

Analys av huvudkinematik under olyckor i alpina slalomdisciplinen

-med stöd från videoanalysverktyg

Ludvig Lundin

Självständigt arbete
Huvudområde: Maskinteknik GR (C)
Högskolepoäng: 15 hp
Termin/år: VT 2023
Handledare: David Samuelsson
Examinator: David Sundström
Kurskod/registreringsnummer: MT033G
Utbildningsprogram: Sportteknologi
Ort: Östersund
Datum: 29-06-2023

Sammanfattning

Huvudskador inom alpin skidsport är bland de allvarligaste skador som kroppen utsätts för. Tidigare studier på huvudskador som genomförts på grenar såsom Störtlopp, Super-G, Storslalom, Skicross, Freestyle och Snowboard visar att standarder som finns på skyddsutrustning inte är tillräckliga. Ännu har ingen videoanalys genomförts på disciplinen Slalom med fokus på huvudets islag med underlaget under olyckor trots att dylika händelser har rapporterats.

Certifieringar av hjälmar inom dessa discipliner skiljer sig och har genom åren påverkats av studier och forskning. Detta har resulterat i regeländringar och ökade krav på säkerhetsstandarder satta av Internationella Skidförbundet (FIS).

Videoanalyser av olyckstillfällen inom snösport omfattar en hel del antaganden vilket medför problematik för okända variabler då de sker genom rekonstruktioner. De variabler som är kända utnyttjas för att uppskatta dessa okända värden.

Denna avhandling syftade till att rekonstruera olyckor i slalomdisciplinen för att undersöka vilka hastigheter som faktiskt uppstår vid huvudkollision mot underlaget, samt därefter utröna eventuella samband mellan utövarens färdhastighet och underlagets lutning. Detta för att möjliggöra påverka eller upplysa om de faktiska hastigheter som uppstår för att validera de standardiserade certifieringar som idag är stadgade.

Resultatet av den här studien visar tendenser på att en minskad lutning på underlaget ger en högre islagshastighet för huvudet mot underlaget. Färdhastigheten enskilt påverkar inte i lika stor uträkning som lutningen men bidrar till att öka islagshastigheten.

I ett av de åtta analyserade fallen uppmättes $5,94 \text{ m/s}$, vilket överskred de testkrav för hjälmar satta till $5,42 \text{ m/s}$ enligt EN-1007:2007 Klass B skyddscertifiering.

Nyckelord: Kollision, SL, hjälm, Skidåkning, Biomekanik, Hastigheter

Abstract

Head injuries in alpine skiing are the most serious injuries exposed to the human body. Previous studies applied to Downhill, Super-G, Giant Slalom, Skicross, Freestyle and Snowboard shows that safety standards on protection equipment may not be enough. In the slalom discipline no such video analysis studies have yet been deployed on head impacts in the Slalom discipline, although several incidents have been reported.

Certifications for helmets in the respective disciplines differ and each of them have become influenced by studies and research throughout the years. This has resulted in rule changes and increased standards set by the International Ski Federation (FIS).

Video analysis of athletes in snow sports causes problems with unknown variables based on rough reconstruction of past events, which lead to assumptions. To estimate these unknown values known variables play a critical role.

This thesis aimed to reconstruct accidents in the slalom discipline to investigate the velocities for head collisions normal to the ground. Hence evaluate the relationship between the athlete's travel speeds and the slope angle. This is to influence or inform about the speeds that arise to validate the standardized certifications that are currently stipulated.

The result of this study shows tendencies that head collisions on lower slope angle results in a higher impact velocity. The travel speed alone does not affect to the same extent as the slope angle, but in combination the effect is to a greater degree.

In one of the eight cases the impact velocity exceeded 5,42 m/s for the absorptions test according to EN-1007:2007 Class B certification, the highest measured value was 5,94 m/s.

Keywords: *Impact, SL, Helmet, Skiing, Biomechanics, Velocities*

Förord

Författaren vill rikta ett stort tack till, Johan Weman och Nicolò Dall'Acqua på POC för möjligheten, stödet och förtroendet. Även tack till Giorgia La Cheisa och David Samuelsson för vägledning genom arbetet.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	ii
Abstract	iii
Förord	iv
Innehållsförteckning.....	v
Figurförteckning	vii
Tabellförteckning	ix
Terminologi.....	x
1 Introduktion.....	12
1.1 Bakgrund	12
1.2 Syfte.....	13
1.3 Mål.....	13
1.4 Problemformulering	13
1.5 Avgränsningar.....	13
2 Teori.....	14
2.1 Alpina slalom disciplinen (SL).....	14
2.1.1 Huvudskador inom alpina slalomdisciplinen	15
2.1.2 Påverkansfaktorer för olyckor inom slalom	15
2.1.3 Skadeförebyggande arbete	16
2.2 Kollisionsbiomekanik	17
2.3 Videoanalysverktyg.....	18
2.4 Certifiering av alpina hjälmar	20
2.4.1 EN-1077:2007	20
2.4.2 ASTM F2040	22
2.4.3 RH 2013	23
3 Metod.....	24
3.1 Metodanalys.....	24
3.2 Uppskattning av hastigheter, lutningar, parallaxeffekt, normalvektorn	28
3.2.1 Uppskattning av verklig islagshastighet	28
3.2.2 Uppskattning av medellutningen	31
3.2.3 Uppskattning och korrigering av parallaxeffekten	33
3.2.4 Uppskattning av normalvektorn till markkomposanten för islagshastighet	35
3.3 Videoanalys.....	37
3.3.1 Analysteknik	37

3.3.2	Validering	42
3.4	Sambandsmått	43
4	Resultat	44
4.1	Kinematiska data.....	44
4.1.1	Islagshastighet, färdhastighet och medellutning	44
4.2	Resultat av data	45
4.2.1	Analys av data	46
4.2.2	Korrelation av data	47
4.2.3	Islagsposition	48
4.3	Videoanalys.....	50
4.3.1	Exempel Analys 1	50
4.3.2	Exempel Analys 3	56
5	Diskussion och slutsats	61
5.1	Diskussion av data	61
5.2	Analysmetod.....	62
5.2.1	Begräsningar	63
5.2.2	Kinovea	63
5.3	Avslutande diskussion	64
5.3.1	Vidare utvecklingsarbete	65
5.4	Slutsats	66
	Referenser	67
	Bilagor	71

Figurförteckning

Figur 2.4.1 Hjälmmodeller: (a) Klass A täckande för sidokollision, (b) Klass B öppen och mjukare skydd kring öronen. Källa: [30]	20
Figur 2.4.2 EN-1077:2007 certifieringstest plant stål-städ och koniskt penetreringstest. Källa: [31]	21
Figur 2.4.3 ASTM F2040 certifieringstest mot plant, halvsfärisk och kantigt stål-städ. Källa: [31]	22
Figur 2.4.4 RH 2013 certifieringstest plant stål-städ. Källa: [31]	23
Figur 3.1.1 Skidbacke representerat med en tredimensionell volym. Två referenssystem, det globala i X, Y, Z-led och markreferenssystemet $xsysz$ vilket definierar planet för πS . Kamerapositionen kan variera med avståndet $d1$ och vinkel mellan 0° och 90° från det iakttaga objektet. Källa: [1]	25
Figur 3.1.2 Vinkeln ψCS roterar runt Z-axeln och definierar vinkeln som täcks av kameraplanet πC och snöreferensplanet πS . Källa: [1]	26
Figur 3.1.3 Vinkeln ψMC roterar runt Z-axeln och definierar vinkeln som täcks av rörelseplanet πM och snöreferensplanet πC . Källa: [1]	27
Figur 3.2.1 Panorering av bildsekvens där föremålet centreras i bildfånet. Trädet i bakgrunden får effekten av att vara i rörelse. Källa: [1]	28
Figur 3.2.2 Trädets påtagliga hastighet i bildföljden är den samma men motsatt för kamerans förflyttning $-VCAM$. Källa: [1]	29
Figur 3.2.3 Den påtagliga islagshastigheten $VFRAME$ för skidåkarens begränsas till kamerans panoreringshastighet. Källa:[1]	29
Figur 3.2.4 a) Islagsvektorn $VIMPACT$ resulterande från summan av de två vektorerna $VFRAME$ och $VCAM$, b) Uppdelning av $VIMPACT$ för den vinkelräta $VIMPACT \perp$ och parallella $VIMPACT \parallel$ vektorn. Källa:[1]	30
Figur 3.2.5 Två gränsfall för (a) $VCAM = 0$ och för (b) $VFRAME = 0$. Källa:[1]	31
Figur 3.2.6 Kamerafångvinkel, (a) Videomaterial, (b) Google Earth Pro	32
Figur 3.2.7 Mätområde, Google Earth Pro	32
Figur 3.2.8 Höjdprofil, Google Earth Pro	32
Figur 3.2.9 Två utfall av kameraperspektiv där parallaxeffekten verkar, utfall a): objektet uppstår framför skalreferensen, utfall b): objektet uppstår bakom. Källa:[1]	33
Figur 3.2.10 Fall 1 $\theta F \geq \theta C \wedge \theta F, \theta C < \pi$. Källa: [1]	35
Figur 3.2.11 Fall 2 $\theta F < \theta C \wedge \theta F, \theta C < \pi$. Källa: [1]	36

Figur 3.3.1 (a) Bildtillfälle i normal och ultrarapid uppspelningshastighet för startpunkt, (b) Samma bildögonblick i normal och ultrarapid uppspelningshastighet vid islagspunkt, Kinovea [34]	38
Figur 3.3.2 Kalibreringskala för Kinovea [34], pixel-millimeter förhållande	39
Figur 3.3.3 Förskjutningsdistans: (a) Startpunkt för VFRAME och VCAM distansspårning, (b) Slutpunkt för VFRAME och VCAM distansspårning i Kinovea [34]	39
Figur 3.3.4 Framtagning av supplementvinklarna för θF och θC , Kinovea [34]	40
Figur 3.3.5 Fördelning, vy från ovan, vänster och höger. Källa:[1]	41
Figur 3.3.6 Färdhastighet, avståndet dGATE och känt referensobjekt framtaget i Kinovea [34]	41
Figur 4.2.1 Resultat av datapunkter presenterat i storleksordning.	45
Figur 5.1.2 Förhållande Islagshastighet & Färdhastighet med tillhörande trendlinje samt R2 värde för dess enskilda linjära samband	46
Figur 5.1.3 Förhållande Islagshastighet & Lutning med tillhörande trendlinje samt R2 värde för dess enskilda linjära samband	47
Figur 5.1.4 Förhållande Islagshastighet, Färdhastighet, Lutning & sektion för islagsposition med orsaksförklaring.	48
Figur 4.1.1 Spridning av antal islagspositioner	48
Figur 4.2.1 Analys 1, bildögonblick händelseförlopp med 15 BR	50
Figur 4.2.2 Analys 3, bildögonblick händelseförlopp med 15 BR	56

Tabellförteckning

Tabell 2.1.1 Minimikrav för SL skidlängder och radie enligt FIS specifiering för alpina tävlingsutrustning 20/21	14
Tabell 4.1.2 Resultaterande islagshastigheten VIMPACT $\perp$, färdhastigheten VTRANSIT och medellutningen θS för analys 1-8.	44
Tabell 4.1.4 Islagsposition & händelseförlopp	49
Tabell 4.2.1 Resultat Analys 1	52
Tabell 4.2.2 Felskattning 1: Referenslängd skida +5 cm	52
Tabell 4.2.3 Felskattning 2: Skidlängd -5 cm	53
Tabell 4.2.4 Felskattning 3: Lutning +15%	53
Tabell 4.2.5 Felskattning 4: Lutning -15%	54
Tabell 4.2.6 Felskattning 5: Referenslängd skida +5 cm, lutning -15% och utan korrektion för parallaxeffekten	54
Tabell 4.2.7 Felskattning 6: Referenslängd skida +5 cm och lutning +15% och utan korrektion för parallaxeffekten	55
Tabell 4.2.8 Resultat Analys 3	56
Tabell 4.2.9 Felskattning 1: Skidlängd +5 cm	57
Tabell 4.2.10 Felskattning 2: Skidlängd -5 cm	57
Tabell 4.2.11 Felskattning 3: Lutning + 15%	58
Tabell 4.2.12 Felskattning 4: Lutning -15%	58
Tabell 4.2.13 Kombinerat Felskattning 5: Skidlängd +5 cm, lutning +15% & utan parallaxkorrigering	59
Tabell 4.2.14 Kombinerat Felskattning 6: skidlängd +5 cm, lutning -15% & utan parallaxkorrigering	59

Terminologi

ASTM	American Society for Testing and Material. Amerikanska Ideella standardiseringsorganisationen.
BR	Bilruta.
CEN	Europeiska Kommitté för Standardisering.
EN	Europastandard från CEN.
EC	Europa Cup.
FIS	International Ski Federation. Internationella skidförbundet för alpin och nordisk skidsport.
FIS ISPP	International Ski Federation Injury Surveillance and Prevention Program. Internationella skidförbundets skadeövervakning och förebyggande handlingsplan.
FIS ISS	International Ski Federation Injury Surveillance System. Internationella skidförbundets system för övervakning av skador inom FIS disciplinerna.
FPS	Frames per Second. Bilder per Sekund, Bildhastighet.
ICO	Internationella Olympiska Kommittén.
ICR	International Ski Competition Rules.
ISO	Internationella Organisationen för Standardisering.
IMU	Inertial Mesurement Unit. Elektronisk mätenhet för kraft, vinkel, acceleration och läge.
FSG	Mätfel
OWG	Olympic Winter Games. Olympiska Vinterspelen.
POV	Point of view. Perspektiv/Synvinkel.
SSF	Svenska Skidförbundet.

SIS	Swedish Standard Institute. Medlem i CEN och ISO.
SL	Slalom. Teknisk tävlingsgren inom alpin skidsport.
SS	Svensk Standard. Fastställs av SIS.
SS-EN	Europastandard fastställd som Svensk Standard.
TBI	Traumatic Brain Injury. Hjärnskakning.
WC	World Cup. Världscupen.
WSC	World Ski Championship. Världsmästerskapen.
YOWG	Youth Olympic Winter Games. Olympiska Ungdoms Vinterspelen.
<i>cm</i>	Beteckning för <i>centimeter</i> . Måttenhet.
<i>g</i>	Beteckning för <i>tyngdacceleration</i> . Enhet för kraft per massa. $1\ g = 9,80665\ m \cdot s^{-2}$
<i>kg</i>	Beteckning för <i>kilogram</i> . Enhet för vikt.
<i>km/h</i>	Beteckning för <i>kilometer per timme</i> . Enhet för hastighet.
<i>m</i>	Beteckning för <i>meter</i> . Måttenhet.
<i>m/s</i>	Beteckning för <i>meter per sekund</i> . Enhet för hastighet.
<i>mm</i>	Beteckning för <i>millimeter</i> . Måttenhet
<i>W</i>	Beteckning för Watt. Enhet för effekt.
<i>°</i>	Beteckning för <i>grad</i> . Enhet för vinkel.
<i>°C</i>	Beteckning för grader Celsius. Enhet för temperatur

1 Introduktion

Världsledande snösport- och cykelskyddstillverkaren POC är ett företag med uppdrag att skydda liv och minska konsekvenserna av olyckor för idrottare och alla som inspireras att vara det. Deras vision är att ingen ska riskera att dö eller skadas svårt under utövandet av sin passion.

POC har tidigare genomfört videoanalys för att estimerar vilka hastigheter skidåkare påverkas av vid olyckor i alpina skidgrenarna med högre hastighet. Analyserna inom disciplinerna Storslalom, Super-G, Störtlopp och Skicross visade att de translationella islagshastigheterna för huvudet överskred satta standarder för hjälmcertifieringar. Islagshastigheten är i verkligheten är högre än de $5,42 \text{ m/s}$ som hjälmarna certifieras för. Den genomsnittliga islagshastigheten för de fall där certifieringshastigheten överskreds var högre var minsta värdet $7,78 \text{ m/s}$ [1].

1.1 Bakgrund

Huvudskador orsakade av stötar är bland de mest kritiska och farliga typerna av olyckor som kan inträffa när man utövar sport [2]–[6]. Alpin skidåkning är en av de aktiviteter som har högst förekomst av huvudskador [7],[8]. Under årens lopp har särskilda regler införts för att skydda idrottare där det är möjligt, men den allmänna uppfattningen är att den skyddsnivå som behövs för att hantera de krafter som de utsätts för ännu inte uppnåtts. Detta arbete kan komma att stå till grund för ökade krav vid validering av hjälmcertifieringar från standardiseringsorganisationer vilket hjälmstillverkare följer. Inom tävlingssammanhang regleras detta av Internationella Skidförbundet (FIS, International Ski Federation) där SSF (Svenska Skidförbundet) ingår. Detta för att möjligen minska skador vid huvudkollisioner inom disciplinen slalom.

POC har ännu inte genomfört videoanalys för krascher i Slalom (SL) vilket detta examensarbete ska tillhandahålla.

Denna studie kommer att använda sig av metodiken och tillvägagångssättet för analys som tidigare Nicolò Dall'Acqua avhandlat [1] vilket författaren gett tillåtelse till.

1.2 Syfte

Examensarbetets syfte är att analysera videosekvenser av olyckor i den mer tekniska och långsammare alpina tävlingsgrenen SL för att utröna verkliga islagshastigheter för åkarens huvud, samt identifiera eventuella islagsmönster. Detta kan senare möjligen stå till grund för att validera hjälmcertifieringar satta av standardiseringsorganisationer, som i tävlingssammanhang FIS reglerar vilket SSF i sin tur följer för att huvudsakligen minska skador vid islag mot huvudet.

1.3 Mål

Projektets mål i uppdrag från hjälm tillverkare POC är att undersöka om det finns samband eller avvikelser mellan både utövarens färdhastighet och underlagets lutning för huvudets islagshastighet normal mot underlagets vid olyckor. Även islagspositionen på hjälmen ska undersökas för att identifiera eventuella islagsmönster.

1.4 Problemformulering

Hur ser korrelationen ut mellan färdhastigheten för en alpin slalomskidåkarens respektive underlagets lutning jämfört med huvudets islagshastighet mot underlagets normal vid fall?

1.5 Avgränsningar

Analysen kommer endast genomföras på slalomgrenen med metod från tidigare analys [1] för att uppnå möjligheten att jämföra resultat. Arbetet kommer fokusera på huvudets och därmed hjälmens islagshastighet med underlaget. Antaganden kommer behöva göras för att analysera den kinematik som kroppen utsätts utan förkunskap om den hastigheter som faktiskt uppstår. De parametrar som finns att tillgå för att beräkna data från analysen är begränsade och kommer att baseras på stadgade regler för skidornas längd samt bansättning. Antagandet kommer utföras för videoupptagningens placering samt backens geografiska data kring mätområdet.

2 Teori

För att ge en bättre förståelse och introducering till arbetet kommer detta avsnitt beskriva kortfattat olika delar inom det aktuella ämnet. Delavsnitt 2.1 nedan förklarar SL som alpin tävlingsdisciplin. Underavsnittet 2.1.1 kommer hantera huvudskador relaterade till alpin skidåkning, 2.1.2 tar upp vilka faktorer som kan påverka utövarens risk för olyckor. Under 2.1.3 redogörs skadeförebyggande arbeten inom alpin skidsport. Delavsnittet 2.2 ger en kort beskrivning av islagsbiomekanikens bakgrund. Delavsnittet 2.3 ger en överskådlig introduktion till videoanalys. Slutligen för teoriavsnittet beskriver 2.4 vilka certifieringar av skidhjälm som finns och hur de utförs.

2.1 Alpina slalom disciplinen (SL)

SL är den mest tekniska grenen inom de alpina tävlingsdisciplinerna med hastigheter mellan 40 och 60 *km/h* [9]. En tävling avgörs på två åk där åkaren måste passera flertalet portar i varierande kombinationer och med riktningsändringar från 30 till 35 % av fallinjen varierande +/- 3 %. För herrar under olympiska vinterspelen (OWG), världsmästerskapen (WSC) och världscup (WC) är banans fallhöjd 180–220 m och för FIS tävlingar 140–220 m. Motsvarande för damer mellan 140–220 respektive 120–200 höjdmeter. Backens lutning för denna disciplin är mellan 33-45% motsvarande 19-27 grader vilket i kortare partier kan variera +/- 7% [10].

Tabell 2.1.1 Minimikrav för SL skidlängder och radie enligt FIS specifikation för alpina tävlingsutrustning 20/21

SL-Skidlängder	Längd [<i>cm</i>]	Radie [<i>m</i>]
Dam	155	10,9
Herr	165	12,5

Skidornas längd ändrades säsongen 03-04 och har varit oförändrad sedan dess [11], [10]. Användning av hjälm är krav och dessa certifieras enligt senare avsnitt 2.4. Nyttjandet av ytterligare skyddsutrustning som skyddsbåge på hjälm, tandskydd, goggles, handskar, stavskydd, arm, ben eller ryggskydd samt vadderad i tävlingsdräkt är enbart

rekommendationer och faller på utövarens ansvar om inte landets nationella skidförbund infört särskilda regler [12].

2.1.1 Huvudskador inom alpina slalomdisciplinen

Huvudskador på grund av kollision är bland de mest kritiska och riskfyllda typer av händelser och kan ge livshotande konsekvenser för människokroppen [3]–[5].

För den mer tekniska grenen SL är färdhastigheterna mellan 40 och 60 *km/h* vilket är lägre i jämförelse med de övriga tävlingsdisciplinerna. Trots detta kan fall vid dessa hastigheter kan fortfarande vara livshotande och vid fall ge huvudskador som TBI (Traumatic Brain Injury) så kallad hjärnskakning vilket är en av de alvarligaste skadorna inom alpin skidåkning [8].

Internationella skidförbundets egen skadeövervakning program (FIS ISPP, FIS Injury Surveillance and Prevention Program), tidigare kallat FIS ISS (FIS Injury Surveillance System) har till uppgift att samla in data gällande skador samt följa upp dessa för att arbeta med utvecklingsprojekt för att minska skador. Programmets syftet är att öka säkerheten kring material och utrustning men även rutiner för utformning av tävlingsområden och riktlinjer för hantering av bland annat olyckor med misstänkta huvudskador [13]. Deras senaste rapport som togs fram i maj 2019 hantearar 13 vintersäsonger mellan 2006 och 2019 både världscup (WC) och europacup (EC). Resultatet från rapporten visade att skador på huvud-, hals- och bål-sektionen inom alpin skidåkning har en förekomst av 13,3 % vilket hamnar efter knäskador som är mest frekvent. Majoriteten av fallen med huvudskador tvingar atleter att utebli från träning och tävling under minst 28 dagar [7].

Forskning från 2019 [14], påvisade likande mönster för ungdomar på alpin elitnivå där uppträdanget av skador på huvudet var vanligast efter knän. Där stod även 84% av huvudskadorna för hjärnskakningar.

2.1.2 Påverkansfaktorer för olyckor inom slalom

Underlaget för tävling och därmed under träning har genom tiderna blivit hårdare där man strävar efter att få en jämn och stabil yta vilket också genom minskad friktion ökar hastigheterna [15]. Tillvägagångssättet kallas att man balkar underlaget genom att spruta vatten ned i snön så att det binder ihop snökristallerna och bildar en hård förstärkning. Detta för

att förutsättningarna ska vara den samma för alla deltagare under tävlingens åk.

Nackdelen med det hårda underlaget är svårigheten att få skidornas stål-kant att fästa i isen. För att få skidan att hålla sig kvar på isen handlar det delvis om rätt kantvinkel, känsla och teknik hos utövaren men såklart många andra bidragande faktorer. Väderleken, där främst temperatur spelar en stor roll, påverkar vilket genom varma temperaturer kan leda till en ojämn yta, bildandet av spår och snövallar vilket är vanliga orsaker till att olyckor sker.

Sprutsnö från snökanonen i kombination med naturlig snö har såklart också en effekt på underlaget där olika egenskaper såsom kristallstruktur och många vatten som blandas med luften skiljer dem åt. Vanligast numera är konstgjord snö från kanonsystem vilket gör snön mer kompakt och hållbar mot temperaturskillnader och vind. Allt detta bidrar till att underlaget kan variera timme för timme och kan se olika ut beroende på höjd. Det vill säga att snön i sig är oförutsägbar men likt väder går det att förutspå trender och uppskatta hur snön beter sig [16].

Tävlingens såväl som träningens placering där val av sektion för områdets lutning kan medföra ökade hastigheter och därmed krafter vilket kan påverka risken för skador. Banans utformning där svängar och kombinationer av portar bidrar till tempoförändringar vilket i vissa situationer kan påverka skaderisken. Ytterligare riskfaktor att skidans topp kolliderar med porten även kallat grensling ökar vid olika banförutsättningar och kan vara bidragande faktor till att olyckor uppkommer. Där är det viktigt med träning med varierad terräng [17]. Även studier från 2016 [18] påvisar att en anpassad bansättning kan minska skaderisker.

2.1.3 Skadeförebyggande arbete

Med detta kan olyckor ske oförutsägbart med olika utfall beroende på ovannämnda. Framtagning av mer avancerade material för bättre energi-återföring och snabbare skidor är något som tillverkare arbetar med flitigt. Kunskapen om hur man använder dessa på bästa sätt i en bana är något som är en del av sporten och kommer genom utveckling av åkteknik och atleters styrka och snabbhet bidra till ännu större krafter och hastigheter [15].

Fler och bättre skyddslösningar på utrustning och tävlingsområden har tagits fram genom åren vilket måste följa utvecklingen av sporten för att

kunna nå upp till det skydd som krävs för att ta upp dessa krafter. Förebyggandet av huvudskador är något som landslag, forskare, organisationer och tillverkare aktivt arbetar med. Inför säsongen 2013 införde Internationella Skidförbundet RH 2013 uppdaterade regler för hjälmar inom de snabbare disciplinerna [10][19] för att öka stötdämpningsförmågan och säkerheten. Standarden och reglerna för RH 2013 omfattar inte SL disciplinen.

Dall'Acqua [1] påpekar i sitt arbete att tidigare studier [8], [20]–[23] inte tar hänsyn till utveckling av skidornas prestanda, respons och de ökade krafterna, vilket påverkar kollisionodynamiken. Även andra studier tar upp påverkan av regeländringar vilket kan vara bidragande till förändrad skaderisk [11].

2.2 Kollisionsbiomekanik

Genom att studera människokroppens olika rörelser kan man inom biomekaniken ta fram de belastningar och krafter som verkar på respektive kroppsdelar. De trauman som orsakas av skador beror på att styva men spröda ofta, mindre kroppssegment, utsätts för höga accelerationsskillnader som ska absorberas på grund av kollision. Mindre allvarliga konsekvenser beror ofta på att påfrestningarna breddas ut på större och mjukare ytor vilket tar upp krafterna och medför att skadan påverkar i mindre utsträckning[24].

Forskning på detta och metoder för att minimera skador i samband med färdmedel, som beskrivs i Dall'Acquas arbete [1], ska ha grundats i USA under 1920-talet. Detta ska DeHaven [25] genom kollisionstudier ha beskrivit som grund till de skademekanismer vi känner till idag. Studierna genomfördes på överlevanden av fall från höjder, med en känd nedslags-hastighet kunde kropparnas acceleration tas fram vilket stod till grund för att mäta människors tolerans mot kollisionskrafter. Ett annat genombrott i forskning kom efter andra världskriget där Stapp's studier [2] visade att människokroppen kan under 0,5 s tolerera upp till 30 g men riskera inre blödningar vid 45 g.

2.3 Videoanalysverktyg

Genom att kombinera mekaniken och de kända krafter som påverkar människokroppen fysiskt, samt analysera de krafter som verkar biomekaniskt, kan man undersöka skadors orsaker. Man kan då även undvika skador genom att analysera kroppens rörelser under träning. Träningsterapeuter, fysiologer och sjukgymnaster har länge använt videoanalys inom många idrotter för att studera problematik, prestation och utveckling, men också som ett presentationsverktyg för att ge en utökad förståelse för utövaren.

I Dall'Acqua's rapport [1] tas liknande rekonstruktioner av kinematiska och biomekaniska analyser upp, samt hur de tillämpas i andra sporter. Amerikansk fotboll tas upp som ett exempel, vilket har liknande islagsförlopp för ofrivilliga fall likt i SL. Där Bailey beskriver ett tillvägagångssätt med en teknik för att ta fram de translationella och rotationshastigheter på hjälmen före och efter ett islag [26]. Andra exempel på analystekniker använder bilder och landmärken för att triangulera utövarens position samt rörelse för att sedan genom islagstidpunkten, ta fram islagspositionen på hjälmen, lutningen på underlaget och sedermera islagshastigheternas resultant och komponenter [20].

Även studier inom olyckor i disciplinerna freestyle och snowboard från WSC har utfört två-dimensionella analyser av videosekvenser för att uppskatta kinematiken före och efter islagsstöten. För samtliga händelser översteg hastigheterna för den högre hjälmstandaren på 6,8 m/s [21]. Ytterligare studie inom de snabbare alpina grenar genomförde Steenstrup [8]. Analyser av nio allvarliga huvudslag under WSC och OWG utfördes med liknande analysteknik av kommersiella videosekvenser. Studien resulterade i sju fall av högre förekommande islagshastigheter normal mot underlaget än de satta reglerna för hjälmarna.

Utvecklingen av videoanalysverktyg går snabbt framåt. Det finns idag mängder av verktyg tillgängliga i mobiltelefoner där enklare 2-D analyser kan genomföras, mer avancerade mätverktyg som IMU system eller optoelektroniskt kamerasystem vilket kan skapa 3-D modeller och medföra analys i ett djupare tredje plan. Dessa system kombineras ofta med kinetik från en rörelse eller träningsredskap som mäter och sparar kraftdata som sedan jämförs. Även fysiologiska mätningar som muskelaktivitet, samt uppföljning av blodvärden efter ett trauma är några ytterligare

komplement som kan ge en bättre, mer detaljerade och fullständiga analys.

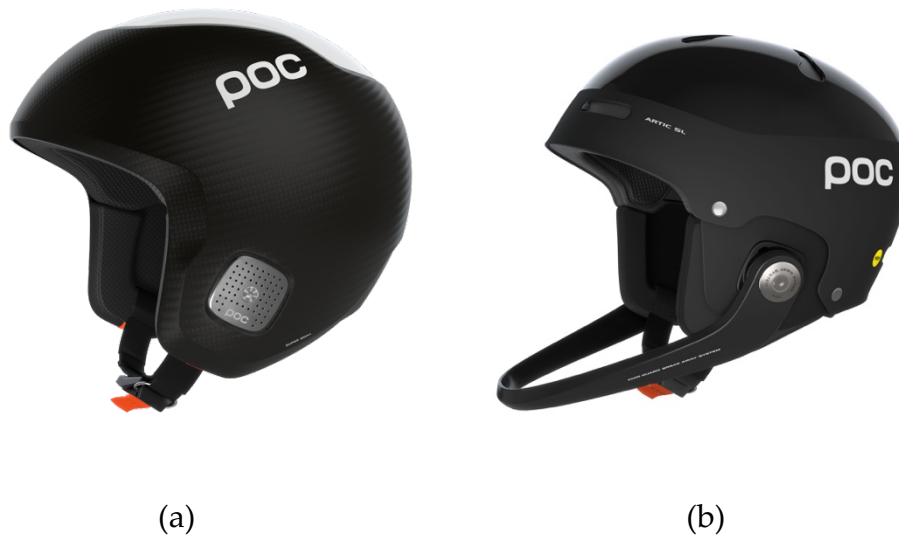
Biomekaniska analyser är ofta utförda på videosekvenser upptagna i en kontrollerad miljö med god uppställning av en eller flera kameror i rätt vinkel mot kroppsplanen. Det är också då möjligt att ta hänsyn till zoom och vida objektiv för att undvika förvrängning av bilden. Kroppsrörelsen utförs även ofta på en fast och plan yta med återkommande position vilket underlättar analysen. Markeringar på kroppsleder, referensmått mellan dessa samt fixerade bakgrunder är ytterligare hjälpmedel som möjliggör en detaljerad och gynnsam grund för en biomekanisk analys. Även vid relativt gynnsamma förhållanden kan en videoanalys av en idrottare i rörelse ha felmarginaler på grund av ogynnsamma kamerapositioner [27].

Allt ovannämnda är beståndsdelar som inte är att förvänta sig som grund till analys för en skidåkare under färd i en skidbacke. Backens geometri medför svårigheter i att bedöma utövarens position i bildrutan och är aldrig densamma för olika platser. Även kamerornas positioner är inte alltid lika fördelaktiga i en sådan terräng där de sällan täcker samma område från flera vinklar och där långa avstånd kräver zoomning vilket försämrar kvalitén. Objektet som ska undersökas är alltid i rörelse och behöver nödvändigtvis inte heller befinna sig i banan som är tänkt att kamerorna ska följa i vilket medför ytterligare utmaningar att fånga rörelserna. Referensobjekt eller andra kända mått i bakgrunden är ofta svåra att definiera eftersom bildupplösning inte är tillräckligt detaljerad beroende på bildhastighet. Kamerornas bildhastighet är i samband med dess upplösning och kontrastomfång viktiga parametrar för att erhålla mer detaljerade och därmed noggrannare videoanalyser [28].

Några variabler som dock är kända är bland annat skidans längd vilket är ett användbart mått som ofta är nära utövaren vid olyckstillfället och därmed i obelastat tillstånd en bra tillgång som referensobjekt. Dessa längder regleras av FIS [12] vilket omnämns i Tabell 2.1.1 i avsnittet Alpina slalom disciplinen (SL). Ytterligare stöd för att approximera avståndet mellan portar utnyttjades ICR (International Ski Competition Rules) [10]. Reglerna anger minimum och maximum avstånd mellan portar i bansättning för olika kombinationer och svängar vilket FIS stadgat för alla tävlingar på elitnivå och särskilda ungdomsarrangemang. Detta kan sedan stå som grund för att verifiera kalibreringen av avståndet för beräkningen av den uppskattade färdhastigheten.

2.4 Certifiering av alpina hjälmar

Certifiering av hjälmar för icke-motoriserad aktivitet, som alpin skidåkning, görs enligt Europastandarden EN-1077. Europeiska Kommitté för Standardisering (CEN) introducerade certifieringen 2007, i Sverige tillämpas den standarden under SIS. Certifieringen är uppdelad i Klass A och Klass B, där Klass A skyddar en större yta av huvudet och därmed hindrar genomträngning i högre utsträckning än Klass B [29]. Ytterligare standardiseringsorgan är den ideella amerikanska standardiseringsorganisationen (ASTM, American Society for Testing and Material) [10].

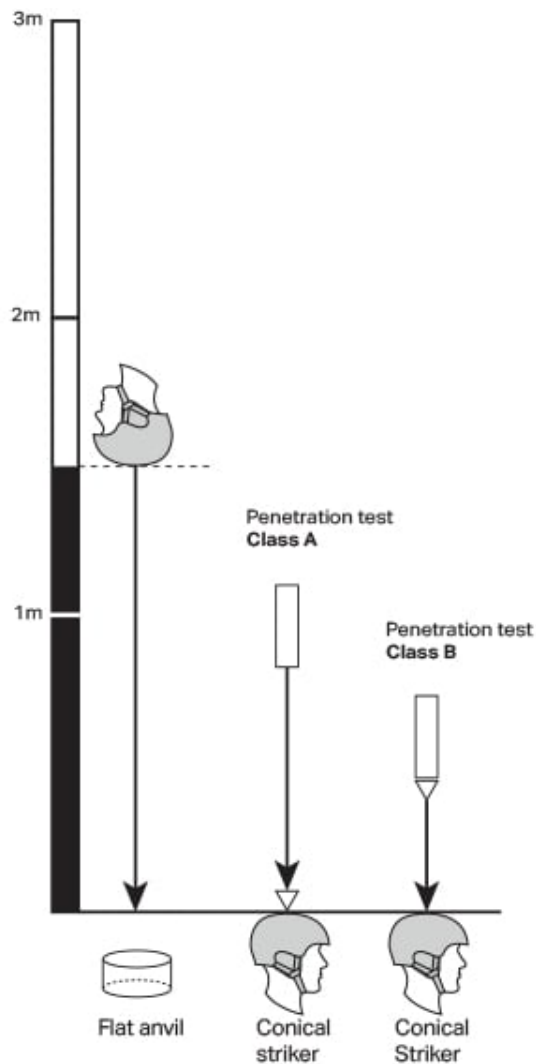


Figur 2.4.1 Hjälmmodeller: (a) Klass A täckande för sidokollision, (b) Klass B öppen och mjukare skydd kring öronen. Källa: [30]

2.4.1 EN-1077:2007

För att en hjälmmodell ska bli certifierad enligt EN-1077:2007 exponeras först tre prover för tre skilda förbehandlingar: rumstemperering, låg temperering och artificiell åldring. De två förstnämnda sker vid omgivningstemperatur på +20 °C respektive -25 °C med behandlingstid på minst fyra timmar. Under artificiell åldring utsätts provet för +70 °C under minst 48 timmar därefter hålls rumstemperatur under minst fyra timmar för att sedan exponera hjälmens yta för 125 W UV-ljus under 48 timmar och slutligen rumstemperatur under minst fyra timmar. Efter förbehandlingen genomförs absorberingstest enligt Figur 2.4.2 genom att ett 5 kg huvud i hjälmen släppas ned i ett plant stål-städ från en höjd på 1,5 m för att absorbera en hastighet på 5,42 m/s och erhålla en toppacceleration under 250

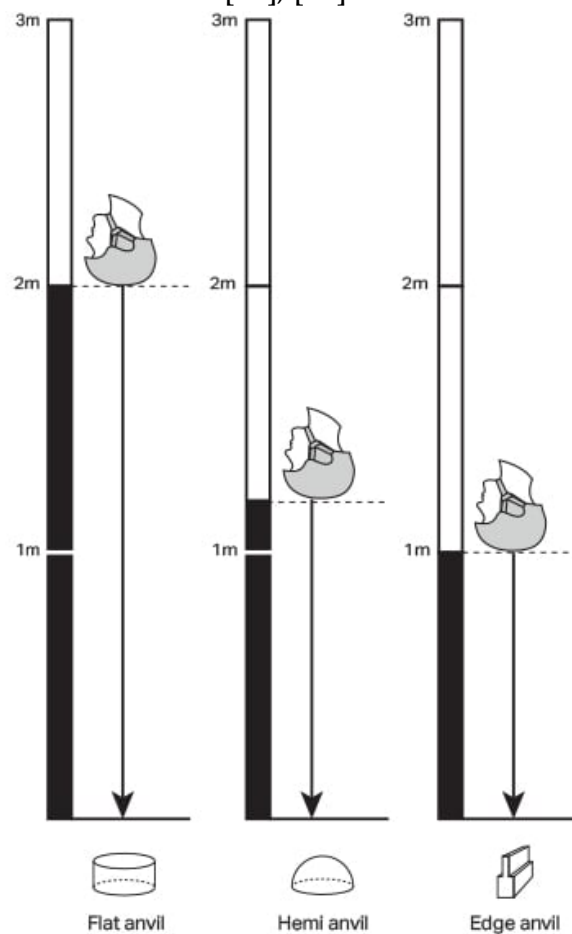
g. Penetreringstestet utförs på tre olika punkter med en konisk projektil från en höjd på 730 mm och 3,84 m/s för klass A respektive 375 mm och 2,71 m/s för klass B vilket tillåter mjuk vaddering kring öronen [29].



Figur 2.4.2 EN-1077:2007 certifieringstest plant stål-städ och koniskt penetreringstest.
Källa: [31]

2.4.2 ASTM F2040

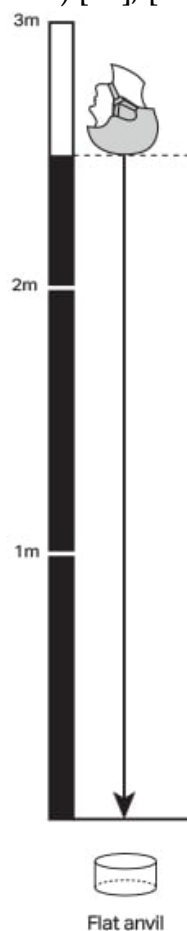
Certifieringen F2040 är standardiserad av den ideella organisationen ASTM där tre skilda testhjälmars utsätts för fall från tre olika höjder: 2 m och en hastighet på 6,2 m/s, 1,2 m (4,8 m/s) och 1 m (4,5 m/s). Vilket visualiseras i Figur 2.4.3 nedan. Toppacceleration på 300 g är det maximalt tillåtna värdet i de respektive tre olika nedslagen: plant, halvsfäriskt och kantigt stål-städ. För varje test genomgår hjälmmodellen värme, kyl eller vattenbehandling innan hjälmen släpps två gånger på plant underlag följt av en gång i respektive det halvsfäriska och kantiga städet. Testmodellerna genomgår sedan ett kraftabsorptionstest. Certifiering enligt ASTM 2040 utförs inte med penetrationstester vilket baserats på att organisationskommittén inte upptäckt någon hjärnskada orsakat av penetration. Med de högre hastigheterna och varierande underlag skapas ett mer intensivt nedslag vilket gör att denna standard ställer högre krav än de andra [31], [32].



Figur 2.4.3 ASTM F2040 certifieringstest mot plant, halvsfärisk och kantigt stål-städ.
Källa: [31]

2.4.3 RH 2013

Säsongen 13/14 stadgade FIS nya regler för hjälmar bestående av certifieringen RH 2013 infördes. Regeln utgör ett högre säkerhetskrav på hjälmar för de tävlingsgrenar med högre hastigheter. Certifieringen kräver att hjälmar måste uppnå EN-1077:2007 Klass A, ASTM F2040 och även ett högre fall på 2,4 m med islagshastighet på 6,8 m/s utan att överstiga toppacceleration på 250 g, se illustration i Figur 2.4.4 nedan. Kraven på SL-hjälmar ligger för närvarande inte kategoriserade under RH 2013 certifieringen utan endast under minimikraven enligt ASTM F2040 eller EN 1077:2007 (Klass B) [19], [12].



Figur 2.4.4 RH 2013 certifieringstest plant stål-städ. Källa: [31]

3 Metod

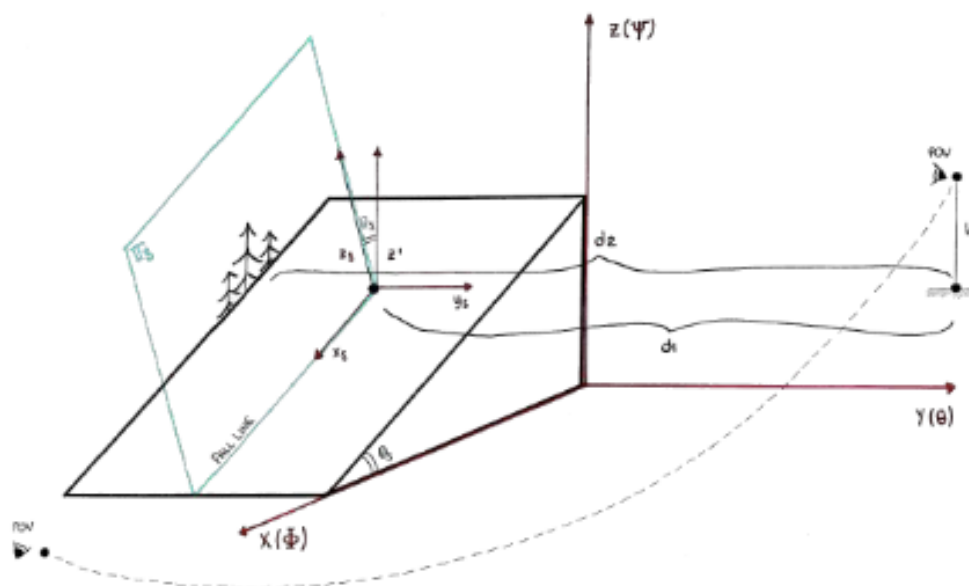
Metodologiska omständigheter

Analyserna av hjälmislagshastighet baseras på videoupptagningar av verkliga incidenter med fall i tävlingssammanhang. Osäkerheter som uppstod till följd av detta berodde på brist på fullständiga data för beräkning av intressanta variabler. För att komma över dessa svårigheter har antagande gjorts genom stora delar av arbetet och analyserna. Felmarginaler hos dessa antaganden kommer senare i arbetet att representeras med mätfel för att få med eventuella över eller underskattningar för värsta tänkta utfall.

3.1 Metodanalys

Metoden för att estimerast hastigheter och vinklar som sökts bygger på att en sektion av skidbacken antas kunna representeras med ett globalt referenssystem bestående i X , Y och Z -led i en tredimensionell rymd där Z -axeln har en motsatt riktning mot tyngdkraften.

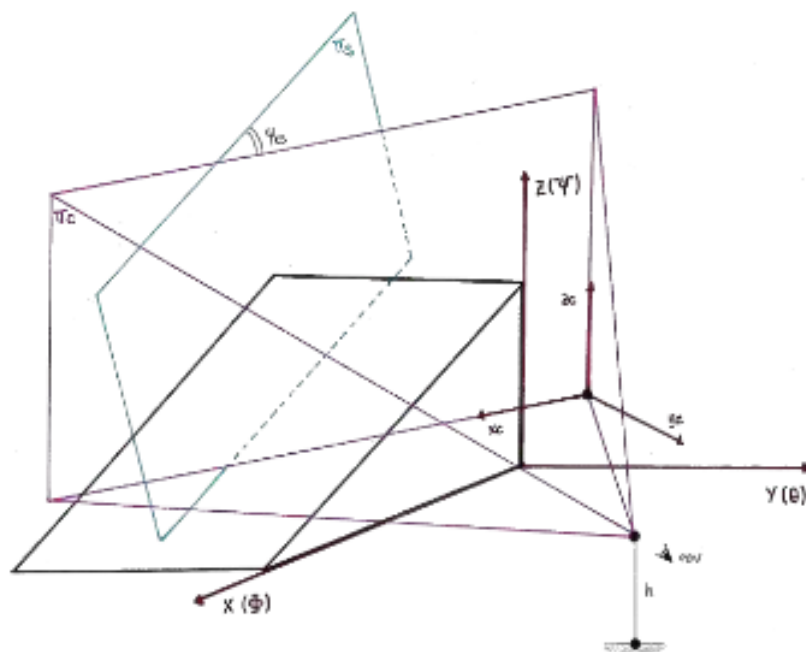
Backens lutning θ_s är en variabel som kan bli känd och antas i det här fallet som konstant, detta möjliggör identifieringen av fallinjen vilket sätts ut som markens med referenssystemet $x_s y_s z_s$ och representerar π_s -planet som Figur 3.1.1 visar. I konfigurationen är z_s vinkelrät mot underlaget och bildar θ_s med avseenden på den globala vertikala Z -axeln. Beträktningens vinkeln som benämns POV är placerad på höjden h med avståndet d_1 från markreferenssystemet respektive avståndet d_2 till en fast referenspunkt i bakgrunden. Vidare kan den placeras mellan 0° för frontal vy och 90° för sagittal vy det vill säga framifrån och från sidan. Visualiseras också i Figur 3.1.1 nedan.



Figur 3.1.1 Skidbacke representerat med en tredimensionell volym. Två referenssystem, det globala i X, Y, Z-led och markreferenssystemet $x_s y_s z_s$ vilket definierar planet för π_s . Kamerapositionen kan variera med avståndet $d1$ och vinkel mellan 0° och 90° från det iakttagna objektet. Källa: [1]

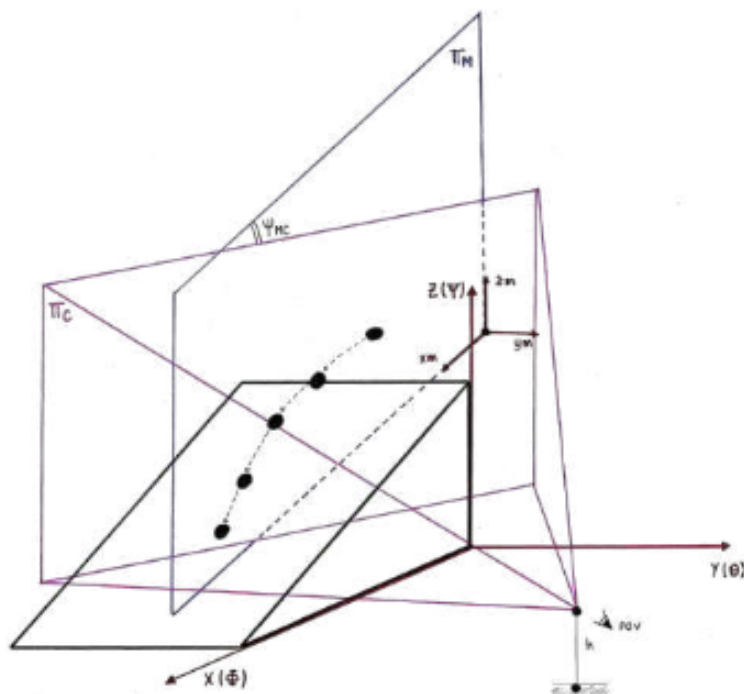
Betraktningens vinkel ur ett allmänt perspektiv definieras som POV medför resulterande bilden att identifiera kameraplanet π_c , upptagningsplanet vinkelrätt mot kameran har sitt eget $x_c y_c z_c$ referenssystem vilket inte nödvändigtvis sammanfaller med π_s . Vinkeln mellan dessa plan

definieras som ψ_{CS} och består av en rotation runt Z-axeln. Vilket visas i Figur 3.1.2 nedan.



Figur 3.1.2 Vinkeln ψ_{CS} roterar runt Z-axeln och definierar vinkeln som täcks av kameraplanet π_C och snöreferensplanet π_S . Källa: [1]

För åkarens fall och händelsen som ska analyseras kommer åkaren ha en gravitations och parabollikande kaströrelse och befinna sig i ett ytterligare plan π_M som representerar utövarens rörelse, som beroende på bana skär π_C men som inte nödvändigtvis sammanfaller. Vinkeln mellan dessa plan definieras av en rotation runt Z-axeln och kallas ψ_{MC} . Detta påvisas i Figur 3.1.3.



Figur 3.1.3 Vinkeln ψ_{MC} roterar runt Z-axeln och definierar vinkeln som täcks av rörelseplanet π_M och snöreferensplanet π_C . Källa: [1]

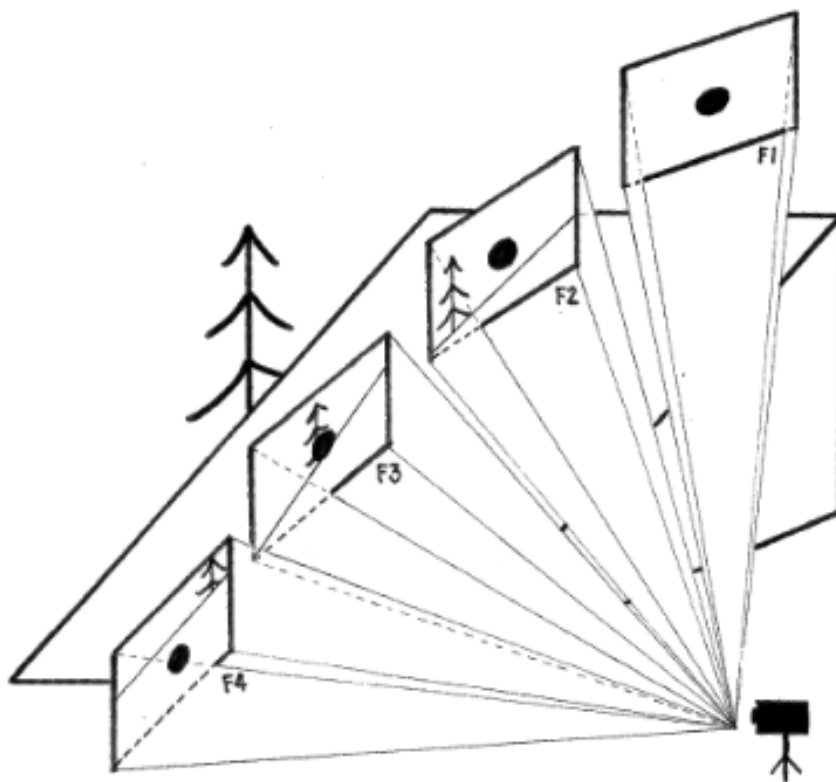
Utan att veta kamerans exakta position och att fastställandet av det faktiska rörelseplanet inte kunde utföras på en 2D-bild kommer planen i denna studie betraktas som sammanfallande och därmed vara $\psi_{CS} = 0$ och $\psi_{MC} = 0$.

3.2 Uppskattning av hastigheter, lutningar, parallaxeffekt, normalvektorn

Antaganden som görs under detta avsnitt beror på osäkerheter som baseras på att analysen utförts i efterhand vilket bidrar till osäkerheter som uppskattas i delavsnitten nedan.

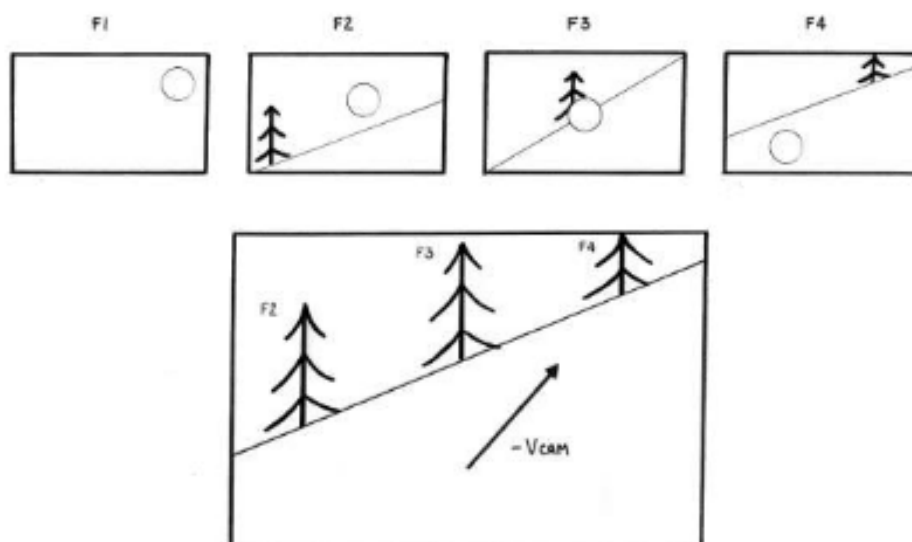
3.2.1 Uppskattning av verklig islagshastighet

För att uppskatta islagshastigheten approximerades först utövarens verkliga färdhastighet. Först genom att utgå ifrån ett statiskt referensobjekt i bakgrunden eller närbelägen utövaren inom bildrutan. Exempelvis roten på en port, reklamskylt eller träd för att sedan panorera en bestämd bildsekvens erhålls den iakttagna utövaren centrerat i bilden under kamera-rörelsen. Detta ger uppfattningen om att referensobjektet förflyttades vilket Figur 3.2.1 visar.



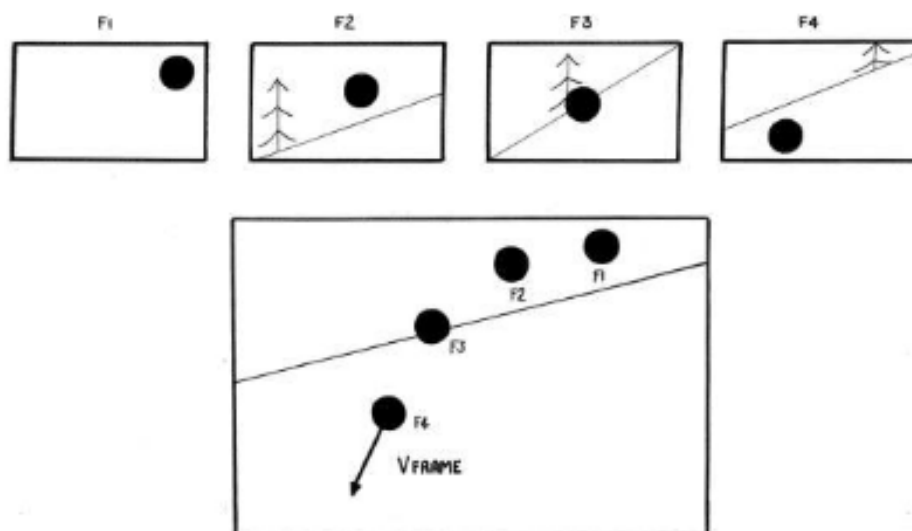
Figur 3.2.1 Panorering av bildsekvens där föremålet centreras i bildfånget. Trädet i bakgrunden får effekten av att vara i rörelse. Källa: [1]

Även om referensobjektet i bakgrunden är fixerad speglar övergången mellan bildrutorna panoreringshastigheten $-V_{CAM}$. Visualiseras nedan i Figur 3.2.2.



Figur 3.2.2 Trädets påtagliga hastighet i bildföljden är den samma men motsatt för kamerans förflyttning $-V_{CAM}$. Källa: [1]

Uppskattningen av bildsekvenserna erhålls därmed relativ och korrelerad till kamerans rörelse. Påvisas nedan i Figur 3.2.3. Det vill säga att $-V_{CAM} = V_{FRAME}$ vilket ger skidåkarens påtagliga islagshastigheten.



Figur 3.2.3 Den påtagliga islagshastigheten V_{FRAME} för skidåkarens begränsas till kamerans panoreringshastighet. Källa:[1]

Därmed blir följden att den totala kollisionshastighetsvektorn $\vec{V}_{IMPACT}$ ges av vektorsumman mellan den påtagliga islagshastigheten inom

bildrutan och kamerans panoreringshastigheten. Detta ger Ekvation 3.2.1 nedan.

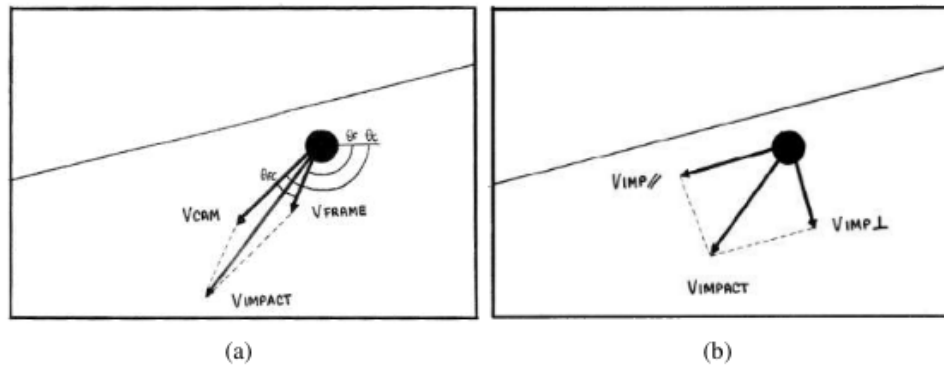
Ekvation 3.2.1 Islagshastighetsvektor

$$\vec{V}_{IMPACT} = \vec{V}_{FRAME} + \vec{V}_{CAM}$$

För att sedan ta hänsyn till lutningen på vektorerna definieras θ_F och θ_C för $\vec{V}_{FRAME}$ respektive $\vec{V}_{CAM}$ med avseende på horisontalplanet som illustreras i Figur 3.2.4. Vinkeln θ_{FC} mellan dessa två vektorer ger enligt Carnots sats numeriskt Ekvation 3.2.2:

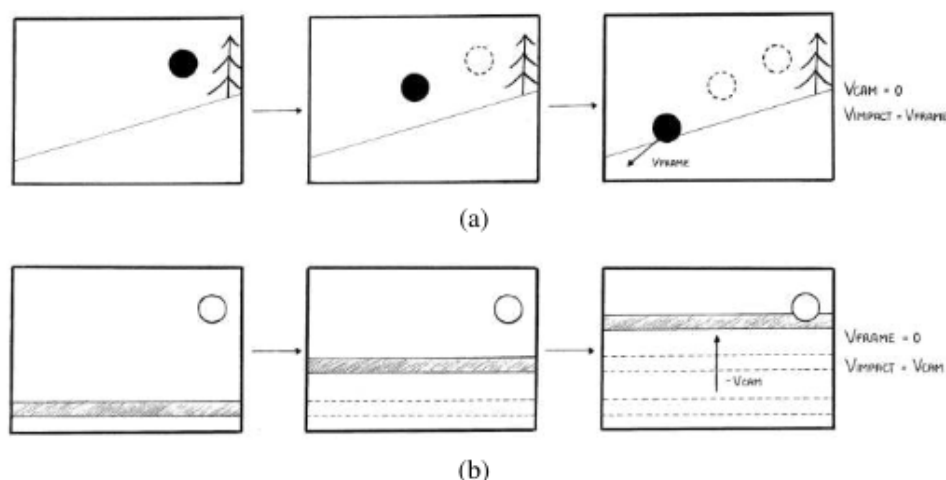
Ekvation 3.2.2 Islagsvektorn

$$V_{IMPACT} = \sqrt{V_{FRAME}^2 + V_{CAM}^2 + 2 \cdot V_{FRAME} \cdot V_{CAM} \cdot \cos(\theta_{FC})}$$



Figur 3.2.4 a) Islagsvektorn V_{IMPACT} resulterande från summan av de två vektorerna V_{FRAME} och V_{CAM} , b) Uppdelning av $\vec{V}_{IMPACT}$ för den vinkelräta $\vec{V}_{IMPACT\perp}$ och parallella $\vec{V}_{IMPACT\parallel}$ vektorn. Källa:[1]

Från detta perspektiv är två gränssfall ordnade där händelseförloppet i Figur 3.2.5(a) sker med en statisk kamerarörelse som ger samma bildposition för filmsekvensen vilket ger panoreringshastigheten $V_{CAM} = 0$ samt att V_{IMPACT} motsvarar V_{FRAME} . Figur 3.2.5(b) visualiserar objektet på samma bildposition följt av att underlaget rör sig närmre vilket ger $V_{FRAME} = 0$ och $V_{IMPACT} = V_{CAM}$.



Figur 3.2.5 Två gränsfall för (a) $V_{CAM} = 0$ och för (b) $V_{FRAME} = 0$. Källa:[1]

Det som är intressant för den här studien utifrån ovanstående genomförda steg för videoanalysen är kollisionshastigheten V_{IMPACT} samt dess komponenter, tidigare nämnda $\vec{V}_{IMPACT\perp}$ och $\vec{V}_{IMPACT\parallel}$ vilket i händelse av olycka läggs stor vikt på den vinkelräta vektorn mot underlaget det vill säga $\vec{V}_{IMPACT\perp}$. För att undersöka detta krävs ytterligare avgörande datainsamling och antagande som beskrivs i kommande avsnitt nedan.

3.2.2 Uppskattning av medellutningen

Utövarens islagsvinkel med underlaget varierar mellan händelser och är slumpmässig. Islagshastigheten kan med en känd medellutning på ytan delas upp dess parallella och normala komponent. Bedömningen av vinkeln på underlaget för det intressanta området utfördes med programvaran Google Earth Pro [33] med tillvägagångssättet nedan.

Google Earth Pro

För att undersöka terrängen och lutningen vid olyckstillfället söktes först platsen för händelsen fram med Google Earth Pro. Videosekvenser jämfördes med bilder från eventet vilket medförde att kamerapositionen och sedermera platsen för fallet kunde antas likt Figur 3.2.6 nedan.



Figur 3.2.6 Kamerafångvinkel, (a) Videomaterial, (b) Google Earth Pro

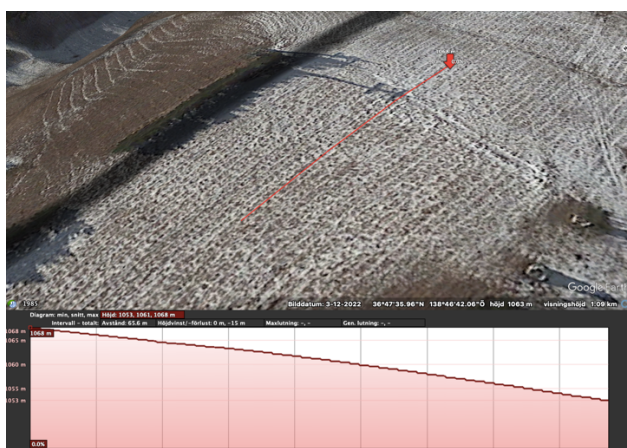
Underlagets höjdprofil samt avståndet d_1 och d_2 togs fram mellan de valda positionerna genom det inbyggda linjeverktyget som Figur 3.2.7 och Figur 3.2.8 visar. Utifrån höjdprofilen kunde den relativa höjdskillnaden tas fram vilket tillsammans med längden för mätområdet resulterade i uppskattning av medellutningen θ_s . Detta ges av trigonometriska formeln nedan i Ekvation 3.2.3.

Ekvation 3.2.3 Medellutningen för θ_s

$$\theta_s = \arcsin\left(\frac{\text{Höjd}}{\text{Längd}}\right)$$



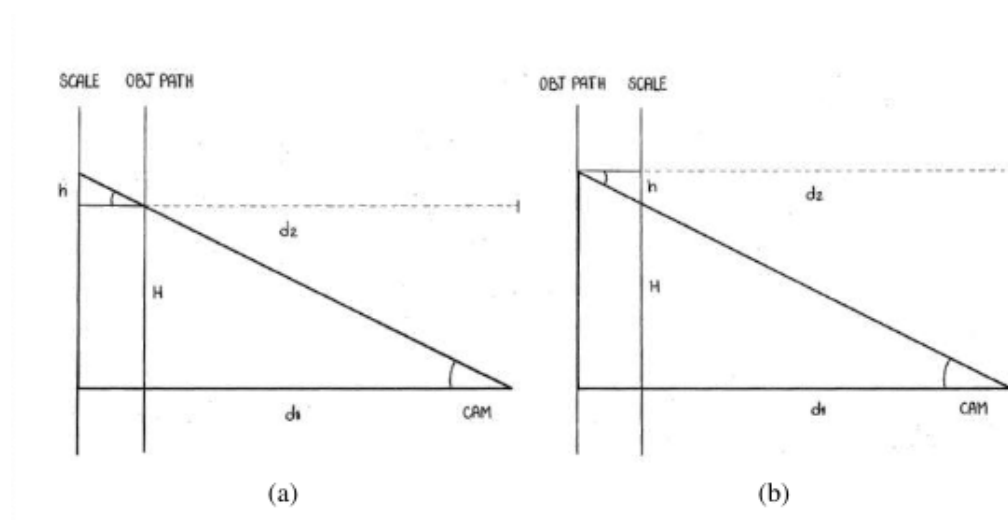
Figur 3.2.7 Mätområde, Google Earth Pro



Figur 3.2.8 Höjdprofil, Google Earth Pro

3.2.3 Uppskattning och korrigering av parallaxeffekten

Ett fenomen som kan bidra till fel och en förvrängd uppfattning utifrån kameraperspektivet är parallaxeffekten. Intrycket av att objektet är på en viss position ges eftersom betraktningssvinkeln beror på skalans relativa läge och objektets bana. Två vanliga fall visas nedan i Figur 3.2.9 där kalibreringsföremålet speglar skalan. Objektet i Figur 3.2.9(a) agerar bakom det undersökta där utfallet blir att objektet framstår som bakom, medan i Figur 3.2.9(b) verkar det framför och medför att objektet uppträder bakom skalan. Ett tredje fall, där objektet uppenbaras i samma plan som skalan, faller inte under parallaxeffekten och presenteras därför inte.



Figur 3.2.9 Två utfall av kameraperspektiv där parallaxeffekten verkar, utfall a): objektet uppstår framför skalreferensen, utfall b): objektet uppstår bakom. Källa:[1]

Båda de tidigare fallen ger problematik med att uppskatta objektets förflyttning. Första uppställningen i Figur 3.2.9(a) ger ett övermått på sträckan genom observera objektet vid $H + h$ men borde anvisas vid H och motsatt i Figur 3.2.9(b) vilket underskattar objektet vid H när det borde uppvisas som $H + h$.

Antar man i båda fallen att färdtiden är korrekt hade ett felaktigt avstånd medfört en över eller underskattning av objektets hastighet. Detta kräver korrektionsfaktorn c_f vilket adderas eller subtraheras enligt lämpligast fall.

Ekvation 3.2.4 Korrektionsfaktorn c_f

$$c_f = \frac{d_2 - d_1}{d_1}$$

Korrektionsfaktorns korrelation för avstånden d_1 mellan objektet och kameran och d_2 mellan referensobjektet och kameran, vilket Figur 3.2.9 visar, ger att den justerade hastigheten med följande ekvationer nedan.

Ekvation 3.2.5 Justerad lägesändringshastighet $v_{ADJUSTED}$

$$v_{ADJUSTED} = v_{MEASURED} \pm c_f \cdot v_{MEASURED}$$

Ekvation 3.2.6 Förenklad justerad lägesändringshastighet $v_{ADJUSTED}$

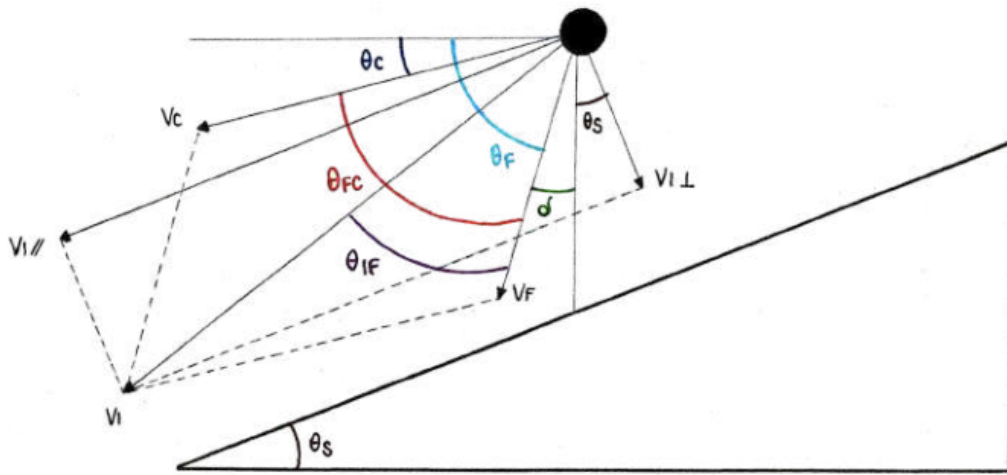
$$v_{ADJUSTED} = v_{MEASURED} \left(1 \pm \frac{d_2 - d_1}{d_1} \right)$$

Konfigurationen av exemplet i Figur 3.2.9(a) ger att korrigeringen sker genom subtraktion och således måste andra exemplet för Figur 3.2.9(b) addera korrektionsfaktorn för att få hastigheten justerad. Kamerapositionen grundas på en approximation och om mätningen av kamerans panoreringshastighet utfördes i utövarens närhet antogs parallaxeffekten vara obefintlig. Om beräkningen av panoreringshastighet däremot utfördes på ett längre avstånd framför eller bakom utövaren korregerades uppskattningen av V_{CAM} enligt tidigare nämnda tillvägagångsätt.

3.2.4 Uppskattning av normalvektorn till markkomponenten för islagshastighet

Från de tidigare metoderna har de intressanta värdena för lutningen θ_S och resultanten för islagshastigheten V_{IMPACT} tagits fram. Som tidigare nämnts kan islagshastigheten delas upp i dess vinkelräta och parallella komponent. Detta särskildes med sex olika fall som tidigare avhandling [1] genererat, i denna studie uppstod endast två olika fall baserat på storleken och riktning för vinklarna θ_F och θ_C .

Fall 1: $\theta_F \geq \theta_C \quad \wedge \quad \theta_F, \theta_C < \pi$



Figur 3.2.10 Fall 1 $\theta_F \geq \theta_C \quad \wedge \quad \theta_F, \theta_C < \pi$. Källa: [1]

Ekvation 3.2.7 Fall 1: Vinkeln θ_{IF} förhållandet V_{IMPACT} och V_{FRAME} .

$$\theta_{IF} = \arccos\left(\frac{V_{IMPACT}^2 + V_{FRAME}^2 - V_{CAM}^2}{2 \cdot V_{IMPACT} \cdot V_{IMPACT}}\right)$$

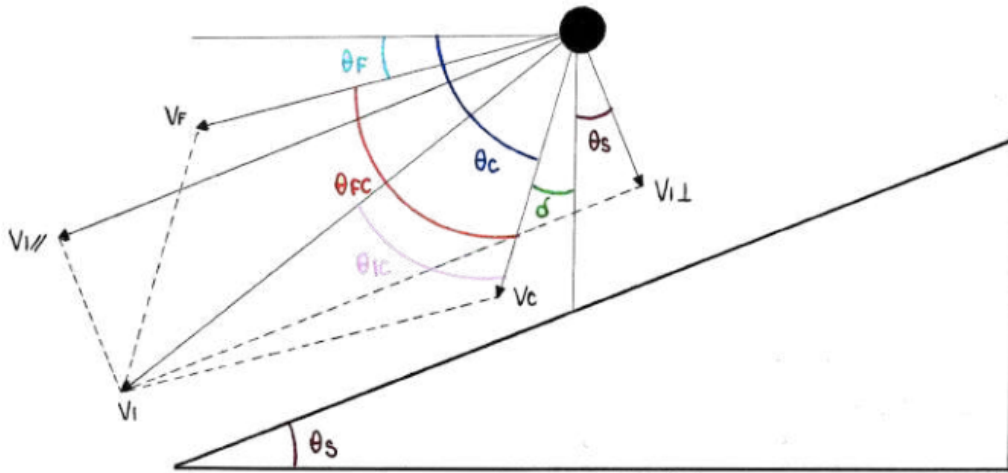
Ekvation 3.2.8 Fall 1: Vinkeln δ för relationen mellan V_{FRAME} och lodlinjen längs Y-axeln (tyngdkraften).

$$\delta = \frac{3\pi}{2} - \theta_F$$

Ekvation 3.2.9 Fall 1: Islagshastigheten vinkelrät mot underlaget (normalen).

$$V_{IMPACT\perp} = V_{IMPACT} \cdot \cos(\theta_{IF} + \delta + \theta_S)$$

Fall 2: $\theta_F < \theta_C \quad \wedge \quad \theta_F, \theta_C < \pi$



Figur 3.2.11 Fall 2 $\theta_F < \theta_C \quad \wedge \quad \theta_F, \theta_C < \pi$. Källa: [1]

Ekvation 3.2.10 Fall 2: Vinkeln θ_{IC} förhållandet V_{IMPACT} och V_{CAM} .

$$\theta_{IC} = \arccos\left(\frac{V_{IMPACT}^2 + V_{CAM}^2 - V_{FRAME}^2}{2 \cdot V_{IMPACT} \cdot V_{CAM}}\right)$$

Ekvation 3.2.11 Fall 2: Vinkeln δ för relationen mellan V_{CAM} och lodlinjen längs Y-axeln (tyngdkraften).

$$\delta = \frac{3\pi}{2} - \theta_C$$

Ekvation 3.2.12 Fall 2: Islagshastigheten vinkelrät mot underlaget (normalen).

$$V_{IMPACT\perp} = V_{IMPACT} \cdot \cos(\theta_{IC} + \delta + \theta_S)$$

3.3 Videoanalys

Majoriteten av videomaterialet som undersökts samlades in från mediaplattformen YouTube. Även tillgång till olympiska multimedia bibliotek anordnades, dessvärre utan framgång i att generera mer material till videoinsamlingen. Högsta möjliga pixelupplösning samt konsekvent bildhastighet eftersträvades för videosekvenserna. Totalt samlades 18 fall in uppdelat i fem olika typer av incidenter. De videosekvenser som innehöll en slowmotion-sekvensen med högre bilduppspelningshastighet utnyttjades för att få högst verklig bildhastighet. De videosekvenser som inte erhöll ett islag för huvudet mot underlaget, hade för låg pixelupplösning eller ej gick att identifiera platsen för eventet förkastades. Slutligen var analys av 8 fall genomförbara varav fyra tillhörde WC, tre OWG samt ett OYWG. Analyserna utfördes i programvaran Kinovea [34]. Datahanteringen och uträkningen genomfördes i Excel [35].

Etiska aspekter

Videoanalyserna nämner inte utövarna vid namn eller nation, deras ansikten är också dolda av utrustning för att försvåra identifiering. Analyserna utförs objektiva utan att ge några fabricerade resultat till någon annans fördel. Bedömningen genomförs kritiskt till information och tidigare studier.

3.3.1 Analysteknik

Efter uppfyllda kvalitetskrav gällande islag, bildkvalité och lokalisering av händelsen inledes analysen med att identifiera viktiga bildsektioner innan samt tidpunkten för kollisionen med underlaget. Detta genomfördes för alla analyser med mest förekommande uppspelningshastighet i 30 FPS för den nedladdade filen. En datafil med 60 FPS erhöles vilket berodde på bildhastigheten från skärminspelning. För videosekvenser där även ultrarapid uppspelning (150–170 FPS) fanns att tillgå utfördes detta för båda uppspelningshastigheterna som Figur 3.3.1 visar nedan.

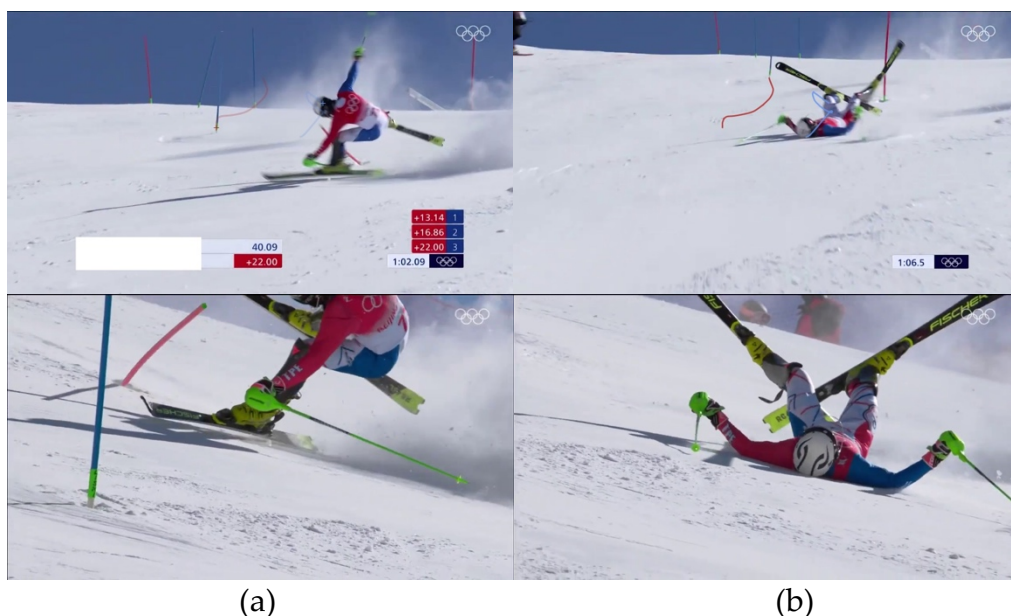
Uppspelningshastighet

För att erhålla en så bra utgångspunkt som möjligt från analysen beräknades videomaterialets bildhastighet (FPS). Antalet förlöpta sekunder (n_s) observerades från bildrutan för islagstidpunkten bakåt till ett valt antal bildrutor (BR) som definieras som (n_F) nedan i Ekvation 3.3.1. Hur många bildrutor (BR) som valdes varierade mellan 15 och 30 BR, ett enstaka fall gick endast 9 BR att tillgå vilket kopplades till sekvensens längd och

bildfångets relevans. För att räkna ut videomaterialets högsta möjliga FPS nyttjades förhållandet mellan antalet bildrutor för sekvensen i slowmotion och förlöpta sekunder i normal uppspelningshastighet. Detta för att erhålla mer detaljer för en så realistisk analys som möjligt.

Ekvation 3.3.1 (FPS) Bildruta per sekund förhållandet (bildhastighet). Antalet förlöpta sekunder (n_s), antal bildrutor (n_F)

$$FPS = \frac{n_F}{n_s}$$



Figur 3.3.1 (a) Bildtillfälle i normal och ultrarapid uppspelningshastighet för startpunkt, (b) Samma bildögonblick i normal och ultrarapid uppspelningshastighet vid islagspunkt, Kinovea [34]

Kalibrering

Som nämnts i avsnitt 3.2 beräknas hastigheterna baserat på avstånd från referenspunkter, för att ta fram dessa variabler krävdes ett synligt föremål med ett känt mått som skala. Föremålet valdes till fördel att representeras av en skida vilkets längd regleras av FIS som beskrivs i Tabell 2.1.1. Skidan behöver befinna sig vinkelrätt och utan förvrängning inom bildramen nära sammanstötningsögonblicket. Genom kalibreringsverktyget

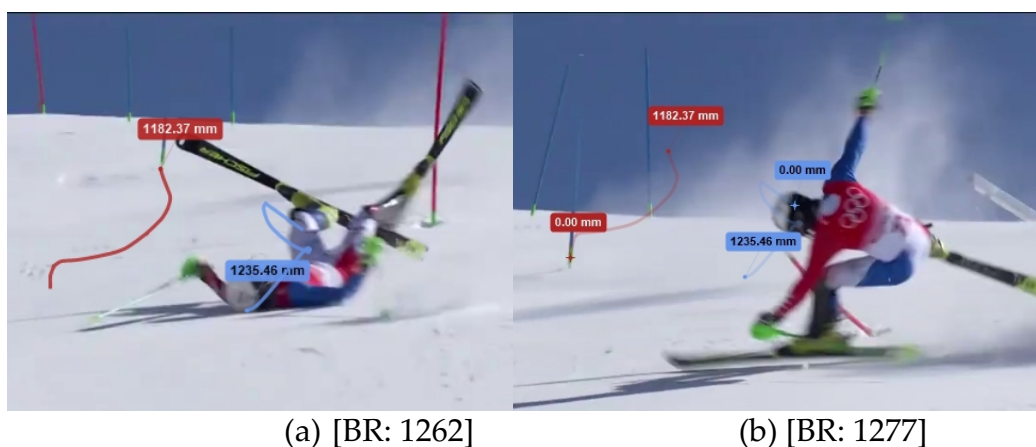
för pixel till millimeterförhållandet möjliggjordes fastställandet av förskjutningarna för referenspunkterna enligt Figur 3.3.2 nedan.



Figur 3.3.2 Kalibreringskala för Kinovea [34], pixel-millimeter förhållande

Förskjutningsdistans

Under nästa steg i analysen beräknades det rörliga objektets hastighet V_{FRAME} där färdavståndet undersöktes på utövarens hjälm. För att sedan utreda kamerans panoreringshastighet V_{CAM} mättes färdavståndet från det statiska referensobjektet om möjligt nära händelsen, alternativt i bakgrunden inom bildramen. Val av statiskt referensobjekt beskrivs under 3.2.1 och utsågs i de flesta fallen till roten på porten vilket Figur 3.3.3 visualiserar. Dessa sträckor spårades minst 10 BR före islagstillfället för en tillräcklig mättid.



Figur 3.3.3 Förskjutningsdistans: (a) Startpunkt för V_{FRAME} och V_{CAM} distansspårning, (b) Slutpunkt för V_{FRAME} och V_{CAM} distansspårning i Kinovea [34]

I de fall där perspektivet för det alternativ där referensobjektet placerade sig i bakgrunden av händelsen lades Ekvation 3.2.6 till för att justera lägesändringshastigheten. Detta för att jämna ut perspektivskillnaden mellan de två distansspårningarna. Förskjutningshastigheten V är beräknat

och är allmänt ett rum/tidsförhållande bestående av distansmätningen d i täljaren och tidsförhållandet $\frac{n_F}{FPS}$ i nämnaren. Detta kan också skrivas som Ekvation 3.3.2 nedan.

Ekvation 3.3.2 Förskjutningshastighet för V_{CAM} & V_{FRAME}

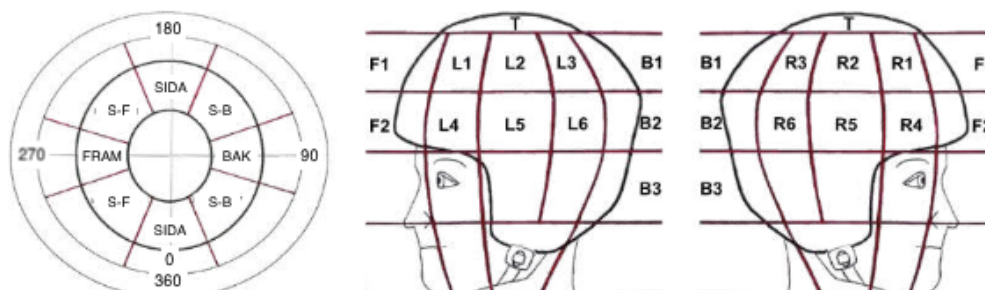
$$V = d \cdot \frac{FPS}{n_F}$$

För att beräkna den resulterande islagsektorn sattes den fastställda hastighetsvektorn in i Ekvation 3.2.2 som följaktligen definierade dess normalkomposant mot lutningen på underlaget beroende på fall vilket det tidigare avsnittet 3.2.4 förklarar. Figur 3.3.4 nedan visar tillvägagångssättet i analysen för att ta fram supplementvinkeln θ_F för V_{FRAME} respektive vinkeln θ_C för hastigheten V_{CAM} . Dessa vinklar togs fram mellan start och slutpunkten för distansspårningen. Detta resulterade sedan i den uppskattade islagshastigheten $V_{IMPACT\perp}$ genom Ekvation 3.2.8 och sedermera Ekvation 3.2.9.



Figur 3.3.4 Framtagning av supplementvinklarna för θ_F och θ_C , Kinovea [34]

Islagsposition



Figur 3.3.5 Fördelning, vy från ovan, vänster och höger. Källa:[1]

Bedömningen av islagsposition vid islagshändelsen baseras på analysen från tidigare studie [1]. Denna studie följer klassificeringen som referensfördelningen i Figur 3.3.5 ovan visualiserar. Modellen illustrerar en hjälm uppdelad i 24 sektioner. Åtta huvudområden ovanifrån skiljer det tvärgående planet vilket segmenteras enligt 45°. I denna studie är området kring öronen för respektive vänster och höger sida icke representativa och därför uteslutna. Anledningen är att hjälmar inom SL certifieras enligt EN-1077:2007(Klass B) eller ASTM 2040 vilket tillåter mjuk stoppning kring öronen som avsnitt 2.4.1 beskriver.

Färdhastighet

Nytt jämfört med tidigare metod är framtagning av utövarens hastighets under färd. Undersökning sker så nära olyckstillfället som möjligt för att undvika accelerationsskillnader. För att minimera problem med synvinkel eftersträvas att kameraperspektivet är i utövarens sagittalplan för sekvensen.



Figur 3.3.6 Färdhastighet, avståndet d_{GATE} och känt referensobjekt framtaget i Kinovea [34]

Likt tidigare metodavsnittet Kalibrering användes kalibreringsverktyget och det kända referensobjektet för att få förhållandet för pixel/millimeter måttet. Ytterligare kända mått är avstånden mellan portar i olika kombinationer vilket enligt regler har minimum och maximumdistanser för att banan ska vara godkänd. På så sätt kan antagandet av avståndet mellan valda portar stödjas. Tiden som i vissa videosekvenser finns med i grafiken jämförs med tiden för sekvensens i analysen och kan på så sätt approximeras.

Genom att ta det uppmätta avståndet d_{GATE} i täljaren och tiden t_{GATE} i nämnaren som det tar åkaren för att passera mellan de satta positionerna resulterar det följaktligen i en approximerad färdhastighet för åkaren.

Ekvation 3.3.3 Färdhastighet $V_{TRANSIT}$

$$V_{TRANSIT} = \frac{d_{GATE}}{t_{GATE}}$$

3.3.2 Validering

Analysverktyget Kinovea [34] som användes för att undersöka videosekvenserna följt av metodiken enligt [1] baseras enbart på två-dimensionella videosekvenser. Detta medför nackdelar för att kunna validera analysens precision men det finns andra tillgångar som kan styrka analysverktygets validitet. Studier som genomfört likande valideringen är [36] vilket [1] också baserat metodens valideringen på.

Kinovea

För att utvärdera eventuella programvarufel tog Dall'Acqua [1] fram en analys av segment för olika vinklar för att validera noggrannhet hos analysverktyget Kinovea vilket baserades på forskningsartikel [36]. Vinklarna för perspektiven sattes till 90°, 75°, 60° och 45°. Därefter med en känd längd på ett segment inom bildrutan för dessa vinklar togs felmarginalerna fram för mjukvaran. För att ytterligare validera genomfördes kontrollerade fall i laborationsmiljö av både en testperson och testdocka. Resultatet av valideringen visade att mätfelet var minst vid 90° för de uppskattade värdena med en genomsnittlig absolut procentuell avvikelse på 2,23% för den uppmätta längden respektive 1,36% för de uppmätta vinklarna. För 45° med högst mätfel var det motsvarande avvikelse på 3,92% och 3,22%. För den andra valideringen, som omfattade jämförelsen av kinematiska mätningar var den genomsnittlig absolut procentuella

avvikelsen 3% i sagittalplanet. Slutliga valideringen av ett scenario likt ett riktigt fall med testdocka erhöles vid minsta noggrannhet på 45° en genomsnittlig absolut procentuell avvikelse på 8%. Även liknande studier för validering vid undersökning av kroppar under fall i Kinovea under rörliga videosekvenser påvisade ett mätfel på 9% [37].

3.4 Sambandsmått

För att undersöka korrelationen mellan huvudets islagshastighet normal mot underlaget användes Pearsons produktmomentkorrelationskoefficient (r). Detta för att bedöma det linjära sambandet mellan variablerna $V_{TRANSIT}$ för åkarens färdhastighet, $V_{IMPACT\perp}$ för huvudets islagshastighet normal mot underlaget samt backens lutning θ_s . Samvariansen varierar mellan perfekt positiv korrelation med värdet +1, motsvarande perfekt negativ korrelation skulle ge ett värde på -1. Vid ett positivt värde på korrelation ger högre värde på den ena variabeln även ett högre i det andra. Omvänt vid negativ korrelation ger ett lägre värde för ena variabeln ett högre värde för det andra. Om korrelationsvärdet skulle visa på 0 skulle det inte finnas något linjärt samband men det skulle då kunna finnas ett icke-linjärt samband. Metodens med Persons r har till nackdel att lätt påverkas av extremvärden i början och slut främst för den ena axeln. Det ger inte heller någon bild av hur sambandet ser ut för förhållandet mellan variablerna. Det ger dock belägg för att kunna bedöma om det finns linjärt samband eller ej samt ett jämförbart värde för hur dessa förhållanden står sig mot andra [38].

4 Resultat

I detta avsnitt presenteras resultaten från genomförda kvantitativa och kvalitativa analyser från Kinovea som sedan beräknats i Excel.

4.1 Kinematiska data

Resulterade islagshastighet, medellutning, färdhastighet och islagsposition från videoanalyser av 8 händelser. Se bilaga analys 1-8 för respektive resultat.

4.1.1 Islagshastighet, färdhastighet och medellutning

Hastigheten $V_{IMPACT\perp}$ vid islagstillfället, hastigheten $V_{TRANSIT}$ för utövaren innan incident sker samt genomsnittlig lutning för underlaget vid mätområdet för varje fall visas nedan i Tabell 4.1.1.

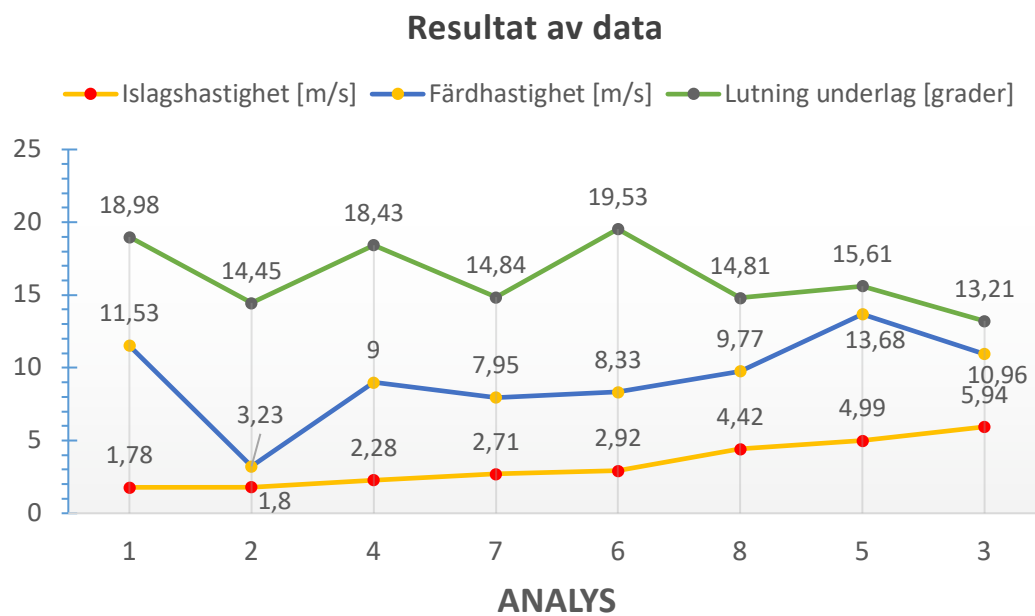
Tabell 4.1.1 Resultaterande islagshastigheten $V_{IMPACT\perp}$, färdhastigheten $V_{TRANSIT}$ och medellutningen θ_s för analys 1-8.

Analys	$V_{IMPACT\perp}$ [m/s]	$V_{TRANSIT}$ [m/s]	θ_s [°]
#1	1.78**	11.53	18.98
#2	1.80**	3.23*	14.45
#3	5.94	10.96	13.21
#4	2.28	9.00	18.43
#5	4.99	13.68	15.61
#6	2.93	8.33	19.53
#7	2.71	7.95	14.84
#8	4.42	10.47	14.81

*Negativ acceleration innan händelse, **Kraft tas upp innan islag med underlag

4.2 Resultat av data

Figur 4.2.1 nedan visar islagshastigheten för normalkomponenten, underlagets lutning samt färdhastigheten från samtliga analyser.

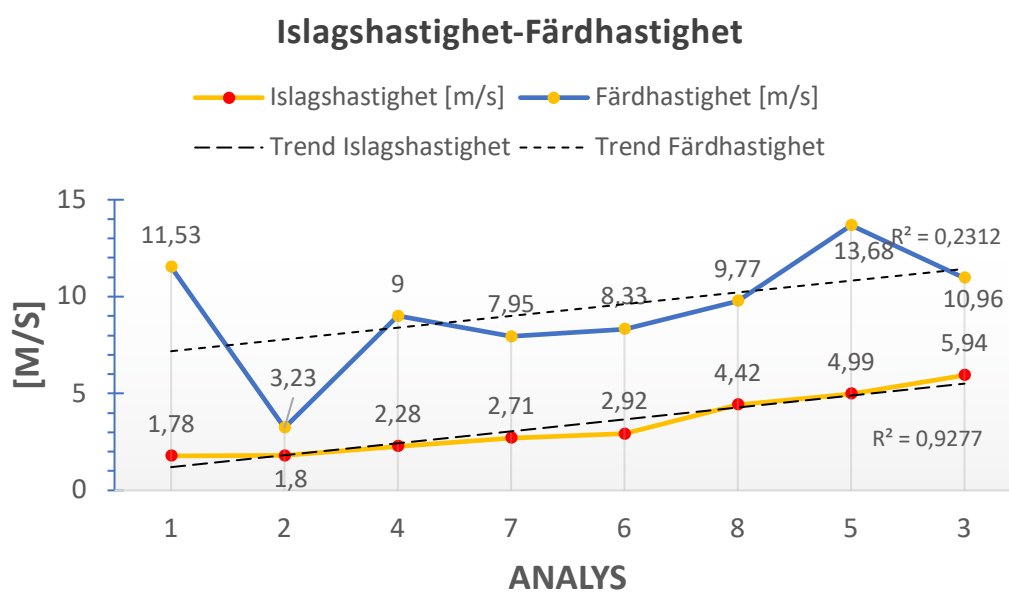


Figur 4.2.1 Resultat av datapunkter presenterat i storleksordning.

4.2.1 Analys av data

Färdhastighet

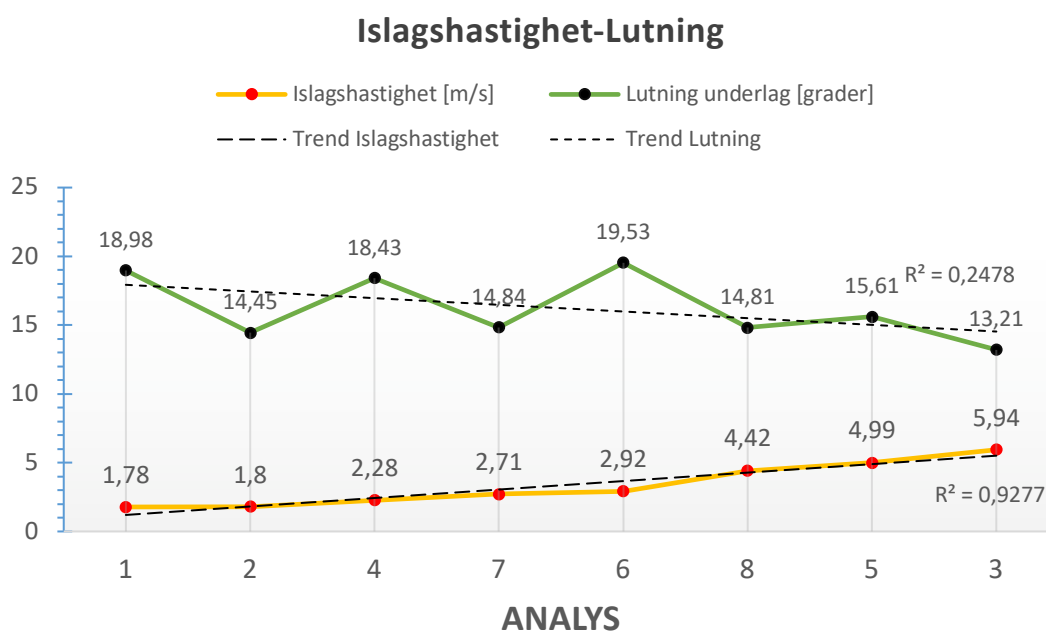
Figur 4.2.2 nedan visar islags- och färdhastighetens datapunkter ökande i storlek. Sambandet mellan dessa resulterade i korrelationskoefficienten 0,57.



Figur 4.2.2 Förhållande Islagshastighet & Färdhastighet med tillhörande trendlinje samt R^2 värde för dess enskilda linjära samband

Lutning

Figur 4.2.3 visar medellutning hos underlaget mot resulterande islagshastighet, sorterat i ökande värde. Korrelationskoefficienten för sambandet mellan dessa variabler var -0,56.



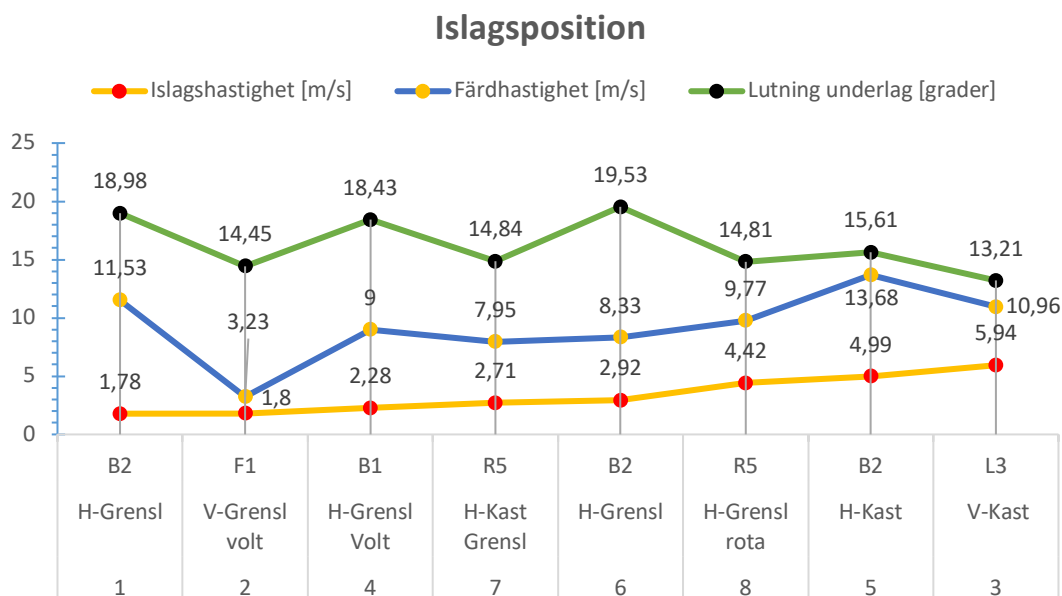
Figur 4.2.3 Förhållande Islagshastighet & Lutning med tillhörande trendlinje samt R^2 värde för dess enskilda linjära samband

4.2.2 Korrelation av data

Korrelationskoefficienten för sambandsmättet mellan islagshastigheten för normalkomposanten och lutning var -0,56569. Motsvarande för sambandet för färdhastigheten och islagshastigheten var 0,575843.

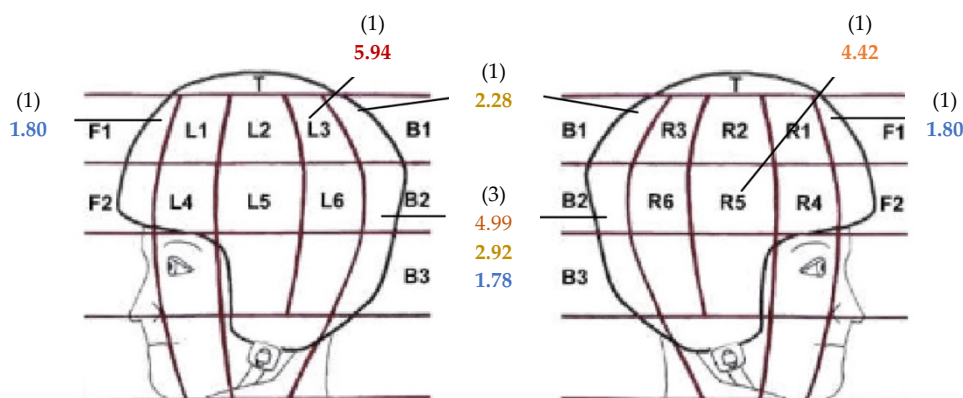
4.2.3 Islagsposition

Islagspositionerna med dess förhållande till islagshastighet, färdhastighet och lutning presenteras i Figur 4.2.4 nedan.



Figur 4.2.4 Förhållande Islagshastighet, Färdhastighet, Lutning & sektion för islagsposition med orsaksförklaring.

Figur 4.2.5 nedan visar spridning för resulterande islagspositioner från analys för varje sektion.



Figur 4.2.5 Spridning av antal islagspositioner

Fler kollisioner uppstår i bakre sektionerna. Sidokollisionerna delas upp i höger och vänster. För hela spridningen så är islagspositionerna fördelade högt upp på hjälmen.

Tabell 4.2.1 Islagsposition & händelseförlopp

Analys	Sektion	Sväng/Orsak
#1	B2	H-Grensling
#2	F1	V-Grensling Volt
#3	L3	V-Kast
#4	B1	H-Grensling Volt
#5	B2	H-Kast
#6	B2	H-Grensling
#7	R5	H-Kast Grensling
#8	R5	H-Grensling Rotation

Förklaring: Sväng- Höger/Vänster, Grensling: Skidan träffar porten, Kast: Utövaren får en kompression och slungas upp i luften, Volt: Volt sker efter orsaken, Rotation: Rotation sker efter orsaken.

Som Figur 4.2.5 och Tabell 4.2.1 ovan påvisar stod islagspositionen B2 för 37,5% av de totala antalet islag. För R5 inträffade kollision 25% av fallen. Islagspositionerna F1, L3 och B1 uppstod vid ett enskilt tillfälle och utgjorde vardera för 12,5 % av fallen.

Vid händelseförloppet var majoriteten högersvängar och största orsaken grensling av port med olika utfall.

Den totala spridningen för stötar mot hjälmens bak-, sid- och framsektionen var 50%, 37,5% respektive 12,5%.

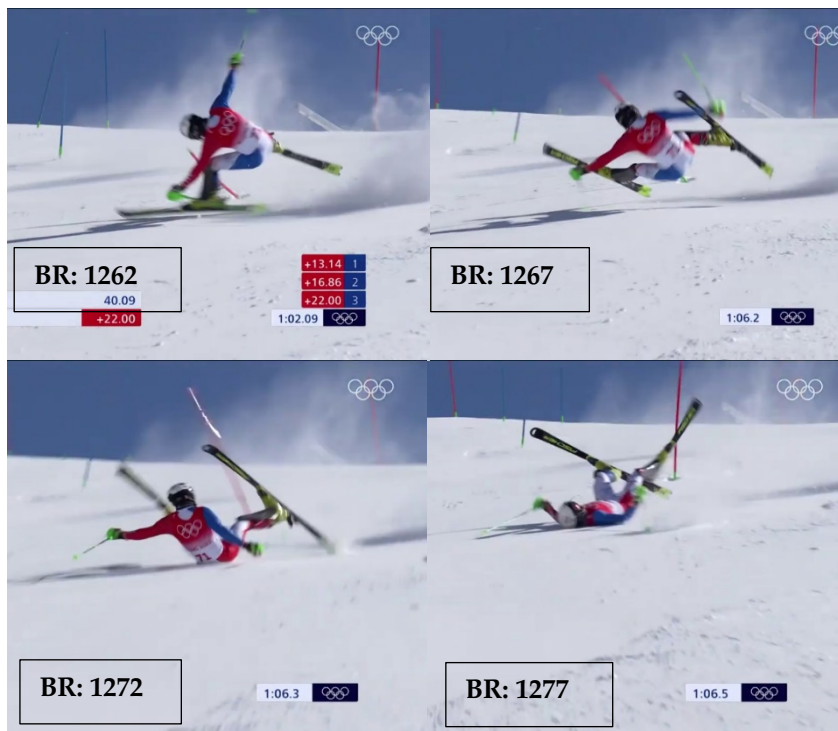
4.3 Videoanalys

Två exempel på skilda fall visas nedan. Följt av resultaten från analysen räknas även felmarginaler och avvikelser ut.

Fel som kan ha uppkommit som felmarginaler påverkas av:

- Felskattning skidlängd
- Felskattning lutning på mätområdet
- Felskattning parallax och perspektiv fel

4.3.1 Exempel Analys 1



Figur 4.3.1 Analys 1, bildögonblick händelseförlopp med 15 BR

Uppskattad medellutning för mätområdet togs fram till $\theta_s = 18.98^\circ$

Analysen resulterade i följande värden nedan:

$$V_{FRAME} = 2.47 \text{ m/s}$$

$$\theta_F = 123.9^\circ$$

$$V_{CAM} = 2.36 \text{ m/s}$$

$$\theta_C = 46.8^\circ$$

Kamerahastigheten justerades enligt Ekvation 3.2.6 baserat på perspektivfel från parallaxeffekten.

$$\begin{aligned} V_{CAM_{ADJ}} &= V_{CAM} \left(1 + \frac{d_2 - d_1}{d_1} \right) \\ &= V_{CAM} \left(1 + \frac{33 - 44}{44} \right) = 1.77 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Islagshastighetsresultanten togs fram med hastighetsvektorerna samt dess vinkelförhållanden med Ekvation 3.2.2 nedan.

$$V_{IMPACT} = \sqrt{V_{FRAME}^2 + V_{CAM_{ADJ}}^2 + 2 \cdot V_{FRAME} \cdot V_{ADJ} \cdot \cos(\theta_{FC})} = 2.85 \text{ m/s}$$

Vinkeln mellan resultanten V_{IMPACT} och komponenten V_{FRAME} . Enligt Figur 3.2.10 och Ekvation 3.2.7.

$$\theta_{IF} = \arccos\left(\frac{V_{IMPACT}^2 + V_{FRAME}^2 - V_{CAM_{ADJ}}^2}{2 \cdot V_{IMPACT} \cdot V_{FRAME}}\right) = 38.14^\circ$$

Vinkeln δ mellan lodlinje och θ_F . Enligt Figur 3.2.10 och Ekvation 3.2.8.

$$\delta = \frac{3\pi}{2} - \theta_F = 146.1^\circ$$

Islagshastigheten $V_{IMPACT\perp}$ normal mot underlaget. Enligt Ekvation 3.2.9.

$$V_{IMPACT\perp} = V_{IMPACT} \cdot \cos(\theta_{IF} + \delta + \theta_S) = 1.58 \text{ m/s}$$

Färdhastigheten $V_{TRANSIT}$ före islagstillfället från Ekvation 3.3.3.

$$\begin{aligned} V_{TRANSIT} &= \frac{d_{GATE}}{t_{GATE}} \\ &= \frac{6.8}{0.59} = 11.53 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Resultat Analys 1

Resultat av analys 1 visas i Tabell 4.3.1 nedan.

Tabell 4.3.1 Resultat Analys 1

Analys 1	
θ_S	18.98°
V_{FRAME}	2.47 m/s
θ_F	123.9°
V_{CAM}	2.36 m/s
θ_C	46.8°
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s

Felskattning vid analys

Utfallet för Felskattning (FGS) av längd, lutning samt perspektivfel tas fram nedan för Analys 1.

Felskattning 1: Referenslängd skida +5 cm

Skidlängden kan ha bidragit till kalibreringsfel, ett mått på +5 cm för en 165 cm skida i det här fallet ger avvikelser som nedan Tabell 4.3.2 visar.

Tabell 4.3.2 Felskattning 1: Referenslängd skida +5 cm

Analys 1		Skidlängd +5 cm
V_{FRAME}	2.47 m/s	2.54 m/s
V_{CAM}	2.36 m/s	2.44 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s	1.83 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s	11.86 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s	2.93 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s	1.63 m/s

Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ +3.03%
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: +2,94%

Felskattning 2: Referenslängd skida -5 cm

Skidlängden kan ha bidragit till kalibreringsfel, ett mått på -5 cm för en 165 cm skida i det här fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.3 visar.

Tabell 4.3.3 Felskattning 2: Skidlängd -5 cm

Analys 1		Skidlängd -5 cm
V_{FRAME}	2.47 m/s	2.08 m/s
V_{CAM}	2.36 m/s	1.98 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s	1.49 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s	11.02 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s	2.39 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s	1.33 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ -15,98%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: -4.41%		

Felskattning 3: Lutning +15 %

En feluppskattning på +15 % av underlagets lutning kan ha bidragit till kalibreringsfel, fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.4 nedan visar.

Tabell 4.3.4 Felskattning 3: Lutning +15%

Analys 3		Lutning +15%
θ_s	18.98°	21.83°
V_{FRAME}	2.47 m/s	2.47 m/s
V_{CAM}	2.36 m/s	2.36 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s	1.77 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s	11.53 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s	2.85 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s	0.83 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ -47,56%		

Felskattning 4: Lutning -15%

En feluppskattning på -15 % av underlagets lutning kan ha bidragit till kalibreringsfel, fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.5 nedan visar.

Tabell 4.3.5 Felskattning 4: Lutning -15%

Analys 1		Lutning -15%
θ_S	18.98°	16.14°
V_{FRAME}	2.47 m/s	2.47 m/s
V_{CAM}	2.36 m/s	2.36 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s	1.77 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s	11.53 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s	7.76 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s	2.20 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ +38,97 %		

Felskattning 5: Referenslängd skida +5 cm, lutning -15% och utan korrektion för parallaxeffekten

Kombinerat Felskattning av FSG 1, 3 och utesluten parallaxkorrigering syns i Tabell 4.3.6.

Tabell 4.3.6 Felskattning 5: Referenslängd skida +5 cm, lutning -15% och utan korrektion för parallaxeffekten

Analys 1		Skidlängd +5 cm, lutning -15% och utan korrektion för parallaxeffekten.
θ_S	18.98°	16.14°
V_{FRAME}	2.47 m/s	2.54 m/s
V_{CAM}	2.36 m/s	2.44 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s	1.83 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s	11.86 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s	3.29 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s	3.01 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ +90,15%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: +2,94%		

Felskattning 6: Referenslängd skida +5 cm och lutning +15% och utan korrektion för parallaxeffekten

Kombinerat Felskattning av FSG 1, 4 och utesluten parallaxkorrigering syns i Tabell 4.3.7 nedan.

Tabell 4.3.7 Felskattning 6: Referenslängd skida +5 cm och lutning +15% och utan korrektion för parallaxeffekten

Analys 1		Skidlängd +5 cm, lutning +15% och utan korrektion för parallaxeffekten.
θ_S	18.98°	21.83°
V_{FRAME}	2.47 m/s	2.54 m/s
V_{CAM}	2.36 m/s	2.44 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	1.77 m/s	1.83 m/s
$V_{TRANSIT}$	11.53 m/s	11.86 m/s
V_{IMPACT}	2.85 m/s	3.29 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	1.58 m/s	1.86 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ +17,65%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: +2,94%		

4.3.2 Exempel Analys 3



Figur 4.3.2 Analys 3, bildögonblick händelseförlopp med 15 BR

Uträkningen för Analys 3 har samma tillvägagångssätt som tidigare delavsnitt med tillhörande ekvationer för sitt fall.

Resultat Analys 3

Tabell 4.3.8 Resultat Analys 3

Analys 3	
θ_S	13.21°
V_{FRAME}	7.55 m/s
θ_F	78.4°
V_{CAM}	3.86 m/s
θ_C	105.1°
V_{CAMADJ}	2.63 m/s
$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s

Felskattning vid analys

Utfallet för Felskattning av längd, lutning samt perspektivfel tas fram nedan för Analys 3.

Felskattning 1: Skidlängd +5 cm

Skidlängden kan ha bidragit till kalibreringsfel, ett mått på +5 cm på en 165 cm skida i det här fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.9 nedan visar.

Tabell 4.3.9 Felskattning 1: Skidlängd +5 cm

Analys 3		Felskattning skidlängd +5 cm
V_{FRAME}	7.55 m/s	7.78 m/s
V_{CAM}	3.86 m/s	3.99 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	2.63 m/s	2.71 m/s
$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s	11.56 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s	8.25 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s	6.14 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$: +3,29%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: +5,48%		

Felskattning 2: Skidlängd -5 cm

Skidlängden kan ha bidragit till kalibreringsfel ett mått på +5 cm på en 165 cm skida i det här fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.10 nedan visar.

Tabell 4.3.10 Felskattning 2: Skidlängd -5 cm

Analys 3		Skidlängd -5 cm
V_{FRAME}	7.55 m/s	7.33 m/s
V_{CAM}	3.86 m/s	3.75 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	2.63 m/s	2.55 m/s
$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s	10.88 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s	7.76 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s	5.78 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ -2,8%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: -0,72%		

Felskattning 3: Lutning +15%

Underlagets lutning kan ha bidragit till kalibreringsfel, +15 % på lutningen i det här fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.11 nedan visar.

Tabell 4.3.11 Felskattning 3: Lutning + 15%

Analys 3		Lutning +15%
θ_S	13.21°	15.20°
V_{FRAME}	7.55 m/s	7.55 m/s
V_{CAM}	3.86 m/s	3.68 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	2.63 m/s	2.63 m/s
$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s	10.96 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s	7.76 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s	7.29 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ +22,70%		

Felskattning 4: Lutning -15%

Underlagets lutning kan ha bidragit till kalibreringsfel, -15 % på lutningen i det här fallet ger avvikelser som Tabell 4.3.12 nedan visar.

Tabell 4.3.12 Felskattning 4: Lutning -15%

Analys 3		Lutning - 15%
θ_S	13.21°	11.24°
V_{FRAME}	7.55 m/s	7.55 m/s
V_{CAM}	3.86 m/s	3.68 m/s
$V_{CAM_{ADJ}}$	2.63 m/s	2.63 m/s
$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s	10.96 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s	7.76 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s	2.53 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ -57,38%		

Felskattning 5: skidlängd +5 cm och lutning +15% och utan korrektion för parallaxeffekten.

Ett kombinerat Felskattning av FSG 1, 3 och utesluten parallaxkorrigering visas i Tabell 4.3.13 nedan.

Tabell 4.3.13 Kombinerat Felskattning 5: Skidlängd +5 cm, lutning +15% & utan parallaxkorrigering

Analys 3		Skidlängd + 5cm, lutning +15% och utan korrektion för parallaxeffekten.
θ_S	13.21°	15.20°
V_{FRAME}	7.55 m/s	7.78 m/s
V_{CAM}	3.86 m/s	3.99 m/s
V_{CAMADJ}	2.63 m/s	3.99 m/s
$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s	11.56 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s	8.76 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s	4.13 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ -30,51%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: +5,48%		

Felskattning 6: skidlängd +5 cm, lutning -15% och utan korrektion för parallaxeffekten

Ett kombinerat Felskattning av FSG 1, 4 och utesluten parallaxkorrigering visas i Tabell 4.3.14 nedan.

Tabell 4.3.14 Kombinerat Felskattning 6: skidlängd +5 cm, lutning -15% & utan parallaxkorrigering

Analys 3		Skidlängd +5 cm, lutning -15% och utan korrektion för parallaxeffekten.
θ_S	13.21°	11.24°
V_{FRAME}	7.55 m/s	7.55 m/s
V_{CAM}	3.86 m/s	3.68 m/s
V_{CAMADJ}	2.63 m/s	2.63 m/s

$V_{TRANSIT}$	10.96 m/s	11.56 m/s
V_{IMPACT}	8.00 m/s	8.76 m/s
$V_{IMPACT\perp}$	5.94 m/s	2.69 m/s
Resultat: Avvikelse på $V_{IMPACT\perp}$ -54,7%		
Resultat: Avvikelse på $V_{TRANSIT}$: +5,48%		

5 Diskussion och slutsats

5.1 Diskussion av data

Islagshastighet

Analys av incidenterna för respektive fall som Figur 4.2.1 illustrerar påvisar att huvudet islagshastighet för normalkomposanten främst beror på underlagets lutning, men även färdhastigheten påverkar. Högre islagshastighet beror av lutningen på underlaget i större utsträckning än färdhastigheten. En kombination av både högre färdhastighet och mindre lutning ger störst ökning av islagshastigheten normal mot underlaget.

Färdhastighet

Spridningen på hastigheten för utövaren innan kraschtillfället har i ett isolerat tillstånd en mindre påverkan på islagshastigheten och sker mer slumpmässigt. Trendlinjerna för islagshastigheten för normalkomposanten och åkarens färdhastighet som visas i Figur 4.2.2 ger ett samband med korrelationskoefficienten 0,57.

Lutning

Trendlinjerna i Figur 4.2.3 visualiserar en tendens för att en minskad lutning ger en högre islagshastighet mot normalen. Korrelationskoefficienten för sambandet mellan underlagets lutning och islagshastigheten är -0,56.

Islagsposition

Sektionerna där kollisionen sker enligt Figur 4.2.4 visar inget tydligt samband med någon analysvariabel, utan påverkas mer av situation och utgångsläge för utövaren. Något som går att urskilja är de orsaker där Kast från kompression gör att kroppen får en högre utgångspunkt innan islag vilket kan bidra till högre islagshastighet. Det som kan ha påverkan, vilket kunde ses från den visuella analysen, är skidans bakre längd och åktekniken, där kortare stödyta och balans men också separation och stora roterande krafter bidrar till kroppen vrids. Följden blir då att kroppen hamnar bakåt och därmed samlar islagspositionerna kring bakhuvudet. I vissa fall tas kraften upp innan islag men beroende på händelseförlopp ge olika utfall. Lutning kan ha en viss påverkan då majoriteten av islag i bakhuvudet uppstod vid en större lutning som i sin tur ökade både

färdhastighet och risken för olycka i dessa fall. Färdhastigheten enbart har en mindre påverkan på var islaget uppstår.

Könsfördelning

I två av de åtta fallen var utövarna kvinnor, analys 4 och 6 representerar dessa åkare. Hur detta påverkat utfallet av islagshastigheten för normalkomposanten har inte undersökts i detta arbete. Tidigare studier som behandlat könsskillnader och skador inom WC är bland annat Florenses [39] och Bere [40] där båda studierna resulterade i att män hade en övergripande högre skaderisk och längre frånvaro efter skador än kvinnor. Om detta är en påverkan från antropometriska och därmed fysiska skillnader i denna studie krävs det mer mätdata och vidare studier för att kunna dra några slutsatser.

5.2 Analysmetod

Metoden för att genomföra analyser av incidenterna i svåra förhållande både geografiskt och tekniskt skapar stora utmaningar för att i så stor uträkning som möjligt utföra detaljerade och noggranna islagsmekaniska analyser av skidåkare. Något som Dall'Acqua påpekar i sin studie [1]. Uppskattningar måste utföras på okända värden och antagande måste göras med stöd från programvaror. Genom att analysera mindre felskattning på skidlängdskillnad $\pm 5\text{ cm}$ går det att urskilja att skidlängden och därmed hastigheten påverkar resultatet i mindre uträkning än de mätfel som $\pm 15\%$ av lutning ger. Lutningen har större inverkan på resultatet i analyserna, se bilaga analys 1-8.

Kalibrering av andra möjliga föremål såsom portar skulle vara ett möjligt alternativ. De har enligt regler en längd på 1800 mm [41] över underlaget och kan på så vis användas som referenslängd om inte skidan längd kan användas. Detta kräver att även kappen är i en rät vinkel för kamerasomfång. Ytterligare potentiella referensmått för kalibrering skulle vara de reklamskyltar sitter uppsatta längs med banan det finns regler även där som skulle kunna utnyttjas men med större utmaningar för identifiering av de olika varianterna [42]. Det skulle även där krävas att referensmättet utförs korrekt.

En anlednings till att endast två av sex fall uppenbarades för uppskattningen av markkomposanten kan vara kamerornas placering och antalet som täcker samma område. Kortare banor bidrar till fler kamerorna vilket

gör att bildfånget kan bytas mer frekvent. Detta medför att åkaren oftare filmas framifrån och från sidan.

Färdhastigheten baserades på distansen mellan två punkter och tiden det tog att passera mellan dessa. Distansten togs fram av de regler som gäller vid bansättning. Genom att använda dessa regler som riktmärke och i stället genomföra en distansspårning på utövarens pjäxa kan hastigheten beräknas med en bättre noggrannhet än tidigare.

5.2.1 Begräsningar

Största begräsningarna med analysmetoden är de antagen som behövde göras. Detta kan ge felaktiga data men genom utförandet av värsta utfall för alla analyser tas felmarginalernas påverkan upp enligt Exempel Analys 1, Exempel Analys 3 och bilagorna analys 1-8. Gällande distanserna mellan kamera och referensobjekt samt kamera och utövaren utfördes inga värsta felskattningsberäkningar. Dessa värden vägdes mot de bansättningsregler, backens bredd, samt landmärken för att uppskattas. Korrektionsfaktorn som användes vid påverkan av parallaxeffekten togs fram från dessa approximerade distanser vilket kan ha påverkat resterande delar.

En konstant lutning längs analysområdet antas för snöunderlaget. Lutningen baseras på de geometriska bestämningar som genomförts i Google Earth Pro. Detta behöver inte nödvändigtvis vara den lutning som är i verkligheten. Backens lutning vid mätområdet påverkas av snön vilket kan förändra lutningen för underlaget där islags sker. Ett alternativt medel för att ta fram dessa är att föredra med tanke på den omfattningen som lutningen har på islagshastigheten. Det är dock i efterhandskonstruktionen omöjligt att precisera då det kräver fysiskt mätning på plats. Snöunderlag kan skilja sig från dag till dag och även år till år vilket försvårar mätningarna för tidpunkten för kollisionen ytterligare.

Analysens enskilda resultat som hastigheter och lutning kan påverkas av handhavandet. Olika personer som genomför samma analys kan få resultat som kan skilja sig. Trenden bör dock inte bli påverkad, då skillnader i handhavandet troligtvis är systematiska.

5.2.2 Kinovea

Det finns många möjligheter med analysverktyget Kinovea. Det är en programvara med stor potential om den kan utnyttjas fullt ut. Skulle författarens kunskap om verktyget varit högre hade det möjligen kunnat

utnyttjas för att erhålla en mer korrekt perspektivbild. Det som krävs är fler värden på topologiska omständigheter för att kunna kalibrera underlagets koordinatsystem i Kinovea. Detta skulle möjligtvis minska de felmarginaler och avvikelser som kan uppstå vid handhavandet.

Noggrannheten för programvaran för det som framkommit från tidigare studier är mätfel på 8-9% under kontrollerade former. Detta fel är framtaget vid sämst förutsättningar för videoanalys och uppstår främst där bildfångets vinkel påverkar verktygets djupperspektiv. Detta är den stora nackdelen vid två-dimensionell videoanalys vilket utan mer data vid mätområdet begränsar analysen.

5.3 Avslutande diskussion

Viktigaste resultaten, **1)** Resultaten följer en logik för biomekaniska och kinematiska förhållanden vilket stärker metoden. **2)** Minskad lutning på underlaget är största orsaken till högre islagshastigheter. **3)** Ett av fallen resulterade i en islagshastighet på 5,94 m/s vilket överstiger 5,42 m/s enligt EN-1007:2007 Klass B certifiering.

Alpin skidsport har under senare åren utvecklats, främst inom de material som skidor består av, vilket påverkar skidans vridstyvhet och återföring. Detta har kommit att förändra åktekniken och ökat de krafter som verkar på åkaren. De krav som finns på skidutrustningen i detta avseende är få. Bidragande orsak till detta skulle kunna vara att det finns för få studier gällande påverkan av translationella hastigheter mot kroppen inom snösport. Studier inom Slopestyle och Snowboard [21] och de andra snabba discipliner [1] har dragits som slutsats är att den standard som skyddsutrustning idag har inte är tillräcklig.

Islagpositioner på hjälmen kan ge en indikation på var de ska förstärkas. I denna analys har islagen varit fler på bakre mittsektionerna vilket inte kan ha påverkats av användning av krockkuddar för torso, som beskrivs i [1], eftersom det inte är något som inte används i slalomdisciplinen. Något som observerat är att alla fallen har vissa likheter i förloppet vilket kan bero på skidans längd på dess bakre del. Detta medför en mindre stödyta och därmed mindre stabilitet som kan vara en bidragande faktor till att kroppen i dess roterande rörelse under sväng oftare hamnar bakåtvänd. Det medför att utövaren ofta landar på ryggen resulterande i att islagpunkten sker mer frekvent mot bakre mittsektionerna. Lutningen på underlaget kan ha en viss påverkan då majoriteten av islag i

bakhuvudet uppstod vid en större lutning vilket har koppling till kontroll och stabilitet.

Könsfördelning för de analyserade händelserna är två fall av kvinnor och sex fall av män. Något som kan vara intressant att undersöka är de antropometriska mått som vanligtvis skiljer könen åt. Det behöver inte nödvändigtvis vara en könsskillnad som bidrar till förändrade antropometriska kroppsmaått utan kan vara andra genetiska förutsättningar. Dessa olika fysiologiska olikheterna kan ha en påverkan för islagshastigheten som verkar på huvudet men kräver fler fall att undersöka för att dra någon slutsats om.

De olika analyserade fallen är särskilda och enskilt unika i orsak och händelseförlopp vilket skapar en spridning och slumpmässighet som medför svårigheter i jämförelse. Trots detta går det för denna studie att se trender för dessa hastigheter som utövarna utsätts för. Korrelationen mellan dessa försvåras då de är komplexa och påverkade av många olika faktorer. Det sambandsmått som går att få fram visar att färdhastighetens och lutningen förhållande till islagshastigheten är snarlika. Vid framtagning av felskattning och dess påverkan på islagshastigheten påvisades att en förändrad lutning har ett bidrag i större utsträckning.

5.3.1 Vidare utvecklingsarbete

För bättre noggrannhet gällande avståndsmätning bidragande till korrektionsfaktorn bör GPS positioner för de utplacerade kamerorna samlas in. Även påverkan av kamerapositionens höjd är något som bör undersökas under vidare studier.

Tillgång till mer material från krascher såsom uppföljning av skador och tillgång till journaler för att ta reda på skadans utbredning inuti huvudet med data från vitalvärden för att förbättra och bekräfta analysen. Möjligheten att montera accelerationsmätare på utövarens hjälm för att erhålla riktiga mätvärden som sedan kan jämföras mot videoanalys skulle förbättra möjligheten att verifiera analysmetoden.

Andra utvecklingsprojekt med att förbättra testmetoder för certifiering av hjälmars standarder genom att efterlikna verkliga kollisioner kan leda till mer förståelse om var hjälmarna kan absorbera i skarpt läge. Även undersökning av påverkan för rotationsvåld samt utvärdera data mot system som ska skydda mot dessa krafter.

5.4 Slutsats

Det går att urskilja en trend ifrån denna analys vilket går i led med vad den logiska och fysikaliska grunden säger. Men en ökad färdhastighet i de analyserade fallen betydde inte nödvändigtvis att islagshastigheten mot normalen blev högre. Större påverkan hade däremot backens lutning vilket med ett lägre värde ökade islagshastigheten i större uträkning än färdhastigheten. Kombinationen med en högre färdhastighet och lägre lutning resulterade i en ökad islagshastighet med underlaget.

I dessa analyserade fall var islagspositionens förekomst i bakhuvudet i lika stor utsträckning som sidokollisioner men fördelad höger och vänster oberoende av sväng. Trenden för hur hastigheterna eller lutningen påverkade placeringen på islagssektionerna gick inte att dra någon slutsats för men man kan urskilja att händelseförloppet kan ha en viss påverkan på islagshastigheten. För att utesluta att det uppstår sporadiskt och helt beroende på händelseförlopp med utgångspunkt i situation, förutsättningar, kroppsposition och läge i backe behöver ytterligare studier med mer fall undersökas.

- Den slutliga tendensen är att en minskad lutning på underlaget ger en högre islagshastighet. Färdhastigheten enskilt påverkar inte i lika stor uträkning som lutningen men kan i kombination medföra påverkan i högre grad.
- Ett av de åtta fallen översteg 5,42 m/s för absorptionstestet enligt EN-1007:2007 Klass B, högsta värdet var 5,94 m/s.

Referenser

- [1] N. Dall'Acqua, J. Willén, J. Weman, P. Malmegård, och N. Petrone, "Analysis and Reconstruction of Head Kinematics During Accidents in Fast Alpine Skiing Disciplines", Purdue University, 2022. doi: 10.5703/1288284317506.
- [2] J. P. Stapp, "Problems of Human Engineering in Regard to Sudden Decelerative Forces on Man", *Military Medicine*, vol. 103, nr 2, s. 99–102, aug. 1948, doi: 10.1093/milmed/103.2.99.
- [3] C. Werner och K. Engelhard, "Pathophysiology of traumatic brain injury", *British Journal of Anaesthesia*, vol. 99, nr 1, s. 4–9, juli 2007, doi: 10.1093/bja/aem131.
- [4] C. S. Sahler och B. D. Greenwald, "Traumatic Brain Injury in Sports: A Review", *Rehabilitation Research and Practice*, vol. 2012, s. 1–10, 2012, doi: 10.1155/2012/659652.
- [5] B. D. Jordan, "The clinical spectrum of sport-related traumatic brain injury", *Nature Reviews Neurology*, vol. 9, nr 4, s. 222–230, apr. 2013, doi: 10.1038/nrneurol.2013.33.
- [6] C. C. Giza och J. S. Kutcher, "An Introduction to Sports Concussions", *CONTINUUM: Lifelong Learning in Neurology*, vol. 20, s. 1545–1551, dec. 2014, doi: 10.1212/01.CON.0000458975.78766.11.
- [7] FIS och Oslo Sports Trauma Research Center, "FIS Injury Surveillance System 2006-2019". INTERNATIONAL SKI FEDERATION, maj 2019. [Online]. Tillgänglig vid: https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1559053066/fis-prod/assets/FIS_ISS_report_2018-19.pdf
- [8] S. E. Steenstrup, K.-M. Mok, A. S. McIntosh, R. Bahr, och T. Krosshaug, "Reconstruction of head impacts in FIS World Cup alpine skiing", *Br J Sports Med*, vol. 52, nr 11, s. 709–715, juni 2018, doi: 10.1136/bjsports-2017-098050.
- [9] A. M. Supej, J. Nord, och J. Enqvist, "Alpin skidåkning – biomekaniken bakom prestationen".
- [10] "THE INTERNATIONAL SKI COMPETITION RULES (ICR)". FIS, juli 2022. Åtkomstdatum: 31 mars 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://www.skidor.com/download/18.241e27d2184fa1674575099e/1670914166106/icr_01.08.22_final.pdf
- [11] H.-P. Platzter, M. Barth, A. Giger, P. Schröcksnadel, och W. Nachbauer, "Did injury incidence in alpine ski racing change after equipment regulations? An evaluation based on the injury surveillance system of the Austrian Ski Federation", *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 24, nr 10, s. 1044–1048, okt. 2021, doi: 10.1016/j.jsams.2020.07.005.

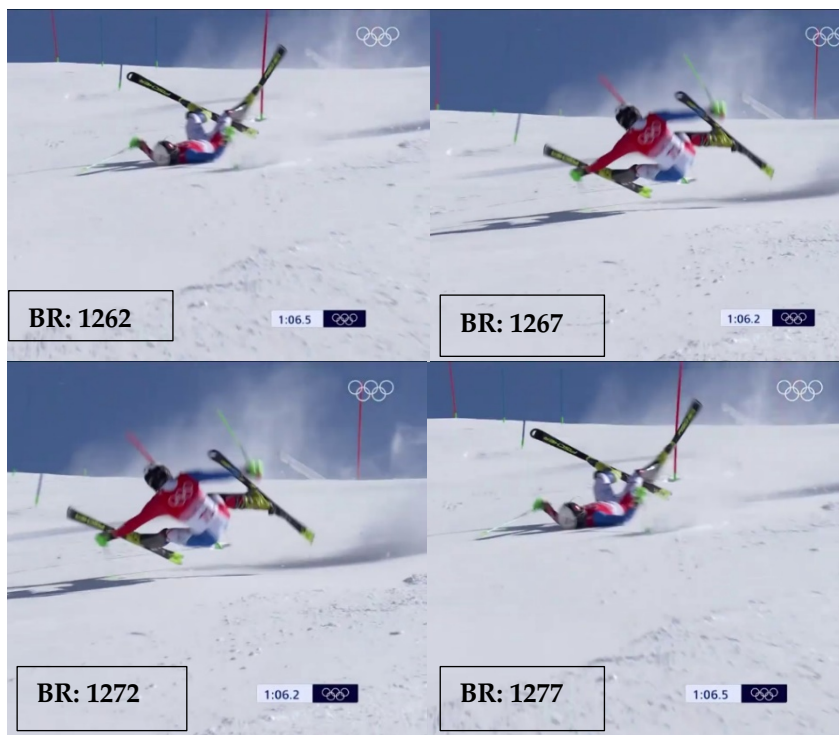
- [12]"SPECIFICATIONS FOR ALPINE COMPETITION EQUIPMENT". FIS, juli 2021. Åtkomstdatum: 27 mars 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1626337376/fis-prod/assets/Specifications_for_Alpine_Competition_Equipment_09.07.21.pdf
- [13]"CONCUSSION GUIDELINES". FIS, 2017. Åtkomstdatum: 17 maj 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1537433174/fis-prod/assets/ConcussionGuidelines_13122017CorrectCRTlink_Neutral.pdf
- [14] N. Anderson, M. Horan, G. Dornan, G. Luke, och P. Millett, "Injury Patterns In The High-risk Sport Of Elite Youth Alpine Ski Racing", *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, vol. 7, s. 2325967119S0042, juli 2019, doi: 10.1177/2325967119S00420.
- [15]M. Gilgien, R. Reid, C. Raschner, M. Supej, och H.-C. Holmberg, "The Training of Olympic Alpine Ski Racers", *Front. Physiol.*, vol. 9, s. 1772, dec. 2018, doi: 10.3389/fphys.2018.01772.
- [16]F. Braghin, F. Cheli, S. Maldifassi, S. Melzi, och E. Sabbioni, Red., *The Engineering Approach to Winter Sports*. New York, NY: Springer New York, 2016. doi: 10.1007/978-1-4939-3020-3.
- [17]M. Supej, K. Hébert-Losier, och H.-C. Holmberg, "Impact of the Steepness of the Slope on the Biomechanics of World Cup Slalom Skiers", *International Journal of Sports Physiology and Performance*, vol. 10, nr 3, s. 361–368, apr. 2015, doi: 10.1123/ijssp.2014-0200.
- [18]J. Spörri, J. Kröll, B. Fasel, K. Aminian, och E. Müller, "Course Setting as a Prevention Measure for Overuse Injuries of the Back in Alpine Ski Racing: A Kinematic and Kinetic Study of Giant Slalom and Slalom", *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, vol. 4, nr 2, s. 232596711663071, feb. 2016, doi: 10.1177/2325967116630719.
- [19]"Alpine Ski Racing Helmet Rule valid from season 2013/14". FIS, 2013. Åtkomstdatum: 31 mars 2023. [Online]. Tillgänglig vid: <https://www.skiforbundet.no/contentassets/5e242d6cc5694e17ac0ddbe141c68b6d/121107-helmet-rule-final.pdf>
- [20]J. Yamazaki *m.fl.*, "Analysis of a Severe Head Injury in World Cup Alpine Skiing", *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 47, nr 6, s. 1113–1118, juni 2015, doi: 10.1249/MSS.0000000000000511.
- [21]S. E. Steenstrup, K.-M. Mok, A. S. McIntosh, R. Bahr, och T. Krosshaug, "Head impact velocities in FIS World Cup snowboarders and freestyle skiers: Do real-life impacts exceed helmet testing standards?", *Br J Sports Med*, vol. 52, nr 1, s. 32–40, jan. 2018, doi: 10.1136/bjsports-2016-097086.

- [22]S. E. Steenstrup, A. Bakken, T. Bere, D. A. Patton, och R. Bahr, "Head injury mechanisms in FIS World Cup alpine and freestyle skiers and snowboarders", *Br J Sports Med*, vol. 52, nr 1, s. 61–69, jan. 2018, doi: 10.1136/bjsports-2017-098240.
- [23]B. Haaland, S. E. Steenstrup, T. Bere, R. Bahr, och L. Nordsletten, "Injury rate and injury patterns in FIS World Cup Alpine skiing (2006–2015): have the new ski regulations made an impact?", *Br J Sports Med*, vol. 50, nr 1, s. 32–36, jan. 2016, doi: 10.1136/bjsports-2015-095467.
- [24]P. M. McGinnis, *Biomechanics of sport and exercise*, 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics, 2013.
- [25]H. De Haven, "Mechanical analysis of survival in falls from heights of fifty to one hundred and fifty feet", *Injury Prevention*, vol. 6, nr 1, s. 62-b-68, mar. 2000, doi: 10.1136/ip.6.1.62-b.
- [26]A. Bailey *m.fl.*, "Validation of a videogrammetry technique for analysing American football helmet kinematics", *Sports Biomechanics*, vol. 19, nr 5, s. 678–700, sep. 2020, doi: 10.1080/14763141.2018.1513059.
- [27]A. Post *m.fl.*, "Analysis of speed accuracy using video analysis software", *Sports Eng*, vol. 21, nr 3, s. 235–241, sep. 2018, doi: 10.1007/s12283-018-0263-4.
- [28]B. Pueo, "High speed cameras for motion analysis in sports science", *jhse*, vol. 11, nr 1, 2016, doi: 10.14198/jhse.2016.111.05.
- [29]"SS-EN 1077:2007". Swedish Standard Institute (SIS) Förlag AB, augusti 2007.
- [30] "POC Race Helmets | Ski Race Helmets – POC Sports", *POC Sports*. <https://www.pocsports.com/collections/snow-helmets-race> (åtkomstdatum 28 maj 2023).
- [31]"Certifications", *sweetprotection.com*. <https://www.sweetprotection.com/en-se/blog/tech/tech-certifications.html> (åtkomstdatum 03 mars 2023).
- [32] "ASTM-F2040". ASTM International, maj 2005.
- [33] "Google Earth Pro (7.3.6)". Google.
- [34] J. Charmant och contributors, "Kinovea (0.9.5)". 2021. [Windows]. Tillgänglig vid: <https://www.kinovea.org>
- [35] "Excel (16.73)". Microsoft, 2023.
- [36] A. Puig-Diví, C. Escalona-Marfil, J. M. Padullés-Riu, A. Busquets, X. Padullés-Chando, och D. Marcos-Ruiz, "Validity and reliability of the Kinovea program in obtaining angles and distances using coordinates in 4 perspectives", *PLoS ONE*, vol. 14, nr 6, s. e0216448, juni 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0216448.

- [37] N. Shishov, K. Elabd, V. Komisar, H. Chong, och S. N. Robinovitch, "Accuracy of Kinovea software in estimating body segment movements during falls captured on standard video: Effects of fall direction, camera perspective and video calibration technique", *PLoS ONE*, vol. 16, nr 10, s. e0258923, okt. 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0258923.
- [38] K. Säfsten och M. Gustavsson, "Forskningsmetodik - Analys av data", i *Forskningsmetodik, för ingenjörer och andra problemlösare*, 1:2. Lund: Studentlitteratur AB, 2019, s. 188–190.
- [39] T. W. Florenes, T. Bere, L. Nordsletten, S. Heir, och R. Bahr, "Injuries among male and female World Cup alpine skiers", *British Journal of Sports Medicine*, vol. 43, nr 13, s. 973–978, dec. 2009, doi: 10.1136/bjsm.2009.068759.
- [40] T. Bere, T. W. Flørenes, L. Nordsletten, och R. Bahr, "Sex differences in the risk of injury in World Cup alpine skiers: a 6-year cohort study", *Br J Sports Med*, vol. 48, nr 1, s. 36–40, jan. 2014, doi: 10.1136/bjsports-2013-092206.
- [41] "FIS Specifications for Flex Poles". FIS, november 2020. Åtkomstdatum: 31 mars 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1605784223/fis-prod/assets/Specifications_for_Flex_Poles_Alpine_Courses_Nov_2020.pdf
- [42] "ADVERTISING RULES ALPINE EVENTS". FIS, juni 2022. Åtkomstdatum: 31 mars 2023. [Online]. Tillgänglig vid: https://assets.fis-ski.com/image/upload/v1662464866/fis-prod/assets/Advertising_Rules_Alpine_Nordic_2022-23.pdf

Bilagor

- Bilaga 1 – Analys 1
- Bilaga 2 – Analys 2
- Bilaga 3 – Analys 3
- Bilaga 4 – Analys 4
- Bilaga 5 – Analys 5
- Bilaga 6 – Analys 6
- Bilaga 7 – Analys 7
- Bilaga 8 – Analys 8

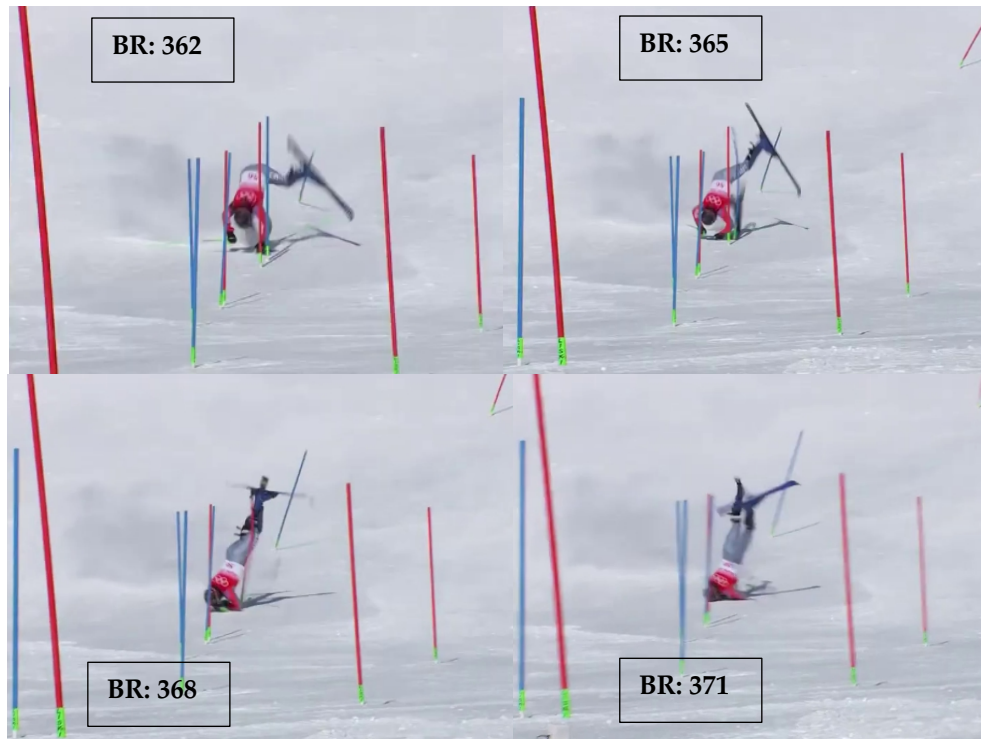


Plats	Beijing Pyeongchang (CHI)
År	2022
Event	OWG-M
Upplösning	1280x720p
FPS	30
Islagsposition	B2
Sväng/Orsak	H-Grensling

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
2.47	2.36	1.77	11.53	2.85	1.58

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
123.9	46.8	77.1	38.14	18.98	146.1

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	1.63	11.86	+3.03	+2.94
FSG 2	1.33	11.02	-15.98	-4.41
FSG 3	0.83	11.53	-47.56	0
FSG 4	2.20	11.53	+38.97	0
FSG 5	3.01	11.86	+90.15	+2.94
FSG 6	1.86	11.86	+17.66	+2.94



Plats	Beijing Pyeongchang (CHI)
År	2022
Event	OWG-M
Upplösning	1280x720p
FPS	30
Islagsposition	F1
Sväng/Orsak	V-Grensling/Volt

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
4.73	5.67	4.17	3.23	1.96	1.80

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
69.8	60.8	9.0	36.41	14.45	200.2

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	1.86	3.13	+3.03	+2.97
FSG 2	1.75	3.33	-3.03	-3.19
FSG 3	0.38	3.23	-78.84	0
FSG 4	1.64	3.23	-8.71	0
FSG 5	2.45	3.13	+35.82	+2.97
FSG 6	0.83	3.13	-54.00	+2.97

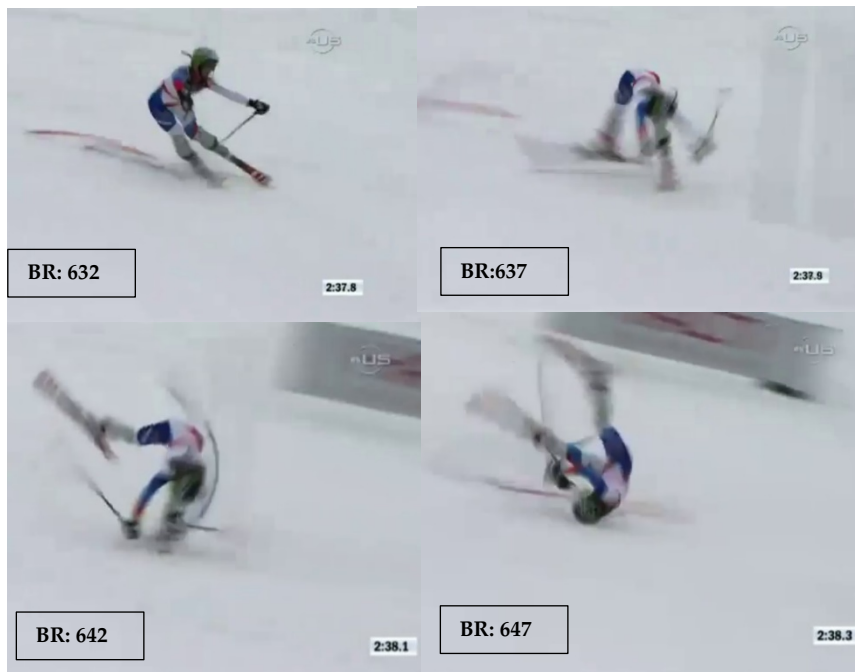


Plats	Naeba (JPN)
År	2016
Event	WC-M
Upplösning	1920x1080p
FPS	30
Islagsposition	L3
Sväng/Orsak	V- Kast

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
7.55	3.86	2.63	10.96	8.00	5.94

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
78.4	105.1	26.7	83.36	13.21	164.9

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	6.14	11.56	+3.29	+5.20
FSG 2	5.78	10.88	-2.80	-0.72
FSG 3	7.29	10.96	+22.70	0
FSG 4	2.53	10.96	-57.38	0
FSG 5	4.13	11.56	-30.51	+5.20
FSG 6	2.69	11.56	-54.70	+5.20

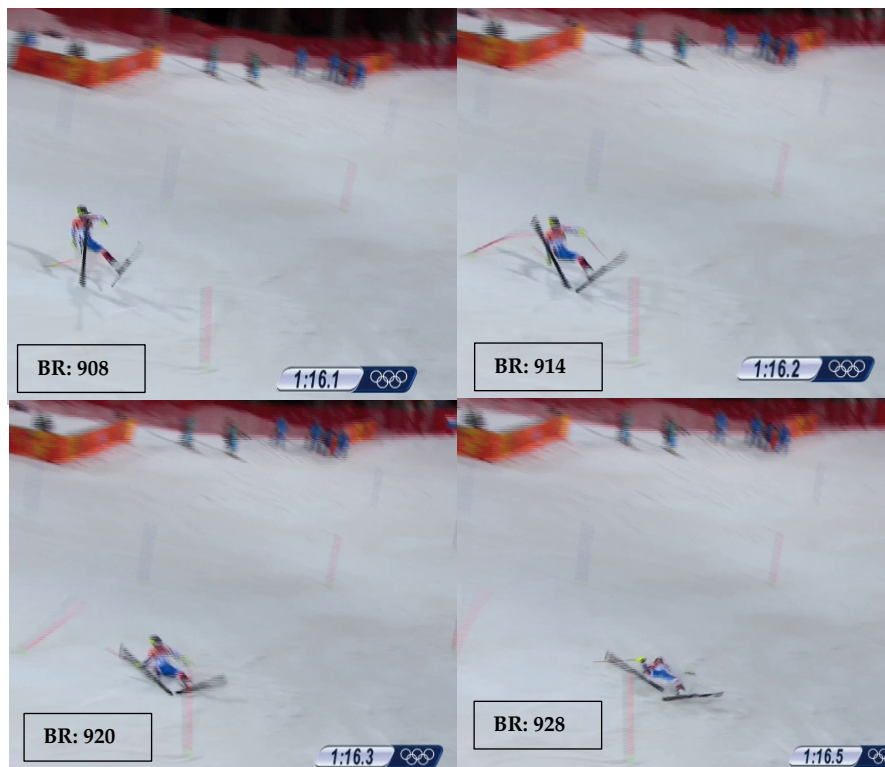


Plats	Garmisch (GER)
År	2011
Event	WC-W
Upplösning	640x360p
FPS	30
Islagsposition	B1
Sväng/Orsak	H-Grensling/Volt

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
11.24	30.77	17.58	9.0	26.74	2.28

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
119.9	12.3	107.6	27.72	18.43	105.1

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	2.36	9.30	+3.23	+3.40
FSG 2	2.12	8.72	-3.16	-3.07
FSG 3	11.91	9.0	+421.10	0
FSG 4	7.66	9.0	+235.0	0
FSG 5	35.39	9.30	+1449.14	+3.40
FSG 6	11.99	9.30	+424.83	+3.40



Plats	Sochi (RUS)
År	2014
Event	OWG-M
Upplösning	1440x900p
FPS	60
Islagsposition	B2
Sväng/Orsak	H-Grensling

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
4.09	6.61	7.46	13.68	11.54	4.99

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
123.9	46.8	77.1	38.14	18.98	146.1

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	5.18	14.05	+3.66	+3.39
FSG 2	4.87	13.22	-2.44	-5.88
FSG 3	3.98	13.68	-20.34	0
FSG 4	10.94	13.68	+119.17	0
FSG 5	5.68	14.05	+13.82	+3.39
FSG 6	9.62	14.05	+92.62	+3.39



Plats	Kranjska Gora (SLO)
År	2015
Event	WC-W
Upplösning	1280x720p
FPS	30
Islagsposition	B2
Sväng/Orsak	H-Grensling

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
13.66	15.06	14.59	8.33	27.78	2.93

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
88.4	38.5	49.9	10.81	19.53	181.6

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	3.02	8.58	+3.23	+0.83
FSG 2	2.84	8.08	-3.23	-0.83
FSG 3	8.66	8.33	+195.83	0
FSG 4	2.94	8.33	+0.03	0
FSG 5	4.29	8.58	+46.53	+0.83
FSG 6	18.25	8.58	+522.87	+0.83



Plats	Zagreb (CRO)
År	2015
Event	WC-M
Upplösning	1280x720p
FPS	30
Islagsposition	R5
Sväng/Orsak	H-Kast/Grensling

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
4.99	2.53	2.25	7.95	6.98	2.71

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
36.8	80.2	43.4	44.05	14.84	9.8

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	4.13	8.00	+52.50	+0.06
FSG 2	3.89	7.65	+43.54	-3.83
FSG 3	2.08	7.95	-23.21	0
FSG 4	6.98	7.95	+157.31	0
FSG 5	4.60	8.00	+69.59	+0.06
FSG 6	6.86	8.00	+152.97	+0.06



Plats	Laussane (SUI)
År	2020
Event	YOWG-M
Upplösning	1280x720p
FPS	25
Islagsposition	R5
Sväng/Orsak	H-Grensling/Rotation

V_F	V_C	V_{CA}	V_T	V_I	$V_{I\perp}$
4.79	6.94	7.77	9.77	10.39	4.42

θ_F	θ_C	θ_{FC}	$\theta_{IF} / \theta_{IC}$	θ_S	δ
120.4	31.2	89.2	44.94	14.81	149.6

Utfall	$V_{I\perp}$	V_T	%Avvikelse	
FSG 1	4.55	10.11	+3.03	+3.49
FSG 2	4.28	9.55	-3.03	-2.33
FSG 3	4.80	9.77	+8.59	0
FSG 4	10.15	9.77	+129.83	0
FSG 5	4.81	10.11	+8.83	+3.49
FSG 6	7.64	10.11	+73.01	+3.49