

Rune Velta

---

## Prestasjonsanalyse i skihopp

Navigasjonsteknologi (GNSS) og posisjons estimering med datasynt som verktøy for treners analyse av en utøvers prestasjon i skihopp.

---

Masteroppgave i idrettsvitenskap  
Seksjon for fysisk prestasjonsevne  
Norges idrettshøgskole, 2021



## Sammendrag

**Introduksjon:** Skihopp er en idrett hvor prestasjonen avgjøres av mange faktorer som spiller inn i flere faser gjennom hoppet. En utøver forbedrer sine ferdigheter i samspill med trener, en treners tilbakemeldinger er en viktig faktor for å forbedre idrettslige ferdigheter. I skihopp er det vanlig for en trener å stå ved siden av trenertribunen og praktisere kvalitative analysere av hoppene basert på video. Derfor er det ønskelig å øke mengden objektive data for å øke kvaliteten på tilbakemeldinger til utøveren. Denne eksplorative studien utforsker om moderne teknologi kan bidra til å gi hopp treneren bedre objektive data for analyser i en treningssituasjon. **Metode:** 16 utøvere fra forskjellig nivåer i norsk hopp- og kombinertsport deltok for å teste om et «Global Navigation Satellite System» (GNSS) og et posisjonsestimeringsystem av video med datasyn (PosEst) kunne gi objektive data som kunne si noe om prestasjonen i et skihopp. For å sikre data fra hele hendelsesforløpet i et skihopp ble begge metoden brukt komplementert. Dessverre for studien kunne PosEst kun brukes en dag da været ikke tillot metoden å fungere optimalt de andre dagene. Data ble hentet ut fra tilløp, sats og svev og statistiske analyser ble utført for å validere data oppimot teori. **Resultater:** GNSS gir objektive data på effekten av utøvers prestasjon på viktige parameter for prestasjonen som hastigheter, luftmotstand, løft og LD Ratio. Basert på statistisk modellberegning med multippel lineær regresjons kan disse predikere en del av resultatet i et skihopp og sammenfaller med tidligere litratur. I hovedsak er det bevaring av fart ut fra hoppkanten og i svevet i tillegg til å minimere den negative vertikale hastigheten utover i svevet som er avgjørende for prestasjonen. Resultater fra PosEst metoden viser at det fra hoppkanten er det mulig å få tall på koordinering av ledd, hastighet og timing for disse med posisjonsestimering. Det er også mulig å tidfeste tidspunkt for stabil svevpositur og tidspunkt for når utøveren er i en stabil svevfase. **Oppsummering:** Basert på data fra både GNNS og PosEst finnes det teknologi i dag som kan gi objektive data som er viktige for prestasjonen i hopp. Innsamlingen av data forsterker også inntrykket av hvor kompleks idretten skihopp er og hvor mange små faktorer det er som kan påvirke resultatet. Både GNNS og PosEst kan være et viktig supplement til en treners analyse av en utøvers prestasjon, i forhold til dårlige og bedre løsninger og gi gode målinger på effekten av det utøveren gjør. Potensielt kan dette bidra til å unngå mulige fallgruver som skulle oppstå ved kvalitative analyser.

# Innhold

<b>Sammendrag .....</b>	<b>3</b>
<b>Forord .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Innledning .....</b>	<b>7</b>
1.1 Problemstilling.....	9
<b>2. Teori.....</b>	<b>10</b>
2.1 Tilløp.....	10
2.2 Sats.....	11
2.3 Sjev .....	11
<b>3. Metode .....</b>	<b>14</b>
3.1 Forsøkspersoner og protokoll.....	14
3.2 Materiale .....	15
3.2.1 Resultatsystem lengde og vind.....	15
3.2.2 GNNS for posisjonsdata fra tilløp og sjev.....	16
3.2.3 PosEst for hoppkanten og første del av sjev.....	16
3.2.4 Hoppstyr .....	17
3.3 Data prosessering.....	17
3.3.1 Beregning av vind og lengde.....	17
3.3.2 GNSS.....	19
3.3.3 PosEst .....	20
3.3.4 Datainklusion .....	22
3.3.5 Statistikk.....	23
<b>4. Resultater .....</b>	<b>24</b>
4.1 Hoppresultat .....	24
4.2 Resultater fra GNSS.....	25
4.3 Resultater fra PosEst.....	29
4.3.1 Hastighet fra hoppkant og stabil-sjevpositur.....	30
4.3.2 Vinkelhastighet og akselerasjon i kne og hoftelddet.....	31
4.3.3 Gjennomsnittlig kne-, hofte- og angrepsvinkel fra lukking til 20 meter.....	32
<b>5. Diskusjon: .....</b>	<b>34</b>
5.1 Trener perspektiv .....	34
5.2 Data fra GNSS .....	35
5.3 PosEst.....	37

5.4	Begrensninger .....	39
<b>6.</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>40</b>
6.1	Veien videre.....	40
	<b>Referanser .....</b>	<b>42</b>
	<b>Tabelloversikt .....</b>	<b>46</b>
	<b>Figuroversikt .....</b>	<b>47</b>
	<b>Forkortelser .....</b>	<b>48</b>
	<b>Vedlegg.....</b>	<b>49</b>

## **Forord**

*I, august 2016. La jeg opp som skihopper på landslaget og begynte å studere på NIH. Interessen for idretten min kommer fra hjertet, og det er ingen ting som får meg til å kjenne på glede og frustrasjon i løpet av det samme sekundet like ofte som den gjør. Idretten gir meg muligheten til å kjenne på kontrastene fra det å være tilfreds og utilfreds gjennom hele året. Jeg er heldig som fortsatt kan være en del av hoppfamilien etter 25 år.*

*Takk til Norges idrettshøyskole som gjorde det mulig å kombinere studier og jobb som trener mulig.*

*Takk til min arbeidsgiver Kollenhopp med -Erlend, Yngve, Marius og Carlo som gjør det mulig å kombinere jobb og studier.*

*Takk til min kone Marthe som alltid ser muligheter og som gjør det mulig å kombinere alt dette.*

*Per Haugen og Matthias Gillgien. Takk for gode år på Nih – Dere har vært til stor inspirasjon hele veien.*

*Ola E., Magnus B., Christian M. og Petter J.- Takk for alle gode innspill.*

*Og til sist en stor takk til alle utøvere som deltok i studien.*

**Rune Velta**

Oslo, November 2021

# 1. Innledning

En treners tilbakemelding, er en viktig faktor for å forbedre idrettslige ferdigheter. Fremskritt innen teknologi har gjort det mulig å øke og forbedre tilbakemeldingene idrettsutøvere får under trening og konkurranse (Lieberman et. al., 2002). Tradisjonelt sett vil trenere observere og deretter gi tilbakemeldinger basert på observasjonen, treneren må her stole utelukkende på egen evne til å oppfatte endringer i bevegelser og tolke resultatet (Giblin, Tor & Parrington, 2016).

Skihopp er en poengsport der utøveren som samler flest poeng etter to omganger vinner. Poengsummen er basert på hoppets lengde og stil, der det blir kompensert for vindforhold og endring av den avsatsen rennet starter fra. Lengdepoengene blir kalkulert ut ifra et definert punkt i bakken (K-punkt) og det legges til eller trekkes fra poeng fra denne lengden. Fem dommere gir hver sin subjektive vurdering av hoppet med en karakterskala fra 1-20, der beste og dårligste poengsum strykes. Vindens styrke og retning gir utgangspunktet i en vind kompensasjon med tillegg i poeng for bakvind (vind i fartsretningen) og fratreck i oppdrift (vind mot fartsretningen). Avsats kan endres av dommere grunnet endring i vindforhold eller av en trener, der en trener kan velge at sin utøver skal starte fra en lavere avsats. En endring av avsatsen vil endre utøverens potensiale for å utvikle hastighet i tilløpet og endringen blir derfor kompensert for. Ved lavere avsats (kortere tilløp) vil en utøver få tilleggs poeng og med høyere avsats (lengre tilløp) vil utøveren få fratreck.

Skihopping foregår over ett relativt stort geografisk område, der eliteutøvere oppnår en hastigheter fra 80 til over 100 km/t i bakkene som benyttes i verdenscupen (WC). Analysen av et skihopp foregår vanligvis ved å relatere prestasjonen til hastigheten i tilløpet (målt med fotoceller) sammen med en kvalitativ vurdering av prestasjonsbestemmende faktorer under satsbevegelsen og den første del av svevfasen. Den kvalitative vurderingen av hoppene gjøres av trener ofte basert på video fra trenertribunen som er plassert vedsiden av hoppkanten (Chardones et. al., 2012). En utfordring med denne tilnærmingen er at hopp lengden i et skihopp avgjøres av en mengde faktorer som fart i tilløpet, den vertikale hastigheten produsert på hoppkanten, vindforhold, og aerodynamiske krefter (Virmavirta et. al., 2009). En satsbevegelse i 0.3s, i en fart som overgår 90 km/t (Elfmark & Ettema, 2021) kan være krevende å

vurdere og som i alle idretter kan en treners veiledning i høy grad være subjektiv (Wallace & Jones, 2005). For å unngå fallgruver ved kvalitative analyser er interessen stor for å kunne samle objektive data på prestasjonen (Adesida, Papi & McGregor, 2019).

Som mange olympiske idretter er også skihopp en idrett som det har blitt forsket på, den første studien kom allerede i 1926. Det har vært en økende interesse for emnet de siste 20 årene (Schwameder, 2008). Selv om det er mange studier på skihopp er det de nyere som er av størst relevans. Forutsetningen for å utnytte de aerodynamiske kreftene er endret etter innføringen av V-stilen, der skihopperne har en sprikende skiføring med større avstand mellom fremre del av skien i svevet (Virmavirta & Kivekas, 2019). Av tidligere studier som ser på de forskjellige fasene og parameterne som avgjør prestasjonen i et skihopp er det gjort feltstudier med bruk av video (Murakami et. al., 2010, Virmavirta, 2009), felt studier hvor utøveren benytter mobile sensorer (Chardonnnes et al, 2012; Blumenbach, 2004; Elfmark et. al., 2021), studier fra vindtunnel (Virmavirta & Kivekas, 2019; Elfmark & Ettema 2021) og data simuleringer (Virmavirta, 2017; Ryu, Cho & Cho, 2015).

Det å kunne kontrollere for alle faser gjennom video og annotering av kroppsdelene krever flere kameraer, og bemanning av disse. Annoteringer av video har vært en veldig tidkrevende prosess da alle bilder har måttet annoteres manuelt. Det at slike studier ofte kun tar for seg deler av ett område eller en fase kan påvirke hvordan vi ser på skihoppet da både faser før og etter satsbevegelsen kan være relevante og avhengig av hverandre. Det å gjenskape alle faser i vindtunnel, eller ved simuleringer ser og ut til og å være problematisk. Til nå ser man kun studier gjort på isolerte faser av et skihopp der sittestilling i tilløp, posisjoner i svev og egenskaper til utstyr som ski og bindinger måles.

Ett skihopp kan deles inn i fire faser, tilløp, sats, svev og landing (Virmavirta, 2017). Svev og landing bedømmes av fem dommere med en subjektiv vurdering av stil, for å unngå subjektive data til oppgaven sees landinger bort fra og kun objektive parametere fra tilløp, sats og svev benyttes. For å kunne bedre forstå de forskjellige fasenes påvirkning på hverandre og samle inn relevante data fra utøverne i sitt rette miljø er det hensiktsmessig å se på metoder for å kunne gi bedre objektive data på viktige



parametere som påvirker prestasjon. Tidligere bruk av Global Navigation Satellite System (GNSS) viser at dette er et godt verktøy for å følge utøveren gjennom hele skihoppet (Blumenbach,2004). En utfordring med GNSS kan være antennens plassering på hodet, som kan gi usikre data fra hoppstarten da den ikke følger utøverens massesenter (CoM). For å kunne bedre gjøre rede for utøverens bevegelser i satsøyeblikket benyttes en posisjons estimering (PosEst) med kamera av satsbevegelsen ved hjelp av datasyn da denne kombinasjonen av metodene gi en mer detaljert beskrivelse av hoppstarten og effekten av den (Elfmark et. al., 2021). Denne oppgaven har et eksplorativt preg da det er gjort få forsøk med denne type datainnsamling i skihopp.

## **1.1 Problemstilling**

Da det er gjort lite innenfor prestasjonsanalyse i felt på skihopp er problemstillingen formulert slik.

Kan bruken av GNSS og PosEst i hoppbakken gi objektive data som er med på å beskrive avgjørende parametere for prestasjonen i et skihopp, og å gi utøvere og trenere et verktøy for å få mer objektive data for bedre å kunne unngå mulige fallgruver ved kvalitative analyser.

## 2. Teori

I dette kapitlet skal jeg gå inn på viktige parametere i fasene som er relevante for denne oppgaven som kan ha en effekt for prestasjonen i et skihopp.

### 2.1 Tilløp

Tilløp, er en konstruksjon i hoppbakken bestående av ett rett stykke med  $\sim 35$  grader helning, som etterfølges av en overgang som er en kurve med en radius på  $\sim 150$  meter og et kort rettstykket på 7 m med  $\sim 10$  grader helning der satsbevegelsen utføres (Gasser, 2008). Utøveren vil her innta en kompakt knebøyposisjon med  $\sim 10^\circ$  overkroppsvinkel  $\sim 25^\circ$  lårwinkel og  $\sim 50^\circ$  legg vinkel relativt til bakke profilen (Virmavirta et. al., 2009).

Målet med tilløpet er todelt, én: oppnå høyest mulig hastighet, to: etablere de beste forholdene for satsbevegelsen (Schwameder, 20008). Det er vanlig å oppnå hastigheter på 80-100 km/t i en hoppbakke, hvor farten produseres av gravitasjonens påvirkning og bremses av friksjon mot underlag, samt luftmotstand. For å kunne øke farten i tilløpet må de bremsende kreftene reduseres, da den eneste måten å øke gravitasjonens påvirkning på er ved en vektøkning som ikke er hensiktsmessig (Virmavirta & Kivekas, 2019). Elfmark & Ettema (2021) undersøke sittestillingen til skihoppere fra de to øverste prestasjonsnivåene (World CUP (WC) og Continental Cup (COC)). En tydelig forskjell i luftmotstand i de respektive skihopperes sittestilling ble funnet, der den gjennomsnittlig WC-hopperen hadde en posisjon som tilsvarte en 0,9-km/t-hastighetsøkning. Dette er en forskjell som tilsvarer 1-3 avsatser og er en tydelig prestasjonsfaktor (Elfmark & Ettema, 2021).

I en studie fra OL i 2006 ble det funnet en sterk korrelasjon mellom hopp lengden og hastighet i tilløpet (bakkestørrelse 106 m (Virmavirta, 2009)). Den samme trenden ble funnet i en studie under en konkurranse i verdensmesterskapet i skiflygning der en fant en korrelasjon på  $R=0,597$  mellom hastigheten i tilløpet og hopp lengden (Virmavirta, 2017). Gjennom datasimulering har man muligheten til å kunne se på enkelte faktorer påvirkning på et skihopp. I en slik simulering er det vist at en isolert endring av hastigheten med 1 km/t vil gi en økning på opptil 10,1 meter i hopp lengde i en storbakke. (Virmavirta 2017). Dette illustreres med at et hopp på 100m vil ved 1 km/t fartsøkning i tilløpet gis 10,1 meter og den samme fartsøkningen på et hopp på 140

meter der helningen i landingssonen er flatere gi en økning på 3,8 meter for hopplengden (Virmavirta, 2017). Denne simuleringsstudien er kun fra en spesifikk hoppbakke og variasjoner i bakkens størrelse og geometri kan kunne gi variasjoner i effekten fra en økning i fart.

## **2.2 Sats**

Satsen er sett på som den viktigste fasen i et skihopp, hvor en skihopper prøver å produsere maksimal kraft mot underlaget samt rotere fremover for å oppnå en stabil svevpositur så hurtig som mulig (Virmavirta, 2017). Under satsbevegelsen glir skiene i sporene og det er lite friksjon mellom skien og underlaget (Ettema et al., 2015). Den lave friksjon mot underlaget kan påvirke utøverens hopp høyde og bidra til at utøveren er mer sårbar for feil (Bobbert et. al., 2002), utfordringen med å påvirke underlaget med lite friksjon er å holde kroppens masse senter CoM vertikalt over trykksenteret på fot (CoP) (Virmavirta et. al., 2009). For å få en suksessfull kraftproduksjon i satsen bør CoM være nok i front til å kunne lage tilstrekkelig moment fremover (Virmavirta, 2017). Virmavirta (2017) har i en simulering sett på betydningen av en 5% økning av kraftutviklingen i satsen som gir en økning på 2 meter i hopplengde i en storbakke.

Gjennom observasjon er det funnet at gode hoppere oppnår en stabil fly posisjon innen 0,5 sekunder (Schwameder, 2008). For å oppnå en stabil svevpositur må utøveren rotere sitt eget tyngdepunkt fremover slik at den luftmotstanden som virker bakover-roterende på utøveren etter hoppkanten utlignes. (Virmavirta, 2017). Det er også funnet en sammenheng mellom større hoftevinkelhastigheten i hopp satsen og hopplengden i en konkurranse. (Virmavirta et. al., 2009).

## **2.3 Svev**

Viktigheten av satsens bidrag til en tidlig stabil svevpositur vises også med funn der utøvere på et høyere nivå oppnår denne i en tidligere del av svevfasen i motsetning til mindre dyktige utøvere (Murakami, et. al. 2010). For svevet har også de aerodynamiske kreftene fra løft og luftmotstand en påvirkning på hopp lengden. En viktig del av svevet er å øke forholdet mellom løft og luftmotstand (LD ratio). En økning av løft eller en reduksjon av luftmotstand vil gi en fordelaktig endring av LD ratio som bidrar til en økt hopplengde. Én prosent isolert økning av løftekoeffisienten kan gi 1,5 -3 meter økning i hopplengde og en tilsvarende isolert reduksjon av luftmotstand vil bidra med 0,7-1,2 m

økt hopplengde i en storbakke (Virmavirta, 2017). Utøvere på høyre nivå har lavere angrepsvinkel på kropp og ski i de første meterne etter hoppkanten, i forhold til utøvere på lavere nivå. Disse lave angrepsvinklene på kropp og ski er fordelaktig for å redusere luftmotstanden i den første delen av svevet (Murakami, et. Al., 2010).

Ryu, Cho, & Cho, (2015) simulerte svevfasen med datasimulering og fant at forholdet mellom hoftevinkelen og angrepsvinkelen til kroppen er avhengig av hverandre. En lav hoftevinkel trenger en høyre angrepsvinkel på kropp for å oppnå best mulig LD ratio. For å øke LD ratio er det fordelaktig å ha en lavere angrepsvinkel. En endring av denne vil kreve en større hoftevinkel. Påvirkningen disse har på hverandre betyr at små bevegelser av hopperen kan føre til endringer i LD ratio. Det kan også skape et behov for bevegelser i andre kroppsdelene for å kompensere for dette. Ryu et. al., (2015) viser også til at den beste LD ratio oppnås med å redusere luftmotstand. Ved den høyest LD ratio er absoluttverdien av både løft og luftmotstand lavere (Ryu et. al., 2015). En økning av luftmotstand har kun minimal negativ effekt på hoppet hvis den kommer i den siste delen av svevet der svevebanen til utøveren er ganske bratt, men med en liten økning i luftmotstand kan det også komme en økning i løft som har en merkbar effekt for hopplengden. En økning av løft tidlig i svevet er ufordelaktig da svevebanen er ganske flat, LD ratio er viktig for hopplengden, men de påvirker også hverandre. En økning av løft vil gi en økning av drag og motsatt (Schmölzer & Müller, 2005).

Optimalisering for økt hopplengde i en stabil svevposisjon avhenger av de individuelle antropometriske forholdene til utøveren og utstyret i bruk. En svevposisjon som er gunstig for en utøver kan være uoppnåelig for en annen. Utøveren må inn i -og gjennom svevet kontrollere momentet som virker mot de aerodynamiske kreftene og gravitasjonskraften, slik at dette balanseres nærmest null (Schmölzer & Müller, 2005). Derfor er det mye som peker i retning av at gode utøvere er flinke til å løse dette i hendelsesforløpet og besitter enorme mengder implisitt kunnskap eller «taus» kunnskap om fysiske krefter i et skihopp som er nødvendig for å oppnå gode prestasjoner. En lett hopper har stor fordel gjennom svevfasen, da en lavere kroppsvekt bidrar til at utøveren kan lene seg mer fremover uten at det går utover stabiliteten og på denne måten også få en lavere angrepsvinkel på kropp. (Schmölzer & Müller, 2005). For skihoppet vil en reduksjon av kroppsmassen med 1% gi en økt hopplengde på 1,5 meter for hopp på 140

meter og 3,5 meter for hopp på 100m, uten at det i disse estimatene er tatt hensyn til en lavere fart i tilløpet som følge av endring i massen (Virmavirta, 2017).

Gjennom historien har man sett stadig utvikling av utstyret i skihopp. Med endring av bindingens plassering for å få mer ski foran foten, lettere ski, bredere ski, dressens størrelse, tykkelse og stivet. Alle disse endringen for å bedre forutsetningen for å kunne oppnå større lengder (Müller, 2009). For å beskrive hvordan små endringer med utstyret kan ha en betydning for hopplengden kan man se på hvor stor betydning rotasjonen av en ski i tre plan har for den isolerte egenskapen til en hopp ski. Ved å endre en skis angrepsvinkel, Yawvinkel (åpning på v-stilen) og kantvinkel kan man påvirke forholdet mellom løft og drag. Tester i vindtunnel har sett på effekten av en endringer av disse vinklene, resultatene til Virmavirta et. al., (2019) viser at egenskapene til en isolert ski i vindtunnel er avhengig av alle disse tre vinklene. Høyeste LD ratio for en isolert ski tar ikke høyde for posisjonering av hopperens kropp. Vindens styrke og retning har også påvirkning for hopplengden. Virmavirta (2017) viser til hvordan  $1 \text{ ms}^{-1}$  vindstyrke i retning mot hopperen kan utgjøre 5,2-11,9 meter forskjell i hopplengde i en storbakke.

## 3. Metode

### 3.1 Forsøkspersoner og protokoll

For GNSS delen av datainnsamlingen ble det rekruttert 16 mannlige utøvere fra kombinert landslaget, hopplandslagene og regionslaget Kollenhopp. Utvalget i studien representerer 4 forskjellige konkurranse nivåer se Tabell 1. Bakgrunnen for rekrutteringen av utøvere fra fire forskjellige konkurransenivå er å prøve å ha et utvalg som representerer populasjonen av norske skihoppere. Det lyktes ikke å rekruttere nok kvinnelige skihoppere til data innsamlingen i tidsrommet for studien, og det var derfor ikke mulig å inkludere kvinner i studien. For PosEst analysen ble data fra 7 hopp av en utøvere valgt, da denne utøveren var den som hadde flest hopp med data fra PosEst. De samme sju hoppene er også inkludert i data for GNSS metoden.

*Tabell 1: Viser fordeling av utøvere på de 4 forskjellige konkurransenivåene Worldcup (WC), Continental cup (COC) og Nasjonal cup (NC). WC og COC er internasjonale konkurranser Mens NC er nasjonale konkurranser i Norge.*

Konkurranse nivå	Antall utøvere
WC Kombinert herrer	3
WC Hopp herrer	3
COC Hopp herrer	5
NC Hopp herrer	5

Studien ble gjennomført etter godkjenning av Norges idrettshøgskoles (NIH) etiske komite (søknad 87-200619) og er registrert hos norsk senter for forskningsdata (NSD). Utøvere ble rekruttert etter avtale med trenere og ble gitt nødvendig informasjon om prosjektet. Informasjonen ble gitt muntlig og gjennom et informert samtykke (vedlegg 1) med informasjon om fordeler og mulig risiko gjennom deltakelse i studien. Alle utøvere deltok frivillig og kunne når som helst trekke seg fra studien.

Alle hoppene ble utført i Midtstubakken K-95 (kritisk punkt på 95 m med bakkestørrelse på 106 m). Datainnsamlingen foregikk over 4 dager og 6 økter (en økt dag 1, to økter dag 2, to økter dag 3 og en økt dag 4). Tre utøvere ble testet per økt. Totalt gjennom

datainnsamlingen ble det utført 107 hopp av totalt 16 utøvere. Utøveren fikk beskjed om å tilpasse farten i samråd med trener av sikkerhetsmessige grunner, da stor fart potensielt kan føre til for lange hopp og øke risiko for skader. Det ble benyttet avsatser fra avsats 8 til 19. Forsøket foregikk som en vanlig treningsøkt.

Under forsøket ble det benyttet et system for å korrigere for vind likt standarden for det internasjonale skiforbund (FIS) sine verdenscuprenn i skihopp. Vindsystemet måler vindstyrke og retning og gir en kompensasjon for dette i poeng. Sammen med vind kompensasjon ble det også gitt avsatsskompensasjon slik det benyttes av FIS. For studien ble avsatts 8 satt som utgangspunkt og kompensasjon ble gitt med -3,2 poeng per økte avsats. Begge disse poengsummene ble lagt sammen med poengene for lengden som er 2 poeng per meter over 65 meter (p-punkt).

I skihopp gis det minus poeng for lengder kortere enn p-punkt totalt 2 poeng trekk per meter kortere enn p-punkt. Det vil si at en lengde på 95 vil få 60 poeng og en lengde på 35 vil få minus 60 poeng utfra FIS sitt poeng system. FIS sitt poengsystem ble brukt for å måle prestasjonen til hoppene i forsøkene. For å måle prestasjons avgjørende faktorer ble det benyttet et Globalt Navigasjons system (GNSS) for målinger i tilløp og svev mens hoppatsen ble dekket av et posisjons estimerings system (PosEst)basert på datasyn som behandler video fra et høyhastighets kamera plassert 90 grader på område der satsbevegelsen og lukningsfasen eller overgangen til stabil fly-posisjon foregår, beskrevet i seksjonene under.

## **3.2 Materiale**

### **3.2.1 Resultatsystem lengde og vind**

For beregning av resultatet, ble det målt lengde, vind og tatt høyde for avsats i program for beregning av resultat (Kjump, Andreas kleven, Norge.) og vind (Kjump Wind, Andreas kleven, Norge)- Lengden ble målt med et IP kamera (Axis Q1650 MK II). Og vinden ble målt med 5 3D anemometer (vindmålere) (WindMaster 3D Sonic Anemometer, Gill instruments, Lymington, hampshire, UK) plassert langs utøverens svevebane ved 10%, 40%, 60%, 80% og 100% av K-punkts lengde.

### 3.2.2 GNNS for posisjonsdata fra tilløp og svev

For å bruke GNNS systemet til å følge utøvernes bevegelser under hoppene ble det montert en antenne på hjelmen (Antcom G5Ant-2AT1, 160g, Antcom, Torrance, CA, USA) tilkoblet en mottaker (Javad Alpha-G3T 430g, Javad, San Jose, CA, USA). Antennen ble festet med tape og mottakerne ble plassert på utøvernes rygg i en ryggsekk polstret med 8 mm skumgummi se Figur 1. Posisjonsdata fra utøverne ble målt med en frekvens på 50 Hz. For å kunne gjøre en differensiell post-prosessering ble det plassert en basestasjon med antenne (GrAnt-G3T, Javed, San Jose, CA, USA) og mottaker (Alpha-G3T, Javad, San Jose, CA, USA) på enden av sletta på hoppbakken. Plasseringen av basestasjon er viktig, da det trengs en klar luftlinje mellom mottaker og satellitt for å få et godt signal. Reduksjon av signaler påvirker nøyaktigheten til posisjonsberegningen fordi den er avhengig av antallet satellitter og deres plassering på himmelen (Li et al., 2015).



*Figur 1: Viser utøver med GNSS-antenne på hjelmen og mottakeren på ryggen.*

### 3.2.3 PosEst for hoppkanten og første del av svev.

Video til PosEst systemet for hoppsetsen ble filmet med kamera (Blackmagic Pocket Cinema Camera, Lens: Sigma 18-35mm). Kamera filmet i 4K (4096x2016 pixler) med 60 Hz og en elektronisk lukkerhastighet på  $1000 \text{ s}^{-1}$ . Kamera ble plassert 7 meter inn i svevfasen 90 grader på hoppkanten med en avstand på 28 m fra utøverens svevbane. Kameraet ble justert horisontalt i vater og vinklet mot hoppernes bane for å få med så



mye som mulig av hoppsetsen og svevfasen (6,5 meter før hoppkanten til 22 meter etter).

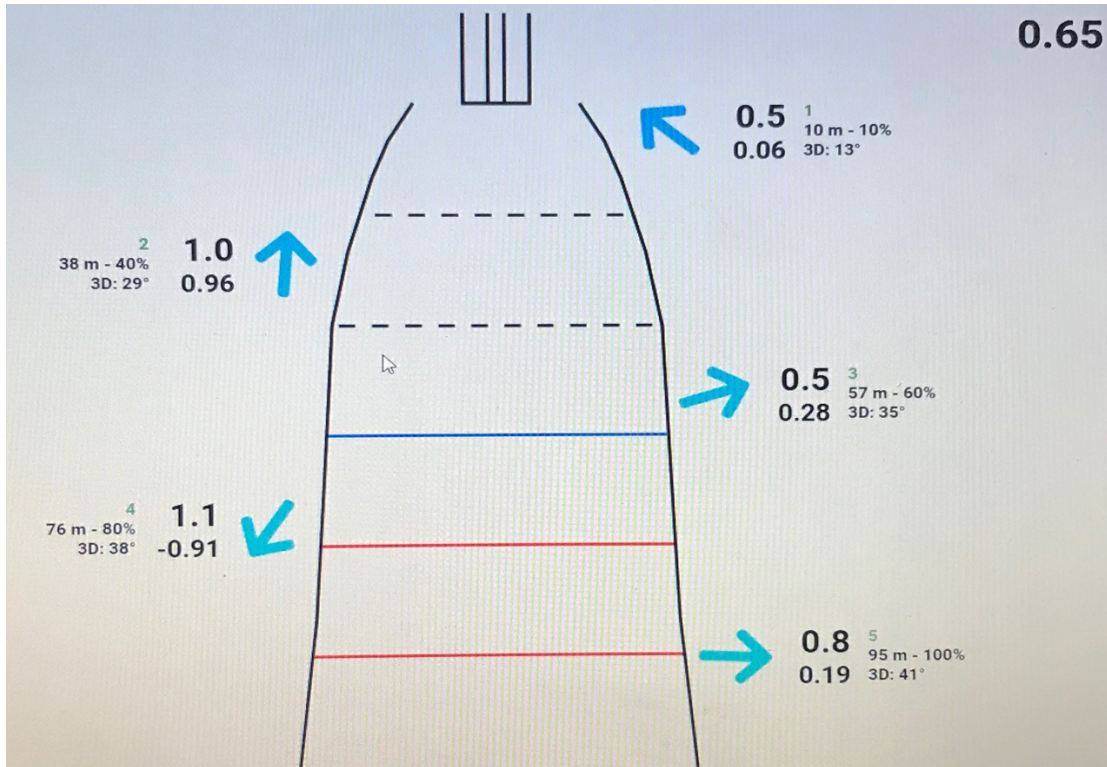
### **3.2.4 Hoppstyr**

Utøverne brukte eget hoppstyr (ski, bindinger, sko, dress og hjelm) som er innenfor regelverket til FIS.

## **3.3 Data prosessering**

### **3.3.1 Beregning av vind og lengde**

Vindmålerne plassert langs utøverens svevebane måler vinden i samme vinkel som antatt gjennomsnitt for helningen på svevkurven til utøverne, vist i Figur 2. Data fra de 5 vindmålerne legges inn i programvaren Kjump Wind som beregner en gjennomsnittlig tangentiell vindhastighet (TWS) for de 5 målerne som er forskjellig vektet se Tabell 2. Tidspunktet fra vindmålingen starter er når utøveren passerer fotocellen som registrerer fart på hoppkanten. Alternativt teller systemet tilbake fra det tidspunktet der utøverens landing blir registrert. For Midtstuen er antatt svev tid 4 sekunder, i dette tidsrommet blir vindmålingen tatt. For å få de to siste vindmålerne med i kalkuleringen av TWS er det avgjørende at utøveren når disse. Det må oppnås en målt lengde på 80% av k-punkt (76 meter) for den nest siste vindmåleren (W4) og 100% av k-punkt (95 meter) for den siste vindmåleren (W5).



Figur 2: Viser utsnittet fra programmet Kjump med plassering av de 5 målerne. Vindstyrken vises i stor font vedsiden av pilen som viser retningen og under vises styrken på vektoren som blåser i retningen som er en del av den gjennomsnittlige TWS

Tabell 2: Viser plassering, vekting, svevvinkel og den minimum lengde som må oppnås for at måling skal inkluderes i beregning.

Anemometer	Plassering [m]	Vekting [%]	Svevvinkel [°]	Minimum Lengde av K-punkt
W1	10	10	13	
W2	38	25	28	
W3	57	30	34	
W4	76	20	37	80 %
W5	95	15	41	100 %

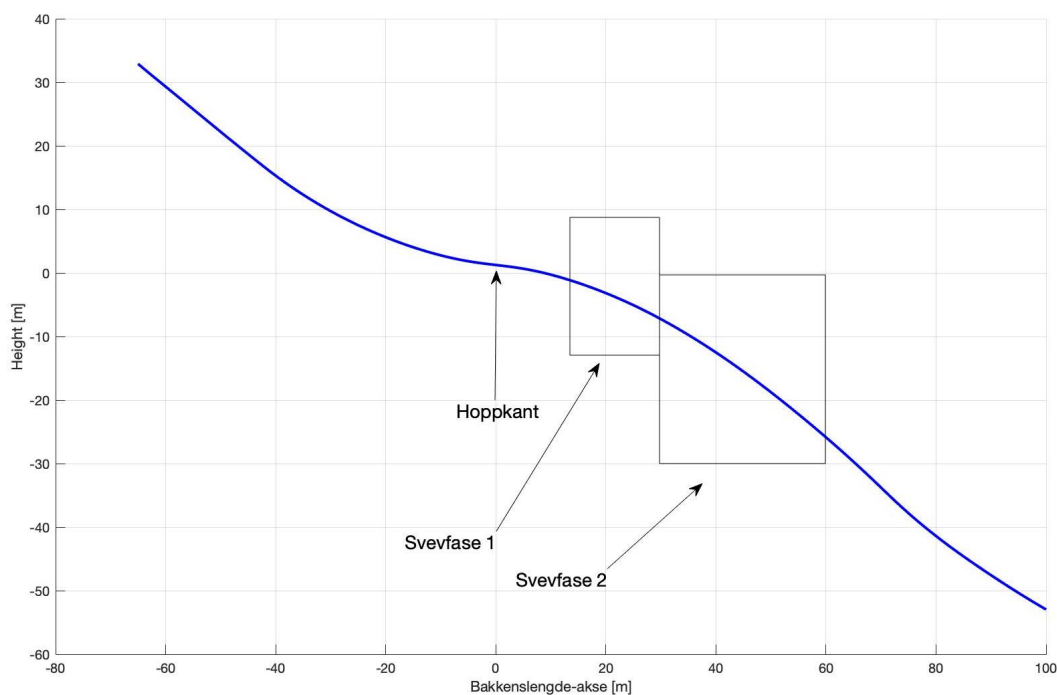
### 3.3.2 GNSS

For å få en nøyaktig global posisjon på ca. 5cm (Gilgien et al., 2014) beregnes en kinematisk carrier phase dobbel differensiell løsning basert på data fra utøverens mottaker og basestasjonen plassert i bunnen av bakken ved hjelp av GNSS post prosessering (Justin, Javad, San Jose, CA, USA) (Gilgien et al., 2014). Posisjonsdata fra utøverens hode målt med GNSS og profil av bakken går in i analysen og parameter beregningen i MATLAB (versjon R2018A, The MathWorks Inc., Natick, MA, US). Før parameter beregningen blir trajektorien filtrert med en vektet spline filter.

Tid og avstand mellom hver posisjon målt med GNSS ble brukt for å beregne utøvernes forflytning per tidsenhet. For å plassere alle posisjonsdata langs samme skala ble det laget et virtuelt plan som står vinkel rett langs bakkens lengdeakse. Alle hopp blir interpolert og fremstilles på den samme skala med posisjons data for hver 0,1 m (Gilgien et al., 2016a; Supej and Holmberg, 2011). Hoppkanten ble definert som origo i koordinatsystemet og hendelser før har fortegnet – og avstand til hoppkanten, og hendelser etter har fortegn + og avstand til hoppkanten. Basert på teorien lagt frem i teorigapittelet ble følgende parametere beregnet baser på utøverens forflytning per tidsenhet: fart, horisontal og vertikal hastighetskomponenten, glidetall (forflytning fremover pr. meter utøveren faller), løft, luftmotstand og LD ratio (Gilgien et al., 2013, 2016b). For løft og luftmotstand er beregninger utført uten å ta hensyn til utøverens masse derfor representert som løft- og luftmostandakselerasjon (Fasel et al., 2016; Gilgien et al., 2013, 2015; Nemeč et al., 2014; Supej et al., 2013).

Basert på antennes plassering på hodet antas det at dataene fra utøverens bevegelse rundt hoppkanten og tidlig svevfase ikke vil gi gode svar på viktige parametere på hoppkanten. Den samme antagelsen om antennes plassering og forskjell til kinematikkens messesenter gjøres for inngangen til landing (Elfmark. Et al. (2021). For at man med sikkerhet skal kunne hente gode data fra alle hoppene, benyttes ikke GNSS-dataen fra satsen til 15 meter etter hoppkant og heller ikke etter 60 meter langs bakkens lengdeakse for å unngå påvirkning fra inngangen til landing på de korteste hoppene. Svevet deles inn i to faser da de aerodynamiske kreftene løft og luftmotstand stabiliserer seg senere en 15 meter (Elfmark et. al., 2021). Som en forsikring for å få gode målinger

deles fasene i svevet inn i svevfase 1 på 15-30 meter uten data på løft, luftmotstand og LD ratio, og svevfase 2 på 30-60 meter med løft, luftmotstand og LD ratio. Figur 3 viser en oversikt over fasene. I tillegg ble det laget ett parameter for å se på endringer i fart, fra målinger gjort i tilløpet -8 m fra hoppkanten og farten i svevfase 1. Dette ble gjort for å kunne måle effekten av det som gjøres i satsen for den første delen av svevet.

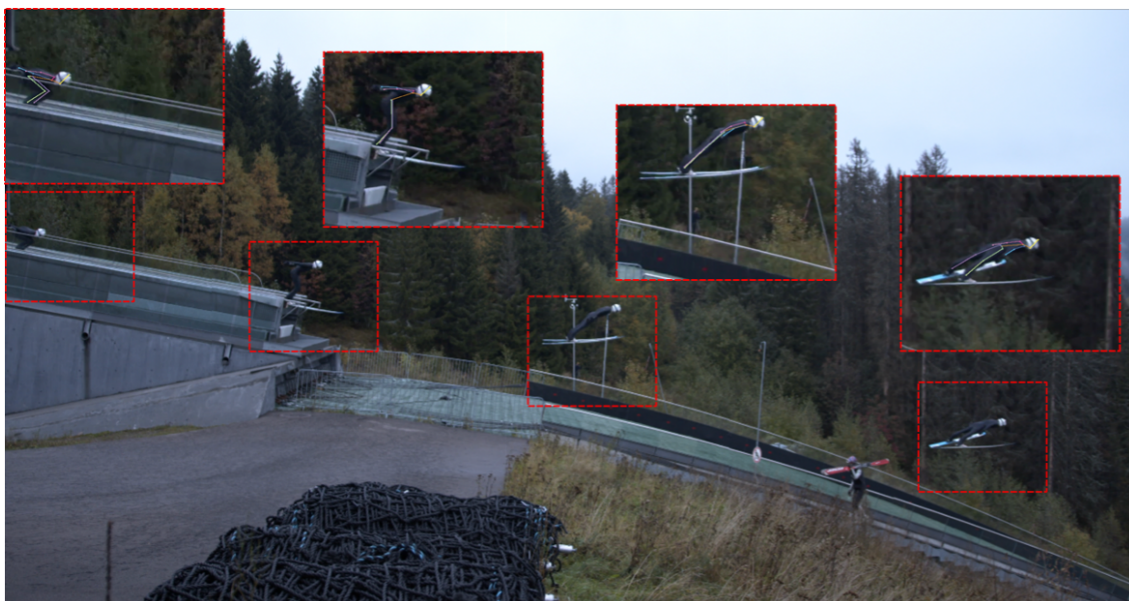


Figur 3: Grafisk illustrasjon av hoppbakkens profil, der hoppkanten er plassert i origo av koordinatsystemet og plasseringen de to fasene brukt i analysene.

### 3.3.3 PosEst

For analyser av satsbevegelsen ble det brukt en nyutviklet markørløst posisjons estimerings metode (PosEst), som ved hjelp av datasyn og maskinlæring estimerer x og y koordinatene til 16 landemerker (hode, nakke, skulder, albue, håndledd, bryst, høyre- midtre- og venstre bekken, kne, og ankler) ut ifra video tatt av satsbevegelsen. PosEst-metoden er utviklet og validert mot GNSS-data av Elfmark et al. (2021) og mer teknisk informasjon om utvikling og valideringsprosessen kan sees i artikkelen.

PosEst systemet er avhengig av at hele hopperen er synlig i bilde. Hver video er tilpasset fra stat til slutt, til det siste bilde der hele skihopperen synlig. En standardisert funksjon ble konstruert for å automatisk justere bilderammen til 500x400 piksler for rammen rundt hopperen og for å flytte seg etter hopperen fra bilde til bilde, vist i Figur 4. Både justeringen av bildes størrelse og den automatiske klippingen ble definert i post-prosesseringen og den samme funksjonen ble brukt for alle hoppene.



*Figur 4: Viser utsnitt til kameraet brukt for PosEst, samt utsnittet som følger utøveren under tilløp, sats og start av svev (Elfmark et. al., 2021)*

Utsnittet ble kalibrert, fra pixel til meter, med hjelp av utøvernes segmentlengder, målt med et målebånd før testing. Kalibreringen ble først utført med å rotere bilde sånn at den gjennomsnittlige segmentlengden på beinet, låret og armen til skihopperen holdt seg konstant gjennom svevet. Den andre kalibreringen ble oppnådd fra billedrommet i piksler til objektrommet i meter ved å bruke utøvernes segmentlengder.

For analysen ble området 5 m før og 20 m etter hoppkanten brukt for alle hoppene. Massesenteret til skihopperne ble kalkulert ut fra de 16 landemerkene i henhold til Zatsiorsky med De Leva tilpasninger og justert for vekt av hjelm, sko og ski. En detaljert beskrivelse av parameter definisjoner og utregninger kan også sees i Elfmark et al. (2021).

Med utgangspunkt i teorien ses det på flere parametere som kan være viktige for satsen og en analyse med PosEst. Da en stabil svevpositur er noe vanskelig å forklare objektivt skiller det her mellom lukking som er når kroppens vinkler oppnår en stabil posisjon og stabiltsvev, som er når alle kreftene som påvirker hopperen i svevet stabiliseres (gravitasjon, luftmotstand og løft).

I satsen sees det også på maksimal vertikal hastighet på hoppkanten ( $V_y$ ) og etter 17 meter ( $V_{y_{17m}}$ ) og differansen mellom disse ( $V_{y_{diff}}$ ). Det sees på gjennomsnittlig vinkel på kne fra lukking til maksimal vinkelhastighet kne og tidspunkt, maksimal akselerasjon i kne og tid for denne. Det sees på gjennomsnittlig vinkel på hofteledd maksimal vinkelhastighet hofteledd og tidspunkt, maksimal akselerasjon i Hofte og tid for denne. Det sees på tidspunkt for oppnådd svevpositur (lukning  $t$ ) og distanse (lukning  $x$ ) som beskrevet i teorien, samt start av stabiltsvev der alle kreftene (løft, luftmotstand og gravitasjon) er i balanse for første gang i svevet.

### **3.3.4 Datainkludering**

For å kunne få relevant informasjonen fra GNSS og PosEst til å kunne si noe om prestasjonen i et skihopp er det viktig å forstå hvilke parametere som er avgjørende for hopp prestasjonen. Derfor er det viktig å klare å inkludere så mange parametere som mulig av de som kan være med på å påvirke prestasjonen. For å kunne få data fra hele hoppet, ble GNSS data gjennomgått for å inkludere kun de hoppene der man klarte å beregne differensiell posisjon gjennom hele svevet (Gilgien et al., 2015; Gilgien et al., 2014). Av totalt 107 hopp er det 65 hopp hvor det er beregnet differensiell posisjon gjennom hele svevfasen. Av disse er det igjen kun 60 hopp hvor man har data på vind fra hele svevet.

For PosEst systemet ble kun de hoppene der datasyn klarte å estimere  $x$  og  $y$  koordinatene til de 16 landemerkene gjennom hele fasen fra 6,5 meter før hoppkanten og 22 meter etter inkludert. PosEst metoden er sårbar for bildekvaliteten fra video. Tåke flere av dagene gjorde at kun video fra en dag er av god nok kvalitet for hele økten. Av hoppene denne dagen ble kun data fra den utøverer med flest hopp med data både fra PosEst og GNSS inkludert.

### 3.3.5 Statistikk

Til statistiske beregninger ble statistikk programmet Jamovi (Jamovi version 1.6.23, 2021). Alle resultatdata fra Kjump og parameterne fra GNSS ble sjekket for normalfordeling. Normalfordelingen ble vurdert utfra kriteriene for visuell vurdering av Q-Q plot. For normalfordelte data er det brukt gjennomsnitt og standardavvik som mål for spredning. For ikke normalfordelte data er det brukt median og inter kvartil differanse. En uavhengig t-test ble brukt for å se på forskjellen mellom variablene og statistisk signifikans nivå ble satt til en  $p$ -verdi på 0.05. For å identifisere parametere som kunne predikere prestasjonen ble det beregnet korrelasjoner på alle parametere fra GNSS data og laget en multippel linear regresjons modell. For alle hoppene (N=60) ble det gjort en korrelasjonsanalyse på parameterne «endring fart hoppkant svevphase 1», «glidfall», «horisontal hastighet svevphase 1», «horisontal hastighet svevphase 2», «vertikal hastighet svevphase 2», «LD ratio svevphase 2» og «løft svevphase 2» opp mot poengsum ( $p$ -verdi på under 0,05). Det ble ikke benyttet en automatisk stegvis modell bygging. Ved å benytte en automatisk modellbygger risikerer man ved tilfeldighet å finne en modell som representerer falske forhold. Det er også erfart og sterke overbevisninger om at bedre modeller og en bedre forståelse av ens data er resultatet av fokusert datanalyse guidet av meningsfull teori (Judd, McClelland & Ryan, 2017, kap. 6). Derfor ble det laget en modell basert på de parameteren som kan være av betydning for prestasjonen basert på teori.

## 4. Resultater

### 4.1 Hoppresultat

Forskjellen i prestasjonen blant hoppene som er inkludert i studien er beskrevet i Tabell 3 med deskriptive data for parametere som er avgjørende for resultatet av hoppene. Alle prestasjonsmåldata er inkludert i den totale poengsummen gjennom lengde vind og avsats.

*Tabell 3: Sammendrag av data fra målesystem for avsats, vind og lengde. (Gjennomsnitt og standardavvik/Median, Inter kvartil differanse og Maksimum) N=60*

<b>Lengde [m]</b>	Gj.	89.82
	±SD	± 6.59
<b>TWS Vind [ms<sup>-1</sup>]</b>	Gj.	0.48
	±SD	± 0.45
<b>Poengsum (avsats, vind &amp; lengde)</b>	Gj.	29.03
	±SD	± 14.36
<b>Avsats</b>	Median	13
	IKD	3
	Maks	19



## 4.2 Resultater fra GNSS

Alle parameterne hentet fra GNSS data vises i Tabell 4. For ikke normalfordelte data oppgis median, interkvartil differanse og maksimale verdier.

Tabell 4: Sammendrag av data på parametere målt med GNSS Differansen er oppgitt som median  $N=60$  (Gj. = gjennomsnitt  $SD$  = standardavvik  $IKD$  = interkvartil differanse).

	<b>Gj.</b>	<b>±SD</b>	<b>Median</b>	<b>IKD</b>	<b>Maks</b>
Fart tilløp [ $\text{ms}^{-1}$ ]	23.93	±0.28			
Fart svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]			24.3	0.637	25.00
Endring fart tilløp til svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.34	±0.33			
Høyde svevfase 1 [m]			-3.75	0.339	1.1
Glidetall svevfase 1 [m]			2.84	0.136	3.26
Horisontal hastighet svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]			22.9	0.644	23.4
Vertikal hastighet svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]			-8.23	483	-7.05
Fart svevfase 2 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	25.82	±0.60			
Horisontal hastighet svevfase 2 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	22.05	±0.50			
Vertikal hastighet svevfase 2 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	13.32	±0.47			
LD svevfase 2 [-]	1.35	±0.08			
Luftmotstand svevfase 2 [ $\text{ms}^{-2}$ ]	3.22	±0.25			
Løft svevfase 2 [ $\text{ms}^{-2}$ ]	4.3	±0.24			
Glidetall svevfase 2 [m]	1.69	±0.05			

For korrelasjonsanalysen av parameterne fart tilløp, høyde svevfase 1, fart svevfase 1, vertikal hastighet svevfase 1, glidetall svevfase 1, svevfase 2, og luftmotstand svevfase 2 vertikal hastighet svevfase 2 fant man ingen korrelasjon til poengsum ( $P$ -verdi på sitt beste 0,054). Utfallene kan ses i Tabell 5.

Tabell 5: Viser korrelasjoner til parameteren kalkulert fra posisjons data innhentet med GNSS mot Poengsum for hoppene.

	<i>Poengsum (vind, avsats og lengde)</i>	
	<i>r</i>	<i>P-verdi</i>
Fart tilløp [ $\text{ms}^{-1}$ ]	-0.080	0.545
Høyde svevfase 1 [m]	0.084	0.522
Endring fart tilløp til svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.375	0.003
Fart svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.241	0.064
Horisontal hastighet svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.286	0.027
Vertikal hastighet svevfase 1 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	-0.023	0.861
Glidetall svevfase 1 [m]	-0.097	0.462
Glidetall svevfase 2 [m]	0.352	0.006
Fart svevfase 2 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.085	0.520
Horisontal hastighet svevfase 2 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.260	0.045
Vertikal hastighet svevfase 2 [ $\text{ms}^{-1}$ ]	0.251	0.053
LD ratio svevfase 2 [-]	0.395	0.002
Luftmotstand svevfase 2 [ $\text{ms}^{-2}$ ]	-0.041	0.758
Løft svevfase 2 [ $\text{ms}^{-2}$ ]	0.429	<0.001

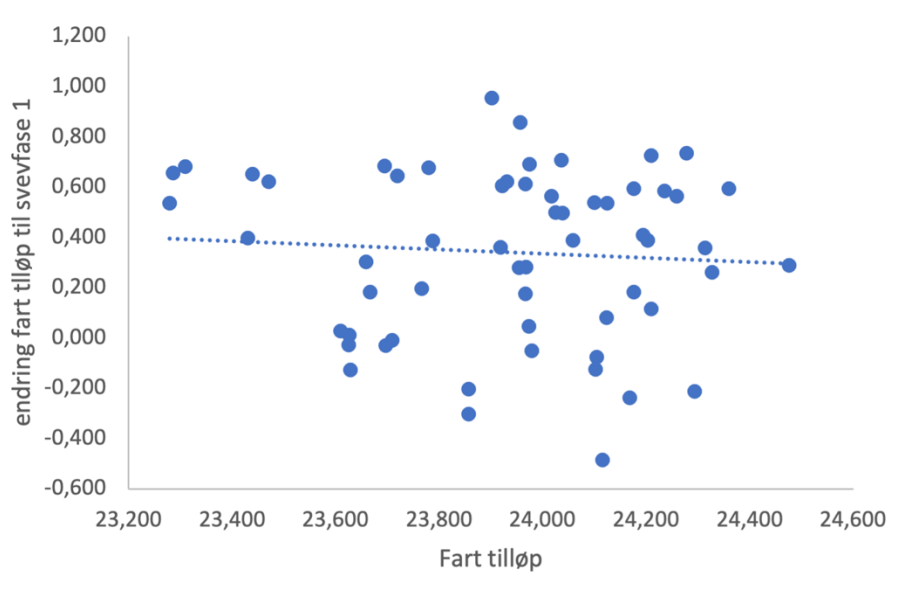
Den multippel linear regresjonsanalyse med poengsum som respons variabel og parameterne, endring fart tilløp til svevfase 1, vertikal hastighet svevfase 1 og svevfase 2, horisontal hastighet svevfase 1 og svevfase 2 og LD ratio svevfase 2 som predikatorer for poengsum viste at vertikal hastighet svevfase 1 ikke bidro til å forklare noe i modellen og ble fjernet. De parameterne som ble igjen i modellen predikerer poengsummen med ( $R^2=0.641$ ) se Tabell 6 og Tabell 7. Alle andre parametere ble ekskludert da de ikke blir sett på som avgjørende for å predikere poengsum eller er med å forklare de parameterne som allerede er lagt inn. Selv om glidetall viser en sammenheng med poengsum bidrar de ikke til å forklare poengsummen, når man kontrollerer for de andre variablene i modellene. Glidetallet vil også være et resultat av den horisontale og vertikale hastigheten, og siden disse i større grad bidrar til å predikere poengsummen i modellen, er dette også grunnlag for å ekskludere glidetall. Løft ble også ekskludert fra modellen da dette er en del av LD ratio.

Tabell 6: viser resultatet fra den multippel lineære regresjons modellen.

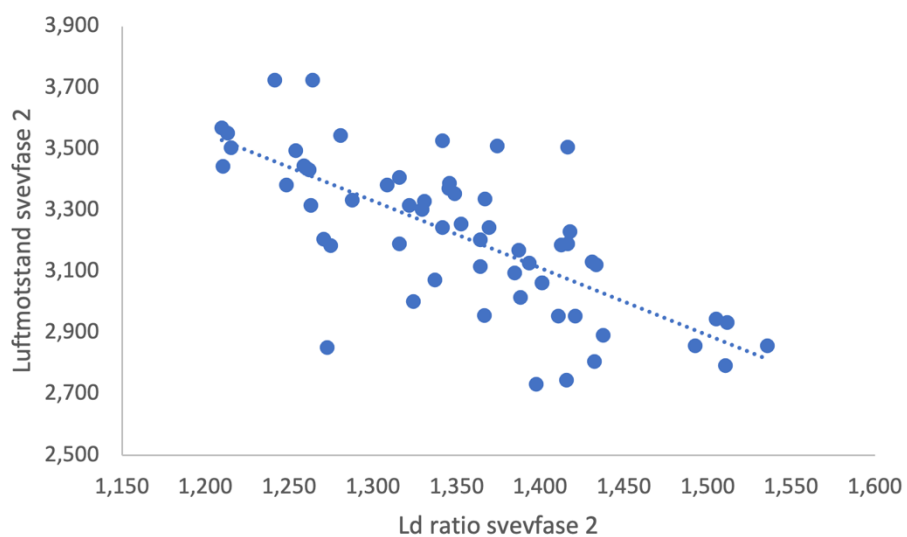
Model	<i>R</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>	Model test			
			<i>F</i>	<i>df1</i>	<i>df2</i>	<i>p</i>
1	0.801	0.642	15.8	6	53	<.001

Tabell 7: viser Parameterne inkludert i modellen, konfidensintervall og *p*-verdier

Predikatorer	Estimater	SE	95% konfidensintervall		<i>t</i>	<i>p</i>
			Nedre	Øvre		
Intercept	658.00	177.00	303.18	1012.90	3.718	<.001
Endring fart tilløp til svevfase 1 [ms <sup>-1</sup> ]	27.9	7.11	13.65	42.15	3.926	<.001
Horisontal hastighet svevfase 1 [ms <sup>-1</sup> ]	-64.5	30.49	-125.65	-3.37	-2.116	0.039
Horisontal hastighet svevfase 2 [ms <sup>-1</sup> ]	66.6	33.54	1.35	131.83	2.046	0.046
Vertikal hastighet svevfase 2 [ms <sup>-1</sup> ]	43.5	9.22	25.02	61.99	4.719	<.001
LD ratio svevfase 2 [-]	-41.3	44.74	103.99	48.40	-0.923	0.360



Figur 5: viser Korrelasjonen ( $r=-0,070$  mellom "endring fart tilløp til svevphase 1" og fart tilløp.



Figur 6: Viser korrelasjon ( $r=-0,719$ ) mellom "luftmotstand svevphase 2" og "LD Ratio Svevphase 1"

### 4.3 Resultater fra PosEst

Variasjonen i prestasjonen på de 7 hoppene fra PosEst ser vi i poengsummen etter at kompensasjon for avsats og vind er lagt sammen med lengden. Utøveren hopet fra 2 forskjellige avsatser som påvirker både farten i tilløpet og hvor stor kompensasjonen for avsats, vist i Tabell 8. hoppene er rangert fra best til dårligst og ikke rekkefølgen hoppene er gjort i.

Tabell 8: Viser, avsats, fart, lengde, vind og poengsum samt kompensasjon for avsats og vind av syv hopp fra en hopper. Hoppene er rangert fra høyest til lavest poengsum.

Hopp rangering	Avsats		Fart	Lengde		Vind		Poengsum
	#	[p.]	[ms <sup>-1</sup> ]	[m]	[p.]	[ms <sup>-1</sup> ]	[p.]	[p.]
1	12	-12.8	23.63	91.5	52	0.3	-2.4	37.8
2	15	-22.4	23.98	97.5	65	0.64	-5.1	37.5
3	15	-22.4	23.97	96	62	0.4	-3.2	36.4
4	12	-12.8	23.63	91	52	0.46	-3.7	35.5
5	12	-12.8	23.63	91	52	0.83	-6,6	32.6
6	15	-22.4	23.97	95,5	59	0.75	-6	30.6
7	15	-22.4	23.86	87,5	45	0.52	-4.2	18.4

Ved å rangere de syv hoppene kan vi sammenlikne parameteren fra de beste og dårligste hoppene. Basert på poengsummen er det rimelig å dele disse inn i 3 grupper. Kun 2 poeng som skiller de 4 beste hoppene (Gruppe 1 med hopp 1, 2, 3, 4,), 2 poeng skiller de to neste hoppene (Gruppe 2 med hopp 5 og 6) mens det siste hoppet, Gruppe 3 (hopp 7) skiller seg ut som det klart dårligste resultatet med 12,2 poeng opp til gruppe 2 og 17,1 poeng opp til gruppe 1. Ut fra vindforholdene er det ingen ting som tilsier at hopp 7 har betydelig dårligere forhold enn hoppene i gruppe 1 og 2 og hoppene i gruppe 2 har til og med de beste forholdene. Selv om hoppene gjøres fra forskjellige avsatser, finner vi hopp fra den lavere avsatsen både i gruppe 1 og 2. Se Tabell 9 for forskjeller mellom avsatser.

Tabell 9: Viser den Gjennomsnittlige forskjellen i farten (målt med GNSS) og lengden mellom de to avsatsene.

Avsats	hopp	Lengde [m]		Fart [ms <sup>-1</sup> ]	
		Gj.	±SD	Gj.	±SD
12	3	91.17	±0.20	23.63	±0.00
15	4	94.13	±4.50	23.94	±0.06

#### 4.3.1 Hastighet fra hoppkant og stabil-svevpositur.

Måling av fart av kroppens CoM på hoppkanten viser også betydningen av de forskjellige avsatsene, der vi kan se at farten er høyere på hopp 1,3,6 og 7 som er fra tre avsatter høyere enn de andre. Vi ser også en betydelig dårligere maksimal vertikal hastighet (Vy for hopp 7 som også er det hoppet med klart lavest poengsum. Hopp 7 har også en lavere Vy etter 17 m. Hvis man ser på de 4 beste hoppene oppnår disse også Max vy noe tidligere enn gruppen med de noe dårligere hoppene se Tabell 10.

Tabell 10: Viser hastighetsmålinger med PosEst metoden. Vy= viser den maksimale vertikale hastigheten for satsen og t=tidspunkt for når den oppnås. Tiden vises i før (-) eller etter hoppkanten (+). 17m (0.8s) er tidspunkt og distanse etter hoppkanten der målinger for Vx= horisontal hastighet Vy= vertikal hastighet og fart ved 17 m. Diff. Vres= forskjellen mellom Vres tilløp og 17 m, gr.= gruppe

Hopp	Tilløp fart [ms <sup>-1</sup> ]	Maks vertikal hastighet		Vx [ms <sup>-1</sup> ]	17m (0.8s)		Diff. fart [ms <sup>-1</sup> ]
		Vy [ms <sup>-1</sup> ]	Tid [s]		Vy [ms <sup>-1</sup> ]	fart [ms <sup>-1</sup> ]	
1 (gr.1)	23.80	-1.82	0.068	23.81	-7.37	24.92	1.12
2 (gr.1)	24.17	-2.05	0.059	24.32	-7.65	25.49	1.32
3 (gr.1)	24.22	-1.86	0.069	24.31	-7.61	25.47	1.25
4 (gr.1)	23.75	-1.80	0.068	23.73	-7.64	24.93	1.18
5 (gr.2)	23.78	-2.03	0.078	23.81	-7.70	25.03	1.24
6 (gr.2)	24.17	-2.03	0.074	24.35	-8.00	25.63	1.46
7 (gr.3)	24.21	-2.78	0.07	24.25	-8.71	25.54	1.53

### 4.3.2 Vinkelhastighet og akselerasjon i kne og hofteleddet.

Vinkelmålinger viser at det er høyere vinkelhastighet på de to hoppene (5 og 6) enn det er for de 4 hoppene med høyest poengsum. Men for alle de fire beste hoppene oppnås den maksimale hastigheten nærmere hoppkanten, de oppnår den høyeste vinkelhastigheten mellom 0,021s og 0,030s tidligere. Målingene viser også at det er en noe lavere vinkelakselerasjon i kneleddet for de 4 hoppene med høyest poengsum, men denne oppnås tidligere enn for de andre hoppene mellom 0,047s og 0,019s før, vist i Tabell 11.

*Tabell 11: viser vinkel målinger fra kneleddet, med maksimal vinkelhastighet, maksimal vinkel akselerasjon og tidspunkt for disse.*

Hopp	Vinkelmålinger i kne			
	Maksimal vinkelhastighet [°/s]	Tid [s]	Maksimal akselerasjon [°/s <sup>2</sup> ]	Tid [s]
1	523.3	0.071	2751.3	-0.021
2	551.6	0.067	3455.1	0.002
3	550.7	0.069	3724.7	-0.004
4	505.4	0.071	3303.9	0.003
5	574.2	0.097	3738.0	0.026
6	587.8	0.082	4120.2	0.022
7	541.7	0.082	4048.7	0.031

Vinkelmålinger fra hofte viser at tidspunktet der den maksimale vinkelhastigheten oppnås viser også at de fire hoppene med høyeste poengsum er også de hoppene som når maksimal vinkelhastighet 8-44 tusendeler før de andre hoppene. Det samme ser vi for når den maksimale vinkelakselerasjonen oppnås for disse hopp. Det er 18-29 tusendeler før de hoppene i gruppe 2 se *Tabell 12*. Det er vanskelig å skille hoppene på maksimal vinkelhastighet og vinkelakselerasjon i hofte leddet.

Tabell 12: Viser vinkelmålinger fra hofteløddet, med maksimal vinkelhastighet, maksimal vinkel akselerasjon og tidspunkt for disse.

<b>Vinkelmålinger i Hofte</b>				
<b>Hopp</b>	<b>Maksimal vinkelhastighet [°/s]</b>	<b>Tid [s]</b>	<b>Maksimal akselerasjon [°/s<sup>2</sup>]</b>	<b>Tid [s]</b>
1	598.8	0.078	3386.1	-0.052
2	576.5	0.078	3547.0	-0.061
3	551.5	0.064	3222.5	-0.059
4	564.0	0.066	3404.8	-0.054
5	625.1	0.110	3507.6	-0.036
6	623.5	0.093	3473.0	-0.038
7	596.7	0.086	3587.4	-0.032

#### 4.3.3 Gjennomsnittlig kne-, hofte- og angrepsvinkel fra lukking til 20 meter.

Målinger av den gjennomsnittlige vinkelen til kne etter lukking og 20 meter viser at den kan være på over 177 grader til 175 på hopp med høy og lav poengsum for den aktuelle utøveren, men det ser ut som hoftevinkelen er noe lavere gjennomgående for de 4 beste hoppene med et unntak. Angrepsvinklene ser også ut til å være gjennomgående lavere på de 4 beste hoppene og høyest for det dårligste hoppet, men kun med 1 grad, vist i Tabell 13.

Tabell 13: Viser ett gjennomsnitt av knevinkel, hoftevinkel og angrepsvinkelen (AoA) for de syv hoppene målt med PosEst fra etter lukking til ca. 20 meter.

<b>Hopp</b>	<b>Gj. Knevinkel [°]</b>	<b>Gj. Hoftevinkel [°]</b>	<b>Gj. AoA [°]</b>
1	176.5	147.0	57.7
2	177.5	148.9	57.1
3	176.8	149.9	52.9
4	171.6	149.5	58.7
5	177.3	149.3	58.9
6	175.5	153.3	56.6
7	176.4	151.3	59.6



Tidspunkt for oppnådd lukning både i tid og distanse er senest for hopp 7. Hopp 7 starter også stabilt sveis senest og differansen mellom fasene er også størst. Det er ingen store forskjeller mellom de andre hoppene for lukning og stabilt sveis.

*Tabell 14: Viser tid og avstand fra hoppkanten for lukning, stabilt sveis og differansen (diff) mellom disse.*

<b>Hopp</b>	<b>Lukning</b>		<b>Stabilt sveis</b>		<b>Diff</b>	
	<b>x</b> <b>[m]</b>	<b>Tid</b> <b>[s]</b>	<b>x</b> <b>[m]</b>	<b>Tid</b> <b>[s]</b>	<b>x</b> <b>[m]</b>	<b>Tid</b> <b>[s]</b>
1	4.75	0.31	17.201	0.73	12.448	0.42
2	4.60	0.29	17.199	0.72	12.600	0.43
3	4.61	0.30	18.801	0.79	14.192	0.49
4	4.52	0.30	16.802	0.72	12.279	0.41
5	4.78	0.32	17.001	0.72	12.224	0.40
6	4.53	0.30	18.400	0.77	13.866	0.47
7	5.18	0.31	21.202	0.91	16.023	0.60

## 5. Diskusjon:

### 5.1 Trener perspektiv

Utfra teorien belyses det prestasjonsbestemmende faktorer i tre faser som kan være avgjørende for hopplengden. Det at hver fase i tillegg kan være avgjørende for hverandre antyder at prestasjonen i et skihopp påvirkes av effekten av hendelser over hele bakkens geografiske område fra toppen til bunnen. Basert på sittestillingens betydning for satsen, og en utøvers evne til å hurtig oppnå en stabil svevpositur og til å balansere gravitasjonen, luftmotstanden og løftets krefter gjennom svevet (Virmavirta, 2017), antyder det at en trener må kunne evne og håndtere store mengder informasjon for å kunne gi gode tilbakemeldinger til en utøver. Det at en trener skal kunne klare å analysere hendelsene i alle disse fasen basert på den tradisjonelle metoden med kun visuelle analyser fra video uten objektive data bør sees på som en stor tillit til trenerens evne. Kompleksiteten i trenerens oppgave beskrives med dens behov for å kunne registrere og vurdere hendelsesforløpet gjennom flere faser i høye hastigheter. Trenerer må i tillegg gjøre denne komplekse oppgaven fra trenertribunen som er plassert ved hoppkanten. Denne er ca. 70 meter fra der hoppene starter og 80 meter fra der hoppene avsluttes i horisontal linje, se Figur 3 der trenertribunens plassering er ved hoppkanten. I større bakker har heller ikke trener øyekontakt med hopperen i store deler av svevet da de forsvinner bak bakkens krumming.

Data fra tilløp, sats og svev med GNSS og PosEst viser mange parametere som kan være med på å påvirke resultatet. Data fra GNSS og PosEst kan bidra til å føye til objektivitet i en treners prestasjonsanalyse for faser treneren ikke registrerer. Disse objektive dataene kan bidra til å unngå de fallgruvene som Adesida et. al. (2019) nevner som mulig kan oppstå ved kvalitative analyser. Slike kvalitative analyser som Chardones et. al. (2012) viser til at hopptrenere ofte gjør fra trenertribunen kun basert på visuell observasjon av video. Man får en forsmak på kompleksiteten i skihopp når i Virmavirta et. al. (2009) beskriver faktorene fart i tilløp, den vertikale hastigheten produsert på hoppkanten, vindforhold og aerodynamiske krefter som viktige for prestasjonene i et skihopp. Resultatene fra denne studien bygger oppunder denne kompleksiteten for idretten skihopp.

## 5.2 Data fra GNSS

Dataene fra GNSS finner ingen sammenheng mellom farten i tilløpet og prestasjonen til utøverne. De funnene som Virmavirta (2017) og Virmavirta et al. (2009) viser til på korrelasjon mellom prestasjon og fart i tilløpet uteblir i denne studien se Tabell 5. En av grunnene til dette er at forsøket er gjort i treningssituasjon og av den grunn har de beste utøverne kjørt med lavere avsatser på grunn av hensyn til sikkerhet. Resultatsystemet til FIS gir en kompensasjon for den lavere bommen som skal utlikne forskjellene i fart. Denne kompensasjonen som blir gitt kan se ut til i å utlikne betydningen av hastigheten i tilløpet for denne studien. Utøverne som er med i denne studien representerer også en større variasjon i nivå, enn det vil være i et verdensmesterskap i skiflygning (Virmavirta, 2017) eller en olympisk konkurranse i liten bakke (Virmavirta et. al., 2009). Derfor er det rimelig å anta at det for denne gruppen er andre ferdigheter som er av en større betydning for variasjonen i prestasjonen blant utøverne. Selv om en isolert økning i farten vil kunne bedre prestasjonen.

Basert på en lineær multippel regresjons analyse av dataen fra GNSS viste det seg fem parametere som er med på predikere deler av prestasjonen i et skihopp ( $R^2=0,641$ ). Endring i fart fra tilløpet til svevfase 1, horisontal hastighet svevfase 1, horisontal hastighet svevfase 2, den vertikale hastigheten i svev fase 2 og LD ratio i svevfase 2. Det første parametere i modellen «endring i fart fra tilløp til svevfase 2» beskriver en fartsøkning fra hastigheten i tilløpet til den fasen som starter 15 meter etter hoppkanten. Det å besitte ferdigheten til å kunne øke hastigheten i denne fasen viser sammenheng med det Virmavirta (2017) sier om å oppnå en stabil svevpositur så hurtig som mulig. Som også Schwameder (2008) og Murakami, et. al. (2010) viser til med at bedre utøvere tidligere oppnår denne og at lavere kropps vinkler i denne fasen reduserer luftmotstand (Murakami et. al. 2010). Det er ikke data på alle utøvere med PosEst i denne fasen, men det kan være ett nyttig verktøy for å bedre å forstå denne sammenhengen. En lavere luftmotstand på grunn av lavere angrepsvinkler kan forklare økningen i fart i denne fasen. Og siden GNSS kun viser effekten av det utøveren gjør kan denne studien bare vise at en økning i hastighet fra perioden før (tilløp) og etter satsen (svevfase 1) er med å bidra til bedre resultat. Studien finner heller ikke en korrelasjon mellom fart tilløp og

endring i fart fra tilløp til svevfase 1 som også indikerer at denne økningen er et resultat av det utøveren gjør i hoppsatsen og de 15 meterne før svevfase 1 se Figur 5.

I modellen finner vi også parameterne «horisontal hastighet svevfase 1», «horisontal hastighet svevfase 2», «den vertikale hastigheten i svev fase 2». disse parameterne er ikke ofte nevnt i litteraturen i forbindelse med svev i skihopp. For den vertikale hastigheten er ett lavere negativt tall ønskelig da det betyr at hastigheten utøveren faller mot bakken med er lavere. Det spesielle med dette er at det for svevfase 1 ikke viser noen sammenheng med prestasjonene. Man skulle tro at det var gunstig å ha minst mulig negativ vertikal hastighet gjennom hele svevet. Men for utøverne i denne studien viser ikke resultatet det, det å klare å minimere fall hastigheten først i svevfase 2 ser mer gunstig ut for prestasjonen. Dette resultatet kan også være preget av at de beste utøverne hoppet fra lavere avsatser. Samtidig som den vertikale hastigheten bør være lav i svevfase 2 ser det ut som det er gunstig at den horisontale komponenten til farten bør være høyest mulig i både svevfase 1 og 2. Det er farten og vinkelen på utøverens svev bane som bestemmer komponentene til hastigheten disse er igjen påvirket av LD ratio. Derfor kan det se ut som at det er gunstig å bevare den horisontale hastighet i svevfase 1, for å kunne fly med en lavere helningskurve og stikke mer ut av bakken i svevfase 2. Dette er også nevnt av Schmölder & Müller (2005) som nevner at det er viktig å bevare hastigheten i første del av svevet for så å øke løfte senere. Å stikke ut av bakken er beskrevet godt med parameteren glidetall. Glidetallet beskriver forholdet mellom den vertikale og den horisontale hastigheten og sier noe om hvor mange meter utøveren forflytter seg fremover per meter den detter ned.

Virmavirta (2017) sitt funn fra simulering viser at en økning i LD ratio har betydning for prestasjonen. For å oppnå et best mulig forhold mellom løft og luftmotstand viser (Ryu et. Al, 2015) at det er hensiktsmessig å redusere luftmotstand for å få en fordelaktig økning i LD ratio. Det er gjort funn fra denne studien som også finner denne sammenhengen, da luftmotstand har en negativ korrelasjon til LD ratio ( $r=-0,719$ ) se Figur 6. LD ratio kan også være avhengig av individuelle forskjeller som antropometriske forhold, den individuelle flyteknikken og med det en utøvers ferdighet til å fly som belyses av Schmölder & Müller (2005). En innvirkning på disse forholdene kan også være en utøvers kroppsmasse som Virmavirta, (2017) og Schmölder & Müller (2005) viser er av betydning for hoppplengde. Virmavirta et. al. (2019) viser også til

hvordan skiføring kan påvirke forholdet til LD ratio. Denne studien klarer ikke å dekke utøveres individuelle føring av ski da det ikke er gjort målinger på dette.

### **5.3 PosEst**

Data fra de syv hoppene fra PosEst metoden gir grunnlag for å forklare den naturlige delingen av hoppene i 3 grupper basert på prestasjonene, der gruppe 1 er best, gruppe 2 nest best og gruppe 3 betydelig dårligere. Den vertikale hastigheten produsert på hoppkanten er viktig for prestasjonen (Virmavirta, 2017). Det dårligste hoppet skiller seg ut fra de andre hoppene med betydelig lavere vertikal hastighet ut av hoppet, og tar med seg den lavere vertikale hastigheten videre ut i svevet. Dette funnet er en engangshendelse og hovedforklaringen på at dette hoppet blir et veldig dårligere resultat trenger ikke å være et generelt funn. Det er uvisst om en trener hadde klart å se dette fra trenertribunen. Hvis vi ser videre i resten av dataene, ser man at vinkelhastigheten i kne og hofte ikke er noe markant dårligere enn de andre, det er heller ikke dårligst da det er hopp i den beste gruppen som har lavere hastigheter. Det dårligste hoppet er også et av de som oppnår den høyest vinkelakselerasjon. Dataene viser også at det dårligste hoppet oppnår den høyeste vinkel akselerasjon senere enn de andre hoppene, kne 0,031s etter hoppkanten og hofte -0,032s før hoppkanten. Dette kan være på grunn av en dårligere plassering av CoM over CoP i utøverens sittestilling som bidrar til mindre friksjon i hoppersatsen mot underlaget og av den grunn gir lettere betingelser for økt vinkelhastighet, men dårligere betingelser for produksjon av vertikalhastighet. Eller en senere timing som gjør at mye av bevegelsen ender opp utenfor hoppkanten, som også kan være med på å forklare den lave vertikale hastigheten i satsen.

Ved å se på lukningsfasen, ser det ut som at det dårligste hoppet lukker senere, også fasen for start av stabilt svev, der kreftene som virker på hopperen har stabilisert seg, er tregere enn for de andre hoppene. Men vinkelmålingene viser at det ikke er noe stor forskjell på dette og de andre i forhold til gjennomsnittlig vinkel på kne hofte og angrepsvinkel på kropp for de første 20 meterne av hoppet. En forklaring kan være at den vertikale hastigheten av CoM på hoppet også er avgjørende for utøverens evne til å hurtig oppnå lukking og et stabilt svev. Det antyder at de to faktorene som er viktig for satsen også påvirker hverandre for dette ene hoppet (Virmavirta, 2017).

Ifølge Virmavirta et. al. (2009) er det en sammenheng mellom vinkelhastigheten på hofte og hopp lengden. Resultatene for de sju hoppene for denne hopperen sier at de er lavere for denne hopperen på de beste hoppene (gruppe 1) kontra de litt mindre bra hoppene (gruppe 2). Så den sammenhengen finner vi ikke i dataene fra PosEst metoden. En mulig grunn kan være at ved en en god hopp sats klare utøveren å påvirke mer kraft gjennom underlaget. Den økte motstanden fra underlaget kan være med på begrense hastigheten i satsen da det vil være tyngre betingelser. Mens en mindre hensiktsmessig satsbevegelse kan være sårbar for den lave friksjonen som er i sporene på hoppkanten (Bobbert et. Al., 2002).

Men tidspunktet for når den maksimale hastigheten oppnås er tidligere for hoppene i gruppe 1. Det å kunne fastsette et tidspunkt for når den største hastigheten for hoftevinkelen oppnås kan sees på som en måling av timing for satsen og hvis man skal skille de 4 beste hoppene fra hoppene i gruppe 2 er det denne timingen som ser ut som den største forskjellen. En slik definisjon for timing er ikke nevnt i tidligere litteratur. Hvis vi ser på de beste hoppene er både tidspunkt for når den maksimale hastigheten i kne og hofte forekommer tidligere for disse altså nærmere hoppkantene derfor kan det for denne hopperen virke mest hensiktsmessig å treffe nærmere hoppkanten med den maksimale hastigheten for både kne og hofte. Det samme ser vi når den høyeste akselerasjonen i kne oppstår for de 4 hoppene. Det at timing er viktig for et skihopp er ikke noe nytt for en hopp trener, men det kan være vanskelig å stadfeste. For denne utøveren viser denne timingen en forskjell mellom de beste og de mindre bra hoppene. Denne metoden tillater å se tidspunktet for når den høyeste vinkelhastigheten i hoppet oppnås dette tyder på at dette kanskje er en metode for å måle det og som tilfører noe nytt til litteraturen.

PosEst ser ut til å kun fange opp individuelle utfordringer på hoppkanten som for denne utøveren ser ut til å gå på når han timer den maksimale hastigheten i kne- og hofteleddet som gir en positiv gevinst i forhold til de mindre bra hoppene. Hvor stor den vertikale hastigheten som skapes på hoppet er, som for denne utøveren ser ut til å være avgjørende for å ikke få betydelig dårlige hopp fordi det også kan påvirke utøverens evne til å hurtig oppnå en lukking og et stabilt svev med balanse for kreftene gravitasjon, luftmotstand og løft som nevnes som en ferdighet gode hoppere har evnen til å oppnå tidligere ut av hoppet (Murakami, et. al., 2010).

Dataene hentet fra GNSS og PosEst viser at det er mulig å identifisere og kvantifisere faktorer som påvirker prestasjonen i et skihopp. Det å kunne måle effekten av en utøvers idrettslige ferdigheter gjennom GNSS og PosEst viser at det er mulig å gi trenere objektive data inn i en treners prestasjonsanalyse. Målinger på kroppsvinkler fra PosEst viser også detaljerte forskjeller i bevegelsen av satsen som kan gi konsekvenser for hoppene inn i neste fase og spore små forskjeller som kan ha en påvirkning på prestasjonen. Som trener kan det ofte være utfordringer med å se og forstå forskjeller i prestasjonen, men det å kunne få objektive data på vind, timing, vertikalthastighet på hoppkanten og hvor mye fart en utøver klarer å ta med seg ut i svevet kan gi kunnskap som bidrar til bedre forståelse av prestasjonen. Disse objektive dataene har potensiale til å bidra inn i en treners vurdering av en utøvers ferdigheter da de kan gi klare mål på effekten av en utøvers bevegelser.

#### **5.4 Begrensninger**

GNSS-metoden har sine begrensninger med at det er deler av hoppet som ikke kan følges på grunn av antennens plassering. GNSS måler også kun effektene av det utøveren gjør og kan ikke si noe om den tekniske bevegelsen eller hva som fører til effekten. For det trenger man visuelle metoder. For å bruke GNSS i bakken er også utøverne avhengig av å bære utstyret dette gjør at det ikke er mulig å benytte i konkurranser. For at utstyret skal bli lite nok til å bæres av utøveren og gi presise målinger er det avhengig av kvalitet og størrelse, dette er spesifikasjoner som bidrar til at slik utstyr blir ett dyrt verktøy. PosEst fungerer som et veldig godt verktøy for å følge utøvers bevegelser i sats og første del av svev. Men PosEst er avhengig av at det er god sikt for at bildene skal bli tydelige nok til å gjøre analyser. Ingen av disse metodene tar målinger av skivinkler, for å kunne gjøre dette er man avhengig av å ha egne sensorer eller kameraer for å kunne måle disse gjennom hele svevet. For studien sin del kan bruken av forskjellige avsatser spille inn på resultatene da det ikke ble identifisert at hastigheten i tilløpet er avgjørende for prestasjonen. Dette er ett misvisende funn fordi vi ser at en høyre hastighet fører til lengre hopp, men at det i denne studien ble kompensert for med poengsystemet til FIS. En annen begrensning for studien er at hoveddelen av utøveren tilhører det samme regionslaget og kan i den tekniske ideen av hvordan et skihopp skal utføres være farget av dette.

## 6. Oppsummering

Både GNSS og PosEst klarer å gi målinger fra hele skihoppet som kan gi en trener mer objektivitet inn i analysene av en utøvers prestasjon. Metodene klarer å identifisere mange av de parameterne som teorien beskriver som avgjørende for prestasjonen og de fungerer godt sammen for å hente data fra hele skihoppet. De mange objektive parameterne belyser også hvor komplekst det er å vurdere en utøvers prestasjon da det er mange parametere som det kan tas høyde for. Denne studien understreker også betydningen en fase har for den neste da små feil som timing på hoppkanten kan se ut til å skille nok for et fall i en utøvers prestasjon. Hoppkanten er en helt avgjørende fase for skihopp, men det er også faktorer i svev og tilløp som i stor grad er med på å påvirke prestasjonen. Regresjonsanalysen klarer å forklare 64% av prestasjonen i et skihopp basert på data fra GNSS. Med fullt datasett fra PosEst er det mulig det går an å forklare mer, men fortsatt er det en del av prestasjonen som ikke kan forklares da GNSS kun måler effekten av det utøveren gjør og metoden ikke måler vinkler av kropp og ski i svev etter 20 meter som utfra litteraturen også kan ha en påvirkning på prestasjonen.

### 6.1 *Veien videre.*

GNSS og PosEst er effektive verktøy for å tidlig identifisere objektive parametere for prestasjonen. De to metodene sammen er med å dekke hele hendelsesforløpet i et skihopp. Dagens kamerateknologi blir stadig bedre å for å kunne gi trenere et godt verktøy for å bidra i analysen av en utøvers ferdighet for å identifisere mulig forbedringspotensialet bør det i fremtiden være mulig å benytte enkle enheter som en mobiltelefon eller et håndholdt kamera med PosEst-metoden til en gunstig pris. På denne måten kan en trener få en større andel objektive data som et supplement til sine analyser. Men for å kunne dekke hele hoppet er PosEst utfordrende da det trengs flere kameraer for å dekke hele bakken. Fordelen med GNSS er at det er enklere å hente inn data spesielt for faser som tilløp og svev der bevegelsene er mindre. De kontinuerlige målingene fra GNSS gjøres gjennom hele hendelsesforløpet av en enhet som forenkler analysene. For å bedre kunne kartlegge prestasjonskravene i et skihopp kan lignende feltstudier vær en vei å gå. En større mengde data som supplement til denne og med sensorer som fanger opp skivinkler kan det hende man i enda større grad ser muligheten for videre utvikling av prestasjonen og forståelse av hva som er viktig for prestasjonen i



et skihopp. Denne metoden kan også brukes for å se på forskjeller på gode og dårligere utøvere for å utvikle mindre dyktige utøvere.

## Referanser

Liebermann, D. G., Katz, L., Hughes, M., Bartlett, R., McClements, J., & Franks, I. M. (2002). Advances in the application of information technology to sport performance. *Journal of Sport Sciences*, 20, 755-769. doi:10.1080/026404102320675611

Giblin, G. & Tor, E. & Parrington, L. (2016). The impact of technology on elite sports performance. *Sensoria: A Journal of Mind, Brain & Culture*. 12. 10.7790/sa.v12i2.436.

Chardonnes, J. Favre, J. Le Calennec, J. Cuendet, F. Gremion, G. Aminan, K. (2012) *Automatic measurement of key ski jumping phases and temporal events with a wearable system*. *J sport sci*. 30,53-61.

Virmavirta, M. Isolehto, J. Komi, P. Schwameder, H. Pigozzi, F. Massaza, G. (2009) *Take-off analysis of the Olympic skijumping competition (HS-106)*. *J.biomech*. 42, 1095-1101,

Elfmark, O. & Gertjan, E (2021): Aerodynamic investigation of the inrun position in Ski jumping, *Sports Biomechanics*, DOI: 10.1080/14763141.2020.1871503

Jones, R.L.; Wallace, M. (2005) Another bad day at the training ground: Coping with ambiguity in the coaching context. *Sport. Educ. Soc.* 10, 119–134.

Adesida, Y.; Papi, E.; McGregor, A.H. (2009) Exploring the role of wearable technology in sport kinematics and kinetics: A systematic review. *Sensors* 19, 1597.

Schwameder, H (2008). *Biomechanics research in skijumping, 1991-2006*. *Sport. Biomech*. 7, 114-136.

Virmavirta, M. Kivekas, J. (2019) *Aerodynamics of an isolated skijumping ski sports engineering* DOI: 10.1007/s12283-019-0298-1

Murakami, M., Iwase, M., Seo, K., Oghi, Y., Koyanagi, R. (2010) *Skijumping flight skill analysis based on high-speed video image*. *Procedia Engineering* 2 2381-2386 DOI: 10.1016/J.PROENG.2010.04.003

Blumenbach, T. (2004) High precision kinematic GPS positioning of ski jumpers. In Proceedings of the 17th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2004), Long Beach, CA, USA, 21–24 September; pp. 761–765.

Virmavirta, M. (2017) *Skijumping: Aerodynamics and Kinematics of Take-Off and Flight. Handbook of Human Motion*, DOI: 10.1007/978-3-319-30808-1\_131-1

Ryu, M. Cho, L. Cho, J. (2015) *Aerodynamic analysis on Postures of Ski Jumpers during Flight using Computational Fluid Dynamics*, *Trans. Japan Soc. Aero. Space Sci.*, vol.58, No. 4, 2015 204-212

Elfmark , O., Ettema, G., Groos, D., Ihlen, E. A. F., Velta, R., Haugen, P. Braaten, S., & Gilgien, M. (2021) *Performance analysis in Ski Jumping with a Differential Global Navigation Satellite System and Video-Based Pose Estimation*, *Sensors* 21, 5318. <https://doi.org/10.3390/s21165318>

Gasser, H. (2008). Standards for the construction of jumping hills–2008 application to rule 411 of icr volume iii. *Fédération Internationale de Ski, Oberhofen*.

Ettema, G., Hooiveld, J., Braaten S. & Bobbert, M. (2015): How do elite ski jumpers handle the dynamic conditions in imitation jumps?, *Journal of Sports Sciences*, DOI: 10.1080/02640414.2015.1088660

Bobbert, M. F., Houdijk, H., de Koning, J. J., & de Groot, G. (2002). From a one-legged vertical jump to the speed-skating push-off: A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*, 18(1), 28–45.

Schmölzer, B., Müller, W. (2005) Individual flight styles in ski jumping: results obtained during Olympic Games Competitions. *Journal of Biomechanics*, 38, 1055-1065 DOI: 10.1016/j.jbiomech.2004.05.038

Müller, W. (2009) *Determinants of ski-jump Performance and implications for health, safety and Fairness*. *Sports Med* 39, 85-106 <https://doi.org/10.2165/00007256-200939020-00001>

Li, X., Ge, M., Dai, X., Ren, X., Fritsche, M., Wickert, J. & Schuh, H. (2015). Accuracy and reliability of multi-GNSS real-time precise positioning: GPS, GLONASS, BeiDou, and Galileo. *Journal of Geodesy*, 89(6), 607–635. <https://doi.org/10.1007/s00190-015-0802-8>

Gilgien, M., Spörri, J., Limpach, P., Geiger, A., and Müller, E. (2014). The Effect of Different Global Navigation Satellite System Methods on Positioning Accuracy in Elite Alpine Skiing. *Sensors* 14, 18433–18453. doi:10.3390/s141018433.

Fasel, B., Spörri, J., Gilgien, M., Boffi, G., Chardonens, J., Müller, E., et al. (2016). Three-dimensional body and centre of mass kinematics in alpine ski racing using differential GNSS and inertial sensors. *Remote Sens.* 8, 671. doi:10.3390/rs8080671.

Gilgien, M., Haugen, P., and Reid, R. (2016a). A New Instantaneous Performance Parameter for Alpine Skiing and Individual Sports. in *21st Annual Congress of the European College of Sport Science* (Vienna, Austria), 234–235.

Supej, M., and Holmberg, H. C. (2011). A new time measurement method using a high-end global navigation satellite system to analyze alpine skiing. *Res. Q. Exerc. Sport* 82,400–411. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21957698>.

Gilgien, M., Spörri, J., Chardonens, J., Kröll, J., Limpach, P., and Müller, E. (2015). Determination of the centre of mass kinematics in alpine skiing using differential global navigation satellite systems. *J. Sports Sci.* 33, 960–969. doi:doi:10.1080/02640414.2014.977934.

Gilgien, M., Spörri, J., Chardonens, J., Kröll, J., and Müller, E. (2013). Determination of external forces in alpine skiing using a differential global navigation satellite system. *Sensors* 13, 9821–9835. doi:10.3390/s130809821.

Nemec, B., Petrič, T., Babič, J., and Supej, M. (2014). Estimation of Alpine Skier Posture Using Machine Learning Techniques. *Sensors* 14, 18898–18914. doi:10.3390/s141018898.

Supej, M., Saetran, L., Oggiano, L., Ettema, G., Šarabon, N., Nemec, B., et al. (2013). Aerodynamic drag is not the major determinant of performance during giant slalom skiing at the elite level. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 23, e38-47. doi:10.1111/sms.12007.

The jamovi project (2021). *jamovi* (Version 1.6) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>

Judd, C. M., McClelland, G. H.; & Ryan, C. S. (2017). *Data Analysis, a Model Comparison Approach to Regression, ANOVA, and Beyond*. Routledge NY: NewYork.

## Tabelloversikt

Tabell 1: Viser fordeling av utøvere på de 4 forskjellige konkurransenivåene Worldcup (WC), Continental cup (COC) og Nasjonal cup (NC). WC og COC er internasjonale konkurranser Mens NC er nasjonale konkurranser i Norge. ....	14
Tabell 2: Viser plassering, vektning, svevvinkel og den minimum lengde som må oppnås for at måling skal inkluderes i beregning. ....	18
Tabell 3: Sammendrag av data fra målesystem for avsats, vind og lengde. (Gjennomsnitt og standardavvik/Median, Inter kvartil differanse og Maksimum) N=60 .....	24
Tabell 4: Sammendrag av data på parametere målt med GNSS Differansen er oppgitt som median N=60 (Gj. = gjennomsnitt SD = standardavvik IKD = interkvartil differanse). ....	25
Tabell 5: Viser korrelasjoner til parameteren kalkulert fra posisjons data innhentet med GNSS mot Poengsum for hoppene. ....	26
Tabell 6: viser resultatet fra den multippel lineære regresjons modellen. ....	27
Tabell 7: viser Parameterne inkludert i modellen, konfidensintervall og p-verdier.....	27
Tabell 8: Viser, avsats, fart, lengde, vind og poengsum samt kompensasjon for avsats og vind av syv hopp fra en hopper. Hoppene er rangert fra høyest til lavest poengsum. ....	29
Tabell 9: Viser den Gjennomsnittlige forskjellen i farten (målt med GNSS) og lengden mellom de to avsatsene. ....	30
Tabell 10: Viser hastighetsmålinger med PosEst metoden. Vy= viser den maksimale vertikale hastigheten for satsen og t=tidspunkt for når den oppnås. Tiden vises i før (-) eller etter hoppkanten (+). 17m (0.8s) er tidspunkt og distanse etter hoppkanten der målinger for Vx= horisontal hastighet Vy= vertikal hastighet og fart ved 17 m. Diff. Vres= forskjellen mellom Vres tilløp og 17 m, gr.= gruppe .....	30
Tabell 11: viser vinkel målinger fra kneleddet, med maksimal vinkelhastighet, maksimal vinkel akselerasjon og tidspunkt for disse. ....	31
Tabell 12: Viser vinkelmålinger fra hoftelddet, med maksimal vinkelhastighet, maksimal vinkel akselerasjon og tidspunkt for disse. ....	32
Tabell 13: viser ett gjennomsnitt av knevinkel, hoftevinkel og angrepsvinkelen (AoA) for de syv hoppen målt med PosEst fra etter lukking til ca. 20 meter. ....	32
Tabell 14: Viser tid og avstand fra hoppkanten for lukning, stabilt svev og differansen (diff) mellom disse. ....	33

## Figuroversikt

Figur 1: Viser utøver med GNSS-antenne på hjelmen og mottakeren på ryggen.....	16
Figur 2: Viser utsnittet fra programmet Kjump med plassering av de 5 målerne. Vindstyrken vises i stor font vedsiden av pilen som viser retningen og under vises styrken på vektoren som blåser i retningen som er en del av den gjennomsnittlige TWS .....	18
Figur 3: Grafisk illustrasjon av hoppbakkens profil, der hoppkanten er plassert i origo av koordinatsystemet og plasseringen de to fasene brukt i analysene. ....	20
Figur 4: Viser utsnitt til kameraet brukt for PosEst, samt utsnittet som følger utøveren under tilløp, sats og start av svev (Elfmark et. al., 2021).....	21
Figur 5: viser Korrelasjonen ( $r=-0,070$ mellom "endring fart tilløp til svev fase 1" og fart tilløp. ....	28
Figur 6: Viser korrelasjon ( $r=-0,719$ ) mellom "luftmotstand svev fase 2" og "LD Ratio Svev fase 1" .....	28

## Forkortelser

WC	Verdenscupen for skihopp
GNSS	Global Navigasjon Satellite System
CoM	kroppens masse senter
CoP	Tryksenteret på fot
PosEst	Posisjons estimering fra video med datasyn
COC	Continentalcupen i skihopping, kvalifiseringscup for Verdenscup
NC	Norges cup, nasjonal serie med konkurranser i skihopp.
LD ratio	Forholdet mellom løft og luftmotstand
FIS	Det internasjonale skiforbundet
TWS	Tangentiell vindhastighet
V <sub>x</sub>	Horisontal hastighet
V <sub>y</sub>	Vertikal hastighet
SD	Standardavvik
Gj	Gjennomsnitt
IKD	Interkvartil differanse



## Vedlegg

## **Forespørsel om deltakelse i forskningsprosjektet:**

### **«Prestasjonsanalyse i elite skihopping»**

### **Analysis of performance, motor control and training load in elite alpine skiing»**

#### **Bakgrunn og hensikt**

Hensikten med prosjektet er å identifisere den relative viktigheten av de biomekaniske faktorene som bestemmer prestasjoner i skihopping og å utvikle en metode for å kvantifisere treningsbelastning i skihopping.

#### **Bakgrunn**

Elite skihopping er en sport med betydelige variasjon i ytre forhold som vind, bakkeprofil, bakkestørrelse, sikt og underlag. Samtidig er måling av prestasjon utfordrende på grunn av varierende ytre forhold, høy hastighet og lange svevkurver. De biomekaniske faktorene som bestemmer prestasjon i de varierte ytre forholdene er derfor ikke godt forstått, og det er behov for å forbedre forståelsen for hvordan skiteknikk og taktikk og motorisk kontroll påvirker prestasjonen under varierte forhold.

Overvåking av treningsbelastning i idrett brukes som et verktøy for å analysere hvordan trening påvirker prestasjoner og helse hos idrettsutøvere. For selve hoppingen på ski mangler denne overvåking av belastningen og det er derfor behov for å utvikle analysemetoder for dette.

#### **Konsekvenser for deltakerne**

For å analysere faktorene som bestemmer prestasjon og for å analysere treningsbelastningen i skihopping spores utøvernes posisjon, hastighet og de ytre kreftene som virker på utøverne, med bærbar måleteknologi. Under trening utstyres utøverne med et globalt posisjoneringssystem med treghetsteknologi i små og lette enheter. Samtidig blir utøverne filmet på video for subjektiv vurdering av teknikken deres. I etterkant av treningen blir prestasjonsdata analysert og algoritmer utvikles for å analysere treningsbelastning.

#### **Fordeler og ulemper for deltakerne**

## **Fordeler**

Som deltaker vil du lære hvordan skiteknikken din, taktiske valg og motorisk kontroll påvirker prestasjon og hvordan trening påvirker prestasjonene og helsen din.

## **Ulemper**

Som deltaker må du bære måleutstyr på kroppen din, for eksempel GNSS / GPS / IMU-system, og bli filmet av kamera. Med måleinstrumentene som bæres på kroppen har du en minimalt økt risiko for å bli mer alvorlig skadet enn hvis du ikke hadde på deg utstyret i tilfelle du krasjer.

## **Personvern**

Informasjon registrert om deg vil bli behandlet konfidensielt i samsvar med gjeldende regler for anonymitet. Informasjon som blir registrert er alder, kjønn, høyde, vekt og resultater fra aktuelle tester. Sluttdatoen for prosjektet er 08.05.2022. Dataene dine blir anonymisert, og nøkkelen som tillater å koble dataene til deg som person vil bli slettet.

## **Levering av materiale og informasjon til andre:**

Hvis du samtykker i å delta i studien, gir du også ditt samtykke til at informasjon som er anonymisert kan bli brukt i vitenskapelige publikasjoner.

## **Rett til å få tilgang til og slette informasjon om deg og slette prøver**

Hvis du ønsker å delta i studien, har du rett til å ha tilgang til informasjonen om deg. Du har også rett til å rette opp eventuelle feil i informasjonen som er registrert, retten til å sette begrensninger i informasjonen som er samlet om deg og til portabiliteten til dine data. Hvis du trekker deg fra studien, kan du be om å få slettet data og informasjon som er samlet om deg, med mindre informasjonen allerede er lagt inn i analysen eller har blitt brukt i vitenskapelige publikasjoner. Du har rett til å klage til datatilsynet

<https://www.datatilsynet.no/> eller personvernombudet ved Norges idrettshøgskole: [personvernombud@nih.no](mailto:personvernombud@nih.no).

## **Forsikring**

Norges Idrettshøgskole er selvassurandør og dekker eventuelle skader og ulykker deltakere kan ha under deltagelse i prosjektet. Deltakerne må ha en gyldig helseforsikring.

## **Informasjon om resultatene av studien**

Resultatet av prosjektet vil bli publisert gjennom vitenskapelig publisering.

### **Frivillig deltagelse**

Deltakelse i studien er frivillig og idrettsutøvere kan når som helt trekke seg fra studien uten begrunnelse. Hvis du ønsker å trekke tilbake samtykke for deltagelse i studien, kan du kreve at de innsamlede helse- og personopplysningene blir slettet eller utlevert til deg. Muligheten for å tilbakekalle samtykke eller kreve ødeleggelse, sletting eller utlevering gjelder ikke hvis informasjonen alt har kommet inn i vitenskapelig arbeid, jfr. biobankloven § 14 tredje ledd. Hvis du ønsker mer informasjon om prosjektet, kan du kontakte prosjektpersonalet.

### **Kontakt informasjon**

Matthias Gilgien +47 45676656 or [matthias.gilgien@nih.no](mailto:matthias.gilgien@nih.no), Norges idrettshøgskole, Sognsveien 220, 0863 Oslo, Norway

### **Informert samtykke for deltagelse i studien: «Prestasjonsanalyse av elite skihopping»**

Med min signatur bekrefter jeg at jeg har lest og forstått informasjonen som er gitt i dette skjemaet og samtykker til å frivillig delta denne studien

Navn og fornavn til utøveren: .....

Dato: .....

Signatur:.....

