

Øyvind A. Arntzen Toftegaard

Langrenn - modifisering av fristil teknikk under konkurranse

En kinematisk sammenligning av fristil teknikkene V1 og V2 ved selvstendig teknikkvalg i motbakke

Masteroppgave i idrettsvitenskap
Seksjon for fysisk prestasjonsevne
Norges idrettshøgskole, 2010

Sammendrag

Innenfor skøytedisiplinen brukes i hovedsak to teknikker i moderat motbakke: V1 (padling) og V2 (dobbeldans). Utøvere virker å velge teknikk fritt ut fra egen følelse om styrke, utholdenhet, løypestruktur og føreforhold, uten å vite hva som er mest effektivt. I tillegg er det påvist at ved rulleskiaktivitet i ca 5 grader motbakke går eliteutøvere V1 og V2 med tilnærmet samme arbeidsøkonomi (Kvamme et al; 2005). Dette gjør det interessant å undersøke nærmere de faktorer som kan ligge til grunn for valg av teknikk.

Hensikten med case studien var å undersøke hvordan utvalgte kinematiske faktorer skiller V1 fra V2 ved selvstendig teknikkvalg i samme motbakke under like konkurranseforhold. 4 deltagere av åpningsrennet på Beitostølen 24.11.2007 (FIS friteknikk, 15 km menn), ble filmet i en 6,5° motbakke. Løypa var på 3x5 km og analysen omfatter 1. og 3. passering hvorav samtlige utøvere passerte med rekkefølgen V2 og V1. I metoden benyttes Direct linear transformation (DLT) for 3D rekonstruksjon ved hjelp av opptak fra 5 kameraer. Skiløperne ble digitalisert ved hjelp av en spesial utviklet software for MATLAB versjon R2006b (The Mathworks, Inc., Natick, USA) som opprinnelig var designet for et annet prosjekt (Reid, 2010).

Syklushastigheten var i gjennomsnitt 0,22 m/s raskere ved bruk av V2 teknikken enn ved bruk av V1 teknikken. Om dette var en konsekvens av teknikkvalg eller utmattelse (da V1 ble benyttet senere i konkurransen) er uvisst. Ved V1 benyttes en mer lateralt orientert og kantvinklet ski enn ved V2, hvilket tillater større krefter i fraskyvet for foten. Sånn sett kan V1 teknikken virke som en avlastningsteknikk for overkroppen og kan således være et fornuftig valg idet trettheten hos utøveren øker. Massesenterets hastighet varierte i gjennomsnittlig med 0,44 m/s for V2 og med 0,37 m/s for V1. Hastighetsvektoren for massemiddepunktet var gjennomsnittlig på 8,76° for V2 og 5,78° for V1. Stigningen i potensiell energi er jevnere gjennom syklusen for V1 teknikken enn for V2 teknikken. Dette kan være et tegn på at mer av energien ved bruk av V1 går til tyngepunktsforflytning i løypeplanet, mens muligens tilsvarende, mer av energien ved V2 går til stegvis tyngdepunktsforflytning i vertikalen.

Nøkkelord: Langrenn, Skøyting, Padling, dobbeldans, DLT.

Innhold

Sammendrag	3
Innhold.....	4
Forord	7
1.0 Innledning	8
2.0 Teori.....	11
2.1 Karakteristikk av utstyret	11
2.2 Krefter som virker på løperen	13
Fremdriftskrefter	13
Bremsende krefter	15
2.3 Teknikkene.....	16
Padleteknikk V1	17
Dobbeldansteknikk V2.....	17
Bruk av teknikkene	20
2.4 Nærliggende forskning på emnet.....	20
Skiskøyting i motbakke.....	20
Strekk-forkortnings syklus og hastighetsvariasjoner av massesenteret	23
2.5 Motbakkens betydning for utøveren	24
2.6 Metodisk bakgrunn	25
Bruk av Direct Linear Transformation (DLT) metode i bevegelsesanalyse	25
Kamera kalibrering	26
Punkt rekonstruksjon.....	27
Kamerasynkronisering	28
Nøyaktighet.....	32
Bevegelsesanalysemetoder i langrenn.....	35
2.7 Sammendrag	36
3.0 Problemstilling	38
3.1 Avgrensinger og definisjoner for problemstillingen	38
3.2 Forventede resultater	39
4.0 Metode	40
4.1 Valg av metode	40
Tidligere prosjekter	40
Metodevalget.....	41
4.2 Valg av design.....	42

4.3 Forsøkspersoner	42
Ethiske forhold	43
4.4 Datainnsamling.....	46
Løype og forhold.....	46
Kontrollpunktoppsett	46
Kameraoppsett	46
4.5 Dataanalyse.....	50
Klargjøring av videomateriale for analyse i matlab	50
Tilpassing av custom software for MATLAB	50
Bruk av DLT i custom softwaren.....	51
Synkronisering av kameraene	51
Feilkilder og begrensninger	53
Definering av start og stopp for V1 og V2 syklusene.....	55
Rekonstruksjon av snøens overflate.....	57
Utøvermodellene.....	57
Signalbehandling.....	61
Koordinatsystemer	62
Analysefaktorer	63
5.1 Beskrivende statistikk.....	65
Syklushastighet, rate, tid og lengde.....	65
Utvalgte kinematiske variabler	65
Variabler vedrørende COM	66
5.2 Figurskildringer	70
Skikarakteristikker	70
Stavkarakteristikker	76
COM karakteristikker	79
Vinkler kne og overkropp	83
Mekanisk energi.....	86
6.1 Syklushastighet, rate, tid og lengde	88
Syklushastighet	88
Syklusrate.....	88
Syklustid	89
Sykluslengde	89
6.2 Skikarakteristikker	90
Skivinkler.....	90
Kanting av ski	90
Skihastighetsforandringer	91
Skihøyde over bakken.....	92
6.3 Stavkarakteristikker	93
Stavorientering.....	93
Stavvinkel	94
6.4 COM karakteristikker	94
COM hastighet	94
COM posisjon	95
COM hastighetsvektor	96
6.5 Vinkler kne og overkropp.....	97
Overkroppsvinkel.....	97

Knevinkler.....	98
6.6 Mekanisk energi	99
Potensiell energi.....	99
Kinetisk energi.....	100
6.7 Teknikkvalget	100
6.7 Utøvernes perspektiv.....	101
Hva sier utøverne	101
Utøvernes frie teknikkvalg.....	101
6.8 Forslag til videre studier.....	102
Praktiske hensyn	102
Andre analysefaktorer av interesse	102
6.9 For fremtiden.....	103
7.0 Konklusjon	104
Referanser	106
Tabelloversikt.....	111
Figuroversikt	112
Forkortelser.....	114

Forord

Først og fremst vil jeg uttrykke min takknemlighet til Robert Reid som til alle menneskelige (og umenneskelige) tider har vært tilgjengelig for spørsmål, møter, veiledning og støtte. Denne masteroppgaven er basert på hans teknikkanalysover software og jeg vet at han har lagt ned et kjempearbeid i dette prosjektet for at det til slutt skulle bli realisert. Alt dette har han gjort med en brennende interesse og utrettelighet over de 2,5 årene det har tatt å fullføre denne oppgaven.

Jeg vil også sende en stor takk til Gerald Smith som har fulgt med på prosjektet i 2,5 år fra andre siden av Atlanteren. Det har ikke alltid vært like stor fremgang med prosjektet og jeg er svært glad for tilbakemeldingene og den entusiasmen jeg ble besvart med hver gang nye resultater var på plass.

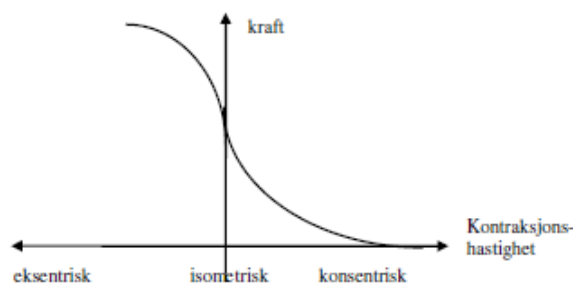
Videre vil jeg også takke de andre som har hjulpet med denne oppgaven på ulike måter. Vidar Jacobsen har vært meget behjelpelig rundt videokonvertering, anskaffelse av data i forbindelse med Beitostølen prosjektet og muliggjøring av tilgang for meg til bevegelsesanalyselaboratoriet 24 timer i døgnet (hvilket var nødvendig da jeg jobbet dagtid på treningssenter). Matthias Gilgien har også vært meget behjelpelig med å stille opp når svar trengtes. Gerald, Vidar og Matthias var også en del av teamet som utførte selve videoopptaksjobben som foregikk på Beitostølen og som denne oppgaven bygger på.

Til slutt vil jeg også få takke min bror Lars Amund Toftegaard som jeg alltid kunne ringe for kjappe spørsmål om teknikkoppfatninger og utstyrsfunksjonalitet med mer. Hans hjelpsomhet og posisjon som aktiv utøver i langrennsmiljøet har vært til stor hjelp. Jeg vil også takke min kjæreste Marzena for støtten under den harde innspurten mot innlevering av oppgaven.

Opgaven har tatt 2,5 år å fullføre hvorav hovedgrunnen til forsinkelsen må sies å være en 100% daglig lederstilling over 2 år på et treningssenter. I tillegg har disse 2,5 årene fulgt med seg en klatring fra nybegynnernivå i Boogie Woogie swingdans, til aktiv dansing med rekruttlandslagsplass og internasjonale konkurranser. Jeg har hatt 2,5 ekstremt hektiske år, men har lært utrolig mye. Ikke bare faglig men også om menneskelige relasjoner.

1.0 Innledning

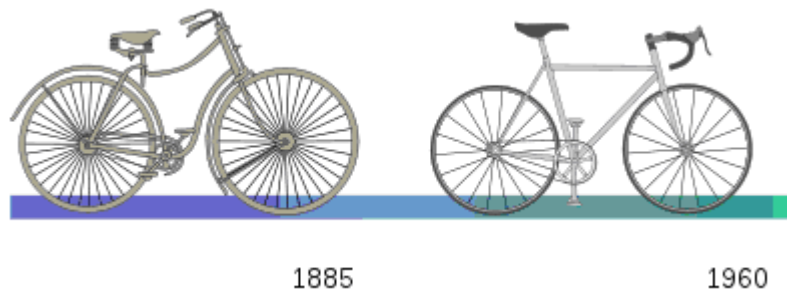
Siden skøyteteknikken (friteknikk) for alvor ble introdusert rundt starten av 1980-tallet har prestasjonene i langrenn blitt forbedret betydelig, selv om de fysiologiske variablene til skiløperne ikke har forandret seg vesentlig. Det gjelder eksempelvis for hjertefrekvens ved maksimal hastighet som er lik for både diagonalgang og skøyting, men likevel kan den som skøyter bevege seg 11-14% raskere enn den som bruker klassisk teknikk (Boulay, Rundell & King, 1994). Stort sett er det de samme muskelgruppene som arbeider i klassisk langrenn og i skøyting, men belastningsforholdet varierer. I og med at musklene i overveiende grad kan arbeide ved lavere kontraksjonshastigheter ved skøyting, øker mulighetene til å skape en større muskelkraft (Skard, 1986). Skard fremhever impulsen (Kraft * tid) som den avgjørende faktoren for skøyteteknikkens suksess. At en kan utvikle mer kraft ved lavere kontraksjonshastighet fremkommer også av Hills kurve:



Figur 1.1: Hills kurve, viser forholdet mellom kontraksjonshastighet i muskulatur og kraftutvikling (Tønnesen, u.å.). Etersom kontraksjonshastigheten øker, synker kraftutviklingen, i motsatt fall øker kraftutviklingen når kontraksjonshastigheten synker.

Skøyteteknikken for langrenn har vært og er fortsatt i utvikling siden inntoget på 80-tallet. Gjennomsnittstiden til vinneren på de lengste fridistansene i OL og VM fra 1985-1997 har sunket tilnærmet jevnt (Nordbø, 1999). Det er heller ingen tvil om at skøyteteknikken fortsatt er i utvikling. Dersom en kikker over på sykkelporten og dens

utvikling, ser en at fortsatt har ikke forskningen funnet svar på alle sentrale teknikkspørsmål. Dette selv om syklistene har ført pedalene rundt en relativt identisk krank i mer enn et århundre (Figur 1.2).



Figur 1.2: *Utvikling av sykkelen fra slutten av 1800 tallet og mot i dag*

Usikkerheten rundt årsaken til at selvvalgt tråkkfrekvens ligger høyere hos elitesyklister enn hva som er målt å være mest arbeidsøkonomisk er ett eksempel. I sykkelmiljøet forskes det i denne sammenheng blant annet på teorier om at evolusjonen står ansvarlig for syklusrytmer, gjennom såkalte central pattern generators (Hansen & Ohnstad, 2007). Gange er et eksempel på en teknikk som sannsynligvis gjennom evolusjon, via utvikling av refleksbuer i ryggmargen, synes å ha blitt en refleksstyrt bevegelse og i dag fremtrer som medfødt med en tilnærmet optimal syklus. Tråkksyklusen for sykkel er derimot ikke påvirket evolusjonsmessig over tid i samme grad, og dette ansees å kunne være en årsak til at selvvalgt tråkkfrekvens ikke er optimalisert arbeidsøkonomisk slik som teknikken ved gange ser ut til å være. Overfører en dette til langrenn og den tilsynelatende langt mer komplekse skøyteteknikken, gjenstår det med andre ord mange innfallsvinkler og muligheter for undersøkelsesarbeid for langrennsforskere innenfor flere aspekter av teknikkanalysen, både fysiologisk og biomekanisk. Også mye teknikkutvikling for utøverne gjenstår før den unge skøyteteknikken kan sies å være så godt som fullt utforsket.

Både tidligere og den dag i dag er mye av langrennsforskningen konsentrert rundt forsering av motbakker. Dette er kjent som en meget kritisk del av konkurransen og det er ofte i motbakkene det er størst skilnader mellom hastigheten hos de beste og de som

kommer lengre ned på resultatlistene. Dette tatt i betraktning vil søken etter teknikkforbedring hovedsakelig ligge rundt motbaketemaet også for utøvere. Tradisjonelt har V1 (padleteknikk) vært sett på som en hovedteknikk for motbakke og vært målskive for forskningen, men i de senere år har V2 (dobbeldans) vist seg å bli brukt i mer og mer utstrakt grad i moderate og/eller kortere motbakker.

Torvik (2005) skriver i sitt hefte om langrennsteknikk at teknikkutvikling skjer på utøvernivå. Trenere og vitenskapen kommer ofte i ettertid og beskriver hva som er mest hensiktsmessig med bakgrunn i hvordan de beste går. Torvik advarer videre mot å blindt kopiere teknikken til de beste utøverne og å bruke disse som mal. Teknikkvurderingen bør også omhandle hvor godt den enkelte utøver føler at teknikken fungerer og i tillegg hvor godt den faktisk fungerer for den individuelle utøveren.

Alt dette tatt i betraktning kan det være en fornuftig innfallsvinkel å forsøke å belyse så mange aspekter av teknikken som mulig. Dette kan være med på å bedre forståelsen rundt utøvernes individuelle teknikkvalg. I tillegg bør en ha de fysiologiske og mekaniske aspektene klart for seg. At mekaniske aspekter kan ha stor betydning for teknikkutvikling kan en se av overgangen til klappskøyter i skøytesporten på is som skjedde på slutten av 90 tallet hvilket resulterte i et ras av rekorder de neste årene. Likeså overgangen til carving ski som skjedde i alpinsporten rundt samme tidsrommet. Ved utvikling av nye bevegelsesmåter er det mye å ta hensyn til. Teori og praksis kan og bør gå hånd i hånd og nye viktige epoker innenfor flere ulike idretter, da også skøyting i langrenn, vil med stor sikkerhet komme.

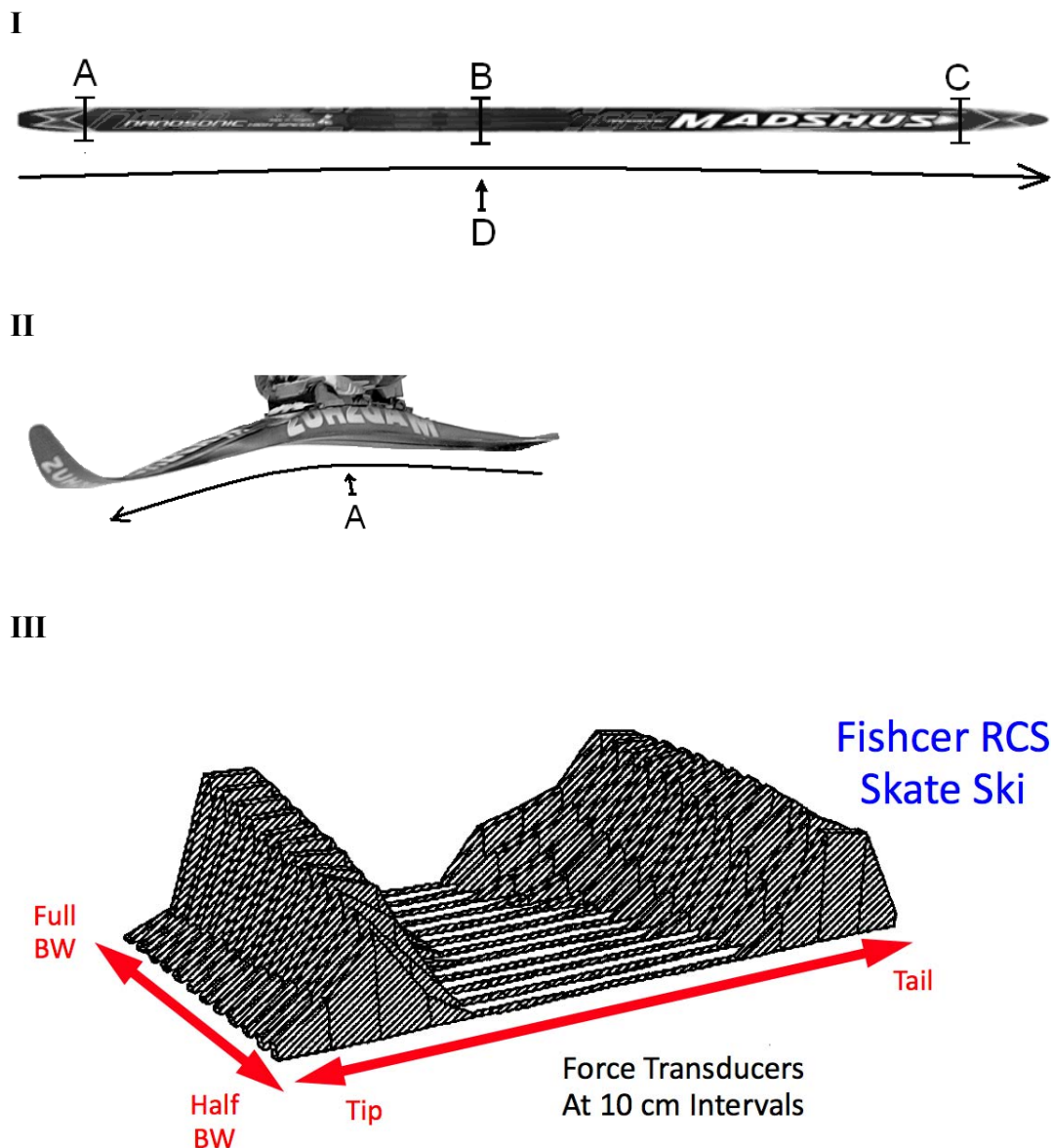
2.0 Teori

2.1 Karakteristikk av utstyret

Innenfor skøytedisiplinen i langrenn har utstyret vært noe i endring helt siden ski skøytingen (fristil) ble introdusert. Skiene har blitt lengre i forhold til utøverens høyde og stavene har blitt lengre. Lengre ski hevdes å ha sammenheng med at en lengre ski glir bedre og lengre staver kommer av at en får bedre fraskyv ved å kunne henge mer på stavene. I tillegg er det kontinuerlig utvikling av selve skien når det kommer til byggemateriale og utforming og dette kan også være med på å bestemme teknikken.

Med hensyn til utforming av skien opereres det med ulike grader av innsving ut i fra snøforholdene (Figur 2.1 I). Vet myk snø brukes det minimalt med innsving for å oppnå bedre flyt på snøen og ved harde og isete forhold brukes det mer innsving for å lette styringen av skien. I tillegg brukes det gjerne stivere ski ved harde og isete forhold for å oppnå best mulig stabilitet. En skøyteski er stivere enn en klassisk ski for både å oppnå minst mulig vridning av skien i frasparket (vridningsstivhet, Figur 2.1 II), men også for å gjøre skien mer retningsstabil (spenn i skien). Spennet i en skøyteski skiller seg fra det i en klassisk ski ved at midtpartiet av skien ikke tar nedi bakken på flatt underlag slik en klassisk ski er nødt til for å få kontakt med festesmurningen. På denne måten blir skien lettere å manøvrere også i frasparkfasen (Figur 2.1 III).

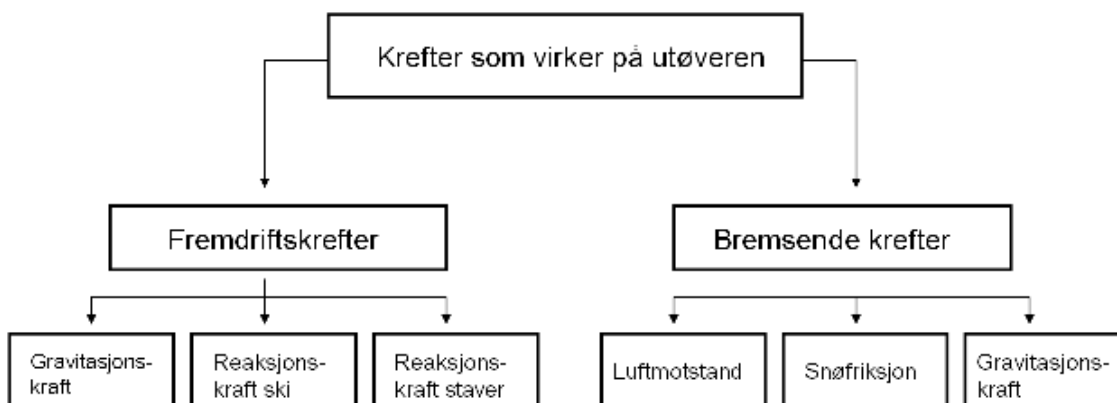
Når det gjelder utstyr og utvikling av skøyteteknikken skal en ikke se bort i fra at utstyret kan være med å spille en rolle for teknikkvalg ettersom utstyret stadig forbedres. Bedre kontroll og stabilitet på ski fører til bedre balanse og det er sannsynlig at en da kan få en mer nøyaktig retning på kreftene en påfører skien og at utøverne blir mer komfortable med å balansere på skien over lengre fraskyv i krevende perioder. Her vil selvsagt også utvikling av skistøvelens egenskaper spille inn.



Figur 2.1: Illustrerer skiens innsving og spenn (Bilde I og II hentet fra: Madshus (u.å.)). **I:** Innsvingen (D) bestemmes ut fra forholdene, desto mykere snø desto mindre innsving for å få en bredere base å flyte oppå snøen på. Er snøen hardpakket tillates det mer innsving hvilket øker manøvrerbarheten til skien. Madshus konkurranseski for skøyting sesongen 09/10 varierer fra 44 (A) 43 (B) 44 (C) til 44 (A) 40 (B) 44 (C) mm bredde fra myk til hardpakket snø (Madshus, u.å.). **II:** Spennet i skien (A) bestemmes ut i fra utøverens personvekt og personlige ønsker, men et stivt spenn er viktig for å holde skien retningsstabil. **III:** Her skildres spennet i en konkurranseski for skøyting ved hjelp av kraftmålere under skien og vekt oppå skien tilsvarende fra halv til full kroppsvekt. I motsetning til ski brukt til klassisk teknikk, er det her minimalt med berøring av skiens midtre del selv ved full kroppsvekt (BW) på en ski. Dette hjelper utøveren å holde skien retningsstabil i frasparket ettersom skøyting ikke foregår i spor slik klassisk langrenn gjør.

2.2 Krefter som virker på løperen

I langrenn kan en oppsummere kreftene som virker på utøveren slik som i figur 2.2.



Figur 2.2: Illustrerer de ytre kreftene som påvirker en langrennsløper.

Fremdriftskrefter

Fremdriftskreftene er kreftene som søker å vedlikeholde eller øke fremdriftshastigheten.

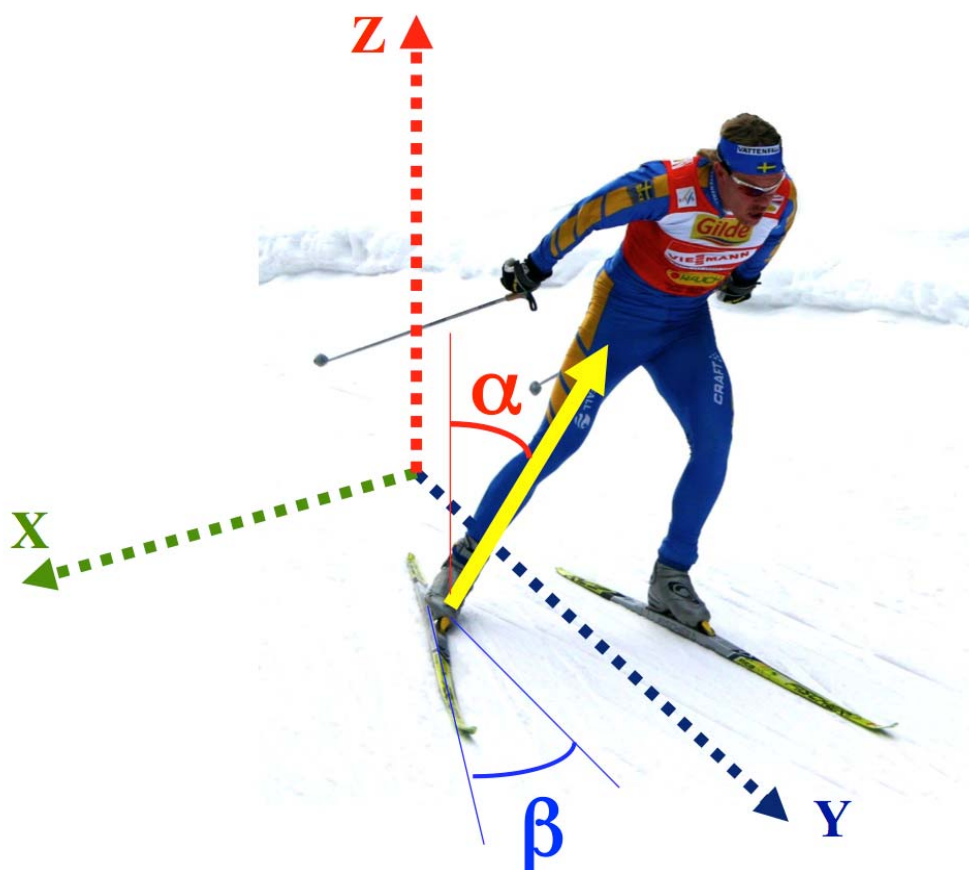
Gravitasjonskrefter

Gravitasjonskreftene kan virke både bremsende og gi fremdrift ut i fra om det er snakk om oppover eller nedoverbakke. Desto brattere oppover desto mer bremsende krefter og desto brattere nedover desto mer fremdriftsgivende krefter.

Reaksjonskrefter fra ski og staver

Reaksjonskreftene fra ski og staver blir justert gjennom teknikkvalg av utøveren.

Utøverne vil hele tiden strebe etter den mest arbeidsøkonomiske teknikken som produserer mest fremdriftskrefter i den enkelte situasjon i løypa. Skøytebevegelsen er en tredimensjonal bevegelse hvor reaksjonskraften på skien virker i tre dimensjoner (Figur 2.3). Hvor mye skien er orientert til siden og kantingsvinkelen sammen med timing av påføring av reaksjonskraften avgjør hvor mye av kreftene som går til x, y og z retningen. Det ser ut til å være et mønster at sideorientering av skien er mer i fartsretningen på flatt terreng og mer lateralt i oppoverbakke. Dette kan ha sammenheng med at en ved bruk av en mer lateralt orientert ski kan opprettholde glibevægelsen bedre i bratte motbakker og det tillates i tillegg mer krefter i fremdriftsretningen.



Figur 2.3: Illustrerer kraftkomponenter ved skøyting på ski. Reaksjonskraften på skien virker i tre dimensjoner med en vertikal, en fremdrifts og en mediolateral (skiretning) komponent. Størrelsen på disse komponentene bestemmes ut fra skivinkel (β), kantingsvinkel (α) og hvordan dette synkroniseres med resultatkraften som påføres skien.

Tillatelse av mer krefter i fremdriftsretningen kan en også oppnå ved å kante skien mer, hvilket også ser ut til å være tilfelle ved brattere motbakker. Derimot antas større kanting av skien å skape mer friksjon og således ha en bremsende virkning (Smith, 2000). Reaksjonskraften fra staven vil i likhet med skien kunne dekomponeres i tre dimensjoner men her er kraften rettet mer i fartsretningen.

Bremsende krefter

De bremsende kreftene er de som skaper motstand mot fremdriftsretningen.

Gravitasjonskrefter

Gravitasjonskreftene kan som tidligere nevnt både gi fremdrift (i utforbakke) og ha bremsende effekt (i motbakke). De bremsende gravitasjonskreftene tilsvarer følgende formel, hvor F_G er gravitasjonskraften, m står for utøverens masse og g står for tyngdeakselerasjonen:

$$F_G = mg \sin\Theta$$

I motbakke på 6,5 grader ville dette for en person på 75 kg gi en motstand på ca 83 Newton ($75 \times 9,8 \times \sin 6,5$). Under konkurranse kan løypene inneholde motbakker opp mot 20 grader (Nordbø, 1999), hvilket ville gi en motstand på utøveren på ca 251 Newton.

Det kommer også frem fra denne formelen at tyngre utøvere vil måtte utføre et større arbeide enn lettere utøvere i motbakke pga gravitasjonskreftene. Selv om tyngre utøvere må utføre et større arbeide oppover kan det se ut som om de har en større metabolsk kapasitet for dette, i alle fall ved moderat helning. Lettere utøvere ser derimot ut til å ha en klar fordel når motbakkene blir bratte (Bergh, 1987).

Snøfriksjon

Snøfriksjonen kan variere relativt mye ut fra temperatur og føreforhold. Dersom snø faller etter at konkurranseløypa er plitt preparert eller at snøen er myk/råtten vil skien grave seg mer ned i snøoverflaten og skape mer friksjon. I tillegg kan veldig kald lufttemperatur føre til meget trå forhold med mye friksjon. Friksjon mellom ski og snø kan regnes ut på denne måten:

$$F_s = \mu N$$

Friksjonskoeffisienten (μ) består av både friksjonen mellom snø og ski (glifriksjon), og motstanden som utvikles når skien graver seg gjennom snøen (motstand fra snøkomprimering). Normalkraften (N) vil være uttrykt ($mg \cos\Theta$) dersom det er snakk om motbakke.

Luftmotstand

Luftmotstanden bestemmes ut fra hastigheten til utøveren, frontarealet til utøveren, utøverens stilling/formen på utøveren, lufttettheten og relativ hastighet på luften rundt utøveren. Luftmotstanden kan estimeres ut fra følgende formel:

$$F_D = \frac{1}{2}\rho A C_D V^2$$

Lufttettheten (ρ) er avhengig av temperatur, luftfuktighet og lufttrykk. Frontarealet (A) er arealet av kroppen som møter luften og det kan minskes ved at personen kryper sammen. Mindre personer vil også normalt ha lavere frontareal enn større personer. Motstandskoeffisienten (C) bunner ut i overflate og form på utøveren. Her kommer blant annet valg av design og materiale for trikot dressene inn. Relativ hastighet for utøveren (V) har stor betydning ved høyere hastigheter ettersom luftmotstanden stiger med relativ hastighet opphøyd i andre potens. Denne oppgaven vil ta for seg teknikk i motbakke og her har derimot ikke luftmotstanden mye å si i forhold til gravitasjonskreftene.

2.3 Teknikkene

Innenfor skøytedisiplinen brukes i hovedsak fem teknikker. Dobbelt stavtak og skøyting uten stavtak er som regel minst brukt, mens teknikkene som brukes mest er: V1; også kalt padling og offset, V2; også kalt dobbeldans og 1-skate, og V2 alternate (V2a); også kalt enkeldans, 2-skate og Gunde. V2a foregår ved at ett dobbelt stavtak blir tatt for hvert andre fraspark på det som kalles den sterke siden. I motsetning til V1 som har stavisett samtidig med fotisett på sterk side, kommer stavisettet i glifasen ved bruk av V2a. I denne oppgaven vil det kun fokuseres på de to teknikkene V1 og V2, da V2a benyttes i lettere terreng.

Padleteknikk V1

V1 (Figur 2.4) foregår ved at ett dobbelt stavtak blir tatt på det som kalles den sterke siden (eller også hengsiden) for hvert andre fraspark. I løpet av frasparket på den svake siden (siden som ikke har stavtak, også kalt frisiden) blir armene svingt frem. Stavissettet er tilnærmet samtidig med fotissettet av den foten som utfører frasparket samtidig med det doble stavtaket. Det er også verdt å nevne at blant de beste utøverne kan det byttes på hvilken side som benyttes som hengside etter hvor utmattet de er i aktuell muskulatur og etter sidehelning på bakken.

V1 kan utføres på forskjellige måter, men en skiller grovt sett mellom glidende padling, hoppende padling og halv-hoppende padling. Det som skiller selve gjennomføringen av teknikken er: I; Syklusfrekvensen. II; Om fraskyvet er like langt på begge bena eller om det er ulik lengde på skyvfasen fra det ene benet til det andre. III; Om fraskyvet er eksplosivt og med snert eller om det er glidende. Terreng og føreforhold vil virke inn på hvilken padleteknikk som benyttes, og en ser i konkurranser at de beste utøverne ofte benytter forskjellige padleteknikker (Botnan, 2001).

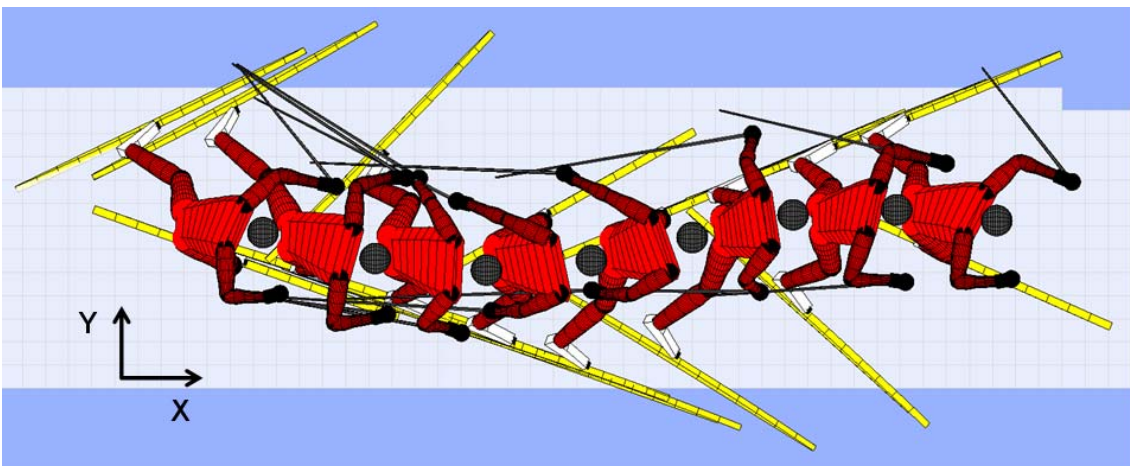
Dobbeldansteknikk V2

V2 (Figur 2.5) foregår ved at ett dobbelt tidssynkront stavtak blir utført per fraspark. Det samme bevegelsesmønsteret gjentas på begge sider. Armene jobber langs frasparkskien samtidig som frasparket gjennomføres og stavissettet kommer i glifasen. Armene pendler frem samtidig som utøveren står og glir på skien. Effektiviteten i V2 krever spesielt god balanse og tyngdeoverføring (Torvik, 2005) og god styrke og utholdenhet (Botnan, 2001). Utøveren må klare å utnytte hver minste mulighet for hvile og effektivisering av kraftpåføring for å få maksimalt utbytte av teknikken, spesielt i motbakker sammenlignet med V1 hvilket som regel går for å være en mer robust motbakketeknikk.

A.



B.

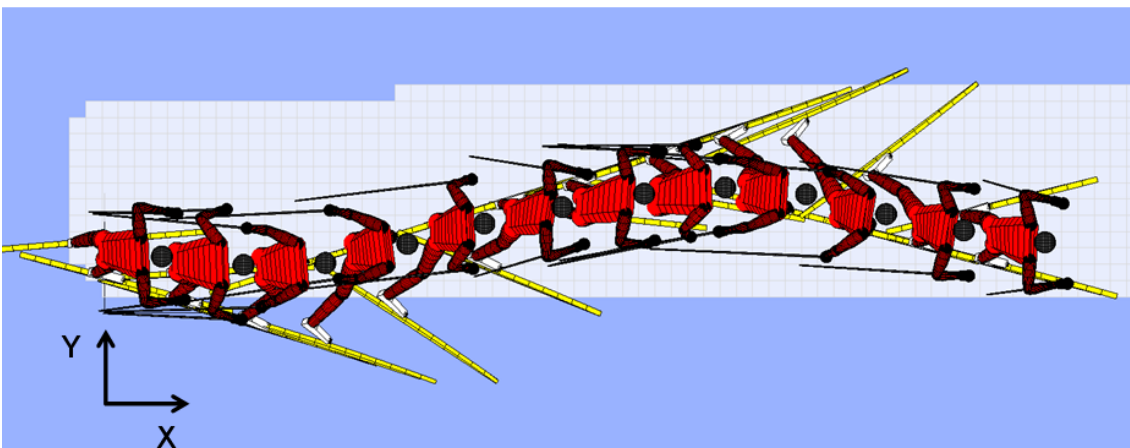


Figur 2.4: Illustrerer teknikken V1 i motbakke, A: sett fra høyre, B: sett ovenfra.

A.



B.



Figur 2.5: Illustrerer teknikken V2 i motbakke, A: sett fra høyre, B: sett ovenfra.

Bruk av teknikkene

V1 er en teknikk som brukes i moderat til bratt motbakke. Desto brattere eller lengre motbakken er, vil det være større sannsynlighet for at utøveren velger en V1 padleteknikk. Dersom utøveren har som formål å gjøre ett rykk i en bakke, eller at en forholdsvis kort bakke skal forseres, benyttes ofte V1 teknikken hoppende padling i stedet for vanlig V1 padleteknikk.

V2 teknikken brukes normalt i lettere terreng enn V1, gjerne i flate partier, overganger fra flate til motbakke, slakke motbakker og over små bakketopper. I tillegg brukes V2 gjerne ved fartsøkning og i spurtduell. En del utøvere bruker den også som motbakketeknikk, også i relativt tungt terreng (Torvik, 2005).

2.4 Nærliggende forskning på emnet

Det vil være av interesse å vurdere hva som er den optimale teknikken i de ulike delene av en konkurranseløype. Dette kan gjøres ved å vurdere prestasjoner ved konkurranser og hvilke teknikker som blir brukt på ulike partier. Flere utøvere kan også veksle mellom ulike teknikker i identiske partier i løpet av et skirenn.

Skiskøyting i motbakke

Bilodeau, Boulay & Roy (1991) undersøkte ulike teknikker ved 3 km skøyting og fant at V1, V2 og V2a teknikkene ikke ga forskjellige hastigheter. En av årsakene til at det ikke ble påvist noen spesiell forskjell kan være at oppover og nedoverbakkene i denne studien var ganske korte, og hadde således i liten grad påvirket prestasjonene til utøverne ved de ulike teknikkene (Boulay et al., 1994). På den annen side var V1 teknikken noe raskere i motbakkene og V2a teknikken noe raskere ved slakt nedover.

Smith, Nelson, Feldman & Rankinen (1989) analyserte V1 skøyteteknikk i motbakke for olympiske utøvere, 50 km menn og 20 km kvinner. Filmingen foregikk i to motbakker; en moderat og en bratt. Disse forfatterne fant at tiden for å fullføre skøyte-syklusen hadde en tendens til å synke (syklusraten økte) ved bratt motbakke.

Skikantingsvinkel var negativt korrelert fra den ene siden til den andre hos utøverne. De som kantet den ene skien mye, holdt som regel skien på den andre foten relativt flat.

Kanting av skien kan ifølge Aro, Smith & Nelson (1990) skyldes at stavtak ikke brukes på den svake siden og løperen kan dermed prøve å opprettholde gliden og farten i tunge

motbakker ved å holde skien flat og mer orientert mot siden. Aro et al. fant også at ved både 5-6 og 10-11 graders motbakke holdt de testede løperne staven på sin sterke side mer mot fremover retningen enn staven på den svake siden som ble holdt mer lateralt orientert.

Smith, McNitt-Gray, & Nelson (1988) filmet mannlige eliteutøvere under 10 km world cup i Holmenkollen, i en 7 graders motbakke hvor teknikken V1 ble brukt. Her ble det funnet at syklusraten for alle 10 utøvere som ble undersøkt var tilnærmet lik. Sykluslengdene varierte derimot og var signifikant relatert til syklushastighet. Det vil si at sykluslengden for de raskeste utøverne var lengre enn de mindre raske, og ellers var syklusraten tilnærmet lik. I tillegg fant Smith (1992) at over ulike hastigheter økte både raske og mindre raske løpere hastigheten ved heller å øke skøytehastigheten enn å øke sykluslengden. Bidrag til den lengre sykluslengden hos de raskeste løperne kan være mindre vinkel på skien som brukes i frasparket uten stavtak og føring av massesenter tyngdepunktet mer i parallell med fremdriftsretningen (Smith et al.). En annen faktor som kan ha betydning for lengre sykluslengder hos de beste løperne kan være at de som er raskest gjerne har mer krefter (pga høyere VO₂maks) til å generere mer fremdriftskraft enn de som er mindre raske (Norman, Ounpuu, Fraser, & Mitchell, 1989), eller at de raskeste kan ha bedre utviklet muskulatur i overkroppen (Boulay et al., 1994). Videre fant Smith et al. tendenser til at mindre raske løpere hviler lengre på skien ved hvert skøytetak i stedet for å jobbe aktivt mot fremdriftsretningen slik det kunne se ut til at de raskere løperne gjorde.

Boulay et al. (1994) fant i sin studie om løypestigning og teknikken sin virkning på hastighet at det ikke var noen signifikant forskjell i hastighet mellom V1 og V2 teknikkene ved -1%, 0% og 6% grader. Derimot ble det vist signifikant forskjell ($p < 0,01$) på hastighet mellom teknikker ved 9% og 12% grader. Der var V1 raskere enn V2. Også ved 14% grader viste V1 seg å gi høyere hastighet enn V2. Tabell 2.1 gir en oversikt over ulike studiers funn for langrenn i motbakke.

Tabell 2.1: Oversatt utdrag fra en oversikt over ulike studiers funn for langrenn i motbakke (Bilodeau et al., 1991). Skiens kontaktfase med snøen er delt opp i fase for fremdrift og gli fase.

Teknikker	Fremdrift (%)	Gli (%)	Hastighet (m s⁻¹)	Sykluslengde (m)	Syklusrate (Hz)
Smith et al. 10-11°					
V1	61	31	2,4	2,99	0,81
Street 7°					
V1	90	10	---	---	---
Smith et al. 7°					
V1	53	37	3,23	3,84	0,84
Bilodeau et al. 5°					
V2	52	48	4,58	6,19	0,74
V1	54	36	4,62	5,19	0,89

En riktig kombinasjon av de ulike faktorene for å minske lateralforandringen av tyngdepunktet og fremdrifts-hastighetssvingningene og det å oppnå en lengst mulig syklus lengde, høy syklusrate og mest mulig tid til å påføre fremdriftskrefter vil nok gi de beste forutsetningene for en god prestasjon, det er imidlertid ingen lett sak å finne den optimale kombinasjonen, eller hvilken teknikk som vil gi denne optimale kombinasjonen ved ulik stigningsgrad. Tabell 2.1 viser at ulike defineringer av for eksempel fremdriftspåføring ved ulike prosjekter har ført til at V1 får fremdriftspåføringsverdier fra 53 – 90% i motbakke med samme stigningsgrad. Dermed, med slike forhold for sammenligningsgrunnlag, blir det vanskelig å trekke sikre konklusjoner ut fra tidligere studier. I tillegg kan også snøforhold og løperkarakteristikker være ulike og dessuten har teknikkene utviklet seg over tid, med ulik timing av stavsett, bruk av hofte, stavlengde osv.

Ut i fra foreliggende teorier er det vanskelig å avgjøre hvilke av teknikkene V1 og V2 som vil være mest gunstig ved moderat motbakke. I slike situasjoner velger utøverne normalt selv fritt mellom teknikkene avhengig av styrke og utholdenhet, løypestruktur og føreforhold, uten å vite hva som er mest effektivt. Dermed er det interessant å vurdere forholdene rundt teknikkvalg i motbakke for å få en bedre oversikt over faktorene rundt teknikkvalgene. Dette er særlig viktig i konkurransesituasjoner ettersom flere forsøksprotokoller kun foregår over korte etapper og således ikke kan sidestilles med hva løperen gjennomgår i løpet av en konkurranse.

Strek-forkortnings syklus og hastighetsvariasjoner av massesenteret

Strek-forkortnings arbeide kan defineres som arbeide hvor muskulaturens elastiske egenskaper utnyttes, eksempelvis som ved et svikthopp. I følge et prosjekt Perrey, Millet, Candau, & Rouillon (1998) gjorde på strek-forkortnings syklus i langrenn, fant de når de sammenlignet skøyte-teknikkene at mesteparten av teknikkforskjellene mellom V1 og V2 var lokalisert i kneleddet og vastus lateralis (VL) muskelen. Den gjennomsnittlige strekkhastigheten for VL var høyere ved V2 enn ved V1, selv om EMG målinger ikke viste signifikant forskjell i muskelaktiviteten. Det er mulig at det blir lagret mer elastisk energi ved bruk av V2 teknikken pga høyere strekkhastighet. Dette kan bety at V2 teknikken er mer effektiv på flatt terreng eller slake motbakker enn V1, og kan være en forklaring på at V1 sjelden blir brukt på flate strekker. Det er imidlertid små forskjeller det er snakk om, og dette blir stort sett spekulasjoner. Likevel

kan det være en ide å ta hensyn til vinkelhastighet i ledd i fremtidige prosjekter for å se om raske strekk-forkortnings sykluser kan forekomme ved enkelte hastigheter, teknikker og/eller vinkler på skiløypa.

Perrey et al. (1998) påpeker at det er blitt foreslått at hastighetsvariasjon av massesenteret i løpet av en syklus påvirker energikostnadene ved skøyting. I deres studie var variasjonen mellom maksimal og minimal hastighet signifikant lavere ved V1. Dette var i samsvar med resultatene de fant om at V1 teknikken hadde en høyere syklusrate og en kortere overkropps-hvilefase. Perrey et al. spekulerte i at når motstanden imot bevegelsen er stor (for eksempel ved bratt motbakke) synker hastigheten raskere i glifasen, slik at variasjonene i hastighet oppstår lettere. Siden V1 tillater minimale forandringer i hastighet innad i syklusen, blir bruk av denne teknikken i motbakke en fordel i forhold til bruk av andre teknikker, ettersom en unngår å måtte jobbe mot store hastighetssvingninger. I tillegg kan det være at strekk-forkortnings sykluser ikke har noen spesiell innflytelse på muskeleffektiviteten i bratte motbakker, slik at ulempen med mindre lagring av elastisk energi ved bruk av V1 i slikt terreng antagelig ikke er spesielt stor.

2.5 Motbakkens betydning for utøveren

Ifølge FIS offisielle konkurranseregler skal i utgangspunktet 1/3 av konkurranseløypene bestå av oppoverbakke mellom 9 og 18 % med høydeforandring på mer enn 10 meter i tillegg til korte bakker brattere enn 18 %. Ca halvparten av utøverens konkurranse tid tilbringes i disse motbakkene (Kvamme, Jakobsen, Hetland, & Smith, 2005) I tillegg ser det ut til at utøverens hastighet i motbakkene er avgjørende for utfallet av løpet (Botnan, 2001). Med dette kan en se viktigheten av å forstå hvordan en beveger seg i motbakke med høyest mulig hastighet og minst mulig energiforbruk.

Ved rundt 4-6 grader stigning er det vanlig at utøverne skifter fra V2 til V1 (Kvamme et al., 2005), men det er veldig individuelt hvor i dette helningsområdet utøverne skifter teknikk. Videre er det påvist at ved rulleskiaktivitet i ca 5° motbakke går eliteutøvere V1 og V2 med tilnærmet samme arbeidsøkonomi (Kvamme et al.). Derfor er det spesielt interessant å studere utøvere rundt denne helningsvinkelen, for å prøve å forstå overgangen mellom teknikkene og årsakene til at en velger den ene teknikken fremfor den andre når begge kan brukes med samme arbeidsøkonomi.

2.6 Metodisk bakgrunn

De siste tiårene hvor teknikkanalyse av langrenn har blitt mer populært, er det blitt brukt både todimensjonal (Bilodeau et al., 1991; Rundell & McCarthy, 1996; Stöggl, Kappel, Müller & Lindinger, 2009) og tredimensjonal (Smith, 1988; Losnegard, 1994; Lindinger, 2006; Larsen, 2007) videoanalyse. Tradisjonelt har det vært enkelt å gjøre todimensjonale analyser av klassisk teknikk siden dette hovedsakelig foregår i to dimensjoner.

Ved innføringen av skøyteteknikken i langrenn ble det ett større behov for tredimensjonale analyser ettersom denne teknikken beveger seg mye mer i tre dimensjoner. Likevel brukes fortsatt både todimensjonale og tredimensjonale oppsett, og valget av analysemetode kommer som regel an på hva en vil analysere. Ønsker en for eksempel kun å se på sykluslengde, hastighet og frekvens kommer en langt med ett todimensjonalt oppsett. Vil en derimot også vurdere skikantingsvinkel, hoftevridding og retning på ski og staver og lignende er en nesten avhengig av ett tredimensjonalt oppsett. Eneste alternativet blir da å montere måleutstyr på selve utøveren for å kontrollere disse faktorene fortløpende.

Dataprosesseringen og mengden utstyr er andre grunner til at todimensjonale analyser er lettere å gjennomføre enn tredimensjonale. For å gjøre en tredimensjonal analyse med god kvalitet er en avhengig av flere kamera som må kontrolleres og synkroniseres. Dersom en ikke gjør opptaket i et laboratorium eller andre steder hvor det tillates bruk av reflekser festet ulike steder på kroppen til forsøkspersonen, blir en nødt til å plote (markere) alle punkter av interesse i videomaterialet. Dette må gjøres bilde for bilde, hvilket blir mye mer arbeidskrevende med flere kamera i stedet for kun ett. Skal en for eksempel analysere teknikk i en upåvirket konkurransesituasjon er denne bilde for bilde plottingen eneste alternativet per i dag.

Bruk av Direct Linear Transformation (DLT) metode i bevegelsesanalyse

DLT er en utregningsteknikk for å finne ut av den lineære omformningen mellom det tredimensjonale rommet og todimensjonale bilder. DLT teknikken går ut på å bruke 2 dimensjonale bilder fra 2 eller flere kameraer for å beregne 3 dimensjonale (3D) koordinater. DLT består av to prosesser, kamera kalibrering og punkt rekonstruksjon.

Kamera kalibrering

Et sett av kontrollpunkter (n) blir plassert foran kameraene og fordelt rundt og inne i bevegelsesvolumet. Kontrollpunktene nøyaktige 3D koordinater må være kjent. Hvert av kameraene filmer kontrollpunktene og fra bildene får en sett med 2-Dimensjonale (2D) koordinater. Fra disse koordinatene blir det satt opp 2 ligninger [2.1] og [2.2] per kamera som bygger på 2D bildekoordinatene (x, y) og 3D kontrollpunktkoordinatene (X, Y, Z):

$$x = \frac{L_1X + L_2Y + L_3Z + L_4}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad [2.1]$$

$$y = \frac{L_5X + L_6Y + L_7Z + L_8}{L_9X + L_{10}Y + L_{11}Z + 1} \quad [2.2]$$

$L_1 - L_{11}$ er DLT parameterne som definerer kameraposisjon og orientering og regulerer for film deformasjoner og linseforårsakede forstyrrelser (Wood & Marshall, 1986). Formelsettene [2.1] og [2.2] må løses for å finne de 11 DLT parameterne, og ved hjelp av minimum 6 kontrollpunkter (kontrollpunktene må ha kjente posisjoner og posisjonene må være på ulike plan) og minimum 2 kameraer får en nok informasjon for å løse ligningene. Ligningene for å finne DLT parametrene kan se slik ut:

$$\begin{bmatrix}
X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 & -x_1X_1 & -x_1Y_1 & -x_1Z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -y_1X_1 & -y_1Y_1 & -y_1Z_1 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\
X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 & -x_2X_2 & -x_2Y_2 & -x_2Z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -y_1X_1 & -y_1Y_1 & -y_1Z_1 & X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
\cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\
X_n & Y_n & Z_n & 1 & -x_nX_n & -x_nY_n & -x_nZ_n & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -y_nX_n & -y_nY_n & -y_nZ_n & X_n & Y_n & Z_n & 1
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
L_1 \\
L_2 \\
L_3 \\
L_4 \\
\cdot \\
\cdot \\
\cdot \\
L_{10} \\
L_{11}
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
x_1 \\
y_1 \\
x_2 \\
y_1 \\
\cdot \\
\cdot \\
\cdot \\
x_2 \\
y_1
\end{bmatrix}
\quad [2.3]$$

Senket skrift representerer kontrollpunktnummer. Antallet kontrollpunkter er ikke begrenset til seks (seks punkter er kun ett minimum). Bruk av flere kontrollpunkter vil som regel være en fordel. Ved færre enn seks kontrollpunkter kan ikke ligningen løses. Når DLT parametrene er funnet kan ligningene omarbeides for punkt rekonstruksjon.

Punkt rekonstruksjon

Etter kalibrering kan kontrollpunktsystemet fjernes og ved hjelp av markører (for eksempel reflekskuler) festet på det/den en ønsker å observere, kan målet bli filmet for analyse. Disse markørene må da samtidig kunne sees av minimum 2 kameraer på samme tidspunkt under dataregistreringen. Etersom 2D koordinatene fra disse markørene registreres, plasseres de sammen med DLT parameterne i de samme formelsettene. Nå er formelsettene omarbeidet for å finne 3D koordinatene (Robertson, Caldwell, Hamill, Kamen & Whittlesey, 2004):

$$\begin{bmatrix}
(L_1 - L_9X) & (L_2 - L_{10}X) & (L_3 - L_{11}X) \\
(L_5 - L_9Y) & (L_6 - L_{10}Y) & (L_7 - L_{11}Y)
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix}
X \\
Y \\
Z
\end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix}
(x - L_4) \\
(y - L_8)
\end{bmatrix}
\quad [2.4]$$

For å kunne løse ligning [2.4] trengs det informasjon fra flere enn ett kamera. Dersom data fra kameraene er tidssynkronisert kan ligning [2.4] fra de forskjellige kameraene settes sammen på denne måten:

$$\begin{bmatrix}
 (\mathbf{L}^1_1 - \mathbf{L}^1_9 \mathbf{x}^1) & (\mathbf{L}^1_2 - \mathbf{L}^1_{10} \mathbf{x}^1) & (\mathbf{L}^1_3 - \mathbf{L}^1_{11} \mathbf{x}^1) \\
 (\mathbf{L}^1_5 - \mathbf{L}^1_9 \mathbf{y}^1) & (\mathbf{L}^1_6 - \mathbf{L}^1_{10} \mathbf{y}^1) & (\mathbf{L}^1_7 - \mathbf{L}^1_{11} \mathbf{y}^1) \\
 (\mathbf{L}^2_1 - \mathbf{L}^2_9 \mathbf{x}^2) & (\mathbf{L}^2_2 - \mathbf{L}^2_{10} \mathbf{x}^2) & (\mathbf{L}^2_3 - \mathbf{L}^2_{11} \mathbf{x}^2) \\
 (\mathbf{L}^2_5 - \mathbf{L}^2_9 \mathbf{y}^2) & (\mathbf{L}^2_6 - \mathbf{L}^2_{10} \mathbf{y}^2) & (\mathbf{L}^2_7 - \mathbf{L}^2_{11} \mathbf{y}^2) \\
 \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot & \cdot
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \mathbf{X} \\
 \mathbf{Y} \\
 \mathbf{Z}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 (\mathbf{x}^1 - \mathbf{L}^1_4) \\
 (\mathbf{y}^1 - \mathbf{L}^1_8) \\
 (\mathbf{x}^2 - \mathbf{L}^2_4) \\
 (\mathbf{y}^2 - \mathbf{L}^2_8) \\
 \cdot \\
 \cdot \\
 \cdot
 \end{bmatrix}
 \quad [2.5]$$

Hevet skrift representerer kamera nummer. Hvert kamera legger til to rader i ligningssystemet, og det er anbefalt å bruke mange kamera for best mulig resultat (Walton, 1979). Ved bruk av denne teknikken og minimum to kalibrerte og tidssynkroniserte kamera, kan en følge posisjoner for flere punkter i 3D over tid (Reid, 2010).

Kamerasynkronisering

For at det skal fungere å bruke DLT metoden for rekonstruksjon av punkter i 3D, kreves det at opptakene som brukes er tidssynkroniserte. Det er viktig med en god tidssynkronisering for å få tilfredsstillende resultater. Det finnes ulike metoder for å synkronisere opptak, som for eksempel elektronisk ved at kameraene er koblet sammen i et system, såkalt hardware genlock (Lindinger, 2006; Larsen, 2007) utregningsmetoder ved hjelp av opptakene, såkalt software genlock (Pourcelot, Audigie, Deguerce, Geiger & Denoix, 2000; Reid, 2010), bruk av lydsignaler (de Barros, Russomanno, Brenzikofer & Figueroa, 2004), bruk av en lyspære som slås på (Deguerce, Dietrich, Pourcelot, Denoix & Geiger, 1996) og andre metoder. Enkelte av metodene er ikke like gode når det kommer til nøyaktighet og/eller praktisk bruk. Timing av opptak mellom kameraene kan være en kilde til problemer dersom en ikke har automatiske synkroniseringsenheter.

Hardware genlock kamerasynkronisering er en metode som benytter seg av ett slikt tidssynkronisert system, og antas å være den mest nøyaktige løsningen på markedet i dag. Metoden baserer seg på signaloverføring mellom kameraene, hvilket kan utføres ved at hvert av kameraene har en innebygd funksjon for dette formålet, men vanligvis ved hjelp av at de er koblet sammen via kabler. Ett av kameraene i gruppen (minimum 2 kameraer) settes da som hovedkamera, og resten av kameraene blir da styrt av dette kameraet med hensyn til tid. En har ikke alltid mulighet til å bruke denne løsningen, kanskje hovedsakelig pga kostnadene og utfordringer med kameraoppsett ute i felt. Utfordringer knyttet til kameraoppsettet kan for eksempel være dersom en ønsker å gjøre opptak fra to sider av en trase og ikke har mulighet å legge kabel over traseen på en forsvarlig måte. Denne type kamera som benytter seg av automatiske synkroniseringsenheter er også en langt dyrere investering enn vanlige semiprofessionale kameraer. Dette gjør det fristende å heller benytte en genlock metode som tillater bruk av kostnadseffektive, enkle og lett håndterlige semiprofessionale kameraer.

Software genlock kamerasynkronisering

Dersom en ikke har mulighet til hardware genlock har bruk av DLT metoden som kamerasynkroniseringsmetode (software genlock) vist å gi gode resultater (Pourcelot et al, 2000). Software genlock baserer seg på DLT punktrekonstruksjon og systematisk tidsjustering og interpolering av slavekamera opp mot masterkamera. Rent geometrisk kan en se for seg to linjer fra kameraene som ideelt sett krysser i rommet (Figur 2.6 A). Riktig posisjon for punktrekonstruksjon er der hvor linjene krysser. Pga ulike feilkilder som plottingsfeil, kameralinseforstyrrelser osv vil ikke linjene krysse hverandre nøyaktig, men det vil være en liten avstand i mellom. Kamerasynkroniseringen vil også være en av disse påvirkende feilkildene som gjør at linjene ikke krysser hverandre nøyaktig. Ved å tidsjustere slavekamera opp mot masterkamera kan en interpolere mellom bildene (Figur 2.6 C) for å finne det punktet i tid hvor linjene er nærmest å krysse hverandre (Figur 2.6 B). Her vil avstanden mellom linjene være minst og en går da ut fra at tidssynkroniseringsfeilene er tilnærmet null (det som hindrer linjene i å krysse hverandre nå er ikke synkroniseringsfeil, men de resterende feilkildene). Punktrekonstruksjonen skjer da midt i mellom linjene der hvor avstanden er minst.

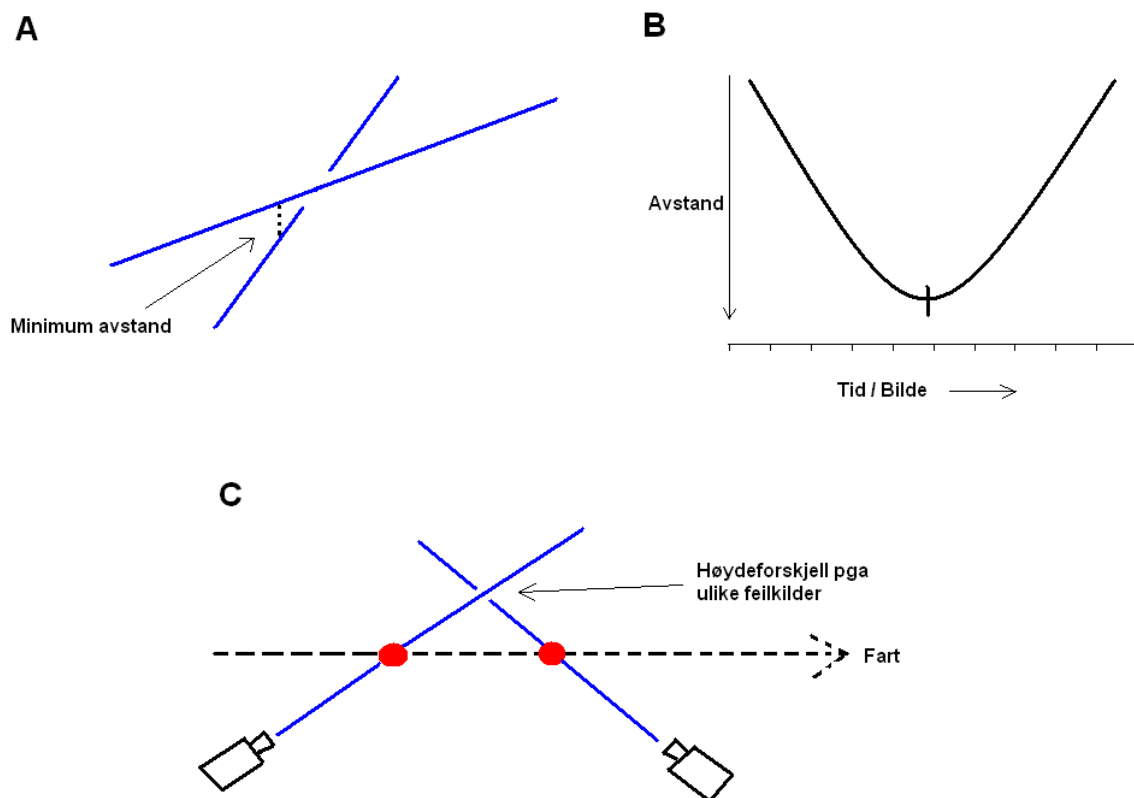
Kun punkter i bevegelse kan være med på å bestemme synkroniseringen. Uten punktenes bevegelse over tid ville en ikke vært i stand til å interpolere punktene mellom

bildene for å finne riktig tidssynkronisering (grafene i Figur 2.6 B ville vært flat). Desto raskere punktene beveger seg desto bedre blir estimeringene. Avslutningsvis kan det nevnes at før software genlock kan benyttes, må kameraene til en viss grad være tidssynkroniserte. Dette kan for eksempel gjøres ut fra ett passeringspunkt for utøveren inne i kontrollsonen eller ved hjelp av andre synkroniseringsmetoder (for eksempel lys signal, lyd osv).

Yeadon & King (1999) sammenlignet flere idrettssituasjoner og beregnet tidssynkroniseringsforskjell mellom kamerabilder ved bruk av software genlock metoden opp mot aktuell tidsforskjell for synkroniserte kamera og fant en gjennomsnittlig feil på 0,0005 s. Pourcelot et al. (2000) fant ved bruk av software genlock metoden maksimum inkonsistens til under 5% av tidsintervallen mellom bilder tatt opp med 50 bilder per sekund (Hz). Det gav i deres forsøk en tidsforskjell mellom kamera på 0,0072 s. Reid (2010) rapporterte en nøyaktighet på gjennomsnittlig og maksimalt 1,4 og 3,8 % inkonsistens på tiden mellom bilder i sitt prosjekt vedrørende alpin teknikkanalyse. Ved 50 Hz bildetaking, vil dette gi en inkonsistens på mindre enn 0,001 s.

Fordelene ved bruk av software genlock kamerasykroniseringsmetoden er at metoden har en tilfredsstillende nøyaktighet og den tillater bruk av helt vanlige, enkle og lett håndterlige kamera som ikke trenger å være spesielt dyre. Videre slipper en kabler mellom kameraene slik en ofte trenger ved bruk av hardware genlock metoden. Det er mulig trådløs hardware genlock kamerasykronisering vil bli vanlig i fremtiden, men per i dag er ikke dette ett mye brukt alternativ.

Ulempene ved bruk av software genlock er at nøyaktigheten som regel vil være noe mindre nøyaktig enn det ville ha vært ved bruk av hardware genlock. Uansett bruk av metode antas resultatet å være innenfor akseptable nivåer/kvalitet da det vil være bildepixel oppløsningen på videoopptakene som antas å utgjøre den største feilkilden ved slike prosjekter som dette. I tillegg er en ved bruk av software genlock avhengig av punkter som er i bevegelse i en viss hastighet for at synkronisering skal være mulig å gjennomføre på en god måte, dette kan være en utfordring dersom kun saktebevegelige punkter skal analyseres.



Figur 2.6: Tidssynkronisering av kamera ved hjelp av DLT metoden. **A:** Minimum avstand mellom kameraenes observasjoner dikterer tidspunktet som velges. **B:** Viser kameraenes siktelinjer når synkroniseringspunktene passerer. **C:** Viser hvordan grafen ser ut for avstand når tidspunkt/bilde fastsettes ved denne metoden.

Nøyaktighet

En studie som tok for seg DLT metodens nøyaktighet (Shapiro, 1978) konkluderte med at denne metoden er brukbar for videoanalyse. Videre ble det konkludert med at fleksibiliteten til denne metoden overgår alle andre eksisterende 3D videoanalyse metoder. Shapiro fant ved bruk av to kameraer koordinatposisjoner med gjennomsnittlig feilmargin på 4 mm vertikalt (Z), 4 mm horisontalt (X) og 5 mm horisontalt (Y). En annen studie (Chen, Armstrong & Raftopolulos, 1994) fant også ved bruk av to kameraer i ett kontrollområde på 2,1 x 1,35 x 1 meter, feil på 1-2 mm i X og Y retningene og 4-6 mm i Z retningen. Reid (2010) fant i sitt prosjekt om alpinteknikk ved rekonstruksjon av ikke-kontrollpunkter, maksimal feil i X, Y og Z retning på 18, 25 og 9 mm. Det kalibrerte området var 50 m langt, 10 m bredt og 2 m høyt og det ble brukt 208 kontrollpunkter for å definere analyseområdet.

Hvor godt DLT-oppsettet fungerer, kan en vurdere ved hjelp av kontrollpunktene som settes opp. En kan bruke filmopptak av de statiske punktene og se hvor godt systemet kan predikere punkter i kontrollområdet. Dermed kan en finne ut av forventede feilmarginer. Dette fungerer med at en vurderer forskjellen mellom koordinatene fra DLT metoden og de riktige koordinatene målt på forhånd. For å få en best mulig estimering av nøyaktigheten, bør en bruke punkter med andre posisjoner enn kontrollpunktene som inngår i kalibreringen av systemet (Challis & Kerwin, 1992).

Ved repredikering av kontrollpunkter som inngår i kalibrering av systemet synes feilstørrelsen å øke med økt antall kontrollpunkter (Hinrichs & Mclean, 1995). Dette fant Hinrichs & Mclean da de økte antall kontrollpunkter fra 16 til 60. På den annen side sank feilstørrelsen for predikering av punkter som ikke inngikk i kalibrering av systemet når antallet kontrollpunkter økte. Dette kan bety at å basere systemets nøyaktighet på repredikering av kontrollpunkter som inngår i kalibrering av systemet vil gi misledende resultater, fordi formlene som blir brukt kan bli over-tilpasset til de få kontrollpunktene og dermed gi dårlige posisjonsdata for ikke-kontrollpunkter under selve datainnsamlingen.

Disse nødvendige kontrollpunktene kan skape en utfordring med DLT metoden siden en må plassere punktene i området hvor aktiviteten som skal analyseres skal finne sted. Dette kan ofte være større områder når det gjelder idrettsrelaterte analyser. I tillegg er

det viktig at kontrollpunktene distribueres rundt i hele måleområdet for at resultatene skal bli akseptable for denne teknikken. Challis & Kerwin (1992) testet ut ulike kalibrerings-kontrollpunktmodeller og fant at ”juletre” rammen (ett tredimensjonalt kors-bygg med markører) var mye mindre nøyaktig enn bruk av full kalibrerings-ramme med kontrollpunkter som omsluttet hele måleområdet. I tillegg viste det seg at ”juletre” rammen var dårligere på å estimere punkter ute til sidene enn rammer som kun hadde side-kontrollpunkter var på å estimere punkter inn mot midten. Disse resultatene mente Challis & Kerwin indikerer at det er viktigere å la kontrollpunkter omslutte måleområdet hvor aktiviteten skal forekomme enn å ha kontrollpunkter inne i området.

Wood & Marshall (1986) fant at DLT teknikken fikk en redusert nøyaktighet når en nærmet seg ytterpunktene av kontroll-området selv med en heldekkende kalibrerings-ramme. Chen et al. (1994) oppsummerer innledningsvis i sin artikkel at flere resultater viser at et kontrollområde med veldistribuerte kontrollpunkter er viktigere enn mange kontrollpunkter på ett mindre område av målområdet. Dette viste også resultatet i deres undersøkelse hvor det ble registrert høyest feilstørrelse når kontrollpunkter kun ble plassert i hjørner eller i siden av målområdet. Dette strider noe imot resultatene til Challis & Kerwin (1992) som viste at plassering av kontrollpunkter i siden ga best resultater. Kanskje kan dette ha med ulikheter i utstyret og metodene som ble brukt. Dessuten nevner Chen et al. at dette gjaldt spesielt ved lavt antall kontrollpunkter (Chen et al. brukte ned mot 8 kontrollpunkter). Chen et al. hevder at sammenlignet med andre metoder er DLT teknikken relativt enkel og korrekt, og gir i tillegg god fleksibilitet for plasseringen av kameraene.

Hinrichs & Mclean (1995) fant ut at nøyaktigheten til DLT sank betraktelig ettersom graden av ekstrapolering utenfor det kalibrerte volumet økte. Ved 300% ekstrapolering hadde feilstørrelsen vokst til nesten det tidobbelte i forhold til 0% ekstrapolering. Chen et al. (1994) foreslår kameranlinsens egenskaper som en stor årsak for ekstrapoleringsfeil ved bruk av DLT. Linsen til et kamera er ikke flat, og bildet som kameraet fanger vil derfor ikke være helt riktig. Dette kan bli bedre dersom en zoomer inn på målet fra lang distanse, men det vil kreve mye plass.

Når det gjelder antall kontrollpunkter som bør brukes, ser det ut til at flere kontrollpunkter gir bedre resultater (Hinrichs & Mclean, 1995), men det er også funnet

at ved å øke antallet kontrollpunkter over en viss mengde ikke gir signifikante forskjeller. Chen et al. (1994) fant ingen økning i nøyaktighet ved økning av kontrollpunkter fra 16 til 24. Det mente de var fordi hoveddelen av feilene da skyldtes systematiske feil som system-oppsett og linsens egenskaper. Chen et al. viste også at en bør bruke flere enn kun de 6 nødvendige kontrollpunktene for å løse DLT ligningene. I deres forsøk øker kalibreringsnøyaktigheten med økt antall kontrollpunkter. Dette mener Chen et al. skyldes flere faktorer; en økning i antall kontrollpunkter vil gjerne føre til en bedre distribusjon av kontrollpunktene, når få kontrollpunkter blir brukt vil eventuelle individuelle feil for kontrollpunktene ha større betydning og ekstra kontrollpunkter vil redusere påvirkningen fra ikke-lineære systematiske feil. Chen et al. foreslår 2 metoder for å redusere de ikke-lineære systematiske feilene ved bruk av DLT metoden: Bruk flere parametere for å reflektere ikke-lineariteten i den standardiserte DLT metoden, og bruk først den standardiserte DLT metoden for deretter å legge til ikke-lineære modifikasjoner.

Hvordan kameraene plasseres og kvaliteten på kameraene kan være viktig for nøyaktigheten. Dette inkluderer kameraenes distanse fra og orientering i forhold til kontrollområdet og kameraenes linsekvalitet (Chen et al., 1994). Når det gjelder kameraoppsett har vinkler og posisjon vist seg ikke å være en kritisk faktor så lenge en ikke benytter et oppsett med veldig skarpe vinkler, hvor kameraene står nesten rett ved siden av hverandre, eller veldig åpne vinkler hvor kameraene står nesten rett mot hverandre. Der hvor kun 2 kameraer observerer målet vil teoretisk den optimale vinkelen være på 90 grader mellom kameraene (Gosh, 1979). Utover dette hevder Wood & Marshall (1986) ifølge upubliserte prosjekter de har hatt tilgang på, at når det gjelder vinkel i forhold til distanse har det vist seg at en ratio på 1:3 og 2:1 (avstand kamera-subjekt: avstand mellom kameraene) gir tilsynelatende like gode resultater. Videre fant Wood & Marshall i sitt eget prosjekt at en ratio på 1:2 vil gi bedre resultater enn en ratio på 1:1.

Det bør også nevnes at tilfeldige og systematiske digitaliseringsfeil kan forekomme. Det kan for eksempel være feil i sammenheng med grovheten på bildepixel oppløsningen og det kan være feil i forbindelse med feil oppfattet posisjon av faktorer som ledd, kroppsdel og utstyr. Andre feilkilder en bør være oppmerksom på er feil plassering eller registrering av kontrollpunkter og kamera bevegelse og vibrasjon.

Bevegelsesanalysemetoder i langrenn

Av tidligere teknikkundersøkelser gjort på langrenn kan det være interessant å vurdere metodene som ble brukt. Det er tidligere blitt gjort flere kinematiske analyser av utøvere under konkurranse eller lignende situasjoner (Smith et al., 1988; Smith et al., 1989; Rundell & McCarthy, 1996; Botnan, 2001; Larsen, 2007). Her følger en kort oversikt over metodene overnevnte forfatterne benyttet seg av.

Smith et al. (1988) tok for seg world cup friteknikk 10 km i Holmenkollen, mars 1986. Faktorer som ble sett nærmere på var syklusrate, sykluslengde, syklushastighet, skivinkler i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning (skiens retningsvinkel ble bestemt ut fra tå/binding og skitupp) og massesenterets forflytning. Studiet tok for seg et vidt spekter av nivåer. 10 utøvere ble analysert i en 7° motbakke. Motbakken var ca 1 km fra start og det ble brukt ett oppsett med 2 kamera. Videoopptakene ble digitalisert og DLT metoden ble brukt for å lage en 3D modell bestående av 19 segmenter (inkludert ski og staver).

Smith et al. (1989) filmet flere utøvere fra 2 friteknikk renn under Calgary Games 1988: 50 km menn og 20 km kvinner. To filmområder ble brukt pr. renn, ett i moderat motbakke på rundt 6-7° og ett i brattere terreng på rundt 10-11°. Utøverne passerte disse to områdene to ganger hver. Det første filmområdet var lokalisert ved ca 16/41 km og det andre ved ca 18/43 km i mennenes renn og ved ca 1/11 km og 3/13 km for kvinnenenes renn. Det ble brukt to kamera for hvert av de to filmområdene. Her ble det undersøkt syklusrate, syklushastighet, sykluslengde, albue-, kne- og overkroppsvinkler, stavvinkel, stav- og skulder orientering, stavtakfase, frasparkfase og hvilefase, bevegelse av massesenteret, skivinkler i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning og skikantingsvinkler i forhold til underlaget (bestemt ut fra kne og tå koordinatene). Kinematiske analyser ble kun gjort for det andre filmområdet. Videoopptakene ble digitalisert og DLT metoden ble brukt for å lage en 3D modell bestående av 22 punkter (inkludert ski og staver).

Rundell & McCarthy (1996) undersøkte sammenhengen mellom syklushastighet, sykluslengde og syklusrate i motbakke for 18 kvinnelige topputøvere i ett 10 km friteknikk skirenn á to 5 km runder. Rennet var nasjonalt U.S mesterskap i 1995. Videoområdet var plassert i en 11-12% (6,3-6,8°) motbakke ved 2,5 og 7,5 km

passering. Det ble brukt ett kamera montert på en tripod 3,5 m fra sporet. Kameraet ble rotert for å følge utøverne når de passerte. Videoopptakene ble digitalisert og analysert i 2D. Motbakken som ble brukt var 400 m lang og analyseområdet var ca 12 m langt helt på slutten av bakken.

Botnan (2001) brukte en metode som gikk ut på å filme utøverne under konkurranse i to forskjellige strekk i en lang motbakke (hvor løperne passerte to ganger i løpet av rennet) for å studere teknikkene V1 og V2 mellom 5 gode og 5 mindre gode løpere. Faktorene som ble analysert var hovedsakelig sykluslengde og syklusfrekvens. Skirennet var 30 km fristil for menn, VM Trondheim 1997. Strekkene var på 221 og 285 meter og hadde en stigning på 4,2 og 4,4 grader. Det ble brukt 3 videokameraer pr. strekning og kameraene ble rotert for å følge utøverne. Videoopptakene ble digitalisert og analysert i 2D (utøverne ble ikke rekonstruert i 3D format).

Larsen (2007) lette etter forskjeller i bevegelsesmønsteret ved padling i motbakke på tredemølle kontra padling i motbakke på snø. I dette prosjektet ble det brukt 5 mannlige forsøkspersoner på middels nasjonalt nivå og det ble gjort opptak i 6,4° motbakke på tredemølle og 7° motbakke på snø ute i felt. Det ble i begge tilfeller festet 36 refleksmarkører på utøver og utstyr og kinematiske data ble samlet inn ved hjelp av 7 ProRefleks kamera. Dette er et hardware genlock system som ved hjelp av infrarødt lys som sendes fra kameraene og som reflekteres av markørene på utøverne kan bestemme punkters posisjoner i 3 dimensjoner (DLT beregninger foretas etter at data er overført fra kameraene til en datamaskin). Opptakene ute i felt ble gjort i mørket om natten for å unngå uønskede sollyksrefleksjoner fra snøen. I tillegg, pga kulden, sluttet to av de syv kameraene å virke under opptakene i felt, slik at data fra kun 5 kameraer kunne brukes fra uteopptakene.

2.7 Sammendrag

Prestasjon i langrennskonkurranser ser ut til å henge tett sammen med hastigheten utøveren klarer å holde i motbakke. Etersom det er lite kunnskap rundt årsak til valg av teknikk (V1 eller V2) ved moderat motbakke, er dette ett emne som er spennende å undersøke nærmere. En riktig kombinasjon av de ulike faktorene for å minske lateralforandringen av tyngdepunktet og fremdrifts-hastighetssvingningene, samt å oppnå en lengst mulig syklus lengde, høy syklusrate og mest mulig tid til å påføre

fremdriftskrefter vil nok gi de beste forutsetningene for en god prestasjon. Kanskje er dette faktorer som også påvirker den enkelte utøver i sitt teknikkvalg i tillegg til andre faktorer som den enkeltes styrke og utholdenhet, samt løypestruktur og føreforhold under den aktuelle konkurransen.

3.0 Problemstilling

Det er interessant å belyse årsaken til at enkelte utøvere velger V1 og enkelte V2 i en motbakke med samme helningsgrad og lengde. Det kan synes som om at det er en tendens til at utøvere med dårligere total løpsti velger V1 lettere enn utøvere med bedre løpsti. I tillegg kan det være en tendens til at utøvere bytter fra V2 til V1 raskere når de er mer slitne. Imidlertid er det påvist at ved rulleskiaktivitet i ca 5 grader motbakke går eliteutøvere V1 og V2 med tilnærmet samme arbeidsøkonomi (Kvamme et al; 2005). Dette gjør det enda mer interessant å se nærmere på faktorer som kan være årsak til ulike teknikkvalg. Tidligere er teknikkene blitt sammenlignet i laboratoriesituasjon, men det er ikke kjent at teknikkene tidligere er blitt sammenlignet på denne måten i fullstendig uforstyrret konkurransesituasjon. Dette leder til følgende problemstilling:

Hvordan vil utvalgte kinematiske faktorer skille V1 fra V2 ved selvstendig teknikkvalg i samme motbakke under like konkurranseforhold?

3.1 Avgrensinger og definisjoner for problemstillingen

De utvalgte kinematiske faktorene for analysing vil være: Syklustid, tid brukt på å fullføre en fullstendig syklus. Syklusrate, antall sykluser per tidsenhet. Sykluslengde, tilbakelagt distanse i fremdriftsretningen for en full syklus. Syklushastighet, gjennomsnittlig hastighet i gjennomsnittlig fremdriftsretning i løpet av en syklus (sykluslengde x syklusrate). Skiorientering, den horisontale vinkelen for skien ut til siden i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning. Massesenterets hastighet, totale hastighetsendringer over tid for massemiddepunktet uavhengig av retning. Hastighetsvektorens vinkel, massesenterets retning i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning. Kne og overkroppsvinkler under gli og fremdriftsfasen; gli og fremdriftsfasen defineres til sammen som perioden fra skien tar i bakken til den forlater bakken, knevinkel finnes ut fra ankel, kne og hofteløddsposisjon og overkroppsvinkel finnes ut fra det sanne horisontalplanet, hofteløddsposisjon. Skiens hastighet, vil bli målt i skiens gjennomsnittlige retning. Kantingsgrad av begge ski, vil bli målt med utgangspunkt i fremre og bakre del av skien, ski tå binding og utøverens ankel. Stav vinkel i forhold til fremdriftsretningen (måles i sann horisontal i forhold til

gjennomsnittlig fremdriftsretning). Stav vinkel vertikalt i forhold til bakken, angrepsvinkelen til staven i snøen (måles i forhold til sann vertikal).

3.2 Forventede resultater

Med tanke på problemstillingen kan en forvente noen mer eller mindre sikre ulikheter: Tidligere forskning viser at sykluslengden kan forventes å ville være kortere og syklusfrekvensen høyere for V1 enn for V2 (Bilodeau et al., 1991; Smith, Kvamme & Jakobsen, 2009) og antagelig vil horisontal skivinkel for V1 være større enn for V2 (Smith et al.). Andre faktorer er det ikke gjort mye sammenligninger på.

4.0 Metode

Dette prosjektet er bygget på ett allerede ferdig videomateriale fra et 15 km friteknikk FIS renn tatt opp i forbindelse med ett samarbeidsprosjekt mellom Norges Idrettshøgskole og Olympiatoppen. Materialet inkluderte filmede kontrollpunkter med teodolittmålte plasseringer, og samtlige løperes 3 passeringer i en 6,5° motbakke, filmet fra 5 forskjellige vinkler. Plasseringen av forsøksområdet var gjort i en bakke med en slik helning at det var forventet at utøverne ville veksle mellom V1 og V2 teknikkene.

4.1 Valg av metode

Tidligere prosjekter

Det er som nevnt i teorien tidligere blitt gjort flere kinematiske analyser av utøvere under konkurranse eller lignende situasjoner. Smith et al. (1988) gjorde en 3D analyse av V1 teknikk i 7° motbakke under worldcup friteknikk 10 km Holmenkollen, mars 1986. Smith et al. (1989) gjorde også en 3D analyse av V1 teknikk, her i både 6-7° og 10-11° motbakke for både menn og kvinner i 50 km menn og 20 km kvinner under Calgary Games 1988. Rundell & McCarthy (1996) utførte en 2D V1 teknikkanalyse av 18 kvinnelige topputøvere i en 6,3-6,8° motbakke under nasjonalt U.S mesterskap i 1995. Botnan (2001) utførte en 2D V1 og V2 teknikkstudie i 4,2-4,4° motbakke, med sammenligning av 5 gode og 5 mindre gode utøvere (under 30 km friteknikk for menn under VM i Trondheim 1997). Larsen (2007) gjorde en 3D V1 teknikkanalyse av 5 mannlige utøvere i 4° motbakke på tredemølle og 7° motbakke på snø ved hjelp av ProReflekskamera og markører påfestet utøverne (forsøket ble ikke gjennomført under konkurranse, men i en test setting).

Fordeler med 2D analyser slik Botnan (2001) og Rundell & McCarthy (1996) gjorde er at de er enkle å gjennomføre. En trenger ikke så mange kameraer, og en slipper arbeidet med å digitalisere utøverne fra mange kameravinkler og å bruke avanserte utregningsmetoder for å rekonstruere 3D koordinater. Dette åpner også for mulighet til å inkludere flere observerte utøvere i 2D prosjekter. Ulempen med 2D analyse er at det gir begrensede analysemuligheter når det gjelder antall kinematiske faktorer, kanskje spesielt med tanke på skiskøyting som foregår mye i 3 dimensjoner. Fordelen med 3D

analyser slik Smith et al. (1988 og 1989) og Larsen (2007) gjorde, er tilsvarende de mye mer omfattende analysemulighetene.

Botnan (2001) og Rundell & McCarthy (1996) brukte bevegelige kamera, mens Smith et al. (1988 og 1989) og Larsen (2007) brukte fastmonterte. Fordelen med bruk av fastmonterte kamera er at det holder å kalibrere bildet én gang. Ved bruk av bevegelig kamera er en nødt til å kalibrere hvert enkelt bilde, hvilket er mer resurskrevende. På den annen side kan det være en fordel å bruke bevegelige kamera siden det muliggjør ett mye større analyseområde å benytte seg av. ProRefleks kameraene Larsen benyttet seg av er i tillegg veldig enkle når det kommer til databehandlingen, ettersom det da ikke kreves plotting av referansepunkter på forsøkspersonen, men at dette skjer tilnærmet automatisk (det er kun behov for kvalitetskontroll av punktene i tilfelle ”falske markører” i form av feil-refleksjoner). Imidlertid er det noen upraktiske aspekter ved bruk av denne type kamera i feltstudier vinterstid. Det vil være behov for reflekterende markører festet på utøverne som skal analyseres, hvilket ikke vil være så problematisk i seg selv, men det vil nok være lite aktuelt for en konkurransesituasjon. Videre krever denne metoden ved analyse på snø at opptakene gjøres i mørket for ikke å få for mange feilrefleksjoner. I tillegg har det blitt opplevd problemer med funksjonen i kulde for denne typen kamera.

Metodevalget

Oppgavens problemstilling ligger i en viss grad til grunn for valg av metode. Med de kinematiske faktorene det var ønsket å studere var det behov for en 3D analysemetode. DLT teknikken er mye brukt i lignende prosjekter, og da Reid (2010) samtidig hadde satt seg meget godt inn i og brukte denne metoden i en egenutviklet custom MATLAB software på campus (NIH) i sin doktorgradsavhandling på alpin teknikkanalyse, var det en fordel å benytte seg av denne kunnskapen. Ettersom datamaterialet (videoopptakene) allerede var klart da denne oppgaven ble påbegynt, kan en ikke direkte si at valg av metode fullt ut ble gjort med henhold til denne oppgaven. På den annen side sikter denne oppgaven seg mot kinematiske faktorer i konkurranse der det er ett mål å imøtekomme denne problemstillingen med kinematiske målinger ute i felt i en aktuell konkurransesituasjon. Slik sett passet metoden datamaterialet var samlet inn på meget bra. Det er gjort mange kinematiske studier tidligere i kontrollerte omgivelser. For eksempel på tredemølle i laboratorium (Hoffmann et al., 1998; Hetland, Løkke, Tveit,

& Jakobsen, 2002) eller ved forsøks-oppsett ute i skiløype hvor løperne er instruert om forsøket på forhånd (Bilodeau et al., 1991; Losnegard, 1994; Stöggl et al., 2009; Larsen, 2007). I denne studien var målet å observere og analysere utøvere i konkurransesituasjon totalt upåvirket av forsøksoppsett. I videomaterialet som allerede forelå var ingen markører festet på utøverne og ingen instruksjoner gitt på forhånd. Det eneste utøverne opplevde rundt målingene var observasjon av kameraene og kontrollpunkter idet de passerte kontrollområdet i løpet av konkurransen.

4.2 Valg av design

Forskningsdesignet som blir brukt i dette prosjektet vil være case studie. Dette skyldes det lave antallet studie enheter (4 utøvere), det store antallet faktorer som er ønsket å undersøke og at studiet er tids og stedsspesifikt. En case studie søker etter en dybdeforståelse for en situasjon slik som dette prosjektet har satt for seg. Analysen har en beskrivende form og tar for seg forholdsvis store mengder av informasjon fra relativt få personer. Selv om studiet kun tar for seg få deltagere, er det ment å representere massen mer eller mindre, og på denne måten vil en skape større forståelse for lignende situasjoner. Case studie kan bli utført som ett tolkende/tydende studie, hvilket betyr at det i tillegg til å være beskrivende vil prøve å forklare konseptet og forsøke å lage teorier om emnet (Thomas, Nelson, & Silverman, 2005). Denne oppgaven vil være en slikt studie.

4.3 Forsøkspersoner

Personene i dette prosjektet var deltagere på åpningsrennet på Beitostølen 24.11.2007, FIS friteknikk, 15 km menn (Tabell 4.1 og 4.2 og Figur 4.1). Løperne ble filmet i selve skirennet, dermed var det ikke behov for noen rekrutteringsprosess. Forsøkspersonene ble valgt ut etter kriteriene at de benyttet teknikken V1 en eller to av de totalt tre passeringene foran kameraene, og at de benyttet teknikken V2 en eller to av passeringene. Dette for at de to teknikkene skulle kunne sammenlignes for enkeltpersoner med seg selv i tillegg til mellom personer.

Etiske forhold

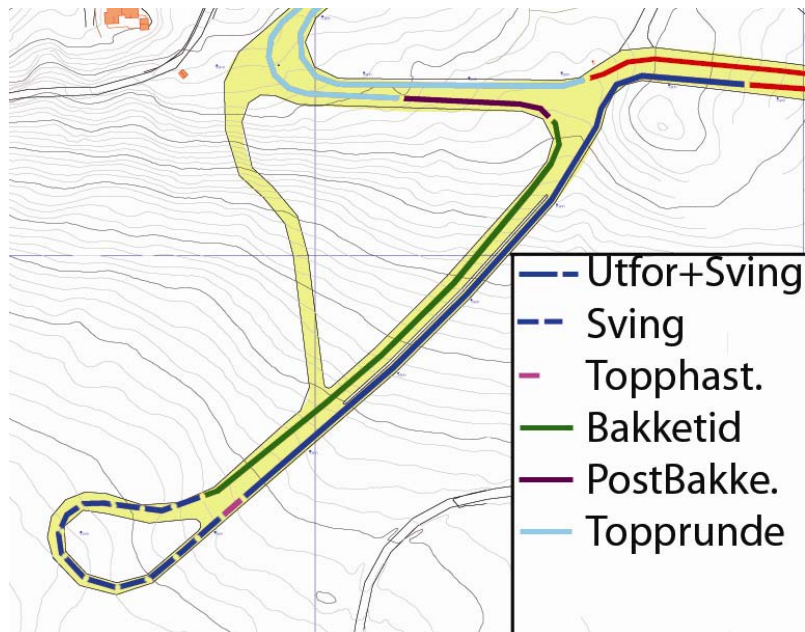
Utøverne var ikke klar over sin deltagelse i prosjektet ut over deres observasjoner av kalibrerings- og kamerautstyret langs løypa. Utøverne ble filmet i selve skirennet. Dette var et skirenn som ble sendt over fjernsyn og som alle og enhver hadde mulighet til å se. Skiløperne vil imidlertid ikke bli direkte skildret ved navn i dette prosjektet.

Tabell 4.1: Viser utøvernes startnummer, slutt plassering i skirenn og tid (fra FIS resultatliste) brukt frem til hver av de tre passeringene.

	Start	Total-	1. runde		2. runde		3. runde	
	nr.	plassering	Tid 5 km	Teknikk	Tid 10 km	Teknikk	Tid 15 km	Teknikk
FP 1	83	11	12:00.9	V2	24:32.0	V1	37:15.2	V1
FP 2	6	38	12:29.7	V2	25:23.1	V1	37:57.2	V1
FP 3	7	21	12:23.0	V2	25:02.5	V2	37:27.2	V1
FP 4	65	19	12:02.2	V2	24:36.5	V2	37:23.9	V1

Tabell 4.2: Viser nasjonalitet, vekt, høyde, fødselsår og ranking for utøverne.

	Nasjonalitet	Vekt	Høyde	Født	World ranking
FP 1	Frankrike	71 kg	1,80 m	1975	2
FP 2	Norge	75 kg	1,75 m	1974	70
FP 3	Norge	72 kg	1,74 m	1984	107
FP 4	Italia	72 kg	1,80 m	1974	17



FP nr.:	Utfor + Sving	%	Utfor + Sving	%	Utfor + Sving	%	Utfor + Sving	%
	runde 1	Bak	runde 2	Bak	runde 3	Bak	snitt	Bak
1	00:41,04	11,3	00:39,96	7,8	00:41,72	10,9	00:40,91	10,0
2	00:40,40	9,5	00:40,36	8,8	00:39,70	5,5	00:40,15	8,0
3	00:39,82	8,0	00:40,14	8,3	00:39,56	5,2	00:39,84	7,1
4	00:40,20	9,0	00:41,16	11,0	00:41,70	10,8	00:41,02	10,3
Best	00:36,88		00:37,08		00:37,62		00:37,19	
Snitt	00:40,27		00:40,95		00:41,51		00:40,91	

FP nr.:	Bakketid	%	Bakketid	%	Bakketid	%	Bakketid	%
	runde 1	Bak	runde 2	Bak	runde 3	Bak	snitt	Bak
1	01:00,76	2,6	01:04,00	7,6	01:05,00	7,3	01:03,25	5,8
2	01:05,60	10,7	01:06,40	11,6	01:07,00	10,6	01:06,33	11,0
3	01:04,16	8,3	01:03,26	6,4	01:07,12	10,8	01:04,85	8,5
4	01:06,64	12,5	01:04,16	7,9	01:07,72	11,7	01:06,17	10,7
Best	00:59,24		00:59,48		01:00,60		00:59,77	
Snitt	01:05,68		01:07,23		01:07,76		01:06,89	

FP nr.:	Post Bakketid	%	Post Bakketid	%	Post Bakketid	%	Bakketid	%
	runde 1	Bak	runde 2	Bak	runde 3	Bak	snitt	Bak
1	00:17,44	5,8	00:18,08	9,2	00:18,12	7,5	00:17,88	4,6
2	00:17,68	7,3	00:18,76	13,3	00:17,04	1,1	00:17,83	4,3
3	00:17,04	3,4	00:17,62	6,4	00:17,16	1,8	00:17,27	1,1
4	00:18,12	10,0	00:18,16	9,7	00:17,88	6,0	00:18,05	5,6
Best	00:16,48		00:16,56		00:16,86		00:17,09	
Snitt	00:18,19		00:18,66		00:18,64		00:18,50	

Figur 4.1: Viser tid brukt (og hvor mange % tiden er bak beste tid) på utforbakke inkludert sving før motbakken opptakene ble gjort i, i selve bakken og på ett strekke etter analysebakken. I tillegg vises etappenes beste tid og snitt tid for de samme strekkene (Jacobsen, 2007).

4.4 Datainnsamling

Løype og forhold

Prosjektets data ble samlet inn fra nevnte 15 km åpningsrenn på Beitostølen (Figur 4.2). Rennet foregikk ved å gå samme 5140 m sløyfe 3 ganger. Dette prosjektet baserer seg på kinematiske data fra første og tredje passering. Løypa lå på ca 800 meter over havet, og hadde en høydeforskjell på 49 meter (maksimum tillatte høydeforskjell ifølge FIS er på 200 meter for denne distansen). Maksimum climb (maksimal høydeforskjell i en enkelt motbakke) var på 48 meter (maks 80 meter etter FIS reglene) og total climb (sammenlagt høydeforskjell for alle motbakkene) var på 456 meter (skal ligge mellom 400 og 600 meter ifølge FIS). Værforholdene var snø-vær og underlaget var pakket pudder-snø. Både luft og snøtemperaturen var på $-5,0^{\circ}\text{C}$. Rennet startet kl 12:30, var ferdig kl 13:49 og deltagerne startet med 30 sekunder mellomrom (fis-ski, u. å.).

Kontrollpunktoppsett

I dette prosjektet ble det satt opp 34 kontrollpunkter som stod fast under hele opptaksperioden (Figur 4.3). I tillegg ble det etter konkurransen satt opp 16 tilleggspunkter. Disse punktene ble filmet med videokameraene i nøyaktig den posisjonen konkurransen ble filmet i. Dette ble gjort for å få en mer nøyaktig kalibrering av hele analyseområdet. Kontrollpunktene ble målt opp ved bruk av teodolitt og kontrollområdet var 10,7 meter langt og 7,5 meter bredt (Figur 4.4 og 4.5).

Kameraoppsett

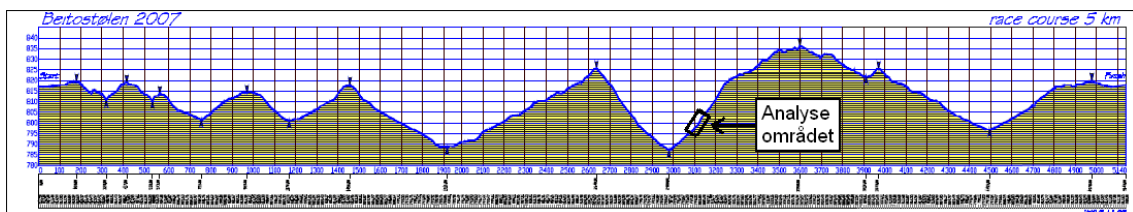
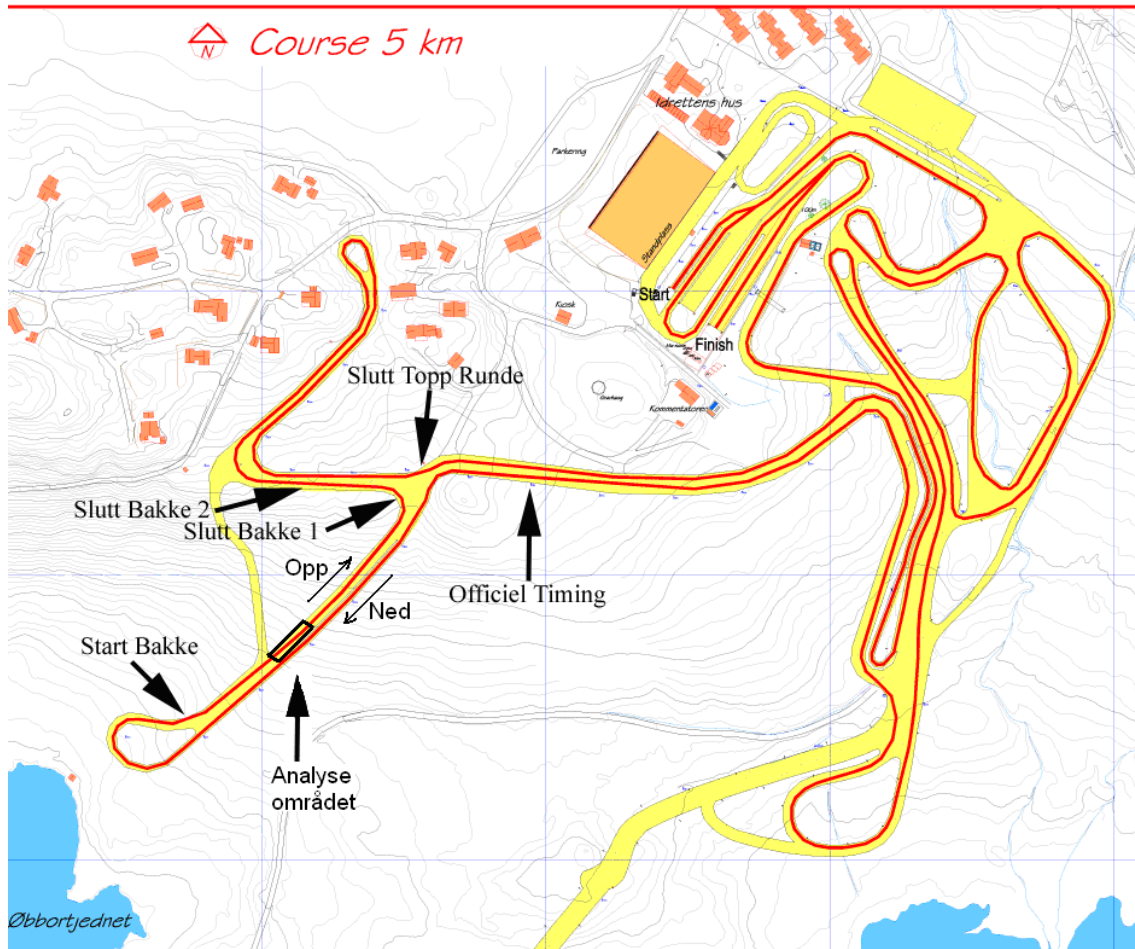
Det ble brukt 5 kameraer (Figur 4.3), hvorav ett (Kamera 5) tok opp film i høyoppløselig (HD) kvalitet. Kamera 1-4 som filmet i normal kvalitet (720 x 576) var plassert i hvert av hjørnene; Kamera 1 foran venstre, Kamera 2 foran høyre, Kamera 3 bak høyre og Kamera 4 bak venstre. Kamera 5 som filmet i HD kvalitet (1440 x 1080) var plassert på midten på høyre side av analyseområdet. Kamerastativene ble fryst fast i bakken ved bruk av vann for å være stabile, og et strømaggregat forsynte kameraene med elektrisk strøm. Strømkabler ble gravd ned under løypetraseen kvelden før rennet.



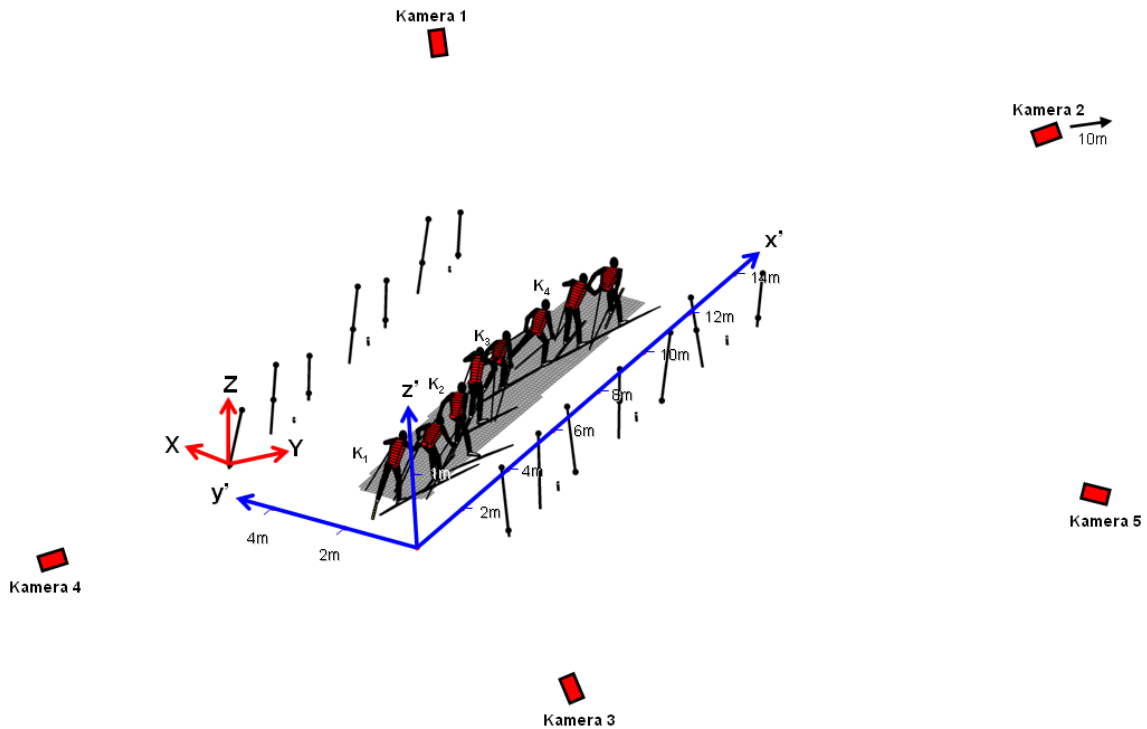
Beitostølen Skiarena Race Course 5 km

Height Difference (HD): 49 m
 Lowest Point: 787 m
 Highest Point: 836 m
 Length: 1 x 5 km = 5.140 m
 2 x 5 km = 10.340 m
 3 x 5 km = 15.540 m

	MC	TC
1 x 5 km	48 m	165 m
2 x 5 km	48 m	330 m
3 x 5 km	48 m	495 m



Figur 4.2: Viser løypeprofil og data for 5 km sløyfen som ble gått 3 ganger av utøverne under rennet. Det vises start og slutt for bakken det ble filmet i (bakke 1) og i tillegg er det markert retning i løypa og hvor i motbakken opptaksområdet var plassert.



Figur 4.3: Kameraoppsett og kontrollpunkter. Koordinatsystemet $x'y'z'$ ble definert av gjennomsnittlig fremdriftsretning x' og snøens overflate (rekonstruert av 47 stavsett punkter). Koordinatsystemet XYZ ble definert med utgangspunkt i teodolittmålingene og gir sann horisontal og vertikal. Dette koordinatsystemet hadde i utgangspunktet origo i senter av teodolitten, men origo ble etter målingene flyttet til kontrollpunkt 101 og koordinatsystemet ble rotert så Y akse lå i linje med de høyre kontrollpunktene. $K_1 - K_4$ representerer posisjonene hvor stolpene med kalibreringspunktene for den midtre kalibreringsrekken ble satt opp etter rennet var over.



Figur 4.4: Utøver på vei ut av kontrollområdet. Synlig i bakgrunnen er noen kontrollpunkter og ett av kameraene.



Figur 4.5: Oversikt over bakken som leder opp til kontrollområdet. En kan se to utøvere hvorav den nærmeste akkurat er på vei inn mellom de første kontrollpunktene som er synlig på sidene. Kontrollområdet var 10,7 meter langt og 7,5 meter bredt (bilde hentet fra Jacobsen, 2007).

4.5 Dataanalyse

Løperne ble digitalisert ved hjelp av en spesial utviklet software for MATLAB versjon R2006b (The Mathworks, Inc., Natick, USA) som opprinnelig var designet for et annet prosjekt (Reid, 2010). For å kunne bruke videomaterialet i MATLAB krevdes det klargjøring av videomateriale og tilpasning av software.

Klargjøring av videomateriale for analyse i matlab

Alt videomateriale ble originalt tatt opp på videokassetter ute i felten. Fra disse videokassetene ble materialet gjort om til digitale AVI filer via programmet Adobe Premiere Pro (Adobe Systems Incorporated, California, USA). Videomaterialet fra Kamera 1 og 4 var tatt opp i widescreen/med ”svart stripe” over og under. Disse stripene måtte beholdes for å unngå deformasjon av bildet. Videomaterialet fra Kamera 2 og 3 var tatt opp uten slike striper og måtte også beholdes slik de var tatt opp for å unngå bildedeformasjon. Videomaterialet fra Kamera 5 var tatt opp i HD kvalitet og måtte klargjøres på en annen måte igjen enn de andre videofilene. Alle opptakene ble komprimert med Indeo 5.11 codec (Ligos Corporation, San Francisco, USA). Opptaksfrekvensen var 25 bilder per sekund og bildeoppløsningen var på 720 x 576 piksler for Kamera 1-4 og 1440 x 1080 piksler for Kamera 5. I tillegg ble alle videofilene justert med en autofunksjon for lysstyrke og kontrast for å få et skarpest mulig bilde.

Det var ett ønske om å analysere videomaterialet med en opptaksfrekvens av 50 bilder per sekund, som kunne vært gjort ved å deinterlace videoen, slik at frameraten ville blitt doblet. Dette kunne ha blitt gjort dersom alt videomaterialet var tatt opp i halvbilder, men det lot seg ikke gjøre her ettersom opptaket fra Kamera 5 var gjort i helbilder/progressive scan.

Tilpassing av custom software for MATLAB

Customsoftwaren for MATLAB som ble brukt i dette prosjektet var i utgangspunktet utviklet for et disputasprosjekt i bevegelsesanalyse for alpint (Reid, 2010). Det ble da brukt bevegelig kamera og zoom. I og med at videoopptakene brukt i dette prosjektet var tatt opp uten bevegelse av kameraene og uten bruk av zoom, medførte dette en liten forenkling av den praktiske kalibreringsjobben. Imidlertid måtte customsoftwaren fra alpintprosjektet etterjusteres litt for å kunne brukes til langrennsanalysen. De største

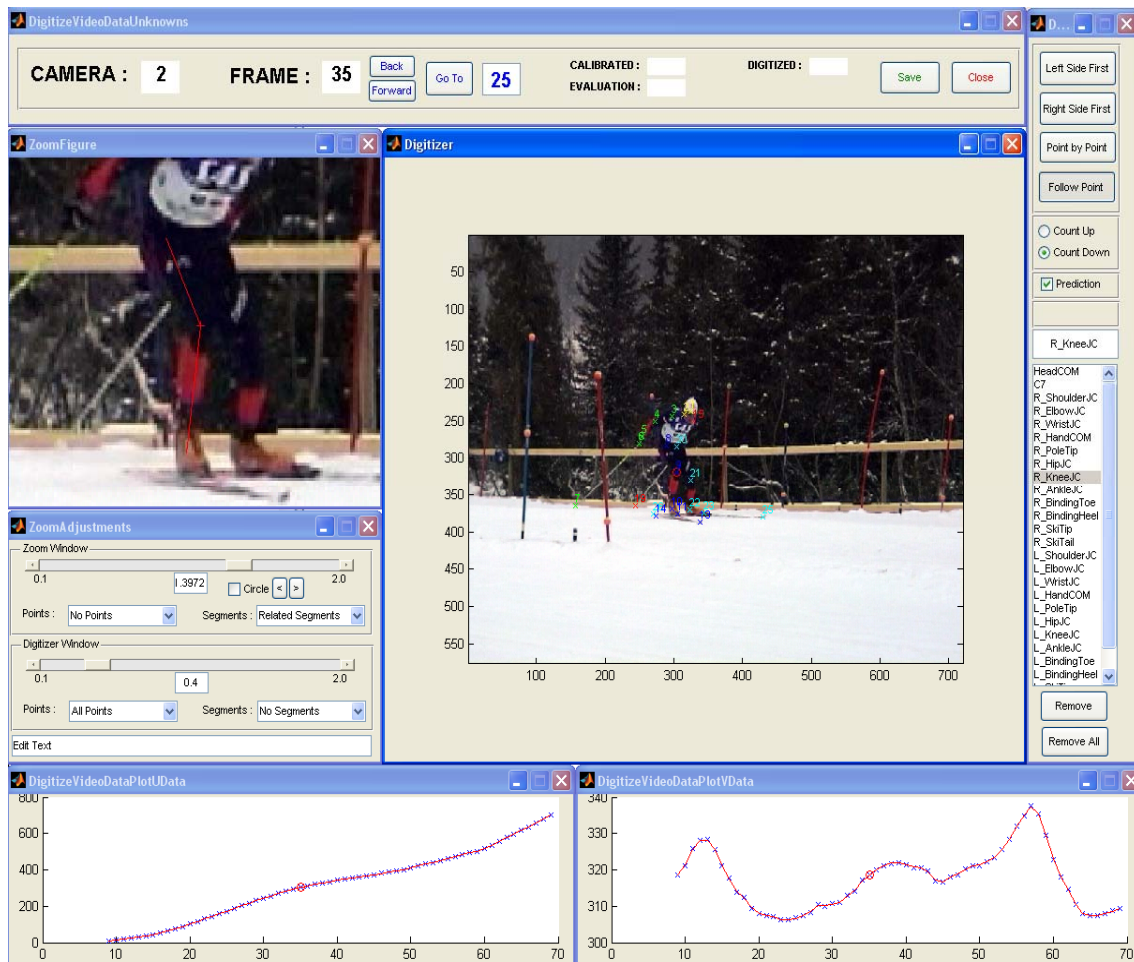
tilpasningene måtte gjøres i kalibrering, synkronisering og rekonstruksjonsrutinene pga faste kameraer. Softwaren måtte i tillegg tilpasses HD bildekvalitet (pga at ett kamera gjorde opptak i denne kvaliteten) ettersom det her var flere piksler enn programmet var lagd for i utgangspunktet. Det måtte også brukes en annen type videoleser i softwaren enn den som var brukt i utgangspunktet pga annet format på langrennsvideoene enn alpintvideoene som softwaren var utviklet for.

Bruk av DLT i custom softwaren

DLT brukes normalt i bevegelsesanalyse-sammenheng i laboratorieoppsett og med markører festet på kroppen til forsøkspersonen. I dette prosjektet ble en annen tilnærming brukt for å få markert nøkkelpunktene. Dette ble løst med manuell plotting av punktene av interesse på digitale videobilder (Figur 4.6). Custom softwaren registrerer 2D bilde koordinatene fra disse markørene og plasserer dem sammen med DLT parameterne i DLT formlene. På denne måten kan en da rekonstruere 3D koordinater for de ønskede punktene.

Synkronisering av kameraene

Synkronisering av kameraene ble i dette prosjektet gjort ved hjelp av en software genlock (Pourcelot et al, 2000; Reid, 2010). Det ble satt en grense på minst 5 m/s for bevegelseshastigheten for de punktene som ble tatt med i beregning av synkroniseringen. Punktene som ble brukt til synkronisering var stavtupper og hender i de fasene de bevegde seg i tilstrekkelig hastighet. I denne oppgaven ble samme software genlock metode brukt som i Reid sin studie (men i dette prosjektet med bildefrekvens på 25 Hz i stedet for 50 Hz som hos Reid).



Figur 4.6: Skjerm bilde av custom softwaren for MATLAB hvor utøverne med utstyr ble plottet og digitalisert

Feilkilder og begrensninger

Digitaliseringsfeil

En annen utfordring som åpenbarte seg var vanskeligheter med selve digitaliseringen, spesielt av skiens bakende og hendene/håndleddene. Skiens bakende var ofte vanskelig å plotte på grunn av at den til tider gravde seg vekk ned i snøen og til tider ble borte i snøsprut som ble virvlet opp rundt bakenden av skien. Ett virkemiddel for å unngå dette kunne vært å plassere minst ett av kameraene så høyt som mulig for å få best mulig overblikk. Hendene og håndleddene var ofte vanskelige å plotte på grunn av at mange brukte svarte hansker som gikk i ett med bakgrunnen. Dersom det var hvit snøbakgrunn var det lett å se hendene i kontrast, men når bakgrunnen ble mørk skog, var det mer utfordrende å skille utstyr og kroppsdeler fra trær. Ved lignende prosjekter vil det være en fordel å ha hvit snø som bakgrunn. Alternativt kan en benytte seg av ett hvitt lerret eller lignende som danner bakgrunnen.

I tillegg kunne det også være forstyrrende for plottingen med kalibreringspunktene og stolpene som stod oppe under hele konkurransen/opptaksperioden ved at de skjermet for sikten. Det er en sikkerhetssak at kalibreringsrammen er oppe under hele filmingen og dette gjøres i tilfelle noen av kameraene skulle røre på seg under opptakene (hvilket ville gitt store feil med bare en liten vridning av kamera). Ulempen med kalibreringsrammen i bildet var at punkter flere ganger ikke kunne plottes pga at ledd eller utstyr ble dekket til av kalibreringsoppsettet. Dermed bør en nok spørre seg om hvor stor sjansen er for at kamera kan røre på seg kontra nøyaktighetsforringelsen ved at enkelte punkter ikke kan plottes. En annen løsning på dette kan eventuelt være å benytte så få kontrollpunkter som mulig i forhold til nøyaktigheten en har behov for, med så liten som mulig størrelse slik at de dekker minst mulig av sikten.

Til slutt kan det nevnes at det også er veldig lett å plotte feil når en har holdt på med digitalisering over en lengre periode med få pauser. Kanskje spesielt lett er det å plotte feil side høyre/venstre kroppsdeler og ellers også feil kroppsdeler i seg selv. For å avhjelpe dette fantes det en funksjon i custom softwaren som kunne bytte om på sidene for kroppsdeler som var plottet på feil side (for eksempel høyre og venstre kne dersom de feilaktig skulle ha blitt byttet om på).

Kontrollpunkter utregningsfeil

Den midtre kalibreringsrekken (500 serien/kontrollpunktene som ble plassert i midten av løypa etter rennet) var ett problemområde i starten av prosjektet (Figur 4.3). Mens predikasjon av punkter gjort ut fra kalibreringsrekkene på sidene (sidene i forhold til retningen oppover bakken) gikk fint, ble det store predikasjonsfeil med en gang 500 serien ble inkludert. Årsaken til dette var sannsynligvis en utregningsfeil rundt kalibreringen med 500 serien, kombinert med en feilplassering av den ene kontrollpunktstolpen i kalibreringsrekken. Dermed ble det veldig vanskelig å finne ut hva som var feilen (siden antagelig både utregning og plassering var feil) og her ble det brukt mye tid. Det ble blant annet laget en egen funksjon i MATLAB for å lete etter mulige feilmålinger av kontrollpunktens plassering og det ble vurdert å gjøre prosjektet uten bruk av de midtre kontrollpunktene da nøyaktigheten så ut til likevel å ville vært tilfredsstillende. Etter å ha gått gjennom videoopptakene flere ganger og det ble oppfattet hvilken kontrollstolpe plassering som sannsynligvis var den rette, ble utregningene rundt kalibreringen med 500 serien gjort på nytt. Utgangspunktet var da det som ble forstått som riktig plassering av den feilplasserte kontrollpunktstolpen. Etter dette forsvant de store predikasjonsfeilene som tidligere fulgte med 500 serien, og den midtre kalibreringsrekken kunne nå med fordel inkluderes i DLT analysene.

Kontrollpunkt posisjonsfeil

Det ble kjørt en test hvor teodolitt vinkelmålingene ble tilført en målefeil på $0,01^\circ$, hvilket sannsynligvis er større en faktiske målefeil. Dette resulterte i en gjennomsnittlig posisjonsfeil på ca $1,8 \pm 0,7$ mm for kontrollpunktene. Dette antyder at feil i 3D målingene av posisjonene for kontrollpunktene sannsynligvis er veldig små. Med den avstanden og bildeoppløsningen som er brukt i dette prosjektet, er det rimelig sikkert at en piksel vil dekke et mye større område enn 1,8 mm. Dermed kan sannsynligvis kontrollpunkt posisjonsfeil i forbindelse med teodolittmålingene sees bort fra, ettersom de da vil være mye mindre enn feil som oppstår i forbindelse med plotting av kontrollpunktene på videobildene.

Sensitivitetsanalyse for plotting og massemiddelpunkt

Det ble foretatt en sensitivitetsanalyse for å måle hvor viktigheten av plottingens nøyaktighet var størst. Sensitivitetsanalysen gikk ut på å finne hvilke punkter som ved å bli endret ville gi størst utslag på predikeringen av massemiddelpunktet. Med tanke på

best mulig nøyaktighet for estimering av massemiddepunktet viste det seg at skuldre og hofter var viktigst. Dermed var det også viktig med størst mulig nøyaktighet for skitupp og ende, og stavtupp og hånd/stavhåndtak. Dette for å få en så nøyaktig estimering av skihastighet, skivinkler og stavvinkler som mulig. Kvalitetssikringen av plottingsarbeidet ble utført med hensyn til resultatene av denne analysen.

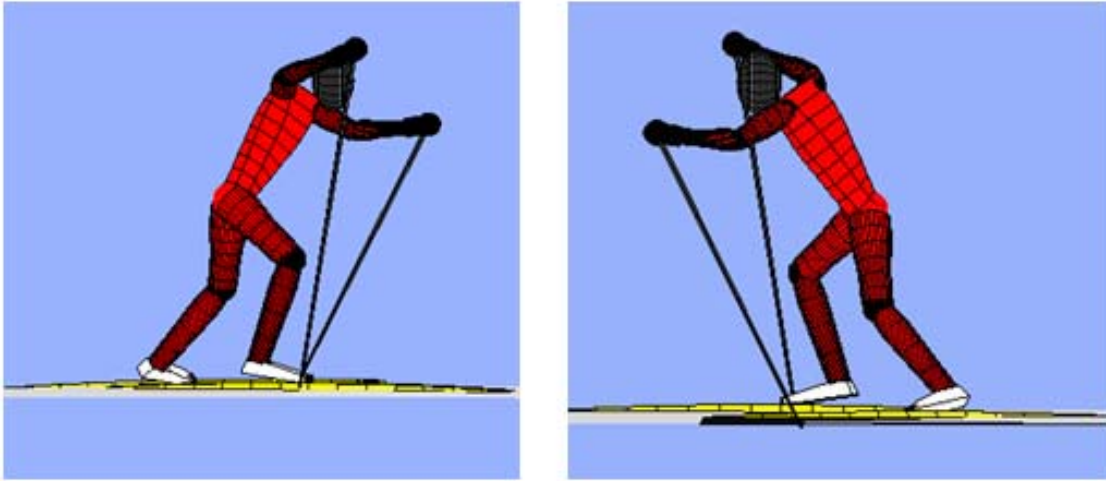
Definering av start og stopp for V1 og V2 syklusene

For å kunne sammenligne syklusene er det en fordel å ha en klar definisjon på fra når syklusene starter og stopper. Syklusstart er blitt definert på ulike måter i ulike forsøk tidligere, som regel ved isett av stav eller ski. I dette prosjektet ble det bestemt å definere start og stopp for syklusene på denne måten:

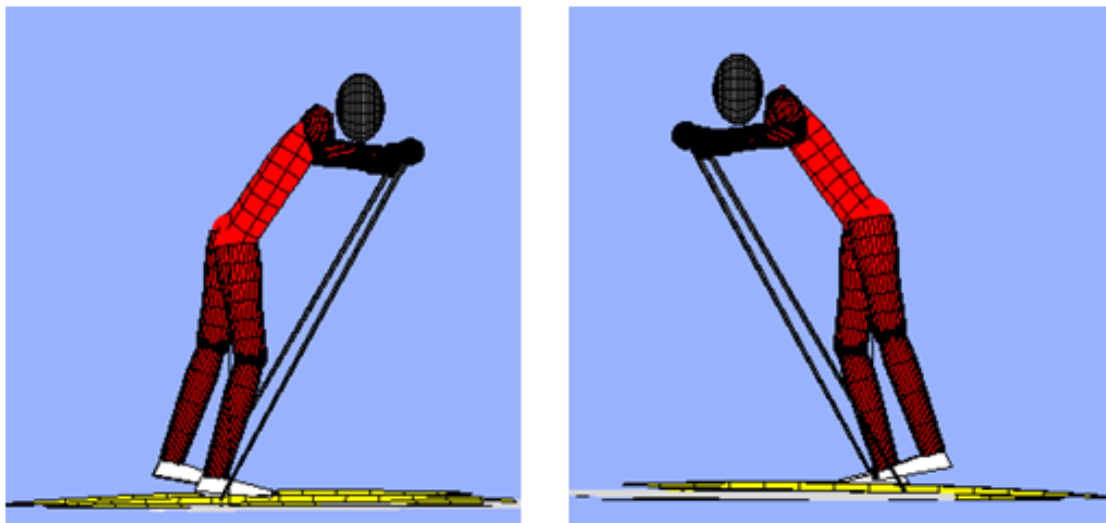
V1: Start/stopp: Isett av staven på sterk side (Figur 4.7)

V2: Start/stopp: Stavissett begge staver ved at det tas ett gjennomsnitt av når begge stavene berører bakken hvilket skjer tilnærmet likt i tid ved bruk av V2 (Figur 4.8)

Forsøksperson 1-3 ble registrert med høyre side som sterk side, og FP 4 ble registrert med venstre side som sterk side under bruk av V1 teknikken. Ved bruk av V2 teknikken ble start/stopp markert ved stavissett i overgangen til venstre ski's glifase hos FP 1-3, mens for FP 4 ble start/stopp markert ved stavissett i overgangen til høyre ski's glifase.



Figur 4.7: Viser syklus start og stopp for V1 teknikken ut fra syklus definisjonen. Her er høyre side sterk side (hengside). Bildene viser stavsett observert fra høyre og venstre side.



Figur 4.8: Viser syklus start og stopp for V2 teknikken ut fra syklus definisjonen. Bildene viser stavsett observert fra høyre og venstre side.

Rekonstruksjon av snøens overflate

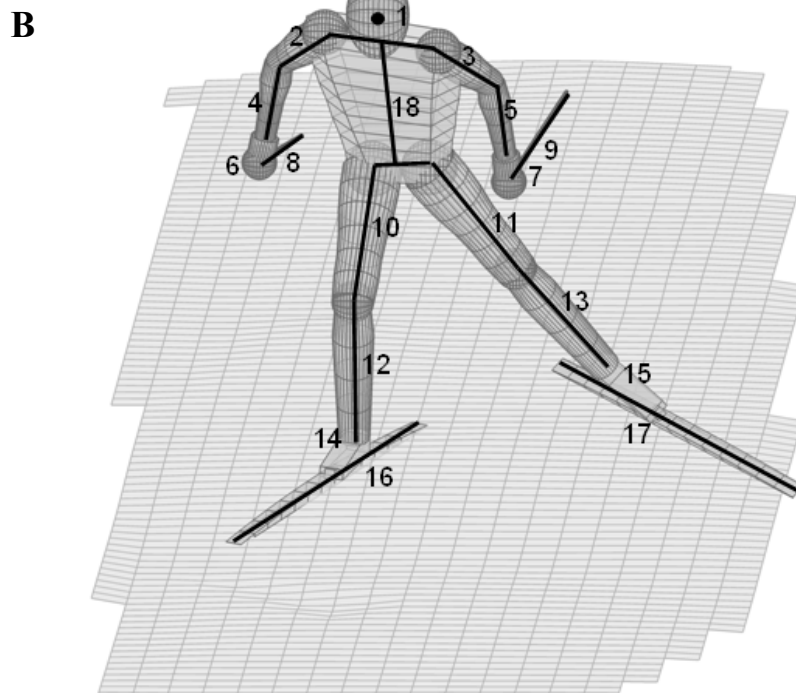
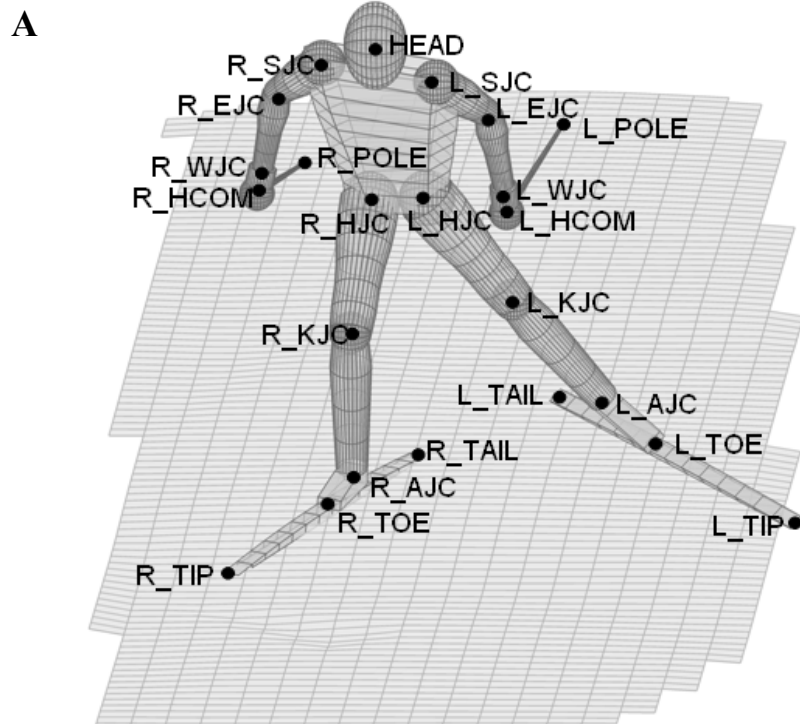
Snøoverflaten ble rekonstruert av flere grunner. Det var ett ønske om å se hvor jevn overflaten var (om det var sidehelning eller dumper), se når ski og staver tok ned i snøen (spesielt når stavene tok ned i snøen med tanke på start/stopp av syklusene) og for å få ett visuelt bilde av utøveren på underlaget ved studering av animasjonsekvensene. Den viktigste grunnen for rekonstruksjon av snøoverflaten var nok imidlertid for å få definert et av koordinatsystemene som skulle benyttes i beregning av kinematiske variabler. Dette koordinatsystemet tar i bruk snøoverflaten som horisontalen, og vertikalen springer da også vinkelrett ut fra snøoverflaten. Rekonstruksjon av snøoverflaten ble gjort ved å ta ett gjennomsnitt av koordinatene for plasseringen av stavtuppene når de var i kontakt med bakken. Det var fra disse gjennomsnittsverdiene modellen av underlaget ble bygd opp. Det var til sammen 47 stavisett punkter som ble brukt.

Utøvermodellene

Det ble plottet 23 punkter per utøver (Tabell 4.3 og Figur 4.9 A) i custom softwaren for MATLAB (Figur 4.6). Fra disse punktene som ble digitalisert (hode, skuldre, albuer, håndledd, hender, stavtupper, hoftelodd, knær, ankler, binding (tå), skitupp og skiende) ble det laget en modell av en utøver (inkludert ski og staver) definert av 18 segmenter (Tabell 4.4 og Figur 4.9 B): Skulder (R_SJC, L_SJC), albue (R_EJC, L_EJC), håndledd (R_WJC, L_WJC), hofte (R_HJC, L_HJC), kne (R_HJC, L_HJC), og ankel (R_AJC, L_AJC). Leddsentre ble definert i henhold til de Leva (1996a; 1996b). Basert på de digitaliserte hofte og skulder leddsentrene ble midt hofte og midt skulder regnet ut for å finne overkropp segmentene. Skituppen var definert som det punktet på skien hvor tuppen begynner å krumme seg og skienden ble plottet på midten av skiens flate endekant.

Animering

Utøverne ble også animert for å få ett bedre bilde av teknikken, feil i dataene og for å kunne definere start/stopp i syklusene. Animeringen av utøverne ble gjort på grunnlag av de plottede punktene. Mellom de plottede punktene ble det lagt til passende fasonger for å representere ski, staver og kroppsdelar. Den ferdig animerte sekvensen viste en syklus i den aktuelle teknikken, hvor bevegelsen kunne sees fra alle vinkler med ønsket zoom.



Figur 4.9: (A.) Oversikt over de digitaliserte punktene som definerer modellens segmenter. (B.) Oversikt over modellens segmenter. Se Tabell 4.3 og 4.4 for definisjoner.

Tabell 4.3: Definerer plottede punkter (og midtpunktene mellom de plottede hofte og skulderledd punktene) etter de Leva (1996b)

Punkt	Forkortelse	Definisjon
Hode COM	HEAD	Massesenteret for hodet
Høyre skulderledd senter	R_SJC	Senteret av hodet på humerus
Venstre skulderledd senter	L_SJC	
Høyre albueledd senter	R_EJC	Senteret av den transversale seksjonen av humerus, der hvor
venstre albueledd senter	L_EJC	den mediale epikondylen springer mest frem
Høyre håndledd senter	R_WJC	Senteret av den transversale seksjonen av capitate benet, der
Ventre håndledd senter	L_WJC	hvor furen mellom lunare og capitate benet går
Høyre hånd COM	R_HCOM	Massesenteret for hånd, hanske og stavgrep
Ventre hånd COM	L_HCOM	
Høyre stavtupp	R_POLE	Der hvor trinsen sitter på staven
Ventre stavtupp	L_POLE	
Høyre hofteledd senter	R_HJC	Senteret av hodet på femur
Venstre hofteledd senter	L_HJC	
Høyre kneledd senter	R_KJC	Midtpunktet mellom der hvor epikondylene på femur stikker
Ventre kneledd senter	L_KJC	mest frem
Høyre ankelledd senter	R_AJC	Senteret av den transversale seksjonen av talus, ved den
Ventre ankelledd senter	L_AJC	distale tuppen av fibula
Høyre tå	R_TOE	Midtpunktet mellom fremste delen av skotuppen og skiens
Venstre tå	L_TOE	binding
Høyre skitupp	R_TIP	Midtpunktet foran på skien der hvor den begynner å krumme
Venstre skitupp	L_TIP	oppover
Høyre skiende	R_TAIL	Midtpunktet bak på skiendekanten
Venstre skiende	L_TAIL	
Midt skulder	MIDS	Midtpunktet mellom R_SJC og L_SJC
Midt hofte	MIDH	Midtpunktet mellom R_HJC og L_HJC

Tabell 4.4: Definisjoner på kroppssegment parametre. Segmentenes masse regresjons koeffisienter basert på Zatsiorsky (2002) og massesenterets posisjon basert på de Leva (1996a). Massesenterets posisjon oppgitt i prosent av total segmentlengde fra det proksimale endepunktet.

Segment	Endepunkter		Langsgående COM posisjon (%)	Regresjonskoeffisienter			Eventuelle tillegg i masse (kg)
	Proksimalt	Distalt		B0	B1	B2	
Hode / Nakke	HEAD	.	.	1,296	0,0171	0,0143	.
Høyre overarm	R_SJC	R_EJC	57,72	0,25	0,03012	-0,0027	.
Venstre overarm	L_SJC	L_EJC	57,72	0,25	0,03012	-0,0027	.
Høyre underarm	R_EJC	R_WJC	45,74	0,3185	0,01445	-0,00114	.
venstre underarm	L_EJC	L_WJC	45,74	0,3185	0,01445	-0,00114	.
Høyre hånd / stavgrep	R_HCOM	.	.	-0,1165	0,0036	0,00175	0,1
Ventre hånd / stavgrep	L_HCOM	.	.	-0,1165	0,0036	0,00175	0,1
Høyre stav	R_HCOM	R_POLE	50 [^]	.	.	.	0,2
Ventre stav	L_HCOM	L_POLE	50 [^]	.	.	.	0,2
Høyre lår	R_HJC	R_KJC	40,95	-2,649	0,1463	0,0137	.
Ventre lår	L_HJC	L_KJC	40,95	-2,649	0,1463	0,0137	.
Høyre legg	R_KJC	R_AJC	43,95	-1,592	0,0362	0,0121	.
Venstre legg	L_KJC	L_AJC	43,95	-1,592	0,0362	0,0121	.
Høyre fot	R_AJC	R_TOE	.	-0,829	0,0077	0,0073	0,6
Ventre fot	L_AJC	L_TOE	.	-0,829	0,0077	0,0073	0,6
Høyre ski / binding	R_TIP	R_TAIL	52 [^]	.	.	.	0,65
Venstre ski / binding	L_TIP	L_TAIL	52 [^]	.	.	.	0,65
Torso	MIDS	MIDH	43,1
Upper Torso	.	.	.	8,2144	0,1862	-0,0584	
Mid Torso	.	.	.	7,181	0,2234	-0,0663	
Lower Torso	.	.	.	-7,498	0,0976	0,04896	

Estimering av utøvernes massemiddelpunkt

For å kunne følge bevegelsen av utøverens totale masse, ble utøverens massemiddelpunkt regnet ut. Normalt utstyr for bruk i konkurranse ble veid (skihansker: 0,1 kg pr stk, skistaver: 0,2 kg pr stk, skisko: 0,6 kg pr stk og ski med bindinger: 0,65 kg pr stk) og utøvernes kroppsvekt og høyde (Tabell 4.2) ble oppsporet gjennom enkelte av utøvernes hjemmesider på web og gjennom kontakt med det norske landslaget. Deretter ble både kroppssegmenter, ski, sko og staver tatt med i beregningen for å estimere massemiddelpunktet.

Kroppssegment parametrene ble regnet ut ved hjelp av Zatsiorsky (2002) sine regresjon ligninger basert på utøverens høyde og vekt og de Leva (1996a) sine justeringer av segment endepunktene. Enkelte tilleggsjusteringer ble også gjort for å ta hensyn til utøverens utstyr (Reid, 2010). 0,1 kg ble lagt til hver av håndsegmentene for å simulere massen til skihanskene og 0,2 kg ble lagt til for hver av stavene. Stavene ble definert som egne segmenter med masseiddelpunkt i senter (50% av distansen mellom stavtupp og håndens massesenter). 0,6 kg ble lagt til hver av fotsegmentene hvor massesenteret ble definert som ankelleddet og 0,65 kg ble lagt til for hvert ski/binding segment. Massesenteret for ski/binding segmentet ble satt til 52% av skilengden langsgående fra skiens fremre kontaktlinje.

Signalbehandling

Interpolering

Etter digitaliseringen av utøverne, ble 3D koordinatene for hvert interessepunkt undersøkt. Dersom interessepunktene på utøveren var tildekket eller ikke synlig under plottingen, kunne 3D koordinatene interpoleres ved hjelp av en cubic spline funksjon. Analysesoftwaren tillot individuell vurdering av bruker på om datahullene egnet seg for interpolering eller ikke.

Filtrering

Utøverens 3D posisjonsdata ble filtrert ved bruk av et zero-lag, 2nd order, low-pass Butterworth filter og 20 padding points. Det ble i dette prosjektet brukt to cut-off frekvenser for datafiltrering. Det ble brukt 5 Hz cutoff frekvens for hastighetsberegninger, for å unngå at småfeil skulle bli store gjennom differensieringen

i hastighetsutregningene. 10 Hz cut-off frekvens ble valgt for alle andre beregninger etter å ha inspisert resultatene.

Segmentlengde normalisering

Gjennomsnittlig segmentlengde målt for hver av utøverne ved deres passeringer ble registrert og brukt for å holde segmentlengdene konstante ved hjelp av en metode foreslått av Smith (1994). Lengdene ble normalisert for overarm, underarm, lår, legg og hoft segmentene gjennom en iterativ funksjon. Metoden baserte seg på aksene konstruert av det aktuelle segmentets endepunkter og midtpunktet av segmentet. Nye segmentendepunkter ble så kalkulert ut fra segmentets midtpunkt ved hjelp av den målte gjennomsnittslengden. I leddsentrene hvor to segmenter for normalisering møttes, ble begge segmentenes lengde forandret som ga to endepunkter. Et gjennomsnitt av begge punktene ble tatt som justerte segmentlengdene i retningen av gjennomsnittslengdene. De justerte posisjonene dannet grunnlaget for den neste iterasjon. På denne måten kom segmentlengdene gradvis nærmere gjennomsnittslengdene for hver iterasjon av funksjonen. Samtidig som segmentlengdene ble normalisert ble ankelleddsenter, kneleddsenter, skitupp og skiende begrenset til ett plan. Dette ble ikke sett på som spesielt problematisk ettersom i skiskøyting er vridningsstivheten høy i sko og binding, samt mulighetene for inversjon og eversjon i ankelleddet små grunnet høy støvel med fiksert støtte til over ankelen.

Koordinatsystemer

Det ble konstruert to koordinatsystemer for bruk i denne oppgaven. Ett koordinatsystem ble gitt med utgangspunkt i teodolitten brukt til å måle kontrollpunktposisjonene. Dette systemet ble kalt XYZ og hadde origo i senter av teodolitten. Teodolitten er satt opp i feltet slik at X og Y aksene definerer et vannrett horisontalplan og Z definerer en vertikal akse. Etter målingene ble origo for koordinatsystemet XYZ regnet om til senter av kontrollpunkt 101 og koordinatsystemet ble rotert slik at Y aksene lå i linje med de høyre kontrollpunktene (Figur 4.3). Det andre koordinatsystemet ble definert med utgangspunkt i horisontalplanet definert av snøoverflaten. Snøoverflaten ble rekonstruert ved hjelp av 47 stavisett punkter og x' aksene ble lagt til gjennomsnittlig fremdriftsretning for utøverne i snøens plan. z' aksene ble definert som normalen på løypeplanet og ut fra x' og z' aksene kunne y' aksene defineres. x' og y' aksene definerer

til sammen løypeplanet (snøoverflaten) hvor y' per definisjon er på tvers av fartsretningen (Figur 4.3).

Analysefaktorer

Hastighet COM og ski

Hastighetsvektoren ble regnet ut for massesenteret (COM) og tåbinding (skien) basert på finite central differanser av 5 Hz filtrerte posisjonsdata. Hastighet ble regnet som normen til hastighetsvektoren.

Hastighetsvektor vinkel

Vinkelen mellom COM hastighetsvektoren og x' akse (som representerer den gjennomsnittlige fartsretningen langs snøens overflate) ble regnet ut og et gjennomsnitt over hele syklusen rapportert (Smith et al., 1989)

Skiorientering og skikantingsvinkel

Skiorienteringsvinkelen ble funnet ved å la skien få en vektor E i lengderetningen. Vinkelen ble beregnet mellom E og fartsretningen x' i løypeplanet $x'y'$. x' retningen ble definert som 0° og vinkel mot begge sider fikk positive verdier. Skikantingsvinkelen ble også regnet ut ved hjelp av skiens vektor i lengderetningen. Skiens kantingsvinkel mot den lokale snøens overflate ble beregnet basert på skitupp, skiende, tåbinding og ankelleddsenter posisjoner og metoden beskrevet av Reid (2010). Data for alle beregningene ble filtrert ved 10 Hz. (For mer utfyllende informasjon angående defineringer rundt utregningsmetode av skikantingsvinkel med mer, se kapittel 5.14—Parameter computation methods—Reid, 2010).

Kne og overkroppsvinkel

Knevinkelen ble beregnet som vinkelen mellom en vektor fra kne til hofte og en vektor fra kne til ankel. For å finne overkroppsvinkelen ble overkroppsvektoren beregnet med utgangspunkt i midtpunktet mellom de to hofteleddsenterne (midthofte) og midtpunktet mellom de to skulderleddsenterne (midtskulder). Overkroppsvinkelen ble beregnet som vinkelen mellom denne vektoren og en vektor i samme retning, også med utspring i midthofte, men lagt ned i horisontalplanet definert ut fra teodolittens koordinatsystem (det sanne XY planet). Data for alle beregningene ble filtrert ved 10 Hz.

Stavvinkel og stavorientering

Stavvinkelen ble beregnet som vinkelen mellom den sanne vertikale vektoren (Z), og vektoren mellom stavtupp og hånd. Stavorienteringsvinkelen ble også beregnet med vektoren mellom stavtupp og hånd, da i forhold til gjennomsnittlig fartsretning x' men lagt ned i teodolittens sanne horisontalplan XY . x' retningen ble definert som 0° og vinkel mot hengside ble registrert som negativ (Smith et al., 1989). Data for alle beregningene ble filtrert ved 10 Hz.

5.0 Resultat

5.1 Beskrivende statistikk

Syklushastighet, rate, tid og lengde

Tabell 5.1 tar for seg de kanskje mest vanlige kinematiske variablene rapportert i ulike prosjekter: Syklushastighet, syklusrate, syklustid og sykluslengde. Alle variablene er hentet ut fra rekonstruerte fullstendige sykluser. En kan se av tabellen at syklushastigheten ved bruk av V2 for de tre første utøverne er raskest, men for FP nr 4 er syklushastigheten raskere ved bruk av V1 teknikken. Syklusraten ligger jevnt høyere for V1 enn for V2 hos alle utøverne. Gjennomsnittlig er det 0,3 Hz forskjell for de to teknikkene. Syklustidene strekker seg fra 1,04 til 1,20 sekunder for V1 og fra 1,56 til 1,84 for V2. Alle utøverne har lengst syklustid for V2 og gjennomsnittlig skiller teknikkens syklustid med 0,56 sekunder. Alle utøverne har også større sykluslengde for V2 enn for V1. Gjennomsnittlig er V2 syklusen 2,51 meter lengre enn V1 syklusen.

Utvalgte kinematiske variabler

Tabell 5.2 tar for seg faktorer hvilket i større grad forutsetter 3D analysemetoder. Skiorienteringsvariablene beskriver gjennomsnittlig hvor mye utadrotert skien er orientert i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning. Kun perioden skien er i bakken er med i beregningen. Det samme gjelder for skikantingsvinkelen, hvilket beskriver gjennomsnittlig kanting av skien relativt til snøoverflaten, den tiden skien er i kontakt med bakken. Stavvinkelen er målt ved stavsett som angrepsvinkel for selve staven i forhold til sann vertikal. Stavorienteringsvariablene er målt i forhold til sann horisontal og viser vinkelen staven peker i til siden i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning. Negative verdier betyr at stavvinkelen peker mot sterk side, og positive verdier betyr retning mot svak side. Det ble tatt ett gjennomsnitt av stavvinkelen for den perioden staven var i bakken.

Skihastighetsforandringene ble målt som differansen mellom laveste og høyeste hastighet for skien, med utgangspunkt i skiens tå binding i løpet av en fullstendig syklus. Maks skihøyde over bakken ble også målt med utgangspunkt i skiens tå binding i løpet av en fullstendig syklus. Minimum knevinkel ble målt som minimum ut fra en fullstendig syklus med utgangspunkt i hofte, kne og ankelledd senter. Minimum

overkroppsvinkel ble også målt som minimum ut fra en fullstendig syklus med utgangspunkt i midt skuldre, midt hofte og sann horisontal.

Variabler vedrørende COM

Tabell 5.3 tar for seg variabler vedrørende massesenteret. Alle COM variablene ble hentet ut fra fullstendige sykluser. COM hastighetsvektor ble beregnet ut fra vektoren for den gjennomsnittlige hastighetsretningen gjennom en fullstendig syklus, som vinkelen mellom denne vektoren og aksen for fartsretningen x' i løypeplanet. COM hastighetsforandring ble beregnet ut maksimal og minimal hastighet fra den total hastigheten i løpet av syklusen og COM hastighetsforandring X retning ble beregnet på samme måte men ut fra hastigheten kun i gjennomsnittlig fremdriftsretning. COM vertikal posisjon forandring ble beregnet ut fra maksimal og minimal posisjon i løpet av syklusen i sann vertikal. COM sideveis posisjon forandring ble beregnet ut fra de to ytterste punktene på tvers av gjennomsnittlig fremdriftsretning i løpet av syklusen.

Tabell 5.1: Syklushastighet, syklusrate, syklustid og sykluslengde for V2 og V1 for de 4 utøverne. Viser i absolutte verdier for den enkelte og gjennomsnittsverdier med standardavvik

	Syklushastighet (m/s)	Syklusrate (Hz)	Syklustid (s)	Sykluslengde (m)
FP 1 V2	4,12	0,54	1,84	7,59
FP 1 V1	3,65	0,83	1,20	4,39
FP 2 V2	3,98	0,64	1,56	6,20
FP 2 V1	3,79	0,96	1,04	3,95
FP 3 V2	4,03	0,61	1,64	6,60
FP 3 V1	3,73	0,89	1,12	4,18
FP 4 V2	3,93	0,61	1,64	6,45
FP 4 V1	3,98	0,93	1,08	4,30
Snitt V2	4,01	0,60	1,67	6,71
SD V2	0,08	0,04	0,12	0,61
Snitt V1	3,79	0,90	1,11	4,20
SD V1	0,14	0,05	0,07	0,19

Tabell 5.2: Beskrivende statistikk for utvalgte kinematiske variabler. Absolutte verdier, gjennomsnitt og standardavvik

	FP 1	FP 2	FP 3	FP 4	Snitt	SD
Skiorientering horis ontalt sterk side V2 (°)	17,28	18,18	11,84	15,54	15,71	2,80
Skiorientering horis ontalt sterk side V1 (°)	18,63	21,70	17,74	21,48	19,89	2,00
Skiorientering horis ontalt svak side V2 (°)	17,45	15,83	16,45	18,85	17,14	1,32
Skiorientering horis ontalt svak side V1 (°)	22,66	20,79	17,61	17,52	19,65	2,52
Skikantingsvinkel sterk side V2 (°)	13,61	15,28	15,96	12,43	14,32	1,60
Skikantingsvinkel sterk side V1 (°)	24,80	21,59	24,74	18,61	22,43	2,96
Skikantingsvinkel svak side V2 (°)	7,49	12,24	13,83	16,19	12,44	3,68
Skikantingsvinkel svak side V1 (°)	27,59	20,38	18,42	24,10	22,62	4,07
Stavvinkel sterk side V2 (°)	22,97	23,12	19,46	19,21	21,19	2,14
Stavvinkel sterk side V1 (°)	3,96	7,21	5,98	6,85	6,00	1,45
Stavvinkel svak side V2 (°)	24,18	15,99	13,92	22,12	19,05	4,88
Stavvinkel svak side V1 (°)	35,27	33,89	27,60	33,29	32,51	3,38
Stavorientering horis ontalt sterk side V2 (°)	6,43	10,39	12,76	9,00	9,65	2,64
Stavorientering horis ontalt sterk side V1 (°)	-8,95	-21,29	-8,26	-10,08	-12,14	6,14
Stavorientering horis ontalt svak side V2 (°)	-1,12	-12,44	-7,54	-6,50	-6,90	4,64
Stavorientering horis ontalt svak side V1 (°)	-40,28	-38,41	-30,31	-29,50	-34,63	5,51
Ski hastighetsforandring sterk side V2 (m/s)	2,71	2,26	2,29	1,87	2,28	0,34
Ski hastighetsforandring sterk side V1 (m/s)	3,74	3,34	2,65	3,38	3,28	0,46
Ski hastighetsforandring svak side V2 (m/s)	2,64	1,93	1,90	2,09	2,14	0,34
Ski hastighetsforandring svak side V1 (m/s)	2,97	1,99	2,22	2,08	2,32	0,45
Maks ski høyde over bakken sterk side V2 (m)	0,26	0,22	0,21	0,21	0,22	0,02
Maks ski høyde over bakken sterk side V1 (m)	0,20	0,19	0,16	0,19	0,19	0,02
Maks ski høyde over bakken svak side V2 (m)	0,21	0,20	0,18	0,19	0,20	0,02
Maks ski høyde over bakken svak side V1 (m)	0,17	0,15	0,14	0,15	0,15	0,01
Minimum knevinkel sterk side V2 (°)	107,55	109,23	112,19	109,39	109,59	1,92
Minimum knevinkel sterk side V1 (°)	105,49	102,41	113,21	107,04	107,04	4,54
Minimum kne vinkel svak side V2 (°)	111,79	109,42	112,88	114,87	112,24	2,27
Minimum kne vinkel svak side V1 (°)	111,11	108,79	104,99	109,71	108,65	2,62
Minimum overkropp vinkel V2 (°)	41,45	55,50	48,49	52,08	49,38	6,01
Minimum overkropp vinkel V1 (°)	45,37	56,67	51,41	48,08	50,38	4,86

Tabell 5.3: Beskrivende statistikk for variabler vedrørende massesenteret (COM).
Absolutte verdier, gjennomsnitt og standardavvik

	FP 1	FP 2	FP 3	FP 4	Snitt	SD
COM hastighetsvektor V2 (°)	9,47	8,62	7,79	9,16	8,76	0,74
COM hastighetsvektor V1 (°)	6,63	5,90	5,45	5,13	5,78	0,65
COM hastighetsforandring V2 (m/s)	0,48	0,44	0,41	0,42	0,44	0,03
COM hastighetsforandring V1 (m/s)	0,32	0,36	0,35	0,44	0,37	0,05
COM hastighetsforandring X retning V2 (m/s)	0,48	0,47	0,43	0,39	0,44	0,04
COM hastighetsforandring X retning V1 (m/s)	0,29	0,34	0,32	0,43	0,34	0,06
COM vertikal posisjon forandring V2 (m)	0,22	0,19	0,17	0,19	0,19	0,02
COM vertikal posisjon forandring V1 (m)	0,13	0,11	0,10	0,14	0,12	0,02
COM sideveis posisjon forandring V2 (m)	0,69	0,45	0,56	0,63	0,58	0,10
COM sideveis posisjon forandring V1 (m)	0,30	0,16	0,21	0,19	0,21	0,06

5.2 Figurskildringer

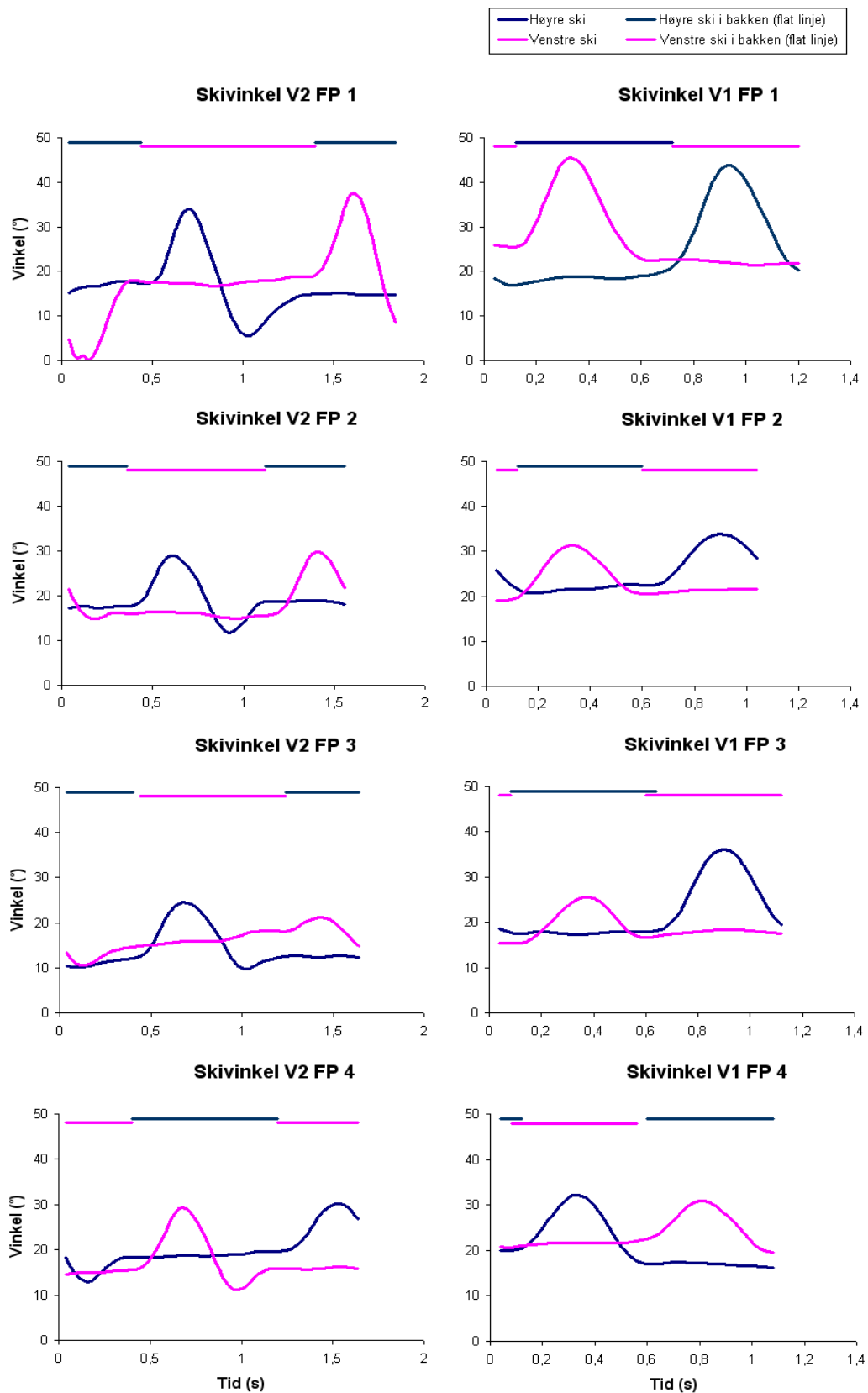
Skikarakteristikker

Skivinklene i Figur 5.1 er målt over tid for en hel syklus med utgangspunkt i skivinkelen i horisontalplanet i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning. Vinklene for sterk og svak side er i snitt tilnærmet like for V1, men for V2 viser skien på sterk side seg i snitt å være noe mer orientert i fremdriftsretningen enn for skien for svak side ($1,43^\circ$; Tabell 5.2). Ellers viser V2 teknikken seg generelt å ha skiene orientert mer i fremdriftsretningen enn det V1 teknikken har. Ellers ser en også av Figur 5.1 at ved bruk av V2 teknikken føres skien mot slutten av skiløftet inn i en vinkel mer orientert i fremdriftsretningen enn det skien er i når den plasseres på bakken. Dette ser ut til å være den mest karakteristiske forskjellen på V2 og V1 teknikken sett ut fra skivinkelfigurene. Ved bruk av V1 teknikken settes nemlig skien ned i snøen med en gang den på slutten av løftet når vinkelen som brukes i fraskyvet.

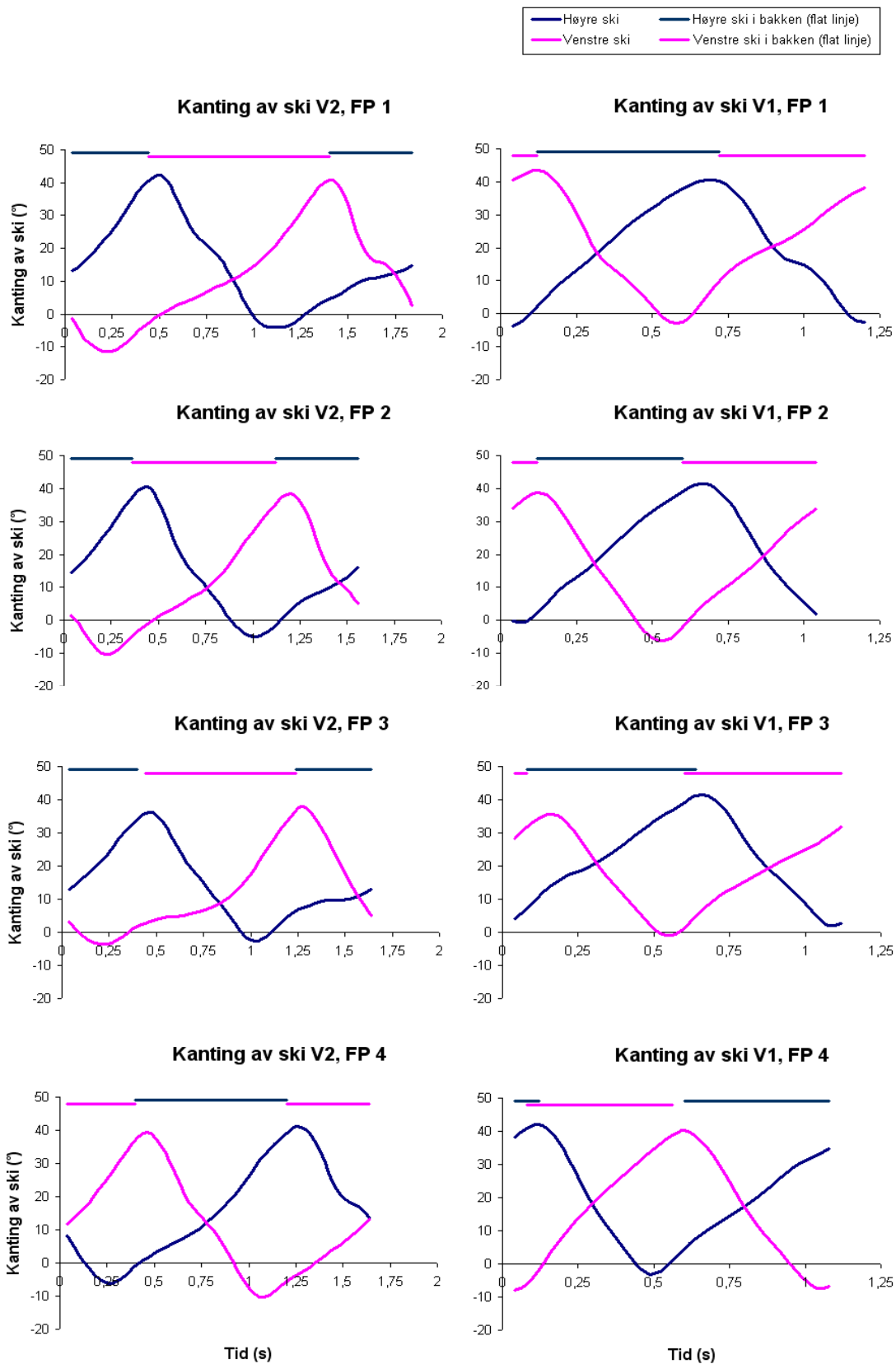
Figur 5.2 viser skiens kantingsvinkel i forhold til snøen gjennom en hel syklus. En kan se av figurene at skikanting karakteristikkene er ganske like sammenlignet mellom sterk og svak side både for V1 og V2 teknikkene. Også mellom de to ulike teknikkene er karakteristikkene nesten identiske. Dersom en ser i Tabell 5.2 ser en at igjen er det sterk og svak side for V2 teknikken som gjennomsnittlig skiller seg ut med en liten forskjell ($1,88^\circ$).

Skiens hastighet blir i Figur 5.3 vist over tid gjennom en hel syklus, målt med utgangspunkt i skitå bindingens hastighet. En ser her tydelig at hastighet svingningene er størst (fra høyest til lavest hastighet) for teknikken V1 sammenlignet med V2 teknikken. V2 teknikken ser ut til i større grad å ha ett slags hastighetsplatå eller en liten hastighetsreduksjon ca halvveis i skiens kontaktfase med snøen, hvor hastigheten tilsvarende når sin topp ved bruk av V1 teknikken.

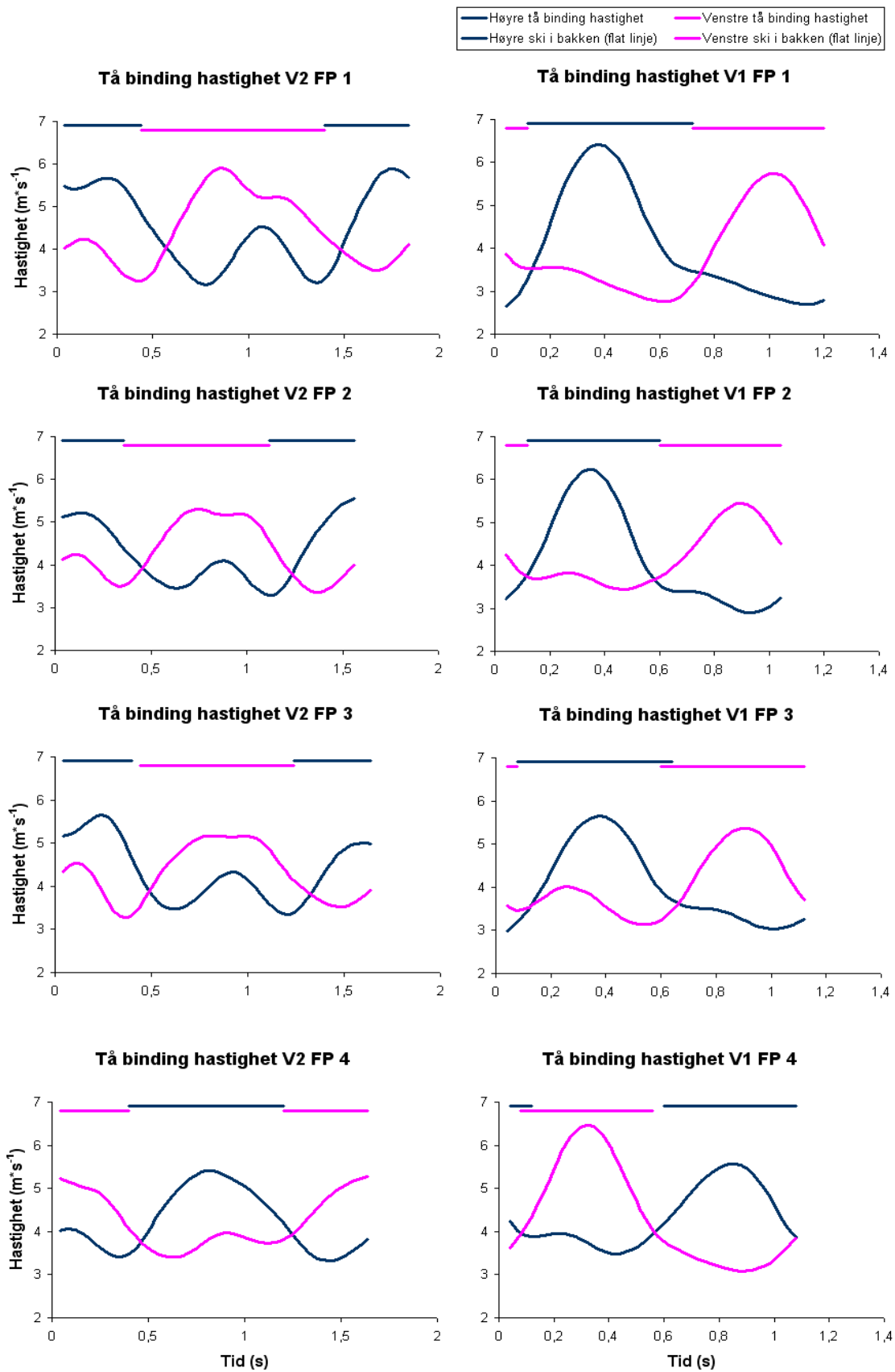
Videre kan en se av Figur 5.4 (viser skiens høyde over bakken gjennom en hel syklus med utgangspunkt i skiens tåbinding) at total høyde på løftet av skien er høyest for V2 teknikken sammenlignet med V1 teknikken (se også Tabell 5.2). En ser også at løftekurven er mye spissere for V2 teknikken enn for V1 teknikken. I tillegg ser V2 teknikken ut til å ha en oppbremsning av skien på vei ned mot snøen, mens ved bruk av V1 teknikken settes skien i bakken med jevn fart helt fra toppen av ski-løftet. Ved bruk av V2 teknikken løftes skien i gjennomsnitt 0,22 m for høyre og 0,20 m for venstre, mens ved bruk av V1 løftes skiene 0,19 m og 0,15 m (høyre og venstre).



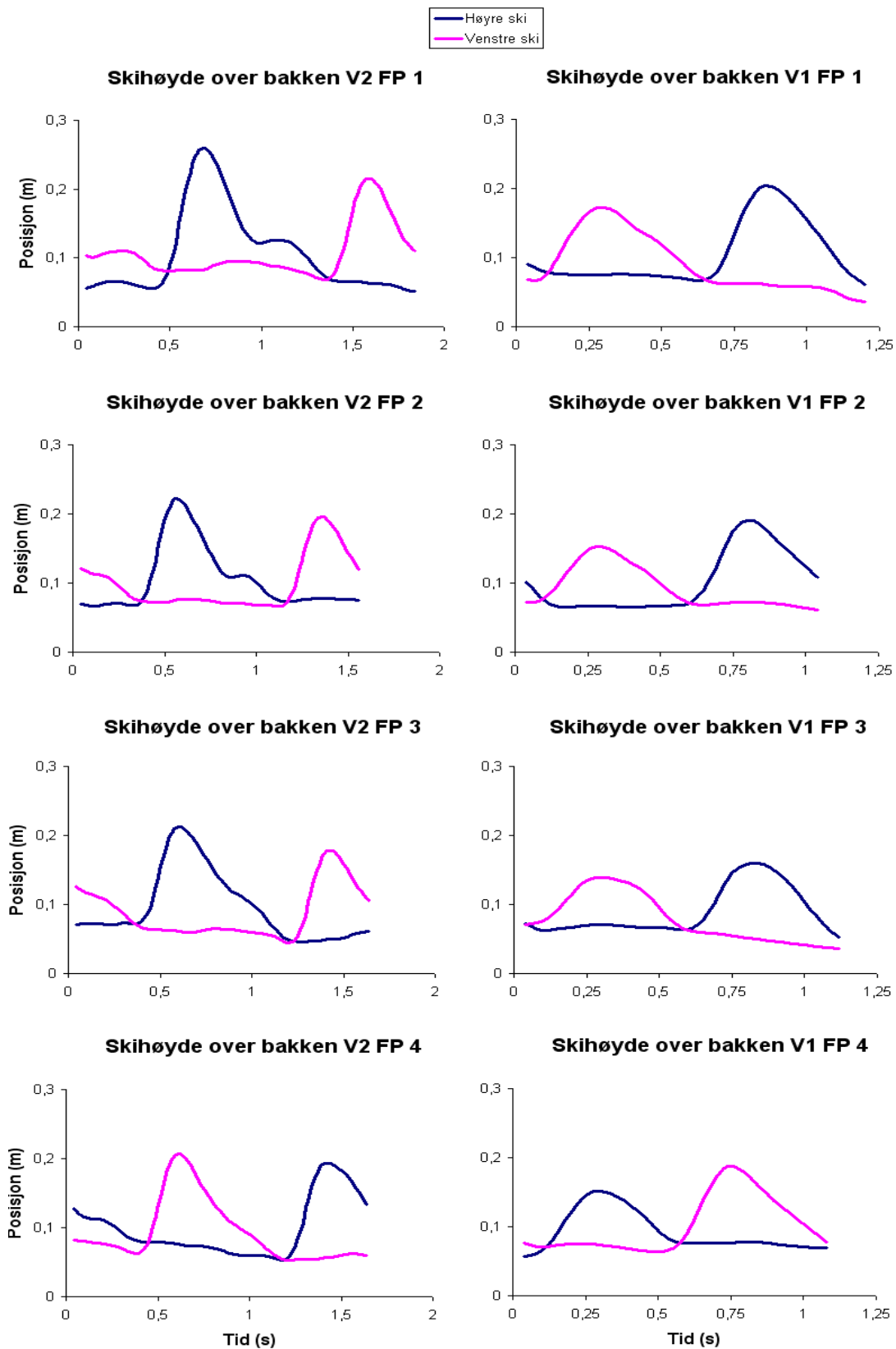
Figur 5.1: Skivinkel horisontalt i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning



Figur 5.2: Skiens kantingsvinkel i forhold til snøen.



Figur 5.3: Skiens hastighet over tid, målt med utgangspunkt i ski tå binding

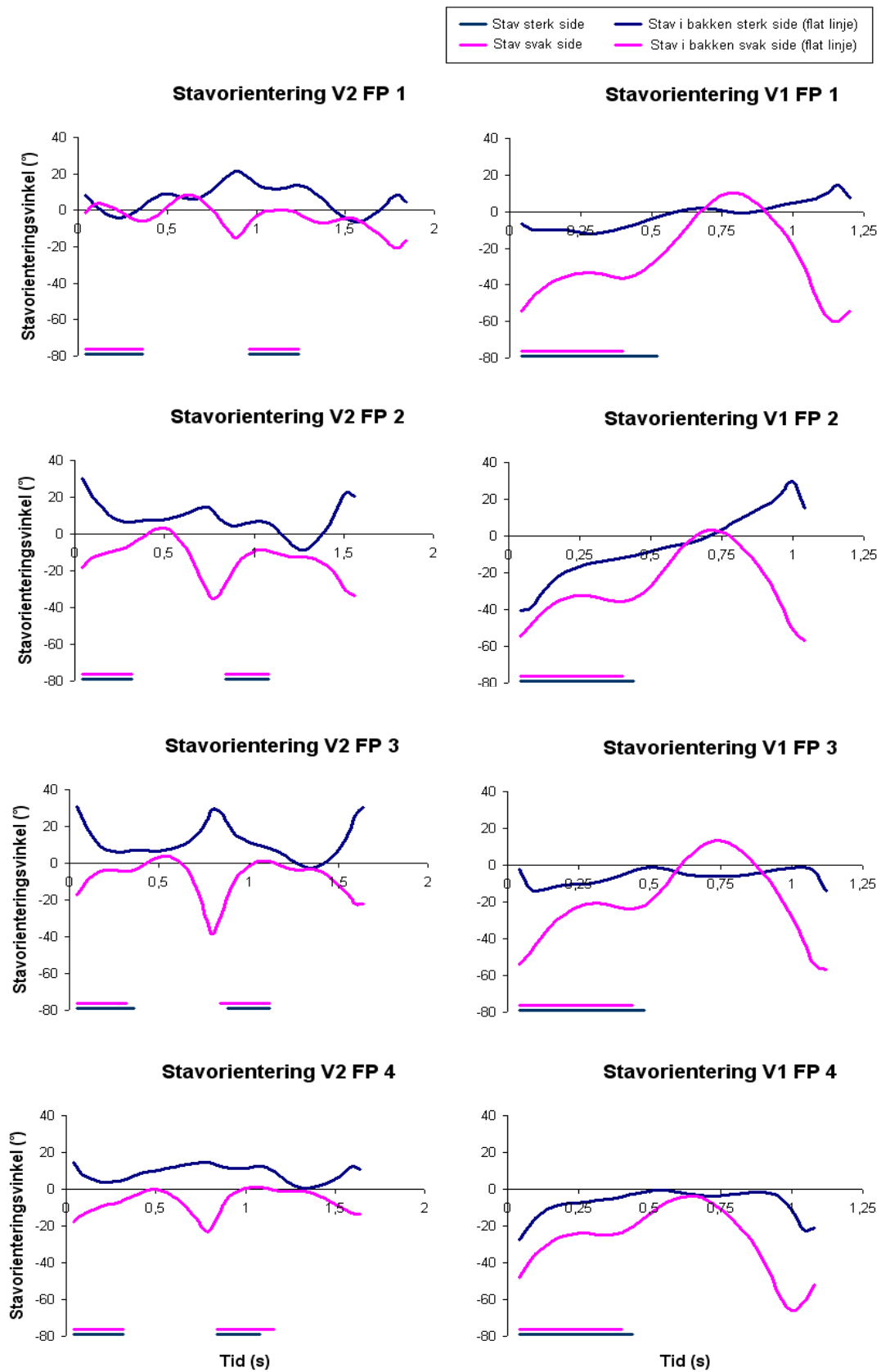


Figur 5.4: Skiens høyde over snøen målt over tid med utgangspunkt i skiens tå binding

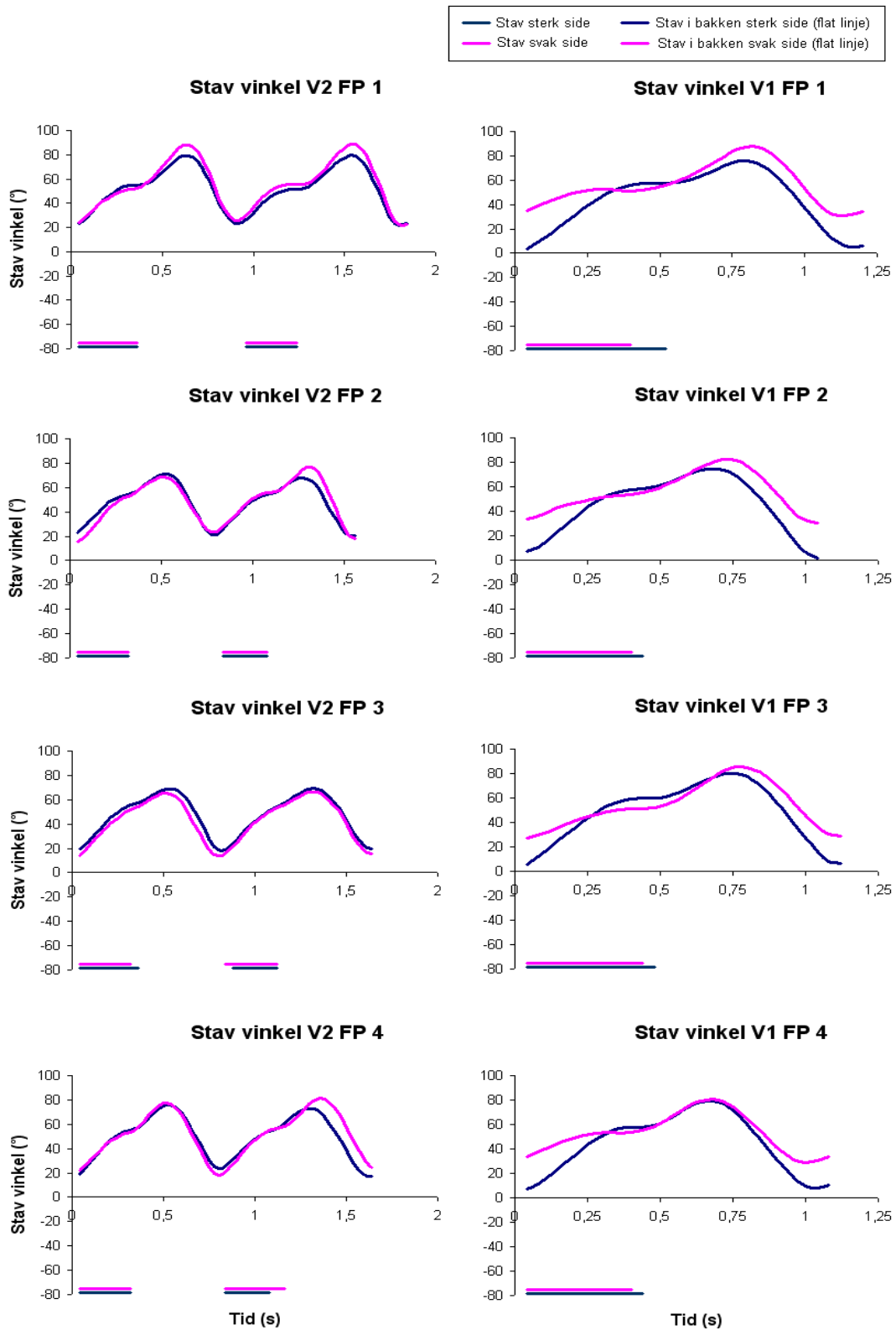
Stavkarakteristikk

Figur 5.5 viser stavens orientering i sann horisontal i sideretningen i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning gjennom en fullstendig syklus. I tillegg er tiden høyre og venstre stav er i bakken skildret. Retning mot sterk side er registrert som negativ, hvilket betyr at når verdiene er negative peker staven mot sterk side. Stavvinkelens betydning er sannsynligvis størst i perioden staven er i bakken. Da kan en se for V2 teknikken at stavene er orientert noe innover mot hverandre i stavissettet, for deretter å raskt gå over i tilnærmet linje med fartsretningen. For V1 teknikken er begge stavene orientert mot sterk side i stavissettet, men staven for svak side har betydelig større vinkel. I liket med V2 teknikken går også stavorienteringen gradvis over mot fremdriftsretningen utover i stavgaket.

Stavens angrepsvinkel mot snøen i forhold til sann vertikal vises i Figur 5.6. Her ser en at ved bruk av V2 teknikken skjer stavissettet for begge staver for alle fire utøverne ved ca 20° vinkel mot vertikalen; 21,19° for sterk side og 19,05° for svak side (Tabell 5.2). Deretter øker angrepsvinkelen til ett lite platå hvor stavene forlater bakken. Ved bruk av V1 teknikken starter stavgaket med en stav på sterk side som holdes en god del mer vertikal enn staven på den svake siden. Gjennomsnittlig 6° for sterk side og 32,51° for svak side (Tabell 5.2). Også her blir angrepsvinkelen brattere frem mot ett platå hvor stavene forlater bakken, men kurven er brattere/vinkelen endres raskere for den sterke siden.



Figur 5.5: Stavens vinkel i sann horisontal i sideretningen i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning. Negativ retning er mot sterk side.



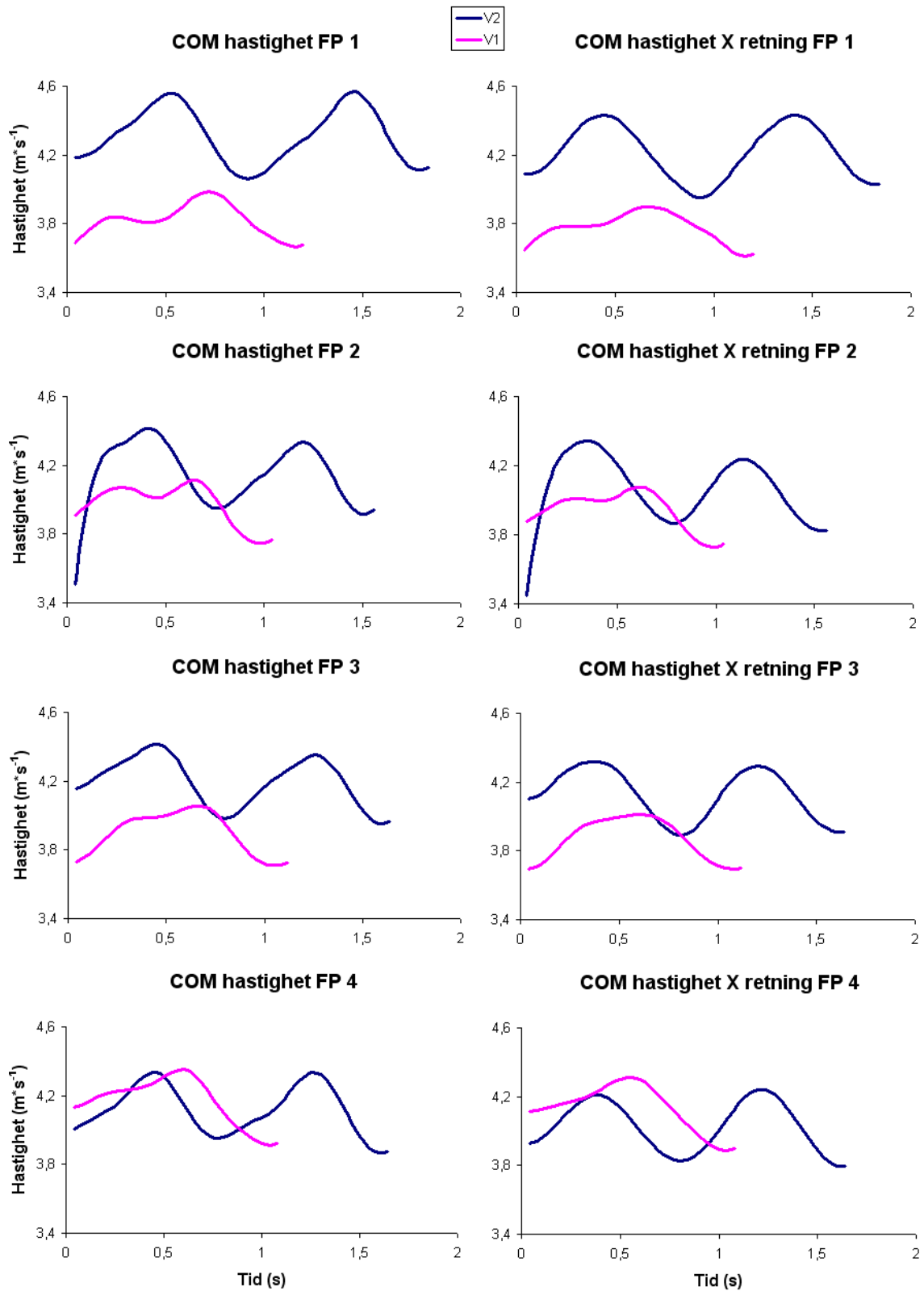
Figur 5.6: Stavens angrepsvinkel mot snøen i forhold til sann vertikal

COM karakteristikk

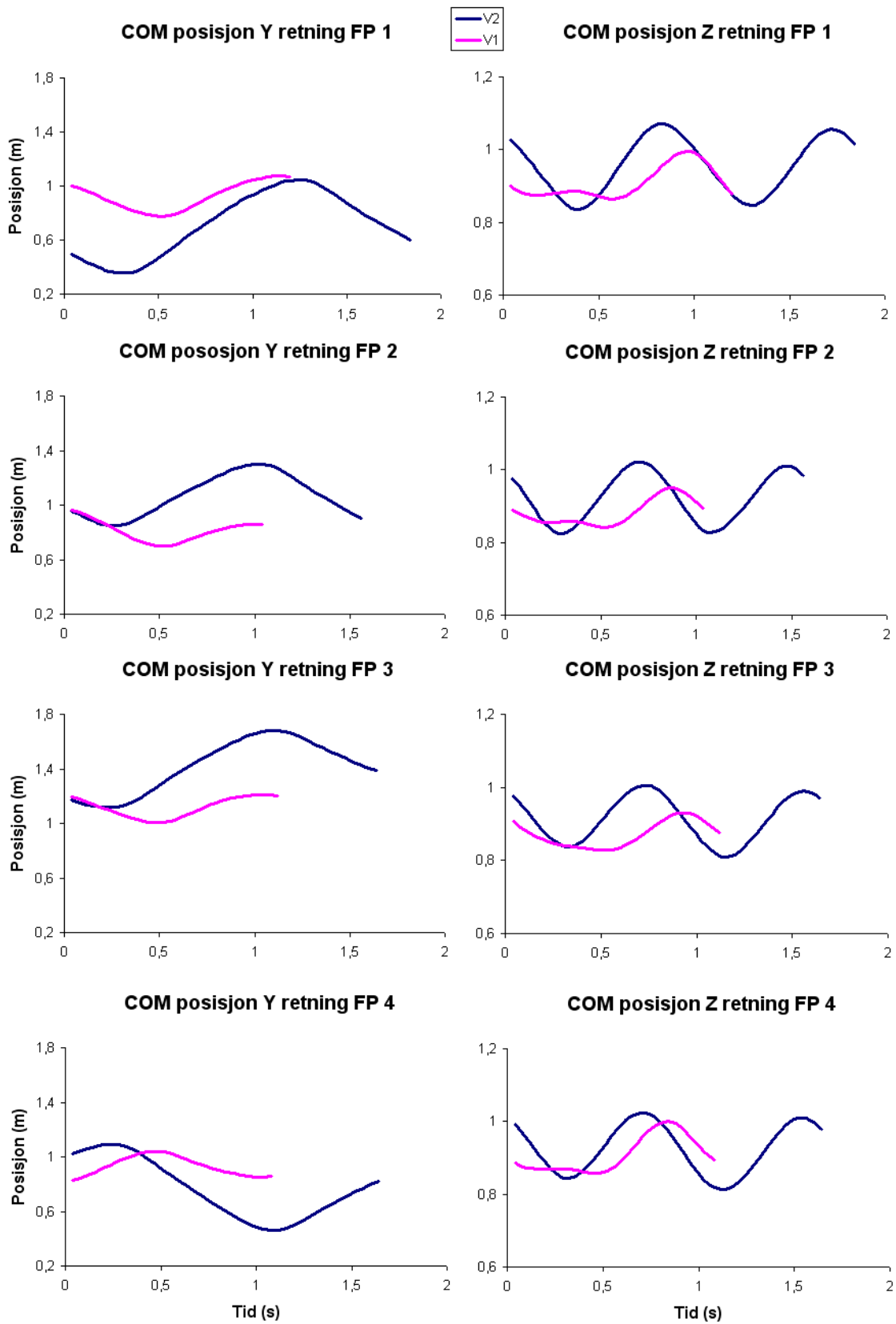
Figur 5.7 tar for seg massesenterets totale hastighet for en fullstendig syklus og i tillegg vises syklusens hastighet kun for X retningen (gjennomsnittlig fremdriftsretning). Her ser en at hastighet svingningene generelt er størst for teknikken V2 sammenlignet med V1 teknikken (men total hastighet er også størst for V2 teknikken, hvilket kan være årsaken til dette). En kan også se en forskjell i hastighet svingning karakteristikkene, hvor teknikken V2 har to topper på grafen i løpet av syklusen, mens V1 tilnærmet kun har en topp. Massesenterets hastighet i fremdriftsretningen (X retning) er tatt med i Figur 5.7 i tillegg til total massesenter hastighet for at en skal kunne få ett inntrykk av hvor mye av massesenter forflytningen som overføres direkte i fart fremover.

Massesenterets posisjon i side (Y) og vertikal (Z) retningen over tid for en fullstendig syklus vises i Figur 5.8. Dersom en ser på forflytningen i siden ser en tydelig at forflytningen av massesenteret er en god del større for V2 teknikken enn for V1 teknikken. Ser en på massesenterets forflytning vertikalt, er også her amplituden størst for teknikken V2 for alle forsøkspersonene.

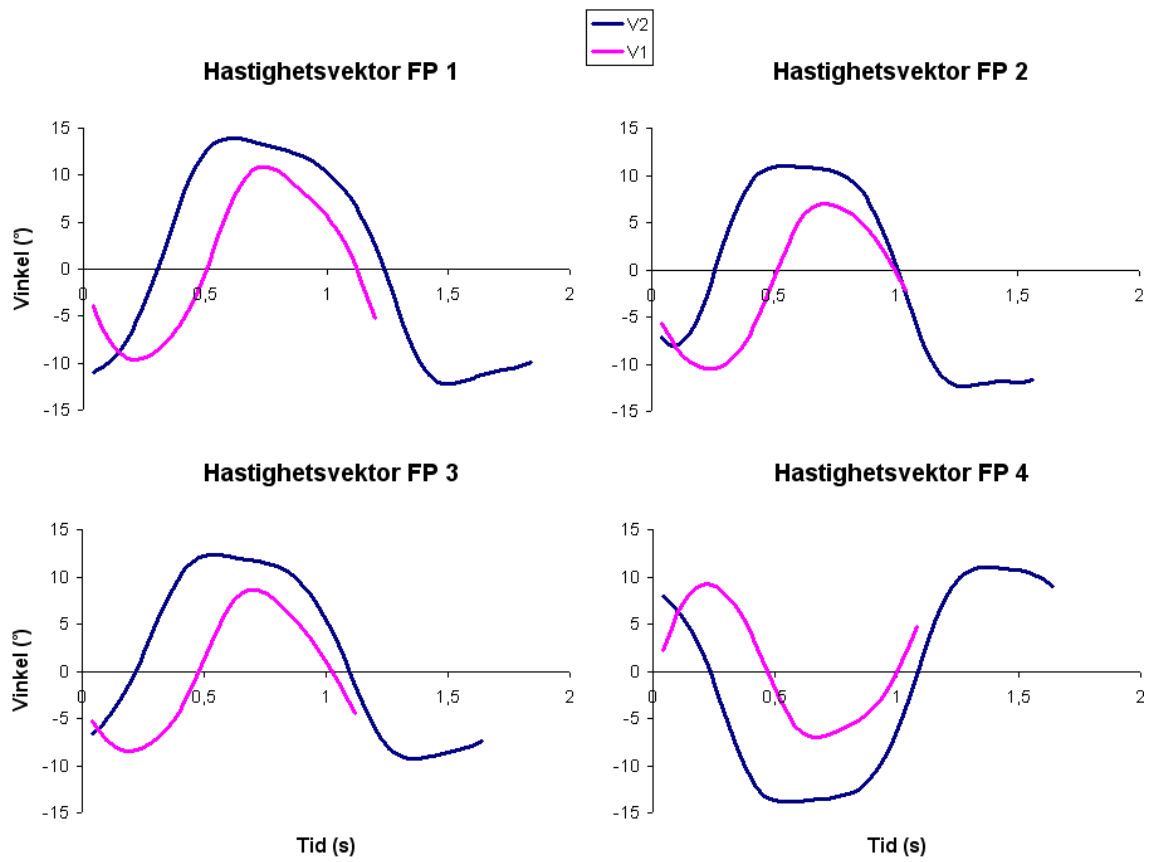
Hastighetsvektoren for COM (Figur 5.8) viser vektoren for hastighetsretningen i forhold til fremdriftsretningen i løypeplanet gjennom en fullstendig syklus. V2 teknikken ser ut til å ha en tydelig platåfase hvor hastighetsvektoren holder seg relativt konstant i ytterpunktet av vektorvinkelen. En slik platåfase kan ikke identifiseres for V1.



Figur 5.7: Massesenterets (COM) totale hastighet og hastighet målt i X retning over tid



Figur 5.8: Massesenterets (COM) posisjon over tid i Y (side) og Z (vertikal) retningen

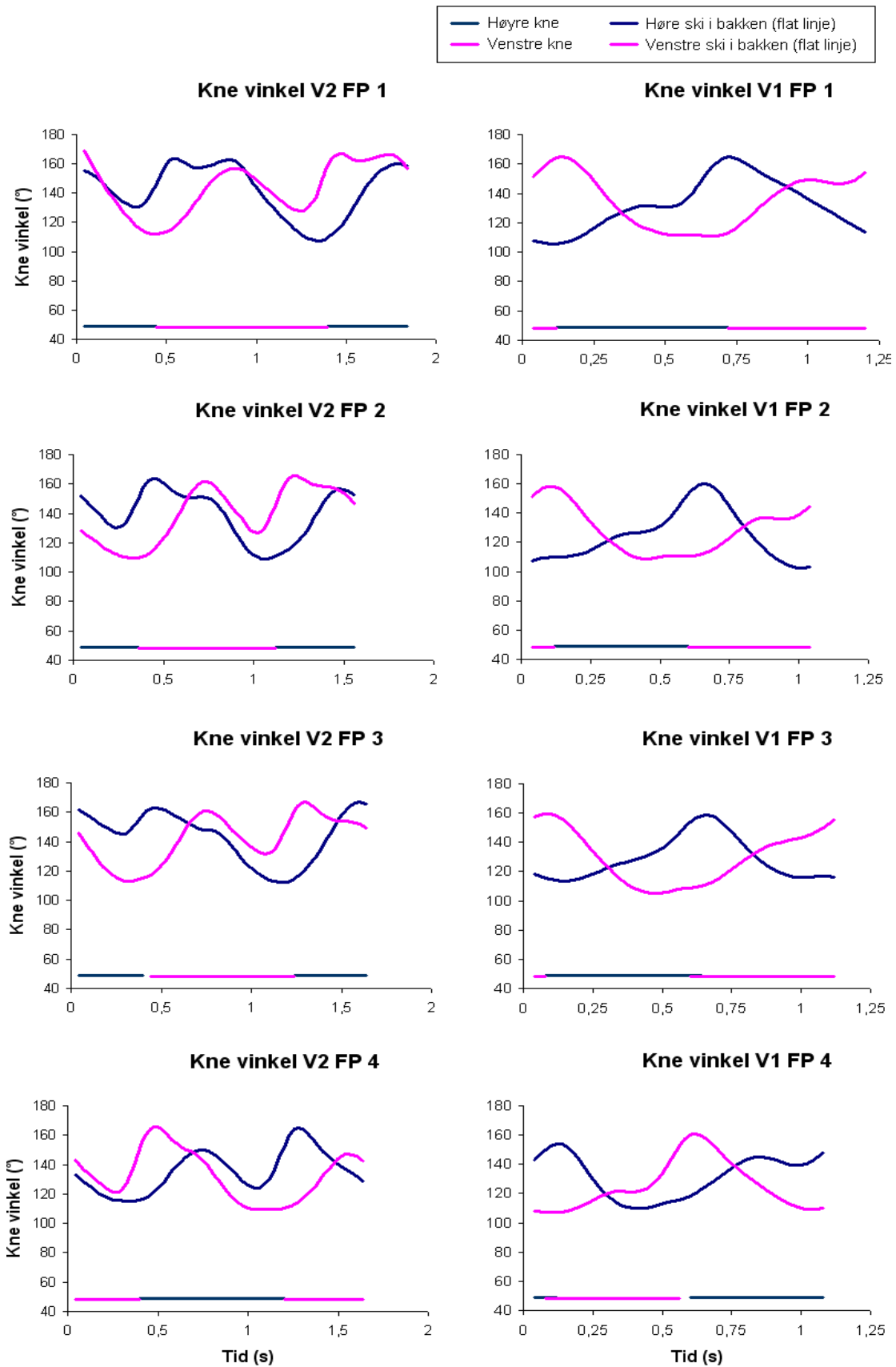


Figur 5.9: Viser hastighetsvektoren i forhold til fremdriftsretningen (0°) i løypeplanet over tid gjennom en fullstendig syklus. Negative verdier tilsvarer bevegelse av massesenteret mot sterk side.

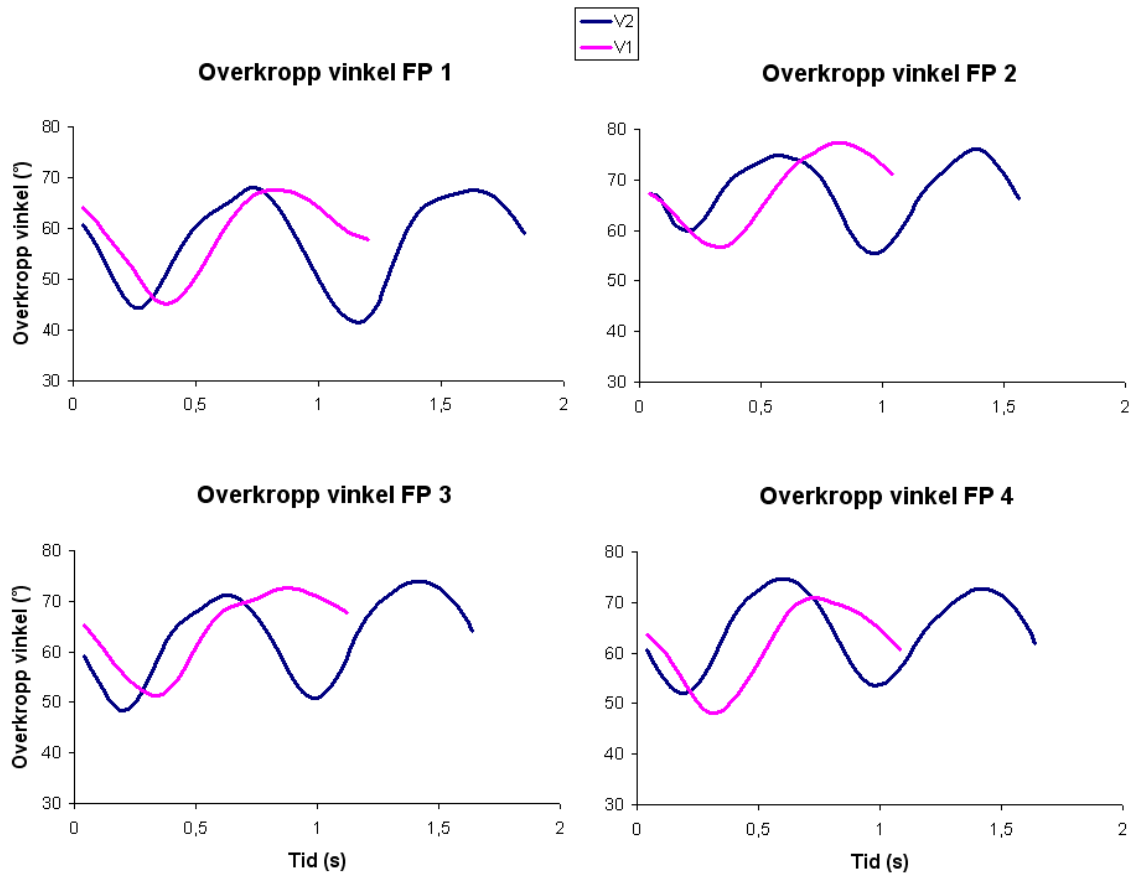
Vinkler kne og overkropp

Figur 5.10 viser knevinkel over tid for de to teknikkene for en fullstendig syklus. Det skildres også når høyre og venstre ski er i kontakt med bakken. Gjeldende V2 teknikken ser en at kneet har mest bøy (vinkelen er minst) ved fotisett og rett før foten forlater underlaget (mot enden av frasparket). Ca halvveis mellom disse punktene oppnås maksimal vinkel/utretting i kneet (mens skien er i kontakt med bakken). Den absolutte minimumsvinkelen synes å oppstå normalt ved fotisett. For V1 teknikken, ser det også ut som at det er minst vinkel i kneet ved fotisett, og at vinkelen derfra bare øker/kneet rettes ut helt til foten forlater underlaget. Ett lite platå i knevinkelforandringen kan sees før skien forlater bakken.

Overkroppens vinkel mot sann horisontal for V2 og V1 vises i Figur 5.11 for en fullstendig syklus. Her virker amplituden å være tilnærmet like stor for begge teknikkene, og også bevegelsesmønsteret ser ut til å være rimelig likt, bortsett fra det faktum at overkroppen kun løftes og senkes en gang i løpet av en V1 syklus mens det skjer to ganger i løpet av en V2 syklus.



Figur 5.10: Knevinkel over tid gjennom en fullstendig syklus



Figur 5.11: Overkropp vinkel for en fullstendig syklus av V2 og V1 over tid

Mekanisk energi

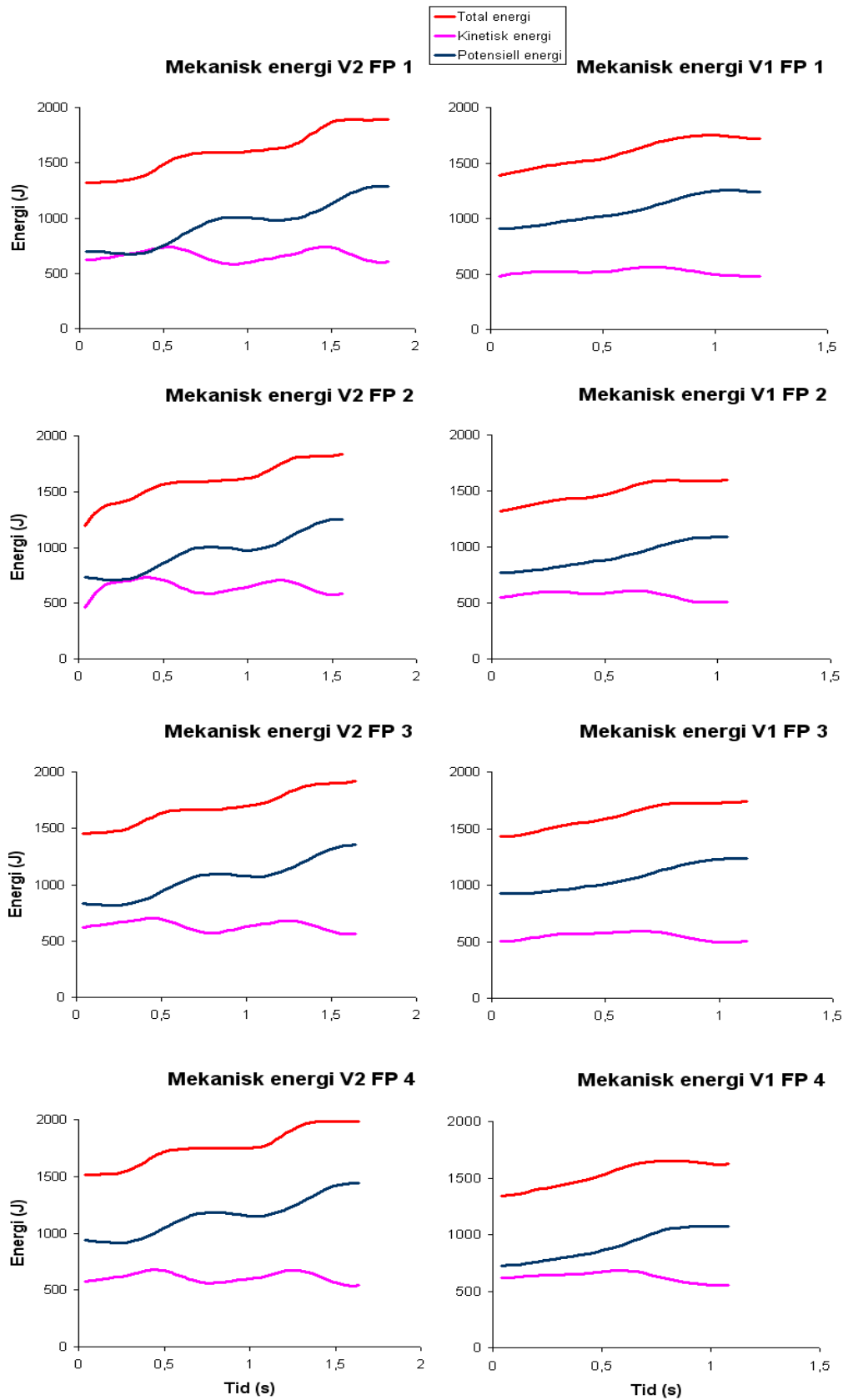
Mekanisk energi kan deles opp i kinetisk og potensiell energi (Figur 5.12). Hvor kinetisk energi er knyttet til utøverens bevegelse [5.1] og defineres som det arbeidet som er nødvendig for å akselerere utøveren fra stillstand og til nåværende hastighet. Potensiell energi er her knyttet til stillingsenergi [5.2] i forhold til sann horisontal.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad [5.1]$$

$$E_p = mgh \quad [5.2]$$

Mekanisk energi for V2 og V1 for en fullstendig syklus vises i Figur 5.12. Dersom en ser på karakteristikken for den kinetiske energien for V2 teknikken kan det se ut som at bevegelsesenergien er størst mot slutten av frasparket idet skien forlater bakken, med samme karakteristikker for begge sider. Når det gjelder V1 teknikken ser det ut som bevegelsesenergien holdes på ett mer jevnt nivå uten like tydelige energitopper.

Kinetisk energi ble regnet ut med utgangspunkt i COM hastighet uavhengig av retning. Gjeldende potensiell energi ser en igjen karakteristiske grafer for V2 teknikken. Etter fullført fraspark øker den potensielle energien betydelig over en periode på 0,3-0,4 sekunder. Angående potensiell energi ser en også et tydelig mønster ved teknikken V1. Her øker stillingsenergien betydelig etter fullført stavtak og mot slutten av og etter frasparket for hengsiden. Potensiell energi ble regnet ut fra utøverens COM posisjon i sann vertikal (teodolittens koordinatsystem). Total mekanisk energi karakteristikken skildres også i figurene.



Figur 5.12: Mekanisk energi gjennom en fullstendig syklus. Grafene viser kinetisk, potensiell og total energi for de ulike forsøkspersonene med de ulike teknikkene

6.0 Diskusjon

6.1 Syklushastighet, rate, tid og lengde

Syklushastighet, syklusrate, syklustid og sykluslengde er variabler som ofte er brukt i ulike undersøkelser. Disse variablene trenger en ikke 3D analyser for å undersøke, men det holder med ett enkelt kamera og avmerket start og stopp område med kjent avstand. At mange studier har vurdert dette før, forenkler jobben med å verifisere resultatene fra dette prosjektet ettersom en da har et godt sammenligningsgrunnlag.

Syklushastighet

Syklushastigheten er i gjennomsnitt 0,22 m/s raskere for V2 enn for V1 teknikken (Tabell 5.1). Dette kan tyde på flere ting. En teori kan være at tretthet blant forsøkspersonene var faktoren som førte til den reduserte hastigheten. Dette begrunnet i at samtlige forsøkspersoner hadde første passering med teknikken V2 og siste passering med V1. En annen teori kan være at det er teknikkvalget av V1 som førte til en lavere hastighet. FP nr 4 er den eneste av de fire utøverne som går V1 raskere enn han gikk V2 ved passeringene.

Forsøkspersonene brukte i gjennomsnitt 12:14.0 (mm:ss) på første runde og 12:37.4 på den tredje. På sin tredje runde lå imidlertid FP 2 og 3 mindre enn 5 sekunder bak sin første runde, mens FP nr 1 og 4 da lå over 30 sekunder bak sin første runde i tid (Tabell 4.1). Av Figur 4.1 kan en se hvilken hastighet utøverne hadde på vei inn mot bakken, gjennom bakken og i partiet etter bakken og sammenligning av tidene deres for de ulike etappene. Her ser en igjen at det går tregere i tredje runde når en sammenligner tidene brukt i selve bakken (hvor V2 ble brukt ved første passering og V1 ved andre), mens tiden inn mot bakken og i partiet rett etter er rimelig lik gjennomsnittlig på første og tredje runde.

Syklusrate

Syklusraten lå i snitt på 0,6 for V2 og 0,9 for V1 (Tabell 5.1). Dette er til en viss grad i samsvar med hva Bilodeau et al. (1991) viste i sin oppsummeringstabell for flere ulike prosjekter (Tabell 2.1). Bilodeau et al. fant for eksempel en syklusrate på 0,74 for V2 og 0,89 for V1 ved 5° motbakke. Syklusraten er med andre ord gjennomgående høyere for

V1 enn for V2. Ut fra dette kommer teorien om at en kan gå raskere ved bruk av V2 teknikk enn med V1 fordi en kan stå lengre på skien og har lengre tid til å påføre kraft. Dette vil imidlertid ikke fungere like godt i en brattere motbakke da de bremsende kreftene blir mye større og vil tvinge utøveren over i V1 teknikk.

Syklustid

Ved hjelp av syklusraten og syklustiden i Tabell 2.1 kan en regne ut syklustidene Bilodeau et al. (1991) fant i sitt prosjekt ($\text{sykluslengde} / \text{syklushastighet} = \text{syklustid}$). Da finner en for V2 en syklustid på $(6,19 \text{ m} / 4,58 \text{ m/s})$ 1,35 s. For V1 ligger syklustiden på $(5,19 \text{ m} / 4,62 \text{ m/s})$ 1,12 s. Disse resultatene samsvarer bra med dette prosjektets syklustider som ligger på gjennomsnittlig 1,67 s for V2 og 1,11 s for V1 (Tabell 5.1). Riktignok er syklustiden en del høyere for V2 enn for V1 i dette prosjektet enn hva Bilodeau et al. fant, men det kan skyldes utenforliggende faktorer slik som for eksempel hvor skarpt føret var og løypenes karakteristikk før og etter analysepunktet

Sykluslengde

Sykluslengdene Bilodeau et al. (1991) fant ved 5° motbakke var 6,19 og 5,19 m for henholdsvis V2 og V1 (Tabell 2.1). I dette prosjektet ble det funnet gjennomsnittlig sykluslengde på 6,71 og 4,20 m for V2 og V1 (Tabell 5.1). Ingen av forsøkspersonene i dette prosjektet hadde så kort sykluslengde som 6,19 m ved bruk av V2 eller så lang som 5,19 m ved bruk av V1. Dette kan muligens tolkes i retning av at teknikkene har endret seg noe de siste årene, og at teknikkene har blitt mer forskjellige fra hverandre. Det er imidlertid kanskje mer sannsynlig at det er individuelle ulikheter som råder. En kan si at det ville være forventet at sykluslengden skulle minske ettersom bakken ble brattere (i dette prosjektet var motbakken 1,5° brattere enn i Bilodeau et al. sitt), og slik er det her for V1. For V2 derimot er gjennomsnittlig sykluslengde lengre i dette prosjektet hvor bakken er brattest. Dette kan imidlertid nok en gang komme av utenforliggende forhold som føre og løypeprofil, siden dersom disse faktorene er ulike vil det også kunne gi ulike resultater.

6.2 Skikarakteristikker

Skivinkler

Horisontalvinkelen på skien (Figur 2.3 β), ved bruk av V1 teknikken er i stor grad slik en kunne forvente ut fra tidligere resultater. Smith et al. (1988) fant gjennomsnittlig skivinkel for V1 teknikk på 25,3 og 22,7° for sterk og svak side under et world cup renn i 7° motbakke. Gjennomsnittlige resultater for dette prosjektet (som foregikk i 6,5° motbakke) var 19,89 og 19,65° for sterk og svak side (Tabell 5.2). Målingene hos Smith et al. (1988) strakk seg fra 21,3 – 28,2° for sterk side og fra 12,2 – 31,9° for svak side. I dette prosjektet strakk målingene seg fra 17,74 - 21,70° for sterk side og fra 17,52 - 22,66° for svak side. Dette kan tyde på at teknikken har endret seg de siste 10-20 årene, fra å ha mer vinkel på den sterke siden og mindre på den svake siden til å bli tilnærmet likt på begge sider. Forskjellen kan også ligge i noe så enkelt som en svak sidehelning i bakken som ble brukt for analysen. Smith et al. (1989) fant i et renn som foregikk to år senere enn Smith et al. (1988) en skivinkel for V1 på 28,2 og 29,5° for sterk og svak side hos menn og 28,5 – 30,1 for sterk og svak side hos kvinner ved en motbakke på 10-11°. Ser en Smith et al. (1988;1989) sine prosjekter samlet samsvarer deres resultater godt med resultatene i dette prosjektet gjeldende skivinkler.

Når en sammenligner skivinkler for V1 og V2 så er det ved bruk av begge teknikker forholdsvis konstant vinkel gjennom hele glifasen til skien (Figur 5.1). Vinklene ligger i snitt for alle forsøkspersonene på 15,71 og 19,89° ved bruk av V2 og V1 sterk side og 17,14 og 19,65° ved bruk av V2 og V1 svak side (Tabell 5.2). Dette antyder at det generelt brukes større skivinkel ved benyttelse av V1 teknikken. V2 teknikken hadde ett spenn fra 11,84 – 18,18° for sterk side og fra 15,83 – 18,85° for den svake siden.

Kanting av ski

For V1 lå gjennomsnittlig skikantingsvinkel på 22,43° for sterk side og på 22,62° for svak side. Smith et al. (1989) så også på skikantingsvinkel for V1 teknikk, og de fant ut at ved 10-11° motbakke lå gjennomsnittlig vinkel på 19,7 og 20,7° for menn og på 17,1 og 19,9° hos kvinner for sterk og svak side. Grunnen til at ikke kantingsvinkelen er større for utøverne i Smith et al. sitt prosjekt er vanskelig å si ettersom en skulle tro at brattere bakke ville føre til en mer aggressiv kantingsvinkel for å hindre at skien glipper i siden i snøen. Ett forslag kan være at beina blir brukt mer aktivt i dag i forhold til for 10 år siden, og at utøverne i dag skyver kraftigere i fra med føttene og således trenger

større kantingsvinkel. Likevel kan andre utenforstående faktorer også spille inn her, for eksempel som hvor i bakken utøveren er (tidlig/sent) og hvor lang selve bakken er og hvordan løypa før bakken utartet seg. Om det er kald fast nysnø i bakken eller om den er isete og hard vil sannsynligvis også ha betydelig innvirkning (sistnevnte vil nok gi en betydelig skarpere kantingsvinkel). I tillegg kan målemetode for skikantingsvinkel variere noe fra prosjekt til prosjekt.

Dersom en sammenligner skiens kantingsvinkel for V1 og V2 teknikkene ligger vinkelen gjennomsnittlig på 14,32 og 12,44° for sterk og svak side ved bruk av V2 mot V1 sine kantingsvinkler på 22,43 og 22,62° for sterk og svak side (Tabell 5.2). Dette kan antyde at en ved bruk av teknikken V2 bruker armene mer aktivt ettersom en ikke trenger å kante skien så mye i fraskyvet. På den annen side er det kjent at sykluslengden er lengre for V2 enn for V1 og da kan det således være en nødvendighet med en flatere ski for å få en lengre glifase.

Skihastighetsforandringer

Skihastighetsforandringer kan være av betydning for valg av teknikk. For eksempel dersom en teknikk gir store hastighetsforandringer i enkelte situasjoner, mens en annen er veldig jevn på hastigheten, kan det være en fordel å velge en teknikk fremfor en annen med grunnlag i dette. Hastigheten til skien er i denne oppgaven målt som bindingens hastighet (Tabell 5.2 og Figur 5.3). Dersom en ser på Figur 5.3 ser en at hastighetsforandringene er størst (fra høyest til lavest hastighet) for teknikken V1. Det kan oppfattes noe merkelig ettersom V1 går for å være den mest robuste teknikken for oppoverbakke, og at dens evne til å holde skien i bevegelse (lite hastighetssvingninger) skal være en av hovedårsakene til at den egner seg så godt til bratte motbakker. Det kan likevel være noe i dette ettersom de indre hastighet forandringene i selve glifasen ser ut til å variere mer for V2 enn for V1. Tabell 5.2 viser at gjennomsnittlig skihastighetsforandringer for V2 var 2,28 og 2,14 m/s for sterk og svak side og 3,28 og 2,32 m/s for V1. Videre kan en se at de større hastighet forandringene (fra høyest til lavest hastighet) for V1 teknikken gjør at denne teknikken oppnår størst hastighet for skien ilt syklusen. Opplevelsen av denne hastigheten kan kanskje være en underliggende faktor som fører til at utøvere ubevisst ønsker å bruke V1 teknikken. Men på den annen side oppnås ved V1 også den laveste hastigheten, så sammenlagt gir dette lite mening sånn sett. Da ville det sannsynligvis være mer fornuftig å velge

teknikk ut fra grunner som tretthet i spesifikk muskulatur eller bakkens form (om den er skjev, kort, lang osv).

Det kan være interessant å undersøke samspillet mellom skivinkel horisontalt og skikantingsvinkel, og oppbremsning av ski og tyngdepunkt. Som tidligere nevnt virker det som det benyttes en mer lateralt orientert skivinkel for V1 enn for V2. I tillegg brukes en kantingsvinkel på gjennomsnittlig for begge ski $13,38^\circ$ ved V2 og $22,53^\circ$ ved V1. En mer lateral orientert ski og en skarpere kantingsvinkel slik som observeres for V1 teknikken her, kan en se for seg som medfører arbeidsøkonomiske ulemper. Underkroppen vil flyttes mer lateralt med skiens retning ved bruk av V1, hvilket vil føre med seg at krefter blir brukt i en annen retning enn fremdriftretningen. Hastighet og/eller frekvens må økes dersom en skulle kompensere for dette. På den annen side vil en mer lateralt orientert og kantvinklet ski tillate større påførte krefter i selve fraskyvet med foten. Sånn sett kan V1 teknikken virke som en avlastningsteknikk for overkroppen og kan således være et fornuftig valg idet trettheten hos utøveren øker. Den skarpere kantingsvinkelen vil likevel føre til at skien graver seg lenger ned i snøen og dette vil sannsynligvis føre med seg økt friksjonsmotstand. Sammenlegner en figurene for kantiing av ski (Figur 5.2) og for skiens hastighet (Figur 5.3), ser en at ved begge teknikker forlater skien bakken med kontaktfasens skarpeste kantingsvinkel. Imidlertid opprettholdes hastigheten til en viss grad for skien ved V2 selv om skien kantes mot syklusens maksimum. Ved benyttelse av V1 teknikken derimot, synes hastigheten å avta og falle dramatisk etter hvert som skikantingen øker. Ettersom disse faktorene virker å være ulemper ved V1 teknikken sammenlignet med V2, må det likevel være tilsvarende fordeler ved bruk av denne teknikken siden den så ofte blir valgt, spesielt når motstanden i bakken øker. På den annen side kan kanskje den mer flate skikantingen ved bruk av V2 være en av nøkkelpunktene denne teknikken bygger på. Dersom en ved bruk av V2 teknikk er avhengig av å kunne gli langt (hvilket en kan i flatt terreng med flat ski), vil det by på problemer i motbakke når glifasen kortes ned betraktelig.

Skihøyde over bakken

På samme måte som en kan tenke seg at hastighetssvingninger for skien kan være en faktor som påvirker teknikkvalget, kan en se for seg at høyden en løfter skien opp fra bakken kan være påvirkende for hvilken teknikk en ønsker å bruke. Når en utøver løfter skien fra underlaget før ett nytt fraskyvv, vil det være nærliggende å tro at utøveren vil

ønske å benytte korteste (og da antatt mest økonomiske) veien for dette. Med andre ord at skien beveges nærmest mulig snøen, for å bruke minst mulig energi og krefter på dette. Dersom dette stemmer kan det være interessant å se ved hvilken teknikk skien løftes lengst opp fra bakken. Figur 5.4 viser at løfte-kurven er mye spissere for V2 teknikken enn for V1 teknikken. I tillegg ser V2 teknikken ut til å ha en oppbremsning av skien på vei ned mot snøen, mens ved bruk av V1 teknikken settes skien i bakken med jevn fart helt fra toppen av ski-løftet. At løfte-kurven ved bruk av V2 er spissere vil si at skien er kortere tid i lufta. Imidlertid gjør oppbremsningen av skien før den settes i bakken at tiden skien er i lufta blir tilnærmet lik for begge teknikker. Forskjellene mellom teknikkene blir kanskje bedre skildret gjennom karakteristikene for selve løftet. Total høyde på løftet av skien er høyest for V2 teknikken (Tabell 5.2). Men som tidligere nevnt vil skien tilbringe kortere tid høyt i løftet fra snøen ved bruk av V2 teknikken ettersom løfte-kurven her er spissere. Dersom en tar alt dette i betraktning er det ikke lett å si hva som skulle være eller oppleves som fordelaktig eller ufordelaktig samlet sett for de to teknikkene. Enten løfter en skien raskt og høyt ved bruk av V2, men slipper den raskt ned igjen og lar den ligge en vesentlig del av løft-tiden på en lavere høyde over snøen, eller så løfter en skien langsommere men jevnt ved V1, i en høyde ikke langt fra høyden som oppnås for V2.

6.3 Stavkarakteristikker

Stavorientering

Betydningen av stavens orientering er sannsynligvis størst under perioden staven er i bakken. Det en kan se av Figur 5.5 for V2 teknikken, at stavene er orientert noe innover mot hverandre ved stavisset, er sannsynlig å forklare med ønsket og/eller behovet for å gå klar av skiene siden en typisk går ganske bredbent i motbakker. I tillegg kan en tenke seg at det ville vært upraktisk å føre frem stavene med stor avstand mellom hendene. En kan tenke seg at en del av de påførte kreftene vil gå tapt når en starter fraskyvet med stavene vinklet svakt mot hverandre, men spørsmålet er om en ville tapt mer krefter ved å holde hendene tilsvarende bredt (for å justere stavorienteringen mer rett i fartsretningen). Ole Einar Bjørndalen har vært eksponent for å kjøre dobbeldans der andre må nøye seg med padling (Odiin, 2008). Han er også kjent for å skøyte med usedvanlig stor avstand mellom hendene i stavtaket. En grundig utforskning av Bjørndalens motbakketeknikk kunne således vært interessant.

Angående stavplassering er det også interessant at personen som hadde beste plassering i rennet av de undersøkte utøverene, også hadde den gjennomsnittlige stavorienteringen som lå nærmest fremdriftsretningen. Også for V1 teknikken går en ut fra at en stavorientering rettet mer i fremdriftsretningen vil være mest optimal. Her skiller imidlertid ingen av forsøkspersonene seg spesielt ut. Mellom V2 og V1 teknikkene har V2 teknikken en stavorientering rettet mest mot fartsretningen (Tabell 5.2) V2 teknikken hadde gjennomsnittlig stavorientering på $9,65$ og $-6,90^\circ$ for sterk og svak side mot V1 som hadde tilsvarende $-12,14$ og $-34,63^\circ$. Således ser det ut til at bidraget fra overkroppsmuskulaturen kan være større ved benyttelse av V2 teknikken enn ved bruk av V1 teknikken.

Stavvinkel

Stavens angrepsvinkel mot snøen i forhold til vertikalen (Figur 5.6) kan gi en indikasjon på hva som tillates av vertikal vinkel før staven får en bremsende effekt, eventuelt hvor aggressiv angrepsvinkelen kan være før det går på bekostning av kraften i fraskyvet. Likeså kan en bratt stavvinkel være positivt på sterk side ved bruk av V1 teknikk, muligens rett og slett for å kunne henge mer over staven og la den potensielle energien komme til rette. Dersom en ser på utøveren med raskest bakketid ved tredje passering, FP 1 (alle utøverne brukte V1 teknikk på tredje passering), ser en at hengstaven til denne utøveren ble holdt nærmest vertikalt sammenlignet med de andre ($3,96^\circ$ sammenlignet med gjennomsnittlig 6° (Tabell 5.2)). I tillegg hadde samme utøver størst angrepsvinkel på staven på svak side ($35,27^\circ$ mot gjennomsnittlig $32,51^\circ$). En annen sak som kan være litt interessant er at dersom en legger sammen angrepsvinklene for sterk og svak side for V2 og V1 teknikkene får en gjennomsnittlig angrepsvinkel for de to teknikkene på tilnærmet det samme ($20,12$ og $19,26^\circ$).

6.4 COM karakteristikk

COM hastighet

Massesenterets (Center of mass; COM) hastighet har også vært sett på som en faktor som kan ha betydning for teknikkvalget. Her er det også hastighetsforandringer innad i syklusen som sees på som årsaken til det. Store hastighetssvingninger kan muligens påvirke utøveren i valget av teknikk ettersom han/hun kan føle at kreftene jevnt må brukes på å opprettholde bevegelse og fremdrift dersom disse hastighetsforandringene er store. Figur 5.5 viser en at hastighetssvingningene generelt er størst for teknikken V2.

På den annen side gikk alle utøverne raskere i utgangspunktet med V2 teknikken enn med V1 teknikken, og således vil en kunne forvente høyere hastighet svingninger også. FP 4 gikk imidlertid med tilnærmet lik hastighet ved begge passeringene. Han gikk i motsetning til de andre noe raskere ved andre passeringen (3,93 og 3,98 for V2 og V1) og var den av forsøkspersonene som gikk med mest lik hastighet ved begge passeringene. På grunnlag av dette er det interessant å sammenligne resultatene for V2 og V1 for FP 4 nærmere. Her ser en at amplituden er tilnærmet lik for de to teknikkene. Det som skiller mest er hastighetssvingning karakteristikkene, hvor teknikken V2 har to topper på grafen gjennom syklusen, mens V1 tilnærmet kun har en topp. Dette kan tyde på at hastighet svingningene skjer oftere innad i V2 teknikken. Riktignok bør en huske at V1 syklusen varer noe kortere i tid og går over noe kortere strekning, slik at hastighetssvingninger over tid sånn sett ikke trenger å bli så ulike for de to teknikkene likevel.

Studerer en figurene for massesenterets hastighet i fremdriftsretningen (X retning) i Figur 5.5, ser en at forskjellen i forhold til total massesenter hastighet ikke er nevneverdig stor. Tabell 5.3 viser gjennomsnittlig hastighetsforskjell på 0,44 og 0,44 m/s for V2 total massesenterhastighet og hastighet i X retning, mens det vises gjennomsnittlig hastighetsforskjell på 0,37 og 0,34 m/s for V1.

COM posisjon

Figur 5.8 viser massesenterets forflytning lateralt (Y retningen) og vertikalt (Z retningen). Dersom en ser på forflytningen i siden ser en tydelig at forflytningen av massesenteret er en god del større for V2 teknikken enn for V1 teknikken. Ellers er karakteristikken for massesenterets forflytning gjennom syklusen ganske lik. Igjen må det minnes om at V1 syklusen er noe kortere enn V2 syklusen (ca 1/3 forskjell både i tid og lengde) hvilket vil bety flere sideforflytninger per tidsenhet i sammenligning med V2 teknikken.

Ser en på massesenterets forflytning vertikalt (Figur 5.8), er også her amplituden størst for teknikken V2 for alle forsøkspersonene. Imidlertid er ikke forskjellen spesielt stor for FP 4 som hadde minst tidsforskjell av forsøkspersonene mellom V2 og V1 passeringene. Tabell 5.3 viser at forskjellen i vertikal posisjon forflytningen for V2 og V1 var gjennomsnittlig 0,19 og 0,12 m og for FP 4 0,19 og 0,14 m.

Daværende teknikkonsulent for ski i Olympiatoppen Audun Svartdal sa i et intervju med Odiin (2008) at hans største tanke for skøyteteknikken var å få tyngdepunktet frem og opp. Fra Tabell 5.3 og Figur 5.8 kan en se at personen som fullførte med lavest tid av forsøkspersonene også hadde klart størst differanse mellom laveste og høyeste tyngdepunktposisjon for V2, og var en av de to med størst differanse mellom laveste og høyeste tyngdepunktposisjon for V1. Dette kan antyde at det ikke bare holder å få tyngdepunktet opp, men det må antagelig også være en viss forflytning av tyngdepunktet, også i vertikalen. En grunn for dette kan være at i løpet av tiden tyngdepunktet er lavt nede, kan en oppnå mer fleksjon i hofte og kneledd og således har en lengre arbeidsrekkevidde i fraskyvet. Dette stemmer til en viss grad med Tabell 5.2, hvor utøveren som fullførte med best tid hadde minst vinkel eller var blant de to med minst minimumsvinkel i hofte og kne i fem av seks syklusmålinger.

COM hastighetsvektor

Massesenterets hastighetsvektor beskrives som vinkelen mellom tyngdepunktets hastighetsvektor og fremdriftsretningen x' for hele syklusen i plan med snøen (Tabell 5.3 og Figur 5.9). Denne vinkelen er en indikator på utøverens konstante fartsretning, og har vist seg å være relatert til syklushastigheten (Smith et al., 1988). Smith et al. fant ut at de raskeste utøverne hadde en tendens til å holde massesenterets bevegelse mer på linje med gjennomsnittlig fremdriftsretning.

I dette prosjektet ble det i gjennomsnitt for alle forsøkspersonene funnet en hastighetsvektor for massemiddepunktet på $8,76^\circ$ for V2 og $5,78^\circ$ for V1. Vektoren for V1 teknikken som ble funnet her er noe lavere enn V1 teknikk resultatene til Smith et al., (1988) på $8,5^\circ$ i 7° motbakke og Smith et al., (1989) på $10,3^\circ$ for menn og $10,9^\circ$ for kvinner i $10-11^\circ$ motbakke. At massesenterets hastighetsvektor var mindre i dette prosjektet enn det Smith et al., (1988;1989) fant kan igjen skyldes utenforstående faktorer som løypekarakteristikker, føreforhold og lignende. Beitostølen løypa går blant intervjuede utøvere for å være en middels tøff løype sammenlignet med mange andre konkurranseløyper, og dersom en utøver har ekstra krefter til overs i visse partier vil det trolig være lettere å jobbe mer direkte i fremdriftsretningen. I tillegg var motbakken analysene ble gjort i brattere i prosjektene til Smith et al., (1988;1989).

Forskjellen mellom massesenterets hastighetsvektor for V2 og V1 teknikken i dette prosjektet viser at den konstante hastigheten ved bruk av V2 er tilnærmet 3° mer lateralt orientert enn ved bruk av V1. Dette henger også sammen med massesenterets forflytning i siden, tatt opp i forrige kapittel, hvor massesenterbevegelsen for V1 var større lateralt for V2 enn for V1 så vi der. Ved hjelp av massesenterets hastighetsvektor kan en se at dette ikke skyldes kun at V2 sykluslengden er lengre enn sykluslenden ved bruk av V1, men at også utøveren beveger seg raskere lateralt ved bruk av V2 teknikken.

Dersom en ser på Figur 5.9, ser en at hastighetsvektoren for V2 oppnår en slags platafase hvor hastighetsvektoren blir liggende tilnærmet i samme retning i vinkelens ytterpunkt. En slik platafase kan ikke identifiseres for V1 teknikken som i stedet ser ut til å bevege seg gjennom hele syklusen nærmere fartsretningen enn hva gjelder V2. Dette viser at V1 teknikken jevnt over følger fartsretningen i større grad enn V2, hvilket muligens kan oppleves for utøverne som en arbeidsøkonomisk fordel (uten at det nødvendigvis trenger å være tilfellet).

6.5 Vinkler kne og overkropp

Forandringene i kne og hoftevinkel i løpet av fraskyvet (Figur 5.10 og 5.11) kan være med å gi en forståelse for bruk av muskulaturen. Nordbø (1999) konkluderte i en konkurransestudie med at de raskeste skiløperne ved bruk av V1 teknikk hadde en generelt lavere arbeidsposisjon. Nordbø mente at dette kunne sees i sammenheng med prestasjonen ved at utøverne fra en lavere posisjon klarer å skape en større ekstensjon i kneleddet. Ved relativt mye vinkelforandring i hofta vil en gå ut ifra større involvering av hofteleddstrekker muskulatur, mot mer aktivering av knestrekke ved større vinkelforandringer i kneleddet. I tillegg kan en få ett inntrykk av timingen i frasparket og amplituden i vinkelforandringene ved å studere vinkelforandringene over tid.

Overkroppsvinkel

Når en ser overkroppsvinkel sammenlignet for V2 og V1 ser en at amplituden er rimelig lik for de to teknikkene (Figur 5.11). Likeså kan en se av Tabell 5.2 at minimum overkroppsvinkel for de to teknikkene ligger på nære $49,38^\circ$ for V2 mot $50,38^\circ$ for V1. De eneste åpenbare forskjellene å se mellom teknikkene blir da forskjellen i tid,

ettersom V1 teknikken har en frekvens på 0,9 Hz mot 0,6 sykluser per sekund som V2 ligger på, og at V2 har to hofteekstensjoner i løpet av en syklus mens V1 kun har en hofteekstensjon i løpet av syklusen. Bortsett fra dette er altså overkroppsvinkel karakteristikkene rimelig like.

Knevinkler

Dersom en sammenligner V2 og V1 teknikken ser en at minimum knevinkel ikke er så ulik verdimeisig for de to teknikkene. Gjennomsnittlig 109,59 og 112,24° for sterk og svak side V2 og tilsvarende 107,04 og 108,65° for V1 (Tabell 5.2). Ser en på figur 5.10 får en ett inntrykk av knevinkel forandringene over tid. Amplituden i vinkelforandringene synes å være rimelig likestilte, men V2 teknikken ser ut til å ha en mer to-impuls karakteristikk enn V1 teknikken for hvert enkelt fraspark. Dette ved at en starter glifasen med liten vinkel/stor bøy i kneet, og deretter rettes kneet ut mot midten av skiens kontaktfase. Så flekteres kneet igjen før en får en liten kneekstensjon i det skien forlater bakken. Ved bruk av V1 teknikken kan en se tegn til samme karakteristikk, men her er det mer ett platå i utrettingsfasen for kneet i løpet av skiens kontakttid med snøen enn en dobbel impuls. Sånn sett kan en innbille seg at en ved bruk av V2 teknikken får en mulighet å påføre underlaget større fremdriftskrefter gjennom to impulser i stedet for kun en som for V1. Likevel må en se dette i relasjon med tyngdepunktet siden en må oppnå en forflytning av tyngdepunktet for å få en fremdriftseffekt. Dersom utretting i kneleddet ikke fører til tyngdepunktsforflytning, kan en for eksempel se for seg en kollaps i hoftevinkelen, tilsvarende utrettingen i kneleddet.

Sammenligner en COM hastighet forandringene (Figur 5.7) med knevinkelforandringene for V2 kan det se ut som at kneet rettes ut noe før i tid enn når tyngdepunktets forflytingshastighet begynner å stige. Dette kan kanskje skyldes at utrettingen av hofteleddet har en liten forsinkelse relativt sett. Dette kan en studere av overkropp vinkelforandringene over tid i Figur 5.11. For V1 teknikken ser det ut som at knevinkelforandring (Figur 5.10), overkropp-vinkelforandring (Figur 5.11) og hastighetsforandring av tyngdepunktet (Figur 5.7) skjer mer synkront i tid. Ser en på forandringen for tyngdepunktet i høyden derimot (Figur 5.8), blir det mer motsatt. Her ser det ut til at ved bruk av V2 skjer forflytningen av tyngdepunktet oppover vertikalt tilnærmet samtidig med utretting i kneet. Samtidig, for V1, ser forflytningen av

tyngdepunktet opp vertikalt ut til å være noe forsinket sammenlignet med utrettingen av kneet og utrettingen i hoftelrådet.

Dette kan settes sammen til en hendelsesbeskrivelse over tid. For V2 teknikken kan en da si at i slutfasen av frasparket rettes først kneet ut tilnærmet samtidig med at tyngdepunktet heves, og deretter rettes hoften ut tilnærmet samtidig med at hastigheten stiger. Tilsvarende beskrivelse for V1 teknikken blir da at først rettes kneet og hoften ut tilnærmet samtidig med at hastigheten øker, og deretter i tid synes tyngdepunktet å heves. Det bør nevnes at det er karakteristikkene for benet for sterk side som er beskrevet her gjeldende V1 teknikken ettersom det er fra denne siden det utvikles mest kraft og hastighet.

6.6 Mekanisk energi

Den totale mekaniske energien ser ut til å øke trinnvis i løpet av syklusen, med to trinn for V2 og ett trinn for V1 (Figur 5.12). Dette bildet gjelder også til en viss grad for den potensielle energien. Ettersom tyngdepunktet flyttes oppover, økes den potensielle energien. For den kinetiske energien finner en tilsvarende svingninger i energimengden, med to topper for V2 og tilsynelatende en topp for V1.

Potensiell energi

Den potensielle energien (Figur 5.12) innehar som nevnt en form som minner svakt om en trapp, med to flate og to stigende partier for teknikken V2. Imidlertid er ikke de flate partiene helt flate, men virker å synke litt med tiden. At kurven beveger seg jevnt oppover gjennom syklusen har med å gjøre at stillingsenergien øker ettersom utøveren klatrer oppover i bakken. At den potensielle energien øker trinnvis to ganger i løpet av syklusen har med å gjøre at tyngdepunktet svinger opp og ned to ganger i løpet av V2 syklusen. Ser en på Figur 5.8, posisjon i Z retning, ser en at tidspunktet den kinetiske energien er på topp, er da tyngdepunktet er på sitt høyeste. Det samme gjelder for det ene "trinnet" for V1 teknikken også. Her er imidlertid ikke trappeformen like fremtredende, og det er en jevnere stigning i stillingsenergi gjennom hele syklusen. At stigningen i potensiell energi er jevnere gjennom syklusen for V1 teknikken enn for V2 kan være et tegn på at mer av energien ved bruk av V1 går til tyngdepunktsforflytning i

løypeplanet, mens muligens tilsvarende, mer av energien ved V2 går til stegvis tyngdepunktsforflytning i vertikalen.

Kinetisk energi

For den kinetiske energien, eller bevegelsesenergien (Figur 5.12) finner en to kurvetopper for V2 teknikken. Ved disse kurvetoppene påføres det mest energi for utøvernes hastighet. Dette kan sees i sammenheng med figuren for COM hastighet (Figur 5.7), og for øvrig i sammenheng med kne og hoftevinkler. Ser en på kinetisk energi kurven for V1 teknikken ser en at her er kurven mer flat, med antydning til en eller kanskje for noen to kurvetopper. Dette betyr at det er mindre variasjoner i bevegelsesenergien ved bruk av V1 teknikken. Men noe en likevel må huske her er at alle utøverne unntatt FP 4 hadde høyere syklushastighet for V2 enn for V1. Ser en på amplituden for FP 4 sine kurver, er svingningene over tid i den kinetiske energien tilnærmet det samme. Imidlertid er det færre svingninger per tidsenhet ved bruk av teknikken V1 siden det her er kun en kurvetopp per syklus.

6.7 Teknikkvalget

Fortsatt vil nok V1 være sett på som den regjerende motbakketeknikken. Er bakken bratt og lang er det så å si utelukkende bruk av V1. Imidlertid mener nå utøvere at de kan bruke V2 i alle typer helninger bare de føler seg sterke nok for det, og V2 teknikken vil sannsynligvis bli brukt mer i motbakke med tiden. Er imidlertid føret trådt eller utøveren sliten vil tendensen være å raskere gå over til V1 teknikken. Botnan (2001) fant i sin studie, hvor han sammenlignet de absolutt beste utøverne i world cup sitt teknikvalg med de litt under i nivå (men fortsatt blant de 25 beste i worldcup sammenheng), at utøverne like under toppnivå benyttet seg mer av V2 teknikken i motbakke enn hva de aller beste gjorde. Dette kan ha flere årsaker, men Botnan fremhever faktorer som at en må kunne være i stand til å holde en jevn hastighet gjennom hele bakken. Dersom en bruker for mye krefter i starten av bakken, taper en tid mot slutten av bakken. Dersom en overdriver bruken av V2 kan dette således være negativt med tanke på trettheten og en risikerer å tape plasseringer.

6.7 Utøvernes perspektiv

Hva sier utøverne

En gruppe aktive norske langrennsløpere på høyt nasjonalt nivå, på førsesongs treningsopphold i Ramsau am Dachstein (Østerrike) 2010, ble spurt om hva de som konkurranseløpere subjektivt mener er grunnen til at de under konkurranse går fra padling til dobbeldans eller fra dobbeldans til padling i motbakke. I tillegg ble de spurt om hva som er årsaken til at de velger enten padling eller dobbeldans i en lang moderat motbakke som begge teknikker egentlig hadde fungert i. Slik lød svaret (gjengis med tillatelse):

Vi snakket litt om det rundt lunsjen i dag, og det som vi kommer fram til er at motstanden som øker i motbakke fører til at det skiftes fra dobbeldans til padling. Med et godt fall i kroppen og god form vil man sannsynligvis gå dobbeldans lenger enn ellers. Det er veldig individuelt i forhold til når man skifter fra dobbeldans til padling. Med god teknikk kan man sannsynligvis klare å gå dobbeldans i nesten alle bakker. Blant gjengen her virker det som om kreftene samt motstanden i bakken er det som avgjør hvor lenge de går dobbeldans før de bytter til padling. Det de fleste konkurranseløpere tenker er å gå så billig men effektivt som mulig, og derfor byttes teknikken fra dobbeldans når det ikke føles like økonomisk lenger... Videre kan det tenkes at hvis du har "syra" inn i en motbakke så skifter du sannsynligvis raskere til padling enn når du er "lett og fin" i bena...

Dette skildrer tankene til utøverne rundt deres frie valg av teknikk. De fremhever altså motstanden i bakken og hvordan de føler seg (formen) som de to hovedpunktene.

Utøvernes frie teknikkvalg

En kan ut fra forrige kapittel si at normalt velger utøverne fritt mellom teknikkene V2 og V1 avhengig av generell styrke og utholdenhet og i tillegg følelsen/oppfattelsen av styrken og utholdenheten i det aktuelle tidspunktet. Videre vil løypestruktur før og muligens etter bakken (dersom løypa etter bakken er kjent) og brattheten/strukturen på selve bakken være av betydning, i tillegg til vær og føreforhold og hvor gode ski en har. Dette er faktorer utøverne løpende vurderer for å gjøre sitt teknikkvalg, uten å vite hva som er mest effektivt. De følger følelsene i forhold til at dersom de er slitne velger de

V1 teknikken og om de føler seg pigge velger de V2. Det som er interessant er at forskning viser at utøvere på dette nivået synes å kunne gå med samme energikostnad i moderate motbakker uavhengig av hvilken av disse to teknikkene de velger. Kvamme et al (2005) påviste at ved rulleskiaktivitet i ca 5° motbakke går eliteutøvere V1 og V2 med tilnærmet samme arbeidsøkonomi.

6.8 Forslag til videre studier

Praktiske hensyn

Ettersom skiens bakende ofte var vanskelig å plotte pga den til tider gravde seg vekk ned i snøen og til tider ble borte i snøsprut som ble virvlet opp rundt bakenden av skien, kan det foreslås å plassere kameraene så høyt som mulig som et virkemiddel for å unngå dette og dermed få best mulig overblikk. I tillegg var det ofte vanskelig å se detaljer på utøverne pga mange brukte mørke klær og effekter som gikk i ett med bakgrunnen. Sånn sett kan det ved lignende prosjekter være en fordel å ha hvit snø som bakgrunn så langt det lar seg gjøre, eller eventuelt benytte seg av ett hvitt lerret eller lignende som bakgrunn. I tillegg kunne det også være forstyrrende for plottingen med kalibreringspunktene og stolpene som stod oppe under hele opptaksperioden og resulterte i at punkter ofte ikke kunne plottes pga ledd eller utstyr ble dekket til av kalibreringsoppsettet. En løsning på dette kan eventuelt være å benytte så få kontrollpunkter som mulig i forhold til nøyaktigheten en trenger, med så liten som mulig størrelse slik at de dekker minst mulig av sikten.

Andre analysefaktorer av interesse

Noe som kunne vært interessant å se nærmere på men som det ikke ble tid til å inkludere i dette prosjektet er massesenterets bevegelse i relasjon til skiens midtpunkt. Det ville gått ut på hvor tidlig og med hvilken hastighet massemiddepunktet flyttes vinkelrett fra skien under gli og frasparkfasen (avstandsforandringene mellom massemiddepunktet og midten av skien ville blitt målt med utgangspunkt fra et koordinatsystem hvor x ville blitt definert av skiens gjennomsnittlige retning under kontakttiden med snøen). Hvor kjapt tyngepunktet fjernes fra balanse over skien kan innbilles å ha betydning for hvor effektiv teknikken er – desto raskere utøverens tyngdepunkt forsvinner fra skien, desto mindre tid tillates det til å påføre fremdriftskrefter.

Utøvernes rotasjon av overkropp kunne også vært et interessant tema å se nærmere på, da målt som rotasjon av hoften horisontalt over skiens gjennomsnittlige retning. Grunnen til at dette kunne vært interessant er at hofterotasjonen ofte nevnes i skimiljøer som en viktig del av V1 teknikken for å både øke stegrekkevidden og å eliminere slaggstoffer i blodet.

6.9 For fremtiden

Alternative metoder for bevegelsesanalyse vil alltid være interessant ettersom ulike metoder kan gi ulike resultater og nye prosjekter er med på å fylle ut helhetsbildet av bevegelsesforskningen. Ved å bruke et bredt spekter av ulike tilnærminger for å finne den mest hensiktsmessige teknikken, antas sannsynligheten å øke for at sluttresultatet er korrekt. I tillegg kan bevegelsesanalysemetoder lik metoden brukt i denne oppgaven (metoder basert på manuell digitalisering av videoopptak uten referansepunkter festet på forsøkspersonene) ved hjelp av ulike programvareutprøving og forsøk på å gjøre databehandlingen lettere, muligens med tiden også bli tilgjengelig for mindre idrettslag, mindre foreninger og andre som ønsker å utvikle sine ferdigheter.

7.0 Konklusjon

Syklushastigheten var i gjennomsnitt 0,22 m/s raskere ved bruk av V2 teknikken enn ved bruk av V1 teknikken. Om dette skyldes utmattelse i forbindelse med at V1 teknikken ble benyttet senere i løpet enn V2, eller om årsaken til den lavere hastigheten for V1 var en konsekvens av teknikkvalget (eller en kombinasjon av disse faktorene) er uvisst. Sykluslengden var som ventet kortere for V1 enn for V2 (6,71 m for V1 og 4,20 m for V2) og syklusfrekvensen var som ventet høyest for V1 (i snitt på 0,6 Hz for V2 og 0,9 Hz for V1). Syklustiden lå i snitt på 1,67 s for V2 og 1,11 s for V1.

Stavene var orientert mer i fartsretningen ved bruk av V2 teknikken enn ved bruk av V1, mens angrepsvinkelen i forhold til vertikalen var tilnærmet lik for begge teknikkene dersom en la sammen angrepsvinklene til begge stavene. Dette kan tale for ett større bidrag fra overkroppsmuskulaturen ved benyttelse av V2 teknikken.

De gjennomsnittlige overkroppsvinklene var ca like for V2 og V1 mens knevinklene var gjennomsnittlig 109,59 og 112,24° for sterk og svak side for V2 og tilsvarende 107,04 og 108,65° for V1. Stigningen i potensiell energi er jevnere gjennom syklusen for V1 teknikken enn for V2 teknikken. Dette kan være et tegn på at mer av energien ved bruk av V1 går til tyngepunktsforflytning i løypeplanet, mens muligens tilsvarende, mer av energien ved V2 går til stegvis tyngdepunktsforflytning i vertikalen.

Horisontal skivinkel var ventet å være større for V1 enn for V2, hvilket også viste seg å stemme godt med resultatene (19,89 og 19,65° for sterk og svak side for V1 og 15,71 og 17,14° ved bruk av sterk og svak side V2). For V1 lå gjennomsnittlig skikantingsvinkel på 22,43° for sterk side og på 22,62° for svak side. Ved bruk av V2 var skikantingsvinkelen 14,32 og 12,44° for sterk og svak side. Gjennomsnittlig skihastighetsforandringer for V2 var 2,28 og 2,14 m/s for sterk og svak side og det ble funnet tilsvarende 3,28 og 2,32 m/s for V1. En mer lateral orientert ski og en skarpere kantingsvinkel slik som observeres for V1 her kan oppfattes som mindre arbeidøkonomisk. En lateralt orientert ski vil føre med seg at krefter blir brukt i en annen retning enn fremdriftreringen. På den annen side vil en mer lateralt orientert og kantvinklet ski tillate større påførte krefter i selve fraskyvet med foten. Sånn sett kan V1 teknikken virke som en avlastningsteknikk for overkroppen og kan således være et

fornuftig valg idet trettheten hos utøveren øker. Den skarpere kantingsvinkelen vil likevel føre til at skien graver seg lenger ned i snøen og dette vil sannsynligvis føre med seg økt friksjonsmotstand. Ved både V1 og V2 forlater skien bakken med kontaktfasens skarpeste kantingsvinkel. Imidlertid opprettholdes hastigheten til en viss grad for skien ved bruk av V2, selv om skien kantes mot syklusens maksimum. Ved benyttelse av V1 teknikken derimot, synes hastigheten å avta og falle dramatisk etter hvert som skikantingen øker. Ettersom disse faktorene virker å være ulemper ved V1 teknikken sammenlignet med V2, må det likevel være tilsvarende fordeler ved bruk av denne teknikken siden den så ofte blir valgt, spesielt når motstanden i bakken øker. På den annen side kan kanskje den mer flate skikantingen ved bruk av V2 være et av nøkkelpunktene denne teknikken bygger på. Men dersom en ved bruk av V2 teknikk er avhengig av å kunne gli langt (hvilket en kan i flatt terreng med flat ski), vil det by på problemer i motbakke når glifasen kortes betraktelig ned.

Massesenterets hastighet varierte i gjennomsnittlig med 0,44 m/s for V2 og med 0,37 m/s for V1. Hastighetsforandringer av tyngdepunktet er en faktor som kan tenkes å ha innvirkning på teknikkvalget i motbakke. Utøvere kan tenkes å ville unngå bruk av en teknikk i en situasjon hvor en hele tiden må jobbe for å akselerere tyngdepunktet. Massesenterets forflytning er også størst både vertikalt og i siden og hastighetsvektoren for massemiddepunktet var gjennomsnittlig på 8,76° for V2 og 5,78° for V1. Alt dette viser at tyngdepunktsforflytningen er mer omfattende ved bruk av V2 enn ved bruk av V1. En nærliggende slutning å ta blir da, også med grunnlag i at syklushastigheten var raskere for V2 enn V1, at V2 teknikken virker å være raskere, men teknikken virker også å være tilsvarende utmattende. Skal en virkelig dra nytte av den offensive V2 teknikken i motbakke, virker det som at riktig teknikkbruk er ekstremt viktig. Samt at utøveren evner å bytte til V1 før det inntreffer for stor grad av utmattelse. Men det er ingen tvil om at det finnes et potensial for hurtig bakkeforsering i V2 teknikken, og vi vil nok se at teknikken brukes lenger og lenger opp i bakkene i tiden fremover. Mest sannsynlig som et resultat av stigende teknikkegenskaper hos utøverne.

Referanser

- Aro, T. A., Smith, G. A. & Nelson, R.C. (1990). An analysis of male and female olympic skiers:effect of slope on V1 skate kinematics. *Medicine and science in sport and exercise*,22, s18.
- Bergh, U. (1987).The influence of body mass in cross-country skiing. *Medicine and science in sport and exercise*, 19 (4) 324-331.
- Bilodeau, B., Boulay, M. R. & Roy B. (1991). Propulsive and gliding phases in four cross-country skiing techniques. *Medicine and science in sport and exercise*, 917-925.
- Botnan, P.-A. (2001). Tids- og teknikkstudie i motbakke på 30 km fristil menn, VM Trondheim 1997. Masteroppgave ved Norges idrettshøgskole, Oslo.
- Boulay, M. R., Rundell K. W. & King D.L.,(1994). Effect of slope variation and skating technique on velocity in cross-country skiing. *Medicine and science in sport and exercise*. 281-287.
- Challis J.H & Kerwin, D.G. (1992). Accuracy assessment and control point configuration when using the DLT for photogrammetry. *Journal of Biomechanics* 25, 9, 1053-1058.
- Chen, L., Armstrong, Ch. W. & Raftopolulos, D. D. (1994). An investigation on the accuracy of three-dimensional space reconstruction using the direct linear transformantion technique. *Journal of Biomechanics* 27 (4), 493-500.
- de Barros, R. M. L., Russomanno, T. G., Brenzikofer, R. & Figueroa, P. J. (2004). A method to synchronise video cameras using the audio band. *Journal of Biomechanics*.
- Degueurce, C., Dietrich, G., Pourcelot, P., Denoix, J. & Geiger, M. (1996) Three-dimensional kinematic technique for evaluation of horse locomotion in outdoor conditions. *Medical and Biological Engineering and Computation* 34, 249-252.

- de Leva, P. (1996a). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, 29, 1223-1230.
- de Leva, P. (1996b). Joint center longitudinal positions computed from a selected subset of Chandler's data. *Journal of Biomechanics*, 29, 1231-1233.
- Fis-ski (u.å.). Hentet 15. oktober 2010 fra www.fis-ski.com
- Ghosh, S. K. (1979). *Analytical Photogrammetry*, Pergamon, New York.
- Hansen, E. A. & Ohnstad, A. E. (2007). Evidence for freely chosen pedalling rate during submaximal cycling to be a robust innate voluntary motor rhythm. *Exp Brain Res*.
- Hetland, S., Løkke, T., Tveit, P. & Jakobsen, V. (2002). Presentasjon av delprosjektet: teknikkanalyser av padling i motbakke på tredemølle. Laboratorium for bevegelsesanalyse ved Norges idrettshøgskole, Oslo
- Hinrichs, R.H. & McLean, S.P. (1995). NLT and extrapolated DLT: 3-D cinematography alternatives for enlarging the volume of calibration. *Journal of Biomechanics* 28, 10, 1219-1223.
- Hoffman, M. D., Clifford, P.S., Snyder, A. C., O'Hagan, K. P., Mittelstadt, S. W., Roberts, M. M., Drummond, H. A. & Gaskill, S. E. (1998). Physiological effects of technique and rolling resistance in uphill roller skiing. *Medicine & science in sport & exercise*. 30 (2), 311-317.
- Jakobsen, V. (2007). *World cup langrenn herrer Beitostølen d. 24/11-07 Tids- / Videoanalyse* [DVD-plate]. Oslo: Norges idrettshøgskole.
- Kvamme, B., Jakobsen, V., Hetland, S. & Smith, G. (2005). Ski skating technique and physiological responses across slopes and speeds. *European Journal of Applied Physiology*. 95, 2005-212.

- Larsen, E. V. (2007). Friteknikk langrenn. Masteroppgave ved Norges idrettshøgskole, Oslo.
- Lindinger, S. (2006). *Biomechanische analysen von skatingtechniken im skilanglauf*. Universitat Salzburg Austria: Meyer & Meyer Verlag.
- Losnegard K. M., (1994). Ei tredimensjonal analyse av ein langrennsteknikk. Masteroppgave ved Norges idrettshøgskole, Oslo.
- Madshus, (u.å.). Hentet 15. oktober 2010 fra www.madshus.com
- Nordbø, E. (1999). Biomekanisk analyse av padleteknikken til mannlige langrennsløpere i bratt motbakke under VM i Trondheim. Masteroppgave ved Norges idrettshøgskole, Oslo.
- Norman, R. W., Ounpuu, W.S., Fraser, M. & Mitchell, R. (1989). Mechanical power output and estimated rates of nordic skiers during olympic competition, *International Journal of sport biomechanics.*, 5, 169-184.
- Odiin, R. A. (2008). Hentet 28. november 2010 fra www.treningsmagasinet.no/wip4/print.epl?id=365023
- Perrey, S., Millet, G.Y., Candau, R. & Rouillon, J. D. (1998) Stretch-shortening cycle in roller ski skating: effects of technique. *International Journal of sport medicine*, 19, 513-520.
- Pourcelot, P., Audigie, F., Deguerce. Ch., Geiger, D.& Denoix, J. M. (2000). A method to synchronise cameras using the direct linear transformation technique. *Journal of biomechanics*. 33 (2000), 1751-1754.
- Reid, R. C. (2010). A kinematic and kinetic study of alpine skiing technique in slalom. Doktorgradsavhandling ved Norges idrettshøgskole, Oslo.

- Robertson, D. G., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G. & Whittlesey, S. N. (2004). *Research methods in biomechanics*. United States of America: Human Kinetics.
- Rundell, K. W. & McCarthy, J. R. (1996). Effect of kinematic variables on performance in women during a cross-country ski race. *Medicine & science in sport & exercise*. 1413-1417.
- Shapiro, R. (1978). Direct linear transformation method for three-dimensional cinematography. *The research quarterly* 49, 2, 197-205.
- Skard, H. (1986). *Lær deg snøskøyting*. Oslo: Universitetsforlaget.
- Smith, G. (1994). An iterative segment length normalization routine for use with linked segment models. In R. J. Gregor & A. S. Litsky (Eds.), *Conference Proceedings of the 18th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics* (pp. 35-36). Columbus, OH.
- Smith, G. A. (2000). Cross-country skiing: technique, equipment and environmental factors affecting performance. I: Zatsiorsky, V. M. *Biomechanics in sport. Performance enhancement and injury prevention*. (s. 247-270) Los Angeles, California, USA: Blackwell Science.
- Smith, G. A., Nelson R. C., Feldman, A. & Rankinen J. L. (1989). Analysis of V1 Skating technique of Olympic Cross-Country Skiers. *International journal of sport biomechanics*, 5, 185-207
- Smith, G., Kvamme, B. & Jakobsen V. (2009). Effectiveness of ski and pole forces in ski skating. I: Müller, E., Lindinger, S., Stöggl, T. *Science and skiing* (s. 647-656). United Kingdom: Meyer & Meyer Sport.
- Smith, G.A., (1992). Biomechanical analysis of cross-country skiing techniques. *Medicine and science in sport and exercise*. 1015-1022.

- Smith, G.A., McNitt-Gray, J. & Nelson, R.C. (1988). Kinematic analysis of Alternate Stride skating in cross- country skiing. *International journal of sport biomechanics*. 4, 49-58.
- Stöggl, T., Kappel W., Müller E. & Lindinger S. (2009). Double-push skating versus V2 and V1 skating on uphill terrain in cross-country skiing. *Medicine & science in sport & exercise*.187-196.
- Thomas, J. R., Nelson, J. K. & Silverman, S. J. (2005). Research methods in physical activity. Fift edition. USA, Human kinetics.
- Torvik, P-Ø. (2005, 28. oktober) T3- kurs langrenn modulhefte nr 7.
Langrennsteknikk. Norges Skiforbund.
- Tønnesen, E. (u.å). Hentet 29. november 2010 fra:
<http://www.olympiatoppen.no/fagavdelinger/trening/spenst/fagartikler/media3801.media>
- Walton, J. S. (1979). Close-range ciné-photogrammetry: Another approach to motion analysis. Terauds, J. *Science in biomechanics cinematography* (s. 69-97).
California: Academic publishers.
- Wood, G.A. & Marshall, R.N. (1986). The accuracy of DLT extrapolation in three-dimensional film analysis. *Journal of Biomechanics*, 19 (9), 781-785.
- Yeadon, M. R. & King, M. A. (1999). A method for synchronizing digitised video data. *Journal of biomechanics*. 32, 983-986.
- Zatsiorsky, V. M., (2002). *Kinetics of human motion*. United States of America:
Human Kinetics.

Tabelloversikt

Tabell 2.1: Oversikt over ulike studiers funn for langrenn i motbakke.....	22
Tabell 4.1: Utøvernes startnummer, slutt plassering i skirenn og tid	44
Tabell 4.2: Viser nasjonalitet, vekt, høyde, fødselsår og ranking for utøverne.....	44
Tabell 4.3: Plottede punkter.....	59
Tabell 4.4: Definisjoner på kroppssegment parametre.	60
Tabell 5.1: Syklushastighet, syklusrate, syklustid og sykluslengde for V2 og V1.....	67
Tabell 5.2: Beskrivende statistikk for utvalgte kinematiske variabler.	68
Tabell 5.3: Beskrivende statistikk for variabler vedrørende massesenteret (COM).....	69

Figuroversikt

<i>Figur 1.1: Hills kurve.</i>	8
<i>Figur 1.2: Utvikling av sykkelen</i>	9
<i>Figur 2.1: Illustrerer skiens innsving og spenn</i>	12
<i>Figur 2.2: Illustrerer de ytre kreftene som påvirker en langrennsløper.</i>	13
<i>Figur 2.3: Illustrerer kraftkomponenter ved skøyting på ski.</i>	14
<i>Figur 2.6: Tidssynkronisering av kamera ved hjelp av DLT metoden.</i>	31
<i>Figur 4.1: Tid brukt på utforbakken, i bakken og på strekket etter analysebakken.</i>	45
<i>Figur 4.2: Viser løypeprofil og data for 5 km sløyfen som ble gått 3 ganger.</i>	47
<i>Figur 4.3: Kameraoppsett og kontrollpunkter.</i>	48
<i>Figur 4.4: Utøver på vei ut av kontrollområdet.</i>	49
<i>Figur 4.5: Oversikt over bakken som leder opp til kontrollområdet.</i>	49
<i>Figur 4.6: Skjerm bilde av custom softwaren for MATLAB</i>	52
<i>Figur 4.7: Viser syklus start og stopp for V1 teknikken ut fra syklus definisjonen.</i>	56
<i>Figur 4.8: Viser syklus start og stopp for V2 teknikken ut fra syklus definisjonen.</i>	56
<i>Figur 4.9: Punktene som definerer modellens segmenter og modellens segmenter.</i>	58
<i>Figur 5.1: Skivinkel horisontalt i forhold til gjennomsnittlig fremdriftsretning</i>	72
<i>Figur 5.2: Skiens kantingsvinkel i forhold til snøen.</i>	73
<i>Figur 5.3: Skiens hastighet over tid, målt med utgangspunkt i ski tå binding</i>	74
<i>Figur 5.4: Skiens høyde over snøen over tid med utgangspunkt i tåbinding</i>	75
<i>Figur 5.5: Stavens vinkel i sideretningen i forhold til fremdriftsretning.</i>	77
<i>Figur 5.6: Stavens angrepsvinkel mot snøen i forhold til sann vertikal</i>	78
<i>Figur 5.7: Massesenterets totale hastighet og hastighet målt i X retning over tid</i>	80
<i>Figur 5.8: Massesenterets posisjon over tid i Y (side) og Z (vertikal) retningen</i>	81
<i>Figur 5.9: Viser hastighetsvektoren i forhold til fremdriftsretningen</i>	82
<i>Figur 5.10: Knevinkel over tid gjennom en fullstendig syklus</i>	84

Figur 5.11: Overkropp vinkel for en fullstendig syklus av V_2 og V_1 over tid 85

Figur 5.12: Mekanisk energi gjennom en fullstendig syklus..... 87

Forkortelser

V1	Skiskøyteteknikk hvor ett dobbelt stavgak blir tatt for hvert andre fraspark. Stavisset er tilnærmet samtidig med fotisset av den ene foten
V2	Skiskøyteteknikk hvor ett dobbelt tidssynkront stavgak blir utført per fraspark. Stavisset kommer i glifasen.
DLT	Direct linear transformation (utregningsmetode for å finne 3D punkter).
3D	Tredimensjonal
2D	Todimensjonal