

Erik Trøen

---

## Effekten av ulik stavlengde på langrennsprestasjon på snø

---

Masteroppgave i idrettsvitenskap  
Seksjon for fysisk prestasjonsevne  
Norges idrettshøgskole, 2017

---



## Sammendrag

**Innledning:** Staking er i dag en hovedteknikk i klassisk langrenn. Ettersom all fremdriftskraft må gå gjennom stavene, har stavenes egenskaper trolig stor innvirkning på prestasjonen. Stavlengden har de siste 2-3 årene fått stor oppmerksomhet, både blant forskere og utøvere. Litteraturen har gjennomgående vist at lengre staver (+7,5-10 cm) enn selvvalgt lengde (~84% av kroppshøyden) bedrer arbeidsøkonomi og prestasjon i staking. Effekten ses på alle helningsgrader, men synes størst i motbakke. Allikevel er studier på dette området kun gjennomført inne på rulleskimølle og kunnskapen om hvordan stavlengden vil påvirke prestasjon ute på snø i en konkurransesituasjon er foreløpig uviss. Hensikten med dette prosjektet var derfor å undersøke hvordan to ulike stavlengder, 84 % (SL<sup>84%</sup>) og 90 % (SL<sup>90%</sup>) av kroppshøyden, vil påvirke prestasjonen i en konkurranselignende løype på snø med varierende terreng.

**Metode:** Tjueen langrennsutøvere (7 kvinner og 14 menn) ble rekruttert (20 ± 4 år, 68,3 ± 8,5 kg, 176 ± 9 cm, 68,9 ± 7,2 ml·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>). Forsøkspersonen gjennomførte til sammen fire drag (~700m, 1,5-2 min, ~20 min pause), to med SL<sup>84%</sup> og to med SL<sup>90%</sup>, i en counterbalansert rekkefølge. Under drag 1 og 2 var kun staking tillatt, under drag 3 og 4 var valgfri klassisk teknikk tillatt. Mellomtider i 7 ulike segment delt inn etter terreng ble analysert. Hastighet ble målt kontinuerlig med GPS.

**Resultater:** Ved staking viste SL<sup>90%</sup> en signifikant høyere hastighet i motbakke enn SL<sup>84%</sup> hos begge kjønn (p<0,05), men effekten var større og varte over en lengre distanse hos kvinner kontra menn. SL<sup>84%</sup> viste en statistisk signifikant høyere hastighet i flatt terreng enn SL<sup>90%</sup> hos menn (p<0,05). Ingen signifikant forskjell i valg av klassisk teknikk mellom stavene (p>0,05).

**Konklusjon:** Hovedfunnene viste at SL<sup>90%</sup> ga en bedre prestasjon i motbakke. I flatt terreng ga SL<sup>84%</sup> en bedret prestasjon hos menn, utover det ingen forskjell. Utøverne kan dermed potensielt gå raskere med lengre staver i løyper med mye motbakke, mens det i flate løyper trolig ikke vil være noen forskjell. Samtidig har ikke de raskeste løperne like stor effekt som de mindre raske løperne, og i flate løyper kan SL<sup>84%</sup> trolig gi bedre prestasjon for disse. Valg av stavlengde blir dermed en del av den taktiske vurderingen i henhold til løypeprofil og individuelle preferanser.



## Forord

Langrenn har alltid fattet min interesse, derfor har arbeidet med denne oppgaven det siste året vært utrolig spennende. Jeg har vært heldig som har vært omgitt av så mange flinke personer og er veldig takknemlig for all hjelp jeg har fått.

Aller først vil jeg takke hovedveileder Thomas Losnegard. Det var du som kom med ideen til oppgaven, så uten deg og ditt engasjement og interesse hadde resultatet blitt noe annet. Du har latt meg arbeide med frie tøyler, samtidig som du har fått meg på rett kjørl når fokuset har vært på litt feil sted, det har hjulpet mye. Tusen takk for all hjelp!

Biveileder Bjarne Rud vil jeg også rette en stor takk til. Det var du som fikk meg til å starte på NIH for 5 år siden, noe jeg ikke angreer på i dag, og du fattet min interesse for idrett og hva som ligger bak en idrettsprestasjon. Hjelpen jeg har fått rundt denne oppgaven har også vært unik. Dine ideer og engasjement har løftet oppgaven flere hakk. Må også takke for programmeringen av teknikkanalyseprogrammet, tusen takk!

Takk til Matthias Gilgien som har hjulpet meg mye med GPS-utsyr. Setter stor pris på tilliten og hjelpsomheten du har vist meg gjennom dette prosjektet. Takk til Svein Leirstein for opplæring på fyslaben. Vil også takke Håvard Myklebust og Øyvind Gløersen for interessante og spennende diskusjoner.

Må også rette en stor takk til Camilla Carlsen, Ola Kristoffer Tosterud og Øyvind Karlsson. Gjennom hele året har vi hatt gode diskusjoner og deres hjelp under datainnsamlingen var uunnværlig.

Tilslutt må jeg selvsagt takke alle forsøkspersonene! Uten dere hadde det ikke blitt noe forsøk. Forsøk i felt er ofte mer krevende, men dere viste stor tålmodighet og fleksibilitet. Tusen takk!

*Erik Trøen*

NIH, Oslo, mai 2017

# Innholdsfortegnelse

<b>Sammendrag</b> .....	<b>III</b>
<b>Forord</b> .....	<b>V</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>VI</b>
<b>1. Innledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Problemstilling</b> .....	<b>3</b>
1.1.1 Hypoteser.....	3
<b>2. Teori</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 Prestasjon i langrenn</b> .....	<b>5</b>
2.1.1 Energiomsetning og arbeidsøkonomi .....	5
2.1.2 Effektivitet i klassisk langrenn .....	6
<b>2.2 Staking</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Staking i motbakke kontra flatt.....	7
2.2.2 Stavlengden i klassisk langrenn.....	8
<b>2.3 Teknikkvalg i klassisk langrenn</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4 Langrennsforskning i felt</b> .....	<b>11</b>
2.4.1 Posisjonsbestemmende systemer .....	13
2.4.2 Inertial Measurement Unit.....	14
2.4.3 IMU og GPS i langrennsforskning .....	14
<b>2.5 Oppsummering</b> .....	<b>15</b>
<b>3. Metode</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Deltakere</b> .....	<b>17</b>
<b>3.2 Design</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3 Testbeskrivelser</b> .....	<b>19</b>
3.3.1 Pilottesting .....	19
3.3.2 Klargjøring av testtrasé og FP .....	20
3.3.3 Oppvarming .....	21
3.3.4 Friksjonstest.....	21
3.3.5 Test .....	22
3.3.6 GPS-målinger av løypa.....	22
3.3.7 VO <sub>2maks</sub> løping.....	23
<b>3.4 Utstyr</b> .....	<b>24</b>
<b>3.5 Behandling av data</b> .....	<b>25</b>
3.5.1 Tidsanalyser .....	25
3.5.2 Hastighetsanalyser .....	26
3.5.3 Teknikkanalyser.....	26

3.5.4	Analyse av løype.....	26
3.5.5	Friksjonstest.....	27
<b>3.6</b>	<b>Statistikk.....</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>Resultater.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Tidsanalyser.....</b>	<b>29</b>
4.1.1	Staking.....	29
4.1.2	Valgfri teknikk.....	31
<b>4.2</b>	<b>Hastighetsanalyser.....</b>	<b>32</b>
4.2.1	Staking.....	32
4.2.2	Valgfri teknikk.....	34
<b>4.3</b>	<b>Teknikkanalyser.....</b>	<b>35</b>
4.3.1	Teknikkfordeling.....	35
4.3.2	Temporale karakteristikker.....	36
<b>4.4</b>	<b>Subjektive mål.....</b>	<b>39</b>
<b>4.5</b>	<b>Hjertefrekvensdata.....</b>	<b>39</b>
<b>5.</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>Effekten av stavlengde.....</b>	<b>41</b>
<b>5.2</b>	<b>Mulige mekanismer bak forskjell i stakprestasjon.....</b>	<b>44</b>
<b>5.3</b>	<b>Metodiske betraktninger.....</b>	<b>45</b>
<b>5.4</b>	<b>Praktisk betydning for langrennsutøvere.....</b>	<b>48</b>
<b>5.5</b>	<b>Begrensninger ved prosjektet.....</b>	<b>49</b>
<b>6.</b>	<b>Konklusjon.....</b>	<b>51</b>
	<b>Referanser.....</b>	<b>52</b>
	<b>Tabelloversikt.....</b>	<b>57</b>
	<b>Figuroversikt.....</b>	<b>58</b>
	<b>Forkortelser.....</b>	<b>60</b>
	<b>Vedlegg.....</b>	<b>61</b>
	Vedlegg I.....	61
	Vedlegg II.....	66
	Vedlegg III.....	67
	Vedlegg IV.....	68





# 1. Innledning

I de siste tiårene har det skjedd store endringer i langrenn. Nye konkurranseformer har blitt introdusert (sprint og fellesstart), løypene har endret seg med bedre preparering, endret profil og bredde, samt forbedret utstyr og preparering (Holmberg, Lindinger, Stoggl, Eitzlmair, & Muller, 2005; Saltin, 1997; Sandbakk & Holmberg, 2014). Disse endringene har ført til en betydelig økning i gjennomsnittshastighet de siste 15-20 årene (Losnegard, 2013). I klassisk langrenn er staking den teknikken som er mest brukt i høye hastigheter (Hoffman et al., 1994), og med økende gjennomsnittshastighet har staking i dag blitt hovedteknikken i klassisk langrenn (Hansen & Losnegard, 2010; Holmberg et al., 2005). En slik utvikling har naturlig nok økt fokuset på hvordan staking utføres, og derigjennom hevet prestasjonsnivået (Holmberg et al., 2005; Saltin, 1997; Stoggl & Holmberg, 2016). I de siste årene har ikke staking kun blitt brukt i flatt terreng, men utøverne velger også å gå på ski uten festesmurning slik at hele løypa stakes. Det ble først sett i sprint, deretter i langløp, som for eksempel Marcialonga og Vasaloppet. Senere så man det også i distanselangrenn selv om løypene der ofte er mer kuperte sammenliknet med langløp, ettersom regelverket sier at distanseløypene må inneholde 1/3 flatt, 1/3 nedover og 1/3 motbakke (FIS, 2016). I sesongen 2014/15 ble staking uten festesmurning benyttet i distanserenn med stor suksess (Stoggl & Holmberg, 2016).

Litteraturen viser allikevel at diagonalgang er mer arbeidsøkonomisk enn staking når stigningen er over  $4^\circ$  (Pellegrini et al., 2013). At utøvere likevel velger å stake hele løypa uten festesmurning og med suksess, indikerer at fordelene man har under staking i lettere terreng, på grunn av lavere friksjon, utjevner bakdelene i bratt motbakke. Flere studier viser at staketeknikken endrer seg i motbakke kontra flatt (Carlsen, 2016; Millet, Hoffman, Candau, & Clifford, 1998; Stoggl & Holmberg, 2016). Staking er derfor ikke kun én teknikk, men et spekter av ulike sub-teknikker som utøverne benytter i henhold til terrenget, og det blir dermed ulike faktorer som begrenser prestasjonen i motbakke kontra flatt.

Det vil være nærliggende å tro at stavenes egenskaper, som lengde, vekt, stivhet og pendel vil påvirke arbeidsøkonomien til utøveren (Nilsson, 2008; Stoggl & Karlof, 2013), ettersom all fremdriftskraft i staking må gå gjennom stavene (Nilsson, 2008).

Gjennom økt stakefokus har stavenes egenskaper fått stor oppmerksomhet hos utøverne, og spesielt betydningen av stavlengden (Aftenposten, 2015). I klassisk langrenn ligger den selvvalgte (SV) stavlengden på ~84 % av kroppshøyden hos eliteutøvere (Carlsen, 2016; Hansen & Losnegard, 2010; Losnegard et al., 2017). Flere studier det siste tiåret indikerer at lengre staver i staking (+7,5-10 cm i forhold til SV) gir en positiv effekt på arbeidsøkonomi, spesielt i motbakke, samt akselerasjon under en flat stakespurt (Carlsen, 2016; Hansen & Losnegard, 2010; Losnegard et al., 2017; Nilsson, Jakobsen, Tveit, & Eikrehagen, 2003; Onasch, Killick, & Herzog, 2016). På flater er funnene noe mer usikre. Upubliserte data fra forsøk ute på snø indikerer at lange staver lønner seg i motbakke, mens man kan tape tid på flater og i høye hastigheter (Losnegard, 2016). Tilbakemeldinger fra utøvere og hva som blir brukt i konkurranse støtter dette. I konkurranser med mange høydemeter velger utøverne ofte lengre staver, i tillegg er det sett at løperne ofte bytter til lengre staver før de går inn i bratte motbakker (Langrenn.com, 2016).

Vi ser altså en tendes til at lengre staver enn SV både kan gi bedret arbeidsøkonomi, spesielt i motbakke, men også at lengre staver muligens kan ha negative konsekvenser når hastighetene blir høye. Det Internasjonale Skiforbundet (FIS) kom høsten 2016 med en endring i regler om stavlengder. Fra og med sesongen 16/17 er den maksimalt tillatte stavlengden i klassisk langrenn (målt fra trinse til feste for stropp) 83 % av kroppshøyden inkludert skisko (FIS, 2016). Hensikten med regelendringen er bevaring av diagonalgang i klassisk langrenn og å styre utøverne til å benytte ski med festesmurning. Dette er med på å understreke hvilken effekt stavlengde har på staking. De fleste studiene på stavlengdens betydning er imidlertid gjort inne på rulleskimølle, og overføringsverdien av funnene til snø kan derfor være noe begrenset (Losnegard, Myklebust, & Hallen, 2012). Effekten av lengre staver ute på snø i en konkurranserelevant løype er ikke i like stor grad testet og er derfor et naturlig neste trinn. Dette krever bruk av andre metoder enn under testing på rulleskimølle. I alpint er det de siste årene gjennomført analyser der Global Positioning System (GPS) er brukt for å undersøke hvordan linjevalg og teknikk påvirker tid og hastighet (Fasel, Spörri, Gilgien, & Aminian, 2016). Dette er metodikk som også har blitt benyttet i langrenn (Andersson et al., 2010; Bolger, Kocbach, Hegge, & Sandbakk, 2015; Larsson & Henriksson-Larsen, 2008; Sakurai, Fujita, & Ishige, 2014; Sandbakk, Bucher Sandbakk,

Supej, & Holmberg, 2014; Sandbakk et al., 2016), men ingen studier har hatt fokus på betydningen av ulike stavlengde i staking.

Ved bruk av GPS ønsket vi derfor å registrere løperens hastighet gjennom en konkurranseløype på snø og dermed studere hvordan lengre staver, 90 % av kroppshøyden ( $SL^{90\%}$ ), og normal klassisklengde, 84 % av kroppshøyden ( $SL^{84\%}$ ), påvirker hastigheten i ulike partier av løypa. Videre ville vi undersøke om bruk av lengre staver påvirker prestasjon og valg av klassisk teknikk ved bruk av festesmurning under skiene.

Testing av ulike stavlengders betydning ute på snø under konkurranselignende forhold, vil bidra til å skape en bedre forståelse av hvordan stavlengde påvirker prestasjonen på snø.

## **1.1 Problemstilling**

*Påvirker lengden av skistaver prestasjonen under staking ute på snø?*

Delproblemstillinger:

- *Hvilken effekt har lengre staver kontra normal klassisklengde på prestasjonen i ulike partier av en løype?*
- *Hvilken betydning har lengre staver kontra normal klassisklengde for valg av klassisk teknikk ved bruk av ski med festesmurning?*

### **1.1.1 Hypoteser**

- *Lange staver ( $SL^{90\%}$ ) vil føre til en økt hastighet i staking ute på snø i forhold til korte staver ( $SL^{84\%}$ ), og forskjellen vil være størst i motbakke og minst i flatt terreng.*
- *Lange staver ( $SL^{90\%}$ ), kontra korte staver ( $SL^{84\%}$ ), vil øke andelen staking ved bruk av ski med festesmurning*



## 2. Teori

### 2.1 Prestasjon i langrenn

Langrenn er en typisk kondisjonsidrett der det handler om å ha høyest mulig gjennomsnittshastighet (di Prampero, 2003; Losnegard, 2013). Hovedsakelig bestemmes dette av hvor stor energiomsetningen er og hvor mye av denne som kan utnyttes i bevegelsen:

$$\text{Hastighet (m} \cdot \text{s}^{-1}) = \frac{\text{Energiomsetning (J} \cdot \text{s}^{-1})}{\text{Arbeidsøkonomi (J} \cdot \text{m}^{-1})}$$

Energiomsetning kan økes gjennom økt maksimalt oksygenopptak ( $\text{VO}_{2\text{maks}}$ ), evnen til å utnytte den (utnyttingsgraden) og/eller økt anaerob energiomsetning. Økt energiomsetning og/eller bedret arbeidsøkonomi vil øke hastigheten, dette vil igjen føre til en bedre prestasjon.

#### 2.1.1 Energiomsetning og arbeidsøkonomi

$\text{VO}_{2\text{maks}}$  er sett på som den viktigste faktoren for å bestemme prestasjonen i kondisjonsidretter (Saltin & Astrand, 1967), dette gjelder også i langrenn (Ingjer, 1991; Losnegard & Hallen, 2014). Av likningen over ser vi allikevel at to utøvere med samme forutsetninger for energiomsetning ( $\text{VO}_{2\text{maks}}$ , utnyttingsgrad og anaerob energiomsetning) ikke nødvendigvis presterer likt, noe som kan forklares med forskjellig arbeidsøkonomi (effektivitet) (Sandbakk, Holmberg, Leirdal, & Ettema, 2010). To ulike definisjoner er brukt om arbeidsøkonomi. Gross efficiency (GE) blir brukt dersom det ytre arbeidet kan måles nøyaktig, og er forholdet mellom arbeidet og energiforbruket (Sidossis, Horowitz, & Coyle, 1992). Arbeidsøkonomi blir brukt når det utførte arbeidet ikke kan måles nøyaktig, og kan da bestemmes av steady-state- $\text{VO}_2$  og respiratorisk utvekslingskvotient (RER) på submaksimale belastninger (Moseley & Jeukendrup, 2001). Mange studier har undersøkt effektiviteten i langrenn, og hovedsakelig deles faktorene som påvirker effektiviteten opp i ytre og indre (Losnegard, 2013). Indre faktorer kan være kroppsmasse, høyde og sammensetning av muskelfibertyper, mens ytre faktorer blant annet kan være bevegelsesform, utstyr, føreforhold, terreng og høyde over havet (Carlsen, 2016).

### **2.1.2 Effektivitet i klassisk langrenn**

Som nevnt over påvirkes effektiviteten av bevegelsesformen. Ulike teknikker vil sannsynligvis ha ulik effektivitet, og denne endrer seg også med ulik stigning og hastighet (Hoffman & Clifford, 1990; Hoffman, Clifford, Foley, & Brice, 1990). I klassisk langrenn har vi tre hovedteknikker: diagonalgang, staking med fraspark og staking. Teknikkene brukes som et girsystem for å imøtekomme endringer i stigning og hastighet. Utøverne velger staking ved høye hastigheter, mens diagonalgang tradisjonelt har blitt foretrukket i motbakke. Staking med fraspark brukes i en mellomfase av stigning og hastighet (Pellegrini et al., 2013). Samtidig har vi også fiskebein som benyttes i de bratteste motbakkene, samt utforteknikker som benyttes i nedoverbakkene.

En tidligere studie fant at staking var mer økonomisk enn diagonalgang ved 1,7 % stigning, men derimot forekom det ingen forskjell ved 7,1 % stigning (Hoffman et al., 1994). En senere studie av Pellegrini et al. (2013) støtter at staking var mer økonomisk i flatt terreng, men at kostnaden økte mer enn ved diagonalgang og staking med fraspark ved økende stigning. Ved 3° kunne det ikke detekteres en forskjell mellom teknikkene og forfatterne estimerte at ved stigninger >4°, ville diagonalgang være mest energiøkonomisk. Årsaken til dette er trolig at musklene har ulike arbeidsforhold. Under staking i flatt terreng vil armene ha lang arbeidsvei, mens ved diagonalgang i flatt terreng vil beina ha kort tid til å utvikle kraft, og selv om de i utgangspunktet kan utvikle mye kraft, blir effekten liten pga. kort utviklingstid. Samtidig bevarer vi ved staking mer strake bein, kontra diagonalgang, dermed bæres kroppsvekten mer passivt og det koster dermed mindre energi (Bellizzi, King, Cushman, & Weyand, 1998). Under staking i motbakke i forhold til flatt, øker overføringen av krefter gjennom stavene 3 ganger sammenliknet med 1,5 ganger for diagonalgang. Samtidig er hastigheten i motbakke lavere, noe som gjør at beina under diagonalgang kan utvikle kraft over lengre distanse, og arbeidet blir dermed større. Dette fører til at kombinert arm- og beinbruk for å skape fremdrift i bratte stigninger er mer økonomisk enn kun armbruk (Pellegrini et al., 2013).

## **2.2 Staking**

Staketeknikken er en kompleks bevegelse som involverer både over- og underkroppen. Bevegelsen starter i hoften og magen, etterfulgt av en skulderekstensjon og tilslutt albueekstensjon (Holmberg et al., 2005). Dette er allikevel kun hovedlinjer og utøverne

tilpasser staketeknikken til ytre forhold, som hastighet og stigning (Sandbakk & Tønnesen, 2012).

### **2.2.1 Staking i motbakke kontra flatt**

Millet et al. (1998) sammenliknet staking på 2,1 % og 5,1 % stigning under en staketest ute på rulleski der distansen var henholdsvis 70 m og 45 m. Det ble gjennomført submaksimale tester på 13, 16 og 19 km·t<sup>-1</sup> på 2,1 % helning, og 10 og 13 km·t<sup>-1</sup> på 5,1 %. Til slutt ble det gjort tester med maksimal innsats. Kreftene gjennom stavene ble målt ved alle testene og brattere stigning og større hastighet førte til en økt fremdriftsskapende komponent i stavene. Dette er nødvendig for å overvinne den økte komponenten til tyngdekraften ved økende stigning, eller for å skape en hastighetsøkning. I tillegg fant de forekomst av reduksjon i sving- og kontakttid, samt økt frekvens ved både økende stigning og hastighet.

Stöggl og Holmberg (2016) gjennomførte en studie der staking i motbakke ble sammenliknet med staking i flatt terreng. Tretten eliteutøvere gjennomførte to tester inne på rulleskimølle, den ene testen var flat (1°), mens den andre ble gjennomført i motbakke (7°). Under testen gikk utøveren på en gradvis økende hastighet til utmattelse. Analysene ble gjennomført på to hastigheter, moderat (13 og 24 km·t<sup>-1</sup>) og høy (15 og 28,5 km·t<sup>-1</sup>). Stavkrefter og 3D kinematikk ble målt under alle testene. Resultatene herfra viste at motbakketeknikken skiller seg mye fra teknikken som benyttes på flater. Ratioen mellom tiden staven var i bakken og tiden staven var i luften var henholdsvis 1:1 og 1:3 i motbakke kontra flatt terreng. I motbakke var tiden staven var i bakken (kontakttid) 56 % lengre, tiden i luften (svingtid) var 48 % kortere, frekvensen 28 % raskere og sykluslengen var 23 % kortere. Som i studiene nevnt over, fant de også her at kreftene gjennom stavene var større i motbakke. Punktet for isett av staven i forhold til bindingen på skia var i gjennomsnitt 15 cm nærmere ved staking i motbakke. Stavens vinkel i forhold til underlaget var lik ved isett, mens det var en forskjell på 10° ved slutten av fraskyvet, der staking i motbakke ga den største vinkelen. Når det gjelder gjennomføringen av teknikken i motbakke påpeker forfatterne at albueene er mer flekterte, mindre fleksjon i skulderledd, armene ligger nærmere kroppen gjennom stakefasen, mer flekterte knær, dorsiflekterte ankelledd samt mindre fleksjon i hofte.

Overnevnte studier viser altså at ved staking i flatt terreng er kontakttiden kort og kraften må utvikles raskt (Stoggl & Holmberg, 2016). Ut fra Hills kurve (Hill, 1953) vet vi at jo høyere kontraksjonshastigheten er, jo lavere er kraftutviklingen. Den korte kontakttiden ser derfor ut til å være en begrensende faktor i flatt terreng. I motbakke derimot er fordelingen mellom kontakttid og svingtid 1:1, og det er dermed bedre tid til å utvikle kraft. Dermed blir også kreftene større, noe som kjennetegner staking i motbakke (Millet et al., 1998; Stoggl & Holmberg, 2016). Som nevnt over er hovedgrunnen til at svingtiden må være kort den økte betydningen av tyngdekraftens komponent. Videre ses det at plassering av isett ligger mye nærmere bindingen, og staven settes i med en mindre vinkel, dette gjør at forberedelsesfasen ikke kan gjennomføres (Stoggl & Holmberg, 2016). Tiden til reposisjonering av kroppen før nytt isett kan derfor trolig være en begrensende faktor ved staking i motbakke. Samtidig foregår selve stakebevegelsen tettere på kroppens massesenter (COM) hvor leddene er mer flektert med gunstige vektarmen for å utvikle ytre kraft (Carlsen, 2016). Når leddene er mer flektert kan kanskje aktin og myosin i muskelfibrene overlappes mer i sentrale muskler, som for eksempel m. latissimus dorsi, og som kjent av lengde-spenningsforholdet kan musklene da utvikle mer kraft (Gordon, Huxley, & Julian, 1966). Dette kan derfor være en av årsakene til at denne posisjonen foretrekkes. Samtidig er bevegelsesutslagene kortere, dvs. at man er mer oppreist og at man beveger armene kort bakover. Dette, sammen med en slags «pumpe»-bevegelse i underkroppen gjør at man får kroppen raskere tilbake i posisjon til nytt tak, og dermed eliminere noe av effekten den korte svingtiden fører til (Carlsen, 2016; Stoggl & Holmberg, 2016). Produktet av frekvens og sykluslengde er det som bestemmer hastigheten i langrenn (Lindinger, Stoggl, Muller, & Holmberg, 2009). Ser vi på disse parameterne er det vist at frekvensen er høyere, samtidig som sykluslengden viser seg å bli redusert i motbakke kontra flatt (Millet et al., 1998; Stoggl & Holmberg, 2016). Oppsummerende ser vi at det i flatt terreng kontra motbakke benyttes ulike staketeknikker, at kreftene gjennom stavene er av ulik størrelse, samt at de begrensende faktorene er forskjellige.

### **2.2.2 Stavlengden i klassisk langrenn**

Ettersom all kraft i staking må gå gjennom stavene (Nilsson, 2008), kan det være nærliggende å tro at manipulering av stavens egenskaper vil føre til endring i teknikk eller kraft og dermed en mulig endring i prestasjon. Gjennom de siste 30 årene har den selvvalgte stavlengden til utøverne i klassisk langrenn endret seg lite, bortsett fra rundt



1990, da man så at den selvvalgte stavlengden var noe høyere (tabell 2.1). Dette kan trolig relateres til innføringen av skøyting, ettersom det 10-15 år tidligere var på samme nivå som i dag (Hoffman et al., 1990).

**Tabell 2.1:** Tabellen viser utvalgte studier og hvilken stavlengde utøverne har oppgitt som selvvalgt lengde. Data er presentert som gjennomsnitt  $\pm$  SD.

Studie	Stavlengde (cm)	Stavlengde (% av kroppshøyde)
(Clifford & Hoffman, 1989)		93
(Hoffman et al., 1990)		92
(Hoffman et al., 1994)	139,9 $\pm$ 8,7	83,2 $\pm$ 1,9
(Nilsson et al., 2003)		82
(Holmberg et al., 2005)	151 $\pm$ 4	84
(Hansen & Losnegard, 2010)	153,1 $\pm$ 3,7	84,1 $\pm$ 0,9
(Carlsen, 2016)	153,9 $\pm$ 3,3	84,4 $\pm$ 0,7
(Losnegard et al., 2017)		84 $\pm$ 1

Hoffman et al. (1990), som var blant de første til å studere stavlengdens betydning i staking, rapporterte i to studier (Clifford & Hoffman, 1989; Hoffman et al., 1990) at staking var mer energiøkonomisk enn diagonalgang i flatt terreng, men nevner at MacDougall, Hughson, Sutton og Moroz (1979) fant det motsatte. De konkluderer med at grunnen til denne motsigelsen trolig ligger i nettopp stavlengden. I studiet fra 1979 er ikke stavlengden rapportert, men i følge Hoffman et al. (1990) ble det benyttet 10-15 cm kortere staver på den tiden. Konklusjonen videre ble derfor at lengre staver førte til at staking ble mer energiøkonomisk. Dette ble forklart med lenger arbeidsvei, bedre utnyttelse av «fallet» overkroppen gjør, bedre arbeidsforhold for de store overkroppsmusklene og bedre utnyttelse av lagret elastisk energi (Hoffman et al., 1990). Fire år senere konkluderer allikevel Hoffman et al. (1994) at lengre staver ikke påvirket fysiologiske krav (oksygenopptak ( $VO_2$ ), hjerterefrekvens (HF), ventilasjon ( $V_E$ ) og RER) ved submaksimale hastigheter på 1,7 % ( $\sim 1^\circ$ ) stigning.

Nilsson et al. (2003) undersøkte betydningen av stavlengde ved ett enkelt stavgang. Studien indikerte at 7,5 cm lengre staver enn SV kan ha en positiv effekt på

prestasjonen i staking, gjennom en økt kraftimpuls. Hansen & Losnegard (2010) bygget videre på denne studien, og gjennomførte en 80 meter stakesprint ute på snø. Resultatene herfra viste at tiden var  $0,9 \pm 0,7$  % kortere ved bruk av 7,5 cm lengre staver enn SV. Samtidig økte tiden med  $1,2 \pm 1,0\%$  når stavene var 7,5 cm kortere enn SV. Dette utgjorde en forskjell på 88 cm, og kan dermed være avgjørende i en spurt.

Senere har det blitt gjennomført studier der både arbeidsøkonomi og kinematiske data (Carlsen, 2016; Losnegard et al., 2017) og prestasjon (Losnegard et al., 2017) har blitt undersøkt. I Losnegard et al. (2017) ble det gått to identiske submaksimale testprotokoller på rulleskimølle med 3 drag (3,0, 3,5 og 4,0  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), samt en 1000 m prestasjonstest, alt på  $2,5^\circ$  stigning. Kun stavlengden ble endret mellom protokollene (SV og SV+7,5cm). Funnene deres viste forbedret arbeidsøkonomi og prestasjon på 1000 m ved bruk av 7,5 cm lengre staver, samt en reduksjon av vertikal forflytningen av tyngdepunktet. I Carlsen sin masterstudie (2016) ble flere stavlengder undersøkt (SV, SV-5 cm, SV+5 cm, SV+10 cm) på to forskjellige stigninger og hastigheter ( $1,7^\circ$ ,  $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  og  $4,5^\circ$  og  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Funnene herfra viste at arbeidsøkonomien ble redusert tilnærmet lineært når stavlengden økte, men ved  $1,7^\circ$  var effekten kun signifikant for SV+10 cm, mens det ved  $4,5^\circ$  var en signifikant forskjell mellom alle stavlengdene. Dette kan indikere at lengre staver gir en større effekt i motbakker enn flatt terreng. De kinematiske dataene herfra viste at man arbeider i en høyere posisjon, og at COM forflytter seg mindre, dette kan være hovedgrunnen til at lengre staver er mer energieffektive. Videre er det gjennomført pilotstudier ute på snø, som støtter at lengre staver er bedre i motbakke. I motsetning til de positive funnene hittil med lengre staver, er det ved høye hastigheter funnet tendenser til at utøverne taper tid sammenliknet med SV (Losnegard, 2016).

### **2.3 Teknikkvalg i klassisk langrenn**

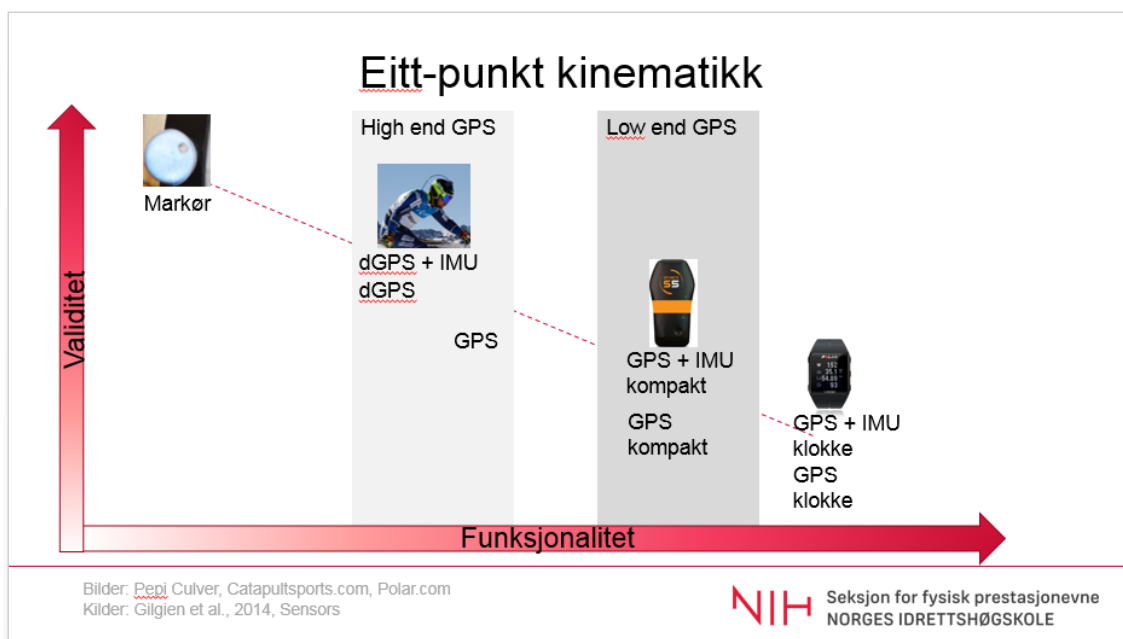
Som nevnt er det tre hovedteknikker i klassisk langrenn; staking, staking med fraspark og diagonalgang (G. A. Smith, 1992). Utøverne skifter mellom teknikk i henhold til terreng og hastighet, og det kan da sees på som et girsystem (Losnegard, 2013). Allikevel er det fortsatt ikke kjent hva som bestemmer skiftene i teknikk. Det har lenge vært kjent at mennesket generelt velger den bevegelsesformen som minimerer energikostnaden mest mulig (Pellegrini et al., 2013). Det har likevel de siste årene kommet litteratur som viser at en endring i bevegelsesform skjer på en hastighet som er

lavere enn det som er energioptimalt (Rotstein, Inbar, Berginsky, & Meckel, 2005). Dermed kan det være rimelig å anta at endring i teknikk er et resultat av en subjektiv følelse der lokale faktorer i muskulaturen overstyrer sentrale faktorer, som f.eks. energikostnad. Dette er overførbart til langrenn og hva som bestemmer valg av teknikk. Cignetti, Schena, Mottet og Rouard (2010) demonstrerte i deres studie at en endring i teknikk er assosiert med tap av koordinasjon. Videre viste Pellegrini et al. (2013) at valg av teknikk ble gjort for å holde kraften gjennom stavene under en viss terskel. Det vil si at når kreftene gjennom stavene blir for store når man beveger seg inn i en motbakke, vil utøveren gå over til staking med fraspark for å avlaste muskulaturen, og videre over til diagonalgang når kreftene øker ytterligere. Når hastigheten øker og teknikkskiftet går fra diagonalgang mot staking ble det konkludert med at tiden benet har til å føres frem, er en viktig faktor. Om denne tiden kommer under en viss terskel, noe som vil skje ved økende hastighet, skjer det en overgang i teknikk. Videre konkluderte de med at energikostnaden også spiller en liten rolle, spesielt i valget av staking i flatt terreng.

## **2.4 Langrennsforskning i felt**

All forskning handler om å sikre god validitet og reliabilitet, men samtidig opprettholde nærhet til det man ser på. Ettersom langrenn er en utendørsidrett er det mange faktorer som spiller inn. Vær, snøkonsistens, utstyr, løype og ikke minst utøverens egenskaper er bare noen av faktorene, samtidig strekker en konkurransetrasé i langrenn seg også over store avstander. Alle disse faktorene gjør forskningen mye vanskeligere.

Forskning på langrenn kan deles inn i to hovedkategorier; ute i felt og inne i lab (Myklebust, 2016). Forsker man ute i felt opprettholder man nærhet til det man ser på, men utfordringer knyttet til ytre faktorer som er vanskelig å kontrollere, samt at man beveger seg over store områder, vil oppstå. Dette setter i tillegg begrensninger for hvilke metoder og utstyr som kan benyttes. Utstyr som øker nøyaktigheten kan ofte være stort og tungt (differensiell GPS) og dette gjør det igjen mindre konkurranselikt. Tar man derimot langrenn inn i laben økes validiteten og reliabiliteten ved bedre målemetoder og et mer lukket system, men nærheten til det man ser på forsvinner noe (Myklebust, 2016).

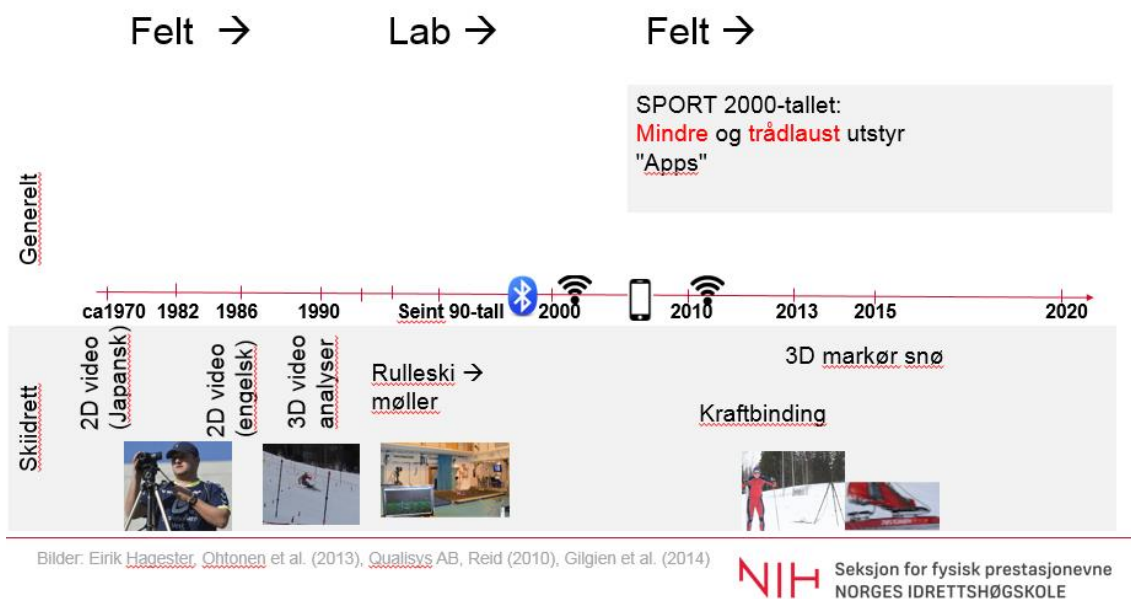


**Figur 2.1:** Viser hvordan ulike metoder innenfor samme felt (bestemmelse av posisjon) har ulik validitet og funksjonalitet/konkurranselighet. Hentet fra Myklebust, forelesning, 24. oktober 2016  
 dGPS: differensiell GPS, IMU: Inertial Measurement Unit

Figur 2.1 viser en skisse over sammenhengen mellom validitet og funksjonalitet for ulike utendørs-metoder som gir svar på samme tema. Bruk av markører og videokamera gir høy validitet og reliabilitet, men samtidig er det lite funksjonelt og konkurranselikt fordi det blir vanskelig å dekke store områder. GPS-klokker gir en høy konkurranselighet fordi man kan bevege seg over store områder, men den vil ha en lavere nøyaktighet. Samtidig vil det å bevege seg inn på en rullskimølle gjøre bruken av markører mer funksjonelt pga. utøveren står på samme sted hele tiden i tillegg til påvirkning fra ytre faktorer blir mindre, men samtidig vil dette minske konkurranselikheten.

Bruk av rulleski eller langrennsski utendørs utgjør også en forskjell, langrennsski vil beholde nærheten til det som blir sett på, men faktorer som smøring, føre og forskjell i friksjon vil spille inn. Derimot vil rulleski på asfalt eliminere disse faktorene og man vil få en større likhet i utstyret, men overførbarheten til langrenn på snø vil igjen reduseres (Myklebust, 2016). Med utvikling av rullskimøller på 1990/2000-tallet ble det sett at mye av forskningen ble tatt inn i laben. Dette førte til en stor økning i validitet og reliabilitet ved bruk av mer nøyaktige metoder, men nærheten til idretten ble redusert. De siste årene har det forekommet en stor utvikling i testmetoder. Mindre, trådløst og mer nøyaktig utstyr (dGPS, IMU og kompakte GPSer) har blitt utviklet, og det er en

tendens til at laben igjen flyttes ut i felt (figur 2.2) (Myklebust, forelesning, 24. oktober 2016).



**Figur 2.2** Tidslinje over hvordan forskning på langrenn har utviklet seg over de siste 40 årene. Hentet fra Myklebust, forelesning, 24. oktober 2016.

### 2.4.1 Posisjonsbestemmende systemer

Utviklingen av trådløse systemer på 2000-tallet har gjort forskning i felt mye enklere. Her kan posisjonsbestemmende systemer som GPS, GLONASS og GNSS være viktig til å analysere utøveres bevegelse utendørs. GPS er det amerikanske systemet for posisjonsbestemmelse, mens GLONASS er det russiske systemet. GNSS (Global Navigation Satellite Systems) er en kombinasjon av satellitter fra begge systemene og gir dermed en økt presisjon (Gilgien, 2014). Nøyaktigheten på disse enhetene vil variere noe, men ligger på 50 cm på en typisk GNSS-kompatibel enhet som er utviklet for analysering av idretter (Catapult, u.å.). Etter at det amerikanske forsvarsdepartementet i mai 2000 fjernet en bevisst degradering av nøyaktigheten på satellittoverføringen, ble det mulig å benytte to enheter plassert nært hverandre. Dermed kunne man korrigere for satellittenes bevegelse under et opptak, og nøyaktigheten kunne økes ned mot 1 cm. Denne løsningen kalles for differensiell GNSS (dGNSS), og har åpnet for nye metoder for utendørsanalyser i idrett (Aughey, 2011). Når det gjelder vinteridretter har dette systemet blitt brukt spesielt mye for analyser av bevegelse, linjevalg og hastighet i alpint (Gilgien, 2014). Allikevel er det slik at dGNSS krever en del utstyr, fra 1,6 til 4 kg (Andersson et al., 2010; Aughey, 2011). Selv om reliabiliteten og validiteten øker mye, vil den økte vekten samtidig gjøre det mindre konkurranselikt.

### **2.4.2 Inertial Measurement Unit**

Inertial measurement units (IMU) er meget sensitive for bevegelse. Enhetene kan ta opp med en høy frekvens (100-1000 Hz) (Catapult, u.å.; Myklebust, 2016) og er i dag små og trådløse. Dette gjør de dermed godt egnet for teknikkanalysering i idretten, ettersom idrett handler om ulike bevegelsesmønstre (Myklebust, 2016). En IMU inneholder sensorer som måler lineær akselerasjon (akselerometer) og vinkelhastighet (gyroskop). I tillegg kan de også inneholde et magnetometer som beskriver retningen i forhold til jordas magnetfelt. Den økte bruken av slike sensorer i dagligdags teknologisk utstyr har gjort enhetene små og relativt billige (Titterton & Weston, 2004).

### **2.4.3 IMU og GPS i langrennsforskning**

Utviklingen av både posisjonsbestemmende systemer og IMUer har vært positivt for forskning på langrenn utendørs. Dette er lette, trådløse systemer som er enkle å ta med seg. Bolger et al. (2015) sammenliknet hastighet og HF-profilen gjennom en konkurranse, både hos kvinner og menn ved bruk av en enkel GPS-klokke (1Hz). Gonzalez-Millan et al. (2016) benyttet en mer spesiallaget GPS-enhet (15Hz) til å kartlegge hastighet under en konkurranse, 5 og 10 km. Andersson et al. (2010) undersøkte hastighet, teknikkvalg og sykluslengde i skøyting ved bruk av dGNSS. Den ble plassert i en ryggsekk som utøverne måtte bære under testen, vekten var 1,64 kg. Dette viser at posisjonsbestemmende utstyr er viktig i langrennsforskningen, men alle disse er av ulik nøyaktighet og flere valideringsstudier bør gjennomføres for å finne den mest optimale metoden for langrenn.

Flere studier har benyttet IMUer til gjenkjenning av teknikk i langrenn, blant disse er både skøyte- og klassisk teknikk analysert og ulike leverandører av IMUer er benyttet (Myklebust, 2016). Noen studier har plassert flere sensorer rundt på kroppen, mens andre kun har benyttet en sensor for å forenkle oppsettet (Marsland et al., 2012). Catapult er en slik enkel enhet plassert i en tilpasset vest på ryggen. Denne er i utgangspunktet utviklet for lagidretter (fotball osv.), men med en innebygd IMU (100Hz) og en innebygd GNSS (10Hz) (Catapult, u.å.) vil den også være mulig å bruke i langrenn.

Marsland et al. (2012) detekterte klassisk- og skøyte-teknikk ved bruk av Catapult systemet. Det ble funnet klare mønstre som skilte de ulike teknikkene fra hverandre, og

som samtidig var konsistente mellom utøverne, dog ble det observert små variasjoner innad i teknikkene. De konkluderte allikevel med at systemet bør videreutvikles med bedre algoritmer for gjenkjenning av de ulike mønstrene. Marsland et al. (2015) analyserte i en ny studie klassisk teknikk med Catapult-systemet. Funnene viste at de ulike teknikkene, samt frekvens kan bestemmes med stor nøyaktighet. De skriver samtidig at systemet vil bedre mulighetene for analyse av teknikk, både i treningsarbeidet og konkurranser, samtidig som det kan bli brukt til å undersøke løpsstrategi, trøtthet, teknikkvalg og prestasjon i langrenn.

## **2.5 Oppsummering**

Staking er i dag hovedteknikken i klassisk langrenn, og i flere klassiske renn er det kun denne teknikken som benyttes. Det er tidligere vist at diagonalgang er mer økonomisk i motbakker (Pellegrini et al., 2013), men bruken av staking under en hel konkurranse viser at fordelene som oppnås ved mindre friksjon mellom snø og ski, totalt sett ofte overskygger mulige ulemper i motbakker. Videre er det mulig at den økte oppmerksomheten på staking gjennom teknikk, utstyroptimalisering og treningsmetoder, har ført til at staking i dag er mer arbeidsøkonomisk enn for bare 3-4 år siden.

Stavlengde i staking er et tema som har vært mye diskutert de siste årene, og flere studier er gjennomført (Carlsen, 2016; Hansen & Losnegard, 2010; Hoffman et al., 1994; Losnegard et al., 2017; Nilsson et al., 2003; Onasch et al., 2016). Disse studiene er gjennomført inne eller på korte sprinter utendørs. I hovedtrekk viser disse at lengre staver ser ut til å være gunstig for arbeidsøkonomi og prestasjon i motbakker, i flatt terreng er det sett tendenser til det samme, men det mangler fremdeles studier på høye hastigheter innendørs. Ingen har til nå sett på hvordan stavlengden påvirker stakeprestasjonen utendørs i en typisk langrennsløype med varierende terreng og hastighet. Slik testing bærer med seg noen metodiske utfordringer, men de siste års økende utvikling av smått og trådløst utstyr som kan bestemme posisjon med høy oppløsning og registrere bevegelsene til utøveren har nå gjort et slikt forsøk mulig. Neste steg i stavlengdeforskningen er derfor å studere hvordan stavlengden påvirker prestasjon ute på snø.





### 3. Metode

#### 3.1 Deltakere

Tjueen langrennsløpere (7 kvinner og 14 menn) på høyt nasjonalt nivå ble rekruttert til prosjektet. Inklusjonskriterier for deltakelse i studien var høyt teknisk nivå i staking, og prestasjoner jevnt innenfor de 30 og 50 beste i Norges Cup jr., samt et maksimalt oksygenopptak på  $\sim 60$  og  $\sim 70$   $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$  for henholdsvis kvinner og menn. Forsøkspersonenes antropometriske karakteristika vises i tabell 3.1 Før prosjektstart ga alle forsøkspersonene skriftlig samtykke (vedlegg I), samt fra foresatte for personene mellom 16 og 18 år. Prosjektet ble gjennomført i henhold til norsk lov og Helsinkideklarasjonen, i tillegg ble Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk (REK) avdeling sør-øst informert før oppstart (saksnummer: 2016/1447).

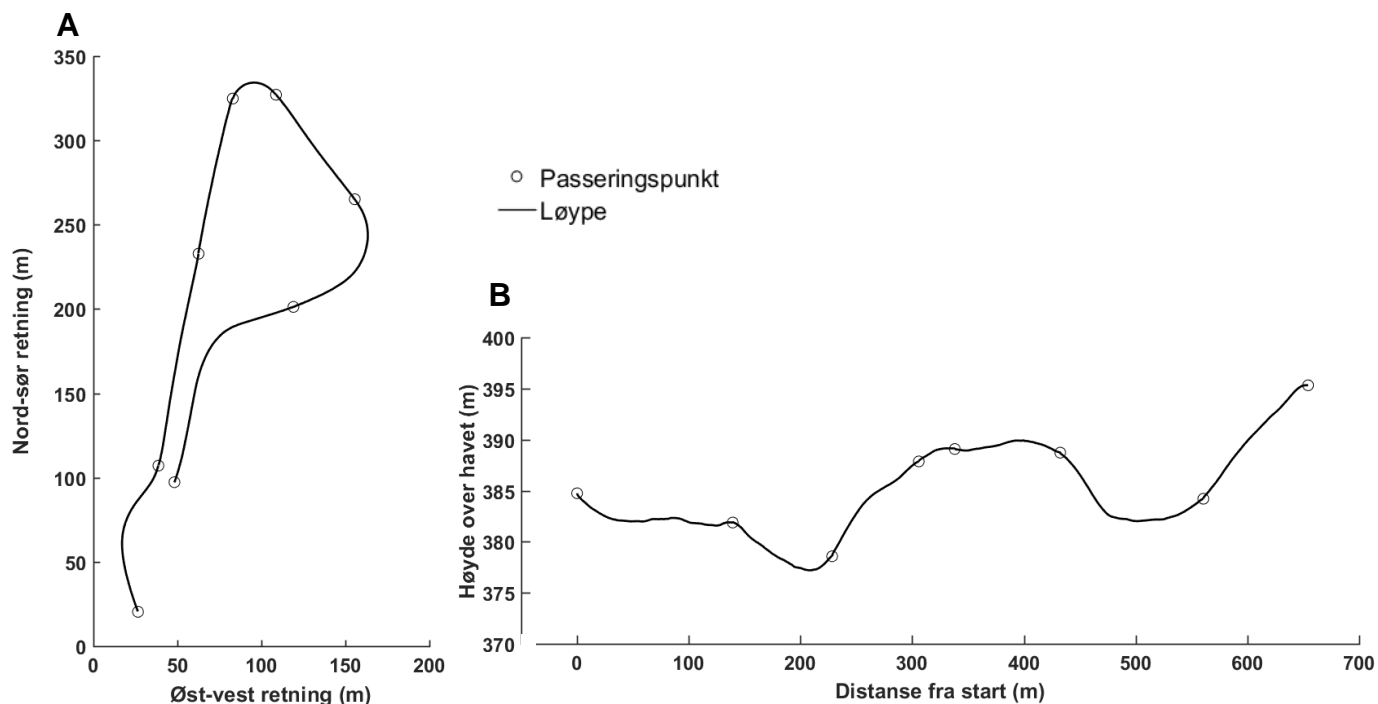
**Tabell 3.1:** Antropometriske karakteristikk, stavlengde og  $VO_{2maks}$  i løping til forsøkspersonene. Data er presentert som gjennomsnitt  $\pm$  SD.

Variabel	Alle (snitt $\pm$ SD)	Kvinner (snitt $\pm$ SD)	Menn (snitt $\pm$ SD)
Alder (år)	20 $\pm$ 4	19 $\pm$ 3	21 $\pm$ 4
Høyde (cm)	176 $\pm$ 9	168 $\pm$ 5	179,5 $\pm$ 7,0
Vekt (kg)	68,3 $\pm$ 8,5	64,0 $\pm$ 3,9	70,2 $\pm$ 9,3
$VO_{2maks}$ ( $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )	68,9 $\pm$ 7,2	59,8 $\pm$ 2,0	73,5 $\pm$ 3,5
SL <sup>90%</sup> (cm)	158,5 $\pm$ 7,4	151,1 $\pm$ 4,0	162,2 $\pm$ 5,7
SL <sup>90%</sup> (% av høyde)	90,3 $\pm$ 0,8	90,1 $\pm$ 0,6	90,4 $\pm$ 0,9
SL <sup>84%</sup> (cm)	147,9 $\pm$ 7,1	141,1 $\pm$ 4,0	151,3 $\pm$ 5,7
SL <sup>84%</sup> (% av høyde)	84,2 $\pm$ 0,5	84,1 $\pm$ 0,6	84,3 $\pm$ 0,5

#### 3.2 Design

For å undersøke effekten av stavlengde på prestasjonen i klassisk langrenn på snø ble et *counterbalanced crossover design* benyttet, der løperne var sin egen kontroll. All testing ble gjennomført i Holmenkollen/Oslo i november 2016 over en periode på 7 dager, der hver enkelt forsøksperson (FP) gjennomførte testing over 1 dag. Løperne gjennomførte totalt 4 testløp i en løype på  $\sim 700\text{m}$  (1,5-2 min), derav to med SL<sup>84%</sup> og to med SL<sup>90%</sup>. SL<sup>84%</sup> ble valgt på bakgrunn av at dette de siste årene har vært normal klassisklengde for utøverne (tabell 2.1), SL<sup>90%</sup> ble valgt på bakgrunn av Carlsen (2016) sine funn.

Stavenes fabrikkoppgitte lengde ble benyttet. Rekkefølgen på stavene ble counterbalansert mellom utøverne og hvert kjønn, for å sikre at et kjønn ikke alltid startet med samme stavlengde. Løypa var delt inn i 7 ulike segment (figur 3.1A og 3.1B) basert på terrengprofilen, og mellomtider ble målt ved hvert passeringspunkt for videre analyser.

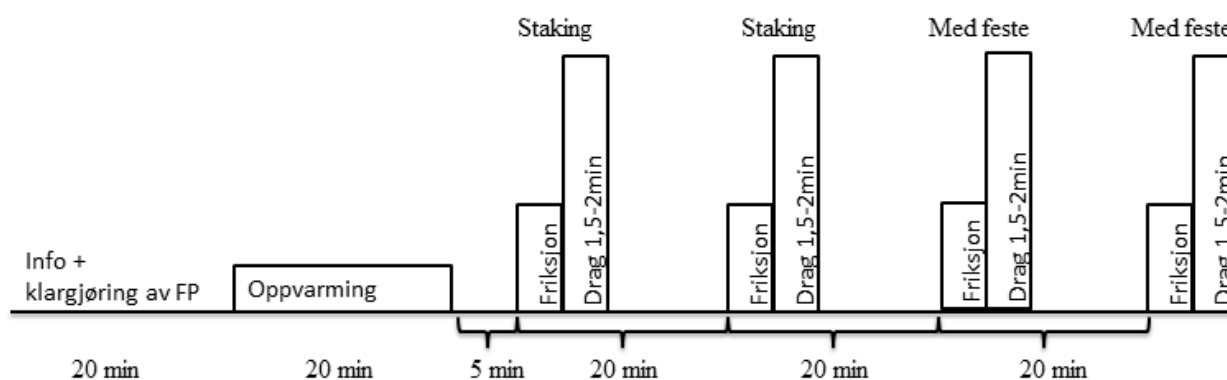


**Figur 3.1:** (A) kart over løypa ut fra posisjonsdata og (B) høydeprofil ut fra høydedata. Data er gjennomsnitt av alle testdager. Passeringspunktene viser inndelingen av segmentene.

Tabell 3.2 viser føreforholdene og temperatur på de ulike dagene. Tiden ble målt nøyaktig ved hjelp av 8 passeringspinner underveis (inkludert start og mål). I tillegg ble det påmontert en microsensors (GPS og IMU) på ryggen til hver løper, dette for måling av hastighet, samt bevegelsesdata for bestemmelse av teknikk, frekvens og sykluslengde. Løypa ble målt opp med differensielt GPS-utsyr. Total varighet på test var ~60 min, samt ~40 min til klargjøring av FP og oppvarming (figur 3.3).

**Tabell 3.2:** Oversikt over føreforhold alle 7 testdagene.

Dag	Lufttemp.	Snøtemp.	Vær	Snøtype
22.nov	3,5 °C	-0,1 °C	Tåke, vindstille	Grovkornet kunstsne, våt
23.nov	5,2 °C	0 °C	Tåke, vindstille	Grovkornet kunstsne, våt
24.nov	2,3 °C	-0,7 °C	Skyet, noe vind	Grovkornet kunstsne, sukker
25.nov	3,4 °C	-0,1 °C	Skyet, noe tåke	Grovkornet kunstsne, fuktig
29.nov	-3,0 °C	-5,3 °C	Klart	Grovkornet kunstsne, sukker
30.nov	1,4 °C	-3,2 °C	Lettskyet, noe vind	Grovkornet kunstsne, sukker
1.des	-1,3 °C	-2,6 °C	Overskyet	Grovkornet kunstsne, sukker



**Figur 3.2:** Tidslinje over testprotokollen. Testen startet med 20 min til informasjon og påmontering av utstyr på FP. Deretter 20 min standardisert oppvarming, før 5 min til siste klargjøring. Så ble de 4 testløpene gjennomført med 20 min mellom hver start. I forkant av hvert testløp ble et gjennomført en friksjonstest.

### 3.3 Testbeskrivelser

#### 3.3.1 Pilottesting

GPS-dekningen ble i forkant testet i den aktuelle testløypen, dette for å unngå stor feilmargin i resultatene. Gjenkjenning av de ulike teknikkene ble utviklet gjennom gjentatte tester inne på rulleskimølle og ute på rulleski og snø. Inne på mølle ble utøverne også filmet og film og data fra microsensorenheten ble synkronisert slik at mønster i IMU-dataene under de enkelte teknikkene kunne gjenkjennes. Det ble sett et klart mønster i data fra forward-magnetometere, og ved å bruke disse dataene, ble det

utviklet et program som semi-automatisk bestemte teknikken over en periode ved gjenkjenning av mønsteret. Reliabilitetstest av de selv-konstruerte passeringspinnene ble gjort ved å gjennomføre gjentatte passeringer i stor hastighet for å sikre at de tålte belastningen hver passering påførte. Det ble samtidig montert en microsensorenhet tilsvarende den utøverne hadde på ryggen på pinnens bevegelige del. Under hver passering registrerte akselerometeret en bevegelse, og ettersom denne bevegelsen kunne synkroniseres med GPS-tid, ble det funnet ut at systemet kunne brukes til å ta tiden.

### 3.3.2 Klargjøring av testtrasé og FP

Det ble laget markeringer på siden av traséen slik at tidtakingspinnene og friksjonstesten ble plassert på samme sted. Løypa ble maskinpreparert før hver test med klassiskspor rundt hele traséen. Figur 3.3 og 3.4 viser henholdsvis oppsett av tidtakingspinner og friksjonstesten. Hver FP hadde hver sin bås (figur 3.5) for staver og ski, her lå det også informasjon om hvilke stavlengde som skulle benyttes på hvilket drag. Hver FP ble klargjort med pulselte og microsensorenhet før oppvarming, dette for å sikre at kontakt ble opprettet mellom pulselte og microsensorenheten og mellom microsensorenheten og satellitter. Det ble også montert microsensorenheter på passeringspinnene.



*Figur 3.3: Passeringspinnens plassering i forhold til sporet. Microsensorenheten er markert med en ring.*



*Figur 3.4: Oppsett av friksjonstesten. Plankene står 30 cm over bakken slik at leggen bryter fotocellene.*



*Figur 3.5: Viser hver FP sin bås med utstyr.*

### **3.3.3 Oppvarming**

Oppvarming ble gjennomført som standardisert ~20 minutter rolig skigåing (~60-70 %  $HF_{maks}$ ) med 3 stigningsdrag ila. de siste 10 minuttene. Tilvenning til tidtakingspinnene ble gjennomført under oppvarmingen. Stavlengden som skulle brukes på drag 1 ble benyttet under oppvarmingen, samt egne oppvarmingsski.

### **3.3.4 Friksjonstest**

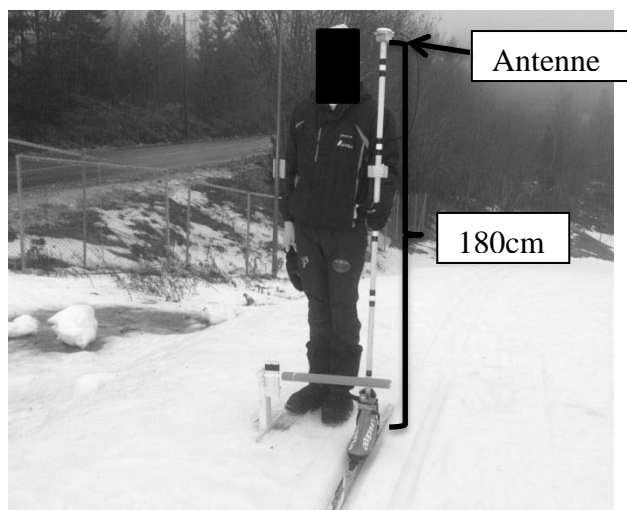
I forkant av hvert drag ble det gjennomført test av friksjon i det preparerte sporet. Testen ble gjennomført på en rett strekning i en nedoverbakke med vinkel på  $\sim 8^\circ$ . Forsøkspersonene ble her instruert til å gli på skiene i oppreist stilling gjennom 4 par med fotoceller, uten å ta i fart med staver eller ben. Fotocellene var montert på et stativ med kjent avstand mellom hver. Passeringstidene ble notert ned for senere analyser. Se figur 3.4 for oppsett.

### 3.3.5 Test

Fire drag ble gjennomført, to med SL<sup>84%</sup> og to med SL<sup>90%</sup> i annenhver, counterbalansert rekkefølge. Forsøkspersonene ble instruert til å holde seg i det oppkjørte sporet under hele testen, og gå med en intensitet lik sprint. Startintervallet var på 2 minutter for å unngå at løpere gikk samlet. På de to første dragene var kun staking på skøyteski tillat, mens på de to siste dragene ble det benyttet klassiskski med festesmøring og valgfri klassisk teknikk. Pausen mellom hver start var 20 minutter, for å sikre at utøverne var godt restituert. Denne bestod av rolig skigåing på oppvarmingsskiene og med påfølgende drags stavlengde. Pga. vanskelige forhold, og mye «sukker»-snø, benyttet 11 av forsøkspersonene (4 kvinner og 7 menn) kun staking på de to siste dragene også. Etter målgang på hvert drag ble opplevd anstrengelse (Borg Rating of Perceived Exertion (RPE; 6-20)) (Borg, 1982) notert (vedlegg II). Etter drag 2 og 4 ble de også spurt om hvilken stav de mente gikk raskest i motbakke, flatt, slakt nedover og totalt på en subjektiv skala (vedlegg III), der 0 betydde at stavene var like, mens nærmere 5 den ene veien betydde at SL<sup>84%</sup> var raskere, mens nærmere 5 den andre veien betydde at SL<sup>90%</sup> var raskere.

### 3.3.6 GPS-målinger av løypa

Lengde og høydeprofil for hvert segment og løypa totalt (tabell 3.3), samt vinkelen på friksjonstesten, ble målt med differensiell GPS. En fast basestasjon ble satt opp og aktivert 10-20 min før innmålingen startet. Det ble benyttet en 180 cm lang stang med en GNSS antenne (innsamlingsfrekvens: 1Hz) på som videre var påmontert en ski slik at den kunne bli skjøvet gjennom løypa (figur 3.6). Først ble ett fast punkt i terrenget målt inn som referansepunkt med en stillestående måling på 1 min. Deretter ble løypa og friksjonsteststraseen oppmålt, hvor hver passerinspinne ble markert med en stans på ca. 30 sekunder, ellers var hastigheten vanlig gangfart. Ved differensiell løsning har denne en nøyaktighet på <5 cm (Gilgien, Sporri, Limpach, Geiger, & Muller, 2014).



**Figur 3.6:** Viser hvordan løypa ble målt inn med GPS.

**Tabell 3.3:** Segmentlengder og total lengde for hver testdag samt gjennomsnitt for alle dagene. Alle data er i meter. --: ikke differensiell GPS-løsning i hele segmentet.

Dag	Seg1	Seg2	Seg3	Seg4	Seg5	Seg6	Seg7	Totalt
22.nov	139,2	--	--	--	94,4	127,9	94,0	--
23.nov	138,9	89,0	77,4	32,0	94,3	128,0	94,0	653,6
24.nov	139,4	89,1	77,7	32,6	94,4	128,2	93,6	655,0
25.nov	138,8	89,1	77,3	32,3	94,3	128,1	93,7	653,5
29.nov	139,9	--	--	32,0	94,4	128,1	93,7	--
30.nov	139,5	--	77,7	32,1	94,4	128,2	93,8	--
1.des	139,4	88,8	77,8	32,2	94,4	128,2	93,7	654,4
<b>Snitt</b>	139,3	89,0	77,6	32,2	94,4	128,1	93,8	654,3
<b>SD</b>	0,3	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,6

### 3.3.7 VO<sub>2maks</sub> løping

En VO<sub>2maks</sub>-test i løping, for beskrivelse av FP, ble gjennomført innenfor en periode på ±2 måneder av testdag. To ulike protokoller ble benyttet, grunnet 7 av forsøkspersonene var tilknyttet et annet prosjekt der VO<sub>2maks</sub> også ble målt. Test 1 ble gjennomført med en økende hastighet på 1 km·t<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> fra en bestemt starthastighet (8 km·t<sup>-1</sup> for jenter og 10 km·t<sup>-1</sup> for gutter) til utmattelse. Målinger av VO<sub>2</sub> ble gjort hvert halve minutt. Test 2 ble også gjennomført med en økende hastighet på 1 km·t<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup> til utmattelse, men fra en individuell starthastighet, slik at testen skulle vare i 5-6 minutter. Mot slutten av denne testen ble forsøkspersonen spurt om han/hun fortsatt ville øke eller fortsette på samme hastighet. Målinger av oksygenopptak hvert halve minutt. Snittet av de to høyeste

målingene ble brukt som resultat. Alle resultater tilfredstilte kravene for oppnåelse av  $VO_{2maks}$ , og bruken av to ulike metoder ble ikke ansett som noe problem for formålet med testen.

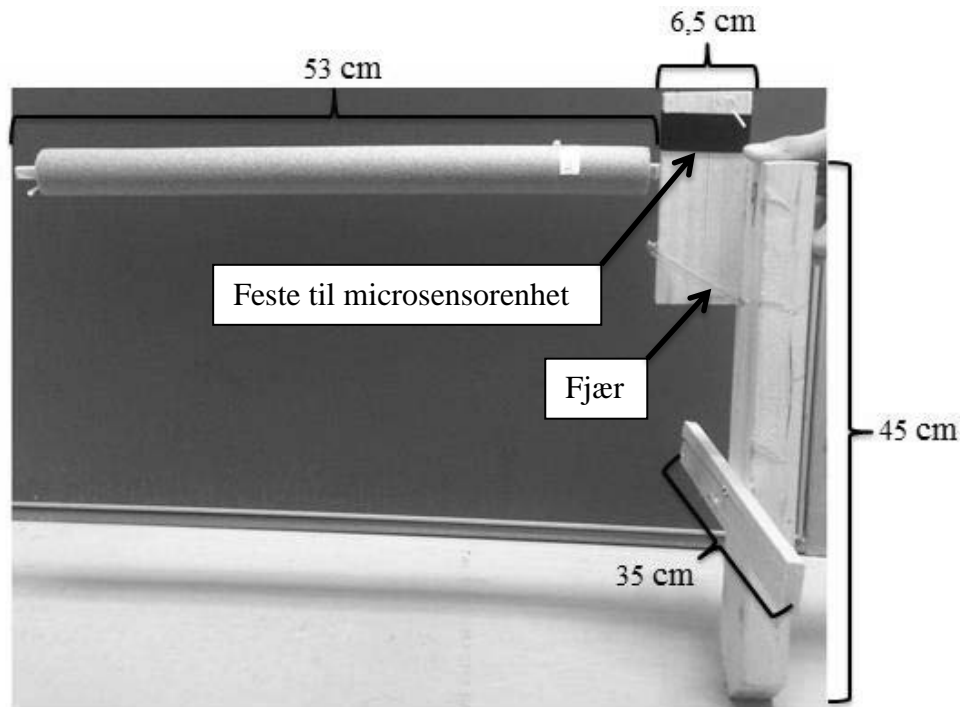
### **3.4 Utstyr**

Under testingen benyttet utøverne egne ski, skøyteski ble benyttet i staking, mens klassiskski ble benyttet under dragene med valgfri klassisk teknikk. Skiene ble i forkant preparert likt, glidet med Swix CH6, samt lagt festesmurning på klassiskskiene. Utøverne benyttet også egne staver så lenge disse var innenfor kravene om 84 % og 90 % av kroppslengden ( $\pm 1$  %). Der dette ikke stemte ble det benyttet staver fra NIH, Swix Triac 1.0 (Swix, Lillehammer, Norge). Den enkelte utøveren benyttet samme merke på begge stavene for å sikre lik lengde. Egne sko ble benyttet, utøverne fikk velge om de ville benytte skøyte- eller klassisksko.

Dataene ble samlet inn med en microsensorenhhet (Optimeye S5, Catapult Innovations, Melbourne, Australia). Enheten er 9,6 x 5,2 cm og veier 66,8 g. Den inneholder en 10Hz GPS som både er kompatibel med GPS og GLONASS satellitter. Den inneholder også en IMU med et 3D akselerometer (100Hz), et magnetometer (100Hz) og et gyroskop (8000 grader·sekund<sup>-1</sup>, 100Hz). Forsøkspersonene hadde en enhet plassert i en tilpasset holder som plasserte den tett til ryggen under hele forsøket. For måling av hjertefrekvens ble Polar Team2 (Polar Electro Inc, Lake Success; USA) brukt, som er kompatibelt med Catapult Optimeye S5.

Til friksjonstesten ble det benyttet selvlagde stativer i trevirke (figur 3.6), som sikret lik avstand mellom fotocellene ved hver test. Fotocellene var av typen Speedtrap II TC Wireless timing system (Brower Timing Systems, Draper, Utah, USA). Passeringspinnene var selvkonstruert og bestod hovedsakelig av en trekonstruksjon med en fjærbelastet pinne i plast som var hengslet (figur 3.7). Microsensorenheten ble festet til denne med en tøystrikk. En GNSS antenne (Antcom G5Ant-2AT1) og en mottaker (Javad Alpha-G3T) tracket til GPS og GLONASS signaler ble benyttet til å måle løypa, samt brukt til basestasjon. Kroppsvekt (nettovekt) ble målt med Seca (model 708 Seca, Hamburg, Tyskland), kroppshøyde ble målt med en høydemåler (Seca 213, Hamburg, Tyskland). Luft- og snøtemperatur ble målt med et digitalt termometer (C9092 THERMOMETER, COMARK, Norwich, Norfolk, UK)





*Figur 3.7 Viser målene på de selvkonstruerte passeringspinnene.*

Målinger av  $VO_{2\text{maks}}$  ble gjort på en tredemølle (Woodway, Tyskland). Oksygenopptaket ble målt med et automatisk ergospirometrisystem (Oxycon Pro, Jaeger Instrument, Hoechberg, Tyskland), hvor ekspirasjonsgassen ble analysert og oppgitt som et gjennomsnitt hvert 30. sekund. Det ble gjennomført en kalibrering før hver test etter instruksjonsmanualen, der oksygenanalysatoren ble kalibrert mot en sertifisert kalibreringsgass (180kPa, 5,55 % karbondioksid ( $CO_2$ ) og 94,45 % nitrogen (N<sub>2</sub>)) og luftstrømturbinen (Triple V; Erich Jaeger GmbH, Hoechberg, Tyskland) kalibrert manuelt med en treliters kalibreringspumpe (Calibration Syringe, series 5530; Hans Rudolph Inc., Kansas City, Missouri, USA).

### **3.5 Behandling av data**

Alle lagrede rådata fra microsensorenhetene ble lest inn i Catapult Sprint 5.1 (Catapult Innovations, Melbourne, Australia) fortløpende i testperioden. Rådata ble skrevet ut til en .csv-fil med 100Hz. Data fra akselerometer i alle tre retninger, gyroskop i alle tre retninger, magnetometer i fremover retning ble tatt med. I tillegg ble relativ tid, doppler-hastighet, gjennomsnittlig doppler-hastighet over siste 5 målinger, distanse fra GPS, posisjonsdata (longitude og latitude), hjerterefrekvens og klokkeslett tatt med.

#### **3.5.1 Tidsanalyser**

Filene fra enhetene som var plassert på tidtakingspinnene ble lastet inn i et selvprogrammert analyseprogram i LabVIEW (National Instruments, Texas, USA)

Programmet interpolerte GPS-tiden til hundredels-nøyaktighet. For hvert sted akselerometeret hadde registrert en bevegelse (passering) ble tilhørende klokkeslett i sekunder etter midnatt synkronisert. Passeringer som ikke tilhørte våre testpersoner ble luket ut ved at vi kjente startintervallet. De 8 tidene per FP per drag ble overført til Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft, Redmond, USA) hvor sluttid og segmenttider for alle drag og alle FP ble regnet ut.

### **3.5.2 Hastighetsanalyser**

Gjennomsnittlig dopplerhastighet over siste 5 målinger ble benyttet til analyse av hastighet, dette for å unngå å få med bevegelsen av overkroppen i analysene. Dataene ble lastet inn i analyseprogrammet i LabVIEW. Filen ble så lagret i Excel, og ved å sammenlikne de lagrede passeringstidene ble hastighetsdata, posisjonsdata og HF i de ulike segmentene tatt ut og lagret ved hjelp av MATLAB (R2016a, The MathWorks, Inc, Kista, Sweden). Gjennomsnittshastigheten til hver forsøksperson ble funnet i MATLAB for hver stavlengde og teknikk ved å resample hastighetsdata for hver halve meter. Lengden på segmentet ble satt til det de gjennomsnittlige målingene av løypa ga. Gjennomsnittshastighet for alle forsøkspersonene sammen, samt delt på kjønn ble regnet ut i Excel og tilslutt plottet mot hverandre.

### **3.5.3 Teknikkanalyser**

Data fra magnetometeret i forward retning ble benyttet for teknikkanalyser. Endring per tidsenhet ble brukt for å skille teknikkene. Kalibreringsverdier ble valgt ut fra områder på kurven der det var helt klart hvilke teknikker som ble benyttet. Data fra magnetometeret ble delt opp i sykluser, syklusene ble integrert med tiden for å finne frekvensen og videre ble frekvensen integrert med GPS-data for distanse fra microsensorenheten for å finne sykluslengde. Dataene for de ulike segmentene ble så tatt ut i MATLAB på samme måte som hastighetsanalysene, og videre lagret i Excel. Alle data ble kontrollert manuelt for å fjerne ugjenkjennelige data, segment 2, 4 og 6 ble derfor utelatt da nedoverbakker i disse skapte støy.

### **3.5.4 Analyse av løype**

Løypelengden og høydeprofilen ble analysert for hver enkelt testdag. Data ble lest inn i Justin (Javad GNSS, San José, USA). Ved hjelp av den stasjonære basestasjonen ble differensielle posisjonsløsninger beregnet for enheten som målte inn løypen. Med

samme referansepunkt fra dag til dag kunne målingene for hver dag stadfestes til samme globale referansesystem. Rådata ble lastet inn i Excel og videre behandlet i MATLAB. Hvert segment ble tatt ut fra de markerte stoppene på hver passeringspinne. Segment som inneholdt områder uten differensiell løsning ble utelatt (vises som -- i tabell 3.3.). Høydeprofilen ble plottet og distansen ble regnet ut fra posisjonsdata. Videre ble disse resamplet for hver halve meter slik at et gjennomsnitt for alle 7 testdager kunne regnes ut. For friksjonstesten ble kun høydeprofilen for hver enkelt dag benyttet, og gjennomsnittsvinkelen (grader i forhold til horisontalt) ble regnet ut.

### **3.5.5 Friksjonstest**

De fire tidene fra friksjonstesten ble brukt til å regne ut to hastigheter, ettersom avstanden mellom fotocellene var kjent. Ser man bort fra luftmotstanden er det kun friksjonskraften og tyngdekraften som virker på løperen. Ettersom bakkens vinkel var kjent, og dermed tyngdekraftens påvirkning, ble friksjonskoeffisienten regnet ut fra akselerasjonen den kjente tyngdekraften og den ukjente friksjonskraften hadde skapt mellom de to målte hastighetene. Resultatene er vist i vedlegg IV.

## **3.6 Statistikk**

Data ble antatt å være normalfordelte, støttende av sentralgrenseteoremet (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009), og parametriske metoder ble derfor brukt. Toveis ANOVA for repeterte målinger ble brukt for tidsanalysene i hvert segment. Bonferroni post hoc test ble benyttet for å undersøke om forskjellen mellom de ulike stavlengdene var signifikant. Signifikansnivået ble satt til ( $p < 0,05$ ), mens  $0,1 > p > 0,05$  ble ansett som en tendens til forskjell. Rådata er fremstilt som gjennomsnitt  $\pm$  standardavvik (SD), mens forskjell er presentert som gjennomsnittlig differanse i prosent  $\pm$  95 % konfidensintervall (KI). Sammenhengen mellom to ulike variabler ble undersøkt med Pearson's produktmoment korrelasjonskoeffisient (Pearson's  $r$ ), og ble klassifisert som lav ( $0,1 \leq r < 0,3$ ), moderat ( $0,3 \leq r < 0,5$ ), høy ( $0,5 \leq r < 0,7$ ), svært høy ( $r = 0,7 \leq r < 0,9$ ) eller nærmest perfekt ( $r \geq 0,9$ ) (Hopkins, 2000).

Data ble behandlet i Microsoft Office Excel 2010 og IBM SPSS Statistics 20.0 (International Business Machines (IBM), New York, USA). Alle figurer er laget i MATLAB.



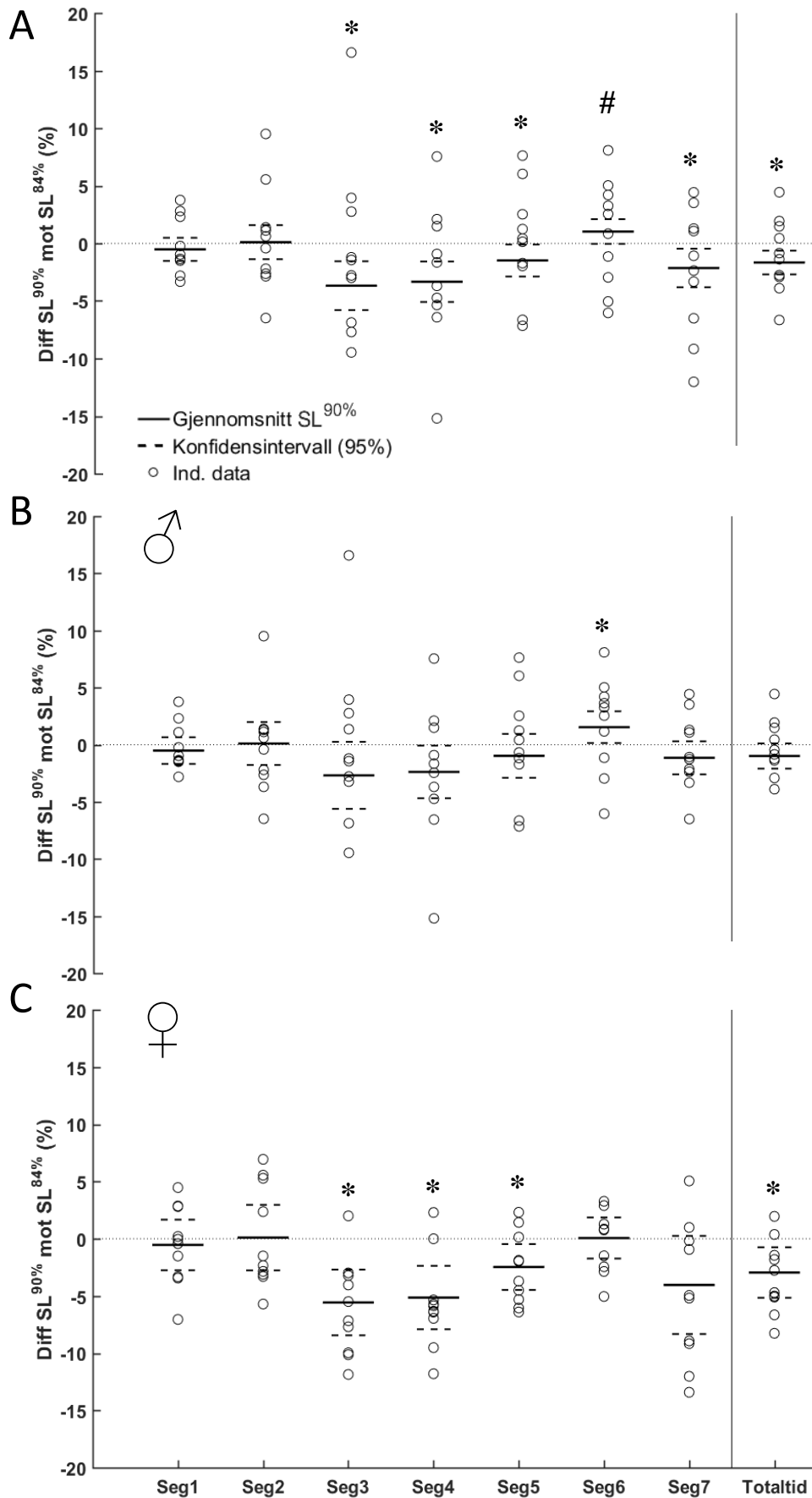
## 4. Resultater

### 4.1 Tidsanalyser

#### 4.1.1 Staking

Forsøkspersonene, inkludert begge kjønn (n=32), brukte kortere tid med SL<sup>90%</sup> enn SL<sup>84%</sup> i totaltid (1,6 ± 1,0 %), samt i segment 3 (3,7 ± 2,1 %), 4 (3,3 ± 1,75 %), 5 (1,5 ± 1,4 %) og 7 (2,1 ± 1,6 %), alle p < 0,05. Segment 6 viste en tendens (p = 0,069) til kortere tid med SL<sup>84%</sup> enn SL<sup>90%</sup> (figur 4.1 A).

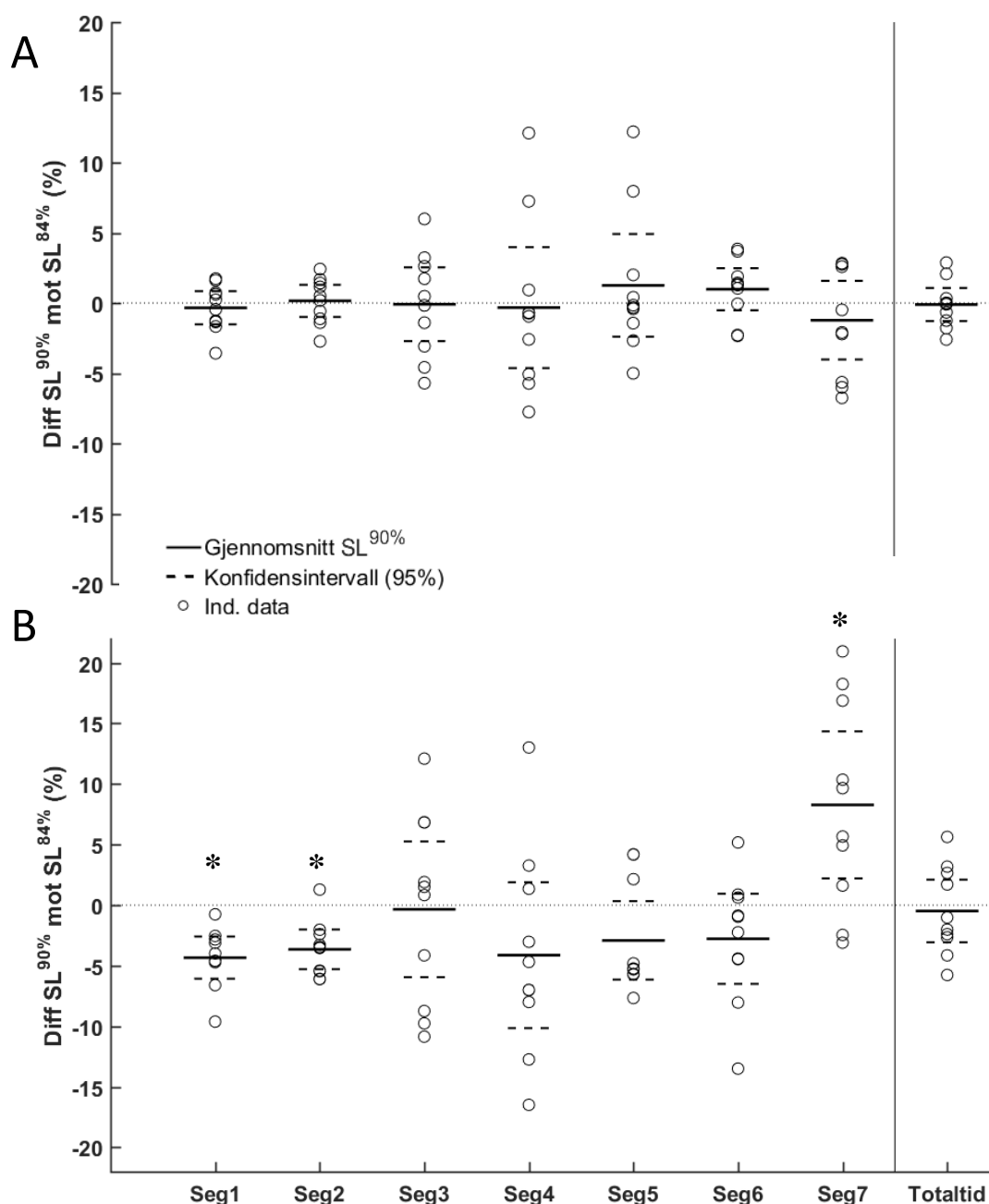
Figur 4.1 B og C viser effekten av stavlengde for henholdsvis menn og kvinner. For menn ble det funnet en signifikant forskjell i segment 6 (1,5 ± 1,4 % favør SL<sup>84%</sup>). For kvinner ble det funnet en signifikant forskjell i totaltid (2,9 ± 2,2 %) samt i segment 3 (5,6 ± 2,9 %), 4 (5,1 ± 2,8 %), 5 (2,5 ± 2,0 %), alle favør SL<sup>90%</sup> og p < 0,05.



**Figur 4.1:** Prosentdifferanse i tid (%),  $SL^{90\%}$  sammenliknet med  $SL^{84\%}$  i staking for **A:** alle FP ( $n=32$ ), **B:** menn ( $n=21$ ) og **C:** kvinner ( $n=11$ ). 0-linje representerer gjennomsnitt for  $SL^{84\%}$ . \*:  $SL^{90\%}$  signifikant forskjellig fra  $SL^{84\%}$ . #: tendens til signifikant forskjell mellom  $SL^{90\%}$  og  $SL^{84\%}$ .

### 4.1.2 Valgfri teknikk

Ved valgfri teknikk (figur 4.2 A) ble det ikke funnet signifikante forskjeller i tid mellom  $SL^{90\%}$  og  $SL^{84\%}$  i noen av segmentene eller totaltid (n=10, menn og kvinner samlet). Mellom  $SL^{90\%}$  i staking og  $SL^{84\%}$  ved valgfri teknikk (figur 4.2 B) ble det funnet signifikant forskjell i tid i segment 1 ( $4,3 \pm 1,7$  % favør  $SL^{90\%}$ ), 2 ( $3,6 \pm 1,6$  % favør  $SL^{90\%}$ ) og 7 ( $8,2 \pm 6,0$  % favør  $SL^{84\%}$ ), alle  $p < 0,05$ .

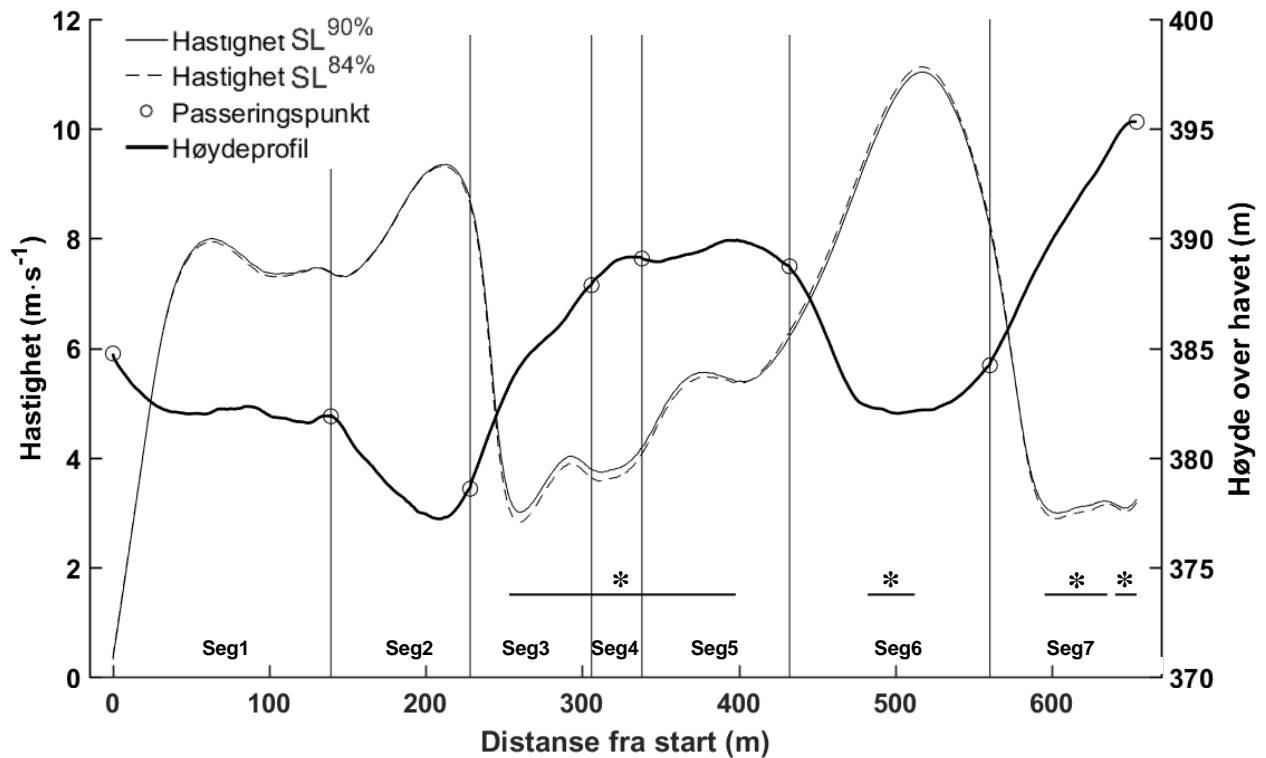


**Figur 4.2:** Prosentdifferanse i tid (%) **A:**  $SL^{90\%}$  sammenliknet med  $SL^{84\%}$  DIA for alle FP (n=10), **B:**  $SL^{90\%}$  staking sammenliknet med  $SL^{84\%}$  DIA for alle FP (n=10). 0-linje representerer gjennomsnitt for  $SL^{84\%}$ . \*:  $SL^{90\%}$  signifikant forskjellig fra  $SL^{84\%}$ .

## 4.2 Hastighetsanalyser

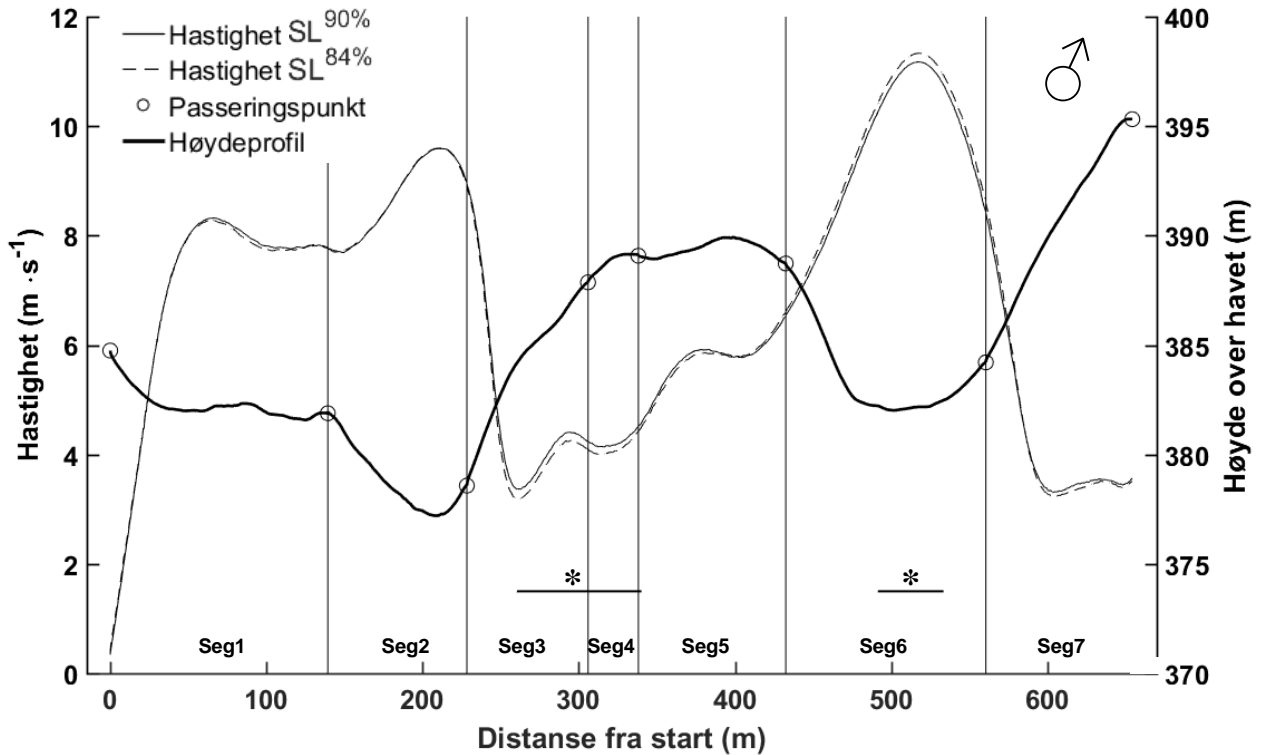
### 4.2.1 Staking

Analysene av kontinuerlig hastighet underbygger tidsanalysene og viser en synlig forskjell i hastighet i de segmentene der tiden var signifikant forskjellig (figur 4.3-4.7). Det ble også funnet signifikante forskjeller ( $p < 0,05$ ) i hastighet mellom  $SL^{84\%}$  og  $SL^{90\%}$ , i områder utover de segmentene der tiden var signifikant forskjellig.

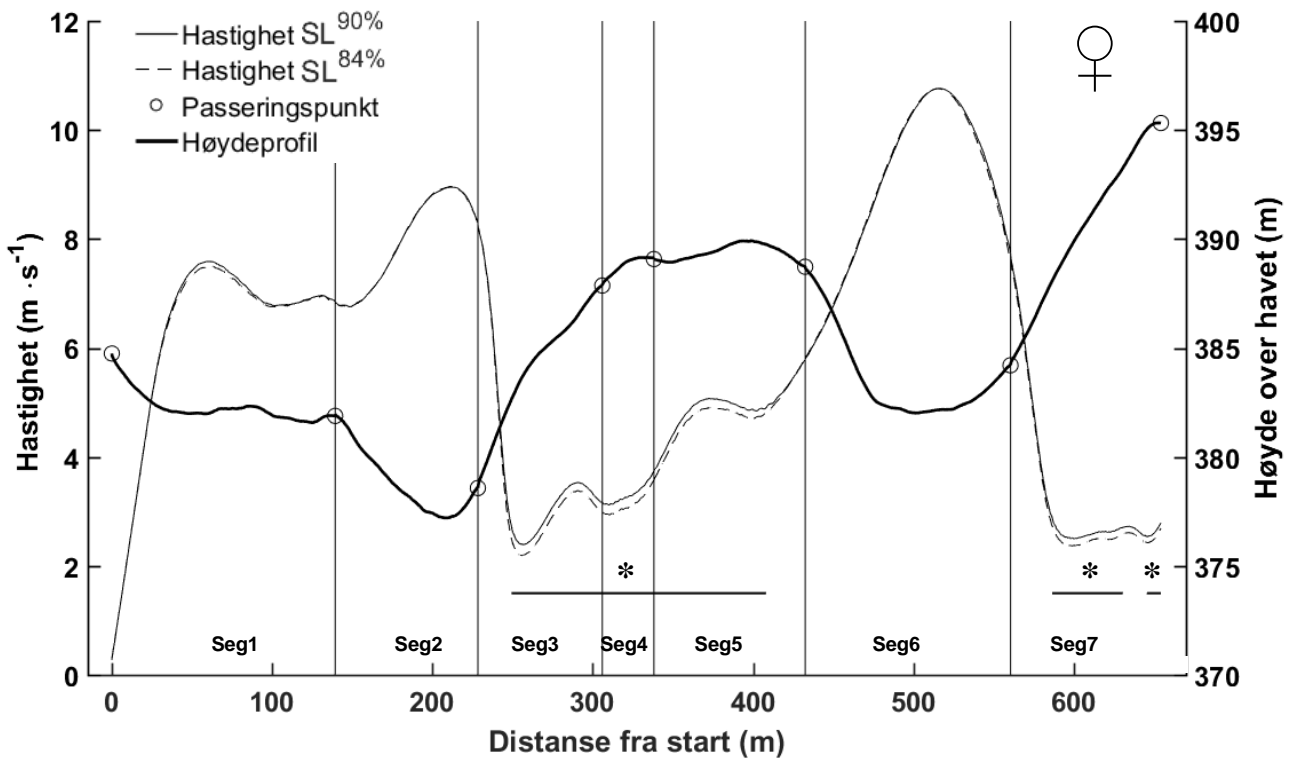


**Figur 4.3:** Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for  $SL^{90\%}$  og  $SL^{84\%}$  i staking for alle FP ( $n=32$ ). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. \*:  $SL^{90\%}$  signifikant forskjellig fra  $SL^{84\%}$ .



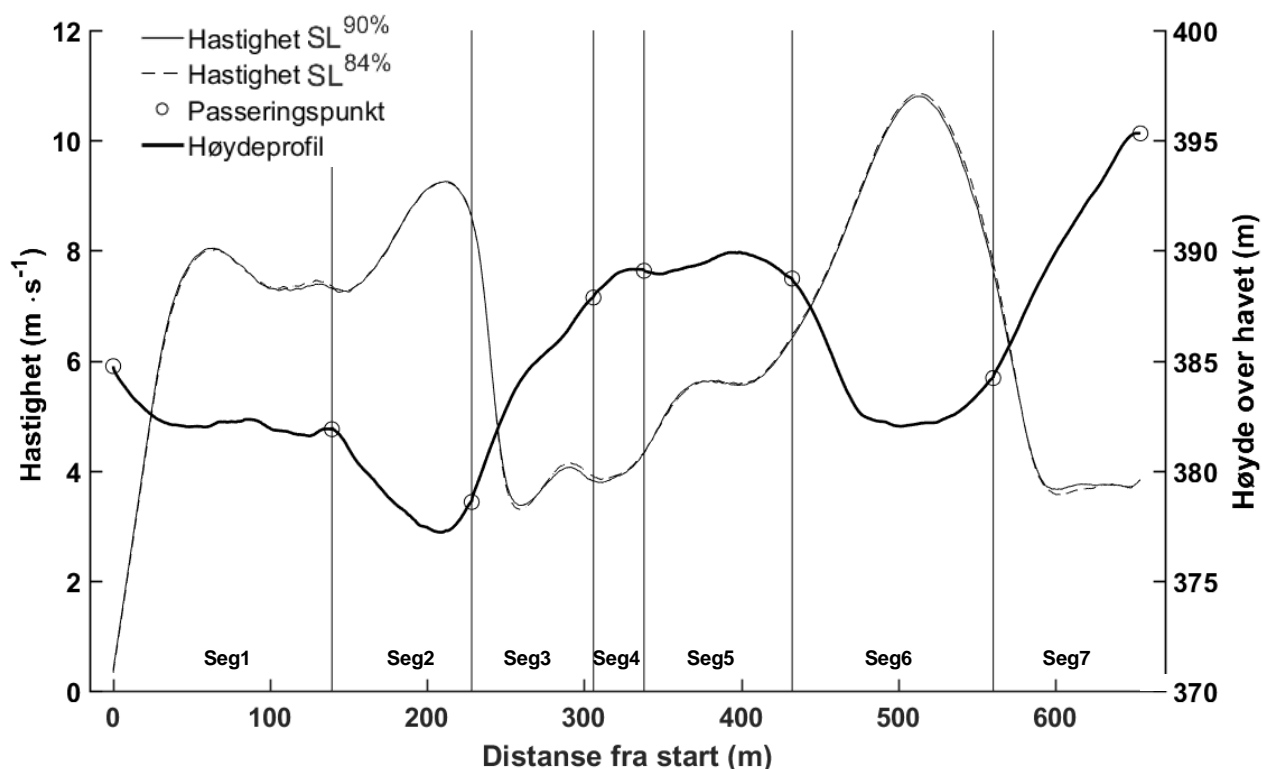


**Figur 4.4:** Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for  $SL^{90\%}$  og  $SL^{84\%}$  i staking for menn ( $n=21$ ). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. \*:  $SL^{90\%}$  signifikant forskjellig fra  $SL^{84\%}$ .

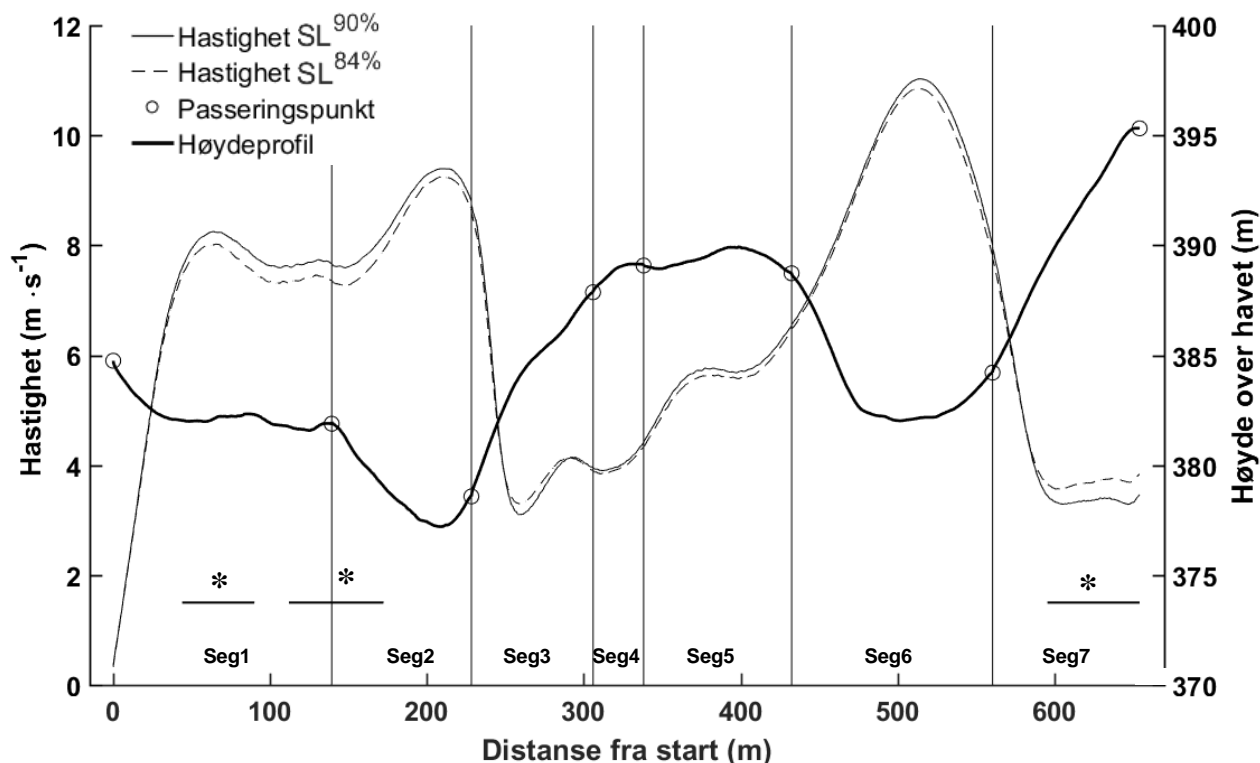


**Figur 4.5:** Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for  $SL^{90\%}$  og  $SL^{84\%}$  i staking for kvinner ( $n=11$ ). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. \*:  $SL^{90\%}$  signifikant forskjellig fra  $SL^{84\%}$ .

## 4.2.2 Valgfri teknikk



**Figur 4.6:** Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for  $SL^{90\%}$  og  $SL^{84\%}$  ved valgfri teknikk for alle FP ( $n=10$ ). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen.

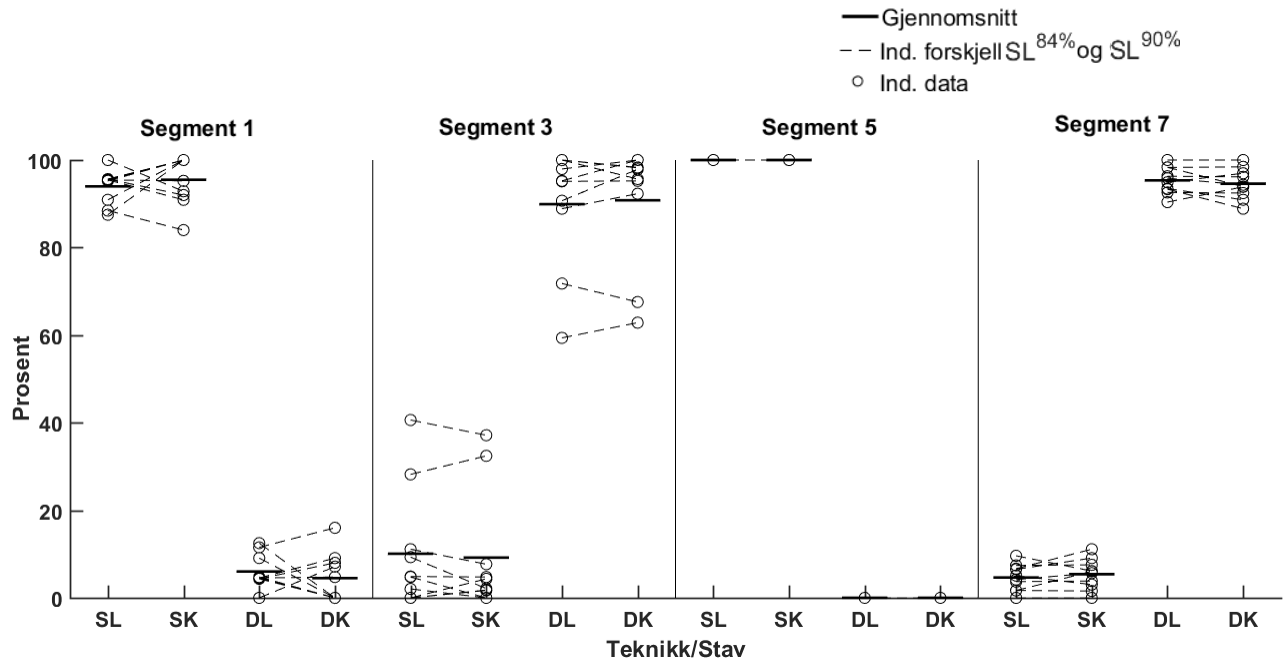


**Figur 4.7:** Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for  $SL^{90\%}$  i staking sammenliknet med  $SL^{84\%}$  ved valgfri teknikk alle FP ( $n=10$ ). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. \*:  $SL^{90\%}$  signifikant forskjellig fra  $SL^{84\%}$ .

## 4.3 Teknikkanalyser

### 4.3.1 Teknikfordeling

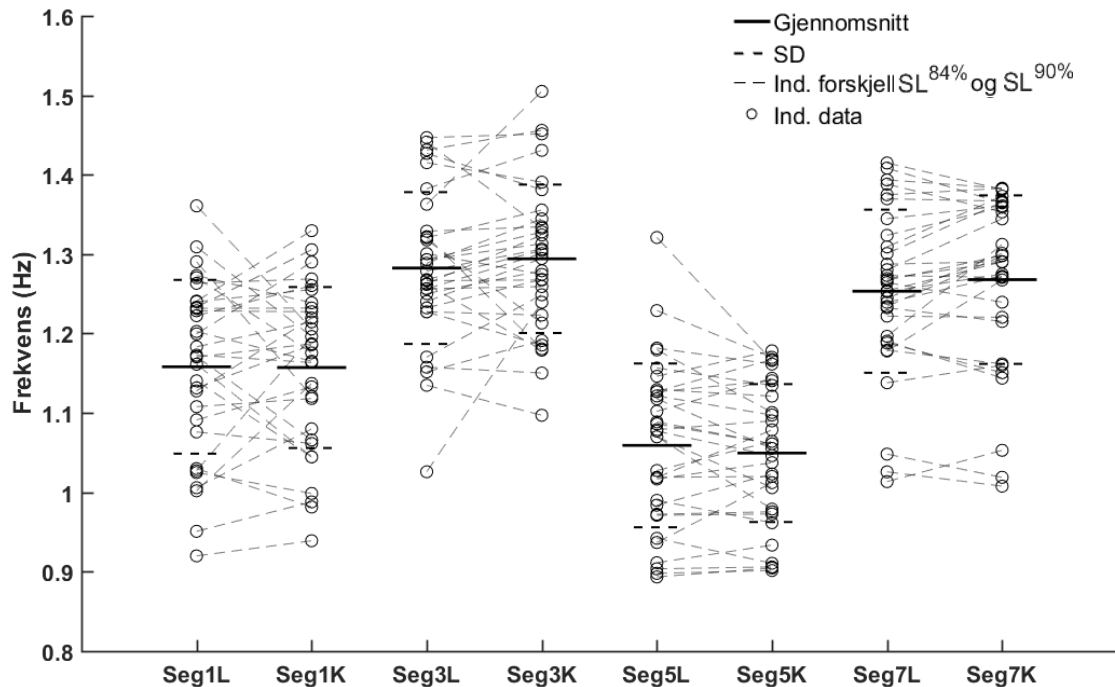
Fordeling av teknikk i de ulike segmentene var ikke signifikant forskjellig mellom stavlengdene ( $p > 0,05$ ). I figur 4.8 er ikke teknikken staking med fraspark tatt med siden analysene viste at denne teknikken ikke ble benyttet.



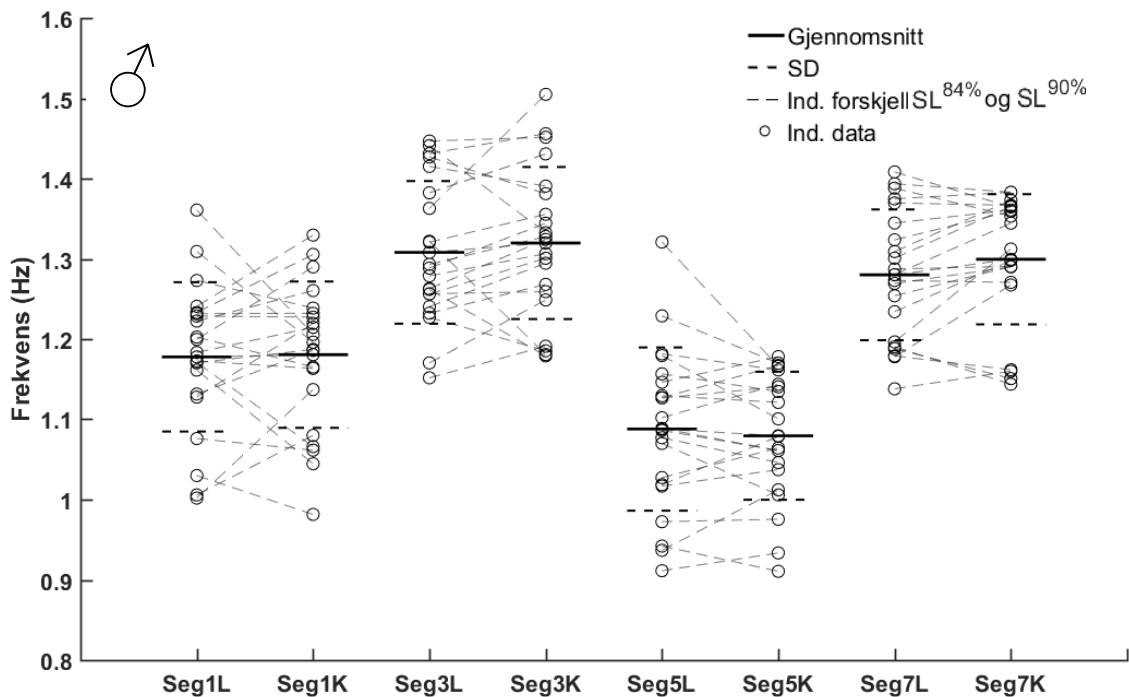
**Figur 4.8:** Fordeling av teknikk i de ulike segmentene ( $n=10$ ). SL: staking med  $SL^{90\%}$ ; SK: staking med  $SL^{84\%}$ ; DL: diagonal med  $SL^{90\%}$ ; DK: diagonal med  $SL^{84\%}$ .

### 4.3.2 Temporale karakteristikker

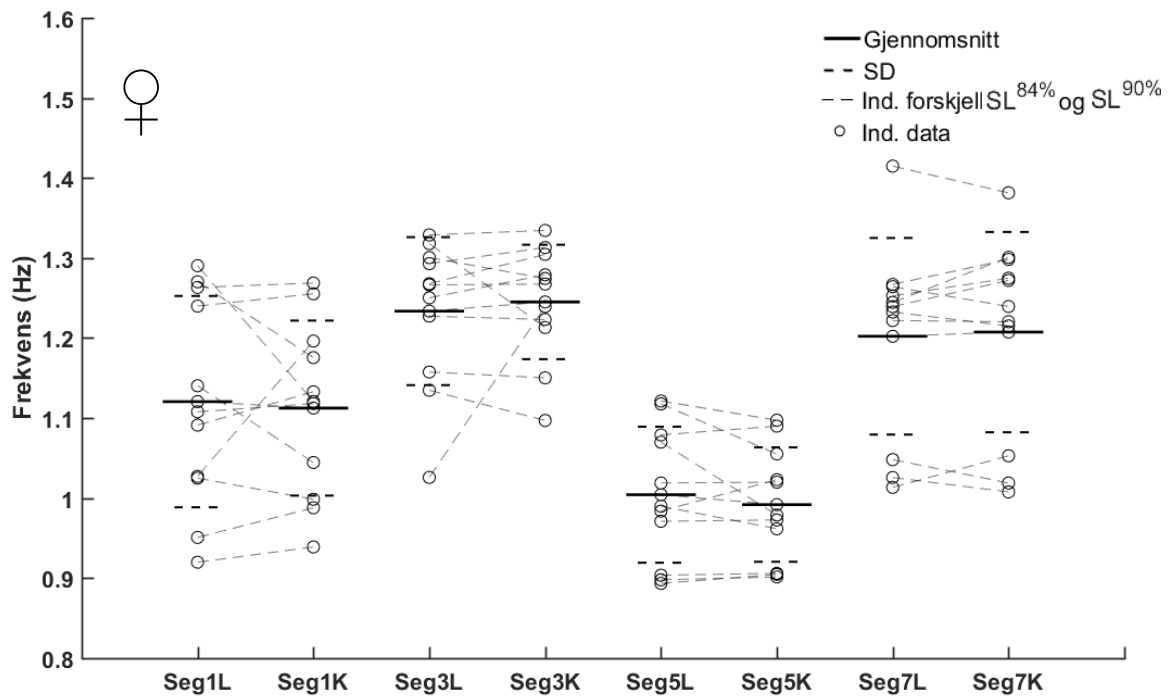
Frekvens var ikke signifikant forskjellig mellom stavlengdene ( $p > 0,05$ ), hverken hos menn (figur 4.10) eller kvinner (figur 4.11), eller alle FP samlet (figur 4.9).



**Figur 4.9:** Frekvens i de ulike segmentene i staking for alle FP ( $n=32$ ). L: staking med  $SL^{90\%}$ ; K: staking med  $SL^{84\%}$ .



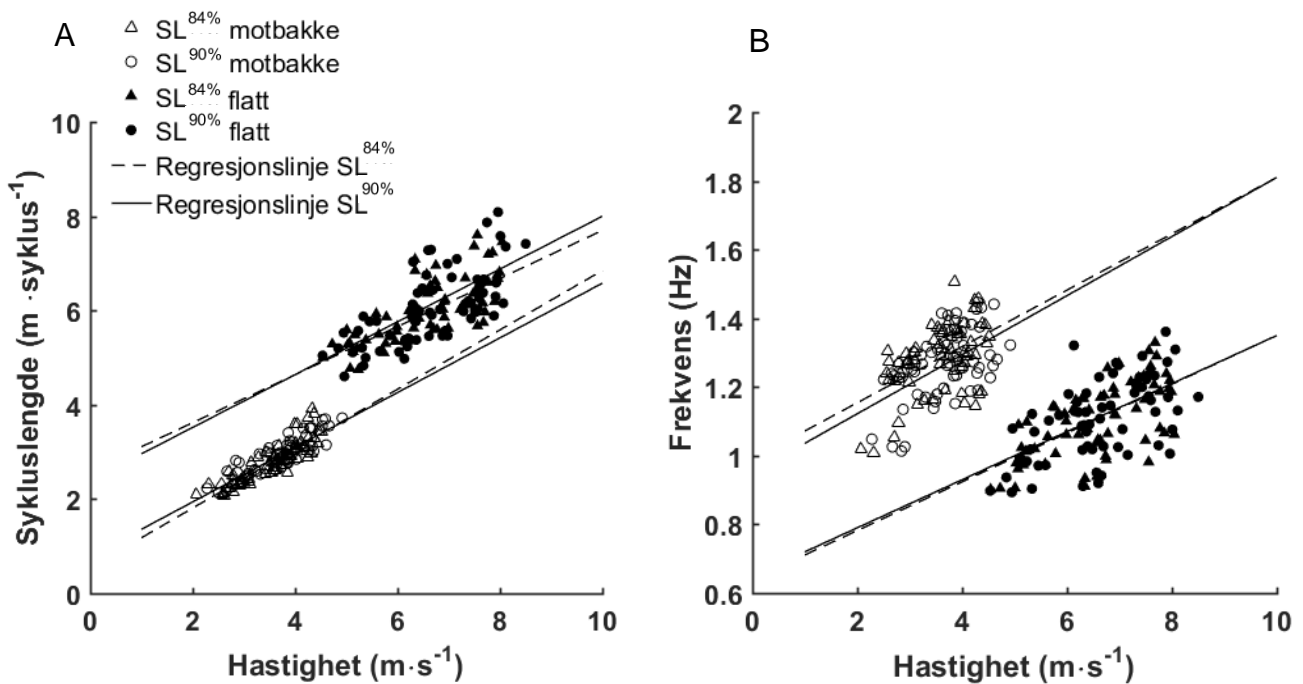
**Figur 4.10:** Frekvens i de ulike segmentene i staking for menn ( $n=21$ ). L: staking med  $SL^{90\%}$ ; K: staking med  $SL^{84\%}$ .



**Figur 4.11:** Frekvens i de ulike segmentene i staking for kvinner ( $n=11$ ). L: staking med  $SL^{90\%}$ ; K: staking med  $SL^{84\%}$ .

Sammenhengen mellom sykluslengde og hastighet (figur 4.12A) ble funnet høy for  $SL^{90\%}$  flatt ( $r = 0,690$ ) og svært høy for  $SL^{90\%}$  ( $r = 0,887$ ) i motbakke. For  $SL^{84\%}$  ble den funnet svært høy, både flatt ( $r = 0,725$ ) og i motbakke ( $r = 0,873$ ).

Sammenhengen mellom frekvens og hastighet (figur 4.12B) ble funnet høy for  $SL^{90\%}$  flatt ( $r = 0,572$ ) og i motbakke ( $r = 0,531$ ). Den ble også funnet høy for  $SL^{84\%}$ , både flatt ( $r = 0,629$ ) og i motbakke ( $r = 0,505$ ).



**Figur 4.12:** Sammenhengen mellom sykluslengde og hastighet (A) og frekvens og hastighet (B)

#### 4.4 Subjektive mål

RPE (tabell 4.1) var ikke signifikant forskjellig mellom stavlengdene ( $p > 0,05$ ). Utøvernes subjektive sammenlikning av stavene vises også i tabell 4.1. Utøverne anså  $SL^{90\%}$  som signifikant raskere under staking slakt nedover ( $p < 0,05$ ), samtidig som det var en tendens til forskjell i favør  $SL^{90\%}$  i motbakke ( $p = 0,064$ ). Under diagonalgang ble  $SL^{84\%}$  ansett som signifikant raskere i motbakke ( $p < 0,05$ ), mens det var en tendens til forskjell slakt nedover ( $p = 0,095$ ) i favør  $SL^{90\%}$ .

**Tabell 4.1:** Forsøkspersonenes subjektive opplevelse av anstrengelse og av stavlengdene. STAK: staking; DIA: valgfri teknikk.

Variabel	STAK <sup>90%</sup>	STAK <sup>84%</sup>	DIA <sup>90%</sup>	DIA <sup>84%</sup>
RPE (6-20)	16,19±3,15	15,88±3,21	16,40±2,07	16,50±1,43
Sammenlikning <sup>Slak nedover</sup> (-5-5)	0,80±1,35 *		0,90±1,52 #	
Sammenlikning <sup>latt</sup> (-5-5)	0,23±1,79		0,50±2,32	
Sammenlikning <sup>Motbakke</sup> (-5-5)	0,77±2,18 #		-2,50±2,01 *	
Sammenlikning <sup>Total</sup> (-5-5)	0,50±1,78		-1,10±2,23	

0 betyr at stavlengdene opplevdes like raske. Nærmere 5 betyr at  $SL^{90\%}$  opplevdes raskere, mens nærmere -5 betyr at  $SL^{84\%}$  opplevdes raskere.

\* Signifikant forskjellig fra 0 (like raske),  $p < 0,05$

# Tendens til signifikant forskjell fra 0 (like raske),  $0,1 > p > 0,05$

#### 4.5 Hjerterefrekvensdata

Gjennomsnittlig hjerterefrekvens med ulik stavlengde i de ulike segmentene (tabell 4.2) var ikke signifikant forskjellig fra hverandre ( $p > 0,05$ ).

**Tabell 4.2:** Gjennomsnittlig hjerterefrekvens i de ulike segmentene for de ulike stavlengdene. Data er presentert som gjennomsnitt ± SD. STAK: staking; DIA: valgfri teknikk.

	Seg1	Seg2	Seg3	Seg4	Seg5	Seg6	Seg7
HF STAK <sup>90%</sup>	147±11	169±11	172±11	176±8	177±9	178±11	177±10
HF STAK <sup>84%</sup>	148±13	167±10	172±9	176±8	178±8	178±8	178±8
HF DIA <sup>90%</sup>	153±11	166±12	169±12	174±10	175±10	175±11	174±10
HF DIA <sup>84%</sup>	154±14	165±10	169±10	174±10	176±10	174±10	174±9





## 5. Diskusjon

Formålet med prosjektet var å undersøke effekten av stavlengde for prestasjonen under et simulert skirenn i klassisk langrenn, og er et av de første som undersøker effekten av stavlengde på snø og mellom kjønn. Hovedfunn: (I) Med SL<sup>90%</sup> var hastigheten signifikant høyere i motbakker kontra ved bruk av SL<sup>84%</sup> (II) I flatt terreng presterte menn bedre med SL<sup>84%</sup> enn SL<sup>90%</sup>, mens det ikke ble funnet forskjeller i prestasjon mellom stavlengdene for kvinner. (III) Ved valgfri klassiskteknikk (ski med festesmurning) ble det ikke funnet forskjeller i teknikkvalg (IV) Det ble ikke funnet noen forskjell i HF og RPE mellom de to stavlengdene, heller ingen forskjell i subjektiv opplevelse.

### 5.1 Effekten av stavlengde

Studiet er et av de første som undersøker effekten av stavlengde på snø under et simulert skirenn. Testingen vi har gjort utendørs er en videreføring av studier gjort på rulleskimølle innendørs, der særlig effekten av stavlengde på O<sub>2</sub>-kostnad (Carlsen, 2016; Hoffman et al., 1994; Losnegard et al., 2017; Onasch et al., 2016) og prestasjon (Losnegard et al., 2017; Nilsson et al., 2003) er undersøkt. Funnene fra vår studie sammenfaller godt med disse funnene, selv om det er metodiske forskjeller mellom testing innendørs på rulleskimølle og utendørs på snø (Losnegard et al., 2012). Hovedparten av tidligere studier som belyser temaet har sett på effekten av stavlengder på O<sub>2</sub>-kostnad, dette medfører at det blir gått på relativt lave hastigheter, slik som i Hoffman et al. (1994) der det ble gått på hastigheter mellom 1,1-2,9 m·s<sup>-1</sup>, dette blir dermed ikke nødvendigvis sammenlignbart med konkurransehastigheter. Kun i Losnegard et al. sin studie fra 2017 er prestasjonen over lengre tid testet, med en hastighet på ~5,2 m·s<sup>-1</sup> og stigning 2,5°. Funn her viste at tiden ble redusert med 1,0 ± 0,7 % ved bruk av de lange stavene. Hastighetene i vårt prosjekt er trolig mer konkurranselike, varierende fra ~3 til ~11 m·s<sup>-1</sup>, og dermed mer valide når stavlengders effekt på prestasjon skal bestemmes. Funnene fra denne studien viser at de raskeste løperne, i hovedsak menn, har mindre utbytte av lengre staver. I flatt terreng der hastighetene er høye hos menn, finner vi til og med en signifikant forskjell i tid og hastighet i favør SL<sup>84%</sup>. I motbakke finner vi ingen signifikant forskjell i tid, kun en kort periode der hastigheten til SL<sup>90%</sup> er signifikant høyere enn SL<sup>84%</sup>. Ser vi derimot på de løperne som bruker lengre tid (flest kvinner), og dermed går på en relativt lavere

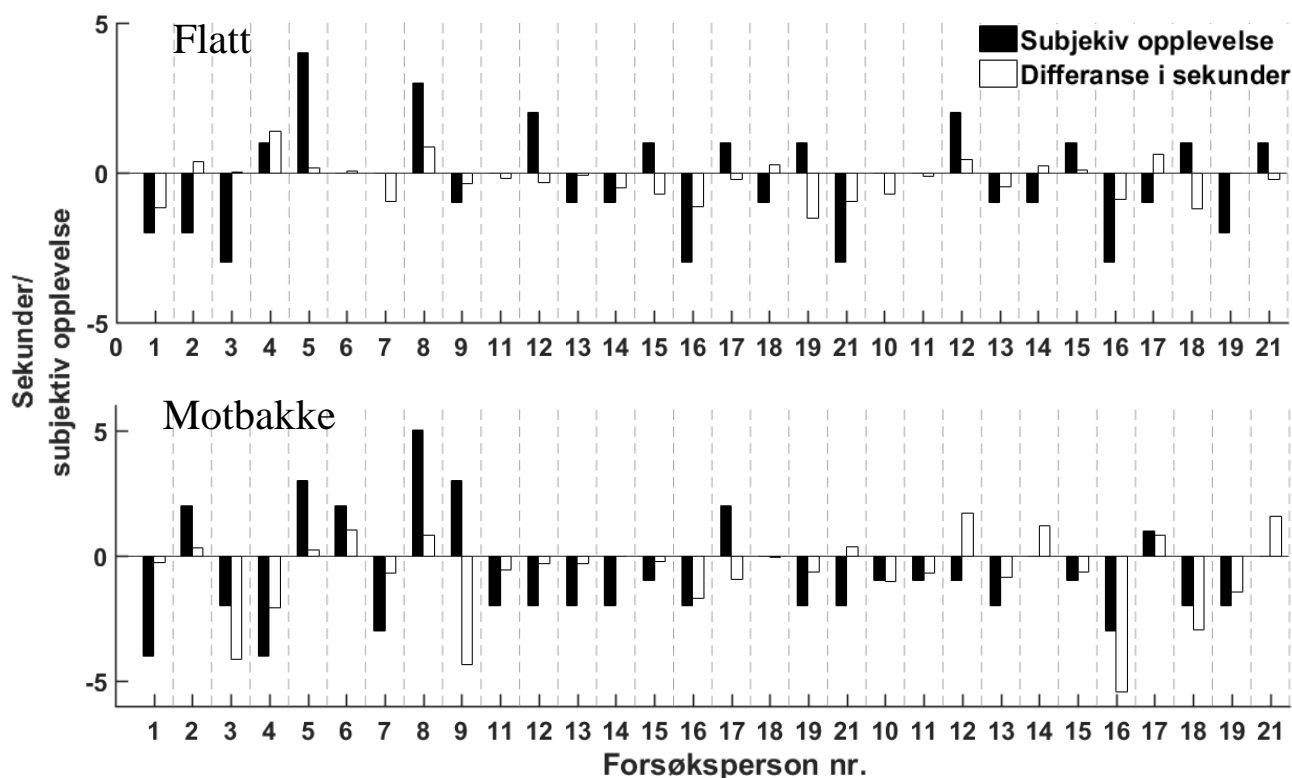
hastighet, finner vi at effekten av  $SL^{90\%}$  er større i motbakke Videre finner vi heller ingen tap av tid med  $SL^{90\%}$  kontra  $SL^{84\%}$  i flatt terreng. Dette sammenfaller godt med Carlsen sin studie fra 2016, der de gjennomførte analyser av  $O_2$ -kostnaden på to ulike stigninger ( $1,7^\circ$  og  $4,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  og  $4,5^\circ$  og  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) og med 4 ulike staver ( $SV^{-5}$ ,  $SV$ ,  $SV^{+5}$  og  $SV^{+10}$ ). Funnene herfra viste at  $SV^{+10}$  ga lavest  $O_2$ -kostnad i forhold til de andre stavlengdene på begge stigninger, men at forskjellen nettopp var størst i motbakke. Forskjellen Losnegard et al. (2017) fant kan trolig også relateres til stigningen de valgte ( $2,5^\circ$ ). Dermed er det trolig slik at jo høyere hastighet du holder, jo mindre utbytte har du av lengre staver, og til tider kan du også tape tid. Samtidig vil de utøverne som går langsamst og har størst effekt av lange staver i motbakke, tilbringe mer tid i motbakkene, som igjen gjør at man får mer utbytte av de lengre stavene der.

Selv om de nevnte studiene over finner lengre staver mer arbeidsøkonomisk også i flatt terreng, er dette trolig fordi hastighetene det blir gått på ikke er like store som der  $SL^{90\%}$  blir funnet signifikant dårligere i dette studiet. Hansen og Losnegard (2010), som var det første stavlengde-studiet som ble gjennomført på snø, fant allikevel at lengre staver ( $SV^{+7,5}$ ) førte til en bedre prestasjon ( $0,9 \pm 0,7 \%$ ) under en 80 meter flat stakesprint. Ser man nøye på resultatene herfra viser de at det er i starten, der hastighetene er lave, man har nytte av lengre staver. Mot slutten når hastighetene er høye finner de ingen forskjell. Dette sammenfaller godt med resultater fra Nilsson et al. (2003) som fant en økt kraftimpuls i ett enkelt stavtak gjennomført ved  $3,92 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ved bruk av 7,5 cm lengre staver enn  $SV$ . Nettopp dette kan man ha nytte av i en akselerasjonsfase. Akselerasjonsfasen er allikevel av liten betydning i vanlig konkurranselangrenn, noe vår studie indikerer.

Vår studie viser at stavlengder trolig ikke har noen betydning på valg av teknikk. Ingen eller få tidligere studier har undersøkt dette. Vi ser samtidig av figur 4.8 at teknikkvalget er ganske konsist mellom de to stavlengdene innad hos forsøkspersonene, dette illustreres godt gjennom den individuelle forskjellen som vises i denne figuren. Trolig spiller andre faktorer som stigning og hvor godt feste man har på skiene en større rolle enn stavlengden. Samtidig som individuelle preferanser spiller inn. Videre studier bør kanskje se på hvilke faktorer som bestemmer valget av teknikk utendørs, slik Pellegrini et al. (2013) gjorde innendørs på rulleskimølle.

Tabell 4.1 viser at utøverne foretrakk SL<sup>84%</sup> fremfor SL<sup>90%</sup> under diagonalgang i motbakker. Allikevel ble det ikke registrert noen forskjell i prestasjon mellom SL<sup>90%</sup> og SL<sup>84%</sup> under diagonalgang (figur 4.2A). Tid er uansett mer viktig enn følelse for prestasjon og dette kan dermed bety at man ved bruk av lange staver kan utnytte fordelene av de lange stavene i partier av løypa der staking blir benyttet, uten å tape tid der man går diagonalgang. Allikevel er det viktig å huske på at effekten av lengre staver først og fremst gjelder i motbakke, der man nettopp velger å gå diagonalgang med festesmurning, noe som gjør det vanskelig å utnytte effekten optimalt. Samtidig viser vår studie at det ikke er noen forskjell i frekvens mellom stavlengdene, noe som støttes av både Losnegard et al. (2017) og Carlsen (2016).

Av tabell 4.1 ser man at det er en tendens til at de føler det går raskere med de lange stavene uavhengig av terreng/hastighet. Det kan synes noe paradoksalt siden det bare er i motbakke de subjektive oppfatningene sammenfaller med tidsanalysen (figur 5.1/tabell 4.1). Forsøkspersonene foretrakk de lange stavene også ved slak nedoverbakke til tross for ingen forskjell i prestasjon. En mulig årsak til dette kan være at forsøkspersonene akselererte ut fra start samtidig som det var slakt nedover, lange staver er vist å være fordelaktig her (Hansen & Losnegard, 2010). Bruker de da dette som en referanse, kan det være logisk at de føler de lange stavene er raskere. Samtidig skal man ikke glemme at det har vært mye snakk om stavlengder i langrennsmiljøet det siste året, dette vises godt gjennom et søk på f.eks. langrenn.com, her har det blitt skrevet at lengre staver trolig er bedre, spesielt i motbakker. I tillegg understreker også FIS sin endring i konkurransereglementet rundt stavlengder dette (FIS, 2016). Utøverne kan dermed ha vært biased før studien til fordel for de lengste stavene. En mulig løsning på dette kunne vært å blinde forsøkspersonene, men dette kan igjen bli vanskelig å gjennomføre fordi det uansett vil være synlig lengdeforskjell på stavene.



**Figur 5.1:** Viser sammenhengen mellom subjektiv opplevelse og den faktiske differansen i tid. Negativt tall betyr fordel  $SL^{90\%}$ , mens positivt tall betyr fordel  $SL^{84\%}$ .

Av figur 5.1 ser vi at av de 30 sammenlikningene vi har fra forsøkspersonene, er svarene 20 av gangene at lange staver er raskere i motbakke (seg7), på flatmark (seg5) er tallet kun 14. Samtidig er det slik at utøverne har riktig 80 % av gangene i motbakke, mens de kun har riktig 46 % av gangene på flatmark. Dette viser at utøverne lettest klarer å fange opp betydningen av stavlengde for prestasjon i motbakke der tidsforskjellen mellom stavene var tydeligst. Som ytterligere kan underbygge den positive effekten av lange staver i motbakke.

## 5.2 Mulige mekanismer bak forskjell i stakprestasjon

Skal man undersøke mekanismene bak hvorfor ulike stavlengder fører til ulik prestasjon i staking, er det trolig viktig å se på hva som i utgangspunktet begrenser prestasjonen. Som nevnt over er staketeknikken et spekter av ulike bevegelsesløsninger som utøveren endrer ut fra blant annet de ytre forholdene. Endring av bevegelsesløsning ut fra terreng er trolig en av årsakene til at ulike stavlengder i staking fører til ulik prestasjon i forskjellig terreng. I motbakke er det slik at tiden man har til å repositionere seg fra stavslipp til stavsett (svingtiden) er blant faktorene som begrenser hastigheten mest (Stoggl & Holmberg, 2016). Lengre staver medfører større ekstensjon i hofte-, kne- og

ankelledd, noe som fører til en høyere posisjon av COM, dette er trolig en av årsakene til at lengre staver er mer arbeidsøkonomisk i motbakke (Carlsen, 2016). Ved bruk av lange staver vil man da ha en kortere vei når man skal repositionere seg, og ettersom svingtiden som sagt er begrensende, møter man denne utfordringen på en bedre måte og prestasjonen blir bedre. Under høye hastigheter (flatt terreng) er derimot tiden for kraftutvikling begrenset siden kontakttiden er svært kort (0,2-0,3 s) (Stoggl & Holmberg, 2016). En mulig grunn til at SL<sup>84%</sup> førte til en høyere hastighet her kan være at man med kortere staver klarer å opprettholde forberedelsesfasen, og at trinseplasseringen ved isett ligger lenger fra bindingen med SL<sup>84%</sup> kontra SL<sup>90%</sup>. Dette gir dermed tid til å skape kraft, slik flere studier har vist er gunstig (Holmberg et al., 2005; Stoggl & Holmberg, 2011). Det er allikevel viktig å påpeke at forskjellene som er funnet kun er små, og de gjelder kun for de aller raskeste løperne. Både Carlsen (2016) og Losnegard et al. (2017) fant en større effekt av lengre staver kontra korte i tilnærmet flatt terreng inne på rulleskimølle. En mulig grunn til at dette ikke samsvarer med funnene i denne studien kan være luftmotstanden. Ved økende hastighet utendørs vil luftmotstanden øke, og økt kroppsflate vil øke denne motkraften ytterligere (G. Smith, 2000). Hvis det er slik at lengre staver fører til en mer oppreist stilling under staking, vil dette øke kroppsflaten og luftmotstanden vil dermed øke. Inne på rulleskimølle vil man ikke klare å detektere denne bakdelen. Dette kan derfor være en av grunnene til noe motsigende funn innendørs kontra utendørs.

Carlsen (2016) nevner også i sin studie at man ved bruk av lengre staver i motbakke (4,5°) skaper en større fleksjon i albuen, dette fører til at stavene holdes nærmere kroppen som igjen vil redusere den ytre momentarmen og det kreves dermed mindre kraft for å overvinne denne. Det er sannsynlig å anta at dette også gjelder utendørs. Under en prestasjonstest, hvor målet er å gå raskest mulig, vil dermed trolig mer av kreftene bidra til fremdrift om man bruker lange staver i motbakke. Stoggl og Holmberg (2016) gjorde de samme funnene på stigninger helt opp til 7°. I vår studie var det to motbakkesegmenter (3 og 7), med en stigning på ~6,5°, redusert ytre momentarm kan derfor være med på å forklare bedret prestasjon i motbakke med SL<sup>90%</sup>.

### **5.3 Metodiske betraktninger**

Posisjonsbestemmende utstyr er i stor utvikling (Aughey, 2011). Dette åpner for enklere og samtidig pålitelige analyser av langrenn i felt. Figur 2.2 viser at mye av forskningen

på langrenn de siste årene har blitt gjennomført innendørs. Et søk etter «*cross country skiing*» AND «*performance*» på pubmed ga et treff på 139 artikler. Tabell 5.1 viser en oversikt over hvor disse er gjennomført delt på tiår. Først og fremst ser man en økning i antall studier som er gjennomført, men samtidig er mange av studiene gjort innendørs. Selv om forskning innendørs selvfølgelig vil være relevant, begrenser det svarene noe, ettersom langrenn er en utendørsidrett. Behovet for forskning i felt ser man helt klart er der ut fra tabell 5.1, og utviklingen av posisjonsbestemmende utstyr kan gjøre dette mulig.

**Tabell 5.1** Viser en oversikt over studiene som kommer opp under et søk på «*cross country skiing*» AND «*performance*» på pubmed delt på tiår. Tallene er presentert som antall (prosent av total).

Type studie	1970-79	1980-89	1990-99	2000-04	2005-09	2010-->	Totalt
<b>Inne i lab</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (7%)	8 (42%)	30 (38%)	39
<b>Trening</b>	0 (0%)	2 (33%)	8 (42%)	7 (47%)	4 (21%)	15 (19%)	36
<b>Ute på snø</b>	1 (50%)	1 (17%)	1 (5%)	2 (13%)	3 (16%)	9 (12%)	17
<b>Rulleski ute</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (7%)	1 (5%)	4 (5%)	6
<b>Analyse av konk.</b>	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (7%)	0 (0%)	5 (6%)	6
<b>Metaanalyse</b>	0 (0%)	0 (0%)	3 (16%)	0 (0%)	0 (0%)	3 (4%)	6
<b>Ikke relevant</b>	1 (50%)	3 (50%)	7 (37%)	3 (20%)	3 (16%)	12 (15%)	29
<b>Sum</b>	2	6	19	15	19	78	139

I vår studie ble en kombinert IMU- og GNSS-enhet benyttet, både til å bestemme posisjon og registrere bevegelser med tanke på teknikk. Enheten er i utgangspunktet utviklet for lagidretter (fotball, håndball osv.). Dette gjør den godt tilpasset idrett med tanke på kvalitet, programvare, funksjoner og brukervennlighet. Samtidig veier den kun ~70g og inneholder en knapp for betjening. Andersson et al. (2010) benyttet en differensiell GPS. Dette er en mer nøyaktig GPS, men den veier ~1,6kg, samtidig som den krever mer oppsett av utsyr (egen basestasjon, innmåling av faste punkter, oppsett på utøver osv.).

Spørsmålet blir da om kravet til nøyaktighet er så viktig at det kan gå utover funksjonalitet og enkelthet? I alpint blir det benyttet differensiell GPS, men denne metoden krever samtidig gode signalforhold (for eksempel lite signalskygge av trær og

fjell), dette oppnår de stort sett i alpint der det ofte er lite trær og åpne fjellsider (Gilgien, 2014). Samtidig har alpinistene hastigheter, opp mot  $130\text{-}140\text{ km}\cdot\text{t}^{-1}$ , som betyr at det stilles store krav til nøyaktighet. I langrenn derimot er hastighetene mye lavere, samtidig som en langrennsløype ofte kan være omringet av høye trær. Ved bruk av differensiell GPS i slike områder vil man derfor i mange tilfeller ikke opprettholde samme nøyaktighet. For nøyaktighet ned mot 1 cm er man avhengig av fix-løsning, men kontakt med få satellitter, ugunstig geometri mellom satellittene eller dårlig kontakt med basestasjon kan forhindre dette (Gilgien, 2014). Spesielt ugunstig geometri mellom satellitter kan oppstå i langrenn der det kun er en smal stripe som er åpen mot himmelen, og problemer med nøyaktigheten kan dermed oppstå.

I langrenn er flere ulike posisjonsbestemmende metoder benyttet. Bolger et al. (2015) benyttet GPS-klokker som metode for å undersøke hastighetsprofiler og HF-profiler under en langrennskonkurranse. Sandbakk et al. (2016) benyttet også slike klokker i sin studie. Slike klokker har en opptaksfrekvens på 1Hz mot 10Hz hos Catapult Optimeye S5 (Catapult, u.å.) som ble benyttet i vår studie. Til analyser i vår studie ble dopplerhastighet benyttet. Dette er en metode å beregne hastighet på som øker nøyaktigheten fra meter per sekund nivå ned til centimeter per sekund nivå (Petovello, 2015), noe som helt klart er betydningsfullt. Samtidig er Catapult like enkel og funksjonell som en GPS-klokke og dermed et godt verktøy i langrenn. I tillegg er enheten av den vekt og størrelse og til lite hinder for bevegelsen, slik at utøvere uten problem vil kunne benytte den i en reell konkurranse. For å svare på spørsmålet jeg stilte innledningsvis kan man derfor trolig i langrenn gå litt på kompromiss med nøyaktigheten til GPS-verktøyet, hovedsakelig pga. lavere hastigheter. Det er allikevel viktig å påpeke at validering av metoden opp mot en differensiell GPS kreves for å øke målesikkerheten.

Bruken av tilsvarende enhet til registrering av teknikk er også brukt i tidligere studier (Marsland et al., 2012; Marsland et al., 2015). Begge studiene konkluderer med at et slikt verktøy kan benyttes både i forskning, men også i et treningsarbeid der målet er å utvikle sin egen teknikk. Dette er også erfaringene fra vår studie, men videre utvikling av algoritmene for gjenkjenning kreves. Sammenlikner man syklusfrekvens funnet i dette prosjektet med andre studier, finner man sammenfallende resultater. Carlsen (2016) fant at om stigningen økte fra  $1,7^\circ$  til  $4,5^\circ$ , så var det en tendens i økning av frekvensen. Losnegard (2016) fant en reduksjon i syklustid ved økende hastighet, noe

som betyr økning i frekvens. Begge disse funnene samsvarer med funn i dette studiet, slik figur 4.12B viser. Hansen og Losnegard (2010) så blant annet på sykluslengde funnet ved hjelp av video under en 80 meter stakesprint. Gjennomsnittlig sykluslengde her ble funnet til ~5,5 m ved en hastighet på ~7 m·s<sup>-1</sup>, noe som er identisk med våre funn på samme hastighet (figur 4.12A). Millet et al. (1998) og Stoggl og Holmberg (2016) fant at frekvensen er høyere, mens sykluslengden blir redusert i motbakke kontra flatt, som igjen sammenfaller godt med figur 4.12. Dette indikerer sterkt at metoden der en kombinerer GPS og IMU for å studere teknikk kan gi valide resultater. Allikevel kreves det mer arbeid der man kanskje kombinerer data fra IMU-enheten slik at man i større grad og med større sikkerhet kan bestemme teknikk.

#### **5.4 Praktisk betydning for langrennsutøvere**

De siste årene har et betydelig antall studier undersøkt effekten av stavlengde for prestasjon eller prestasjonsfremmende faktorer (Carlsen, 2016; Hansen & Losnegard, 2010; Losnegard et al., 2017; Nilsson et al., 2003; Onasch et al., 2016). Samtidig har dette også fått stor oppmerksomhet hos utøvere og andre med interesse innenfor langrenn (Haugen, 2015; Johnsen, 2015; Langrenn.com, 2016; Losnegard, 2016). I et intervju med langrenn.com (Langrenn.com, 2016) sier manager for ett av langløpslagene at utøverne foran sesongen 15/16 hadde gått opp 5 cm i snitt på stavlengden, samtidig sier han også at det er benyttet staver som er 12,5 cm høyere enn det man normalt ville brukt, og tilbakemeldingen var at effekten var størst i motbakke. Som et av mange forsøk på å bevare klassisk langrenn besluttet FIS i forkant av 16/17 sesongen å innføre en maks lengde på stavene i klassisk langrenn (FIS, 2016). Denne ble bestemt til 83 % av kroppshøyden (inkludert skisko, målt til håndtakets innfesting). Samtidig viser vår studie at lange staver ikke nødvendigvis er like fordelaktig som indikert i innendørsstudier, spesielt for de raskeste utøverne. Men siden effekten er størst i motbakke, og utøveren tilbringer ~50 % av tiden her (Andersson et al., 2010), kan det ha en innvirkning på sluttresultatet. Valget av stavlengder vil både være knyttet til individuelle forutsetninger, løypeprofilen og skiføret. Stavene er derfor en del av den taktiske vurderingen før renn.

Samtidig kan man kanskje tenke at manglende tilvenning er en årsak til de individuelle variasjonene. En nylig publisert masterstudie fra NIH der det ble gjennomført tilvenning til lengre staver (90 % av kroppshøyde) over 6 uker inne på rullskimølle, viste



imidlertid ingen signifikant forskjell i O<sub>2</sub>-kostnad eller prestasjon (hurtighetstest) hverken før eller etter tilvenningsperioden (Tosterud, 2017).

En annen taktisk vurdering utøverne må gjøre er bruk av festesmøring under skiene eller blanke ski. I vår studie ble en slik sammenlikning av staking med SL<sup>90%</sup> og diagonalgang med SL<sup>84%</sup> gjennomført (figur 4.2B og figur 4.7). Resultatene herfra viste at man med festesmurning taper tid i flatt terreng der hastigheten er stor, mens man tjener tid i motbakkene. I forkant av konkurranser blir dette igjen en individuell vurdering, samt en vurdering av løypeprofilen.

## **5.5 Begrensninger ved prosjektet**

Dette prosjektet ble gjennomført utendørs på snø, dette skaper andre utfordringer enn ved testing inne. Endinger i vær og vind kan skape forskjeller i tid som ikke er knyttet til stavlengden, samtidig som temperaturendringer kan føre til endring i friksjon eller feste mellom ski og snø underveis i testingen. Snø er også et underlag som ikke er like forutsigbart som en rulleskimølle. Ulik snøkonsistens kan føre til ulik motkraft fra underlaget som igjen kan resultere i ulik fremdrift. Samtidig kan snøkonsistensen også føre til at stavene går ned i snøen på ulik måte, som igjen vil påvirke den faktiske stavelengden.

Friksjonstest i forkant av hvert drag ble gjennomført for å kontrollere om skiene endret seg under datainnsamlingen. Vedlegg IV viser ingen signifikante forskjeller mellom dragene, men individuell friksjon varierer og vi målte til og med negative verdier, noe som ikke er fysisk mulig. Etter avsluttet datainnsamling ble det derfor gjennomført retesting av friksjon med flere repetisjoner og regnet gjennomsnitt for å redusere måleusikkerheten (tabell 5.2). Ved retesting ble det først gjennomført 10 friksjonsmålinger i sporet, deretter 10 utenfor sporet, disse målingene viste at testing av friksjonen i og utenfor spor gir ulikt resultat. En mulig årsak til dette kan være at skiene berører kanten på sporet. Derfor ble retesting av friksjonsmålinger, før og etter drag i en tilsvarende løype som under datainnsamlingen gjennomført utenfor sporet. Det ble gjennomført 5 friksjonsmålinger mellom hvert drag for beregning av gjennomsnitt. Funnene fra disse målingene er at skiene trolig ikke er med på å forklare forskjellene som er funnet i prosjektet. Friksjonsmålingene under data innsamlingen burde imidlertid vært gjennomført med 5 repeterte målinger utenfor sporet.

**Tabell 5.2** Tabellen viser friksjonskoeffisientene ( $\mu$ ) for retest av friksjon.

Forsøk nr.	I spor	Utenfor	Drag 1	Drag 2	Drag 3	Drag 4
1	0,033	0,023	0,023	0,027	0,026	0,024
2	0,039	0,023	0,023	0,022	0,026	0,016
3	0,032	0,026	0,026	0,018	0,020	0,016
4	0,030	0,029	0,029	0,024	0,015	0,024
5	0,030	0,020	0,020	0,021	0,016	0,024
6	0,028	0,029				
7	0,030	0,026				
8	0,027	0,031				
9	0,027	0,031				
10	0,024	0,019				
<b>Snitt</b>	<b>0,030</b>	<b>0,025</b>	<b>0,024</b>	<b>0,022</b>	<b>0,020</b>	<b>0,021</b>
<b>SD</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>

Det er også knyttet noe usikkerhet til GPS-enheten. Denne har en oppgitt nøyaktighet på 50 cm (Catapult, u.å.) noe som betyr at man ikke kan være helt sikker på utøverens posisjon til en hver tid. Dette gjelder imidlertid kun mellom passeringspunktene ettersom disse med ett hundredels nøyaktighet angir posisjonen til utøveren. Samtidig vil et relativt høyt antall forsøkspersoner redusere denne måleusikkerheten.

Stavlengdene brukt i dette studiet fraviker fra regelverket FIS har satt om maks lengde i klassisk langrenn.  $SL^{84\%}$  vil være tillatt ettersom dette er et mål av hele staven, og utøverens høyde uten sko,  $SL^{90\%}$  derimot vil ikke være tillatt i klassiske konkurranser. Dette begrenser den praktiske betydningen av studiet, men ettersom det ikke er gjennomført stavlengdestudier ute på snø er dette et nyttig tilskudd til både litteraturen og FIS sitt regelverk. Valg av stavlengdene ble gjort før FIS kom med regelendringen.

## 6. Konklusjon

Prestasjonen, målt som tid og hastighet, i staking ble bedret ved bruk av SL<sup>90%</sup> kontra SL<sup>84%</sup> i motbakke ute på snø. Forskjellen var større for kvinner enn menn, samtidig som menn hadde en bedret prestasjon ved bruk av SL<sup>84%</sup> kontra SL<sup>90%</sup> ved høy hastighet ( $>9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Forskjellig stavlengde ga ingen forskjell i prestasjonen under valgfri teknikk, og ga heller ingen forskjell i hvilke klassiskeknikker som ble benyttet i ulike deler av løypa. I staking ga ulik stavlengde heller ingen forskjell i frekvens, sykluslengde, HF eller RPE.

## Referanser

- Aftenposten. (2015). Elite og mosjonister tester lengre staver. Retrieved from [http://www.aftenposten.no/100Sport/langrenn/Elite-og-mosjonister-tester-lengre-staver-636622\\_1.snd](http://www.aftenposten.no/100Sport/langrenn/Elite-og-mosjonister-tester-lengre-staver-636622_1.snd)
- Andersson, E., Supej, M., Sandbakk, O., Sperlich, B., Stoggl, T., & Holmberg, H. C. (2010). Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system. *Eur J Appl Physiol*, *110*(3), 585-595. doi:10.1007/s00421-010-1535-2
- Aughey, R. J. (2011). Applications of GPS technologies to field sports. *Int J Sports Physiol Perform*, *6*(3), 295-310.
- Bellizzi, M. J., King, K. A., Cushman, S. K., & Weyand, P. G. (1998). Does the application of ground force set the energetic cost of cross-country skiing? *J Appl Physiol* (1985), *85*(5), 1736-1743.
- Bolger, C. M., Kocbach, J., Hegge, A. M., & Sandbakk, O. (2015). Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country skiing competitions. *Int J Sports Physiol Perform*, *10*(7), 873-880. doi:10.1123/ijsp.2014-0335
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, *14*(5), 377-381.
- Carlsen, C. H. (2016). *Effekten av ulike stavlengder på arbeidsøkonomi i staking: flatt versus motbakke*. (Master), Norges idrettshøgskole, Oslo.
- Catapult. (u.å.). Optimeye S5. Retrieved from <http://www.catapultsports.com/media/3702/catapult-optimeye-s5.pdf>
- Cignetti, F., Schena, F., Mottet, D., & Rouard, A. (2010). A limit-cycle model of leg movements in cross-country skiing and its adjustments with fatigue. *Hum Mov Sci*, *29*(4), 590-604. doi:10.1016/j.humov.2010.03.001
- Clifford, P. S., & Hoffman, M. D. (1989). Cardiopulmonary response to nordic skiing. *Med Sci Sports Exerc*, *21*, 64.
- di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, *90*(3-4), 420-429. doi:10.1007/s00421-003-0926-z
- Fasel, B., Spörri, J., Gilgien, M., & Aminian, K. (2016). Three-Dimensional Body and Centre of Mass Kinematics in Alpine Ski Racing Using Differential GNSS and Inertial Sensors. *Remote Sensing*, *8*(8). doi:10.3390/rs8080671
- FIS. (2016). THE INTERNATIONAL SKI COMPETITION RULES (ICR). Retrieved from [http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Cross-Country/02/95/69/ICRCross-Country2016\\_clean\\_English.pdf](http://www.fis-ski.com/mm/Document/documentlibrary/Cross-Country/02/95/69/ICRCross-Country2016_clean_English.pdf)
- Gilgien, M. (2014). *Characterisation of skiers' mechanics, course setting and terrain geomorphology in World Cup Alpine Skiing using global navigation satellite systems: Injury risk, performance and methodological aspects*. (Ph. D),

Norwegian School of Sport Sciences, Oslo. Retrieved from  
<https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/195750>

- Gilgien, M., Sporri, J., Limpach, P., Geiger, A., & Muller, E. (2014). The effect of different Global Navigation Satellite System methods on positioning accuracy in elite alpine skiing. *Sensors (Basel)*, *14*(10), 18433-18453.  
doi:10.3390/s141018433
- Gonzalez-Millan, C., Perez-Brunicardi, D., Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., Areces, F., . . . Del Coso, J. (2016). Physiological demands of elite cross-country skiing during a real competition. *J Strength Cond Res*.  
doi:10.1519/JSC.0000000000001616
- Hansen, E., & Losnegard, T. (2010). Pole length affects cross-country skiers' performance in an 80-m double poling trial performed on snow from standing start. *Sports Engineering*, *12*(4), 171-178.
- Haugen, T. (2015). Teknikkanalyse: Lange skistaver. Retrieved from  
<http://www.langrenn.com/teknikkanalyse-lange-skistaver.5828693-368840.html>
- Hoffman, M. D., & Clifford, P. S. (1990). Physiological responses to different cross country skiing techniques on level terrain. *Med Sci Sports Exerc*, *22*(6), 841-848.
- Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Foley, P. J., & Brice, A. G. (1990). Physiological responses to different roller skiing techniques. *Med Sci Sports Exerc*, *22*(3), 391-396.
- Hoffman, M. D., Clifford, P. S., Watts, P. B., Drobish, K. M., Gibbons, T. P., Newbury, V. S., . . . O'Hagan, K. P. (1994). Physiological comparison of uphill roller skiing: diagonal stride versus double pole. *Med Sci Sports Exerc*, *26*(10), 1284-1289.
- Holmberg, H. C., Lindinger, S., Stoggl, T., Eitzlmair, E., & Muller, E. (2005). Biomechanical analysis of double poling in elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, *37*(5), 807-818.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, *30*(1), 1-15.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, *41*(1), 3-13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Ingjer, F. (1991). Maximal oxygen uptake as a predictor of performance ability in women and men elite cross-country skiers. *Scand J Med Sci Sports*, *1*(1), 25-30.
- Johnsen, K. (2015). Staking og lange staver. Retrieved from  
<http://www.langrenn.com/staking-og-lange-staver.5823698-1743.html>

- Langrenn.com. (2016). Møysommelig testing av lengre staver i staking. Retrieved from <http://www.langrenn.com/moeyssommelig-testing-av-lengre-staver-i-staking.5849569-335926.html>
- Larsson, P., & Henriksson-Larsen, K. (2008). Body composition and performance in cross-country skiing. *Int J Sports Med*, 29(12), 971-975. doi:10.1055/s-2008-1038735
- Lindinger, S. J., Stoggl, T., Muller, E., & Holmberg, H. C. (2009). Control of speed during the double poling technique performed by elite cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 210-220. doi:10.1249/MSS.0b013e318184f436
- Losnegard, T. (2013). *Physiological determinants of performance in modern elite cross-country skiing*. (Ph. D.), Norwegian School of Sport Sciences Oslo.
- Losnegard, T. (2016). Grundig gjennomgang: Hva er egentlig effekten av lengre staver i staking? Retrieved from <http://www.langrenn.com/grundig-gjennomgang-hva-er-egentlig-effekten-av-lengre-staver-i-staking.5914485-1743.html>
- Losnegard, T., & Hallen, J. (2014). Physiological differences between sprint- and distance-specialized cross-country skiers. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 25-31. doi:10.1123/ijsp.2013-0066
- Losnegard, T., Myklebust, H., & Hallen, J. (2012). No differences in O<sub>2</sub>-cost between V1 and V2 skating techniques during treadmill roller skiing at moderate to steep inclines. *J Strength Cond Res*, 26(5), 1340-1347. doi:10.1519/JSC.0b013e318231a69e
- Losnegard, T., Myklebust, H., Skattebo, O., Stadheim, H. K., Sandbakk, O., & Hallen, J. (2016). The Influence of Pole Length on Performance, O<sub>2</sub>-Cost and Kinematics in Double Poling. *Int J Sports Physiol Perform*. doi:10.1123/ijsp.2015-0754
- Losnegard, T., Myklebust, H., Skattebo, O., Stadheim, H. K., Sandbakk, O., & Hallen, J. (2017). The Influence of Pole Length on Performance, O<sub>2</sub> Cost, and Kinematics in Double Poling. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(2), 211-217. doi:10.1123/ijsp.2015-0754
- MacDougall, J. D., Hughson, R., Sutton, J. R., & Moroz, J. R. (1979). The energy cost of cross-country skiing among elite competitors. *Med Sci Sports*, 11(3), 270-273.
- Marsland, F., Lyons, K., Anson, J., Waddington, G., Macintosh, C., & Chapman, D. (2012). Identification of cross-country skiing movement patterns using micro-sensors. *Sensors (Basel)*, 12(4), 5047-5066. doi:10.3390/s120405047
- Marsland, F., Mackintosh, C., Anson, J., Lyons, K., Waddington, G., & Chapman, D. W. (2015). Using micro-sensor data to quantify macro kinematics of classical cross-country skiing during on-snow training. *Sports Biomech*, 14(4), 435-447. doi:10.1080/14763141.2015.1084033

- Millet, G. Y., Hoffman, M. D., Candau, R. B., & Clifford, P. S. (1998). Poling forces during roller skiing: effects of grade. *Med Sci Sports Exerc*, 30(11), 1637-1644.
- Moseley, L., & Jeukendrup, A. E. (2001). The reliability of cycling efficiency. *Med Sci Sports Exerc*, 33(4), 621-627.
- Myklebust, H. (2016). *Quantification of movement patterns in cross-country skiing using inertial measurement units*. (Ph. D.), Norwegian School of Sport Sciences, Oslo. Retrieved from <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2422117?locale-attribute=en>
- Nilsson, J. (2008). *Längdåkning i klassisk stil - dubbelstakning*. Stockholm: Vetenskap & praktik i idrott.
- Nilsson, J., Jakobsen, V., Tveit, P., & Eikrehagen, O. (2003). Pole length and ground reaction forces during maximal double poling in skiing. *Sports Biomech*, 2(2), 227-236. doi:10.1080/14763140308522820
- Onasch, F., Killick, A., & Herzog, W. (2016). Is There an Optimal Pole Length for Double Poling in Cross Country Skiing? *J Appl Biomech*, 1-20. doi:10.1123/jab.2016-0071
- Pellegrini, B., Zoppiroli, C., Bortolan, L., Holmberg, H. C., Zamparo, P., & Schena, F. (2013). Biomechanical and energetic determinants of technique selection in classical cross-country skiing. *Hum Mov Sci*, 32(6), 1415-1429. doi:10.1016/j.humov.2013.07.010
- Petovello, M. (2015). How does a GNSS receiver estimate velocity?
- Rotstein, A., Inbar, O., Berginsky, T., & Meckel, Y. (2005). Preferred transition speed between walking and running: Effects of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1864-1870. doi:10.1249/01.mss.0000177217.12977.2f
- Sakurai, Y., Fujita, Z., & Ishige, Y. (2014). Automated identification and evaluation of subtechniques in classical-style roller skiing. *J Sports Sci Med*, 13(3), 651-657.
- Saltin, B. (1997). The physiology of competitive cross-country skiing across a four decade perspective; with a note on training induced adaptations and role of training at medium altitude. In E. Müller, H. Schwameder, E. Kornexl, & C. Raschner (Eds.), *Science and Skiing* (pp. 435-469). London: E & FN Spon.
- Saltin, B., & Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*, 23(3), 353-358.
- Sandbakk, O., Bucher Sandbakk, S., Supej, M., & Holmberg, H. C. (2014). The velocity and energy profiles of elite cross-country skiers executing downhill turns with different radii. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 41-47. doi:10.1123/IJSPP.2013-0383

- Sandbakk, O., & Holmberg, H. C. (2014). A reappraisal of success factors for Olympic cross-country skiing. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1), 117-121. doi:10.1123/ijsp.2013-0373
- Sandbakk, O., Holmberg, H. C., Leirdal, S., & Ettema, G. (2010). Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers. *Eur J Appl Physiol*, 109(3), 473-481. doi:10.1007/s00421-010-1372-3
- Sandbakk, O., Losnegard, T., Skattebo, O., Hegge, A. M., Tonnessen, E., & Kocbach, J. (2016). Analysis of Classical Time-Trial Performance and Technique-Specific Physiological Determinants in Elite Female Cross-Country Skiers. *Front Physiol*, 7, 326. doi:10.3389/fphys.2016.00326
- Sandbakk, O., & Tønnesen, E. (2012). *Den norske langrennsboka*. Oslo: Aschehoug.
- Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Coyle, E. F. (1992). Load and velocity of contraction influence gross and delta mechanical efficiency. *Int J Sports Med*, 13(5), 407-411. doi:10.1055/s-2007-1021289
- Smith, G. (2000). Cross-Country Skiing: Technique, Equipment and Environmental Factors Affecting Performance. In V. M. Zatsiorsky (Ed.), *Biomechanics in sport : performance enhancement and injury prevention* (pp. 247-270): Blackwell Science Lt.
- Smith, G. A. (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Med Sci Sports Exerc*, 24(9), 1015-1022.
- Stoggl, T., & Holmberg, H. C. (2011). Force interaction and 3D pole movement in double poling. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), e393-404. doi:10.1111/j.1600-0838.2011.01324.x
- Stoggl, T., & Holmberg, H. C. (2016). Double-Poling Biomechanics of Elite Cross-country Skiers: Flat versus Uphill Terrain. *Med Sci Sports Exerc*. doi:10.1249/MSS.0000000000000943
- Stoggl, T., & Karlof, L. (2013). Mechanical behaviour of cross-country ski racing poles during double poling. *Sports Biomech*, 12(4), 365-380. doi:10.1080/14763141.2013.840855
- Titterton, D., & Weston, J. (2004). Strapdown navigation system computation. In D. Titterton & J. Weston (Eds.), *Strapdown Inertial Navigation Technology*. (pp. 309-334). London: The Institution of Engineering and Technology.
- Tosterud, O. K. (2017). *Effekten av 6 uker trening med lange staver på kinematikk, O2-kostnad og prestasjon i staking*. (Master), Norges Idrettshøgskole, Oslo.



## Tabelloversikt

<b>Tabell 2.1:</b> Tabellen viser utvalgte studier og hvilken stavlengde utøverne har oppgitt som selvvalgt lengde. Data er presentert som gjennomsnitt $\pm$ SD. ....	9
<b>Tabell 3.1:</b> Antropometriske karakteristikk, stavlengde og $VO_{2\text{maks}}$ i løping til forsøkspersonene. Data er presentert som gjennomsnitt $\pm$ SD. ....	17
<b>Tabell 3.2:</b> Oversikt over føreforhold alle 7 testdagene. ....	19
<b>Tabell 3.3:</b> Segmentlengder og total lengde for hver testdag samt gjennomsnitt for alle dagene. Alle data er i meter. --: ikke differensiell GPS-løsning i hele segmentet. ....	23
<b>Tabell 4.1:</b> Forsøkspersonenes subjektive opplevelse av anstrengelse og av stavlengdene. STAK: staking; DIA: valgfri teknikk. ....	39
<b>Tabell 4.2:</b> Gjennomsnittlig hjerterefrekvens i de ulike segmentene for de ulike stavlengdene. Data er presentert som gjennomsnitt $\pm$ SD. STAK: staking; DIA: valgfri teknikk. ....	39
<b>Tabell 5.1</b> Viser en oversikt over studiene som kommer opp under et søk på «cross country skiing» AND «performance» på pubmed delt på tiår. Tallene er presentert som antall (prosent av total). ....	46
<b>Tabell 5.2</b> Tabellen viser friksjonskoeffisientene ( $\mu$ ) for retest av friksjon. ....	50
<b>Tabell 7.1</b> Oversikt over friksjonskoeffisienten ( $\mu$ ) målt i forkant av de 4 dragene. Celler markert i grå betyr klassiskski, de øvrige er skøyeeski. ....	68

## Figuroversikt

<b>Figur 2.1:</b> Viser hvordan ulike metoder innenfor samme felt (bestemmelse av posisjon) har ulik validitet og funksjonalitet/konkurranselighet. Hentet fra Myklebust, forelesning, 24. oktober 2016 dGPS: differensiell GPS, IMU: Inertial Measurement Unit .....	12
<b>Figur 2.2</b> Tidslinje over hvordan forskning på langrenn har utviklet seg over de siste 40 årene. Hentet fra Myklebust, forelesning, 24. oktober 2016. ....	13
<b>Figur 3.1:</b> (A) kart over løypen ut fra posisjonsdata og (B) høydeprofil ut fra høydedata. Data er gjennomsnitt av alle testdager. Passeringspunktene viser inndelingen av segmentene. ....	18
<b>Figur 3.2:</b> Tidslinje over testprotokollen. Testen startet med 20 min til informasjon og påmontering av utstyr på FP. Deretter 20 min standardisert oppvarming, før 5 min til siste klargjøring. Så ble de 4 testløpene gjennomført med 20 min mellom hver start. I forkant av hvert testløp ble et gjennomført en friksjonstest. ....	19
<b>Figur 3.3:</b> Passeringspinnens plassering i forhold til sporet. Microsensorenheten er markert med rødt. ....	20
<b>Figur 3.4:</b> Oppsett av friksjonstesten. Plankene står 30 cm over bakken slik at leggen bryter fotocellene. ....	21
<b>Figur 3.5:</b> Viser hver FP sin bås med utstyr. ....	21
<b>Figur 3.6:</b> Viser hvordan løypa ble målt inn med GPS.....	23
<b>Figur 3.7</b> Viser målene på de selvkonstruerte passeringspinnene. ....	25
<b>Figur 4.1:</b> Prosentdifferanse i tid (%), $SL^{90\%}$ sammenliknet med $SL^{84\%}$ i staking for <b>A:</b> alle FP (n=32), <b>B:</b> menn (n=21) og <b>C:</b> kvinner (n=11).. 0-linje representerer gjennomsnitt for $SL^{84\%}$ . *: $SL^{90\%}$ signifikant forskjellig fra $SL^{84\%}$ . #: tendens til signifikant forskjell mellom $SL^{90\%}$ og $SL^{84\%}$ . ....	30
<b>Figur 4.2:</b> Prosentdifferanse i tid (%) <b>A:</b> $SL^{90\%}$ sammenliknet med $SL^{84\%}$ DIA for alle FP (n=10), <b>B:</b> $SL^{90\%}$ staking sammenliknet med $SL^{84\%}$ DIA for alle FP (n=10). 0-linje representerer gjennomsnitt for $SL^{84\%}$ . *: $SL^{90\%}$ signifikant forskjellig fra $SL^{84\%}$ .....	31
<b>Figur 4.3:</b> Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for $SL^{90\%}$ og $SL^{84\%}$ i staking for alle FP (n=32). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. *: $SL^{90\%}$ signifikant forskjellig fra $SL^{84\%}$ .....	32
<b>Figur 4.4:</b> Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for $SL^{90\%}$ og $SL^{84\%}$ i staking for menn (n=21). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. *: $SL^{90\%}$ signifikant forskjellig fra $SL^{84\%}$ .....	33
<b>Figur 4.5:</b> Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for $SL^{90\%}$ og $SL^{84\%}$ i staking for kvinner (n=11). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. *: $SL^{90\%}$ signifikant forskjellig fra $SL^{84\%}$ .....	33

<b>Figur 4.6:</b> Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for $SL^{90\%}$ og $SL^{84\%}$ ved valgfri teknikk for alle FP (n=10). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. ....	34
<b>Figur 4.7:</b> Gjennomsnittlig hastighetskurve ( $m \cdot s^{-1}$ ) for $SL^{90\%}$ i staking sammenliknet med $SL^{84\%}$ ved valgfri teknikk alle FP (n=10). Vertikale streker indikerer segmentinndelingen. * : $SL^{90\%}$ signifikant forskjellig fra $SL^{84\%}$ .....	34
<b>Figur 4.8:</b> Fordeling av teknikk i de ulike segmentene (n=10). SL: staking med $SL^{90\%}$ ; SK: staking med $SL^{84\%}$ ; DL: diagonal med $SL^{90\%}$ ; DK: diagonal med $SL^{84\%}$ .....	35
<b>Figur 4.9:</b> Frekvens i de ulike segmentene i staking for alle FP (n=32). L: staking med $SL^{90\%}$ ; K: staking med $SL^{84\%}$ .....	36
<b>Figur 4.10:</b> Frekvens i de ulike segmentene i staking for menn (n=21). L: staking med $SL^{90\%}$ ; K: staking med $SL^{84\%}$ .....	36
<b>Figur 4.11:</b> Frekvens i de ulike segmentene i staking for kvinner (n=11). L: staking med $SL^{90\%}$ ; K: staking med $SL^{84\%}$ .....	37
<b>Figur 4.12:</b> Sammenhengen mellom sykluslengde og hastighet (A) og frekvens og hastighet (B) .....	38
<b>Figur 5.1:</b> Viser sammenhengen mellom subjektiv opplevelse og den faktiske differansen i tid. Negativt tall betyr fordel $SL^{90\%}$ , mens positivt tall betyr fordel $SL^{84\%}$ . .....	44

## Forkortelser

SV	Selvvalgt stavlengde
FIS	Det Internasjonale Skiforbundet
GPS	Global Positioning System
SL <sup>90%</sup>	Stavlengde 90 % av kroppshøyden
SL <sup>84%</sup>	Stavlengde 84 % av kroppshøyden
VO <sub>2maks</sub>	Maksimalt oksygenopptak
GE	Gross efficiency
RER	Respiratorisk utvekslingskvotient
COM	Massesenter
VO <sub>2</sub>	Oksygenopptak 14
HF	Hjertefrekvens 14
V <sub>E</sub>	Ventilasjon 14
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
dGNSS	Differensiell GNSS
REK	Regionale komiteer for medisinsk og helsefaglig forskningsetikk
FP	Forsøksperson
RPE	Borg Rating of Perceived Exertion
SD	Standardavvik
KI	Konfidensintervall

# Vedlegg

## Vedlegg I



### **Forespørsel om deltakelse i masterprosjektet:**

#### *Effekten av stavlengden på prestasjonen i staking på snø*

#### **Bakgrunn og hensikt**

Dette er et spørsmål til deg om å delta i en forskningsstudie for å undersøke effekten av stavlengden på prestasjonen i staking. Vitenskapelig forskning på området viser en tendes til at lengre staver (+7,5-10cm) en selvvalgt gir en bedret arbeidsøkonomi. I tillegg ser vi at effekten trolig blir større i motbakke, men at man igjen kan tape tid når hastighetene blir store. (Carlsen, 2016; Losnegard et al., 2016). Disse studiene er imidlertid gjennomført inne på rulleskimølle, og er derfor ikke like anvendbare i praksis ettersom langrenn foregår ute på snø. I tillegg kan aspektet med tilvenning til lengre staver være aktuelt å teste. Det vil derfor være interessant å gjennomføre en studie der prestasjonen med ulike stavlengder i staking ute i en langrennsløype med varierende terreng ble testet. I en idrett der staking er en teknikk som blir brukt mer og mer (Aftenposten, 2015; Saltin, 1997), kan økt kunnskap på dette området gi et mer helhetlig bilde av stavlengder i staking.

#### **Hva innebærer studien?**

Deltakelse i prosjektet krever at du må kunne være tilgjengelig 1 dag for testing ute i perioden november-desember 2016, samt 1 dag for testing av  $VO_{2maks}$  under løp og antropometriske mål. På testdagen vil det bli gjennomført 4 drag à ca. 1,5-2 min i en løype med varierende terreng, kun staking er tillatt. 2 drag vil bli gjennomført med vanlig stavlengde (~83-84 % av kroppshøyden) og 2 drag vil bli gjennomført med en stavlengde tilsvarende ~90% av kroppshøyden. Alle dragene skal gjennomføres som en konkurranse, og man vil underveis bære en GPS-sender for logging av posisjonsdata og

tid. Om føret tillater det vil de to siste dragene bli gjennomført med feste og klassiskski. Det kreves at du stiller med egne ski, men velger selv om du vil bruke klassisk- eller skøyesco. Påkledning vil være konkurransedress. Total varighet på testing vil være 2-3 timer.

### **Mulige ulemper og fordeler**

Deltakere i prosjektet må være tilgjengelig 1 dag for testing (~2-3 t) og 1 dag (~1 t) for  $VO_{2maks}$ -testing. Ved oksygenmålinger under  $VO_{2maks}$ -test benyttes det et munnstykke som kan oppleves noe ubehagelig, samt kan du oppleve å bli tørr i halsen. Dette er ikke skadelig og utstyret desinfiseres mellom hver gang.

Deltakere i prosjektet får under testingen målt  $VO_{2maks}$  under løp. Det vil også gjennomføres tekniske analyser av din staking med ulike stavlengder, og etter at prosjektet er avsluttet kan du få tilgang til dine individuelle testresultater. Som deltaker kan du få et svar på hvilken stavlengde som sannsynligvis er mest gunstig for deg i staking på ski.

### **Hva skjer med målingene og informasjonen om deg?**

Prøvene som blir tatt av deg og informasjonen som registreres om deg, skal kun brukes slik som beskrevet i hensikten med studien. Alle opplysningene og prøvene vil bli behandlet uten navn og fødselsnummer eller andre direkte gjenkjennende opplysninger. En kode knytter deg til dine opplysninger og resultater gjennom en navneliste. Dette betyr at denne informasjonen er aidentifisert. Det er kun autorisert personell knyttet til prosjektet som har adgang til navnelisten og som kan finne tilbake til deg. Det vil ikke være mulig å identifisere deg i resultatene av studien når disse publiseres.

### **Frivillig deltakelse**

Det er frivillig å delta i studien. Du kan når som helst og uten å oppgi noen grunn trekke ditt samtykke til å delta i studien. Dette vil ikke få konsekvenser for din videre behandling. Dersom du ønsker å delta, undertegner du samtykkeerklæringen på siste side. Om du nå sier ja til å delta, kan du senere trekke tilbake ditt samtykke uten at det påvirker din øvrige behandling. Dersom du senere ønsker å trekke deg eller har

spørsmål til studien, kan du kontakte Erik Trøen (mail: erikt@student.nih.no; tlf. 915 26 510) eller Thomas Losnegard (mail: thomas.losnegard@nih.no; tlf. 997 34 184).

**Ytterligere informasjon om studien finnes i kapittel A.**

**Ytterligere informasjon om personvern, biobank og forsikring finnes i kapittel B.**

**Samtykkeerklæring følger etter kapittel B.**

## **Kapittel A – utdypende forklaring av hva studien innebærer**

### **Kriterier for deltakelse**

Kriteriene for deltakelse i studien er at du er mannlig eller kvinnelig jr.- eller sr. utøver på nasjonalt nivå (Norges/Skandinavisk cup: distanse eller sprint, eller langløp: Vasaloppet, Marcialonga, Kônig Ludvigslauf). Du må ha et høyt teknisk nivå i klassisk langrenn, spesielt staking, og en stavlengde i klassisk på 82-86 % av kroppshøyden. Alder 16-40 år. De kvinnelige deltakerne bør ha et maksimalt oksygenopptak på over eller rundt 60 ml/kg/min og ha plasseringer innenfor topp 30 i Norgescupen (jr. eller sr.). De mannlige deltakerne bør ha et maksimalt oksygenopptak på over eller rundt 70ml/kg/min og ha plasseringer innenfor topp 50 i Norgescupen (jr. eller sr.)

### **Undersøkelser og målinger den inkluderte må gjennom**

Ved måling av oksygenopptaket benyttes et munnstykke og ventil, som er grundig vasket og desinfisert før bruk. Til analyse av tid og posisjon under testing vil du bli påmontert en mottaker på ryggen. Pilottesting har vist at dette ikke skal være til hinder for bevegelse eller at det er ubehagelig.

### **Tidsplan**

Gjennomføring av testing strekker seg fra august 2016 og foregår på Norges idrettshøgskole.

## **Kapittel B – Personvern, biobank, økonomi og forsikring**

### **Personvern**

Opplysninger som registreres om deg vil bli behandlet etter regler som gjelder for anonymitet. De opplysninger som registreres er alder, kjønn, høyde, vekt og dataene fra testingen. Dit vil navn dermed aldri bli nevnt i forbindelse med resultatene. Det vil heller aldri bli gitt opplysninger om hvem som har deltatt i forsøket.

### **Rett til innsyn og sletting av opplysninger om deg og sletting av prøver**

Hvis du sier ja til å delta i studien, har du rett til å få innsyn i hvilke opplysninger som er registrert om deg. Du har videre rett til å få korrigert eventuelle feil i de opplysningene vi har registrert. Dersom du trekker deg fra studien, kan du kreve å få slettet innsamlede prøver og opplysninger, med mindre opplysningene allerede er inngått i analyser eller brukt i vitenskapelige publikasjoner.

### **Økonomi**

Omkostningene på prosjektet støttes gjennom forskningsmidler fra Seksjonen for fysisk prestasjonsevne på Norges Idrettshøgskole og Olympiatoppen. Det er ingen interessekonflikter knyttet til finansieringen.

### **Forsikring**

NIH er en statlig institusjon og er dermed selvassurandør. Eventuelle skader på deltakere i forbindelse med prosjektet i regi av NIH blir dekket av NIH.

### **Informasjon om utfallet av prosjektet**

Utfallet av prosjektet vil bli offentliggjort gjennom undertegnende sin masteroppgave våren 2017. Etter avsluttet prosjekt har du rett til at få tilgang til egne individuelle resultater knyttet testingen og får de ved å kontakte oss.



## **Samtykkeerklæring:**

Jeg har mottatt skriftlig informasjon og er villig til å delta i studien. Jeg er klar over at det er frivillig å delta i prosjektet og at jeg når som helst og uten å oppgi grunn, kan trekke meg fra prosjektet uten at det gir noen som helst form for konsekvenser.

Er forsøkspersonen under 18 år må samtykket skje i samråd med forelder/foresatt.

**Jeg, \_\_\_\_\_, bekrefter at jeg har mottatt både muntlig og skriftlig informasjon og samtykker herved i å delta i prosjektet,**

Dato/Sted \_\_\_\_\_

-----  
-----

Forsøksperson

Forelder/foresatt

Hvis du vil melde din interesse vennlig kontakt en av oss på telefon eller mail og ta med samtykkeerklæringen på første møte. På forhånd hjertelig takk for at du vil stille opp!

Dersom det er noe som du lurer på kan du kontakte:

Erik Trøen                      Mail: erik.troel@gmail.com                      Tel.: 915 26 510

Thomas Losnegard      Mail: thomas.losnegard@nih.no                      Tel.: 997 34 184

Vennlig hilsen

-----

Erik Trøen

Mastergradsstudent

Norges idrettshøgskole

## Vedlegg II

### Opplevd anstrengelse (Borg skala)

Nivå	Følt anstrengelse
6	Hvile
7	Svært lett
8	
9	Meget lett
10	
11	Ganske lett
12	
13	Litt anstrengende
14	Hardt
15	
16	Meget hardt
17	
18	Ekstremt hardt
19	
20	Maksimalt anstrengende

# Opplevelse av staver

- Hvilken av stavene følte du gikk raskest?



5	Korte raskest
4	
3	
2	
1	
0	Like bra
1	
2	
3	
4	
5	Lange raskest

## Vedlegg IV

### Friksjonsanalyser

Friksjonstallet ( $\mu$ ) var ikke signifikant forskjellig i forkant av drag 1 og drag 2 eller i forkant av drag 3 og drag 4 (tabell 4.3) ( $p > 0,05$ ) for hverken skøyeeski eller klassiskski.

**Tabell 0.1** Oversikt over friksjonskoeffisienten ( $\mu$ ) målt i forkant av de 4 dragene. Celler markert i grå betyr klassiskski, de øvrige er skøyeeski.

FP	$\mu_1$	$\mu_2$	$\mu_3$	$\mu_4$	Snitt <sup>STAK</sup>	SD <sup>STAK</sup>	Snitt <sup>DIA</sup>	SD <sup>DIA</sup>
1	0,013	0,019	0,019	0,015	0,016	0,004	0,017	0,003
2	0,011	0,017	-0,003	0,007	0,014	0,004	0,002	0,008
3	0,014	0,013	0,013	-0,007	0,014	0,001	0,003	0,014
4	0,010	0,026	0,019	0,014	0,018	0,011	0,016	0,003
5	0,017	0,015	0,032	0,012	0,016	0,001	0,022	0,014
6	0,010	0,012	0,018	0,000	0,011	0,002	0,009	0,013
7	0,007	0,001	0,019	0,012	0,004	0,005	0,016	0,005
8	0,012	0,007	0,007	---	0,010	0,004	0,007	---
9	0,016	0,016	0,025	0,016	0,016	0,000	0,020	0,007
10	---	---	---	---	---	---	---	---
11	---	---	---	---	---	---	---	---
12	0,016	0,019	0,029	0,055	0,030	0,018	---	---
13	0,028	0,016	0,006	0,021	0,018	0,009	---	---
14	0,009	0,004	0,010	0,020	0,011	0,007	---	---
15	0,034	0,010	0,046	-0,029	0,015	0,033	---	---
16	0,024	0,004	0,018	0,016	0,015	0,008	---	---
17	-0,002	0,017	0,004	0,017	0,009	0,009	---	---
18	0,004	0,006	0,011	0,013	0,008	0,004	---	---
19	0,034	0,016	0,019	0,015	0,021	0,009	---	---
20	0,017	0,011	0,017	0,019	0,014	0,004	0,018	0,001
21	0,012	0,019	0,021	0,015	0,017	0,004	---	---



