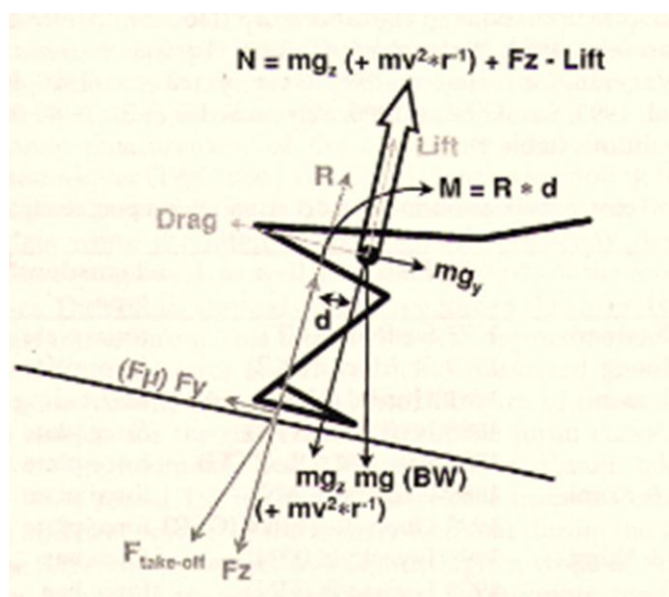
Joonis 4. Hoovõtuprofiil (Ettema jt., 2005).

Mustad täpid: kriitilised kohad hoovõtus; **Väiksed mustad täpid:** täpi vahe on 0.1 s ; **Joondiagrammid väljavõtetel A ja B:** rõhumisjõud (püstine), pidurdusjõud (reiesegmendil), lume liugehõõrdejõud (sääre segmendil); **Täpid väljavõtetel A ja B :** suured täpid-mudeli survetsentri paiknemine jalatallal kaarde sisenemisel ja väljumisel; väiksed mustad täpid-KRK paiknemine.

3. Äratõuge otsatasandikul

Äratõuget peetakse kõige tähtsamaks hüppefaasiks. Tõuge määrab algse lennukiiruse, äratõukenurga, keha impulsimomendi ning hüppaja tervikliku asendi lennu staadiumis (Brüggemann, 2006; Virnavirta ja Komi, 1994). Edukas äratõuge kasutab ära maksimaalselt neutraalset jõudu ehk tõstejõudu ning samaaegselt säilitab või isegi kasvatab horisontaalset äratõukekiirust. Hüppaja võime sooritada oskuslik äratõuge koos lennu algfaasiga määrab hüppe pikkuse. Äratõukel tehtud vigu ei saa korrigeerida lennufaasis, küll aga saab lennu faasis tehtavate eksimustega nullida õnnestunud äratõuke (Virnavirta ja Komi, 2001(c)). Äratõuge ja üleminek varajasse lendu on heade tulemuste peamised eeldused (Brüggemann, 2006).

Joonis 5 kuvab kõiki jõude, mis mõjutavad suusahüppaja äratõuget. Märgitud on ka hüppaja initsieeritava positiivse jõumomendi rakenduse tekitamiseks vajalikud tingimused äratõukel. Maksimaalse vertikaalse tõukekõrguse saavutamiseks peaks KRK paiknema toereaktsiooni kuvaval vektoril. Et saavutada positiivset jõumomendi rakendust, peab KRK paiknema antud vektorist eespool (Virnavirta, 2000).



Joonis 5. Hüppaja äratõuget mõjutavad jõud (Virnavirta, 2000).

M: Jõumoment; **d:** Jõuõlg ; **mg_y :**paralleelse jõu komponent; **mg_z :** survejõu komponent; **mg (BW):** raskusjõud; **$(mv^2 \cdot r^{-1})$:** tsentrifugaaljõud (kesktõukejõud).

Lift: tõstejõud; **R:** toereaktsioon; **Drag:** frontaaltakistus; **$F_{take-off}$:** äratõukejõud;

F_y : liugehõõrdejõud; **F_z :** survejõud.

3.1 Dünaamika äratõukel

Äratõuge on kõige sagedamini esinev teema suusahüpete biomehaanilistes uuringutes. Antud faas on väga lühike (tõukeliigutus keskmiselt 300 ms) ja töö toimub suurtel (25m/s) kiirustel. Äratõuke eesmärk on tõsta KRK-t ning saavutada positiivne jõumomendi rakendus. Need kaks tegurit koos mõne olulise aerodünaamilise näitajaga moodustavad lähtetingimused lennuks. Hüppaja äratõukejõudude suurus ja suund on hüppe võtmekohad. Vertikaalse impulsi muutused ja seetõttu ka muutused vertikaalses kiiruses on proportsioonis äratõukel mõjuvate vertikaalsete jõududega. Kuna hüppaja vertikaalne positsioon äratõuke lõpus omab märkimisväärset mõju lennu lähteasendile, peavad äratõukelavaga ristsuunalised äratõukejõud olema maksimaalsed. See saavutatakse põlve maksimaalselt kiire sirutamise ajal (Schwameder, 2008).

Sportlane peab kombineerima erinevaid omavahel seotud sooritust optimeerivaid ülesandeid 0,3 sekundilises ajavahemikus. Tõukeliigutust sooritavad lihasgrupid peavad aktiveeruma selliselt, et äratõuge lõppeks hüppemäe otsa äärel võimalikult lähedal. Varajane ja ka hilinenud tõuge vähendavad hüppe pikkust. Viimasel juhul pole jala sirutajalihased saanud liigutust lõpule viia. Hilinenud äratõuke puhul on hüppemäe otsaga ristsuunaline lineaarne liikumine kaugel hüppaja maksimaalsest ulatusest ning positiivse jõumomendi rakendus pole optimaalne. Ajastuse viga keskmiselt 0,05 sekundit (üks kuuendik kogutõukest) tähendab, et hüppemäe otsa ei tabata ja äratõuge on hilinenud ühe meetri jagu. Lennu trajektoor sõltub keha impulsimomendist (määrab tõste ja tõmbe jõud pärast äratõuget) ja tõuke impulsist. Väga hea hüppevõime lubab sportlasel korrigeerida väiksemaid tehnikavigu enne äratõuget, mis lubab hüppata heal tasemel stabiilsemalt (Müller, 2009).

Optimaalne jõumomendirakendus annab äratõukele õige plahvatuslike ja aerodünaamiliste äratõukeparameetrite omavahelise suhte. See kindlustab kompaktse varajase lennuasendi ja seega ka vajalikud tõste- ja tõmbejõud optimaalseks lendamiseks. Sooritust silmas pidades on tähtis optimeerida positiivse jõumomendi rakendus äratõukel selliselt, et see vastaks pärast äratõuget tekkivale vastusuunalisele negatiivsele jõumomendile, mis tekib õhuvoolude mõjul ja mis peab peatama edasisuunalise (positiivse) jõumomendi rakenduse õigel hetkel (Brüggemann, 2006).

Kõigi aegade parimat suusahüppajat M. Nykäneni (MN) võrreldi kaheksa Soome hüppajaga ja leiti olulisi erinevusi äratõukejõudude rakendumises otsatasandikul. Võistluse võitnud MN hüppas 64 m, ülejäänud kaheksa meest hüppasid 58.13 ± 0.95 m. MN-i jõu tootmine kasvas otsatasandiku lõpu suunas. Tema keskmine suhteline äratõukejõud ja suhteline maksimaalne

jõud olid 6-3 m enne otsatasandiku lõppu teistest sportlastest madalamad. Järgnevas äratõukefaasis (3 - 0 meetrit enne otsatasandiku lõppu) oli keskmine suhteline äratõukejõud ja suhteline maksimaalne jõud teistest sportlastest oluliselt suuremad. MN-i väiksem esimese maksimaaljõu langus 6-3 m enne otsatasandiku lõppu ja suurem jõu arendus tõuke hilisemas faasis (3-0 m enne otsatasandiku lõppu) olid peamised MN-i äratõuke jõukõveral ilmnunud iseärasused teiste sportlastega võrreldes (Tabel 2) (Virmavirta ja Komi, 1994). Antud uuring on aastast 1994, kuid näitab selgelt MN-i karjääri ajal edu toonud äratõukejõudude karakteristikute väärtusi.

	M. Nykänen	Hüppajad kohtadel 2.- 9.
Hüppe pikkus (m)	64.00	58.13±0.95
Maksimaalne jõud 6-3 m (N·kg ⁻¹)	20.21	22.33±1.96
Maksimaalne jõud 3-0 m (N·kg ⁻¹)	23.08	21.00±1.66
Keskmine jõud 6-3 m (N·kg ⁻¹)	17.34	19.13±1.61
Keskmine jõud 3-0 m (N·kg ⁻¹)	21.27	18.76±1.97
Hoovõtukiirus enne äratõuget (m·s ⁻¹)	21.18	21.59±0.31
Hüppaja kiirus otsatasandiku lõpus (m·s ⁻¹)	22.11	22.00±0.27
Säärenurk äratõuke alguses (°)	52.00	48.43±2.70
Säärenurk otsatasandiku lõpus (°)	60.00	64.29±6.32

Tabel 2. M. Nykäneni ja 2.-9. koha (keskmine ± SD) äratõukenäitajate vaheline võrdlus (Virmavirta ja Komi, 1994).

Suur jõu näitaja tõuke algfaasis põhjustab sääre ja seetõttu ka kogu KRR nihkumise tagasisuunas. Seetõttu on hüppajal raskem saavutada aktiivset lennuasendit. Kui kõrge jõu näitaja jääb tõuke algfaasi, pole jätkuv kiirendamine otsatasandiku lõpusuunal enam võimalik (Virmavirta ja Komi, 1993(b)).

Suusahüppaja poolt äratõukel rakendatud otsatasandikuga ristisuunaline jõud mõjutab hüppe pikkust eriti väikestel mägedel. Suur äratõukejõud on eelis ainult korrektse tehnika korral ning seda olenemata mäe suurusest. Sarnaseid hüppepikkuseid saavutanud juuniorite ja meeste grupi võrdlusest ilmnes, et väiksemate hoovõtukiirustega hüpanud meeste grupp saavutas sarnase hüppepikkuse tänu tugevamale äratõukejõule võrreldes juunioritega (Virmavirta ja Komi, 1993(b)).

Virmavirta jt. (2001(a)) leidsid rahvusvahelise tasemega Janne Ahoneni (JA), Jani Soineneni (JS) ning noort hüppajat (ML)-i uurides, et tuuletunnelis tehtavate imitatsioonhüpete äratõukejõud püsisid erinevate tuulekiiruste (0; 27; 33 ms⁻¹) tingimustes sarnastena. JA puhul vähenes maksimaalse jõu väärtus äratõukel hüppajatest kõige enam vastavalt tuulekiiruse tõstmisele. Äratõukejõudude keskmised väärtused tuulekiiruse kasvades ei muutunud oluliselt (Tabel 3). Keskmise tõstejõud äratõuke ajal oli 72 N JA-l ja 100N JS-l. Antud erinevused tõstejõus tulenevad ülakeha erinevast kasutusest äratõukel. JA hoidis ülakeha hoovõtus ja äratõukel kauem horisontaalsena kui JS. Virmavirta jt. (2011) osutasid hoovõtuasendis ja äratõukel ilmnevale tõstejõule, kui takistavale jõule, mis ei pruugi tulla kasuks sooritust silmas pidades. Sellest võib järeldada, et suuremad kiirused ehk suuremad hüppemäed ei mõjuta äratõukejõudude tugevust olulisel määral. Järjest olulisem on suurtel mägedel äratõuketehnika osakaal.

	Tuul (m s ⁻¹)	Äratõukeks kulunud aeg (ms)	Max jõud (N)	Keskmine jõud (N)
JS	0	410 ± 27	747 ± 20	443 ± 39
	27	374 ± 17 ^a	731 ± 30	446 ± 37
	33	353 ± 11 ^b	722 ± 30	448 ± 41
JA	0	457 ± 13	852 ± 27	423 ± 16
	27	422 ± 7 ^c	816 ± 44	432 ± 16
	33	405 ± 15 ^c	740 ± 67 ^a	416 ± 28
ML	0	298 ± 21	718 ± 18	382 ± 28
	27	264 ± 37 ^a	741 ± 40	381 ± 47
	30	260 ± 16 ^b	705 ± 24	347 ± 17 ^a

^a $p < 0.05$.

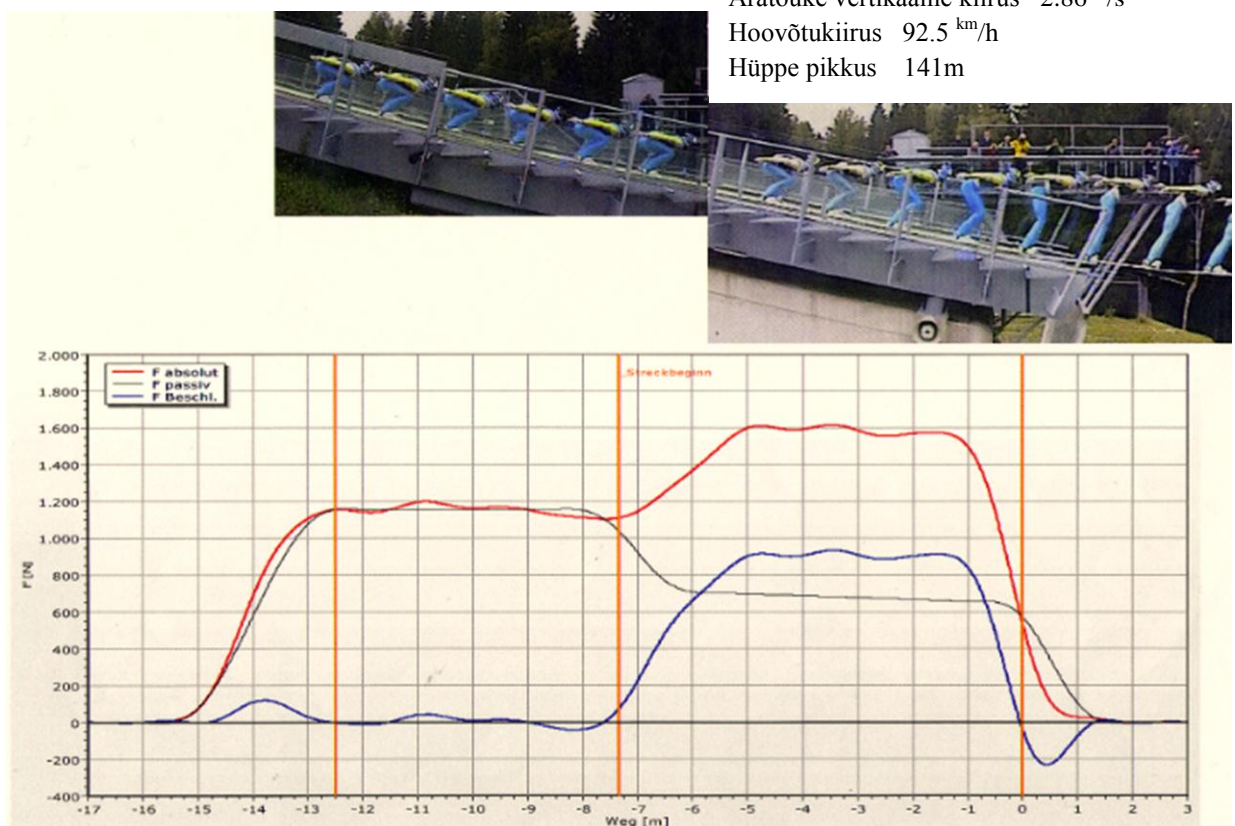
^b $p < 0.01$.

^c $p < 0.001$.

Tabel 3. Kolme hüppaja muutujate väärtused äratõukel erinevates tuuleoludes tuuletunnelis. Märkimisväärsed erinevused tuulevaikse ja tuuliste tingimuste vahel on tähistatud allmärkustega a-c (Virmavirta jt., 2001(a)).

Joonisel 6 on toodud tippsuusahüppaja äratõukekarakteristikud koos dünamomeetria graafikuga Klingenthali HS 140m hüppemäel. Hüppemäe otsatasandiku pikkus on 6.8 m. Jõukõveratel on näha tsentrifugaaljõu põhjustatud toereaktsiooni ja hüppaja kehakaalu järsk tõus raadiuse lõpus (-15.3 m). Selles vahemikus teeb hüppaja tööd, et säilitada hoovõtuasendi liikumatus. Äratõuge algab vahetult enne otsatasandiku algust, hetkel kui toereaktsiooni punane ja kiireneva jõu sinine graafik lähevad tõusu (-7.3 m). Samal ajal langeb hüppaja kehakaal, kuna otsatasandikule jõudes kaob tsentrifugaaljõu mõju. Antud hüppajat iseloomustab väga suur vertikaalne äratõukekiirus, pikk hüppe pikkus ning dünaamilise toereaktsiooni- ja kiireneva jõu platoo tekkimine äratõukefaasis.

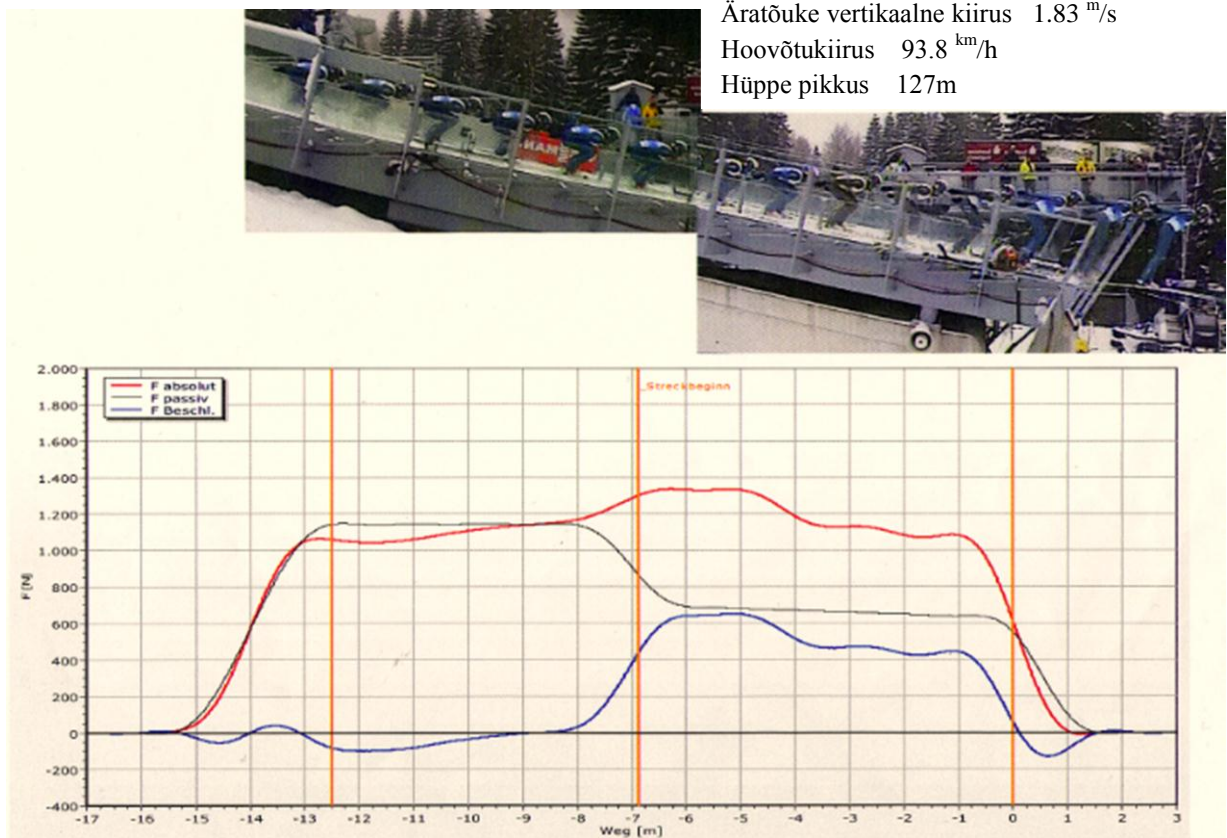
Hüppaja kehakaal koos varustusega 74 kg
 Äratõuke vertikaalne kiirus 2.86 m/s
 Hoovõtukiiirus 92.5 km/h
 Hüppe pikkus 141m



Joonis 6. *Streckbeginn*: äratõukealgus; ● dünaamiline toereaktsioon; ● keha kaal; ● kiirendav jõud; **Weg[m]**: kaugus otsatasandiku lõpust.

Joonisel 7 on toodud noore kahevõistleja äratõukekarakteristikud koos dünamogrammidega. Joonisel 6 ja 7 olevad mõõdistused on tehtud samal hüppemäel, kuid eri aastaegadel. Tippusuusahüppaja ja noore kahevõistleja kehakaalud on sarnased ja sellest tulenevalt on ka raadiuse tsentrifugaaljõu mõju sportlastele sarnane. Kahevõistleja hoovõtukiirus on suurem ning hüppepikkus lühem suusahüppaja omast. Kahevõistleja äratõuke vertikaalne kiirus moodustab 64% suusahüppaja samast äratõukenäitajast. Kahevõistleja toereaktsiooni ja kiireneva jõu kõverad ei kasva äratõuke lõpu suunas, vaid langevad, ning jõumaksimum on äratõukefaasi alguses. Ka tippusuusahüppaja ei suutnud dünaamilist toereaktsiooni ning kiirendavat jõudu jätkuvalt suurendada äratõuke lõpu suunas, kuid võrreldes kahevõistlejaga, on jõuväärtused suuremad ning vastavad jõunäitajad ei vähene äratõuke lõpu suunas, vaid moodustavad platoo. Antud hüpete puhul pole ilmastikuolud teada ning täpsete järelduste tegemine oleks kohatu, kuid paralleelsele on võimalik tõmmata. Antud peatüki alguses pidasid jõudude kasvamisest tõiukefaasi lõpusuunas oluliseks Virmavirta ja Komi (1994) ning Virmavirta ja Komi (1993(b)) leidsid, et väiksemat hoovõtukiirust saab kompenseerida suurema äratõukejõuga.

Hüppaja kehakaal koos varustusega 72.3 kg
 Äratõuke vertikaalne kiirus 1.83 m/s
 Hoovõtukiirus 93.8 km/h
 Hüppe pikkus 127m



Joonis 7. Streckbeginn: äratõukealgus; ●dünaamiline toereaktsioon; ●keha kaal; ●kiirendav jõud; Weg[m]: kaugus otsatasandiku lõpust.

Sõltumata sarnasest kehamassiindeksist on suusahüppajatel kahevõistlejatest paremad alajäsemete jõu näitajad. Suusahüppajatel oli kahevõistlejatest parem suhteline (28.8 N/kg vs. 24.8 N/kg) ja maksimaalne (1810 N vs. 1589 N) isomeetriline alajäsemete jõu keskmine näitaja mõõdetuna asendist 70° põlveliigeses. Dünaamilise põlve sirutajalihaste jõu mõõdistused 60°/s (317 J vs. 250 J) ja 180°/s (258 J vs. 209 J) näitasid suusahüppajate paremust antud näitajas. Erinevuste põhjuseks on kahevõistlejate vastupidavustreeningute ja õlavõõtmelise lihaste jõutreeningu mõju (Bösl jt., 2006).

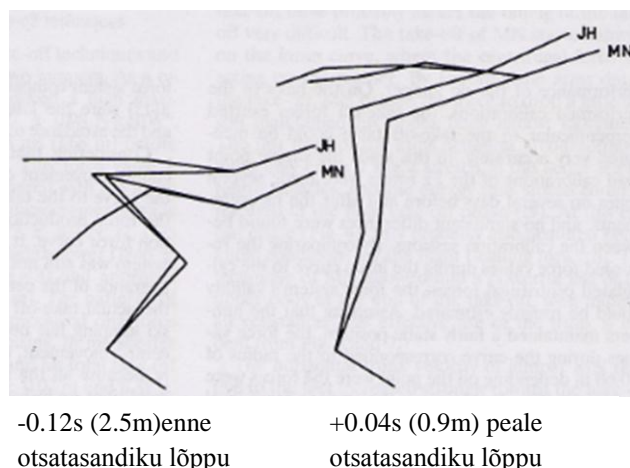
Plahvatusliku jõu maksimaalne näitaja äratõukel on oluline parameeter määramaks suusahüppe äraõtuks sooritust. Plahvatuslikku jõudu mõjutavad eelkõige esialgne äratõuke positsioon, äratõukeks valmistumine, aerodünaamiline tõstejõud ja spetsiifiline võimsustreening (Schwameder, 2006).

3.2 Kinemaatika äratõukel

Suusahüppelegend M. Nykäneni (MN) uurides ilmnes, et MN-i horisontaalne lähenemiskiirus äratõukelavale oli võrreldes teiste sportlastega väiksem. MN-i horisontaalne- ja vertikaalne kiirendus äratõukelaval olid aga teistest sportlastest suuremad. MN-i vertikaalne kiirus ja puusa nurkkiirus otsatasandiku lõpus olid teistest sportlastest suuremad. MN-i säärenurk (52°) suhtes horisontaaltasapinnaga oli äratõukele lähenedes teistest sportlastest suurem, kuid kasvas äraõtuks ajal vaid kaheksa kraadi võrra, mida on oluliselt vähem võrreldes teiste sportlastega (Tabel 2) (Virmavirta ja Komi, 1994). Vältides sääre tahasuunalist liikumist äratõukel, suutis MN suunata oma tõuke tugevalt üles- ja edasisuunale üheaegselt. MN suutis suurendada oma ülakehasegmendi kiirust ning tõsta keharaskuskeset äraõtukel natuke rohkem kui teised sportlased (Virmavirta ja Komi, 1994 ; Virmavirta ja Komi, 1993(a)).

Põlve kiire tagasitoomine äratõukel üheaegselt jalalaba edasiliikumisega põlve suhtes on iseloomulik nõrgema tasemega hüppajatele (Janura jt., 2011).

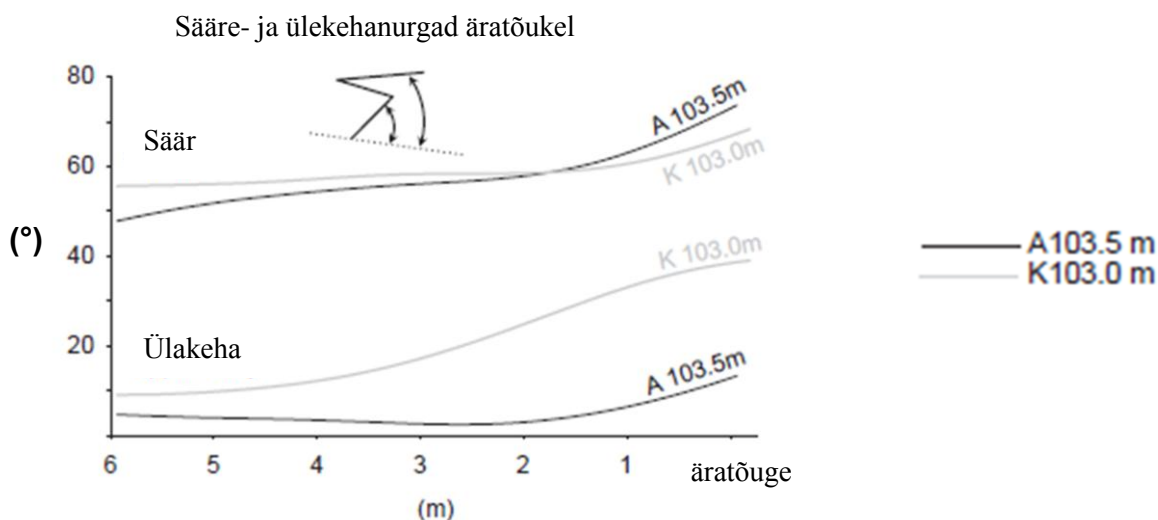
Ülakeha avamine äratõuke lõpus aitab saavutada lennu alguses suuremat vertikaalset kiirust ja tõstejõudu. Et minimaliseerida ülakeha avamisel tekkivat frontaaltakistust, peaks hüppaja alustama äratõuget enne otsatasandikule jõudmist ilma ülakeha avamata. Nii saavutab hüppaja äratõukel edasisuunalise jõumomendi rakenduse, mille puhul on ülakeha püstist asendit ja ka suurenenud frontaaltakistust võimalikult lühikese aja vältel. Seda võimaldab väiksem nurk puusaliigeses otsatasandikul (Joonis 8) (Virmavirta ja Komi, 1994).



Joonis 8. Hüppajate MN ja JH kehaasendid äratõuke eri faasides (Virmavirta ja Komi, 1993(a)). 2.5m enne otsatasandiku lõppu MN-il JH-st väiksem frontaaltakistus. 0.9m pärast otsatasandikku MN-il parem edasisuunalise jõumomendi kasutus. Hüppe pikkus MN-60m, JH 54m.

Parimate hüppajate uurimine on näidanud, et edu võib saavutada erinevalt. Erinevate äratõuketehnikatega on saavutatud sarnaselt pikki hüppeid. Tihti ilmnevad suurimad sportlastevahelised erinevused just äratõuke ülakehatöös. Kindlasti tuleks käsitleda igat sportlast individuaalselt (Janura jt., 2011; Virmavirta jt., 2009). Suusahüppaja reguleerib ülakehaasendiga äratõukel teineteise suhtes vastassuunaliste jõumomendi rakenduste mõju. Äratõukel tekitab hüppaja positiivse jõumomendi rakenduse ning frontaaltakistus hüppaja kehale tekitab negatiivse jõumomendi rakenduse. Oluline on leida optimaalne jõumomentide tasakaal ning tiptasemel hüppajad teevad seda erinevalt. Joonisel 9 on näidatud erinevad võimalused, kuidas äratõuget sooritada lähtuvalt ülakeha ja sääre asenditest. Kui hüppaja hoiab säärenurga äratõukelava suhtes võimalikult kaua muutumatuna, on tal võimalik paremini toota jõudu pinna vastu, ning sääresegment toetab reiesegmendi liikumist kellaosuti liikumise suunas ümber põlveliigese (positiivne jõumomendi rakendus). Et ei tekiks õlgade liialt ründavat edasisuunalist liikumist põlve- ja hüppeliigete suhtes, kompenseeritakse seda püstisema ülakehaasendiga (frontaaltakistusest tingitud negatiivne jõumomendi rakendus suureneb), nagu demonstreerib hüppaja K. Kui hüppaja K oli kauem avatud frontaaltakistusele, siis hüppaja A hoiab ülakehasendi kauem muutumatuna, kuid et ei tekiks õlgade liialt ründavat edasisuunalist liikumist põlve sirutamisel, tõuseb säärenurk püstisemasse asendisse, mis omakorda mõjutab negatiivselt pinna vastu jõu tootmist.

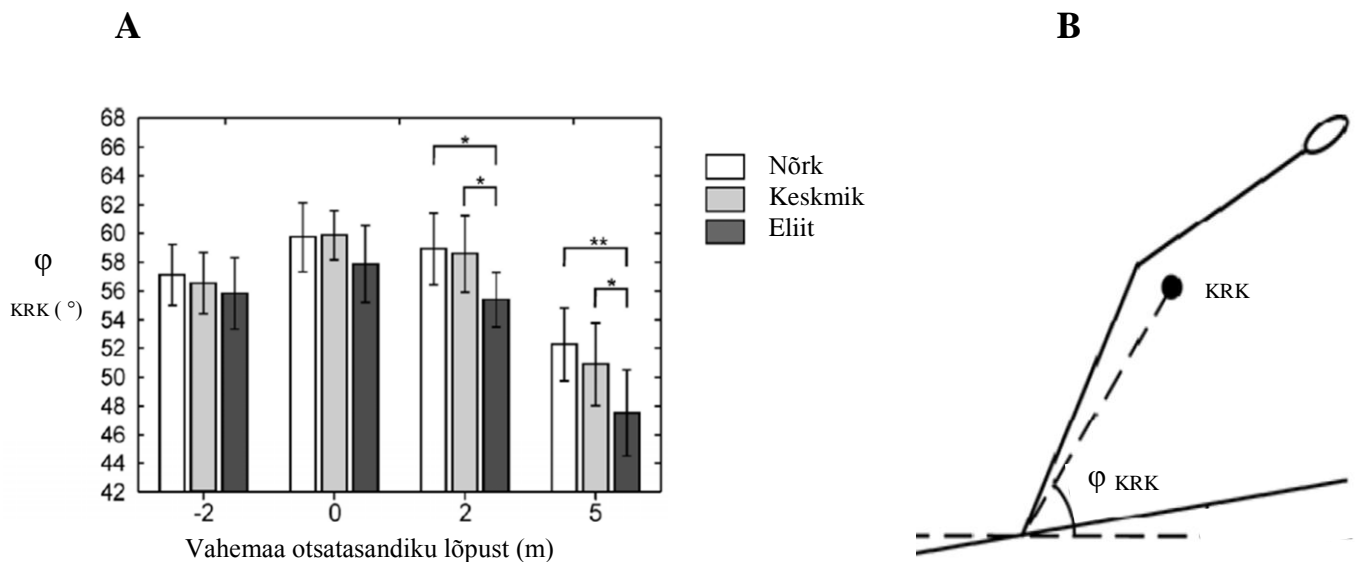
Mõlemad äratõuketehnikad olid Torino olümpiamängude normaalmäevõistlusel suusahüpetes ühtviisi edukad (Virmavirta jt., 2009).



Joonis 9. Hüppajate A ja K sääre- ja ülekehanurkade võrdlus äratõukel (Virmavirta jt., 2009).

Janura jt. (2011) leidsid Libereci MM-i suuremäe suusahüppeid uurides olulise statistilise erinevuse eliitgrupi hüppajate ja keskpäraste grupi hüppajate kerenukades 2 m enne otsatasandiku lõppu. Eliitgrupi hüppajate kerenuk horisontaaltasapinna suhtes oli keskpäraste hüppajate grupist väiksem ehk keskpäraste hüppajate grupi ülekeha oli äratõukel keskmiselt rohkem avatud. Ka eliidi sääre- ja reienurgad samal ajahetkel olid mõne kraadi võrra väiksemad kui keskpärastel, kuid statistiliselt olulist erinevust need näitajad välja ei toonud. Eliithüppajate väiksem sääre- ja kerenuk horisontaaltasapinna suhtes võimaldas KRK-t äratõukel rohkem ette viia.

Janura jt. (2011) töid välja, et parimate hüppajate KRK liigub äratõuke ajal ja ka 5m peale äratõuke lõppu märkimisväärselt rohkem edasi suunal (Joonis 10 A). Seda kuvab väiksem nurk hüppeliigest KRK-ga ühendava sirge ja horisontaaltasapinna vahel (Joonis 10 B). Parimad hüppajad säilitavad otsatasandikuga paralleelset KRK kiirust nõrkadest hüppajatest paremini (Virmavirta jt., 2009).



Joonis 10. Hüppajagruppide võrdlus KRK paiknemises otsatasandikul (A) ja nurk hüppeliigest KRK-ga ühendava sirge ja horisontaaltasapinna vahel (B) (Janura jt., 2011).

MN-i omapära äratõukel oli käte painutamine küünarliigesest (Lisa 4 A)(Joonis 8). Äratõukele vastusuunaliselt käsi langetades langesid jõu väärtused, kuid ülakehaasend püsis peaaegu muutumatuna. MN-il täheldati äratõukel suuremat ülakeha horisontaalsuunalist kiirust jala labaosa suhtes võrreldes teise katsealuse JH-ga (Lisa4 B). MN-i ja JH äratõuke liigesenurkade võrdlusest ilmnes, et kui sääre- ja ülakeha nurgad muutusid tõukel sarnaselt, siis MN suutis hoida ülakehasegmenti äratõukel kauem horisontaalselt ning reienurk kasvas horisontaaltasapinna suhtes tõuke lõpuks rohkem (Lisa4 C) (Virmavirta ja Komi, 1993(a)).

Äratõukel on ülakeha asendi säilitamine probleemne koht. Sportlased, kes hoiavad ülakeha horisontaalselt, ei suuda tihti tõuget sooritada sääre suunas. Kui aga säär tõuseb püstisesse asendisse tõuke algfaasis, ei suuda sportlane suurendada äratõukel oma horisontaalsuunalist kiirust. Usun, et äratõukel käte painutamine küünarliigeset võimaldab lihtsamini viia KRK-t ette selliselt, et säärenurk ja ülakehaasend püsivad kauem muutumatuna.

Virmavirta ja Komi (1993(a)) spekulatsioonid, et käte kiire langetamine vastuliigutusena äratõukele võib venitada aktiivseid jala sirutajalihaseid ning sellega tekkinud elastsusjõudu saaks ära kasutada tõuke lõppfaasis.

Ülakeha horisontaalsuunalist kiirust jala labaosa suhtes ning ülakehasegmenti püsimist horisontaaltasapinnal võimalikult kaua suusahüppe äratõukel peavad oluliseks näitajaks Virmavirta ja Komi, (1993(b)). Nad leidsid, et õige äratõuketehnika võimaldab suurendada

otsatasandikuga paralleelset kiirust äratõukel. Lihtne äratõukeinstruktsioon on, et hüppaja peaks hoidama ülakeha võimalikult madalana ning kiirendama seda äratõukel liikumise suunas nii palju kui võimalik (Virmavirta ja Komi, 1993(b)).

Eliitgrupi hüppajate keskmine KKK nurkkiirus vahemikus -2 m kuni +5 m otsatasandiku äärest oli oluliselt suurem keskmiste ja nõrkade hüppajate grupi omast. Sellega saavutatud suurem ettekalle äratõuke lõpus võimaldab kiiremini saavutada aerodünaamilist lennuasendit (Janura jt., 2011).

MN-i paremus äratõukel tulenes mitme faktori koosmõjust. Püsivalt äratõukelava lõpu suunas kiirenev liigutus paistis olevat MN-i peamine edu võti. Tugev äratõukejõud tõuke lõpus võimaldas suurt vertikaalset ja horisontaalset kiirust lennu algfaasis. Selle saavutamiseks pidi MN alustama tõuget enne otsatasandikule jõudmist, säilitama säärenurka võimalikult kaua ning vältima ülakeha avamisest tekkivat frontaaltakistust (Virmavirta ja Komi, 1994). Virmavirta ja Komi (1994) pidasid väga tõenäoliseks, et moodsa V-stiili puhul tuleks äratõukel arvestada samade põhimõtetega kui MN-i aegse paralleelstiili puhul.

Liikumapanevajõu mõjul tekkiv maksimaalne vertikaalne kiirus koos puusaliigese nurkkiirendusega äratõukel on olulised saavutamaks edu väikestel mägedel (Virmavirta ja Komi, 1993(b)). Ülakeha avamine äratõuke lõpus aitab saavutada lennu alguses suuremat vertikaalset kiirust (Virmavirta ja Komi, 1994). Suurtel mägedel on äratõukel oluline säilitada kiirust, hoides frontaaltakistust väiksena ja ülakehaasendit madalana. Hea äratõuge arvestab nii ballistiliste kui ka aerodünaamiliste faktoritega ning kompromiss antud faktorite vahel ei pruugi olla vajalik. Võistlushüpete analüüs näitas, et võtjal oli nii erakordne äratõukejõud kui ka tehnika. Tema keskmine horisontaalne kiirendus äratõukel oli suurim ning vertikaalne kiirus äratõukehetkel suuruselt teine kõikide võistlejate seas. See võib tähendada, et äratõuke optimeerimine ei pruugi tähendada kompromissi ballistiliste ja aerodünaamiliste faktorite vahel, vaid hea tehnikaga on äratõuke vertikaalne komponent suur ilma, et järgneks suurenenud frontaaltakistust (Virmavirta ja Komi, 1993(b)).

Üheksakümnendatel avalikustatud MN-i tehnika saladused on arvestatavad ka tänapäeval. Värskema teadustöö hinnangul on pikki hüppeid võimalik hüppata erinevate äratõuketehnikatega. Samas pole avalikustatud praeguste superstaaride eripärasid nagu oli seda MN-i käepainutus küünarliigesest äratõukel. Osa kaasaegseid tipp hüppajaid on sarnast käetööd äratõukel vähemal või rohkemal määral kasutanud (S. Hannawald, J.Ahonen, S.Ammann), kuid palju on ka neid, kes seda pole teinud (A.Malys, G. Schlierenzauer, A. Bardal). See pole teadusepõhine, vaid ala sees olnuna vaatluse teel täheldatud nüanss. Usun,

et käe kõverdamine äratõukel võimaldab samaaegselt säilitada säärenurka ja madalat ülakehaasendit. Seda kinnitab Vormavirta ja Komi (1993(b)) MN-i uurides tehtud järeldus, et kompromiss ballistiliste ja aerodünaamiliste faktorite vahel äratõukel pole ilmingimata vajalik.

3.3 Imitatsioonhüpete ja mäehüpete kinemaatika võrdlus

Suusahüppajad kasutavad treeningutel imitatsioonhüppeid. Imiteeritakse äratõukeliigutust hüpates püüdja kätele või pehmele matile. Päril suusahüppetreeningul kulub ühe hüppe tegemiseks keskmiselt 10 minutit. Keskmise treeningu (viie hüppe) tegemiseks kulub hüppemäe tingimustes peaaegu tund aega. Imitatsioonitreeningut kasutatakse äratõuketehnika parandamiseks ning soojendusharjutusena mäetreeningu eelselt. Imitatsioonhüpped on vähem ajakulukad ja ühel treeningul koguneb oluliselt rohkem sooritusi kui mäetingimustes tehtaval treeningul.

Arvatakse, et treeningus kasutatav imitatsioonhüpe võib oluliselt erineda tõelise suusahüppe äratõukest. Imitatsioonhüpe laboritingimustes kestab 750 ms. Laboris sooritatud äratõukesid kestsid ajaliselt kauem, kui hüppemäetingimustes. Antud tulemused saadi äratõuke lihasaktiivsust mõõtes. Lihase TA aktiveerus imitatsioonhüppel 750 ms enne äratõukelõppu, samas kui mäetingimustes antud lihas äratõukes praktiliselt ei osalenud. Ka lihas GA oli imitatsioonhüpetel oluliselt varem aktiivne kui mäetingimustes. Peamiste äratõukelihaste VL-i ja GL-i aktiveerimise määre- ja imitatsioonhüppe tingimustes ajalised erinevused olulised ei olnud. Imitatsioonhüppe tingimustes aktiveerus lihas VL 150 ms varem ja lihas GL 50 ms varem kui mäetingimustes (Lisa 5). Samas on põlveliigese nurk imitatsioonhüppel pinnakontakti lõppemisel (155-180°) oluliselt suurem kui hüppemäel otsatasandiku lõpus (140°) (Vormavirta ja Komi, 2001(a)).

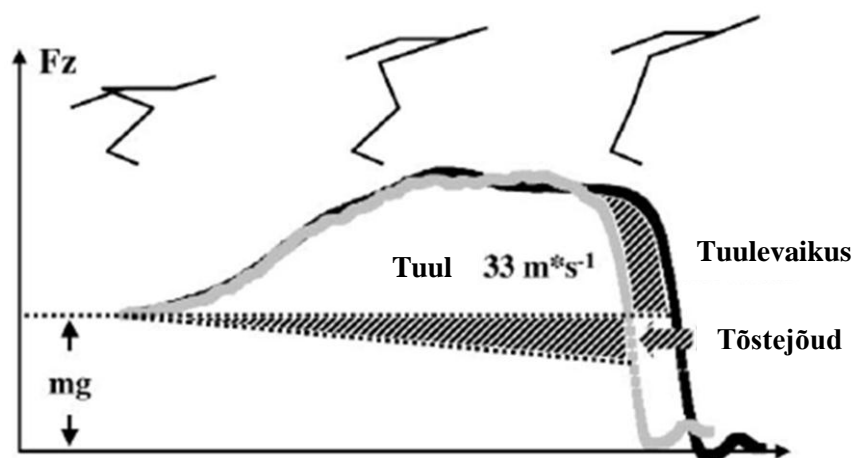
Hüppesaapa ehituslik iseärasus erinevalt jooksujalanõust ei võimalda põiasirutust, millest on tingitud hüppesaapaga sooritatud äratõugete väiksemad liigesnurgad imitatsioonhüppe äratõuke lõpus võrreldes jooksujalanõuga (Tabel 4) (Vormavirta ja Komi, 2001(b)).

	Äratõuke algus		Äratõuke lõpp	
	Jooksujalanõu	Hüppesaabas	Jooksujalanõu	Hüppesaabas
Hüppeliiges (°)	70.8 ± 2.9	70.6 ± 3.5	114.3 ± 4.6 ***	91.1 ± 3.0
Põlveliiges (°)	71.8 ± 8.7	70.7 ± 8.8	167.6 ± 5.2 **	155.2 ± 3.9
Puusaliiges (°)	25.4 ± 2.6	27.2 ± 3.4	144.4 ± 9.0 ***	138.6 ± 10.8
Kerenurk (°)	6.7 ± 4.2	9.8 ± 5.3	40.9 ± 7.5	40.4 ± 8.1
Säärenurk (°)	53.1 ± 3.4	53.2 ± 4.2	64.5 ± 4.4 **	57.1 ± 6.1

Olulised erinevused kasutatud jalanõude vahel on märgitud järgneva indeksiga: (**) $p < 0.01$ (***) $p < 0.001$

Tabel 4. Kinemaatilised äratõukekarakteristikud jooksujalanõu ja hüppesaapaga tehtud imitatsioonhüpetel (Virmavirta ja Komi, 2001(b)).

Tuuletunnelis sooritatud imitatsioonhüpete puhul väheneb äratõukeaeg vastavalt vastusuunalise tuulekiiruse kasvule (Tabel 3). Seda seletab asjaolu, et äratõuke vertikaalne komponent on samasuunaline aerodünaamiliste tõstejõududega ning tõstejõud vähendab hüppaja kehakaalu (Joonis 11) (Virmavirta jt., 2001(a)).



Joonis 11. Aerodünaamilise tõstejõu mõju illustreeriv skeem suusahüppe äratõukel (Virmavirta jt., 2001(a)).

mg:kehakaal, **Fz:** jõu vertikaalne komponent

Hüppesuuskadega sooritatud imitatsioonhüpped tuuletunnelis imiteerivad päris hüppeid veelgi täpsemalt. Katsealuste subjektiivse hinnangu kohaselt oli äratõuget tuuletunnelis suuskadega lihtsam sooritada kui ilma suuskadeta. Ka ajaliselt kulus tuuletunnelis suuskadega sooritatud äratõukeks vähem aega kui ilma suuskadeta (Virmavirta jt., 2011).

Tuuletunnelis tehtavad imitatsioonhüpped imiteerivad suusahüppe äratõuget, kuid tuuletunneli kasutamine imitatsioontreeninguks on kallim kui mäetingimustes hüppamine (Virmavirta jt., 2011). Tavatingimustes peaks imitatsioonhüppeid sooritama hüppesaabastega, sest liigesnurgad hüppesaabastega tehtud imitatsioonhüppe äratõuke lõpus on mäetingimustega sarnasemad võrreldes jooksujalanõudes tehtavate imitatsioonhüpetega (Virmavirta ja Komi, 2001(a)).

4. EMG ja tallaalune surve mäetingimustes ja imitatsioonhüpetel

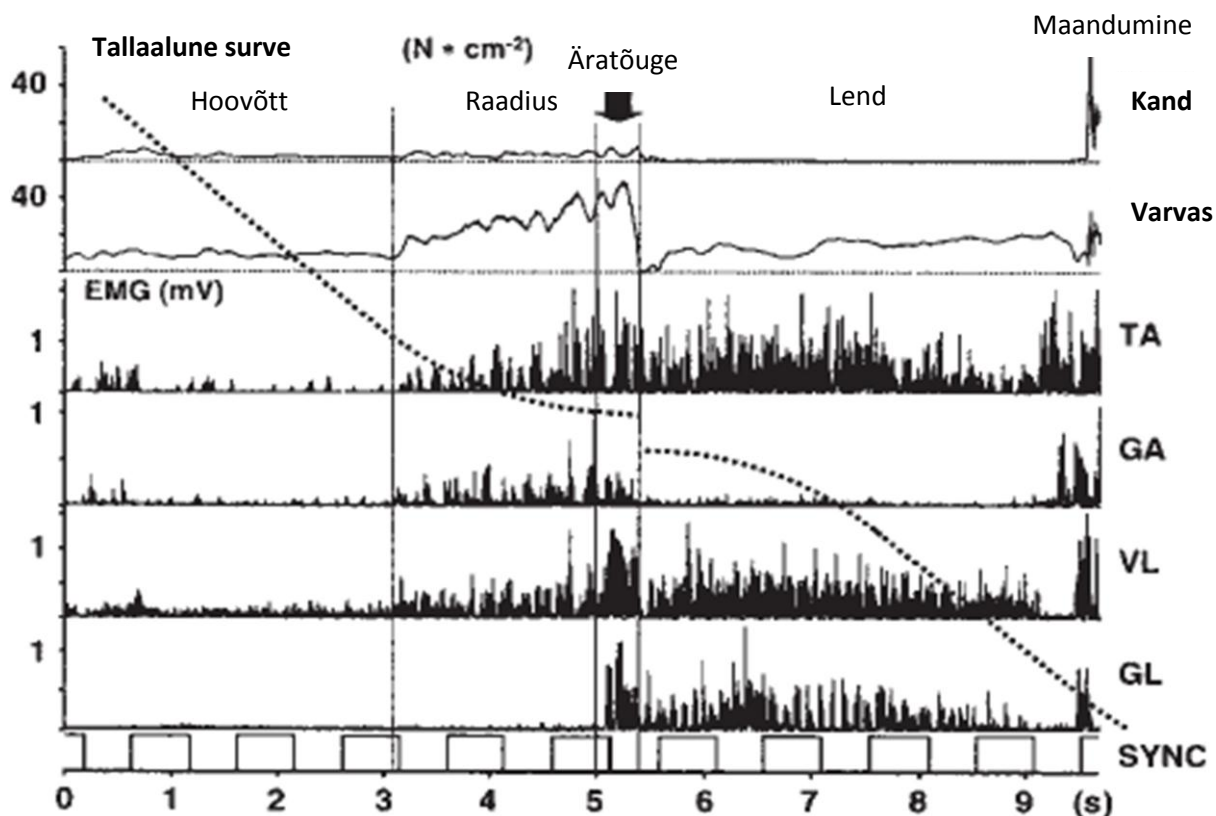
Hüppemäe tingimustes algab äratõuge hoovõtukaarel, kus hüppaja peab tsentrifugaaljõu põhjustatud lisaraskust kompenseerima lihasjõuga (Joonis 12). Lihase VL-i aktivatsioon hüppemäe tingimustes on võrreldes imitatsioonhüpetega suurem. Ka lihaste TA ja GA aktiivsus enne äratõuget eri tingimustes on erinev. Hüppemäel on antud lihased olulised hoovõtuasendi säilitamiseks ja seetõttu aktiivsed juba raadiuses (Joonis 12). Labori tingimustes aktiveerub TA tugevalt 750ms enne äratõuget hetkel, kui hüppaja liigutab oma keha ette selleks, et saavutada õige äratõuke suund (Lisa 5)(Virmavirta ja Komi, 2001(a)).

Kahanevat GA aktiivsust hüppemäe tingimustes äratõukel seletab vajadus tõmmata suusad õigesse lennuasendisse, mis saavutatakse põia painutusega (Joonis 12). Jäigad hüppesaapad ei lase kasutada põia sirutust äratõukel nii, nagu seda saab teha treeningjalanõudes imitatsioonhüpetel. Põlve- (VL) ja puusasirutajate (GL) töö on kiireneva liigutuse sooritamiseks äratõuke lõpupoole oluline. Antud lihaste töös ei esinenud suuri erinevusi eri tingimustes mõõdetutena (Lisa 5) (Virmavirta ja Komi, 2001 (a)).

Mäe tingimustes on äratõukele eelnevas hoovõtuasendis kand ja põiaosa survestatud oluliselt rohkem kui imitatsioonhüpetes. Äratõukel mäetingimustes on kand survestatud kogu äratõuke ulatuses (Joonis 12). Imitatsioonhüpetes äratõuke hilisemas faasis kannaalune survestatud ei ole (Lisa 5). Seda võib mõjutada asjaolu, et mäetingimustes on kannaalune päkaosast sõltuvalt suusasidemest 1-2 cm võrra kõrgemal, imitatsioonhüppeid tehti tasasel pinnal. Mõlemas tingimustes kasvab surve jala varbaosa all äratõuke lõpu suunas (Joonis 12)(Lisa 5). On teada, et põia sirutajalihastel on oluline roll vertikaalsel üleshüppel. Seetõttu kandub imitatsioonhüpetel surve tugevalt jalalaba varbaosale äratõuke hilisemas faasis (Lisa 5) (Virmavirta ja Komi, 2001(a)).

Kui survetsenter tallal liigub äratõuke alguses varvaste osale, põhjustab see sääre ette vajumist. Sellisel juhul toimub äratõuke hilisemas faasis vastupidine sääre tagasisuunaline liikumine. Selline sääre asendimuutus äratõukel ei võimalda toota jõudu tugipinna vastu ning hüppaja ei saavuta äratõukel küllaldast positiivset jõumomendi rakendust ega kõrgemat lennutrajektoori. See on levinumaid vigasid äratõuketehnikas suusahüpetes. Efektiivselt jõurakenduseks otsatasandikul on oluline säilitada surve mõlema jala talla varvaste ja kannaosaga all võimalikult kaua, et toetada põlve- ja puusasirutajalihaste jõurakendust äratõukel (Virmavirta ja Komi, 2001(c)).

Ilmesid suured erinevused imitatsioonhüpete ja hüppemäe tingimustes sooritatud äratõugete vahel (Lisa 5). Imitatsioonhüppeid võib siiski treeningus kasutada. Oluline on jälgida liigutustustreid, eriti anteroposterioorset tasakaalu imitatsioonhüpete äratõukel (Virmavirta ja Komi, 2001 (a)).



Joonis 12. Tallale mõjuv survejõud ja EMG (TA, GA, VL, GL) ajaliselt sünkroniseeritud hüppemäe profiiliga, hüppel kiirusega 25ms^{-1} pikkusega 113m (Virmavirta, 2000).

4.1 EMG ja tallaalune surve eri suurustega hüppemägedel

Tallaaluse surve ja lihasaktiivsuse näitajad on sarnased erinevate suurustega hüppemägedel (K 35, K 65, K 90). Tsentrifugaaljõud hoovõtu kaarel oli sarnane (hinnanguliselt 60% hüppaja kehamassist) kõikidel mägedel. Ajaliselt olid hüppajad hüppe otsa tasasel osal võrdse ajaga (hinnanguliselt 250 ms). Sellel tasandikul toimub äratõuge (Virmavirta jt., 2001(b)).

Võrdsed maksimaalse surve väärtused näitavad äratõugete sarnast pingutust eri suurusega mägedel. Ka peamiste äratõukel kasutatavate lihaste VL ja GL aktiivsus ja töösse lülitumise ajastus oli eri mägedel sarnane (Virmavirta jt., 2001(b)).

Võib järeldada, et äratõuke ajastus ei muutu, kui minna väikeselt mäelt suurele. Suurel mäel tuleb äratõuget alustada varem mitte ajalises vaid distansilises mõttes. Näib, et suusahüppetreening väikestel mägedel ei häiri suurel mäel kujunenud liigutuse mustrit, ning väikeste mägede kasutamine spetsiaalseks äratõuketreeninguks võib olla madalate kiiruste tõttu kasulik (Virmavirta jt., 2001(b)).

Kokkuvõte

Suusahüpete tehnika iseärasuste uurimisel on oluline määrata täpsed liikumist kirjeldavad biomehaanilised näitajad, mis iseloomustavad nii hüppaja kinemaatilisi- kui ka dünaamilisi karakteristikuid ning lisaks hinnata samas lihasaktivatsiooni määravad näitajad (Schwameder jt., 2008).

Zanevskyy ja Banakh (2010) leidsid, et 53% hüppe pikkusest sõltub äratõuke-eelsest hoovõtuasendist ja järele jääv 47% muudest faktoritest. Sügavam hoovõtuasend võimaldab pikemaid hüppeid (Janura jt., 2010; Zanevskyy ja Banakh 2010; Vormavirta ja Komi 1993(b)).

Erinevate profiilide ja raadiustega hüppemäed muudavad äratõuke keeruliseks ning komplitseerituks. Üleminek raadiusest otsatasandikule on oluline, kuna ta avaldab mõju äratõukeajastusele ning lihaskoordinatsioonile. Peamine mõju tuleneb tsentrifugaaljõu kadumisest raadiusest otsatasandikule jõudmisel (Vormavirta ja Komi, 2001 (c)). See, mis toimub suusahüppajaga hoovõtukaarel, mõjutab otseselt suusahüppaja äratõuke lähteasendit, ja seeläbi ka äratõuget (Ettema jt., 2005).

Äratõukefaas on väga lühike (tõukeliigutus keskmiselt 300 ms) ja tegevus toimub suurtel (25m/s) kiirustel. Äratõuke eesmärk on tõsta KRK-t ning saavutada positiivne jõumomendi rakendus (Schwameder, 2008). Optimaalne jõumomendi rakendus annab äratõukele õige plahvatusliku ja aerodünaamiliste äratõukeparameetrite omavahelise suhte. Optimaalne jõumomendi rakendus kindlustab kompaktse varajase lennuasendi ja seega ka vajalikud tõste- ja tõmbejõud optimaalseks lendamiseks (Brüggemann, 2006). Hüppaja äratõukejõudude suurus ja suund on hüppe võtmekohad (Schwameder, 2008). Suurenev jõu-arendus otsatasandiku lõpu suunas iseloomustab tippklassi suusahüppajat MN-i (Vormavirta ja Komi, 1994). Väga hea hüppevõime lubab sportlasel korrigeerida väiksemaid tehnikavigu enne äratõuget, mis võimaldab hüppata heal tasemel stabiilsemalt (Müller, 2009).

Suurel määral iseloomustab eliitgrupi hüppajate äratõuget väiksem kere nurk horisontaaltasapinna suhtes. Eliithüppajate väiksem sääre- ja kere nurk horisontaaltasapinna suhtes võimaldab KRK-t äratõukel rohkem ette viia ning parimate hüppajate KRK liigub äratõuke ajal ja ka 5 m pärast äratõukelava lõppu märkimisväärselt rohkem ette võrreldes nõrkade hüppajatega (Janura jt., 2011). Normaalmäe OM võistlust uurides ilmnesid suured sportlastevahelised erinevused äratõuke ülakehatöös ning häid tulemusi saavutati erineva tehnikaga. Kindlasti tuleks läheneda igale sportlasele individuaalselt (Vormavirta jt., 2009). Äratõuke optimeerimine ei pruugi tähendada kompromissi ballistiliste ja aerodünaamiliste

faktorite vahel. Lihtne äratõukeinstruktsioon on, et hüppaja peaks hoidama ülakeha võimalikult madalana ning kiirendama seda äratõukel liikumise suunas (jalalaba suhtes) nii palju kui võimalik (Virmavirta ja Komi, 1993(b)).

Efektiivseks jõutootmiseks otsatasandikul on oluline säilitada surve mõlema, jalatalla päka- ja kannaosas all võimalikult kaua, et toetada põlve- ja puusa sirutajalihaste tööd äratõukel. (Virmavirta ja Komi, 2001(c)).

Imitatsioonhüppeid võib treeningus kasutada. Põlve- (VL) ja puusa sirutajalihaste (GL) aktivatsioonis ei esinenud suuri erinevusi eri tingimustes mõõdetuna. Oluline on jälgida liigutismustreid, eriti anteroposterioorset tasakaalu imitatsioonhüpete äratõukel. Soovitatav on teha imitatsioonhüppeid hüppesaabastega (Virmavirta ja Komi, 2001(a)).

Lihaskaktivatsioon, maksimaalse surve väärtused ning otsatasandikul viibitud aeg on K 35, K 65 ja K 90 meetri mägedel sarnane. Suusahüppetreening väikestel mägedel ei häiri suurel määral kujunenud liigutsumustrit ning väikeste mägede kasutamine spetsiaalseks äratõuketreeninguks võib olla madalate kiiruste tõttu kasulik (Virmavirta jt., 2001(b)).

Suurepärase suusahüppaja äratõuketehnikale iseloomulik käe painutamine küünarliigesest äratõuke algfaasis tekitas minus küsimusi. Otseselt ei öeldud üheski kirjandusallikas, et selline liigutus mõjutab äratõuget positiivselt. Samas suutis antud tehnikat kasutanud hüppaja suurendada jõuarendust äratõuke lõpusuunas ning tema KKK liikus äratõukel oluliselt ette. Säärenurk äratõukel muutus vähe ning ülakeha avanes alles tõuke lõppfaasis. Tema dünaamiliste ja kinemaatiliste parameetrite põhjal otsustati, et äratõuke optimeerimine ei pruugi tähendada kompromissi ballistiliste ja aerodünaamiliste faktorite vahel vaid on võimalik sooritada tugev äratõuge ning suurendada keha horisontaalset kiirust samaaegselt. Usun, et käe painutus küünarliigesest äratõuke algfaasis aitab seda saavutada, kuid antud küsimus nõuab põhjalikku edasist uurimist.

Kasutatud kirjandus

1. Brüggemann, G.P. Ski Jumping: Tradition of Research During the Winter Olympic Games- Challenges and Major Observations. Linnanmo, V., Komi, P.V., Müller, E. Congress proceedings : International Congress on Science and Nordic Skiing, June 18.-20.2006, Vuokatti, Finland; Vuokatti Sports Institute; 2006; 38.
2. Bösl, P., Schwirtz, A., Rott, F., Großgebauer, j. Comparison of Lower Limbs Strenght Abilities Between Athletes in Ski Jumping and Nordic Combined. Linnanmo, V., Komi, P.V., Müller, E. Congress proceedings : International Congress on Science and Nordic Skiing, June 18.-20.2006, Vuokatti, Finland; Vuokatti Sports Institute; 2006; 38.
3. Chardonens, J., Favre, J., Callennec, B., Cuendet, F., Gremion, G., Aminian, K. Automatic measurement of key ski jumping phases and temporal events with a wearable system. *Journal of Sports Sciences*, 2012; 30 (1): 53-61.
4. Ettema, G., Bråten, S., Bobbert, M.F. Dynamics of the In-Run in Ski Jumping: A Simulaiton Study.*Journal of Applied Biomechanics*, 2005; 21: 247-259.
5. Ettema, G., Bråten, S., On the Role of the Location of the Centre of Mass in Ski Jumping. Linnanmo, V. Komi, P.V., Müller, E. Congress proceedings : International Congress on Science and Nordic Skiing, June 18.-20.2006, Vuokatti, Finland; Vuokatti Sports Institute; 2006; 38.
6. Hermsdorf, H., Hildebrand, F., Hoffmann, N., Müller, S. JUMPICUS-Computer Simulation in Ski Jumping (P95). Estivalet, M., Brisson, P. *The Engineering of Sport 7, Vol.1.* Springer-Verlag France, Paris, 2008; 491-497.
7. Janura, M., Cabell, L., Elfmark, M., Vaverka, F. Kinematic characteristics of the Ski Jump Inrun: A 10-Year Longitudinal Study. *Journal of Applied Biomechanics*, 2010 ; 2 : 196-204.
8. Janura, M., Cabell, L., Svoboda, Z., Elfmark, M., Zahalka, F. Kinematic Analysis of the Take-Off and Start of the Early Flight Phase on a Large Hill (HS-134m) during the 2009 Nordic World Ski Championships, *Journal of Human Kinetics*, 2011; 27: 5-16.
9. Müller, E., Benko, U., Raschner, C., Schvameder, H. Specific fitness training and testing in competitive sports. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1998; 216-220.

10. Müller, W. Determinants of Ski-Jump Performance and Implications for Health, Safety and Fairness, *Sports Med*, 2009; 39 (2): 85-106
11. Schwameder, H. Biomechanical Issues in Ski Jumping. Linnamo, V., Komi, P.V., Müller, E. Congress proceedings : International Congress on Science and Nordic Skiing, June 18.-20. 2006, Vuokatti, Finland; Vuokatti Sports Institute; 2006; 36.
12. Schwameder, H. Biomechanics research in ski jumping, 1991-2006, *Sports Biomechanics*, 2008; 7:1, 114-136
13. Schwameder, H., Müller, E., Stöggl, T., Lindinger, S. Methodology in Alpine and Nordic skiing biomechanics. Hong Y, Bartlett R. Routledge Handbook of Biomechanics and Human Movement Science: Routledge; 2008; 182-196.
14. Zanevskyy, I., Banakh, V. Dependence of ski jump length on the skier's body pose at the beginning of take-off. *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 2010; Vol. 12, No.4,
15. Virmavirta, M., Komi, P. Measurement of take-off forces in ski jumping, Part I, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 1993(a); 3: 229-236.
16. Virmavirta, M., Komi, P. Measurement of take-off forces in ski jumping, Part II, *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 1993(b); 3 : 237-243.
17. Virmavirta, M., Komi P. Takeoff Analysis of a champion ski jumper, *Coaching & Sport Science Journal*, 1994; 1: 23-27.
18. Virmavirta, M. Limiting Factors in Ski Jumping Take-off. Jyväskylä: Jyväskylä University Printing House ja ER-Paino Ky; 2000.
19. Virmavirta, M., Komi, P.V. Plantar pressure and EMG activity of simulated and actual ski jumping take-off, *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2001(a); 11: 310-314.
20. Virmavirta, M., Komi, P. V. Ski jumping boots limit effective take-off in ski jumping. *Journal of Sports Sciences*, 2001(b); 19 (12): 961-968.
21. Virmavirta, M., Komi, P. Factors Influencing the „Explosivness“ of Ski Jumping Take Off. Müller, E., jt., Science & Skiing II. International Congress on Science and Skiing, St. Christoph a. Arlberg, Austria. Hamburg: Kovač; 2001(c); 15-29.

22. Virmavirta, M., Kivekäs, J., Komi, P. Take-off aerodynamics in ski-jumping, *Journal of Biomechanics*, 2001(a); 34: 465-470.
23. Virmavirta, M., Perttunen, J., Komi, P. V. EMG activities and plantar pressures during ski jumping take-off on three different sized hills, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2001(b); 11: 141–147.
24. Virmavirta, M., Isolehto, J., Komi, P., Schwameder, H., Pigozzi, F., Massazza G. Take-off analysis of the Olympic ski jumping competition (HS-106m), *Journal of Biomechanics*, 2009; 42: 1095-1101.
25. Virmavirta, M., Kivekäs, J., Komi, P. Ski Jumping Takeoff in a Wind Tunnel With Skis. *Journal of Applied Biomechanics*, 2011; 27: 375-379.
26. Vodicar, J., Jost, B. The Factor Structure of Chosen Kinematic Characteristics of Take-Off in Ski Jumping, *Journal of Human Kinetics*, 2010; 23: 37-45.

The description of biomechanical characteristics during ski jumping take-off

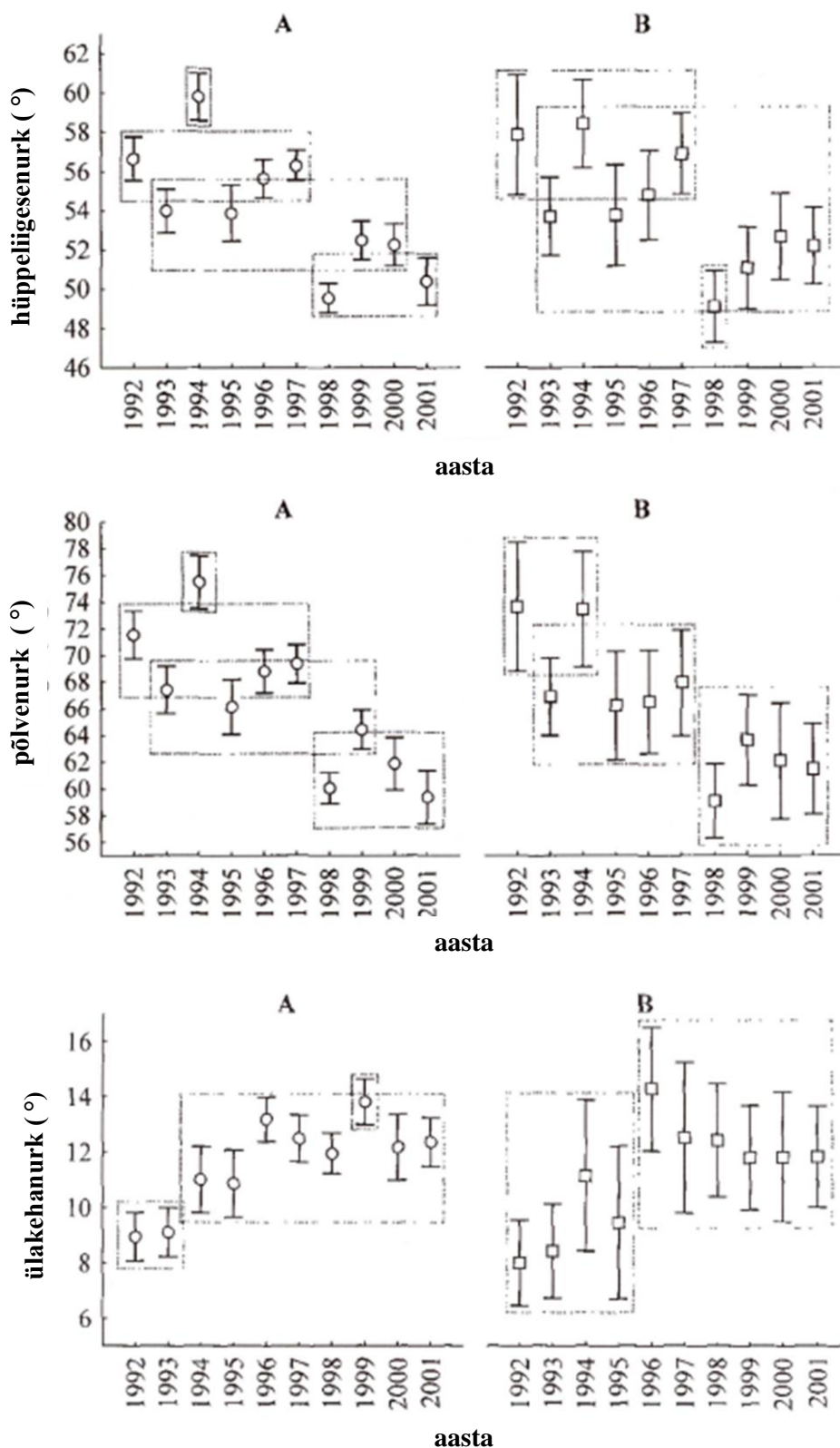
Summary

Inrun position has great effect on ski jumping take-off and distance. Deeper inrun position allows longer jumps. Different ski jumping hills with different inrun curves make it hard to perform a good take-off on take-off table. Transition from inrun curve to take-off table is a crucial part in terms of take-off. It has a great influence on timing and muscle activation of take-off. The disappearance of centrifugal force on the beginning of take-off table makes it complicated to remain proper inrun position before the initial take-off. Some authors have discussed that ski jumping take-off starts already at the end of the inrun curve with the higher activation in leg muscles.

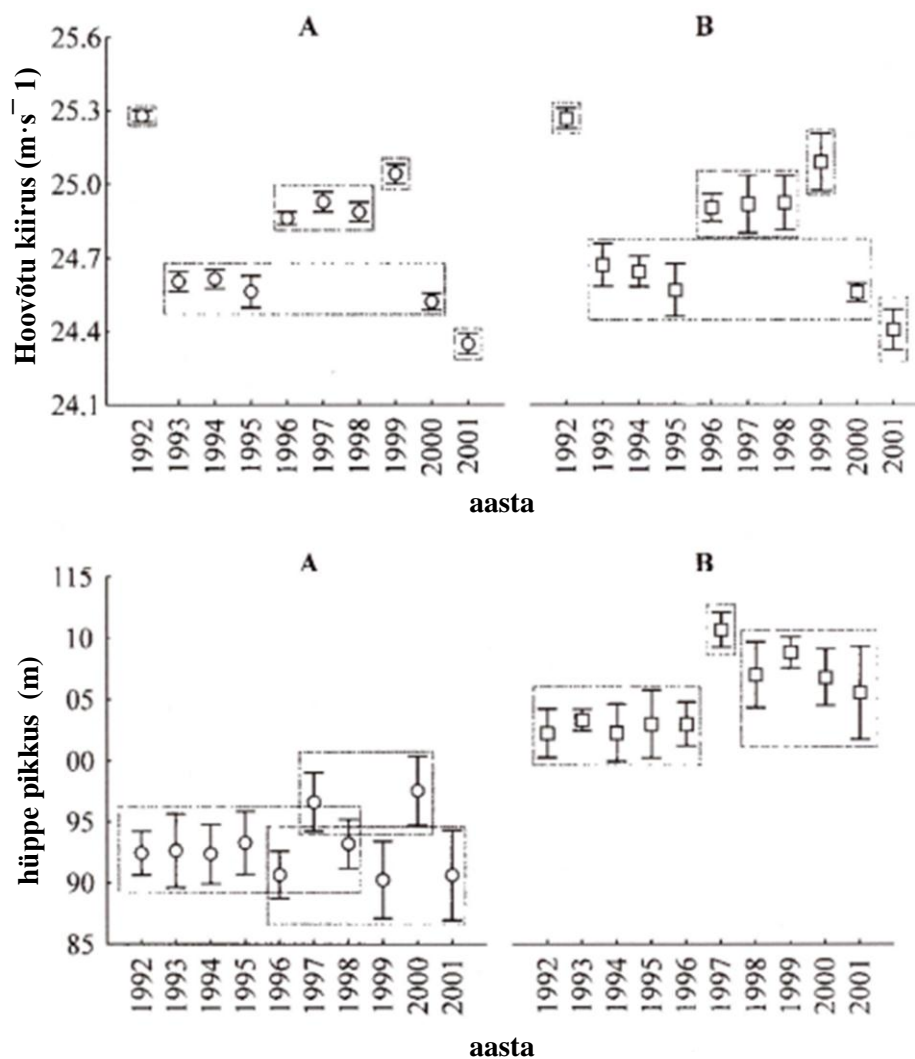
Take-off on the take-off table is performed at high speed in only 300ms of time. Its purpose is to rise ski jumpers center of gravity and gain optimal forward rotating angular momentum at the same time. The power and direction of take-off forces are key factors in ski jumping performance. It is important to increase force-production towards the end of take-off table.

On the big hill, elite ski jumpers have smaller upper body angle relative to horizontal level at the end of take-off when compared to poor jumpers. Also their center of gravity accelerates more forward on the take-off table and continues to accelerate in the beginning of early flight. During the normal hill competition in Turin Olympic Games high-leveled ski jumpers showed different upper-body work at the take-off. It shows that ski jumping technique at the take-off table is individual. Still, for the optimal take-off the compromise in between aerodynamic and ballistic parameters may not be necessary. It is important to accelerate the upper-body as much as possible in direction of motion during the take-off.

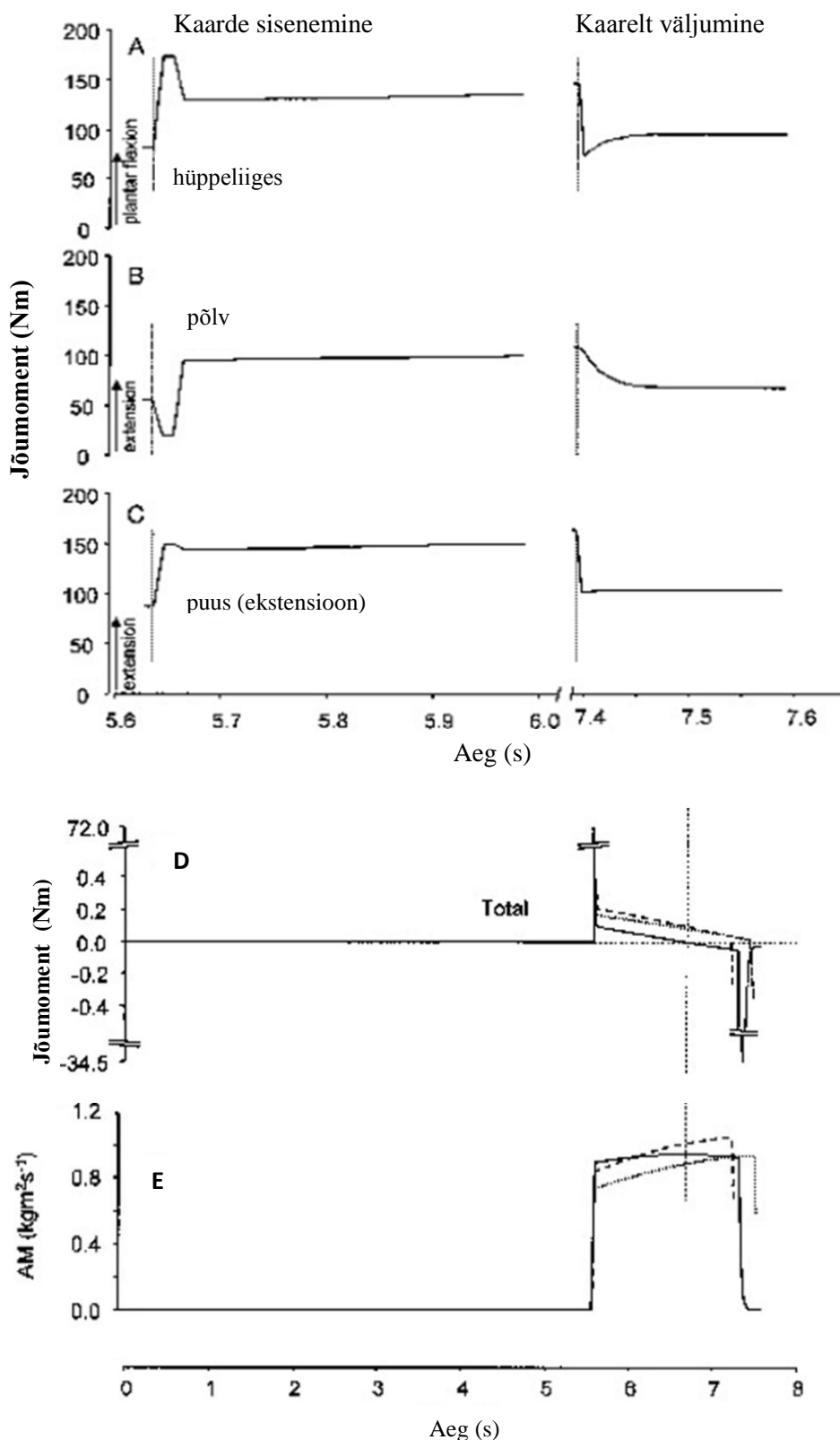
When performing simulation jumps, it is important to pay attention to anteroposterior movement. Plantar pressure should be on both, toe and heel part of the foot as long as possible during the takeoff. Take-off movements in different sized hills are similar in terms of muscle activation, plantar pressure and take-off time.



Hüppeliigese-, põlve- ja kere nurga graafikud 10 aasta jooksul. (A) kõik hüppajad, (B) parimad hüppajad (Janura jt., 2010).



Hoovõtu kiiruse ja hüppe pikkuse graafikud 10 aasta jooksul. (A) kõik hüppajad, (B) parimad hüppajad (Janura jt., 2010).

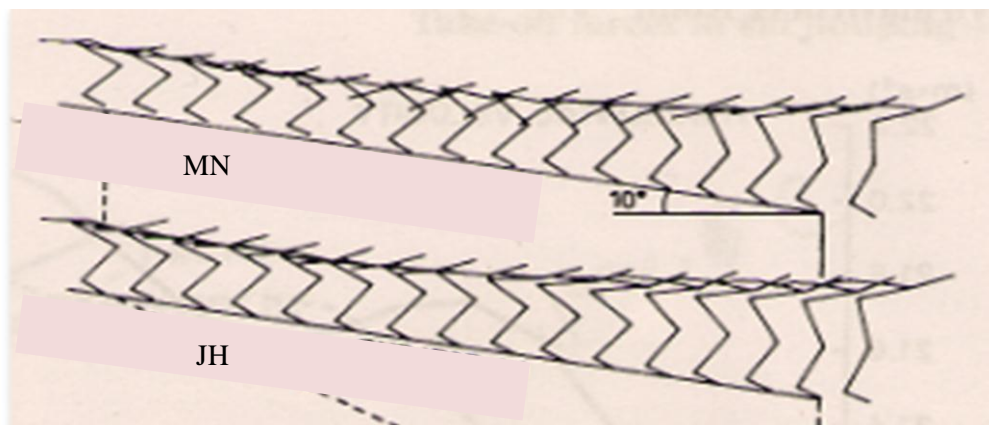


(A)(B)(C) Jõumomendid K 120 m mäel vahetult pärast kaarde sisenemist ja kaarelt väljumist (Ettema jt., 2005).

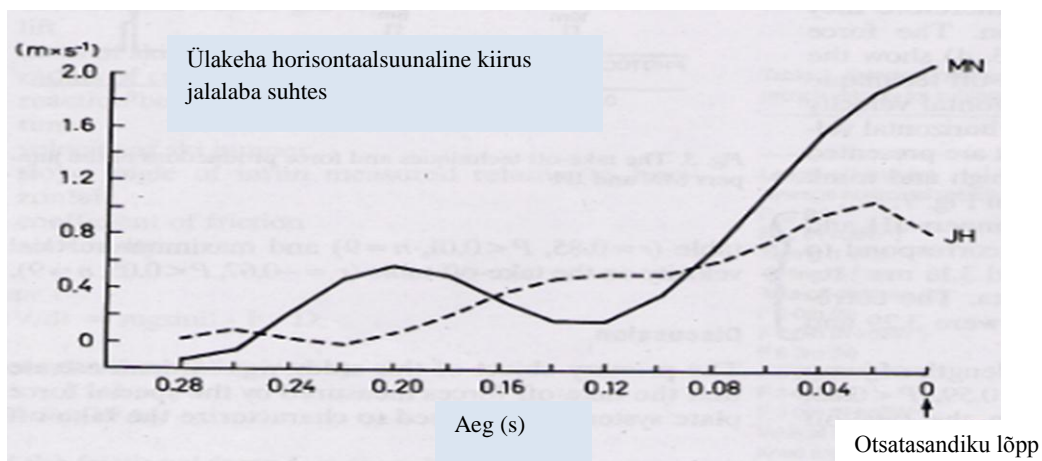
(D) Väline jõumoment; surve-, pidurdus- ja liugehõõrde jõu summa.

(E)impulsimoment: $AM(\text{kgm}^2\text{s}^{-1})$.

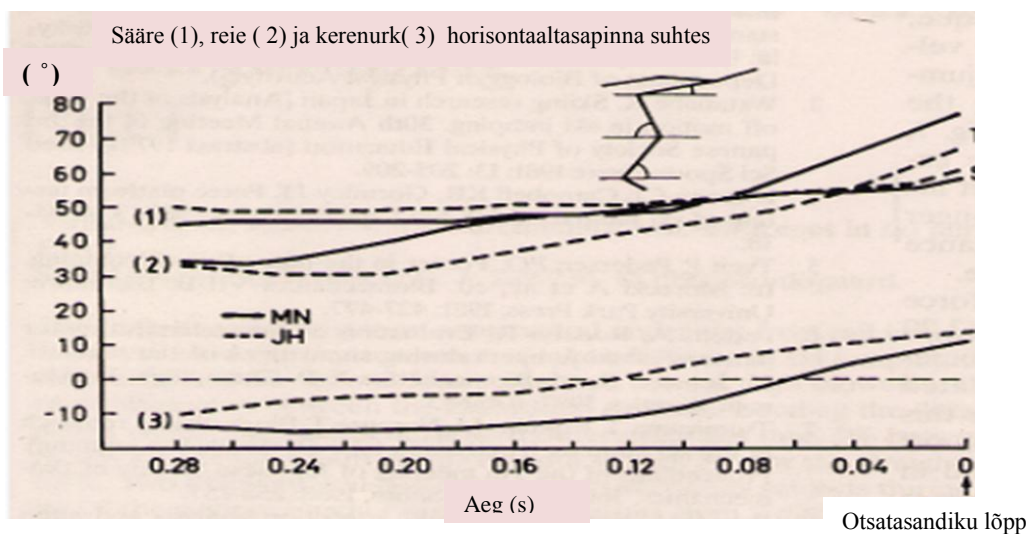
Kaarde sisenemine ja väljumine on märgitud vertikaalse punktjoonega.



A. MN-i painutus küünarliigesest äratõukel võrdluses JH-ga.

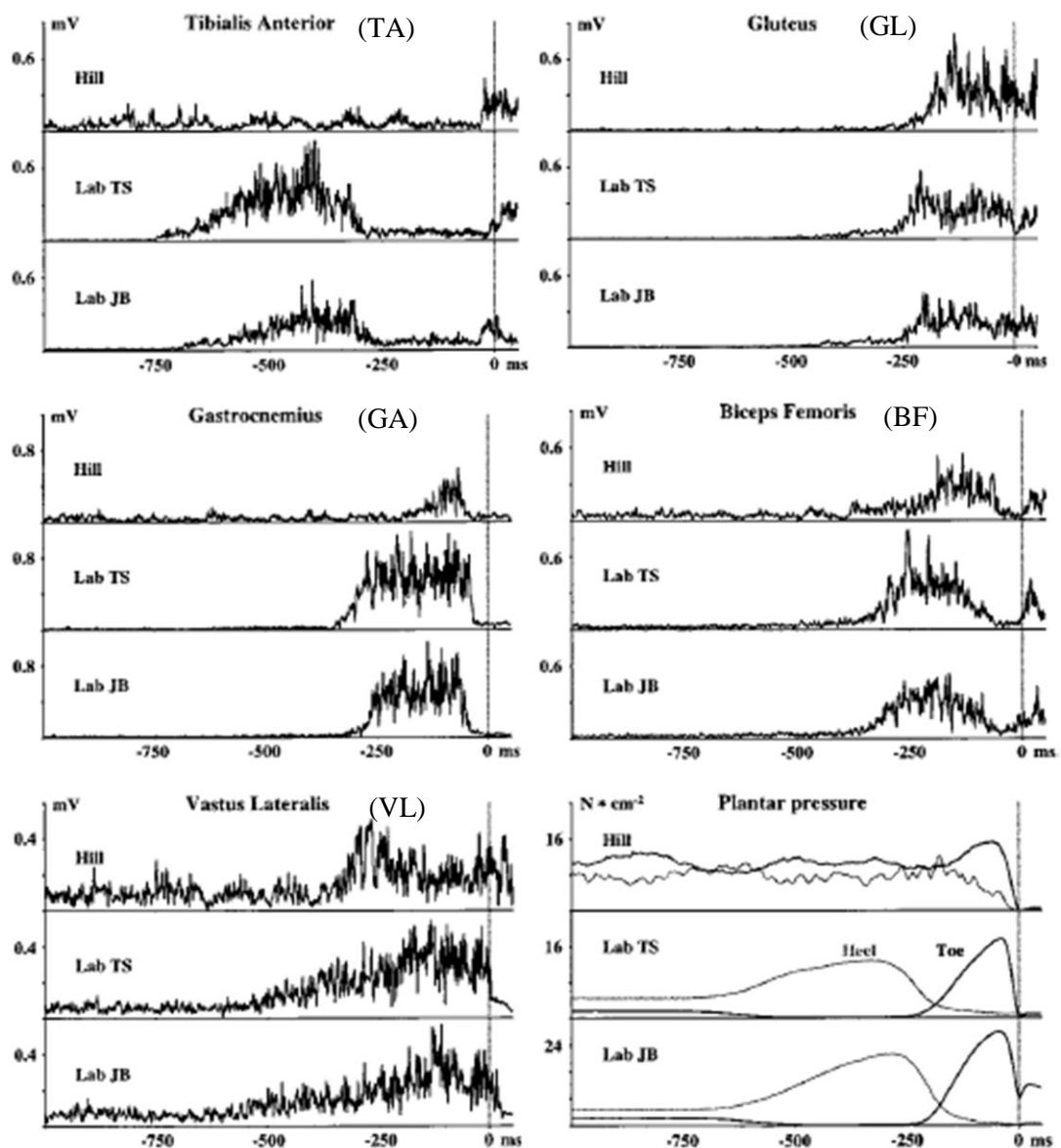


B. MN-i ja JH ülakeha horisontaalsuunaline kiirus jala labaosa suhtes äratõukel



C. MN-i ja JH sääre-, reie- ja kere nurkade muutused äratõukel

(Virmavirta ja Komi, 1993(a)).



Suurepärase suusahüppaja EMG aktiivsus ja Tallaalune surve kolmes eri tingimuses. *Hill*- hüppemäetingimused; *Lab TS*- imitatsioonhüpe jooksujalanõudes; *Lab JB*- imitatsioonhüpe hüppesaabastega; *Plantar pressure*- tallaalune surve; *Heel*- kand; *Toe*- varvas; Null ajaskaalal märgib otsatasandiku lõppu hüppemäetingimustes ja maakontaktilõppu imitatsioonhüpetel.

(Virmavirta ja Komi, 2001(a))

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Mats Piho

sünnikuupäev: 20.01.1990

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Äratõuget iseloomustavate biomehaaniliste karakteristikute iseloomustus suusahüppel ,

mille juhendaja on Jaan Ereline,

- 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 17.05.2013