

Denne oppgaven er gjennomført som en del av studiet ved Norges Idrettshøgskole. Dette innebærer ikke at Norges Idrettshøgskole går god for de metoder som er anvendt, de resultater som er fremkommet, eller de konklusjoner som er trukket.

Foto forside fra www.ronlemaster.com. Copyright 2006 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.

Forord

Noen ganger i livet møter du mennesker som forandrer deg. Jeg har under arbeidet med denne oppgaven og tiden ved NIH vært så heldig å møte to. Tusen takk Per og Roby.

Et slik type arbeid som er gjort i denne studien gjør også at man må jobbe sammen som et team. Hvis man ikke samarbeider er ikke et så omfattende arbeid mulig å gjennomføre med så begrensede midler som det var her. Uten vennskapet og samarbeidsevnen til Håvard vil denne oppgaven ikke bare blitt vanskelig og mindre spennende, men kanskje også en utopi.

En stor takk til Matthias Gilgien for alt arbeidet som ble lagt ned i forbindelse med programmering, særdeles gode innspill og vennskap under hele prosessen.

En takk også til Norges Skiforbund som skapte muligheten for meg til å både jobbe som trener og ha tid til å jobbe med denne oppgaven.

Takk til Olympiatoppen for økonomisk støtte.

En takk til alle trenere som har kommet med gode innspill underveis i oppgaven.

En stor takk også til Karianne M. Ranem for uvurderlig veiledning underveis.

Til slutt må jeg takke mutteren og fatteren. Uten deres støtte i studietiden hadde jeg ikke vært i nærheten.

Tron Moger

August, 2007
Oslo, Norge

SAMMENDRAG

I alpin skikjøring foregår en stor del av treningsarbeidet med tanke på teknisk arbeid. Dette tekniske arbeidet er først og fremst belaget på erfaring hos rutinerne trenere. Denne studien er et produkt av et samarbeid mellom Norges Skiforbund, Olympiatoppen og Norges idrettshøgskole og hensikten med dette samarbeidet er å kunne forankre deler av denne erfaringen i et vitenskapelig perspektiv.

Denne studien ønsker å undersøke en av disse erfaringsbaserte filosofiene. Denne filosofien karakteriseres ved å fremheve viktigheten av å ha en lang rett fase mellom svingene og en kort svingfase. Hensikten med denne studien er å teste ut denne filosofien for en gitt populasjon under gitte forhold og å skape et grunnlag for hvordan man teknisk skal løse det taktiske som man antar er det raskeste. For å kunne vurdere dette ble det valgt å studere tyngdepunktsbanen. Tyngdepunktsbanen ble målt ved hjelp av en DLT- basert 3 dimensjonal kinematisk analysemetode som tillot panning, tilting og zooming med kameraene. Denne metoden er brukt innenfor alpint i tidligere studier (f.eks. Nachbauer m.fl., 1996).

Tyngdepunktsbanen og karakteristika av denne banen ble korrelert mot prestasjon. I denne studien ble det avdekket et signifikant forhold mellom tyngdepunktets vertikaldynamikk og prestasjon ($r=0,95$, $p<0,05$). I de andre analysene som ble gjort var det ingen signifikante sammenhenger, men det var relativt sterke tendenser på de ulike områdene. For dette gitte utvalget i denne gitte situasjonen kan det se ut som om det er hensiktsmessig å søke en så kort vei som mulig og å søke den bratteste nedfarten mellom svingene. På den annen side er det også målinger som er gjort i denne undersøkelsen som peker i retning av at dette ikke nødvendigvis er den eneste måten å kjøre fort på. Ved senere startnummer kan dataene i denne undersøkelsen tyde på at det kan være hensiktsmessig å kjøre et litt lengre spor for da kan man operere i områder med bedre snø.

Da det gjelder denne studiens resultater i forhold til filosofien som skulle undersøkes kan man ikke trekke sikre slutninger, men man kan se tendenser til at resultatene fra denne gitte situasjonen og den gitte populasjonen støtter denne filosofien.

Nøkkelord: alpint, teknikk, 3 dimensjonal kinematisk analyse, DLT, tyngdepunkt.

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG	v
INNHOLDSFORTEGNELSE	vii
FIGURLISTE	ix
TABELL LISTE	xi
VARIABELLISTE	xii
1.0 INTRODUKSJON	1
2.0 BEGREPSAVKLARING	7
3.0 TEORI	9
3.1 Skienes egenskaper	9
3.1.1 Skikonstruksjon	10
3.1.1.1 Lengdestivhet	10
3.1.1.2 Spenn (ski camber)	10
3.1.1.3 Torsjonsstivhet	11
3.1.2 Skigeometri	11
3.1.2.1 Innsving (sidecut)	12
3.1.2.2 Bredde	13
3.1.2.3 Høyde	15
3.2 KREFTER SOM FÅR SKIENE TIL Å SVINGE	16
3.2.1 Skjærende & skrensende svinger	16
3.2.3 Kreftene ved skjærende sving	17
3.2.4 Kreftene ved skrensende sving	19
3.2.5 Angrepsvinkel (γ)	19
3.3 KREFTER PÅ LØPEREN	20
3.3.1 I fallinja	20
3.3.2 Andre bremsende faktorer	22
3.3.3 Travers	22
3.3.4 Sving, som en del av en sirkel	24
3.4 Angrepsvinkel som et verktøy for å skape F_C	27
3.5 Relatert forskning	29
4.0 PROBLEMSTILLING	31
5.0 METODE	35
5.1 Teoretisk bakgrunn til valgt metode	35
5.2 Oppsett i bakken	37
5.2.1 Gjennomføring	38
5.2.2 Kontrollpunkt	39
5.2.3 Teodolitt	42
5.2.4 Kamera	44
5.2.5 Timing	45
5.2.6 Løypesetting	45
5.3 Utvalget og utvalg av trial	45
5.4 Databehandling	46
5.4.1 Innfanging	46
5.4.2 Digitalisering	46
5.4.3 Kalibrering	50
5.4.4 Synkronisering	50
5.4.5 Interpolering	51
5.4.6 Filtrering	51
5.5 Beregninger knyttet til problemstillinger	51
5.5.1 Metodens nøyaktighet	52

5.5.2 Tyngdepunkt.....	52
5.5.3 Inngangshastighet.....	53
5.5.4 TP's totale veilengde.....	53
5.5.5 TP's veilengde i Y dimensjonen	53
5.5.6 TP's veilengde i Z dimensjonen.....	54
5.5.7 Definisjon av svingstart og slutt.....	54
5.5.8 TP's veilengde i den rette fasen	55
5.5.9 TP's veilengde i sving.....	55
5.5.10 Beregning av switch.....	55
5.5.11 Switchvinkel (δ).....	56
5.6 Statistiske metoder	57
5.7 Feilkilder	57
5.7.1 Systematiske feilkilder	57
5.7.2 Tilfeldige feilkilder	58
5.8 Pilotforsøk	59
5.8.1 Oppsett/ gjennomføring.....	59
5.8.2 Digitalisering.....	62
6.0 RESULTATER	63
6.1 Metodens nøyaktighet	63
6.2 TP's totale vei.....	65
6.3 TP's lengde i Y dimensjonen	66
6.4 TP's lengde i Z dimensjonen.....	67
6.5 TP's lengde i den rette fasen	68
6.6 TP's lengde i sving.....	69
6.7 Switchvinkel (δ).....	70
7.0 DISKUSJON	73
7.1 Metodens nøyaktighet	73
7.2 TP's totale vei.....	74
7.3 TP's veilengde i Y dimensjonen	75
7.4 TP's veilengde i Z dimensjonen.....	75
7.5 TP's lengde i den rette fasen	76
7.6 TP's lengde i sving.....	77
7.7 Switchvinkel (δ).....	77
7.8 Oppsummerende diskusjon	78
7.9 Veien videre	80
8.0 KONKLUSJON	83
9.0 REFERANSELISTE.....	87

FIGURLISTE

Figur 1.1	
Ulike tekniske elementer og deres samspill	2
Figur 2.1	
Brachistochrone kurve og en direktelinje.....	7
Figur 3.1	
Ubelastet ski sett fra siden.....	11
Figur 3.2	
Ski sett ovenifra.....	11
Figur 3.3	
Ski som en del av en sirkel.....	12
Figur 3.4	
Frontalt tverrsnitt av forholdet mellom angrepspunktet til F_R og rotasjonspunktet rundt ankelen	14
Figur 3.5	
Frontalt tverrsnitt av kreftene om ankelleddet med forskjellig høyde	15
Figur 3.6	
Et frontalt tverrsnitt av en ski ved punkt x som skjærer.	17
Figur 3.7	
Et frontalt tverrsnitt av en ski ved punkt x som skrenser.....	19
Figur 3.8	20
Forholdet mellom fartsretningen og angrepvinkelen(γ).	20
Figur 3.9	
Løper sett rett fra siden i kjøring rett ned.....	21
Figur 3.10	
Kreftene i travers.....	23
Figur 3.11	
Ved å uttrykke svingene som en del av en sirkel	25
Figur 3.12	
Øvre og nedre halvdel av en sving.....	26
Figur 3.13	
Ved å kjøre kortere bue/linje enn hva skiene tillater, blir man nødt til å skrense	27
Figur 5.1	
Forholdet mellom object space og image plane.....	36
Figur 5.2	
Skisse over oppsettet i bakken med kamera, kontrollpunkter, timingsystem og porter.....	44
Figur 5.3	
Skjematisk fremstilling av punktene som ble digitalisert.	47
Figur 5.4	
Svingradius med svingstart og svingslutt.....	54
Figur 5.5	
Definisjon av switch.....	56
Figur 5.6	
Definisjon av switchvinkel.....	56
Figur 6.1.1	
Eksempel av standardavvik i MatLab.	64
Figur 6.2.1	
Forholdet mellom prestasjon og total lengde kjørt.....	65
Figur 6.3.1	
Forholdet mellom prestasjon og lengden av veien kjørt i Y dimensjonen.....	66
Figur 6.4.1	

Forholdet mellom prestasjon og lengden av veien kjørt i Z dimensjonen.	67
Figur 6.5.1	
Forholdet mellom lengden av veien reist rett fram og prestasjon.	68
Figur 6.6.1	
En grafisk fremstilling av forholdet mellom lengden av veien til tyngdepunktet i sving og prestasjon.....	69
Figur 6.7.1	
Grafisk fremstilling mellom forholdet switchvinkel og prestasjon.....	70

TABELL LISTE

Tabell 3.1	
Minste tillatte svingradius i de ulike disiplinene.....	13
Tabell 3.2	
Minste tillatte bredde i de ulike disiplinene	14
Tabell 5.1	
Oversikt over utvalgte segmenter og punktene segmentene besto av	48
Tabell 5.2	
Oversikt over populasjonen i denne undersøkelsen og Zatsiorsky grunnleggende antropometriske data	52
Tabell 6.1	
Oversikt over rangering av prestasjon i den analyserte sekvensen	63
Tabell 6.1.1	
Oversikt over de ulike segmenters pooled standardavvik og antall for alle prediksjoner.....	63
Tabell 6.2.1	
Oversikt over segmenters RMSE og antall prediksjoner	64
Tabell 6.2.1	
Oversikt over tyngdepunktets totale vei kjørt	65
Tabell 6.3.1	
Oversikt over tyngdepunktets vei i Y- dimensjonen og prestasjon.....	66
Tabell 6.4.1	
Oversikt over lengden av tyngdepunktets vei Z dimensjonen og prestasjon	67
Tabell 6.5.1	
Oversikt over hvor langt tyngdepunktet reiser mellom hver port og i gjennomsnitt	68
Tabell 6.6.1	
Oversikt over hvor langt tyngdepunktet reiser i sving	69
Tabell 6.7.1	
Oversikt over gjennomsnittsvinkelen på tyngdepunktets hastighetsvektor i de ulike switchene	70

VARIABELLISTE

Variabel	Målenhet	Beskrivelse
R_{SC}	Meter	Radiusen på sirkelen som innsvingen på skien er en del av.
R_t	Meter	Radiusen på svingen som en kantet ski utfører.
θ	Grader	Vinkelen mellom ski og underlag.
F_{load}	Newton	Kraften løperen utøver mot underlaget.
F_{loadN}	Newton	Kraften som presser/ skjærer skien gjennom snøen. Normalkomponenten av F_{load} .
F_{loadP}	Newton	Komponent av F_{load} som belaster skien sideveis parallelt til snøens overflate.
F_R	Newton	F_R er motkraften til F_{load} , og er ”svaret” fra underlaget etter å ha blitt belastet av F_{load} .
F_{RN}	Newton	Komponent av F_R og er motkraften til F_{loadN} . Kan forstås som snøens motstandsdyktighet..
F_{RP}	Newton	Komponent av F_R og motkraften til F_{loadP} . Kan forstås som snøens evne til å motstå shearing.
D_P	Centimeter	Dybden av skiens gjennomtrenging av snøen.
F_{RPB}	Newton	Den komponenten av F_{RP} som virker motsatt av fartsretningen. Dette er med andre ord brems.
F_{RPS}	Newton	Komponent av F_{RP} og virker vinkelrett på fartsretningen. Komponenten av F_{RP} som gir retningsforandring når skien skrenser.
β	Grader	Traverseringsvinkel. Vinkelen mellom tyngdepunktets fartsretning og fallinja.
δ	Grader	Switchvinkel. Vinkelen mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og en rett linje fra port til port.

α	Grader	Helningsvinkel. Vinkelen på bakken.
μ		Friksjonskoeffisienten.
v	m/s	Hastighet.
A	m^2	Løperens frontalareal.
C_D		Luftmotstandskoeffisienten.
Q	kg/m^3	Lufttetthet.
γ_{SC}	Grader	Angrepsvinkel. Vinkel mellom innsving og skiens lengderetning.
γ_{SKI}	Grader	Angrepsvinkel. Vinkel mellom skiens fartsretning og skiens lengderetning.
γ_{TP}	Grader	Angrepsvinkel. Vinkel mellom tyngdepunktets fartsretning og skiens lengderetning.
Fallinje	Grader	Den retningen ned en bakke hvor det til enhver tid er brattest.
F_G	Newton	Tyngdekraften.
F_{GN}	Newton	Komponent av tyngdekraften som virker normalt mot underlaget.
F_{GP}	Newton	Komponent av tyngdekraften og virker parallelt med underlaget.
F_W	Newton	Luftmotstand.
F_{fs}	Newton	Friksjon mellom ski/ underlag.

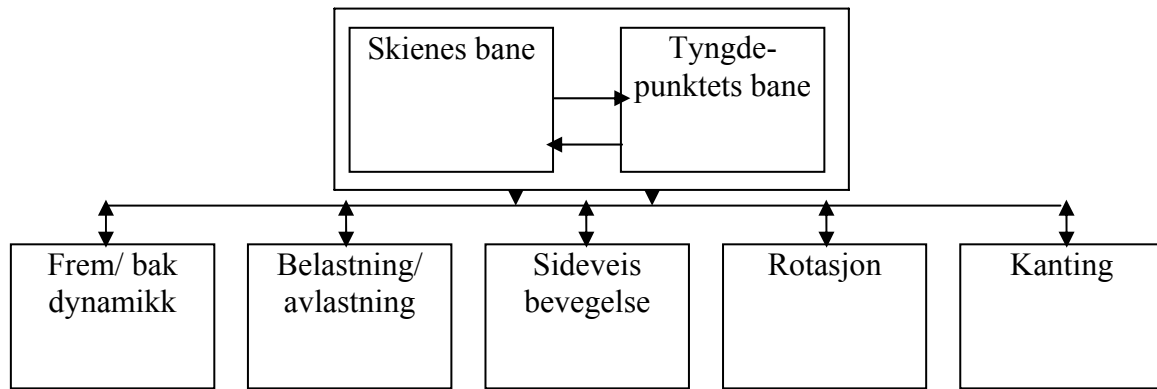
F_{GTR}	Newton	Komponent av F_{GP} som virker i fartsretningen.
F_C	Newton	Sentripetalkraft.
m	kg	Systemets (løper+ utstyr) masse (vekt).
F_{GLA}	Newton	Komponent av F_{GP} som virker vinkelrett mot skiene, skaper reaksjonskraft fra snøen som gir støtte i en travers.
S_{TPTOT}	Meter	Lengden av tyngdepunktets totalt kjørte vei.
S_{TPY}	Meter	Lengden av tyngdepunktets totale veilengde i Y dimensjonen.
S_{TPZ}	Meter	Lengden av tyngdepunktets totale veilengde i Z dimensjonen.
S_{TPRETT}	Meter	Lengden av tyngdepunktets totale vei kjørt i den rette fasen.
$S_{TPSVING}$	Meter	Lengden av tyngdepunktets totale vei kjørt i svingfasen.

1.0 INTRODUKSJON

Alpint er en kompleks idrett med mange ulike faktorer som kan spille inn på prestasjonen. For å skape forutsetninger for å takle alle de ulike faktorene trenes det på ulike måter og i et bredt spekter. Treningen man gjør på ski er gjerne variert på mange ulike måter. Med variasjon menes for eksempel forskjellig terreng, vær, underlag og hvordan løypen er stukket. Foruten treningen man gjør på ski, trenes det også store mengder styrke, utholdenhet og koordinasjon. Alt for å skape et så bredt bevegelsesspekter slik at man står så godt rustet som mulig for å oppnå best mulig prestasjon. Da det gjelder treningen som gjøres på snø dreies gjerne fokuset mot tekniske oppgaver i disse ulike forutsetningene. Skiteknisk er det også en del ulike momenter som er bestemmende for prestasjon, men et av de som er mest fremtredende for prestasjon er svingteknikk.

Denne oppgaven er en del av et større prosjekt som innebefatter en doktorgradsstipendiat og to mastergrads studenter. Dette prosjektet er tett knyttet opp til alpine grener i Norges Skiforbund, da de også ønsker å tilegne seg en mer vitenskapsbasert kunnskap rundt idretten. På grunn av dette samspillet får man meget gode innspill og vurderinger på hva som blir ansett som interessant i de ulike aspektene rundt alpint. Og det er dette samspillet som har definert problemområde for dette prosjektet, hvilket er teknikk. Grunnen til at det er dette området som er valgt er mye på grunn av hva man fokuserer på under trening. Når man trener på ski er det altså en stor andel av treningen som går med til skiteknisk jobbing. Derfor vil det være en styrke hvis man i sin teknikkfilosofi, både hver enkelt trener og hvert trenerteam, kunne få forankret sine filosofier i et vitenskapelig perspektiv så vel som i et erfaringsmessig. Det vil i de forskjellige oppgavene bli fokusert på ulike tekniske momenter, som både er givende fra et forskningsperspektiv og et trenerperspektiv. Meningen med å ha det samme fokusområdet er at man i etterkant skal kunne lese utdypende om de ulike tekniske områdene og at man kan finne en rød tråd gjennom de ulike dokumentene.

I figur 1.1 kan man se hvilke ulike områder som ansees for å være noen av de tekniske faktorene for å kjøre fort på ski.



Figur 1.1
Ulike tekniske elementer og deres samspill

Det figur 1.1 sier noe om er først og fremst samspillet mellom skienes bane og tyngdepunktets bane. Det er på mange måter dette samspillet som er det som bestemmer prestasjonen, det vil si hvor fort man kjører. Punktene under er det som best kan forstås som løperens teknikk og hvordan de er med på å påvirke skienes og tyngdepunktets bane, altså prestasjonen. Frem og bak dynamikk kan beskrives som de bevegelser som er med på å fordele trykket frem eller bak på skien i skiens lengderetning. Dette for utnytte skienes egenskaper (Lemaster, 1999).

Belastning og avlastning er de bevegelsene løperen gjør ved å senke eller heve tyngdepunktet. Ved å senke tyngdepunktet reduseres kraften mot underlaget, ved å heve det øker man kraften mot underlaget. Dette kan også kalles trykkregulering og er en faktor for å kunne styre svingene slik man ønsker presist (ibid).

Sideveis bevegelse er de bevegelsene løperen gjør for primært å kunne balansere kreftene fra underlaget som virker på tyngdepunktet. Dette er avgjørende for å opprettholde balanse og å kunne kjøre den svingen man vil presist.

Rotasjon kan gjøres av ulike grunner. Men det er ofte for å skape en vinkel mellom ski og fartsretning. Det kan være en torsjonsdreining av overkropp/ underkropp som kan føre til en dreining av skienes lengderetning i forhold til kroppen. Dette kan gjøres av ulike grunner, men det som er en fremtredende grunn er mulighetene dette gir til å skape eller stå i mot krefter med tanke på sving.

Kanting er bevegelser løperen gjør for å vinkle skiene mot underlaget. Dette er for å utnytte skienes egenskaper og å skape støtte mellom løper og underlaget.

De områdene som blir belyst i delprosjekter er frem/ bak dynamikk og belastning/ avlastning. Denne oppgaven ser nærmere på karakteristika av tyngdepunktets bane. Dette er vel så mye en taktisk tilnærming som det er en teknisk. Men jeg har valgt å beskrive ulike sider av utstyr og mekaniske lover som er gjeldende for at man teknisk skal kunne utføre taktikken. Dette for at denne oppgaven skal kunne ha en praktisk betydning for de som leser den. Med dette mener jeg at hvis man på best mulig måte skal kunne veilede utøvere, må man kjenne til hva utstyret tillater og ikke tillater. Det er av samme grunner også viktig å vite hvilke krefter som virker inn i de ulike fasene av en sving og under kjøring rett frem.

Min oppgave tar utgangspunkt i en påstand som jeg har hørt fra flere trenere med høy internasjonal merittliste. Denne påstanden går i hovedsak ut på at man i alpint skal søke korteste vei ned en løype¹. På ulike teknikksseminar har Franz Gamper (trener WC Norge) og Filip Gartner (tidligere trener for WC Norge, Østerrike og Slovenia) fremhevet denne påstanden som særdeles viktig for å vinne. I tillegg har jeg i personlige samtaler med landslagstrener Per Erik Vognild (trener EC Norge og tidligere WC trener Norge) fått bekreftet denne påstanden i det norske arbeidet med yngre løpere i dag. Denne påstanden går altså på å hele tiden søke den korteste veien og å kjøre så lenge som mulig rett fram mellom portene. Det vil si at man går lavt inn på portene, utvikler stor kraft hurtig for å skape nok retningsforandring og slippe opp trykket tidlig slik at tyngdepunktet kjører så lenge som mulig rett frem. Det vil si at man hele tiden skal utfordre hvor lenge man kan vente med å starte svingen og å befinne seg så mye som mulig der helningsvinkelen på traverseringen er størst. Dette er en teknikk det er en del usikkerhet rundt fordi det kan være en ganske marginal teknikk, fordi man kan bli straffet hvis man bommer på timingen av trykket (Lemaster, 2006). Denne teknikken setter større krav til å være presis med tanke på kraftinnsatsen og når denne skal komme. Bilde 1.1 eksemplifiserer forskjellen mellom to løpere som løser dette ulikt. Løperen til venstre på bildet slipper seg i en mer direkte linje til neste port enn løperen til høyre og han kjører dermed antageligvis en kortere vei.

¹ Her er det noen faktorer som kan spille inn, spesielt underlag. Denne påstanden legger til grunn et kompakt underlag.



Bilde 1.1
Ulike taktiske løsninger

Argumentene for en slik teknisk/ taktisk løsning baserer seg på at tyngdekraften er en alpinists primære motor og ved en slik tilnærming befinner man seg i størst mulig grad i det området hvor de bremsende komponentene til tyngdekraften er på et minimum. De mekaniske momentene rundt dette forholdet blir nærmere beskrevet i kapittel 3.0. I tillegg til å være den veien som kan gi minst brems, vil det sannsynligvis også være den korteste veien fra start til mål. Så denne oppgaven vil se nærmere på om denne påstanden stemmer for en gitt populasjon under en gitt situasjon.

Da det gjelder tidligere forskning på området er det gjort få studier av tyngdepunktets bane. Nachbauer (1987) har gjort en lignende studie hvor han har brukt bindingen som et mål på banen som er kjørt. Grunnen til at jeg vil se på tyngdepunktets bane og ikke skienes bane er at tyngdepunktets plassering og vei er det som på mange måter er det som er styrende for hvordan skiene ”oppfører seg”. Og det blir da også det som er styrende for prestasjonen. Som man kan se i bilde 1.2 er ikke skienes bane og tyngdepunktets bane nødvendigvis lik. Så man kan ved å studere skienes bane få et feil inntrykk av den faktiske veien kjørt av løperen.



Bilde 1.2

*Skienes bane og tyngdepunktets bane. Fra www.ronlemaster.com.
Copyright 2004 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.*

Men det er ikke slik at disse to banene jobber uavhengig av hverandre. Det er et nøye samspill mellom disse og de påvirker hverandre. Men det kan være misvisende å se på skienes spor i snøen for å si noe om lengden kjørt av løperen. Det er mange tilfeller hvor man har sett at skiene svinger mens tyngdepunktet går rett fram. Dette er også mye av grunnen til at en slik studie er interessant.

Denne oppgaven er organisert på en slik at måte at bakgrunns materialet og den teoretiske delen kommer først i besvarelsen. Denne organiseringen gjøres for å skape en forståelse for emnet før problemstillingen blir presentert. Problemstillingen deles opp i forskningsspørsmål med hypoteser. Etter problemstillingen følger en redegjørelse av metoden. Dette kapitlet er ganske omfattende da store deler av metoden løpende utviklet. Avslutningsvis kommer resultatene og diskusjonen av disse.

Avslutningsvis vil jeg i denne innledningen poengtere at denne undersøkelsen bare gjelder for situasjonen som er analysert. Man kan ikke trekke ut sikre, generelle konklusjoner fra denne undersøkelsen. Men det kan være et verktøy som enten kan være med å bekrefte en teknisk filosofi eller kan bidra til at man må revurdere sin filosofi.

2.0 BEGREPSAVKLARING

Denne begrepsavklaringen er ment som et hjelpemiddel når man leser resten av oppgaven.

FIS: Fédération Internationale de Ski

WC: World cup

EC: Eurpoa cup

Switch: det punktet hvor gjennomsnittet av skienes bane krysser tyngdepunktets bane.

Start svingfase: i det svingradiusen er mindre enn 15 meter.

Slutt svingfase: i det svingradiusen er større enn 15 meter

X- dimensjon: lengderetningen av området som ble kalibrert, parallelt med løypas gjennomsnittlige retning.

Y- dimensjon: bredderetningen av området som ble kalibrert, på tvers av løypas gjennomsnittlige retning.

Z- dimensjon: den vertikale retningen i den kalibrerte området, normalt til snøens plan.

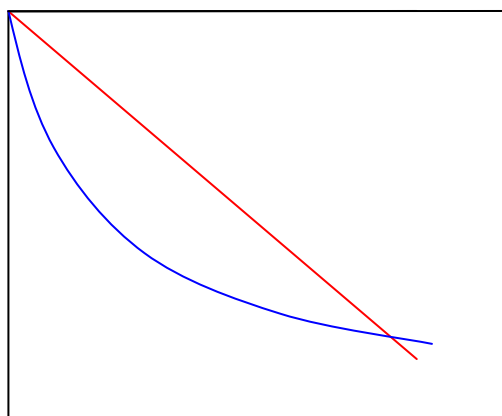
Reverse camber: en belastet ski blir bøyd i en motsatt bøy en hva den har i ubelastet posisjon.

Denne motsatte bøyen kalles reverse camber.

Critical angle: minste vinkel mellom sålen på skien og underlaget som må til for at skien skal holde.

Apex: punktet i svingen hvor avbøyningen er størst.

Brachistochrone kurve: kurven med raskest nedfart. Figur 2.1 viser en framstilling av to ulike nedfartsbaner, ikke ulikt hvordan man teoretisk kan tenke seg en optimal linje mellom to porter (Lind og Sanders, 1996). Den blå linjen er det som kalles en Brachistochrone kurve, mens den røde linjen er den direkte linjen mellom to punkter.



Figur 2.1
Brachistochrone kurve og en direktelinje.

3.0 TEORI

Denne studien ser altså nærmere på karakteristika av tyngdepunktets bane og spesielt opp i mot prestasjon. Det som hovedsakelig blir beskrevet i dette kapitlet er mekaniske forhold som forhåpentligvis kan bidra til å øke forståelsen for hvilke faktorer som spiller inn når man skal vurdere hva som er raskest. Denne redegjørelsen er også viktig for at man skal kunne vurdere resultatene i denne undersøkelsen. Videre er dette kapitlet skrevet i den hensikt at eksterne lesere skal kunne få en innføring i de mekaniske aspektene rundt alpint da det er relativt lite litteratur på norsk på temaet.

Dette teorikapitlet er bygd opp etter prinsippet ”fra snøen og opp”. Det vil si at man vurderer skiteknikk først ved å se hva som skjer mellom ski og snø for deretter å jobbe seg oppover i systemet; løperen. Det er viktig å ha kjennskap til hvilke muligheter man har teknisk med utstyret som utgangspunkt. Deretter vil det bli redegjort for interaksjonen mellom ski og snø for å skape en forståelse for hvilken effekt utstyret har på snøen og hva mekanikken tillater å gjennomføre. Avslutningsvis sees det nærmere på kreftene på løperen og hvilke krefter løperen blir utsatt for. Dette er viktig å forstå for å kunne veilede løpere teknisk.

3.1 Skienes egenskaper

Skienes egenskaper er av avgjørende betydning for hvilken vei teknikkutviklingen tar. Ulike typer ski har ulike egenskaper. Egenskapene varierer fra disiplin til disiplin og fra skiprodusent til skiprodusent. Når man snakker om disse egenskapene er det ofte hvordan løperne opplever skiene og hvordan løperen kan bruke de. Passer de til løperens teknikk eller er det justeringer som må til? I denne oppgaven er det hovedsakelig tyngdepunktets bane som er emnet. For da å kunne vurdere og å forstå dette er det viktig med en kunnskap om hvordan skiene er konstruert og hva de tillater. Det som blir beskrevet her er noen faktorer som kan være styrende for å beskrive hva som gir skiene de mulighetene som de gir for teknikken. Hvilke muligheter eller begrensninger en ski har, er viktig å kjenne til for både trenere og utøvere for å bedre forstå teknikk. Skiens egenskaper kan deles opp i to hovedområder; skikonstruksjon og skigeometri.

3.1.1 Skikonstruksjon

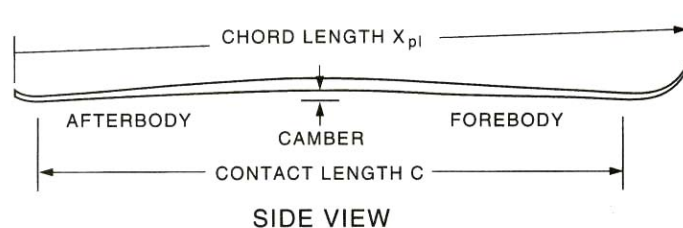
Skikonstruksjon refererer til egenskaper relatert til skiens oppbygning. Dette vil være faktorer som er med på å bestemme hvordan en ski vil ”oppføre seg” og hva en ski vil tillate eller ikke vil tillate med bakgrunn i skiens oppbygning. Derfor kan konstruksjonen av ski være ganske kompleks. Fordi disse egenskapene vil påvirke hverandre må det en avbalansering mellom de ulike for å oppnå en god ski. Og en god ski for en utøver trenger ikke nødvendigvis være en god ski for en annen utøver. I denne oppgaven blir det redegjort for kun et utvalg av ulike egenskaper rundt skikonstruksjon. Her blir skiens lengdestivhet, spenn, og torsjonstivhet sett nærmere på.

3.1.1.1 Lengdestivhet

Lengdestivhet beskriver hvor stiv en ski er i lengderetningen. Dette er viktig på grunn av utøvernes individuelle ulikheter, både antropometriske og tekniske. Denne stivheten er avgjørende for å kunne fordele det ønskede trykket på snøen i forhold til terrenget, snøforholdene, utøverens vekt og hastighet. For eksempel kan en ski være for stiv for en lett utøver i ujevnt terreng, mens den samme skien kan være for myk for en tyngre utøver som prøver å kjøre en presis høyhastighetssving på isete underlag (Howe, 2001). Denne lengdestivheten vil også kunne påvirke den dempende effekten på vibrasjoner i skiens lengderetning.

3.1.1.2 Spenn (ski camber)

I en ubelastet posisjon er en ski formet som en bue. Figur 3.1 viser en ski sett rett fra siden, og man kan se buen, eller spennet, i skien. De er formet på denne måten for å kunne gi en initieringskraft i ekstremitetene av skiene mot underlaget, slik at man lettere kan få utnyttet skienes *self-steering effect* (se kapittel 3.2.5) (Lemaster, 1999). I tillegg vil dette spennet kunne være med på å øke stabiliteten i kjøring på flate ski. Dette spennet er i direkte samspill med lengdestivheten av skiene. En myk ski med stort spenn er bedre for varierende terreng og snøforhold. En stivere ski med mindre spenn har mindre mulighet for avbøyning uavhengig av kraften som blir tilført. En slik type ski vil derfor være bedre egnet for høye hastigheter og lange svinger (Howe, 2001).



Figur 3.1

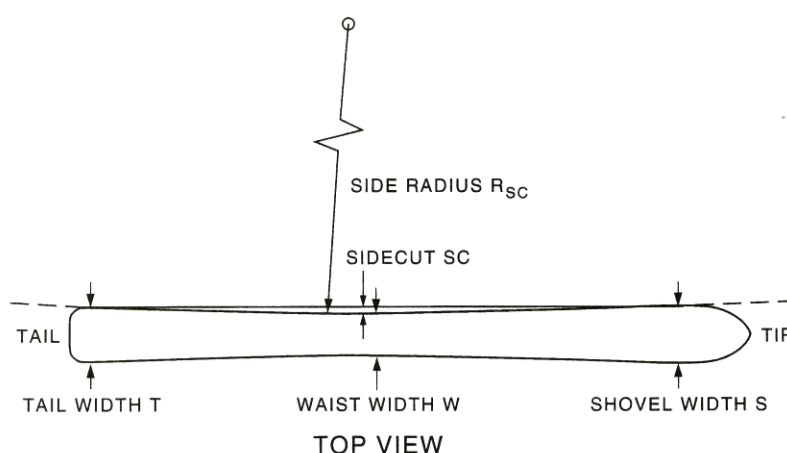
Ubelastet ski sett fra siden (Lind og Sanders 1996)

3.1.1.3 Torsjonsstivhet

Hvor torsjonsstiv en ski er et uttrykk for skienes evne til å motstå vridning. Torsjonsstivheten er viktig for å kunne opprettholde nok støtte fra underlaget og skjære svingen presist (ibid). Denne egenskapen er kanskje den som varierer mest fra skiprodusent til skiprodusent og fra ski til ski. I samspill med skiens innsving bestemmer torsjonsstivheten hvor aggressivt tuppen og enden på skien vil interagere med snøen når den er kantet (LeMaster, 1999). Denne torsjonsstivheten er med på å påvirke den dempende effekten på vibrasjoner i torsjonen.

3.1.2 Skigeometri

Skigeometri refererer til formen på skiene og hvorfor de er formet slik de er. Dette kapittelet er delt opp i utvalgte geometriske faktorer som vil påvirke skienes egenskaper. I figur 3.2 ser man en oversikt over de ulike benevnelsene man benytter seg av når man vurderer skigeometri.



Figur 3.2

Ski sett ovenifra (Lind og Sanders, 1996)

S = bredeste punktet på tuppen.

T = bredeste punktet på enden.

Sc = side camber, buen innsvingen er en del av.

L = lengden mellom S & T .

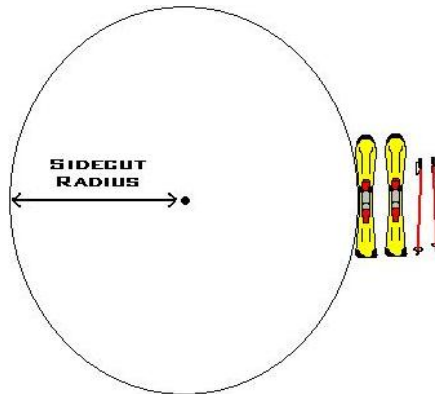
W = smaleste punktet mellom S og T .

R_{sc} = innsvingen på skiene (sidecut).

Skigeometri må sees i sammenheng med skikonstruksjon fordi de vil være avhengig av hverandre. Her blir det redegjort for innsving, bredde og høyde.

3.1.2.1 Innsving (sidecut)

Det er denne delen av skienes konstruksjon som er av størst betydning for hvordan skiene vil svinge. På grunn av denne formen er skiene allerede en del av en sirkel når de ligger flatt mot underlaget (figur 3.3).



Figur 3.3.
Ski som en del av en sirkel

Det er allerede nå mulig å få et relativt uttrykk for hvor mye innsving det er på skiene:

$$R_{SC} = \frac{L^2}{(S + T - 2W)} \quad \text{Formel 3.1}$$

hvor R_{SC} er innsvingradius på skiene, L er lengden mellom S og T , S er det bredeste punktet på tuppen, T er det bredeste punktet på enden og W er det smaleste punktet på midten. Denne formelen sier bare noe om hvor stor sirkelen, som innsvingen på skiene er en del av, er når skiene ligger flatt på et plant underlag. I alpint har alle disiplinene, utenom SL, en minste tillat innsvingradius som er forankret i reglementet som beskrives i tabell 3.1.

Tabell 3.1
Minste tillatte svingradius i de ulike disiplinene (FIS, 2007)

Disiplin	Minste tillatte innsvingradier
Slalom	Fritt
Stor slalom	27 meter
Super G	33 meter
Utfor	45 meter

I det en ski er satt på kant og blir presset mot snøen, vil innsvingen tvinge skien til å bøye av i en motsatt bøy og dernest skjære eller skrense svingen. Om den skjærer eller skrenser er avhengig av andre faktorer som blir beskrevet i kapittelet *Skjærende og skrensende svinger*. Hvis man tar med denne vinklingen av skien, får man uttrykket:

$$R_t = \frac{L^2 \cos \theta}{2(S + T - 2W)} \quad \text{Formel 3.2}$$

Hvor R_t er svingradius, L er lengden mellom endene på skien, $\cos \theta$ er skiens vinkel mot underlaget, S er det bredeste punktet på tuppen, T er det bredeste punktet på enden og W er det smaleste punktet på midten. Dette er en teoretisk beskrivelse av noen av forholdene som løperen utfører (Howe, 2001).

3.1.2.2 Bredde

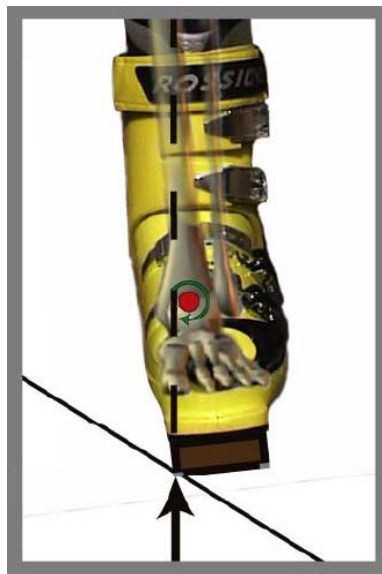
Et sentralt punkt som blir styrende for kantvinkel (θ) er hvor bred skien er og hvor bred den har lov til å være. Her er det også variasjoner fra disiplin til disiplin i reglementet som man kan se i tabell 3.2.

Tabell 3.2

Minste tillatte bredde i de ulike disiplinene (FIS, 2007)

Disiplin	Minste tillatte bredde
Slalom	63 millimeter
Stor slalom	65 millimeter
Super G	65 millimeter
Utfor	67 millimeter

Grunnen til at disse målene blir styrende for innsvingen og den tekniske løsningen, er på grunn av at kreftenes angrepspunkt fra underlaget danner et moment rundt ankelleddet (Lemaster, 1999). Som vist i figur 3.4 vil bredden på skiene være med å skape dette momentet, hvorpå dette momentet vil prøve å flate ut skiene.



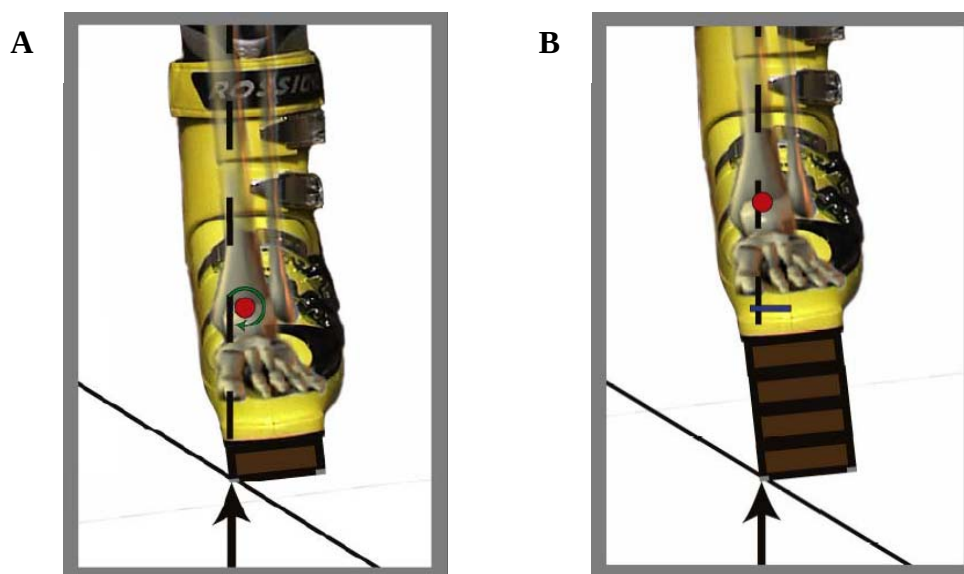
Figur 3.4

Frontalt tverrsnitt av forholdet mellom angrepspunktet til F_R og rotasjonspunktet rundt ankelen som et resultat av skiens bredde. Fra www.ronlemaster.com. Copyright 1999 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.

Bredden på skiene vil også være med på å påvirke kantvinkelen(θ) og størrelsen på denne. En bredere ski vil tillate en større vinkel mellom ski og snø fordi avstanden fra skiens kant til bindinger vil være lenger på en bredere ski.

3.1.2.3 Høyde

Høyde refererer til avstanden fra sålen til skien til løperens hæl. Denne høyden består av to ting. Den ene er fra skienes såle til platene, den andre er fra platene til løperens hæl. Fra skiens såle til det høyeste punktet på platene er høyden bestemt til å være maksimalt 50 mm. (FIS, 2007). Mens høyden fra platene til løperens hæl er bestemt til å være 43 mm. (FIS, 2007). I sum betyr disse reglene at hælen til løperen kan kun være 93 mm. over skiens såle (FIS, 2007). Grunnen til at det nevnes her er at dette, i likhet i med bredde på skiene, er av avgjørende betydning for hva skiene tillater og dermed tekniske utfordringer for utøveren². Grunnen til dette er at denne høydereguleringen, sammen med breddereguleringen, er med på å forsterke eller forminske dette momentet rundt ankelleddet. På figur 4.5 ser man hvilken effekt en høyere oppbygning vil få på F_R 's angrepspunkt i motsetning til en lavere oppbygd ski. Det man kan se ut av dette er hvordan man kunne fått et mer balansert forhold mellom F_R og rotasjonspunktet i ankelen ved å tillate høyere ski. Man kunne dermed fått utnyttet kreftene enda bedre. Med det menes at man kunne fått en enda større reverse camber og dermed en enda større avbøyning på tyngdepunktsbanen (Lemaster, 1999).



Figur 3.5

Frontalt tverrsnitt av kreftene om ankelleddet med forskjellig høyde

I perspektiv A ser man hvordan en lavere oppbygning skaper et moment om ankelleddet.

I perspektiv B ser man hvordan en høyere oppbygning bidrar til minsket moment om ankelleddet. Fra www.ronlemaster.com. Copyright 1999 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.

² En forutsetning her er at løperen prøver å kante skiene med kneet eller ved å vinkle overskallet på støvlene, for står man normalt i støvelen vil vinkelen mellom F_R og rotasjonspunktet være konstant.

I tillegg kunne man ved å tillate høyere oppbygning oppnådd større vinkel mellom ski og snø, fordi støvler og bindinger ville blitt hevet høyere fra bakken og man kunne dermed hatt en spissere vinkel mellom ski og snø uten at andre ting av utstyret gikk nedi snøen.

Denne oppbygningen skjer gjerne ved hjelp av plater. Disse platene gir også andre effekter som dempet vibrasjon på røft underlag eller større hastigheter. Platene skaper også forutsetninger for at skien skal kunne bøye seg opp i en jevn bue når skiene kantes og belastes.

3.2 KREFTER SOM FÅR SKIENE TIL Å SVINGE.

"Before you can turn, your ski must turn" (LeMaster, s.22, 1999)

Skienes må svinge før vi kan svinge. Ergo må det være noen krefter som virker inn som skaper denne retningsforandringen på skiene. Noen faktorer som er med på å bestemme dette samspillet mellom ski og snø er skiens egenskaper, snøens karakteristika/ egenskaper, skiens belastning og skiens orientering (Howe, 2001). I sving er målet for løperen å skape nok sentripetalkraft slik at man skal få den ønskede retningsforandringen på tyngdepunktet. Denne kraften skapes hovedsakelig av en ting. Ved å skape en vinkel mellom skienes lengderetning og tyngdepunktets fartsretning, som fører til kantede og belastede ski (ibid). I dette kapittelet vil det bli redegjort for skjærende sving og skrensende sving, deretter vil det bli sett nærmere på angrepsvinkel.

3.2.1 Skjærende & skrensende svinger

Hva kjennetegner en skjærende sving? LeMaster (1999) trekker frem to faktorer som avgjørende for at en sving skal være en skjærende sving:

- Skien svinger av seg selv mens den forflytter seg fremover. Så lenge skien har snøkontakt, vrir ikke løperen på skiene.
- Skien forflytter seg kun fremover, og ikke sideveis.

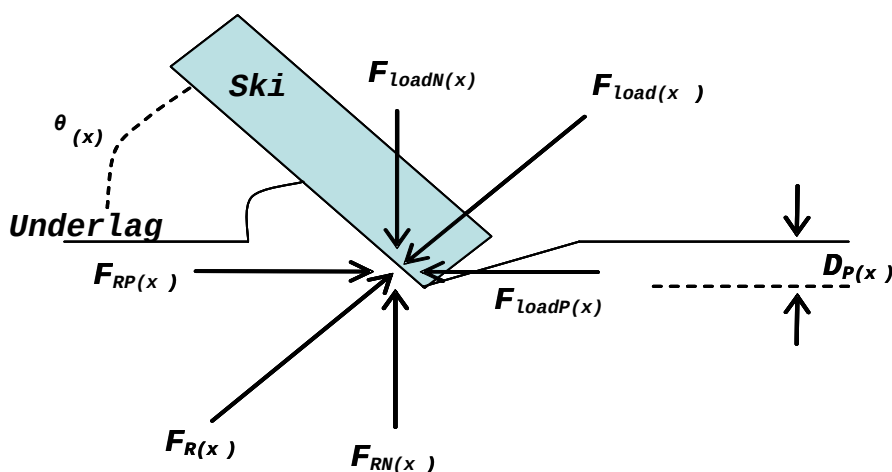
En annen måte å forklare en skjærende sving er hvordan den fremre delen av skien skjærer gjennom snøen og skaper et spor som resten av skien følger gjennom. Det som er et felles oppfatning av en skjærende sving, er at skien overhodet ikke forflytter seg sidelengs. Med andre ord er kanskje ikke en helt ren, skjærende sving mulig fordi underlaget i mer eller

mindre grad vil gi etter. Og med dette som utgangspunkt vil alle svinger, uansett nivå, inneholde skrens. Men man opererer med dette uttrykket for å ha et begrepsapparat som gjør at man kan skille de to svingtypene.

En skrensende sving derimot kjennetegnes ved at skien sklir sideveis på snøen mens den forflytter seg framover (ibid). Det er dette som utgjør hovedforskjellen mellom skjærende og skrensende sving. Det er ikke slik at en sving er enten eller av disse to. En sving består gjerne av en blanding av de.

3.2.3 Kreftene ved skjærende sving.

Ved kantet og belastet ski vil skiens egenskaper og orientering, samt snøens karakteristika fordele kraften i lengden av skiens kant som er i kontakt med snøen. Denne fordelingen av krefter kalles running surface pressure distribution (RSPD). Figur 3.6 viser et frontalt tverrsnitt av en ski som kjører en skjærende sving.



Figur 3.6

Et frontalt tverrsnitt av en ski ved punkt x som skjærer (adaptert fra Federolf, 2005).

F_{load} er kraften fra løperen gjennom støvelen, bindingen, plata og ski til punkt x langs skien. Denne belastningen tilfører løperen ved hjelp av enten en heving av tyngdepunktet, en senkning med påfølgende oppbremsing av tyngdepunktet eller ved hjelp av terrenget. Så denne kraften er et resultat av løperens masse og bevegelse.

F_{loadN} er komponenten av F_{load} som virker normalt mot snøens overflate ved punkt x . Det er denne kraften som presser skien ned i snøen og dermed muliggjør den interaksjonen mellom ski og snø slik vi kjenner den.

F_{loadP} er komponenten av F_{load} som virker parallelt mot snøen. Denne kraften vil prøve å skyve skien parallelt med underlaget. Den totale belastende kraften (F_{load}) er lik summen av de fordelte kreftene ($F_{load(x)}$) langs hele skien som er i kontakt med snøen. Dette gir uttrykket:

$$F_{load} = \sum_{x=0}^C F_{load(x)} \quad \text{Formel 3.3}$$

hvor F_{load} er den totale kraften fra utøveren som belaster skien, x er posisjonen langs skien og C er lengden av skien som er i kontakt med snøen.

$F_{R(x)}$ er reaksjonskraften fra underlaget som er et resultat av snøens evne til å stå i mot skiens forsøk på å skjære gjennom snøen på punkt x . F_R er summen av alle de fordelte reaksjonskreftene ($F_{R(x)}$) langs lengden av skien som er i kontakt med snøen. Dette gir uttrykket:

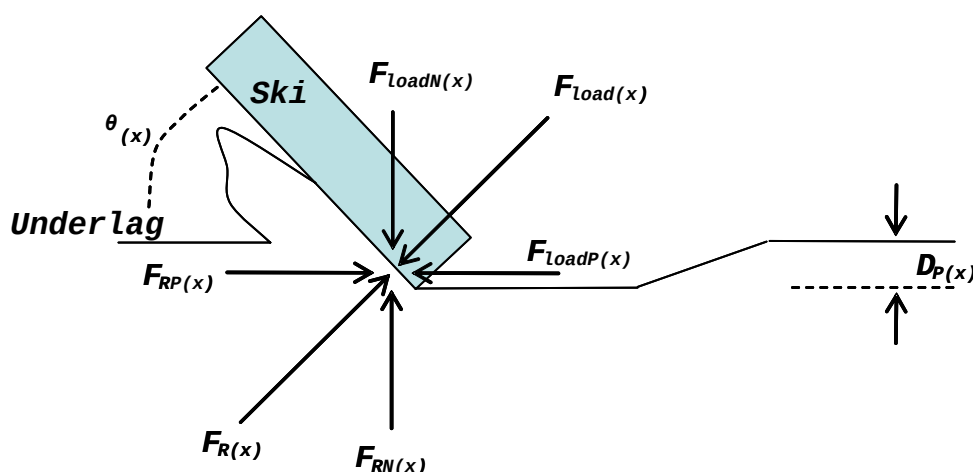
$$F_R = \sum_{x=0}^C F_{R(x)} \quad \text{Formel 3.4}$$

hvor F_R er den totale reaksjonskraften fra snøen langs skien, x er posisjonen langs skiens lengde og C er lengden av skien som er i kontakt med snøen. Ettersom skien blir presset ned i snøen av $F_{loadN(x)}$ vil snøen gradvis bli mer kompakt helt til $F_{RN(x)}$, komponenten av $F_{R(x)}$ som virker normalt på snøen og motstår gjennomtrenging er lik $F_{loadN(x)}$ og stopper skien fra videre gjennomtrenging av snøen. $D_{p(x)}$ er dybden av gjennomtrengingen på dette punktet. Denne dybden er avhengig av størrelsen på $F_{loadN(x)}$, snøens hardhet/ kompakthet og skiens vinkel mot snøen ($\theta_{(x)}$) (Federolf m. fl., 2005). $F_{RP(x)}$, som virker parallelt med snøen og motsatt av $F_{loadP(x)}$, representerer komponenten av $F_{R(x)}$ som motstår avskraping. Hvis $F_{loadP(x)}$ overgår snøens evne til å motstå avskraping, vil skien begynne å skli sideveis ved punkt x .

$F_{RP(x)}$ er komponenten av $F_{R(x)}$ som fungerer som en sentripetalkraft som akselererer utøveren inn i en kurvet bane. Dette er med andre ord den kraften som utøveren er ute etter å skape for å kunne forandre retning.

3.2.4 Kreftene ved skrensende sving

I figur 3.7 ser man et frontalt tverrsnitt av en ski som skrenser.



Figur 3.7

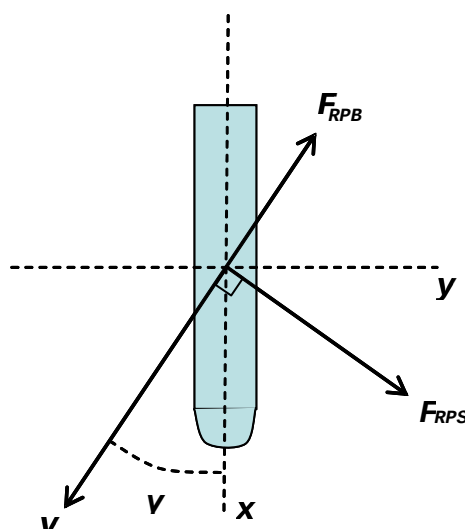
Et frontalt tverrsnitt av en ski ved punkt x som skrenser (adaptert fra Federolf, 2005).

Kreftene fra utøveren ($F_{load(x)}$, $F_{loadN(x)}$, $F_{loadP(x)}$) er de samme som beskrevet i skjærende sving. Men i denne situasjonen overgår $F_{loadP(x)}$ snøens evne til å motstå avskraping og skien skrenser sideveis over snøen. $F_{RP(x)}$ representerer nå både snøens motstandsdyktighet mot avskraping og kraften som er nødvendig for å kaste den oppskrapte snøen vekk fra den skrensende skien (Hirano & Tarada, 1996).

3.2.5 Angrepsvinkel (γ)

Denne vinkelen har blitt referert til som "the angle of attack" (Tada og Hirano, 2002; Federolf, 2005; Wimmer, 2001), the "skew angle" (Lieu og Mote, 1985), the "slipping angle" (Brown og Outwater, 1989), og the "steering angle" (LeMaster, 1999). Skiene har altså en innebygd angrepsvinkel. På grunn av innsvingen på skiene blir det en innebygd vinkel mellom S's ytterkant og W's ytterkant. Det er dette som er skiens *self-steering* effekt (γ_{SC}). Kun ved å kante skiene skapes det en vinkel mellom disse, og skien begynner å svinge seg selv (LeMaster, 1999).

For at man skal kunne skape en reaksjonskraft fra snøen, er det to forutsetninger som er særdeles avgjørende. I første omgang må det skapes en vinkel mellom skienes lengderetning og skienes momentum, såkalt angrepsvinkel (γ). Dette kan gjøres både ved hjelp av skiens innsving (γ_{SC}) eller uten skiens innsving (γ_{SKI}). Derneft må det skapes en vinkel mellom skienes lengderetning og tyngdepunktets momentum (γ_{TP}).



Figur 3.8

Forholdet mellom fartsretningen og angrepsvinkelen(γ) (adaptert fra Tada og Hirano, 2002).

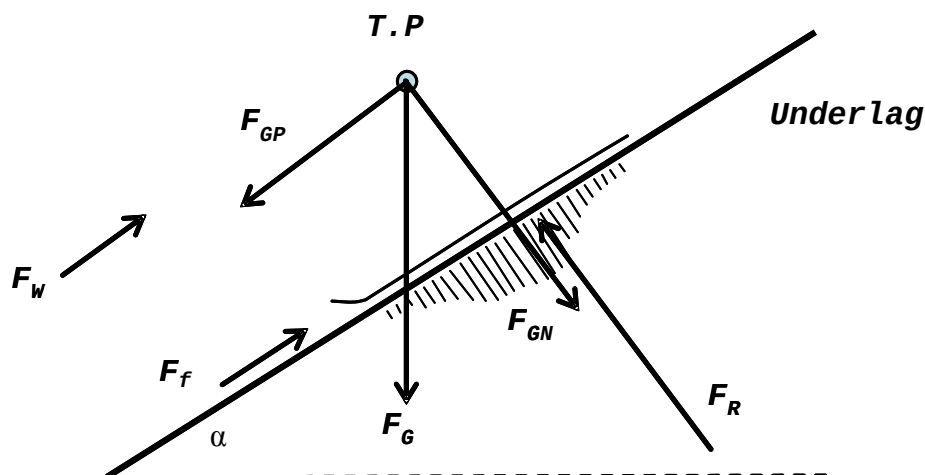
Figur 3.8 viser en skjematisk fremstilling av de ulike kreftene som virker inn når det skapes en angrepsvinkel. Når angrepsvinkelen (γ) er større enn 0° kan F_{RP} dekomponeres ned til to komponenter, en som bremses løperen (F_{RPB}) og en som svinger løperen (F_{RPS}). F_{RPS} representerer altså den komponenten av F_{RP} som vil virke som en sentripetalkraft og dra løperen inn i en kurvet bane. Dette betyr at det av F_{RP} som bidrar til retningsforandring og brems forandres med γ . Ved lave verdier av γ vil en større del av F_{RP} bli brukt til retningsforandring enn til brems, mens ved større γ vil en større andel forårsake brems (Howe, 2001). Dette emnet vil bli nærmere forklart i kapittel 3.4.

3.3 KREFTER PÅ LØPEREN

Hittil har man sett på krefter som virker på utstyret og hva som får utstyret til å svinge. I dette kapitlet vil det derfor bli sett nærmere på kreftene som virker inn på løperen i fallinja, i travers og i sving.

3.3.1 I fallinja.

Fallinja er den retningen ned en bakke man vil ha minst bremsende krefter. Fallinja er den retningen komponenten av tyngdekraften (F_{GP}) trekker deg. Man kan forstå fallinja som der det er til enhver tid er brattest ned en bakke. Figur 3.9 illustrerer en løper som kjører rett ned fallinja og de ulike kreftene som virker inn på løperen.



Figur 3.9

Løper sett rett fra siden i kjøring rett ned (adaptert fra Howe, 2001).

F_G er tyngdekraften som trekker oss inn mot jordas sentrum. F_{GP} er komponenten av F_G som virker parallelt med underlaget. Det er denne som skaper farten. F_{GN} er komponenten av F_G som virker normalt mot underlaget.

Ved kjøring rett utfor er det komponenten av tyngdekraften (F_{GP}) som bestemmer hastigheten. Denne komponenten består av løperens masse (F_G) og helningsvinkelen på bakken (α). Løperen vil akselerere i henhold til Newtons andre lov ($\sum F = ma$), hvorpå denne akselerasjonen hovedsakelig vil bremses av friksjon (F_f) og luftmotstand (F_w). Normalt uttrykkes friksjonen ved $F_f = \mu F_{GN}$, hvor μ er friksjonskoeffisienten for f. eks snø og N er normalkraften som virker fra underlaget på systemet (løperen).

Luftmotstand (F_w) er en annen faktor som er med på å påvirke løperen. Og det er flere faktorer som er med å generere luftmotstand. En av disse faktorene er det som kalles luftmotstandskoeffisienten (C_D). Et annet uttrykk for dette er det engelske ordet *drag*. Denne er ikke konstant, og vil variere av geometriske ulikheter. En annen faktor som vil generere luftmotstand er frontalarealet eller tverrsnittsarealet (A) til løperen. Hvis det er en hastighet på luften (V) som passerer løperen vil det også spille inn. Dette på grunn av luftmolekylene vil komme tettere. Den siste faktoren som er med på å generere luftmotstand er lufttettheten (Q). Det lufttettheten sier noe om er tettheten av luftmolekyler (Rønningen 2002; Howe 2001). Løperen vil akselerere til kreftene som virker i motsatt retning er like store som de som trekker løperen nedover bakken. På bakgrunn av dette kan vi nå få et uttrykk for maksimal hastighet rett utfor:

$$v = \sqrt{\frac{2(F_G \sin \alpha - \mu F_G \cos \alpha)}{C_D Q A}}$$

Formel 3.6

3.3.2 Andre bremsende faktorer.

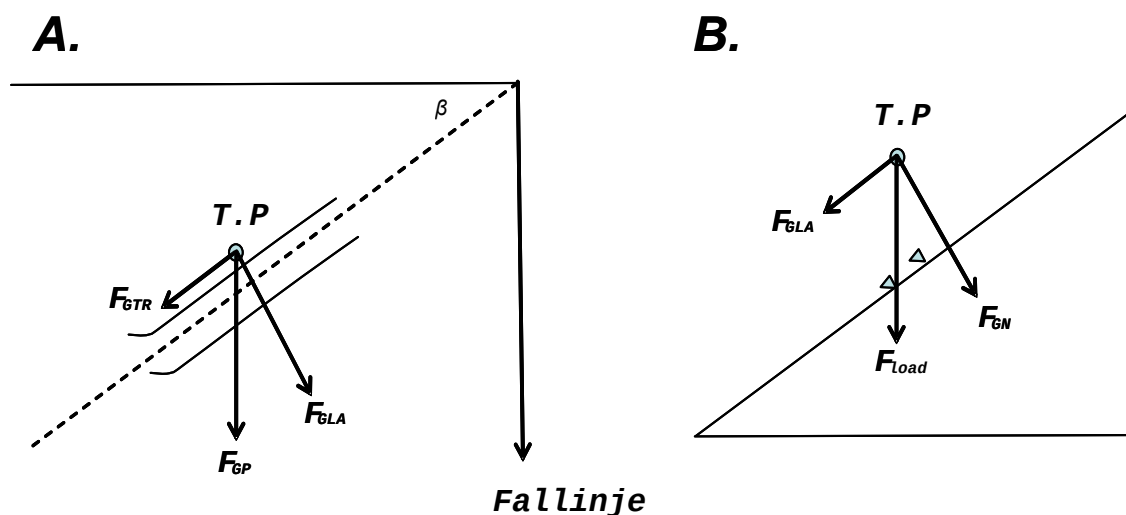
Utstyret vil også ha bremsende krefter. På grunn av skienes konstruksjon vil skiene ha en plogende effekt når man glir på flat ski. Fra skienes smaleste punkt, som er omtrent midt på skien, og bakover til enden på skia vil det oppstå friksjon og bremsende krefter.

En lignende effekt oppstår også på tuppen av skia ved at tuppen brøyter seg frem. Dette gir løperen en utfordring med tanke på hvordan man må balansere rundt skienes midtpunkt for å minimalisere denne plogende effekten.

3.3.3 Travers

Når man kjører rett utfor, i fallinja, er det ofte snakk om økende hastighet eller tilnærmet konstant hastighet. Hvis denne hastigheten avtar, er det snakk om en senkning av størrelsen på kraften som akselererer tyngdepunktet, eller momentum. En slik bremsende effekt vil kun oppstå hvis løperen møter en kraft som virker delvis eller i helt motsatt retning av retningen man kjører (Lemaster, 1999). Å traversere er en slik endring av hvordan kreftene møtes. Det å traversere vil si å gli med en viss vinkel på fallinja. Dette blir målt som vinkel til horisonten (β).

For å best beskrive kreftene som virker i traversering, kan det være greit å definere de utefra to perspektiver. I figur 3.10 ser man i perspektiv B bakken rett forfra med løperen traverserende. I perspektiv A ser man vinkelrett på bakken. De små trekantene i perspektiv B er skituppene til løperen.



Figur 3.10

Kreftene i travers.

Perspektiv A er bakken sett rett forfra, mens perspektiv B er bakken sett 90° fra siden (adaptert fra Howe, 2001).

Perspektiv A

I en travers kan F_{GP} deles i to komponenter. F_{GTR} komponenten som virker i fartsretningen til tyngdepunktet (momentum) langs traversen. F_{GLA} er kraften som utvikles vinkelrett mot skiene og parallelt med underlage og er lik $F_G \sin \alpha \cos \beta$. Og det er motkraften til F_{GLA} som skaper støtte til skiene slik at løperen kan kjøre med den ønskede traverseringsvinkelen. Hvis skiene er flate mot snøen eller har en vinkel mindre enn $\theta = \alpha$, får man ikke nok støtte fra skiene til å motvirke F_{GLA} . F_{GLA} påvirkes kun av helningsvinkelen (α), traverseringsvinkelen (β) og løperens masse (F_{GP}).

Perspektiv B

Perspektiv B i figur 3.10 viser bakken rett fra siden og løperen rett forfra. F_{Load} er kraften fra løperens tyngdepunkt gjennom skia og er en resultant av F_{GLA} og F_{GN} . Dette er den totale kraften som blir utøvd mot underlaget. Da ender man opp med uttrykket $F_G \sin \alpha \sin \beta$ for akselerasjonen til tyngdepunktet i traverseringsretningen, mens de bremsende kreftene fortsatt er F_w og F_{fs} . Hvis man ser bort i fra krefter som løperen skaper, negative eller positive, ender man med uttrykket:

$$v = \sqrt{\frac{2(F_G \sin \alpha \cos \beta - \mu F_G \cos \alpha)}{C_D Q A}} \quad \text{Formel 3.7}$$

Dette er uttrykket for maksimal hastighet i travers. Komponenten som vil være mest styrende for hastigheten er β . Denne kan variere fra 0 (når $\beta = 90^\circ$ og løperen står vinkelrett på fallinja) til 90 ($\beta = 0^\circ$ og løperen kjører rett ned fallinja). Ved å kontrollere β kan man kontrollere farten.

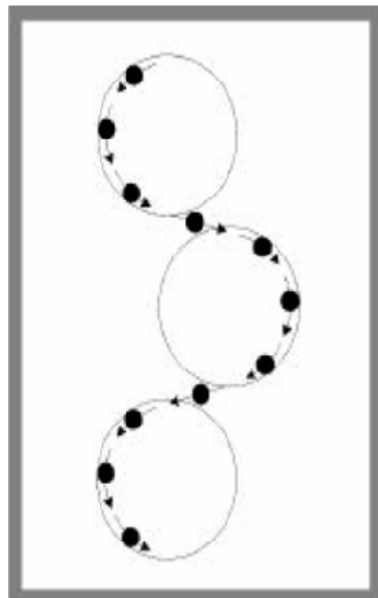
F_{GLA} er altså kraften som prøver å presse skiene sideveis parallelt til løypa og vinkelrett til fartsretningen. Hvis man ikke hadde hatt en tilsvarende motkraft (Newtons 3. lov), ville skien sklidd ut og vekk fra løperens tyngdepunkt. De kreftene som hindrer dette, er F_{RP} og F_{GN} . F_{GN} presser skiene vinkelrett ned i underlaget. Kanten på skien graver seg da ned i snøen og lager dermed et spor å svinge på. Det er dette som fremprovoserer en tilsvarende og motsatt kraft (F_{RP}) til F_{GLA} . Denne kraften kalles lateral adhesjon eller grep (Howe, 2001).

Dette betyr:

1. Ved lav helningsvinkel (α) eller liten traverseringsvinkel (β) får man ikke store problemer med lateral adhesjon. Dette fordi F_{GN} er stor eller F_{GLA} er liten.
2. Ved stor helningsvinkel (α) eller stor traverseringsvinkel (β) blir F_{GN} liten og F_{GLA} stor. Med andre ord er størrelsen på kraften som prøver å få skien til å slippe (F_{GLA}) større sammenlignet med kraften som prøver å få skien til å sitte i snøen (F_{GN}) (ibid).

3.3.4 Sving, som en del av en sirkel

Man anser, fra et mekanisk og fysisk perspektiv, en alpingsving som en del av en sirkel. Man vil kanskje si at dette ikke er riktig, da sirkelens radius hele tiden forandrer seg og kan i større eller mindre grad bedre beskrives som en ellipse. Men hvis man deler opp svingen i mange segmenter kan man bedre forstå en sving som en del av en sirkel. Figur 3.11 illustrerer hvordan svingene kan tenkes å gå fra sirkel til sirkel.



Figur 3.11

Ved å uttrykke svingene som en del av en sirkel, kan man tenke seg at svingene går fra halvsirkel til halvsirkel. Fra www.ronlemaster.com. Copyright 1999 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.

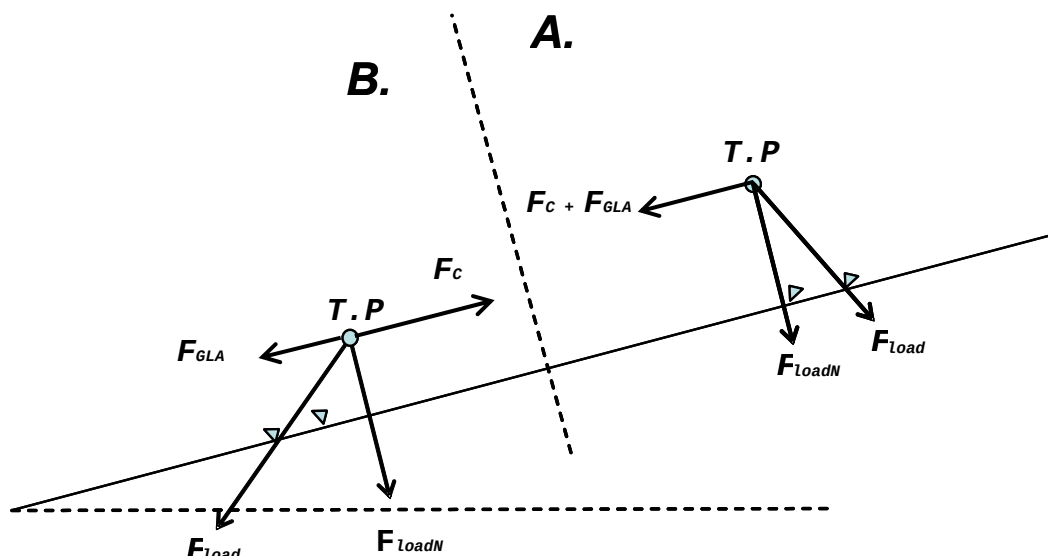
Og her trer en av de viktigste kreftene innenfor svingteknikk inn; sentripetalkraften. Dette er den kraften som skaper retningsforandring. Og størrelsen på dette kan regnes ut ved:

$$F_C = \frac{mv^2}{R_t} \quad \text{Formel 3.8}$$

Hvor m er løperens masse, v er løperens hastighet og R_t er radiusen på svingen som løperen utfører. Denne sentripetalkraften virker inn mot sirkelens sentrum, og løperen vil få en akselerasjon i samme retning. Denne akselerasjonen øker ikke løperens banehastighet, men endrer retningen av tyngdepunktets momentum. Med andre ord hvor skarp svingen blir.

Det man kan se ut i fra formel 3.8, er forholdet mellom systemets hastighet og radien på svingen systemet skal utføre. Litt forenklet kan man si at disse virker proporsjonalt mot hverandre. Med dette menes at dersom hastigheten øker og radien minsker blir produktet, altså summen av kreftene, store og det blir dermed større krefter som systemet må stå i mot.

Hvordan F_C påvirker hastigheten ned bakken er avhengig av hvordan løperen klarer å utnytte den. Denne virker altså alltid inn mot sirkelens sentrum. Dette gir med andre ord helt klare føringer på hvor man skal prøve å skape størst mulig sentripetalkraft.



Figur 3.12

Øvre og nedre halvdel av en sving.

Perspektiv A er en løper sett forfra i øvre halvdel av en sving.

Perspektiv B er av en løper sett forfra i nedre halvdel av en sving. (adaptert fra Howe, 2001).

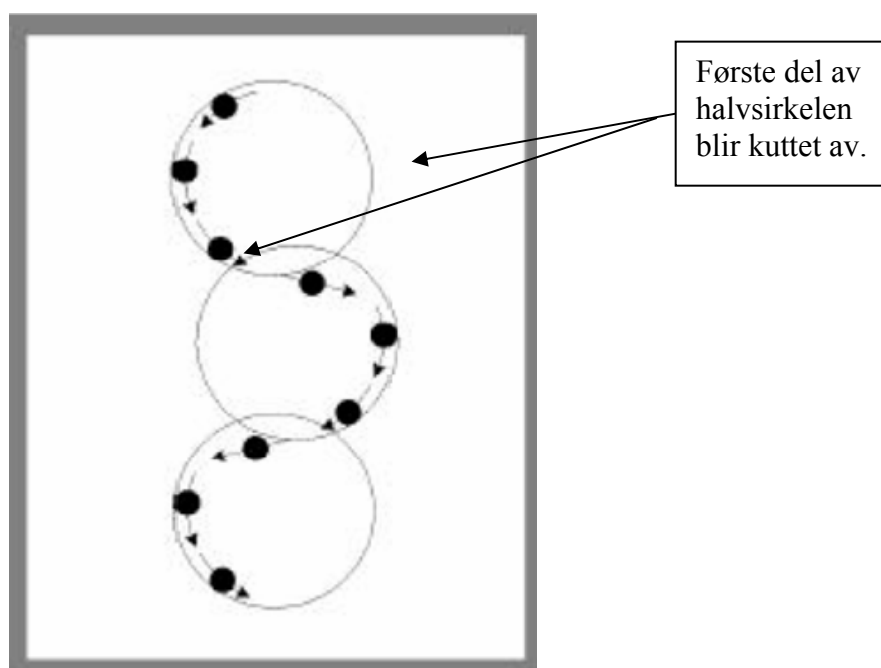
I figur 3.12 beskrives forholdet mellom F_C og de kreftene som virker parallelt med underlaget. I øvre halvdel av en sving (perspektiv A) ser man hvordan disse kreftene samarbeider eller virker i samme retning (Howe, 2001). Dette innebærer at dette er en fase hvor det er gunstig å prøve å utnytte tyngdekraften i forhold til retningsforandringen da bremsende kreftene er på det minimale i denne fasen. I den nedre halvdel (perspektiv B) ser man at kreftene inn mot sentrum av svingen virker motsatt vei av tyngdekraftskomponenten (F_{GP}). Dette innebærer at for å svinge må F_C på en størrelse som er større enn F_{GP} . Dette kan bety store krefter som bryter opp snøen og skaper friksjon. Som tidligere beskrevet er radien på svingen avhengig av vinkelen (θ) mellom ski og underlag. Dess større θ , dess mindre svingradius fordi skien vil oppnå større reverse camber. Denne vinkelen er vanskelig å opparbeide og gjøre stor i den øvre halvdel av svingen på grunn av at bakken heller samme vei som man skal kante skiene. Mens i den nedre halvdel av svingen vil det være enklere å sette skiene på kant, fordi bakken heller motsatt av hvilken vei skiene skal kantes. Ut ifra dette resonnementet kan det se ut som det er gunstig å forsøke å skape F_C i den øvre halvdel av svingen. Dette på grunn av at man her kan operere med et minimum av bremsende krefter og dermed opprettholde hastigheten optimalt. Hvis man hever tyngdepunktet i den nedre halvdel av svingen vil denne hevingen føre til økt reverse camber av skiene og dermed større sentripetalkraft. Dette fører til at tyngdepunktets retning vil peke mer på tvers av bakken enn hvis man senker tyngdepunktet i

nedre halvdel av svingen. Denne traverseringen betyr da at β øker og man opplever reduksjon i hastigheten som beskrevet i 3.3.3.

3.4 Angrepsvinkel som et verktøy for å skape F_c

Forskjellen på skjærende og skrensende svinger ble forklart i kapittel 4.2.1, men det er ikke slik at en sving er enten skjærende eller skrensende. Dette er et område det er gjort lite forskning på og spesielt knyttet opp mot prestasjon. Dette avsnittet blir derfor basert på en del egne meninger og erfaringer.

Man antar at skjærende svinger er det som i utgangspunktet er raskest på grunn av at man forflytter seg minimalt sideveis i løpet av svingen i forhold til skrensende sving. Av den grunn benyttes det meste av hastigheten i ønsket retning, og man reduserer friksjonskomponenten av F_{loadN} . Det som gjør det vanskelig å utføre en skjærende sving i en løype er avhengig av flere faktorer. Det kan være seg underlag, svingradius på løypa eller hastighet for å nevne noen. Dette er faktorer som løperen ikke kan påvirke. Men noe løperen kan påvirke er linjen han eller hun vil kjøre. Dette er taktiske vurderinger. Dette betyr at man ofte kjører svinger med mindre radius enn hva skiene tillater, og av denne grunn må en del av svingen være skrensende. Som man kan se av figur 3.13 betyr denne utviklingen at den første delen av halvsirkelen blir kuttet av.



Figur 3.13

Ved å kjøre kortere bue/linje enn hva skiene tillater, blir man nødt til å skrense. Fra www.ronlemaster.com. Copyright 1999 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.

Med bakgrunn i *øvre halvdel* og *nedre halvdel* beskrevet i 3.3.4, kan det gi minst bremsende effekt å foreta denne skrensende fasen i øvre halvdel i svingen, altså inngangen til svingen.

Dette på grunn av hvordan kreftene virker i forhold til hverandre i de to halvdelene.

For det norske Europa Cup laget og World Cup laget er et av de tekniske målene for løperne å kjøre så lenge som mulig rett frem mellom hver sving ³ (Internt teknikkseminar World/ Europa cup herrer, NSF, 2007). Dette innebærer at løperen må skape stor sentripetalkraft på kort tid for å få ønsket retningsforandring. Og denne store kraftutviklingen kan føre til at skien skjærer seg så dypt i snøen at det blir større brems enn hvis man hadde gjort svingen litt lengre, og dermed fått fordelt trykket over et lenger område. Derfor er det ikke nødvendigvis alltid denne løsningen som er den mest hensiktsmessige. Dette må vurderes mot noen faktorer, som for eksempel snøens hardhet eller helningsvinkelen på bakken. Men i de fleste renn på høyt nivå, er snøen meget kompakt slik at dette ofte kan være en hensiktsmessig løsning. Dette betyr at man må utvikle angrepvinkler hurtig, og hurtigere enn skiene tillater med tanke på å kjøre rent.

Som beskrevet i 3.2.5, finnes det forskjellige angrepvinkler. Kun ved å kante skiene skapes det en vinkel (γ_{SC}) mellom skiens bredeste mediale punkt på tuppen og smaleste mediale punkt på midten, og skien begynner å svinge seg selv (LeMaster, 1999). Dette er tidskrevende fordi man ikke oppnår stor nok reverse camber hurtig nok, og derfor kanskje ikke mulig når man har som mål å kjøre så kort linje som mulig og å kjøre så lenge som mulig rett frem. Dette er heller ikke nødvendig for å få løperen til å svinge. Det som må være på plass for at løperen skal svinge er vinkel mellom skienes lengderetning og løperens tyngdepunkt. Dette kan man oppnå ved å dreie skiene i forhold til fartsretningen. I bilde 3.2 viser en billedserie på hvordan denne dreiningen av skiene foregår i forhold til tyngdepunktets fartsretning. Fra i bilde 1 å peke langs fartsretningen, dreies skiene gradvis i bilde 2 og 3 med liten snøkontakt, for så å være dreid med relativt stor vinkel i forhold til tyngdepunktets fartsretning i bilde 4.

³ Dette må sees i sammenheng med hvor neste port står.



Bilde 3.2

Bode Miller, i Park City, er i ferd med å bygge veggen ved å dreie skiene i forhold til tyngdepunktets fartsretning. fra www.ronlemaster.com. Copyright 2004 av Ron Lemaster. Gjengitt med tillatelse fra forfatteren.

For at man bedre skal forstå hensikten med en slik inngang i svingen kan man tenke seg ytterpunktet i svingen som en vegg man treffer og spretter fra i annen retning. Denne veggen skapes av interaksjonen mellom ski og snø. For at man skal sprette i ønsket retning kreves det riktig orientering på skienes lengderetning i forhold til retningen man vil, samt stor angrepsvinkel mellom skienes lengderetning og løperens tyngdepunkt. Denne angrepsvinkelen må være stor for å kunne opparbeide stor sentripetalkraft relativt hurtig når man setter skiene på kant og i snøen. Når man har satt skiene på kant og belastet de, bøyes skiene opp og man skjærer resten av svingen. Denne fasen hvor skiene settes på kant og belastes bør i størst mulig grad skje i fallinja, da det er her de bremsende komponentene er på det laveste. Det man kan lese ut i fra dette er at løperen må stå i mot store krefter på kort tid. Jo spissere man kommer inn på denne veggen, jo større blir kreftene som man må stå i mot. For å utfordre fasen med å kjøre så lenge som mulig rett fram, kan en slik teknisk tilnærming være en mulig løsning for å skape nok sentripetalkraft hurtig nok.

3.5 Relatert forskning

Da det gjelder annen litteratur og tidligere forskning på området er det gjort relativt lite. Det meste av litteratur på området baserer seg på empiri og erfaring blant trenere. Da det gjelder tidligere forskning er det gjort noen studier som man kan se visse likhetstrekk ved. Som tidligere nevnt er det Nachbauer (1987) som har gjort det som kommer nærmest dette studiet. Han så blant annet på lengden av sporet kjørt i ulike faser av svingen. Dette ble ikke sammenlignet med prestasjon, men det ble sammenlignet ulike portavstander. Noe som ble rapportert her var hvor den høyeste hastigheten ble målt, og det var når skienes lengderetning var i fallinjen. I motsetning til vårt prosjekt brukte Nachbauer en del av utstyret (bindingene) som referansepunkt for å beskrive banen. Knünz, Nachbauer, Mössner, Schindelig og

Brunner (2000) gjorde også en undersøkelse hvor de prøvde å kartlegge skienes bane. Denne undersøkelsen gikk mer i dybden på hvordan skiene beveget seg på snøen med tanke på skjær og skrens. Pozzo, Canclini, Cotelli og Baroni (2001) gjorde en 3 dimensjonal undersøkelse hvor hovedmålet for studien var å samle kinematiske data under renn. Dette ble gjennomført under herrenes SL i WC finalen i Bormio i 2000. Her ble det rapportert at i switchen var det en variasjon på 30 centimeter på tyngdepunktets plassering i y dimensjonen. Schiefermüller, Lindinger, Raschner og Müller (2004) brukte en 3 dimensjonal analyse for å vurdere tyngdepunktets validitet for å undersøke bevegelser i alpint. I denne undersøkelsen ble det rapportert at tyngdepunktet kunne brukes som et mål for å vurdere bevegelsene som utføres, både kvalitativt og kvantitativt. Supej, Nemec og Kugovnik (2005) gjorde en 3 dimensjonal analyse for å vurdere hvordan skiftende forhold påvirket lengden på veien kjørt. Denne undersøkelsen rapporterte at det er vanskelig eller nesten umulig å skape like forutsetninger. Felles for de ulike studiene som er beskrevet over er at de ikke vurderer det de måler mot prestasjon.

Filosofien denne oppgaven har som hensikt å undersøke bygger altså på hvordan man på en best mulig måte skal utnytte tyngdekraften. I følge denne filosofien skal dette gjøres ved å kjøre en så lang rett fase som mulig mellom portene og denne rette fasen skal også være så bratt som mulig. Og som tidligere beskrevet vil naturlig nok en slik tilnærming til den rette fasen føre til at det er ønskelig med en så kort svingfase som mulig. Dette i sum leder til at man skal søke en kortere linje ned en løype. Det denne oppgaven vil forsøke å se nærmere på er derfor om lengden av den rette fasen har betydning for prestasjon, om lengden av svingfasen har betydning for prestasjon, om lengden av tyngdepunktets totale vei har betydning for prestasjonen og som et uttrykk for hvor bratt den rette fasen er vil det bli analysert tyngdepunktets hastighetsvektor i switchen.

4.0 PROBLEMSTILLING

Basert på denne filosofien rundt tyngdepunktets bane vil jeg i denne besvarelsen se nærmere på forholdet mellom prestasjon og karakteristika av tyngdepunktets bane. Og da er det tre områder som jeg anser som mest interessante for denne banen. Det er lengden på tyngdepunktets totale vei, lengden på tyngdepunktets vei i den rette fasen mellom svingene og det er lengden på tyngdepunktets vei i svingen. Og for å kunne se nærmere på den rette fasen og hvor bratt denne er, vil det være interessant å se på retningen av tyngdepunktets hastighetsvektor i switchen mellom to svinger. Ved å se nærmere på disse ulike fasene vil man forhåpentligvis kunne si noe om hva som vil være det mest lønnsomme i denne situasjonen. Disse spørsmålene skal først og fremst være et bidrag til å vurdere filosofien beskrevet i kapittel 1.0, men de er også interessante både for meg selv som trener og det er interessant for de norske lagene. Dette fordi det forhåpentligvis er mulig gjennom et slikt type arbeid å forsterke antagelser man har som trener. Eller at man kan kanskje som trener kan få et nytt perspektiv på sin filosofi rundt temaet.

Problemstilling:

Kan en ved hjelp av en 3 dimensjonal kinematisk analyse beskrive tyngdepunktsbanen til SL-løpere nøyaktig nok til å belyse viktige prestasjonskarakteristika til tyngdepunktsbanen?

For å kunne svare på dette har emnet blitt delt inn i 3 kategorier med ulike underspørsmål som fungerer som forskningsspørsmål.

Kategori 1 Metodens nøyaktighet

1) Er en 3 dimensjonal kinematisk analyse i feltet nøyaktig nok til å si noe om egenskaper av tyngdepunktets bane?

For å kunne si noe om dette må data fra de andre problemstillingene forligge fordi dette må vurderes i lys av spredningen i dataene. Allikevel velger jeg å ha dette som første spørsmål som en bakgrunn for de målingene en vil få i de neste spørsmålene. Med tanke på midler vi har til rådighet er denne den metoden vi anser som best og samtidig at vi har nok data til å si noe om nøyaktigheten.

Kategori 2 Tyngdepunktets bane

2) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av tyngdepunktets totale veilengde?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at prestasjonen er avhengig av lengden av den totale veien kjørt og at de som kjører kortest vei presterer bedre.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde og prestasjon målt i tid.

3) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden kjørt i Y dimensjonen?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at prestasjonen er avhengig av lengden av veien kjørt i Y dimensjonen og at de som kjører mindre på tvers av løypa presterer bedre.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i Y dimensjonen og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde og prestasjon målt i tid.

4) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av veien kjørt i Z dimensjonen?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at prestasjonen er avhengig av lengden av veien kjørt i Z dimensjonen.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i Z dimensjonen og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde i Z dimensjonen og prestasjon målt i tid.

5) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av vei kjørt i den rette fasen mellom portene? Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at de som kjører lengre vei rett frem mellom svinger presterer bedre.

H^1 : det er en signifikant og negativ korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i den rette fasen mellom portene og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og negativ ($p = 0,05$) korrelasjon mellom tyngdepunktets veilengde i den rette fasen mellom portene og prestasjon målt i tid.

6) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av vei kjørt i sving?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at løpere som kjører kortere vei i svingfasen presterer bedre.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i svingfasen og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i svingfasen og prestasjon målt i tid.

Kategori 3 Tyngdepunktets fartsretning mellom svinger

7) Er det sammenheng mellom prestasjon og retningen på tyngdepunktets hastighetsvektor i forhold til løypas retning i switchen? Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at de som kjører en brattere travers og dermed har mindre switchvinkel vil prestere bedre.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og løypas fartsretning og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og løypas fartsretning og prestasjon målt i tid.

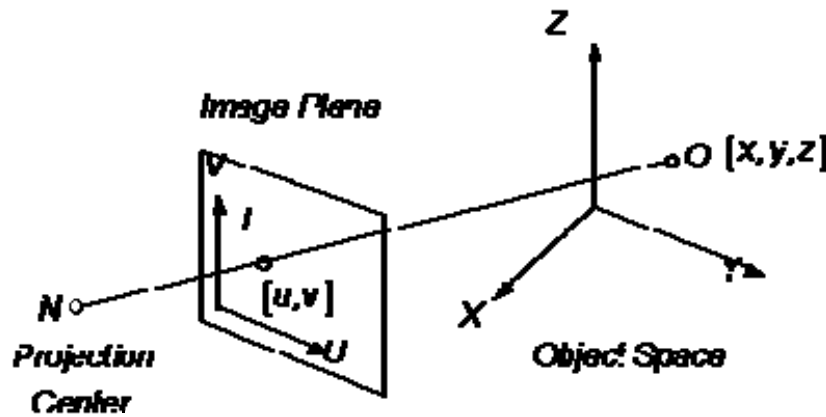
5.0 METODE

En metode er en fremgangsmåte, et middel til å løse et problem og komme fram til ny kunnskap. Et hvilket som helst middel som tjener dette formålet hører med i arsenalet av metoder (Hellevik, s. 12, 2002)

Forsøket ble gjennomført 12. april 2006 i Varingskollen alpinanlegg. For å studere tyngdepunktets bane ble metoden som er beskrevet i dette kapitlet valgt av ulike årsaker. Den primære grunnen var at dette var denne metoden som lot seg gjennomføre for å kunne gjøre en bevegelsesanalyse basert på de ulike problemstillingene og med begrensede midler. I tillegg var det blitt rapportert god nøyaktighet for denne metoden (Nachbauer m.fl. 1996; Pozzo m.fl., 2001). Dette kapitlet er organisert på samme måte som rekkefølgen i undersøkelsen ble gjort, både i bakken og i laboratoriet. Det er delt inn i teoretisk bakgrunn til valgt metode, oppsett i bakken, databehandling, beregninger knyttet til forskningsspørsmål, feilkilder og pilotforsøk.

5.1 Teoretisk bakgrunn til valgt metode

Et videokamera kan ansees som et verktøy som kartlegger et tredimensjonalt object space ("den virkelige verden") om til et todimensjonalt image plane. En metode for å gjøre dette kalles *Direct Linear Transformation*- metoden og ble først beskrevet av Abdel-Aziz og Karara i 1971 (Shapiro, 1978; Wood og Marshall, 1986). Denne metoden kan definere den direkte omformingen av koordinater mellom et tredimensjonalt object space og et todimensjonalt image plane gjennom bilder tatt fra 2 eller flere kameraer. Dette forholdet forklarer hvorfor flere kameraer må brukes for å rekonstruere bildene til tredimensjonalt. DLT- metoden er altså en metode for å rekonstruere dette forholdet. Som figur 5.1 viser vil hvert punkt innenfor kameraets dekning ha et unikt kartpunkt på image plane som blir uttrykt på skjermen. Men dette er ikke motsatt, for eksempel: et punkt som er tatt opp på video representerer ikke et unikt punkt i rom, men en linje.



Figur 5.1

Forholdet mellom object space og image plane.

Grunnleggende i DLT er at det er en lineær sammenheng mellom koordinater i den ”virkelige verden” og koordinater i bildet. Denne sammenhengen baseres på koordinat transformasjon, som består av 11 parametere som er satt opp i to uavhengige ligninger.

$$u = \frac{L_1x + L_2y + L_3z + L_4}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$$

$$v = \frac{L_5x + L_6y + L_7z + L_8}{L_9x + L_{10}y + L_{11}z + 1}$$

Formel 5.1

X, Y og Z er de tre space koordinatene til et punkt i object space. U og V er koordinatene til det samme punkt som er kartlagt i et bildets koordinatsystem og L_{1-11} er de 11 DLT-parametrene. Disse parametrene kan bli fastslått av de fotograferte projiseringene av såkalte kontrollpunkter. Disse punktene har kjente X, Y og Z koordinater som til sammen danner et referansesystem. Dette ligningssettet kalles DLT fordi det kan påvise at de 11 parametrene er proporsjonale mot en forsterkningsfaktor i kameraet. Gjennom en kalibreringsprosedyre tar den standardiserte DLT- metoden og bestemmer parametrene ved å ta bilder av noen kontrollpunkter i object space over deres kjente space koordinater. Så lenge det er minimum 6 punkter i bildet kan least- square metoden brukes til å bestemme de 11 parametrene. Grunnen til at dette antallet punkter må minimum være 6 er for å kunne få et overbestemt sett med ligninger. Men disse 6 er et minstemål som blir avhengig av hvordan de er fordelt for at det ikke skal bli en stor feilkilde. Flere undersøkelser peker i retning av jo flere punkter man har i bildet, jo bedre nøyaktighet for punktreakonstruksjonen. Shapiro (1978) mener at antallet kontrollpunkter i bildet bør ligge mellom 12- 20 punkter, mens Chen, Armstrong og Raftopoulos (1994) mener at det bør ligge mellom 16- 20 punkter i hvert bilde. Et annet

poeng denne gruppen trekker frem er hvordan punktene bør bli jevnt fordelt. Med jevnt fordelt menes det ikke bare langs ett plan, men i det 3 dimensjonale rommet. Hvis dette rommet ikke er stort nok til å dekke alle bevegelsene til utøveren, vil en form for ekstrapolering skje i DLT beregningene på disse tidspunktene. Denne ekstrapolering vil forårsake en stor feil i prediksjonene (Chen m. fl., 1994, Wood & Marshall, 1986).

Opprinnelig baserte denne metoden seg på at man filmet med fikserte kameraer, det vil si at kameraene sto i nøyaktig samme posisjon til enhver tid uten at man kan tilte eller zoome. En slik type løsning vanskeliggjør mobiliteten av et slikt system hvis man skal benytte seg av det i alpint på grunn av området bevegelsen foregår over og hastigheten bevegelsene foregår i. På denne måten må man kanskje zoome så langt ut på løperen at digitaliseringsarbeidet i etterkant vanskeliggjøres. Mössner m.fl. (1996) videreutviklet denne metoden spesielt med tanke på alpint og den store fordelene med deres system, i motsetning til andre metoder, er at dette tillot panorering, zooming og tilting av kameraet. Hensikten var altså å skape et verktøy for å undersøke alpin skiteknikk. Denne metoden har blant annet blitt brukt under OL på Lillehammer i 1994 i utfor og utfordelen av kombinasjonen (Nachbauer m.fl. 1996). Det at man kan bevege kameraet tillater først og fremst at man kan zoome tettere på løperen og samtidig ha nok kontrollpunkter i bildet, noe som igjen gir bedre forutsetninger for å kunne digitalisere det man måtte ønske med større nøyaktighet. På den annen side kan denne metodens ulempe være at kontrollpunktene til enhver tid må være på sin innmålte plass under forsøket. Dette kan være et forstyrrende element for løperne. I tillegg krever denne metoden at man kalibrer hvert bilde i hver sekvens. Dette utgjør en ganske betydelig arbeidsmengde for forskerne.

5.2 Oppsett i bakken

I forkant av datainnsamlingen ble det gjort en rekke piloter for å avdekke eventuelle svakheter. Dette arbeidet forgikk over en periode på et år og gjorde at man ble godt kjent med den praktiske gjennomføringen av datainnsamlingen og dermed kunne redusere feilkilder. Dette kapitlet er delt inn gjennomføring, kontrollpunkt, teodolitt, kamera, timing og løypesetting.

5.2.1 Gjennomføring

Bakgrunnen for valg av bakke var at den skulle ligge i Oslos nærområdet i forbindelse med at laget var samlet der. Datainnsamlingen forgikk i Varingskollen skisenter under en skisamling til EC laget. Området som ble valgt til forsøksfelt var cirka 20 meter bredt og 40 meter langt med jevn helling. Helningsvinkelen var 18, 6° i løypas generelle retning. Varingskollen ble valgt fordi det her var et område med jevn middels helling uten terrengoverganger og bakken ligger nord- østvendt slik at snøforholdene var bedre fordi snøsmeltingen er mindre. Det var ønskelig å få rennlikt underlag, det vil si at snøen er kompakt og hard slik at det blir så like forhold som mulig for alle løpere fordi det ikke blir oppkjørt. I tillegg var det viktig å prøve å skape så like forutsetninger som mulig for hver enkel løper, samt at ved å ha så hard snø som mulig ble sjansen for at snø skulle bli sprutet på kontrollpunktene når løperne kjørte løypa redusert. En dag i forkant av forsøket ble det jobbet med å få dette til. Det ble satt opp sperring der løypa skulle stå slik at turister i anlegget ikke kunne ferdes der. Hele området ble sklidd flere ganger slik at det ble en jevn overflate. På denne tiden av året er det varmt i lufta som gjør at snøen er mer fuktig enn på vinteren. Derfor ble området grunnsaltet fordi saltet gjør at snøen binder seg og blir mer kompakt. Dette i kombinasjon med at bakken ble sklidd og nattefrost gjorde at forholdene neste morgen var optimale, tettpakket hard snø med godt grep. Salt var tilgjengelig under forsøket, men dette ble ikke brukt da forholdene holdt seg veldig bra.

Under selve forsøket var løperne klar over hva som var formålet med prosjektet og de var informert om å kjøre så rennlikt som mulig. De la også merke til kontrollpunktene som var satt opp. Det ble i ettertid uttalt at disse ikke forstyrret de på noen måte under kjøringen. De hadde 3 turer i hver av løypene og pause mens trenerne satte om løypen. Starttrekkfølgen ble rangert ut fra FIS punkter. Forkningsteamet var posisjonert ved ulike videoposisjoner. Timingsystemet ble også styrt fra den ene av disse posisjonene.

5.2.2 Kontrollpunkt

I forsøksområdet ble det satt ut kontrollpunkter som er kjente punkter i koordinatsystemet som teodolitten danner. Alle punktene ble satt vertikalt ned i snøen ved å borre med et 40 mm borr. Disse kontrollpunktene ble delt inn i tre kategorier:

- Kategori 1 (Bilde5.1):

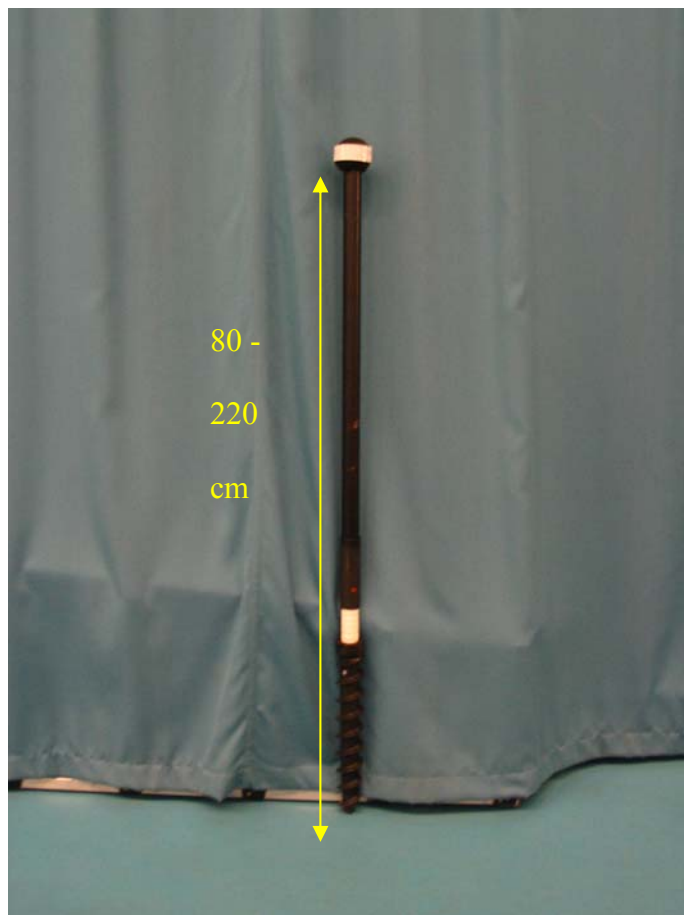
Denne kategorien ble kalt 200 og 300 serie og som man kan se i bilde 5.3 stod disse på henholdsvis skikjørers høyre og venstre. Disse ble laget av skumgummi som var 5 millimeter tykk og skjært ut til en rektangulær plate som var 20 centimeter bred og 21 eller 30 cm lang. Deretter ble de rullet etter en mal og limt sammen slik at det ble 4 cm i diameter, 13 cm i omkrets og mellom 21 eller 30 cm høye. Det ble brukt 117 punkter av denne kategorien.



*Bilde 5.1
Kontrollpunkt kategori 1 med høyde og markert hvor langt ned i snøen de stod*

- Kategori 2 (Bilde 5.2):

Denne kategorien ble kalt 100 og 400 serie og som man kan se i bilde 5.3 stod disse på henholdsvis skikjørers høyre og skikjørers venstre. Kategori 2 kontrollpunktene besto av oransje og svarte tennisballer som ble skjært til slik at de holdt sin opprinnelige form med diameter på 6,5 cm og omkrets 20,5 cm. Disse ble satt på ledda slalåmporter som var mellom 80 og 220 cm høye og stod 40 cm ned i snøen. Det var 32 staur med 1-3 tennis baller pr. port



avhengig av hvor høye de var.

Bilde 5.2

Kontrollpunkt kategori 2 med høyde og markert hvor langt ned i snøen de stod

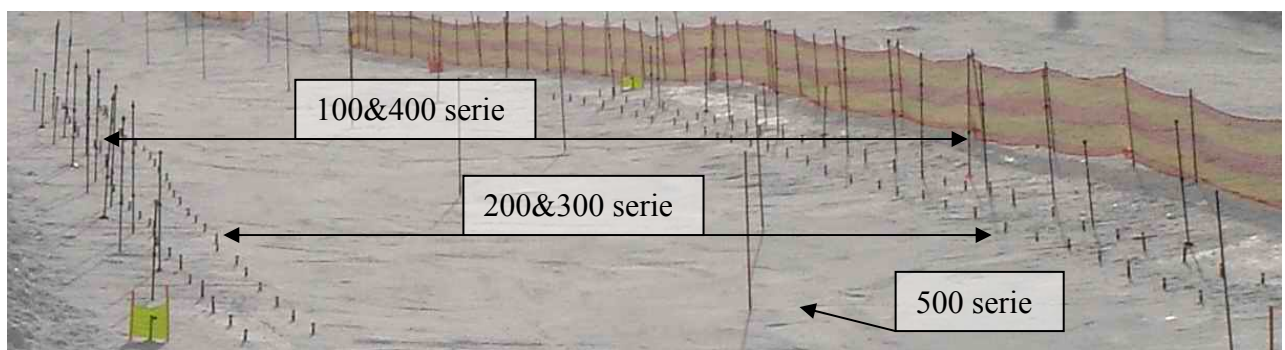
- Kategori 3:

Kategori 3 ble kalt 500 serie og plassert på snøen innenfor svingstauren. Dette var tennisballer som stod på 15 cm høye skumgummistolper og var de som var plassert nærmest løperne. Det var mellom 1 og 3 baller på snøen i hver sving. Til sammen var det 11 500-serie kontrollpunkter som var plassert på innsiden av portene.

Det ble lagt stor vekt på sikkerhet i utforming av disse punktene. Alle ble laget i mykt materiale slik at de ikke skulle skade løperne dersom de skulle falle i det området hvor de stod. Punktene som var på staur stod slik at leddet kunne bevege seg, uten at stolpene skulle svaie og dermed forflytte seg. Grunnen til at alle punktene er runde i formen er at disse punktene har samme avstand inn til sentrum uansett hvilken vinkel man ser ifra.

Punktene ble satt ut på kvelden i forkant av forsøket. Grunnen til det var at det er tidkrevende å plassere ut disse, og ikke minst tar det tid å måle posisjonen til disse som var nødvendig for å kalibrere volumet løperne kjørte i. For å unngå snøsmelting rundt punktene, slik at de ville endre posisjon ble dette gjort på kvelden/natten i forkant mens det var frost.

Til sammen var det 208 kontrollpunkter. For å holde oversikten på disse punktene når det skulle digitaliseres ble det gjort ulike tiltak. Hvert punkt fikk ett nummer og det ble tegnet inn på et kart slik at man fikk et oversiktsbilde av forsøksområde. Hver femte stolpe i kategori 1 ble malt oransje i tuppen, i tillegg ble det etter hver 10. stolpe i kategori 1 malt en rød strek i snøen. Dermed hadde man kontroll på kategorier 1 og 2. Tennisballene i kategori 2 ble satt slik at det var annenhver oransje og svart. Det ble på den måten ingen stolper i nærheten av hverandre med lik sammensetning og på den måten var det enklere å skille de fra hverandre når de skulle digitaliseres.



Bilde 5.3

Bilde av forsøksområdet i Varingskollen sett nedifra med markering av de ulike kategorier

Man ser i bilde 5.3 plassering av de ulike kategorier. Kontrollpunktene ble satt slik at de dannet en kolonne på hver side av løypa. Bredden mellom disse kolonnene var ca. 11 meter. Dette gjorde det mulig å stikke om løypen uten å flytte punktene. I tillegg var ikke punktene så nærme at de forstyrret løperne. Samtidig som løperne skulle bli forstyrret i minst mulig

grad var det ønskelig å ha punktene så nærme som mulig for bedre nøyaktigheten (Shapiro, 1978; Chen, Armstrong og Raftopoulos 1994).

200 og 300 hundre serien ble satt i et sikksakk mønster med en avstand på ca 1 meter, noe lengre avstand på 100 og 400 serien. De ble satt i et slikt mønster for å skape bedre definerte x og y akser i kameraet uansett vinkel, fordi de da ikke havnet på en linje. 500 serien ble satt i en halvsirkel på cirka en meters avstand fra svingbuen til skiene og denne serien hadde to funksjoner. De ble brukt som kontrollpunkter for kalibrering og for å teste nøyaktigheten (se kapitel 5.6.1).



Bilde 5.4

*Detalj bilde av oppsett i bakken under et pilotprosjekt i Ål.
Dette er identisk med oppsettet i Varingskollen.*

Som nevnt ble det under innmålingen tegnet et kart over situasjonen, slik at man hele tiden hadde kontroll på nummereringen til hvert enkelt punkt. I tillegg til kontrollpunktene ble også portene og snøen målt inn. Snøen ble målt for å få et uttrykk for underlaget og forandringene i underlaget.

5.2.3 Teodolitt

For innmåling av punktene ble det brukt en teodolitt. Teodolitten som ble benyttet i dette forsøket og man ser i bilde 5.5 var en Sokkia Set 2BII (Sokkia Co., Ltd. Kanagawa, Japan). Denne ble lånt ved Geografisk institutt ved Universitet i Oslo.



*Bilde 5.5
Teodolitt Sokkia Set 2BII*

I forkant av forsøkene ble det øvd på å bruke teodolitten. Dette ble gjort av ulike grunner. For det første for at man skulle være så effektiv som mulig under forsøket, for det andre at man var sikker på teodolittens innstillinger og at den var riktig kalibrert til enhver tid. Det var ulike personer som bisto og veiledet under denne treningen. Både Trond Eiken fra Geografisk Institutt ved Universitetet i Oslo og Matthias Gilgien som er utdannet landmåler fra Fachhochschule beider Basel, Sveits sørget for at dette ble korrekt gjennomført.

Kalibreringen ble gjort ved å kontrollere horisontalstillingen, høyden og nullretningen.

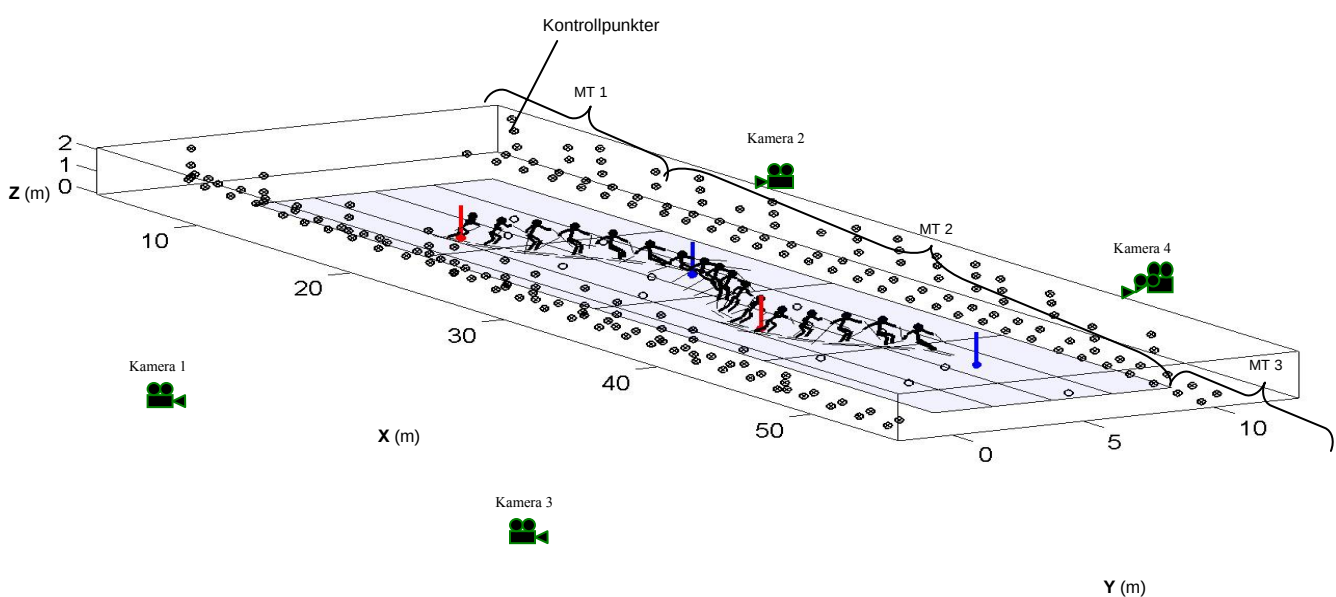
Nullretningen var et egendefinert, entydig punkt som var ca 90° i forhold til fallinjen i området som skulle måles. Under forsøket ble trefoten som teodolitten står på gravd ned i snøen og snøen ble saltet. Dette for at man skulle få minst mulig bevegelse i trefoten.

Teodolittens nullstilling ble sjekket på hvert femte punkt under forsøket. Ved innmålingen av punktene ble teodolitten styrt av to stykker. En stod for selve målingen og en styrte måleboka som var tilknyttet teodolitten og lagret dataene fortløpende. I tillegg var det en tredje person som skrev ned dataene. Dette var en forsikring i tilfelle det skulle skje noe galt med måleboka. Elektronisk utstyr kan være sårbart i utendørsbruk om vinteren. For at teodolitten skal kunne måle må den ha noe å reflektere mot. Derfor gikk en person rundt og holdt en reflektor foran hvert kontrollpunkt. Avstanden fra denne reflektoren og inn til senter av kontrollpunktene ble regnet ut i ettertid.

5.2.4 Kamera

Opptakene ble gjort med 4 kameraer som var posisjonert slik at de dekket forsøksområdet. Det optimale er å ha kameraer som filmer med cirka 90° vinkel til hverandre (Shapiro, 1978; Wood og Marshall, 1986), men siden det er en bevegelse er dette vanskelig å ha til enhver tid. Derfor bruker man flere kamera. En annen grunn til å bruke flere kamera er at man får dekket begge sider av kroppen til løperen og man unngår at løperen blokkerer punkter (Nachbauer m. fl, 1996) og man bedrer nøyaktigheten. Som man kan se utefra figur 5.2 var det perioder der to kamera stod mot hverandre uten å få noen krysningsvinkel. I disse situasjonene hadde en to andre kameraer slik at man fikk vinkel.

Kamera som ble benyttet var to Sony TRV 950 E (kamera 1 og 4), 1 stk Sony TRV 901 (kamera 2) og 1 stk Canon DM- XM2 E (kamera 3) kamera. Det ble filmet på 50 Hz og med minimum lukkehastighet på 1000 Hz ettersom lysforholdene denne dagen tillot det. Ellers var innstillingene på kameraene satt på automatisk. For å sikre at det var minimum 6 punkter i bildet ble det filmet på fast zoom. Noe som betydde at det spesielt fra kamera 1 og 3 var tidspunkter med et stort bildeutsnitt fordi man på skikjørers høyre måtte stå nærme løypen. Terrenget tillot at man med kamera 3 og 4 kunne stå på lengre avstand og dermed få et utsnitt som ikke varierte i størrelse avhengig av hvor løperen var i løypa.



Figur 5.2

Skisse over oppsettet i bakken med kamera, kontrollpunkter, timingsystem og porter.

5.2.5 Timing

Det ble brukt Microgate timingsystem (Microgate S.R.L, Bolzano, Italia) for å måle prestasjonen til den enkelte løper. Som man ser i figur 5.2 ble det satt opp fotocelle som sammen dannet mellomtider. Første fotocelle ble plassert noen meter før første port i forsøksområdet, dette for å kunne se på hastigheten inn. Deretter stod andre fotocelle ved inngang til første av i alt fire svinger som ble undersøkt. Disse to fotocellene dannet mellomtid 1 (MT1). Videre ble det plassert en tredje fotocelle i utgangen av fjerde sving. Denne sammen med den andre fotocellen dannet mellomtid 2 (MT2) og var den analyserte situasjonen. Fjerde og siste fotocelle ble plassert noen meter nedenfor området. Denne fotocellen dannet mellomtid 3 (MT3) sammen med den tredje fotocellen. På denne måten kunne man få tiden som ble brukt i inngangen til området, tid brukt gjennom de 4 svingene og utgangen. Denne tidtagningen ble brukt for på best mulig måte å selektere hvilke klipp man skulle bruke for analysen.

Det ble også beregnet tid i Matlab for å nøyaktig kunne analysere den kalibrerte situasjonen. Dette ble beregnet ved hjelp av bilder og ble beregnet fra øverste X koordinat hvor man hadde digitalisert samtlige løpere.

5.2.6 Løypesetting

Det var hovedtreneren til EC laget som satte løypa i dette prosjektet. Øvre halvpart av løypa ble satt rytmisk uten kombinasjoner, og i den nederste delen stod treneren fritt til å sette det han ønsket så lenge det var innenfor reglementet. Det var i 4 porter i den øvre halvpart av løypa at forsøksfeltet var. Det var et viktig poeng at det ikke var kombinasjoner i forkant eller rett i etterkant, slik at kjøringen kunne bli påvirket av taktiske valg løperen gjorde. Det ble stukket 3 ulike løyper av EC treneren som alle var innenfor FIS reglementet. Det ble brukt målbånd fra port til port for å sikre nøyaktig avstand. Løypene hadde avstandene 7, 11 og 13 meter mellom svingportene.

5.3 Utvalget og utvalg av trial

Utvalget i denne studien representerer fremtiden i alpinsporten, både her til lands og resten av verden. Utvalget besto av 6 løpere fra det norske Europa Cup laget, med en gjennomsnittsalder på 18,3 år og en spredning fra 17 til 20 år. I gjennomsnitt hadde de 22,4 FIS- punkter i slalåm med en minimum på 13,37 punkter til maksimum 32,41 punkter. Alle

var rangert blant de ti beste i verden i sin aldersklasse. Da det gjelder utstyret så kjørte alle på korteste tillatte skilengde i slalåm, som er 165 cm (FIS, 2007). Skienes innsving varierer fra løper til løper, da de benyttet seg av ulike skiprodusenter.

Under datainnsamling ble det til sammen 54 turer (trials) gjennom de ulike løypene, fordi alle 6 løpere kjørte tre turer gjennom forskjellige løyper. På grunn av det omfattende databehandlingsarbeidet som er med de ulike løypene og denne oppgavens omfang og tidsforbruk ble det valgt å plukke ut en løype for videre analyse. Ut fra en kvalitativ vurdering ble løypa med 11 meters avstand valgt fordi dette er en avstand som ofte blir satt i renn. Da satt man igjen med 18 trials, dette måtte igjen begrenses. Derfor ble det på bakgrunn av timingen plukket ut den raskeste turen til hver enkelt løper, med et forbehold om at det var en jevn prestasjon gjennom hele forsøksområdet. Det vil si at tiden i forsøksfeltet korrelerte med total brukt tid. Dermed hadde man 6 trials fra fire ulike kameravinkler.

5.4 Databehandling

Etter at data var innsamlet startet den mest tidskrevende delen av denne studien, ettersom det manuelt ble markert kontrollpunkter i løypa og segmentpunktene på løperen i hvert enkelt videobilde. En trail bestod av ca 150 bilder fra 4 kameravinkler. Det vil si at det var ca 3600 bilder som ble behandlet.

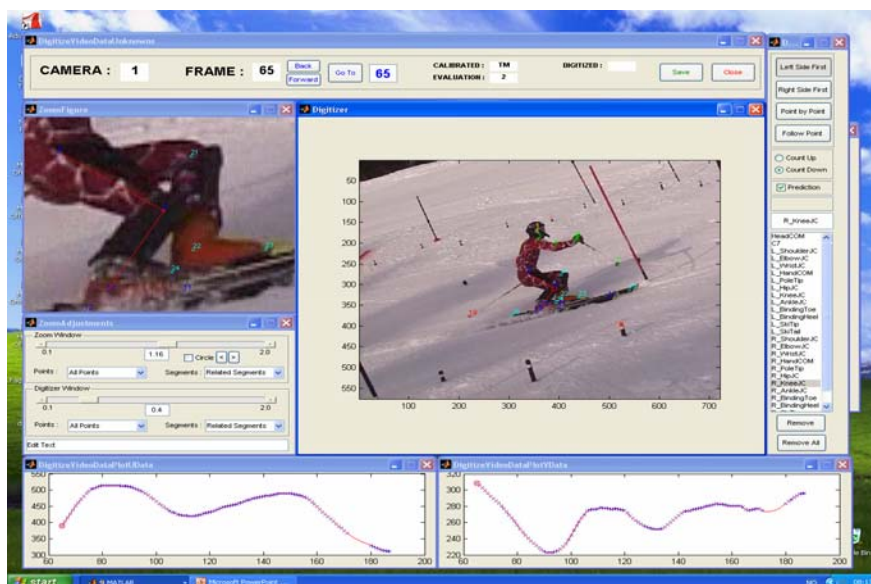
5.4.1 Innfanging

Når filmen skulle overføres fra miniDV kassetter til harddisker ble det fanget inn i video analyse softwaren DartFish (DartFish, Fribourg, Sveits) og videoen ble komprimert med en Indeo 5.0 Codec. Disse filene ble lagt inn i MatLab softwaren (The MathWorks, Natick, USA) som var verktøyet i den videre bearbeidelsen. Videoopptakene ble kuttet ned til porten i forkant og etterkant av forsøksområdet.

5.4.2 Digitalisering

Man antar at det er i dette arbeidet prosjektets største feilkilde ligger, og det er blitt gjort en rekke tiltak for å redusere dette så mye som mulig som blir beskrevet i kapittel 5.7.1 og 5.7.2. Som man kan se et eksempel på i bilde 5.6 ble det utviklet egen software i MatLab spesielt med tanke på dette prosjektet. Løperen ble delt inn i 28 ulike punkter, hvor arbeidet med å

plotte de ulike segmentene ble fordelt i teamet. To av disse ble beregnet i MatLab og det var punktene som danner thorax. Dermed var det 26 punkter som ble digitalisert.

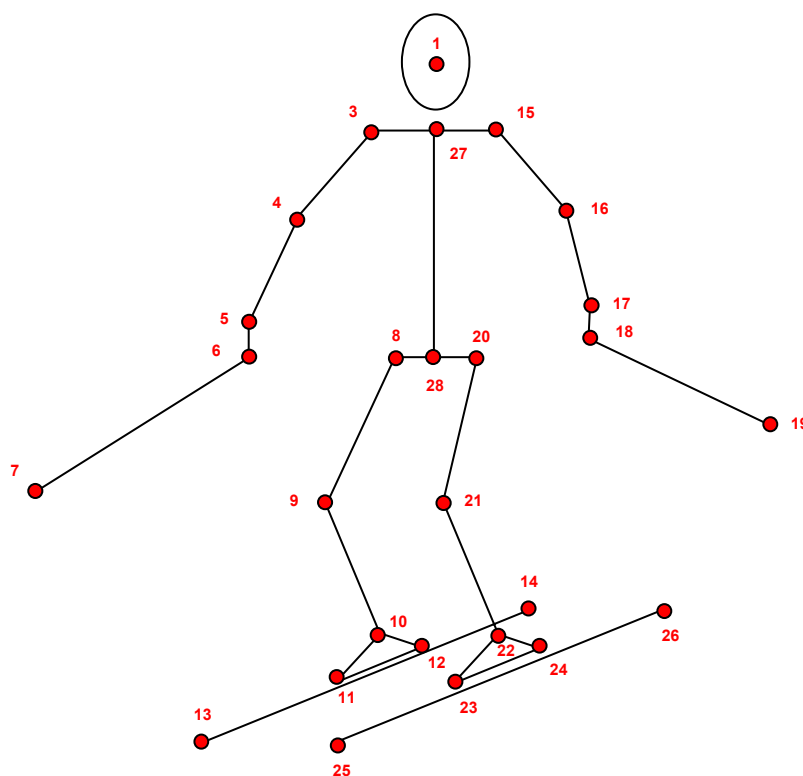


Bilde 5.6

Bilde av digitaliseringsverktøyet i Matlab.

Som man kan se i tabell 5.1 og figur 5.3 dannet disse punktene av 18 ulike segmenter.

Segmentene ble dannet av en rett linje mellom disse punktene som beskrevet i tabell 5.1.



Figur 5.3

Skjematisk fremstilling av punktene som ble digitalisert.

Tabell 5.1

Oversikt over utvalgte segmenter og punktene segmentene besto av

Segmenter	Punkter
Hode	Senter av hodet
Høyre overarm	Høyre skulderleddssenter og høyre albueleddssenter
Høyre underarm	Høyre albueleddssenter og høyre håndleddssenter
Høyre hånd	Senter av høyre hånd
Høyre stav	Senter av høyre hånd og høyre stavtrinse
Høyre lår	Høyre hofteleddssenter og høyre kneleddssenter
Høyre legg	Høyre kneleddssenter og høyre ankelleddssenter
Høyre fot	Høyre ankelleddssenter
Høyre ski	Høyre skitupp til høyre skiende
Venstre overarm	Venstre skulderleddssenter og venstre albueleddssenter
Venstre underarm	Venstre albueleddssenter og venstre håndleddssenter
Venstre hånd	Senter av venstre senter
Venstre stav	Senter av venstre hånd og venstre stavtrinse
Venstre lår	Venstre hofteleddssenter og venstre kneleddssenter
Venstre legg	Venstre kneleddssenter og venstre ankelleddssenter
Venstre fot	Venstre ankelleddssenter
Venstre ski	Venstre skitupp til venstre skiende
Thorax	Fra midtpunkt mellom skulderleddssentrene til midtpunkt mellom hofteleddssentrene

Etter å ha gjort tester for å sjekke hvor lik oppfattelse forskningsteamet hadde av hvor et punkt skulle ligge, kom det klart frem at man hadde relativt lik oppfatning av stavtuppene og

senter av hendenes plassering. Derfor ble disse punktene tatt først, der tre personer plottet disse punktene på to trials hver. Etter det ble de andre punktene fordelt.

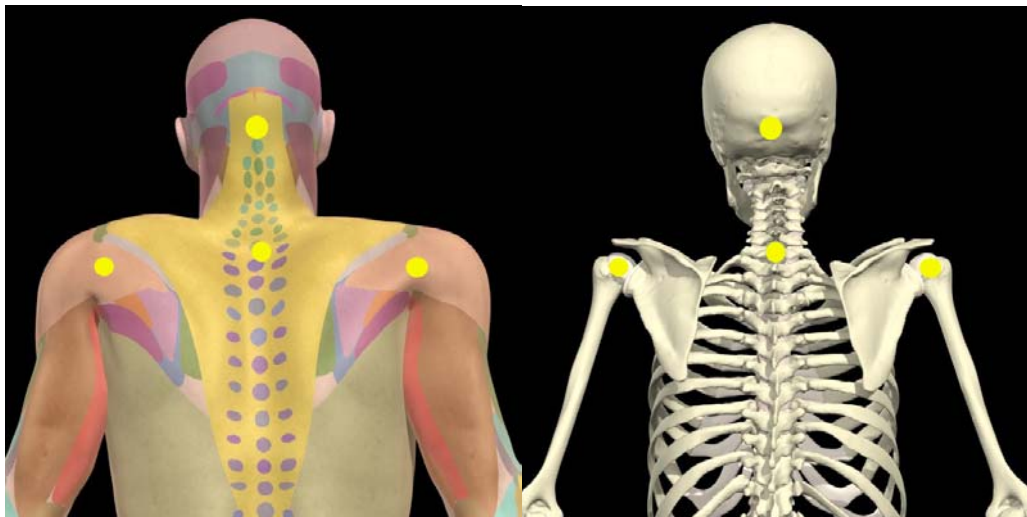
Siden man ikke hadde noen punkter på løperen under forsøket ble det tatt bilder i ulike posisjoner der løperen hadde på seg fartsdress (se bilde 5.7).



Bilde 5.7

Eksempel på punkter som skulle digitaliseres, fra en vinkel.

Alle løperne hadde like dresser, slik at disse bildene var til stor hjelp for å gjenkjenne mønster rundt aktuelle punkter. I tillegg ble det brukt anatomiske 3 D bilder (se bilde 5.8) av skjelettet som skulle hjelpe med å identifisere de enkelte punkter.



Bilde 5.8

Eksempel på punkter som skulle digitaliseres, fra en vinkel.

5.4.3 Kalibrering

I forkant av arbeidet ble det gjennomført flere tester der arbeidsgruppen uavhengig av hverandre kalibrerte samme trial, for så å sjekke om det var stort avvik mellom det den enkelte oppfattet som sentrum av punktet. Kalibrering av forsøksområdet gikk ut på å identifisere det enkelte kontrollpunkt i videobildene. For å holde kontroll på de ulike punktene var kartet avgjørende fordi man hadde unike kombinasjoner av farger og ulik høyde på punktene. Dette gjorde at man kunne gjenkjenne plassering, spesielt i starten av et videoklipp og hvis man ikke hadde fullstendig bilde av alle punkter. Noe som skjedde tidvis i kameraene 1 og 3.

På 200 og 300 serien var det hvit tape som var 2,5 cm bred og omga punktet 2,5 cm i underkant av tuppen. Her digitaliserte man midt på den hvite tapen. 100, 400 og 500 serien bestod altså av baller hvor man plasserte punktet midt på ballen. Det var nødvendig med en gjennomgang av denne plassering slik at teamet ble synkronisert. Selv om denne oppgaven tar for seg en type løype, ble også de 2 andre løypene kalibrert. Dette gjorde at 3 personer hadde ansvar for å behandle 6 trials hver. Annethvert bilde ble digitalisert for å lette arbeidet noe, det ble da interpolert i de bilder som ikke ble manuelt behandlet. Som hjelpemiddel i tillegg til kartet hadde programmet en predikeringsfunksjon som anskueliggjorde hvor det aktuelle punktet var, og det ble da kun en finjustering til senter av punktet for det manuelle arbeidet. I ettertid ble alle punkter kontrollsjekket av en annen person enn den som hadde digitalisert.

5.4.4 Synkronisering

For optimal synkronisering hadde det beste vært å bruke genlock kameraer. Disse kameraene er 10-20 ganger dyrere enn de som ble brukt i dette studie og det krever som sagt kabel, noe som er upraktisk i en alpinbakke ettersom kameraene stod på begge sider av løypa. Det ble brukt en adaptasjon av genlock software som er beskrevet av Pourcelot m.fl. (2000).

Men for å få nøyaktige resultater i en 3-D kinematisk undersøkelse er god synkronisering avgjørende. Man kan på ulike måter synkronisere kamera som ikke har et master kamera som styrer opptaket. Dersom det filmes mot samme punkt kan man bruke et lys eller annen form for signal og synkronisere ut fra det, dette blir allikevel ikke nøyaktig nok for denne studien. Fordi man sitter igjen med et materiale som tar bilde hver 0,02 sekund, kan det maksimalt bli en forskjell mellom 2 kamera på 0,01 sek. Løpere i denne oppgaven forflytter seg med en hastighet på ca 12 m/s, noe som vil si at det i verste fall ville blitt en forskjell på 12 cm

mellom de to kamera. Dette er sen feilmargin som ikke kan ansees som tilfredsstillende for denne undersøkelsen.

5.4.5 Interpolering

Det må minimum være to kameraer med en viss vinkel som ser punktet som skal dekkes for at man skal kunne definere punktet 3 dimensjonalt. Som beskrevet i avsnitt 5.3.3. ble det i dette studiet brukt 4 kameraer for å sikre en vinkel til enhver tid mellom kameraer, samt at punktene kunne forsvinne for noen kameraer i en periode på grunn av snø eller at punktet ble skjult av løperen. Hvis et punkt ble borte over kort tid var det mulig å interpolere i MatLab ved å bruke interpolating cubic splines. Det ble kun interpolert hvis hullet i bildekoordinatene var lineært. Hvis dette hullet var mer enn 8 bilder og/ eller ikke- lineært måtte man prøve å plote punkter i bildene. Interpolering ble brukt i to tilfeller i beregningene. Først i annet hvert bilde av kalibreringen fordi bare annethvert bilde ble manuelt kalibrert. Og det ble brukt i billedkoordinater da kameradekningen var mangelfull.

5.4.6 Filtrering

Alle bevegelsesmålinger inneholder feil på grunn av tekniske begrensninger og unøyaktige målinger gjort av forskerne. Disse feilene kan bedre forstås som støy rundt et signal. Disse feil blir mange ganger forstørret når hastighet og akselerasjon blir regnet ut. For å minimalisere denne feilforstørrelsen kan målte data filtreres. I dette studie ble det brukt filtrering på to nivåer. Kamera kalibrerings (DLT) konstantene ble filtrert med en 2nd order low-pass Butterworth filter med en cut-off frekvens på 15 Hz. Alle object space koordinater ble filtrert med en 2nd order low-pass Butterworth filter med en cut-off frekvens på 10 Hz.

5.5 Beregninger knyttet til problemstillinger

For å få kvantifisert målingene ble det utført en rekke beregninger i MatLab. Dette kapitlet er delt inn i metodens nøyaktighet, tyngdepunkt, inngangshastighet, tyngdepunktets totale veilengde, tyngdepunktets veilengde i Y dimensjonen, tyngdepunktets veilengde i Z dimensjonen, definisjon av svingstart og slutt, tyngdepunktets veilengde i den rette fasen, tyngdepunktets veilengde i sving og switchvinkel.

5.5.1 Metodens nøyaktighet

For å beregne feilkildene ble det benytte tre ulike måter. Den første ble gjort ved hjelp av punkter med kjent posisjon. Dette var *non-CP error*. Dette var 500 serien som beskrevet i avsnitt 5.3.2 Et *non- control point* er et punkt som ble målt inn med teodolitt men ikke brukt i kamerakalibreringen. Dette for å teste nøyaktigheten på det som ble kalibrert⁴. På denne måten hadde man punkter for å kontrollere feilkilden assosiert med det å predikere et godt definert punkt. Hvis punktet ikke er like definert, for eksempel delvis skjult av snø eller punkter som ikke er entydige (leddsentre) tar ikke denne metoden hensyn til det. En annen faktor var at denne 500 serien ikke var i bevegelse, så på grunn av dette tok den heller ikke hensyn til kamerasynkronisering. Dette leder til den andre måten å beregne feilkilder på. For å beregne dette ble det målt inn segmentlengder. Endepunktene til segmentene er ikke like klart definerte som kontrollpunktene og de er i bevegelse. Disse segmentlengdene ble målt inn på venstre side av 4 av løperne. Validiteten er avhengig av disse punktene. Som tredje beregning av feilkildene ble metodens reliabilitet vurdert. Dette ble gjort ved å analysere segmentlengde prediksjoner. Hvor mye segmentlengdene varierte gjennom en trial ble tolket som et mål på reliabilitet. Her ble pooled standardavvik benyttet.

5.5.2 Tyngdepunkt

For å beregne tyngdepunktets posisjon ble Zatsiorskys regresjonsligninger som er basert på kroppsmasse og høyde brukt (Zatsiorsky, 2002). Det er flere grunner til at denne metoden ble valgt. Først og fremst forenklet denne metoden datainnsamlingen, mest på grunn av at den er tidsbesparende og mer effektiv. Andre metoder krever et mye større arbeid i forhold til antropometriske målinger.

Tabell 5.2

Oversikt over populasjonen i denne undersøkelsen og Zatsiorsky grunnleggende antropometriske data

Parameter	Menn (n=100)	Utvalget (n= 6)
Alder, år	23,8 ± 6,2	18,3 ± 1,5
Masse, kg	73,0 ± 9,1	82,8 ± 7,4
Høyde, cm	174,1 ± 6,2	180,8 ± 2,1

⁴ Men som beskrevet i avsnitt 5.1 og 5.2 var det ønskelig med mange kontrollpunkter når analysen av ukjente skulle gjøres, så 500 serien ble brukt i selve analysen. Derfor forventes det noe bedre nøyaktighet i analysen enn *non- CP error* gir uttrykk for.

I tillegg passer populasjonen som blir brukt som grunnlag i Zatsiorsky godt overens med populasjonen i dette studiet (se tabell 5.2). I denne modellen får man også kalkulert inn segmenter for utstyret, det vil si hjelm, staver, støvler og ski.

5.5.3 Inngangshastighet

Inngangshastighet blir beregnet for å kontrollere for inngangshastighet i beregninger av korrelasjonskoeffisienter. Inngangshastighet ble beregnet som gjennomsnittshastigheten av den første tiendedelen av den analyserte situasjonen.

5.5.4 TP's totale veilengde

For beregningen for lengden av tyngdepunktets totale vei ble det definert et felles start og mål. I utgangspunktet var det ment at portpassering skulle definere dette, men på grunn av manglende digitalisering av løperne i området ble dette forandret. Grunnen til at portpassering skulle definere start og mål, var fordi man antar at det er her løpernes tyngdepunktets plassering er mest likt løperne i mellom. Da dette altså ikke lot seg gjennomføre ble start og mål definert som henholdsvis de laveste og høyeste X koordinater der alle løperne var digitalisert. Dermed er starten lavere enn ønsket og målgang høyere enn ønsket. Total vei er beregnet som total lengde av tyngdepunktets bane i 3 dimensjoner:

$$S_{TPTOT} = \sum_{i=1}^C \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2} \quad \text{Formel 5.1}$$

C er det siste tidspunktet i analysen og dermed det totale antallet tidspunkter i analysen, i er det aktuelle tidspunktet og X, Y og Z er de ulike dimensjonene.

5.5.5 TP's veilengde i Y dimensjonen

Lengden tyngdepunktets vei i Y dimensjonen er altså total bevegelse på tvers av løypas generelle retning. Og den er målt fra switch til switch for å skape så svingsykluser som mulig. Den ble beregnet ut fra følgende formel:

$$S_{TPY} = \sum_{i=1}^C \sqrt{(Y_{i+1} - Y_i)^2} \quad \text{Formel 5.2}$$

C er det siste tidspunktet i analysen og dermed det totale antallet tidspunkter i analysen, i er det aktuelle tidspunktet og Y er dimensjonen.

5.5.6 TP`s veilengde i Z dimensjonen

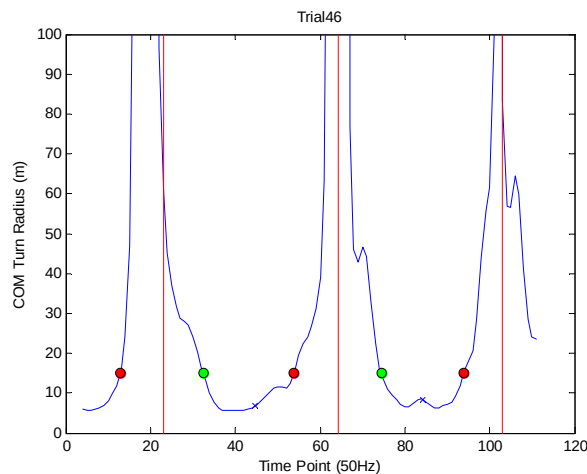
Lengden tyngdepunktets vei i Z dimensjonen er altså total bevegelse av tyngdepunktets heving og senkning i forhold til et plant underlag. Også dette er målt fra switch til switch. Den ble beregnet ut fra følgende formel:

$$S_{TPZ} = \sum_{i=1}^C \sqrt{(Z_{i+1} - Z_i)^2} \quad \text{Formel 5.3}$$

C er det siste tidspunktet i analysen og dermed det totale antallet tidspunkter i analysen, i er det aktuelle tidspunktet og Z er dimensjonen.

5.5.7 Definisjon av svingstart og slutt

Begge disse ble basert på beregnet svingradius. Og ved å sammenligne de ulike trials ble det foretatt en subjektiv vurdering av hvor den gjennomsnittlige største avbøyningen av tyngdepunktsbanen begynte.



Figur 5.4

Svingradius med svingstart (grønne punkter) og svingslutt (røde punkter)

Denne gjennomsnittlige avbøyningen ble vurdert til å være 15 meter. For beregning av svingradius ble den basert på tyngdepunktets bane i snøens plan. Hvorpå ble svingradiusen definert som radiusen til en sirkel som passer gjennom tyngdepunktets posisjon $\pm$ tre tidspunkter fra det gitte tidspunkt.

5.5.8 TP`s veilengde i den rette fasen

Denne analysen ble gjort 3 dimensjonalt, og ble regnet ut ved følgende formel:

$$S_{TPRETT} = \sum_{i=1}^C \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2} \quad \text{Formel 5.4}$$

Forskjellen fra denne formelen og formel 5.1 er at $i = 1$ er svingslutt og C er definert som svingstart. Denne rette fasen ble beregnet mellom port 1 og port 2 og i tillegg port 2 og port 3. Deretter ble gjennomsnittet for disse regnet ut for hver trial.

5.5.9 TP`s veilengde i sving

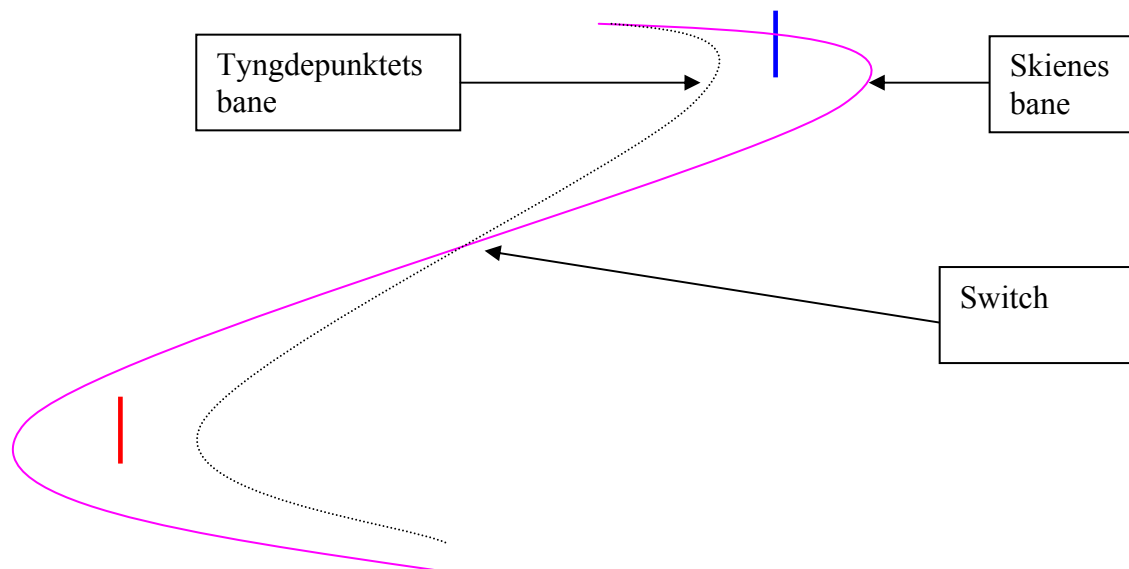
For å beregne tyngdepunktets veilengde i sving ble det benyttet samme fremgangsmåte som i 5.6.7 men med noen små justeringer på C og i . C = tidspunkt ved svingslutt og $i=1$ =tidspunkt ved svingstart.

$$S_{TPSVING} = \sum_{i=1}^C \sqrt{(X_{i+1} - X_i)^2 + (Y_{i+1} - Y_i)^2 + (Z_{i+1} - Z_i)^2} \quad \text{Formel 5.5}$$

Disse beregningene ble gjort ved port 2 og port 3. Deretter ble gjennomsnittet for disse regnet ut for hver trial.

5.5.10 Beregning av switch

Switch er altså det punktet hvor skienes bane krysser tyngdepunktets bane mellom svingene. Dette baseres på gjennomsnitt av skienes bane i 2 dimensjoner i snøens plan og tyngdepunktets bane i 2 dimensjoner i snøens plan. Som man kan se i figur 5.5 er switchen krysningspunktet mellom disse to banene. Denne metoden for å beregne switchen har også blitt gjort i tidligere studier (Supej, Kugovnik og Nemec, 2003).

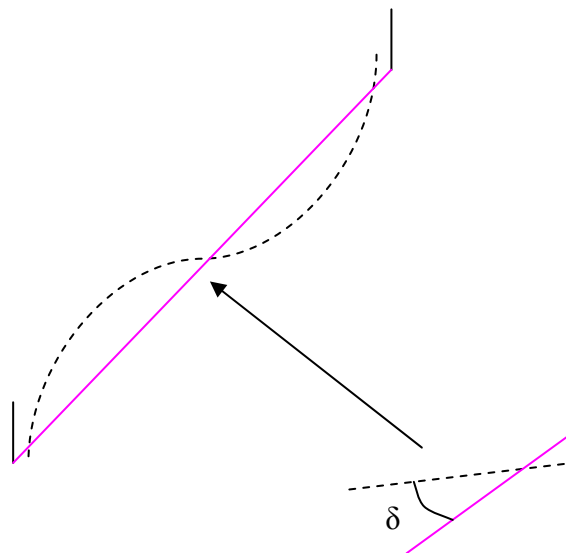


Figur 5.5

Definisjon av switch. Lilla linje er skienes bane, mens den stiplede er tyngdepunktets bane.

I det øyeblikket skienes bane krysser tyngdepunktets bane er switchen. I figur 5.4 er skienes bane uttrykt ved et gjennomsnitt av begge skiene og er merket som den lilla linjen. Den stiplede er tyngdepunktets bane.

5.5.11 Switchvinkel (δ)



Figur 5.6

Definisjon av switchvinkel. Lilla linje er en rett linje mellom portene, mens den stiplede er tyngdepunktets bane

Vinkelen mellom tyngdepunktets retning i switchen og en rett linje mellom portene definerer switchvinkelen. Tyngdepunktets retning defineres ved å trekke en linje mellom tyngdepunktet før og etter switchen.

5.6 Statistiske metoder

På alle beregninger ble standardavvik, gjennomsnitt og spredning kalkulert. For å teste hypotesene ble Pearsons partial correlation koeffisient beregnet hvor det ble kontrollert for inngangshastighet. P- verdien var satt til 0,05.

5.7 Feilkilder

Feilkilder kan deles inn i systematiske og tilfeldige feil. Den hovedsaklige forskjellen mellom disse to er hvordan de påvirker målingene i forhold til hva som er den absolutte sannhet. I denne undersøkelsen er det både systematiske og tilfeldige feilkilder. Dette kapitlet er delt inn i systematiske og tilfeldige feilkilder hvor det belyses hvilke tiltak som er gjort for å unngå feil.

5.7.1 Systematiske feilkilder

Denne type feil er altså feil som forekommer over tid. Noen typer av disse feilene ligger allerede i de tekniske begrensningene til utstyret som benyttes. Den største feilkilden i dette prosjektet er det som kalles perspektivfeil. I og med at man digitaliserer objekter i bevegelse vil punktet som blir digitalisert hele tiden være i bevegelse, enten i en akse eller flere. Dette fører til at det blir særdeles vanskelig, nesten umulig, å digitalisere nøyaktig samme punkt igjennom en sekvens. Dette fordi det blir en romlig forkorting som betyr at det blir en fordreining av objektet når de sees fra en vinkel. For å minimalisere dette kreves det meget god oppløsning på bildene slik at man kan zoome tett inn på objektet. I alpint hvor ting skjer over en relativt lang strekning, vanskeliggjøres dette.

Bruken av teodolitten under innmåling av punktene er en annen kilde til systematiske feil. Rundt bruken av denne er det flere momenter som kan spille inn. Oppsett og innstilling av teodolitten, samt innmåling av punkter. Det primære problemområdet under bruk av teodolitten dukker opp når man sikter og skal måle inn kontrollpunktene eller nullpunkt. Det ble derfor i forkant av forsøket nedlagt et relativt stort arbeid med å definere siktepunkter på en mest mulig entydig måte. Teodolittens nullstilling kunne også bli kilde til feil. På grunn av teodolitten sto på snø kunne teodolittens horisontalstilling og vertikalstilling påvirkes av at snøen kunne smelte. Teodolittens nullstilling ble derfor altså kontrollert etter hvert 5 punkt ved at man målte teodolittens høyde i forhold til et entydig punkt og horisontalstillingen ble kontrollert mot et entydig punkt i lendet. I tillegg ble det saltet rundt teodolittens trefot for å

gjøre snøen kompakt og fast. Målingene fra teodolitten ble skrevet både for hånd og det ble direkte lastet ned i en målebok. Man kan ikke utelukke at det har forekommet feil i disse prosessene.

Da det gjelder selve kontrollpunktene så ble de lagd av forskningsteamet. Det ble utarbeidet maler for å lage punktene så identiske som mulig, men hvis et punkt for eksempel er større i diameter enn de andre vanskeliggjør dette vurderingen av hva som er senter på punktet. Et annet moment som kan påvirke punktenes posisjon er været og snøen. På grunn av at det var sol under opptakene er det mulig at snøen smeltet litt. Denne snøsmeltingen er ikke noe som ble målt, men det ble saltet rundt punktene for å minimalisere denne smeltingen. En annen type systematisk feil er feildigitalisering av kontrollpunkt. Og med det menes hvis man digitaliserer et punkt som et annet enn det faktisk er. For å minimalisere sjansen for dette ble det altså fortløpende lagd et kart over situasjonen og punktene. Videre så ble det systematisk brukt ulike farger på punkter slik at man i etterkant lettere kunne identifisere disse. Det ble også lagd systematiske markeringer i snøen.

5.7.2 Tilfeldige feilkilder

Tilfeldige feil blir et resultat av begrensningene i måleinstrumentet. Man kan si at tilfeldige feil er faktorer man ikke kan kontrollere. Med andre ord vil det alltid være tilfeldige feil.

Tilfeldige feil er altså feil som oppstår kun over korte perioder. Det kan for eksempel være seg feildigitalisering av et punkt, men bare i et bilde. For å unngå dette ble det utarbeidet en kvalitetssikring i MatLab og dataene ble filtrert.

Studiets antatt største feilkilde er digitaliseringsprosessen og det er ikke slik at en feil man gjør trenger å enten være systematisk eller tilfeldig. Begge typer feil kan forekomme av de samme grunnene. Så for å minimalisere denne digitaliseringsfeilkilden prøvde man å få dannet seg et så nøyaktig bilde som mulig av de ulike punktene som skulle digitaliseres på løperen. For å gjøre dette ble det altså brukt bilder av de ulike segmentene og segmentene ble målt på løperne. Det ble brukt bilder av løperne i ulike posisjoner og av skjelett (se bilde 5.6 og 5.7). Dette skapte grunnlaget for den subjektive vurderingen som ble gjort av digitaliseringen av de ulike segmentene. Man kunne i etterkant også sammenligne digitaliserte segmentlengder med målte segmentlengder for å vurdere hvor nøyaktig man hadde vært i digitaliseringen av punktene. Dette ble beregnet og avdekket i MatLab.

Digitaliseringsarbeidet av de ulike segmentene ble fordelt i forskningsteamet. På denne måten forholdt den subjektive vurderingen seg relativt lik i denne digitaliseringsprosessen. For å skape en felles plattform for vurdering av ulike punkter, ble det gjennomført treningsomganger hvor forskningsteamet digitaliserte det samme punktet. Videre ble det sammenlignet hvor stor forskjeller det var blitt digitalisert. Dette skapte igjen grunnlag for diskusjon og forståelse av hvordan man skulle definere de ulike punktene som skulle digitaliseres. Men til tross for dette arbeidet med å tydeliggjøre definisjonene av de ulike punktene, så ble det fortsatt en subjektiv vurdering.

5.8 Pilotforsøk

I forkant av forsøkene ble det gjort en rekke pilotforsøk som alle hadde ulike delmål, men hvor hovedmålet var å avdekke så mange potensielle feilkilder som mulig samt at man skulle kunne opptre så effektivt som mulig under selve forsøket. De pilotstudiene som blir beskrevet her er de som ble gjort av hele forskningsteamet samlet. I tillegg ble det gjort et kontinuerlig arbeid på ulike arbeidsoppgaver man skulle ha under forsøket. Dette kapitlet blir delt inn i oppsett/ gjennomføring og digitalisering.

5.8.1 Oppsett/ gjennomføring

- Juvass, Mai 2006

På denne samlingen var første gang det ble gjennomført et komplett pilotforsøk på snø. Det vil si at det ble satt opp kontrollpunkter, timing og filmposisjoner i en SSL løype. Alle innmålinger av avstander ble gjort med målbånd.

I tillegg ble det gjennomført en pilot utenfor bakken der det ble testet ulike kameravinkler og antall kamera. Det ble også testet hvor mange kontrollpunkter og fordelingen av disse punktene rundt det ukjente objektet.

Etter disse testene ble det avdekket at bruk av målbånd ikke var nøyaktig nok og man måtte ha en bedre rutine på innmålinger. I tillegg måtte det lages bedre kontrollpunkter som ville dekke et større område, spesielt i høyden. Plasseringen av disse ble også viktig for å kunne predikere ukjente punkter. Man må ha en fordeling rundt det ukjente punktet, for ved å bare ha en fordeling på en side øker sannsynligheten for større feilmargen (Chen, Armstrong og Raftopoulos, 1994). Dessuten ble plassering av kamera avgjørende, man må som tidligere

nevnt minst ha to kamera som dekker området og helst med en vinkel på 90 grader til hverandre. På bakgrunn av uttalelser fra løpere som kjørte gjennom forsøksområdet ble det konkludert med at punktene ikke forstyrret løperne.

- Norges idrettshøgskole, juni 2005

Det ble i juni gjennomført et 2 dimensjonal analyse inne i idrettshallen på NIH. Her ble det laget en 5 m papirbakgrunn med punkter, denne ble hengt opp og en tennis ball ble sluppet langs den vertikale bakgrunnen. Dette for å teste metodens nøyaktighet ved å regne ut ballens akselerasjon hvor man har tyngdekraften som målestokk og for å teste synkronisering av fast kameraer ved å bruke ”software genlock” metoden til Pourcelot (2000).

- Norges idrettshøgskole, august 2005

Ute på friidrettsbanen på NIH ble det igjen testet fordeling og avstand til kontrollpunktene. Dette for å danne seg et klart bilde av hvilken måte kontrollpunktene burde stå for å gi en best mulig dekning av området.

- Norges idrettshøgskole, september 2005

Inne i hallen ble det gjennomført en 2 dimensjonal testing med faste kamera. Det vil si at kamera stod på stativ i låst posisjon. Videre testing av antall kontrollpunkter, posisjonering av kontrollpunkter, antall kameraer og posisjonering av kameraer.

- Norges idrettshøgskole, oktober 2005

Det var en nytt forsøk inne i hallen der det ble brukt kamera som panorerte med objektet som ble sluppet. Dette var en 3 dimensjonal analyse. Her var hovedmålet å teste synkronisering av kameraene(Pourcelot, 2000) med panning kameraer.

- Norges idrettshøgskole, desember 2005

I skilek området ved NIH ble det gjennomført en pilot der hovedmålet var å teste teodoliten sammen med fullt oppsett ute i feltet. Reflektor tape ble brukt på kontrollpunkter, men viste seg å fungere dårlig. Derfor ble prisme brukt som reflektor til teodolitten.

- Skeikampen skisenter, januar 2006

Gjennomførte oppsett med kontrollpunkter for å effektivisere arbeidet under forsøket. Det ble også filmet fra forskjellige vinkler for å analysere kamera posisjoner med tanke på fordeling av kontrollpunkter i bilde.

- Grefsen skisenter, februar 2006

I skisenteret ble det gjennomført fullt oppsett med løpere. Her var det ulike momenter som ble testet. Både bruk av kamera og bruk av teodolitt ble testet. Det som ble testet med kameraene var ulike posisjoner for å finne en god løsning med tanke på vinkler kameraene i mellom. For teodolitten var det bruk av ulike reflektorer som igjen ble testet ut. Her var også resultatene noe sprikende for refleksteip, refleks og prisme.

- Hafjell, mars 2006

Fullt oppsett ble satt opp i forkant av datainnsamlingen under WC damer rennet dagen etter. Dette var i hovedsak for å avdekke eventuelle problemer som måtte dukke opp. Det var ganske kaldt, så det var blant annet viktig å kontrollere om dette spilte noen rolle for teodolittens funksjonalitet.

- Hafjell, mars 2006

Fullt oppsett for en 3 dimensjonal analyse ble satt opp og gjennomført under SSL for damer i WC på Hafjell. Dette ble gjort for å kunne kartlegge skiens bevegelser for å kunne kvantifisere skrensing kontra skjær i renn situasjon. Det var meningen at dette skulle være en del av datasettet som skulle danne grunnlag for denne studien, men på grunn av at prosjektets hovedfokus tok en dreining mot spørsmål rundt tyngdepunktet var ikke denne metoden tilstrekkelig. Dette på grunn av at rommet som var kalibrert ikke var høyt nok. Bortsett fra dette var gjennomføringen helt lik. Så her fikk man testet metoden under relativt røffe forhold på grunn av kulden og relativt høy luftfuktighet.

- Tryvann skisenter, mars 2006

Det første oppsettet med kontrollpunkter i ulike høyder for å definere et større volum. Her var det testing av punktene som skulle være i høyden og innmåling av disse som var det primære fokusområdet. Med testing av punktene som skulle være i høyden menes hvor de skulle posisjoneres i forhold til løypa som skulle analyseres slik at volumet ble stort nok og minst mulig forstyrrende.

- Ål skisenter, mars 2006

Fullt oppsett for 3 dimensjonal analyse i to ulike terrengtyper, flatt og bratt. Dette var skitest for det norske WC herrer laget. Denne datainnsamlingen var også ment som grunnlag for undersøkelsen, men på grunn av begrenset utvalg blant forsøkspersonene ble det valgt et tredje forsøk.

- Varingskollen skisenter, april 2006

Datainnsamling, beskrevet i kapitel 5.3.

5.8.2 Digitalisering

- Høst 2005

Det ble digitalisert på de ulike piloter som ble gjennomført. Først og fremst på pilotene som foregikk i hallen på NIH med tennisballer. Dette ga verdifull informasjon om hvordan man burde gå frem for å filme i bakken for å best mulig skape gode forutsetninger for nøyaktig digitalisering. I tillegg ga dette informasjon for hvordan man kunne utvikle og forbedre programmeringsarbeidet i MatLab.

- Vår 2006

I etterkant av datainnsamlingen var det omfattende arbeid rundt det å synkronisere teamet med tanke på hva som var senter av punktene som skulle digitaliseres på kroppen. Her ble det gjennomført uavhengig digitalisering av de samme punktene av forskningsteamet. Dette for å skape et felles diskusjonsgrunnlag og forståelse av hvordan man skulle plassere de ulike punktene. Dette resulterte i større nøyaktighet innad i forskerteamet med tanke på digitalisering.

- Høst 2006

Da det gjaldt de ulike punktene på kroppen til løperne ble det gjort et lignende arbeid for å avdekke ulikheter innad i forskerteamet. I etterkant av undersøkelsen ble lengdene på segmentene på de ulike løperne målt opp. Disse ble brukt for å kvalitetssikre digitaliseringen som ble gjort av ukjente punkter på løperne. Det ved at man kunne sammenligne den digitaliserte avstanden mellom to punkter med den som var målt opp.

6.0 RESULTATER

Som bakgrunn når man skal se på nærmere på resultatene av de ulike problemstillingene er det viktig å ha prestasjon liggende til grunn. Dette på grunn av at alpint er en idrett hvor det kun er et aspekt som vurderer om det er en god eller dårlig prestasjon. Og det aspektet er tid. Resultatene vil bli presentert med bakgrunn i forskningsspørsmålene.

Tabell 6.1

Oversikt over rangering av prestasjon i den analyserte sekvensen

Trial	Tid (sek)	Rank
45	2,05	2
46	2,03	1
47	2,16	6
48	2,09	4
49	2,13	5
55	2,03	1
Gjennomsnitt	2,08	
SD	0,06	
Spredning	0,14	

Differansen mellom den beste og dårligste kan beskrives som relativt stor. 0,14 sekunder over en distanse på 23,75 meter er mye. Dette er differanse som nesten er mer lik hva man kan tape på en full løype, det vil si cirka 70 porter.

6.1 Metodens nøyaktighet

Den totale *root mean square error* (RMSE) for predikering av *non-CP* var 15 mm (n= 1621 prediksjoner fra 6 trials). RMSE i X, Y og Z dimensjonene var henholdsvis 9,11 og 5 mm (Reid m.fl. 2007).

Tabell 6.1.1

Oversikt over de ulike segmenters *pooled standardavvik* og antall for alle prediksjoner.

Segment	Pooled SD (mm)	n
Overarm	11,22	1474
Underarm	10,82	1486
Hånd/stav	9,21	1492
Lår	14,16	1492
Legg	11,99	1493
Ski	13,37	1472

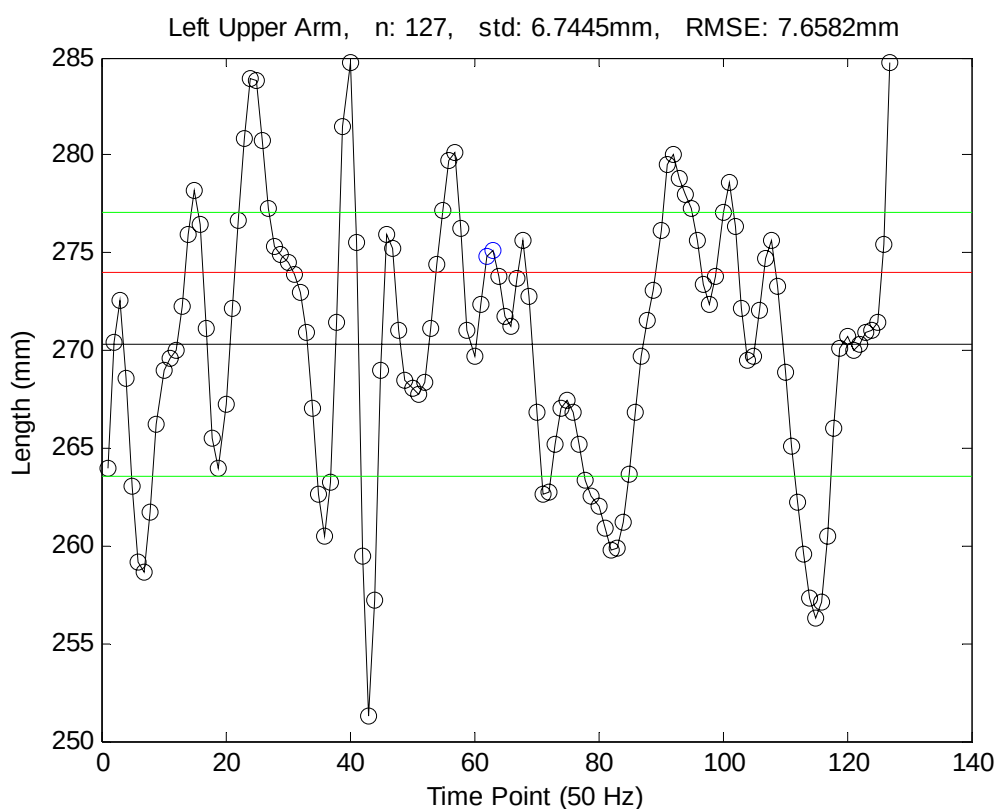
I tabell 6.1.1 ser man en oversikt over de ulike segmenters pooled standardavvik. I denne tabellen er altså de ulike segmenter i de ulike trialene summert opp og analysert.

Tabell 6.2.1

Oversikt over segmenters RMSE og antall prediksjoner

Segment	RMSE (mm)	n
Overarm	12,46	750
Underarm	12,01	750
Lår	31,33	749
Legg	16,51	749

I tabell 6.2.1 ser man en oversikt over root mean square error mellom lengden på segmentet som ble digitalisert og den faktiske lengden som ble målt på venstre side av kroppen.



Figur 6.1.1

Eksempel av standardavvik i MatLab.

I figur 6.1.1 ser man et eksempel på hvordan et segment og segmentets standardavvik ble anskueliggjort i MatLab. I figuren så er de grønne linjene standardavviket, den svarte linjen er den gjennomsnittlige lengden av segmentet og den røde linjen er den avstanden som ble målt opp av forskningsteamet på løperen.

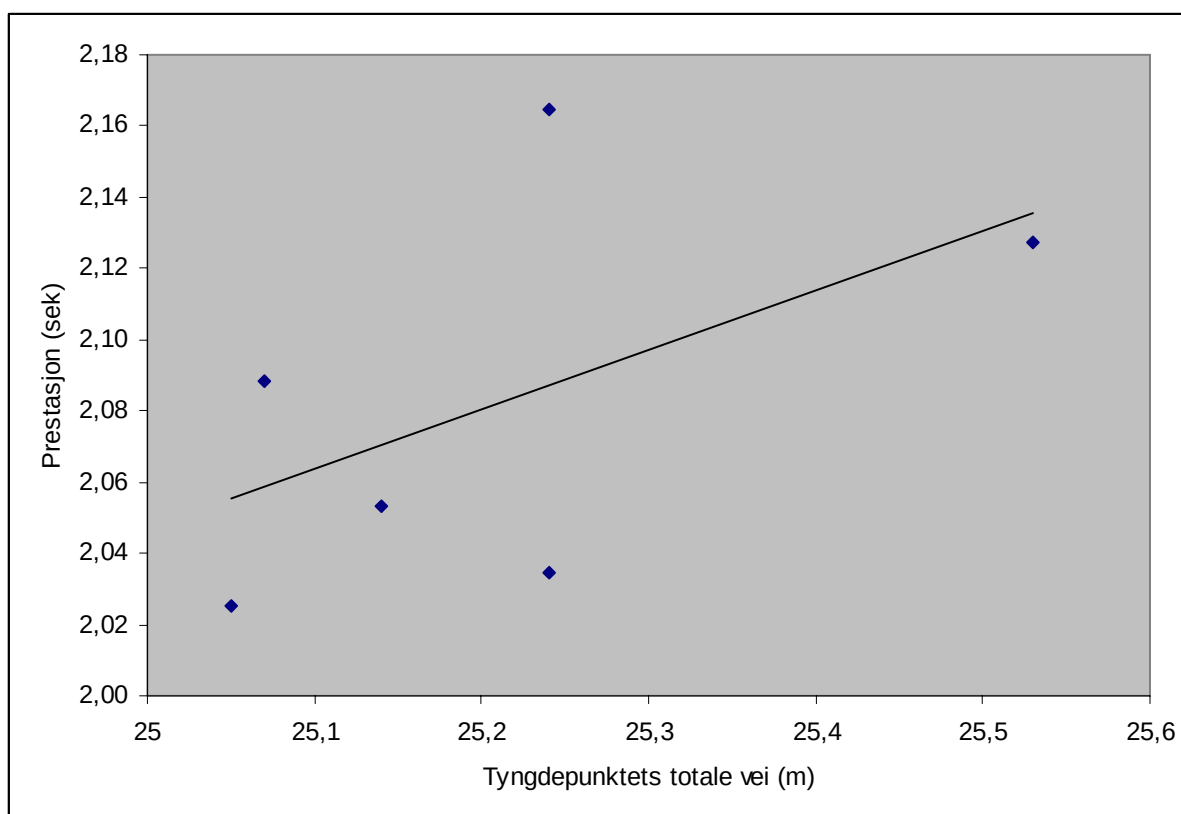
6.2 TP's totale vei

Tabell 6.2.1

Oversikt over tyngdepunktets totale vei kjørt.

Trial	Inngangshastighet (m/sek)	Tid (sek)	Total lengde (m)
45	11,82	2,05	25,14
46	11,71	2,03	25,05
47	11,14	2,16	25,24
48	10,70	2,09	25,07
49	11,44	2,13	25,53
55	11,44	2,03	25,24
Gjennomsnitt	11,38	2,08	25,21
SD	0,41	0,06	0,18
Spredning	1,12	0,14	0,48
n	6	6	6

I tabell 6.2.1 ser man en oversikt over hver enkelt løper og løperens tid brukt på strekningen, gjennomsnittshastigheten på strekningen og den totale veien til tyngdepunktet. Det vil si at i denne tabellen vurderes alle dimensjoner når man skal se på lengden kjørt.



Figur 6.2.1

Forholdet mellom prestasjon og total lengde kjørt

I figur 6.2.1 ser man en grafisk fremstilling av forholdet mellom prestasjonen og den totale lengden av tyngdepunktets vei. Det er her en korrelasjon på $r = 0,66$.

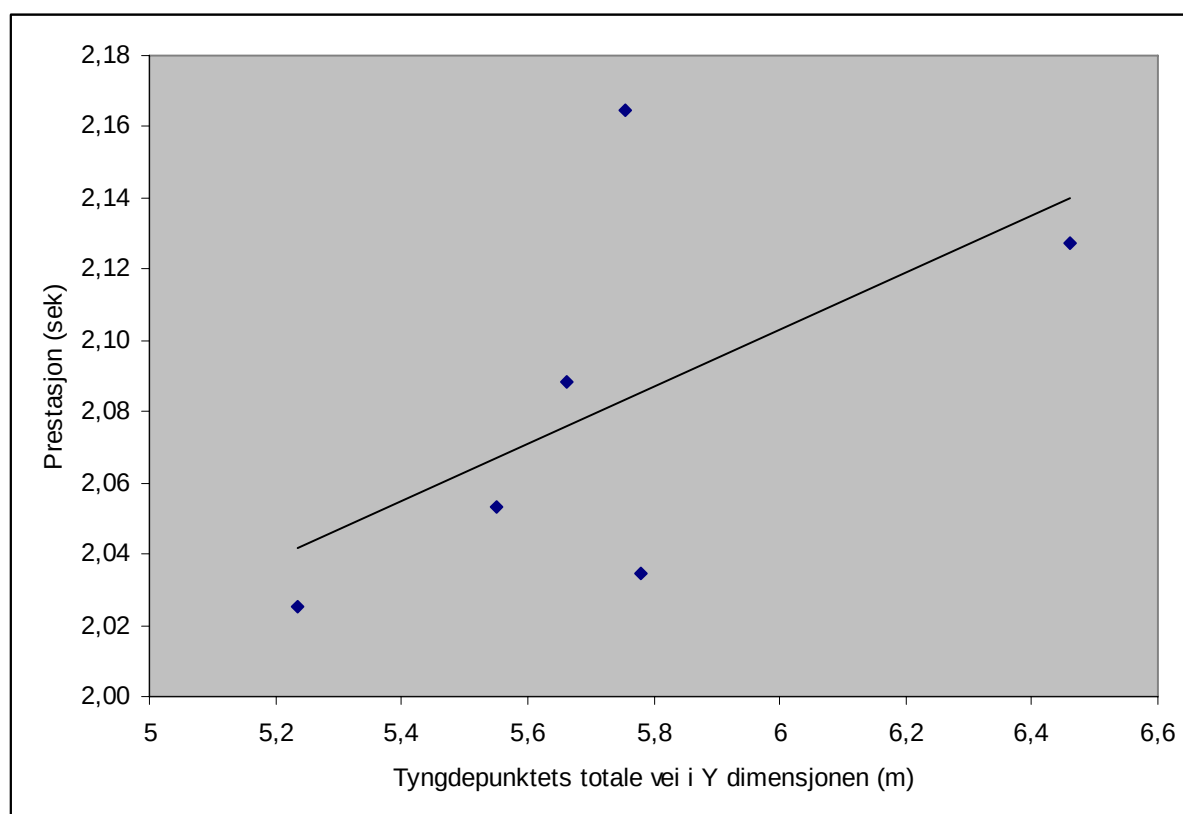
6.3 TP's lengde i Y dimensjonen

Tabell 6.3.1

Oversikt over tyngdepunktets vei i Y- dimensjonen og prestasjon.

Trial	Lengde Y (m)	Tid (sek)
45	5,55	2,05
46	5,23	2,03
47	5,75	2,16
48	5,66	2,09
49	6,46	2,13
55	5,78	2,03
Gjennomsnitt	5,74	2,08
SD	0,41	0,06
Spredning	0,55	0,14
n	6	6

I tabell 6.3.1 er det en oversikt over forholdet mellom prestasjon og lengden av tyngdepunktets vei i Y dimensjonen. Dette er altså hvor mye løperen forflytter seg til siden i forhold til en rett linje mellom switchene.



Figur 6.3.1

Forholdet mellom prestasjon og lengden av veien kjørt i Y dimensjonen.

I figur 6.3.1 ser man en grafisk fremstilling av forholdet mellom hver enkelt løpers prestasjon og den enkeltes lengde kjørt i Y dimensjonen. Her er det en korrelasjon på $r = 0,59$.

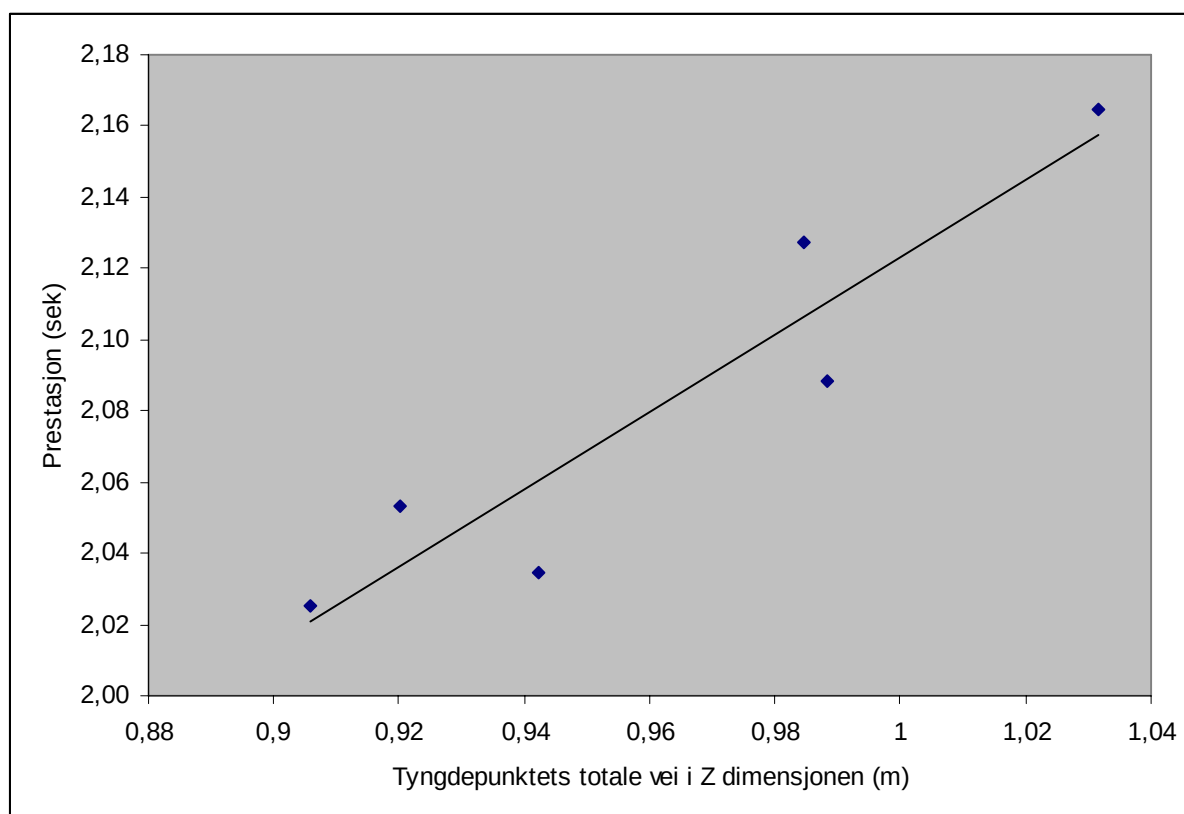
6.4 TP's lengde i Z dimensjonen

Tabell 6.4.1

Oversikt over lengden av tyngdepunktets vei i Z dimensjonen og prestasjon.

Trial	Lengde Z (m)	Tid (sek)
45	0,92	2,05
46	0,91	2,03
47	1,03	2,16
48	0,99	2,09
49	0,98	2,13
55	0,94	2,03
Gjennomsnitt	0,96	2,08
SD	0,05	0,06
Spredning	0,13	0,14
n	6	6

I tabell 6.3.1 er det en oversikt over forholdet mellom prestasjon og lengden av tyngdepunktets vei i Z dimensjonen. Dette er altså hvor mye løperen forflytter seg opp og ned mellom switchene.



Figur 6.4.1

Forholdet mellom prestasjon og lengden av veien kjørt i Z dimensjonen.

I figur 6.4.1 ser man en grafisk fremstilling av forholdet mellom hver enkelt løpers prestasjon og den enkeltes lengde kjørt i Z dimensjonen. Her er det en korrelasjon på $r = 0,95$ ($p < 0,05$).

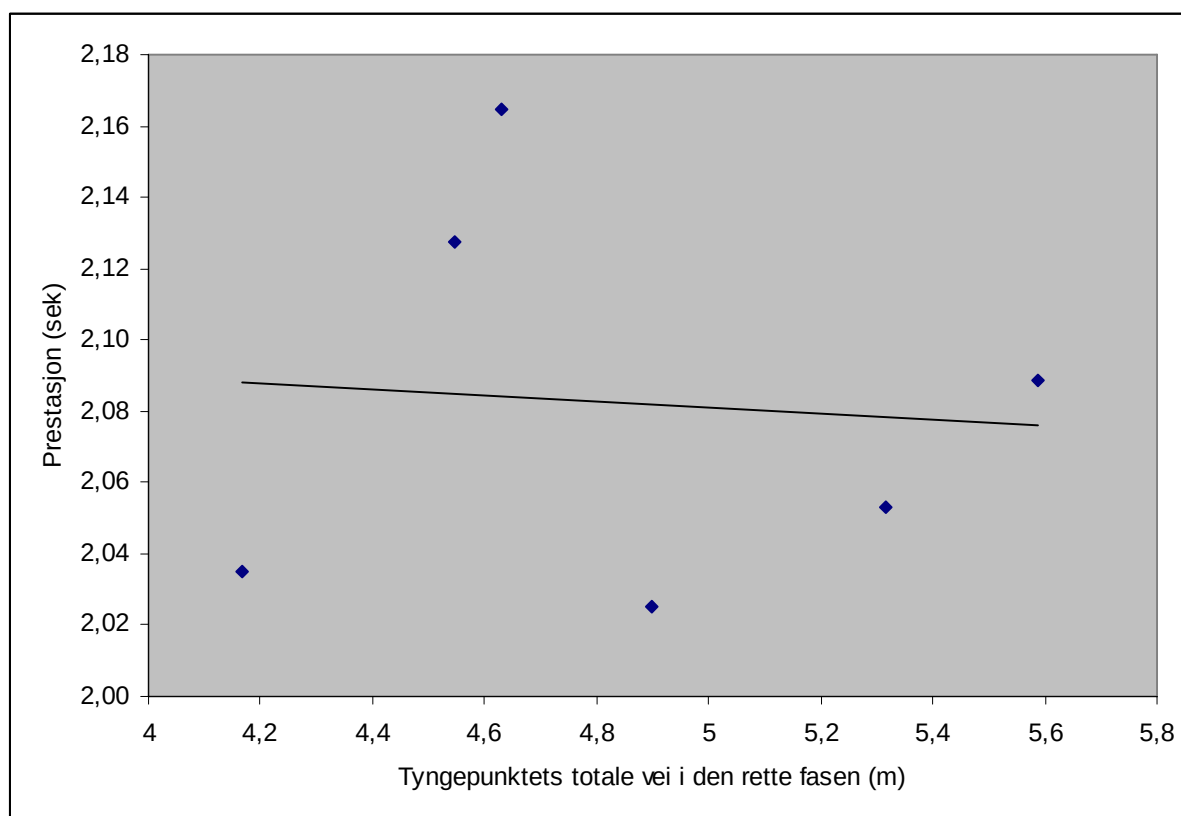
6.5 TP's lengde i den rette fasen

Tabell 6.5.1

Oversikt over hvor langt tyngdepunktet reiser mellom hver port og i gjennomsnitt.

Trial	Port 2 (m)	Port 3 (m)	Gjennomsnitt	Tid (sek)
45	5,24	5,39	5,31	2,05
46	4,75	5,05	4,90	2,03
47	4,91	4,35	4,63	2,16
48	5,70	5,48	5,59	2,09
49	4,80	4,29	4,55	2,13
55	4,06	4,27	4,17	2,03
Gjennomsnitt	4,91	4,81	4,86	2,08
SD	0,54	0,57	0,52	0,06
Spredning	1,63	1,21	1,42	0,14
n	6	6	6	6

Tabell 6.5.1 viser hvor lang vei tyngdepunktet til hver løper kjører rett fram mellom portene 1/ 2 og portene 2/ 3. Den viser også gjennomsnittet av disse to.



Figur 6.5.1

Forholdet mellom lengden av veien reist rett fram og prestasjon.

I figur 6.5.1 ser man en grafisk fremstilling av forholdet mellom lengden av veien tyngdepunktet har kjørt rett frem mellom portene og prestasjon. Korrelasjon er her $r = -0,23$.

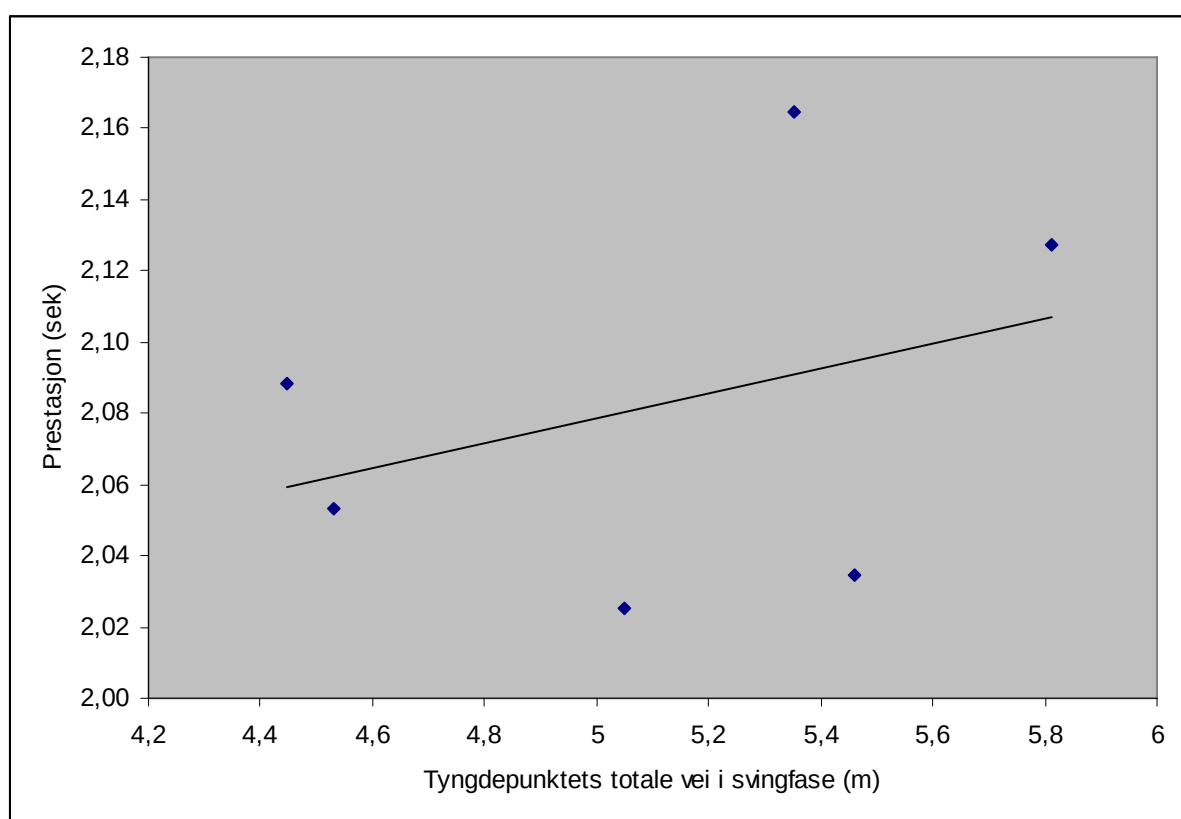
6.6 TP's lengde i sving

Tabell 6.6.1

Oversikt over hvor langt tyngdepunktet reiser i sving.

Trial	Port 2 (m)	Port 3 (m)	Gjennomsnitt	Tid (sek)
45	4,68	4,38	4,53	2,05
46	5,07	5,03	5,05	2,03
47	5,17	5,54	5,35	2,16
48	4,52	4,38	4,45	2,09
49	6,10	5,53	5,81	2,13
55	5,71	5,21	5,46	2,03
Gjennomsnitt	5,21	5,01	5,11	2,08
SD	0,60	0,53	0,54	0,06
Spredning	1,59	1,16	1,37	0,14

Tabell 6.6.1 viser hvor langt tyngdepunktet til hver løper reiser i hver sving og i gjennomsnitt.



Figur 6.6.1

En grafisk fremstilling av forholdet mellom lengden av veien til tyngdepunktet i sving og prestasjon.

I figur 6.6.1 ser man en grafisk fremstilling av forholdet mellom lengden av veien tyngdepunktet har kjørt i gjennomsnitt i sving og prestasjon. Her er det en korrelasjon på $r = 0,50$.

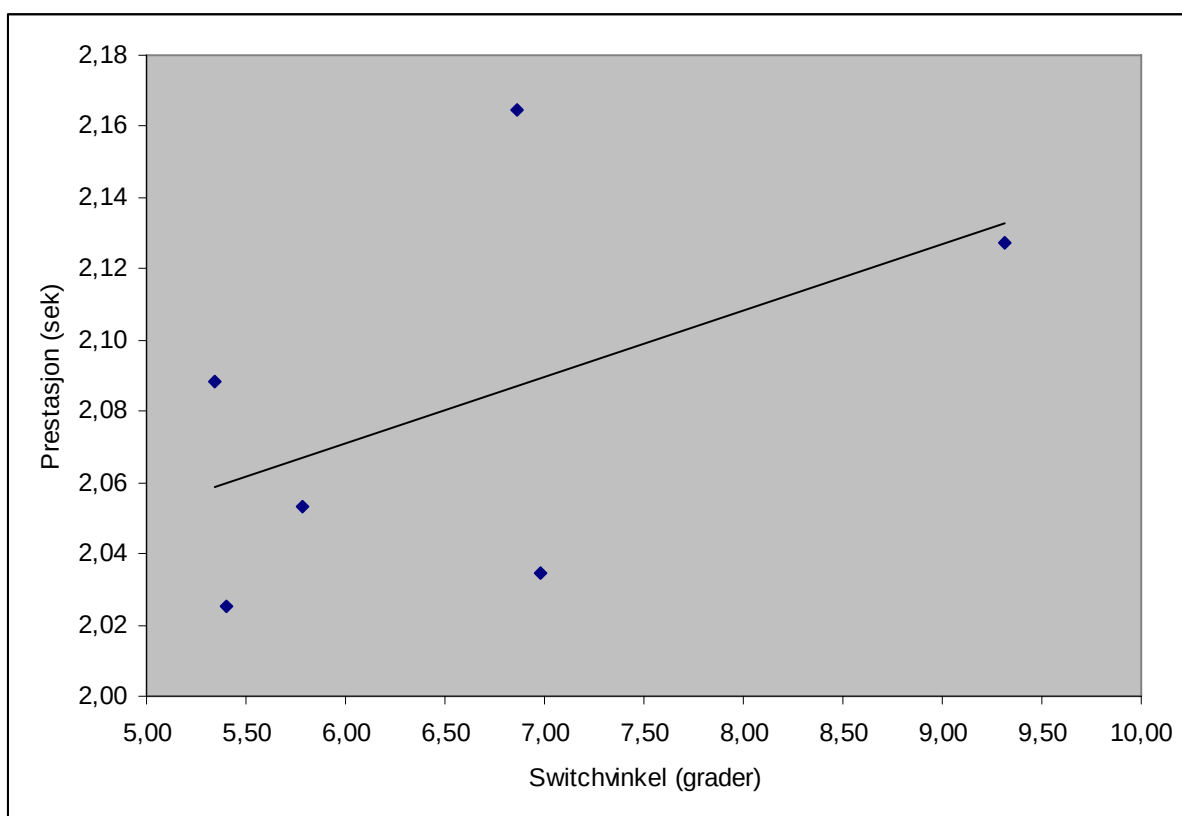
6.7 Switchvinkel (δ)

Tabell 6.7.1

Oversikt over gjennomsnittsvinkelen på tyngdepunktets hastighetsvektor i de ulike switchene.

Trial	Switch (grader)	Tid (sek)
45	5,79	2,05
46	5,40	2,03
47	6,87	2,16
48	5,34	2,09
49	9,32	2,13
55	6,98	2,03
Gjennomsnitt	6,61	2,08
SD	1,49	0,06
Spredning	3,97	0,14

I tabell 6.7.1 ser man en oversikt over de forskjellige switchene og retningen tyngdepunktet har i de ulike i forhold til løypas retning.



Figur 6.7.1

Grafisk fremstilling mellom forholdet switchvinkel og prestasjon.

I figur 6.6.1 ser man en grafisk fremstilling av forholdet mellom løpernes gjennomsnittelige retning av tyngdepunktets hastighetsvektor i switchen og prestasjon. Her er det en korrelasjon

på $r = 0,64$. Denne retningen er altså vinkelen mellom tyngdepunktets hastighetsvektor i forhold til løypas retning.

7.0 DISKUSJON

Innledningsvis i dette kapitlet vil det bli tatt utgangspunkt i de ulike problemstillingene for diskusjonene. Dette for at det skal være en rød tråd gjennom hele besvarelsen. Etter dette vil det bli sett nærmere på de ulike spørsmålene opp mot hverandre da de henger nøye sammen. Dette kapitlet er ment som et bidrag og grunnlag for videre diskusjon.

7.1 Metodens nøyaktighet

For å beregne RMSE ble altså 500 serien av kontrollpunktene brukt siden disse lå i området der løperen befant seg. Feilmarginene i de 3 ulike dimensjoner er for denne undersøkelsen betydelig lavere en tidligere rapportert (RMSE i X, Y og Z dimensjonene var henholdsvis 9,11 og 5 mm.). Nachbauer m. fl (1996) rapporterte 63, 58 og 38 mm feilmargen i X, Y og Z dimensjonen. En mulig årsak til at det er forskjellige dimensjoner hvor feilmarginen er den største, kan være vinklene mellom kameraene og antall kameraer i de ulike forsøkene. Som tidligere beskrevet er en optimal vinkel mellom to kameraer ca 90° (Shapiro, 1978; Wood og Marshall, 1986). Hvilken dimensjon som blir påvirket hvis denne vinkelen er mindre kan være avhengig av om kameraene peker samme vei eller om de peker rett mot hverandre. For å komme lavere ned på denne feilmarginen måtte en nok bruke dyrere kamera med bedre oppløsning eller ha flere kameraer slik at man til enhver tid har god vinkel mellom minst 2 kameraer. Som man kan se i tabellene 6.2.1, 6.3.1, 6.4.1, 6.5.1 og 6.6.1 er standardavvikene på de ulike karakteristikkenes til tyngdepunktet betraktelig større enn 15 mm. Tallene for feilmargen i de 3 ulike dimensjoner antas derfor å være tilfredsstillende for denne undersøkelsen.

Når det gjelder segmentlengder er det et poeng at det ikke ble brukt markører på de ulike leddsentrene. Det er dessuten ikke sikkert at feilmarginen hadde blitt mindre med markører ettersom disse hadde vært eksponert for muligheten for å bli revet av, og muligens at dressen ville endre plass på kroppen som ville ført til at punktene forflyttet seg. Men en eller annen form for markering hadde vært bra, dersom dette ikke hadde forstyrret løperne. Som man ser av resultatene i tabell 6.1.1 var det lårsegmentet som var vanskelig å definere, og da spesielt hoftelddsenter. Tabell 6.2.1 viser altså hvor stort avvik det har blitt digitalisert med i forhold til lengden som ble målt opp av forskningsteamet. Lårsegmentet hadde den største RMSE på 3,1 cm og ut i fra dataene kan man se at dette er fortrinnsvis digitalisert som for kort lengde,

mens leggsegmentet var digitalisert for langt. Men man kan på bakgrunn av disse tallene anta at feilmarginen for segmentlengdeprediksjon er tilfredsstillende.

Som figur 6.1.1 viser er det både systematiske og usystematiske variasjoner i segmentlengdeprediksjoner over tid. Slik informasjon ble brukt som tilbakemelding under digitaliseringen for å minimalisere feilplotting. Det var ikke alle segmenters plotting som så slik ut, men all data ble kontrollsjekket med utgangspunkt i disse variasjonene for å oppdage eventuelle avvik. Gjennom denne metoden var det ønskelig å rette på de største systematiske feilkildene, slik at det nesten var kun usystematiske feilkilder igjen.

7.2 TP's totale vei

Tyngdepunktets totale vei er altså den totale veien som er reist i alle 3 dimensjoner. Som man kan se i tabell 6.2.1 er det en spredning på 0,48 meter i populasjonen. Dette er relativt lite på en strekning som er cirka 25 meter i lengderetningen. Hvis man sammenligner de beste prestasjonene mot den dårligste (tabell 6.2.1) så kjører en av de beste en vei på totalt 25,05 meter mens den dårligste kjører totalt 25,24 meter. Men hvis man også vurderer den andre prestasjonen som er best mot den dårligste så ser man at lengden av veien til tyngdepunktet er 25,24 meter. Altså like lang som den dårligste. Ut fra figur 6.2.1 er det ingen signifikant sammenheng ($r = 0,66$) mellom den totale veien og prestasjon, men man kan se at det er en tendens mellom dem.

Forsøket ble altså gjort i april og temperaturen var relativt høy. Dermed kan snøforholdene bli påvirket ettersom solen varmer snøen opp og gjør den mykere. Dette gjør at snøens evne til å stå i mot kreftene fra løperen blir svekket. Dette betyr at det kan være en fordel å fordele trykket over et større område i en sving. Dette vil si at det kan være gunstig å kjøre en lenger vei ved slike forhold. Trial 45- 49 ble kjørt rett etter hverandre, mens trial 55 ble kjørt cirka 10 minutter senere. Det er vanskelig å si om snøforholdene forandret seg i løpet av disse minuttene, men det kan være en mulig årsaksforklaring. Supej, Nemec og Kugovnik (2005) påpeker i sin undersøkelse at slitasje på løypen påvirker resultatet. I denne situasjonen var trial 55 den tolvte startende. Hvis man tar trial 55 ut av datasettet blir det en sterkere korrelasjon ($r = 0,80$) men den er fortsatt ikke signifikant.

En faktor som ikke blir vurdert i denne utregningen er hvor den største retningsforandringen i en sving kommer i forhold til fallinja. Som beskrevet i avsnittene 3.3.1 og 3.3.4 er de

bremsende kreftene på sitt minste i fallinja. I det en for stor del av retningsforandringen skjer i nedre halvdel (se figur 3.12) vil de bremsende kreftene øke og hastigheten vil avta. Man kan med andre ord kjøre et utrolig kort spor, men ved å gjøre store deler av retningsforandringen i nedre halvdel av svingen vil dette påvirke prestasjonen negativt. Man kjører altså saktere. Og hvor løperne har størst retningsforandring i forhold til fallinja kommer ikke frem i denne analysen. Den analyserte situasjonen er også del av en hel løype og selv om partiet før og etter sekvensen ble stukket rytmisk uten kombinasjoner, kan det være taktiske vurderinger som påvirker sporet som ble kjørt.

7.3 TP's veilengde i Y dimensjonen

For å bryte ned tyngdepunktets totale veilengde kan man se nærmere på de ulike dimensjonene. Y dimensjonen er altså bredderetningen av området som ble kalibrert. Bevegelse i Y dimensjonen blir dermed vurdert ved å se hvor langt ut fra en rett linje mellom switchene tyngdepunktet beveger seg i bredden av løypa. Her er det et gjennomsnitt på 5,74 meter (tabell 6.3.1) mellom løperne og en spredning på 0,14 meter. Hvis man sammenligner de beste prestasjonene med den dårligste, så ser man at trial 46 kjører et spor som er 0,52 meter kortere enn den dårligste. Det vil si at trial 46 kjører et rettere spor enn den dårligste. Men hvis man igjen ser på trial 55, som også er raskest, og hvor lang vei tyngdepunktet reiser i Y dimensjonen (5,78 meter), så er det lenger enn den med dårligst prestasjon (5,75 meter). I figur 6.3.1 ser man korrelasjonen mellom lengden kjørt i Y dimensjonen og prestasjonen. Her er det en korrelasjon på 0,59. Hvis man også her utelater trial 55 av utregningene får man igjen en sterkere korrelasjon ($r = 0,71$, $p < 0,2$), men den er fortsatt ikke signifikant. Igjen er det mulig å se på forholdene, som beskrevet i 7.1, da man skal vurdere ulikhetene. Men uansett er det igjen mulig å se en tendens til at lenger vei gir dårligere prestasjon.

7.4 TP's veilengde i Z dimensjonen

For å se videre på den totale veilengden, blir bevegelsen i Z dimensjonen det som er interessant. Z dimensjonen er som tidligere beskrevet den vertikale dimensjonen normalt til snøens overflate. I tabell 6.4.1 ser man at den gjennomsnittelige veilengden til tyngdepunktet i denne dimensjonen er 0,96 meter med en spredning på 0,13 meter. Hvis man igjen sammenligner de beste mot den dårligste, ser man at trial 46 har 0,13 meter mindre bevegelse enn den dårligste. Og når man også her vurderer trial 55 mot den med dårligst prestasjon ser man at, i motsetning til analysene i 7.2 og 7.3, denne nå er mye nærmere lengden av

bevegelsen til trial 46 enn trial 47. I figur 6.4.1 ser man også at i motsetning til den totale veilengden og Y veilengden er det her en signifikant korrelasjon mellom lengden av tyngdepunktets vei i Z dimensjonen og prestasjon ($r = 0,95$ $p < 0,05$). 0,13 meter kan oppfattes som relativt lite, men regner man det om til prosent kan man få en litt annen forståelse av hvor mye det utgjør på den analyserte strekningen. Hvis man gjør dette viser det seg at den løperen med den dårligste prestasjonen kjører ca 14 % lenger vei i denne dimensjonen enn de beste.

Slik det ser ut i tabell 6.4.1 kan det tyde på at så liten bevegelse i Z dimensjonen som mulig gir bedre prestasjon. Det som kan være viktig å poengtere her er at disse målingene er normalt i forhold til bakken, så man kan ikke trekke noen slutninger i forhold til belastning og avlastning. Men dette sier fortsatt noe relativt om bevegelsen opp og ned. Den med kortest totale veilengde i denne dimensjonen er også en av de med best prestasjon. Det kan være ulike grunner til at bevegelsen i dette planet er av betydning for prestasjonen. En av de mest fremtredende kan være løperens forutsetninger til å justere F_{load} (se kapittel 3.2). Ved å ha en optimal bevegelse i dette planet er det mulig å kontrollere svingstart, der kraftinnsatsen er størst og svingslutt på en mer presis måte enn hvis tyngdepunktet for eksempel går i en for høy bane i inngangen. For hvis tyngdepunktet går for høyt må man vente til det er nede igjen før interaksjonen mellom ski og snø kan starte. Og en slik type tilnærming vanskeliggjør hvor presis man kan være med F_{load} .

7.5 TP's veilengde i den rette fasen

Som nevnt i innledningen er dette den fasen som ble trukket fram som særdeles viktig av ulike trenere. Man hadde en oppfatning av at denne fasen skulle være lang og bratt. Og hvis man ser på gjennomsnittet av tyngdepunktets veilengde mellom de to fasene som er analysert i denne studien ser man at gjennomsnittet ligger på cirka 4,86 meter (tabell 6.5.1) og spredningen på 1,42 meter. Hvis man ser på figur 6.5.1 og ser på korrelasjonen ($r = -0,23$) kan det se ut som om det er ingen sammenheng mellom lengden av denne fasen og prestasjon. Hvis man igjen utelater trial 55 av beregningene får man en mye sterkere korrelasjon ($r = -0,83$, $p < 0,1$).

Men det er et vesentlig poeng som denne analysen ikke vurderer, og det er hvor tyngdepunktet beveger seg i forhold til fallinja i denne fasen. Det er ulike muligheter til hvordan denne fasen kan se ut og at det kanskje ikke nødvendigvis er den som kjører flest

meter som er raskest. Dette må man først og fremst se opp i mot hvor man kjører i forhold til fallinja. Som beskrevet i kapittel 3.3 er det rett ned i fallinja at de bremsende komponentene er på et minimum. Det betyr at man i størst mulig grad må prøve å befinne seg så nærme denne som mulig i den rette fasen. Og hvis man tenker seg en rett linje mellom portene vil det kanskje være denne linjen som er den mest optimale. Fordi denne gir de beste mulighetene til å befinne seg så nærme fallinjen som mulig og samtidig gi best mulig forutsetninger for å få en god inngang til svingen. Men hvis man tar utgangspunkt i en Brachistochrone kurve (Lind og Sanders, 1996) viser denne at en rett linje mellom to porter nødvendigvis ikke er den raskeste. Brachistochrone problemet sier at den optimale banen er krum slik at den er brattest i starten og slakere på slutten. Her er utgangshastigheten 0 og friksjonen vurderes ikke. Men det som er interessant ved en slik tilnærming er at det på mange måter kan si noe om hvordan man kommer inn i den rette fasen og at den ikke nødvendigvis må foregå på oversiden av den rette linjen mellom portene for at det skal gå fort.

7.6 TP's veilengde i sving

Det at selve svingen skulle være så kort som mulig er på mange måter en naturlig konsekvens av at man skal kjøre så lenge som mulig rett fram. I tabell 6.6.1 ser man hvor langt hver løper kjører på hver port og i gjennomsnitt. Gjennomsnittet av begge svingene for hele gruppen er 5,12 meter med en spredning på 1,37 meter. Hvis man sammenligner de beste og den dårligste prestasjonen ser man at trial 46 kjører i gjennomsnitt en sving som er 0,30 meter kortere i lengde enn den med dårligst prestasjon.

Hvis man igjen ser på trial 55 så ser man at lengden på veien kjørt er i gjennomsnitt 5,47 meter. Det er en lenger vei enn den med dårligst prestasjon som hadde en lengde som i gjennomsnitt var 5,36 meter. Igjen kan det være ulike grunner til dette sporet i trial 55 som beskrevet i avsnitt 7.2. Hvis man ser på korrelasjonsanalysen i figur 6.6.1 ser man at det ikke er noen signifikant sammenheng mellom lengden av hvor lang svingfasen er og prestasjon ($r=0,50$). Hvis man utelater trial 55 fra utregningene blir korrelasjonen en god del sterkere ($r=0,79$, $p<0,2$), men det er fortsatt ingen signifikant sammenheng.

7.7 Switchvinkel (δ)

For å vurdere tyngdepunktets veilengde i både switch og sving er det viktig å vite hvilken retning det har mellom svingene. Det kan også være en pekepinn på hvordan fallinja er i forhold til hvor i svingen de ulike momentene foregår. Det vil si at hvis man har en stor vinkel

mellom tyngdepunktets hastighetsvektor i switchen og løypas retning, her representert ved en rett linje mellom port 1 og 2, port 2 og 3, port 3 og 4, kjører man med stor vinkel i forhold til fallinja. Som man kan se i tabell 6.7.1 er det en gjennomsnittsvinkel på $6,61^\circ$. Hvis man sammenligner de beste og den dårligste prestasjonen ser man at den beste har en gjennomsnittlig vinkel på $5,40^\circ$, mens den dårligste har en vinkel som gjennomsnittlig er på $6,87^\circ$. Med bakgrunn i dette kan det se ut som om den med dårligst prestasjon befinner seg mer på tvers av fallinja enn den med best prestasjon. Men når man også her vurderer trial 55 så ser man at denne har en gjennomsnittlig vinkel på $6,98^\circ$. Og ser man på figur 6.7.1 så er det ingen signifikant korrelasjon ($r = 0,64$) mellom switchvinkel og prestasjon. Men det er en tendens til at det er en sammenheng mellom dem. Hvis man igjen utelater trial 55 så får man en korrelasjon på $r = 0,80$ ($p < 0,2$). Det er fortsatt ingen signifikant sammenheng, men tendensen blir markant sterkere. Dette i motsetning til tidligere argumenter sannsynligvis ikke så underlagsavhengig.

7.8 Oppsummerende diskusjon

Disse spørsmålene er på mange måter spennende å se på separat, men det er først når man begynner å se på de i mot hverandre man kan begynne å vurdere hvordan de påvirker hverandre og dermed faktisk vurdere filosofien beskrevet i kapittel 1.0.

Det er ulike måter disse faktorene som er beskrevet i denne oppgaven kan påvirke hverandre på. Noe som kan være en felles påvirkningsfaktor er snøforhold. Dette er en faktor som også er svært skiftende og kan forandre seg fra en omgang til den neste. Filosofien som er beskrevet her baserer seg i stor grad på en kort og stor kraftutvikling i det man skal forandre retning. For at dette skal være det mest hensiktsmessige er underlaget en avgjørende faktor. Hvis snøen ikke er kompakt nok og man teknisk løser de taktiske valgene som om snøen skulle vært kompakt, vil snøen trolig gi etter og det vil påvirke sentripetalakselerasjonen. Dette vil dermed gi en lenger vei i Y dimensjonen, som igjen gir en lenger total vei. Det vil også muligens øke friksjonen mellom ski og snø. Av disse grunnene kan det være fordelsmessig å fordele denne kraften over en lenger strekning for å balansere på grensen av hvor mye snøen er i stand til å stå i mot. Dermed brukes en større del av kraften som løperen utvikler (F_{load}) til å skape større sentripetalakselerasjon. Derfor vil snøens egenskaper være en avgjørende faktor når man som løper og trener skal vurdere taktikk.

Videre i denne diskusjonen vil det bli tatt utgangspunkt i at snøen er kompakt. Som sagt henger momentene som er beskrevet her nøye sammen. I denne undersøkelsen var det en signifikant sammenheng mellom Z dimensjonen og prestasjon. Til dette kan det være ulike

forklaringer, men en forklaring som er nærliggende er hvordan dette påvirker løperens forutsetninger til å skape sentripetalkraft. Ved en for stor heving av tyngdepunktet, det vil si så stor at hele skien ikke lenger er i kontakt med snøen, kan det være vanskelig å skape sentripetalkraft til ønsket tidspunkt. Og hvis denne kraftutviklingen mellom ski og snø skjer for sent vil kanskje hele svingen bli forskjøvet i forhold til det som var ønsket. Og dette kan igjen føre til at en for stor del av kraftutviklingen skjer i nedre halvdel av svingen (se kapittel 3.3.4). Dette er altså den delen av svingen hvor de bremsende komponentene er størst. Hvis svingen blir forskjøvet for langt kan dette føre til at man også trenger en noe lenger vei i den rette fasen for å komme inn slik man vil i svingfasen. Dette er på ingen måter snakk om store feil, men små justeringer som i en full løype kan gi store utslag hvis man ofte ligger forskjøvet i forhold til det optimale. Derfor kan det bli feil å se på hvor mange meter man kjører i den rette fasen. Det som blir avgjørende er å se dette i sammenheng med fallinja. Eller hvilken vinkel den rette fasen foregår i forhold til løypas generelle retning. I denne undersøkelsen er det ingen signifikant sammenheng mellom retningen på den rette fasen og prestasjon. Men med en relativt høy korrelasjonskoeffisient ($r = 0,64$) mellom switchvinkelen og prestasjon kan det se ut som om at den rette fasen er av den betydning som filosofien beskrevet i kapittel 1.0 mener at den er. Og utelater man trial 55 av beregningene støtter funnene i denne undersøkelsen filosofien i enda større grad ($r = 0,80$, $p < 0,2$). Men på den annen side kommer det også frem i denne undersøkelsen at dette ikke nødvendigvis er den eneste løsningen for å kjøre fort på ski på grunn av trial 55.

Men i de fleste spørsmålene undersøkt i denne studien kan man se en tendens som støtter de ulike momentene som denne filosofien trekker frem som viktige for å kjøre fort i alpint. Men det er mange faktorer som spiller inn for en god prestasjon. I denne undersøkelsen så er prestasjonsforskjellen mellom den beste og dårligste relativt stor. 0,14 sekunders forskjell på et så kort område som dette forsøket foregikk, kan ikke beskrives som annet en stort. Dette kan det jo være mange ulike grunner til, men sett i lys av spørsmålene som er undersøkt i denne studien er det først og fremst tyngdepunktets bevegelse opp og ned som er av avgjørende betydning. Dette er også det som kan kalles snøkontakt. Det vil si at det hele tiden er en spenning mellom tyngdepunktet og skiene. Denne spenningen kan opphøre ved at tyngdepunktet hever seg for mye i forhold til snøen eller at reaksjonskraften fra snøen på tyngdepunktet går på innsiden av benet som står på ytterski. Dette vil presse skien vekk fra kroppen, og man mister kontakt med skien. Resultatet av disse to er i hovedsak det samme; man mister muligheten til å utføre den svingbuen man vil, både med tanke på radiusen på

svingen og hvor den største kraftinnsatsen kommer i forhold til fallinjen eller hvor det er mest optimalt.

Det er også mulig å se en tendens i forholdet mellom sving og rett fase. Filosofien som ligger til grunn for denne studien bygger som sagt på at det er gunstig å ha en så lang rett fase som mulig. En naturlig konsekvens av dette er at svingfasen må være kortere. Og det vil altså bety at en betydelig større kraftinnsats må til over en kortere periode. Dette er det altså mulig å se en tendens til i denne undersøkelsen. Og hvis man vurderer forholdene undersøkelsen ble gjort på, så kan man spekulere om korrelasjonen hadde vært større ved hardere underlag. Men det som er interessant er at trial 55 kjører så lang vei, rundt spor, lang svingfase og kort rett fase at det er større likhetstrekk mellom den og den dårligste prestasjonen enn trial 46. En mulig forklaring på dette er at denne løperen rett og slett kunne kjøre renere svinger enn de andre på grunn av at han kjørte lenger vei, rundere spor, lenger svingfase og kortere rett fase. Og av denne grunn er det tydelig at det er flere måter å løse det taktiske teknisk på. En annen mulig årsaksforklaring er at løypen blir dårligere etter hvert, det vil si at løypa slites etter hver løper (Supej, Nemec og Kugovnik, 2005). Hvis alle søker den samme korte linjen kan det spekuleres i om det er gunstig å legge linjen litt rundere for å kjøre der snøforholdene er bedre hvis man har sent startnummer.

Funnene i denne undersøkelsen støtter altså filosofien som danner bakgrunnen for denne analysen. På den annen side viser også funnene i denne undersøkelsen at det ikke er bare en løsning for å kjøre fort på ski. Man må ha det tekniske og taktiske repertoaret slik at man kan tilpasse seg ulike forhold. Det vil si at man må evne å kunne kjøre en lenger vei hvis forholdene tilsier det, men dette er jo naturlig nok en vurdering som må gjøres fra dag til dag og fra omgang til omgang. Og hvis man ikke er bevisst på dette kan dette påvirke prestasjonen.

7.9 Veien videre

Da det gjelder videre arbeid innenfor området er det først og fremst spennende å se nærmere på hva som foregår i Z dimensjonen. I denne undersøkelsen ble det veilengden i denne dimensjonen vurdert normalt mot underlaget. Det som vil være det neste steget vil være å se på denne bevegelsen i forhold til skiene eller for eksempel anklene. På denne måten kunne man vurdere belastning og avlastning på en mer operasjonell måte. Det vil også være interessant å se nærmere på switchvinkel og svingfase i forhold til fallinja. Igjen vil dette

kunne gi operasjonell informasjon til trenere. Denne undersøkelsen er gjort i SL og i middels bratt terreng. Det ville derfor også vært spennende å se på andre disipliner og andre terrengtyper.

Da det gjelder videre arbeid med metoden er den ikke i sin nåværende form et verktøy som kan brukes i treningsarbeidet. Til det er den alt for tidkrevende, men hvis den på sikt kan reduseres betraktelig i tid kan den være et verdifullt verktøy for trenere. Her kan det tenkes at antallet punkter kunne reduseres, både på løper og for kalibrering. Det kunne også være fordelaktig å ha en form for merking på løperne på leddsentrene. Dette for å gjøre digitaliseringsarbeidet lettere og mer nøyaktig.

8.0 KONKLUSJON

1) Er en 3 dimensjonal kinematisk analyse i feltet nøyaktig nok til å si noe om egenskaper av tyngdepunktets bane?

Med bakgrunn i de resultatene som kom frem i denne undersøkelsen kan det peke i retning av at en 3 dimensjonal kinematisk analyse er nøyaktig nok til å vurdere de momentene som er beskrevet i denne besvarelsen.

2) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av vei tyngdepunktet tar totalt?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 ville man altså anta at prestasjonen er avhengig av lengden av den totale veien kjørt. I situasjonen som er analysert her er det ingen signifikant sammenheng mellom disse, men det er mulig å se en tendens. Det må videre studier til for å kunne generalisere i større grad. Det er derfor ikke mulig å forkaste noen av hypotesene her.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde og prestasjon målt i tid.

3) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden kjørt i Y dimensjonen?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 skulle man forvente at prestasjonen er avhengig av veilengden kjørt i Y dimensjonen. I denne undersøkelsen er det ikke avdekket noe signifikant forhold mellom disse. Men også her er det mulig å se en tendens til at lengden av veien kjørt i y dimensjonen har positiv påvirkning på prestasjonen. Men på bakgrunn av resultatene i denne undersøkelsen er det ikke mulig å forkaste noen av hypotesene.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i Y dimensjonen og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p = 0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde og prestasjon målt i tid.

4) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av veien kjørt i Z dimensjonen?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at prestasjonen er avhengig av lengden av veien kjørt i Z dimensjonen. I denne undersøkelsen er det avdekket en signifikant sammenheng mellom lengden kjørt og prestasjon i denne dimensjonen. Det er derfor mulig å forkaste H^0 .

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i Z dimensjonen og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets totale veilengde i Z dimensjonen og prestasjon målt i tid.

5) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av vei kjørt i den rette fasen mellom portene? Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 ville man anta at prestasjonen er avhengig av lengden av veien kjørt i den rette fasen mellom portene. I denne undersøkelsen er det ikke avdekket noen signifikant sammenheng eller tendens mellom disse. Av den grunn er det ikke mulig å forkaste hypotesene.

H^1 : det er en signifikant og negativ korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i den rette fasen mellom portene og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og negativ ($p=0,05$) korrelasjon mellom tyngdepunktets veilengde i den rette fasen mellom portene og prestasjon målt i tid.

6) Er det sammenheng mellom prestasjon og lengden av vei kjørt i sving?

Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 ville man anta at prestasjonen er avhengig av lengden av veien kjørt i svingfasen. I denne undersøkelsen er det ingen signifikant sammenheng mellom disse. Det er også lite tegn på at det er en tendens mellom dem. Det går derfor ikke an å forkaste noen av hypotesene under.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i svingfasen og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets veilengde i svingfasen og prestasjon målt i tid.

7) Er det sammenheng mellom prestasjon og retningen på tyngdepunktets hastighetsvektor i switchen? Med bakgrunn i filosofien som er beskrevet i kapittel 1.0 vil man anta at prestasjonen er avhengig av vinkelen mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og løypas fartsretning.

H^1 : det er en signifikant og positiv korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og løypas fartsretning og prestasjon målt i tid.

H^0 : det er ikke en signifikant og positiv korrelasjon ($p=0,05$) mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og løypas fartsretning og prestasjon målt i tid.

Har man ved hjelp av disse forskningsspørsmålene klart å redegjøre for oppgavens problemstilling som var:

Kan en ved hjelp av en 3 dimensjonal kinematisk analyse beskrive tyngdepunktsbanen til SL-løpere nøyaktig nok til å belyse viktige prestasjonskarakteristika til tyngdepunktsbanen?

Ut ifra dataene som foreligger i denne undersøkelsen kan man si at en 3 dimensjonal kinematisk analyse kan belyse momentene som man var ute etter å undersøke. Da det gjelder filosofiens betydning for prestasjonen kan resultatene i denne undersøkelsen peke i retning av at momentene som filosofien trekker fram som viktig er av betydning for prestasjonen. Men det er for lite grunnlag til å trekke generelle konklusjoner. For å generalisere trengs det mer arbeid og forskning på området

9.0 REFERANSELISTE

Brown, C. A., Outwater, J. O., (1989). On the skiability of snow. In: Johnson, R. J., Mote, C. D., Binet, M. (Eds.), *Skiing Trauma and Safety: Seventh International Symposium*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. 329- 336.

Chen, L., Armstrong, C.W., Raftopoulos, D.D.(1994) *An investigation on the accuracy of three- dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique*. J. Biomechanics 27

Federolf, P., (2005). *Finite element simulation of a carving snow ski*. Unpublished doctoral dissertation, Swiss Federal Institute of Technology Zurich.

Hellevik, O.,(2002) *Forskningsmetode i sosiologi og statsvitenskap*, 7. utgave Universitetsforlaget, Oslo

Hirano, Y., Tada, N., (1996). *Numerical simulation of a turning alpine ski during recreational skiing*. Medicine and Science i Sports and Exercise 28. 1209- 1213.

Howe, J.(2001) *The new skiing mechanics*
McIntire Publishing, Waterford

Joubert, Georges & Vuarnet, Jean (1967) *How to ski the new French way*.
The Dial Press, Inc. New York

Knünz, B., Nachbauer, W., Mössner, M., Schindelwig, K., Brunner, F. (2000, juli). *Track analysis of giant slalom turns of world cup racers*. Presentert i 5th Annual Congress of the European College of Sport Science, Jyväskylä, Finland.

LeMaster, Ron (1999) *The skier`s edge*.
Human Kinetics. Champaign IL

Lieu, D. K., Mote, C. D., (1985). *Mechanics of the turning snow ski*. In: Johnson, R. J., Mote, C. D. (Eds.), *Skiing Trauma and Safety: Fifth International Symposium*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia. 117- 140.

Lind, D., Sanders, S.P.(1996) *The physics of skiing, skiing at the triple point*
United Book Press, Inc., Baltimore

Nachbauer, Werner (1987) *Skiing line and ground reaction forces of ski racers over various distances between gates* i Spektrum der Sportwissenschaften ÖBV Wien 1987

Nachbauer. Werner, Kaps. Peter, Nigg. Benno, Brunner. Fritz, Lutz. Alexander, Obkircher. Günter, Mössner. Martin (1996) *A video technique for obtaining 3-D coordinates in Alpine Skiing* in Journal of applied biomechanics 12. Human Kinetics Publishers, Inc. 104- 115.

Pourcelot. Philippe, Audigie. Fabrice, Degueurce. Christophe, Geiger. Didier, Denoix. Jean Marie (2000) *A method to synchronise cameras using the direct linear transformation technique*, Journal Of Biomechanics (2000).
Elsevier Science Ltd.

Pozzo, R, Canclini, A., Cotelli, C., Baroni G. (2001) *3 D kinematic analysis of slalom in elite skiers at the Bormio world cup ski finals 2000* .Presentert i Book of abstracts fra 6th annual congress of the European college of sport science
Sport und Buch Strauss GnbH

Reid, R., Tjørhom, H., Moger, T., Haugen, P., Kipp, R., Smith, G.(2007) *Accuracy of 3d position prediction over a large object space using pan and tilt cameras*. Presentert i 5th Annual Congress of the European College of Sport Science, Jyväskylä, Finland.

Rønningen, J.E, (2002) *Aerodynamikk, stabilitet og baneanalyse*
Rocket Tech Consult

Schiefermuller, C., Lindinger, S., Raschner, C., Müller, E., (2005). *The skier's center of gravity as a valid point in movement analyses using different reference systems*. In: Müller, E., Bacharach, D., Klika, R., Lindinger, S., Schwameder, H. (Eds.), *Science and Skiing III*. Meyer & Meyer Sport, Oxford

Shapiro, R.(1978). *Direct linear transformation method for three- dimensional cinematography*. Research Quarterly, 49, 197- 205.

Supej, M., Nemec, B., Kugovnik, O.(2005). *Changing conditions on the slalom ski course affect competitors' performance*. Kinesiology 37. 151- 158.

Tada, N., Hirano, Y., (2002). *In search of the mechanics of a turning alpine ski using snow cutting force measurements*. Sports Engineering 5. Blackwell Science Ltd. 15-22.

Shapiro, R.(1978) *Direct linear transformation method for three- dimensional cinematography*, Research Quarterly 49. 197- 205.

Wimmer, A., (2001). *Kinetische und kinematische Analyse von Schwüngen im alpine Skilauf*. Unpublished master's thesis, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.

Wood, G.A., Marshall, R.N.(1986) *The accuracy of DLT extrapolation in three- dimensional film analysis*. Journal of Biomechanics 19. 781- 785.

Zatsiorsky, V.M., (2002) *Kinetics of human motion*
Human Kinetics,Inc. Champaign

Internett:

www.fis-ski.com

www.ronlemaster.com

www.anatomy.tv