



CHALMERS
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Förebyggande åtgärder mot ACL-skador inom alpin skidåkning

Redogörelse för åtgärder vid skadesituationen slip-catch

Kandidatarbete inom civilingenjörsprogrammet maskinteknik

Rasmus Edvardsson
Hannah-Maria Elfving
Carl Gustafsson

Celine Krefting
Emma Svärting
Siri Östlund

Institutionen för tillämpad mekanik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017
Kandidatsarb.nr: 2017:12

UPPSATS FÖR KANDIDATEXAMEN

Förebyggande åtgärder mot ACL-skador inom alpin skidåkning

Rasmus Edvardsson
Hannah-Maria Elfving
Carl Gustafsson
Celine Krefting
Emma Svärling
Siri Östlund



Institutionen för tillämpad mekanik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige 2017

Förebyggande åtgärder mot ACL-skador inom alpin skidåkning
Kandidatarbete inom maskinteknik
RASMUS EDVARDSSON
HANNAH-MARIA ELFVING
CARL GUSTAFSSON
CELINE KREFTING
EMMA SVÄRLING
SIRI ÖSTLUND

© RASMUS EDVARDSSON, HANNAH-MARIA ELFVING,
CARL GUSTAFSSON, CELINE KREFTING, EMMA SVÄRLING,
SIRI ÖSTLUND, 2017.

Handledare: Johan Davidsson, Docent, Avd. för fordonssäkerhet, Institutionen för
tillämpad mekanik
Examinator: Karin Brodin, Bitr. Professor, Avd. för fordonssäkerhet, Institutionen
för tillämpad mekanik

Kandidatsarb.nr: 2017:12
Institutionen för tillämpad mekanik
Chalmers Tekniska Högskola
SE-412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Omslag: Aksel Lund Svindal tränar i Høeggega Renn- og Treningscenter i Trysil
(Matsson, 2011). CC-BY (Creative Commons)

Tryckeri: Institutionen för tillämpad mekanik
Göteborg, Sverige 2017

Sammanfattning

En vanligt förekommande skadesituation inom alpin skidåkning är slip-catch-situationen vilken medför risk för att främre korsbandet, ACL, i knät skadas. I rapporten utreds detta skadefall genom kartläggning av knäts anatomi och biomekanik samt en analys av slip-catch-situationen. Kartläggningen och analysen ingår i en litteraturstudie tillsammans med en utredning av pjäxor, skidor och bindningar som finns på marknaden i dagsläget. Den biomekaniska kartläggningen visar att en ruptur av ACL vid skadesituationen sker vid kombinationen flexion av knät, valgus och inre rotation av tibia. Skadan uppstår till följd av förekomsten av nämnd kombination, samt att bindningen inte löser ut.

Kunskapen som erhöles från litteraturstudien ligger till grund för projektets andra del. Andra delens inriktning är framtagningen av konceptförslag till produkter som minskar risken för uppkomsten av ACL-skador vid skadesituationen slip-catch vid alpin skidåkning. Fokus har legat på konceptförslag och ej på färdiga produkter på grund av projektets tidsram.

Produktutvecklingen omfattar en idégenereringsfas följt av en konceptgenerering och en koncepteliminering. Elimineringen utförs mot en kravspecifikation och en elimineringsmatris, samt genom diskussion inom gruppen och med andra inom området kunniga personer.

De slutgiltiga konceptförslagen vilka presenteras i rapporten är kombinationer av sensorer och olika utlösningssystemer vilka lösgör pjäxan från bindningen. Förhoppningen är att sensorer tillsammans med en algoritm kan detektera en slip-catch-situation på ett sätt som ej är möjligt för en mekanisk lösning. När skadesituationen detekteras skall en signal skickas till utlösningssystemen vilken lösgör pjäxan. För sensorerna utvärderas följande olika placeringar: sensorer fästa längs benet, sensorer integrerade i bindningen och sensorer i en sula mellan pjäxans skal och innersko.

Utlösningssystemerna vilka bedöms potentiellt minska skaderisken mest är bindningar där häldelen kan rotera och lösa ut pjäxan från bindningen i horisontalplanet. Denna utlösningssystem anses vara bäst lämpad då den möjliggör en för foten naturlig rörelse och på så sätt minskar risken för skada i en catch-slip-situation.

Sökord: alpin skidåkning, slip-catch, främre korsband, knäskada, korsbandsskada, biomekanik, mekatronisk skidutrustning.

Prevention of ACL injuries in alpine skiing

Bachelor's thesis within Mechanical Engineering

RASMUS EDVARDSSON, HANNAH-MARIA ELFVING, CARL GUSTAFSSON,
CELINE KREFTING, EMMA SVÄRLING, SIRI ÖSTLUND

Department of Applied Mechanics
Chalmers University of Technology

Abstract

Within alpine skiing there is one injury incident which frequently occurs, the so called slip-catch situation. When exposed to this situation, the skier is at risk of injuring the anterior cruciate ligament, hereafter known as the ACL. In this report, injury to the ACL is investigated through an analysis of the biomechanics and anatomy of an injury-free knee, as well an analysis of the slip-catch situation itself. Along with an investigation and evaluation of today's ski equipment (skis, boots and bindings), both the investigation and the analyses are comprised in a literature study. The literature study indicates that a tear of the ACL occurs as a result of the combination of flexion of the knee, valgus and internal rotation of the skiers tibia. This combination often occurs when the ski binding fails to release in time to avoid an injury.

The second part of the report is based on information from the literature study. The goal of this project is to contribute to a reduction of the risk of ACL-injuries during the slip-catch situation, by offering suggestions for future products that might reduce this risk. This report focuses on these suggestions and a final product has not been produced, due to the projects timeframe. A brainstorming, concept generating and elimination phase led to a number of different proposed solutions. The solution presented in this paper, proposes combinations of sensors and release mechanisms for the ski binding, releasing the boot from the binding. Hopefully, a combination of sensors and algorithms would detect the slip-catch situation in a way that would not be possible in a mechanic solution. In order to best detect potential injury, it is recommended that there are sensors placed either along the skiers leg, integrated in the ski binding itself and/or placed in between the boots shell and liner.

Release mechanisms which have a rotating heel piece with the ability to release the foot from the ski binding horizontally, are assessed to be the most suitable for minimizing the risk of injury. This type of release mechanism is considered best suited, as it enables the foot to have natural movement. By doing so, it reduces the risk of injury in a catch-slip situation.

This report is written in Swedish.

Keywords: Alpine skiing, slip-catch, anterior cruciate ligament, knee injury, anterior cruciate ligament injury, biomechanics, mechatronic ski equipment.

Förord

Rapporten omfattar ett kandidatarbete skrivet på institutionen för tillämpad mekanik våren 2017 på Chalmers Tekniska Högskola i Göteborg.

Vi vill börja med att tacka vår handledare Johan Davidsson för hans stöd, motivation och engagemang samt goda handledning under arbetets gång.

Vi vill också tacka vår examiner Karin Brolin som hjälpt till med utformningen av projektet. Ett speciellt tack riktas även till butiken Skistore vilken har sponsrat projektet med utrustning. Slutligen vill vi tacka alla som lagt ner tid och bidragit med kunskap för att hjälpa oss att färdigställa detta arbete.

Författarna, Göteborg, maj 2017

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.2.1	Problemanalys	2
1.2.2	Deluppgifter	2
1.2.3	Krav	3
1.3	Avgränsningar	3
1.4	Metodöversikt	3
1.5	Disposition	4
2	Teori	5
2.1	Anatomi	5
2.2	Knäts biomekanik	7
2.3	ACL-skador	8
2.3.1	Ruptur av ACL	8
2.3.2	Individrelaterade riskfaktorer	8
2.4	Krafter vid alpin skidåkning	9
2.5	Slip-catch-situationen	10
2.5.1	Specifikt fall av slip-catch	10
2.5.2	Generellt fall av slip-catch	11
2.5.3	Knäts biomekanik vid slip-catch	12
2.6	Skidutrustningen och dess uppförande vid slip-catch	12
2.6.1	Skidor	13
2.6.2	Pjäxor	15
2.6.3	Bindningar	15
2.6.3.1	Bindningens uppbyggnad	16
2.6.3.2	Bindningens utlösningmekanism	16
2.6.3.3	Bindningens uppförande vid slip-catch	16
2.6.4	Befintliga produkter vilka ämnar motverka ACL-skador	17
2.7	Sensorer och befintliga produkter innehållande sensorer	18
2.7.1	Olika slags sensorer	18
2.7.1.1	Töjningsmätare	18
2.7.1.2	Accelerometer	18
2.7.1.3	Gyroskop	18
2.7.1.4	Tryckmätare	18
2.7.1.5	Magnetometer	18

2.7.1.6	Momentgivare	18
2.7.2	Befintliga produkter innehållande sensorer	19
3	Genomförande	21
3.1	Kravspecifikation	21
3.2	Konceptframtagning	21
4	Resultat	25
4.1	Resultat av litteraturstudien	25
4.2	Resultat från konceptgenereringen	26
4.2.1	Sensorer fästa längs benet	26
4.2.2	Sensorer integrerade i bindningen	27
4.2.3	Sensorer i en sula mellan pjäxans skal och innersko	27
4.2.4	Utlösningmekanismer	28
4.2.4.1	Roterande platta med sprint	28
4.2.4.2	Roterande häldel med sprint	30
5	Diskussion	31
5.1	Diskussion om biomekanik vid slip-catch	31
5.2	Diskussion av framtagna koncept	32
5.2.1	Utlösningmekanismer	32
5.2.1.1	Roterande platta	32
5.2.1.2	Roterande häldel med sprint	32
5.2.2	Ställdon till sprintar	33
5.2.3	Dellösningar innehållande sensorer	33
5.2.3.1	Sensorer fästa längs benen	33
5.2.3.2	Sensorer integrerade i bindningen	33
5.2.3.3	Sensorer i en sula mellan pjäxans skal och innersko	34
5.3	Diskussion av deluppgifter	34
5.3.1	Kunskap om biomekanik	34
5.3.2	Utrustningens uppförande vid en slip-catch-situation	35
5.3.3	Identifiering av riskfaktorer	35
5.3.4	Verifikation av koncept	36
5.4	Kravspecifikationens robusthet	36
5.5	Framtida arbete	36
5.5.1	Källkritik	37
6	Slutsats	39
	Litteraturförteckning	41
	Bildförteckning	47
A	Elimineringsmatris	I
B	Kravspecifikation	III
C	Anatomi	V

C.1	Anatomiska termer	V
C.2	Knäts anatomi	VI
C.2.1	Skelett och menisker	VI
C.2.2	Ledkapsel	VII
C.2.3	Ligament	VII
C.2.3.1	Korsband	VII
C.2.4	Muskulatur	VII
C.3	Ruptur av ledband	VIII
C.4	ACL-skador vid andra sporter	VIII
D	Ett urval av kvarstående koncept efter elimineringsmatris	XI

Figurer

2.1	Figuren illustrerar ett fall av valgus på båda benen. Den svarta linjen visar hur knät är vinklat i vanliga fall. (LadyofHats, Jecowa, Stündle 2011.). CC0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGenu_valgum.svg	5
2.2	Figuren visar anatomin hos ett högerknä. (Mysid, 2011). CC0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AKnee_diagram.svg	6
2.3	Figuren visar krafter vilka verkar på ett skadefritt knä. Författarnas egen bild.	7
2.4	Gravitationskraften på åkaren samt dess komponenter. (Pixabay, 2017). CC0. https://pixabay.com/en/skiing-sport-downhill-winter-ski-2027087	9
2.5	Reaktionskraften från marken samt dess komponenter. (Pixabay, 2017). CC0. https://pixabay.com/en/skiing-sport-downhill-winter-ski-2027087	9
2.6	Reaktionskraftens uppdelning vid en sväng. Författarnas egen bild.	10
2.7	Figuren illustrerar förenklat skidans svängradie, vilken existerar tack vare skidans timglasform. Författarnas egen bild.	13
2.8	Figuren visar inre rotation av tibia på ett högerben. (Athikhun.suw, 2016).CC BY-SA. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Leg_and_foot_anterior.svg	13
2.9	Krafter som uppstår vid ett slag bak på skidans insida. Pilen F visar belastningen bak på skidans insida, H symboliserar hävarmen och M symboliserar momentet runt tibia. (Pixabay, 2012). CC0. https://pixabay.com/en/skier-silhouette-ski-ice-sports-34973/	14
3.1	Ett urval av de kvarstående koncepten efter första elimineringen. Författarnas egen bild.	22
3.2	Möjliga placeringar av sensorer i en slutprodukt. Författarnas egen bild.	22
4.1	Möjliga placeringar av sensorer på bindningen markeras i figuren med röd färg. (Pixabay, 2017). CC0. https://pixabay.com/en/ski-skis-snow-sport-2028185/	27
4.2	Sprängskiss av utlösningmekanism med roterande platta och fyra varianter på sprintar. Författarnas egen bild.	28
4.3	Ritning av utlösningmekanism med roterande platta och fyra varianter på sprintar. Författarnas egen bild.	29
4.4	Ritning av utlösningmekanism liknande den hos Kingpin. Författarens egen bild.	30

4.5	Sprängskiss av utlösningmekanism liknande den hos Kingpin. De tre nya komponenterna markeras med 1-3. Författarens egen bild.	30
A.1	Elimineringsmatris. Siffrorna representerar olika koncept. Röd markering innebär att konceptet inte går vidare i sållningsprocessen. Författarens egen bild.	I
B.1	Kravspecifikation. Här presenteras kriterier för slutprodukten. Författarens egen bild.	III
C.1	Anatomical Planes (CFCF, 2014). CC BY-SA 3.0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAnatomical_Planes.svg . . .	V
C.2	Främre skjuvning vid proximala änden av tibia. Författarens egen bild. . .	IX

Ordlista

ACL	Främre korsband (Anterior Cruciate Ligament)
CC	Creative commons, en databas med licenser för bilder och figurer som tillåter användaren att lagligt ladda ner bilder och figurer
Extension	Utsträckning av en led
Femur	Lårben
Flexion	Böjning av en led
Inre rotation av tibia	Då skenbenet roteras inåt mot kroppens centrum i förhållande till lårbenet
Ligament	Ledband
Ruptur	Bristning i vävnad eller organ. I denna rapport syftar det till en delvis eller total bristning av ett ligament.
Slip-catch	Situation inom alpin skidåkning där knäleden utsätts för skaderisk. Slip-catch karaktäriseras av att åkaren förlorar greppet på ytterskidan (slip) och sedan abrupt får tillbaka greppet (catch).
Tibia	Skenben
Tröghetssensorer	Sensorer som mäter position, hastighet och orientering
Valgus	När knät är vinklat inåt medialt
Åkkvalitet	Kan betyda allt från att man har det roligt på skidor till att all utrustning ska vara helt perfekt. Det är helt individuellt från person till person.

1

Introduktion

Följande kapitel omfattar projektets bakgrund, syfte, avgränsningar samt en översikt av metoderna som använts för genomförandet av projektet. En problemanalys och projektets deluppgifter presenteras för att ge läsaren en djupare förståelse av uppgiften. Kapitlet avslutas med en redogörelse för rapportens disposition.

1.1 Bakgrund

Alpin skidåkning är en globalt omtyckt friluftssaktivitet med 400 miljoner individuella skidsystemsbundna skiddagar per år. En skiddag definieras som en åkdag med nyttjat skidpass (Skistar, 2016). Historiskt sett har dock alpin skidåkning varit förenligt med en relativt hög skaderisk. Enligt Cooper (2014) och Chalabi (2013) resulterar 10 - 20 av 1000 registrerade skiddagar i skada. Runt 30-40 % av dessa skador är knäskador vilka i värsta fall kan medföra behov av ett kirurgiskt ingrepp i knät (Sports medicine information, 2009). En av de vanligaste av dessa knäskador är enligt Orthoinfo (2014) ACL(Anterior Cruciate Ligament)-skador, en skada på det främre korsbandet. Denna typ av skada uppstår ofta inom skidåkning under en så kallad slip-catch-situation, där åkaren tappar trycket på ytterskidan i en sväng och därefter fastnar abrupt på innerkanten när skidan återfår snökontakten. Situationen kan leda till delvis eller total ruptur av åkarens ACL. En ruptur av ett ligament är en skada som innebär att ligamentet brister helt eller delvis. Genom videoanalys av 20 fall av ACL-skador inom alpin skidåkning kom Bere et al. (2011, s.1424) fram till att hälften av skadorna skedde genom en slip-catch-situation. Samma studie visar på att slip-catch-situationen skiljer sig något mellan rekreations- och tävlingssåkare på grund av olika förhållanden och skidfärdigheter. Dock är själva händelseförloppet snarlikt för de olika åkartyperna, och situationen kan leda till ACL-skador för såväl rekreations- som tävlingsåkare.

Problemställningen tas upp som ett kandidatarbete våren 2017 för att undersöka möjligheten att minska denna typ av skador. Tidigare forskning kring åtgärder mot skadan har främst en medicinsk eller utrustningsteknisk bakgrund. Tidig utrustningsteknisk forskning bedrevs med syfte att minska antalet benbrott, vilket har resulterat i utvecklingen av plastpjäxor och bindningar med utlösningmekanism. Enligt Benoit (2002), resulterade detta i färre benbrott, men ökade antalet knäskador, och därmed antalet ACL-skador. Intressant blir då att utforska utvecklingen av skidutrustning som minskar antalet ACL-skador. En minskning av dessa skador bör medföra sociala och ekonomiska vinster. Färre knäskador medför färre personer

med långvarig smärta och behov av rehabilitering, samt att fler ges möjligheten att fortsatt utöva sporten.

Forskning på ett liknande ämne gjordes i kandidatarbetet "Kartläggning av ACL-skador inom alpin skidåkning" (Carbell et al., 2016). Arbetets syfte var att kartlägga de krafter och påfrestningar vilka resulterar i att åkaren ådrar sig en ACL-skada. Detta projekt är en fortsättning av ovan nämnt projekt och går djupare in på åtgärderna för att minska antalet ACL-skador.

1.2 Syfte

Detta projekt ämnar att förebygga uppkomsten av ACL-skador vid skadesituationen slip-catch vid alpin skidåkning med fokus på utrustning. Nödvändig information erhålls genom att kartlägga de biomekaniska aspekterna i skadesituationen, kartlägga krafterna vilka orsakar skadan samt utreda uppkomsten av krafterna. Denna information används för att utarbeta koncept vilka utgör rekommendationer till framtida, skadepreventiva produkter.

1.2.1 Problemanalys

Orsaken till en ACL-skada inom alpin skidåkning är ofta en synergiverkan mellan olika faktorer. I en undersökning av Bere et. al. (2011, s.1426) gällande utrustningens roll vid knäskador inom alpin skidåkning påvisades det att i majoriteten av de undersökta fallen hade bindningen inte löst ut, alltså frigjort skida och bindning från pjäxan, och på så sätt misslyckats med uppgiften att skydda åkaren från skada. Jungell (2011) menar att det i dagsläget existerar brister i utrustningens förmåga att förebygga knäskador inom alpin skidåkning. Samma studie visar även att yttre förhållanden, såsom väder och skidbackens förhållanden, samt åkarens genetik är bidragande faktorer för uppkomsten av ACL-skador.

1.2.2 Deluppgifter

För att på ett vetenskapligt sätt kunna bemöta problemet med ACL-skador vid slip-catch-situationer inom alpin skidåkning behöver händelseförloppen vid ACL-skador brytas ner och delproblem identifieras. Detta för att erhålla en uppfattning om det är möjligt att kvantifiera varje skadefaktors inverkan vid en ACL-skada.

De delproblem vilka identifierats renderar följande deluppgifter:

- Erhålla djupare biomekaniska kunskaper genom att utreda vad som sker i knät på en anatomisk nivå vid en slip-catch-situation. Uppgiften omfattar att utreda vilka krafter knät utsätts för, riktning på dessa samt vilka delar av knät som påverkas. Enligt Koga, Bere, Bahr och Krosshaug (2011) sker slip-catch i flera steg där knäts olika positioner och vinklar vidare bör beaktas.

- Utredda hur skidorna, bindningarna och pjäxorna uppför sig vid en slip-catch-situation, vilka krafter och kraftriktningar dessa utsätts för samt vilka krafter som överförs till åkaren.
- Undersöka existensen av individrelaterade riskfaktorer vilka påverkar utfallet vid ett ACL-skadetillbud, identifiera faktorerna samt utreda deras betydelse vid ett ACL-skadeförlopp.
- Identifiera de största riskfaktorerna för uppkomsten av en ACL-skada samt utreda huruvida dessa riskfaktorer kan påverkas inom de tidsmässiga, ekonomiska och tekniska ramarna vilka begränsar detta projekt.
- Utvärdering av framtagna förslag vilka, enligt lösningsmetoden och framtagna fakta om skadans natur, på ett tillfredsställande sätt uppfyller syftet med projektet.

1.2.3 Krav

För att en lösning skall anses vara godtagbar inom ramarna för projektet måste förslaget uppfylla följande krav:

- På goda grunder antas förebygga ACL-skador. Detta är huvudsyftet med projektet och är därmed av största vikt.
- Medföra mindre total skaderisk. Lösningsförslaget för förebyggande av ACL-skada får inte leda till ökad risk för annan skada på åkaren av lika allvarlig eller allvarligare natur.
- Användarvänlighet. En för användaren alltför komplicerad lösning riskerar att undvikas av användaren och på så sätt misslyckas med att uppfylla sitt syfte.
- Opåverkad åkkvalitet. Lösningen får inte reducera åkkvaliteten för användaren till den grad att tillämpande av lösningen undviks.
- Robusthet. Lösningen måste kunna funktionera i för skidåkning avsedd miljö. Detta innefattar även visst skydd eller tolerans för påbyggnad av snö eller is.

1.3 Avgränsningar

- Endast ACL-skador som uppstår vid en slip-catch-situation kommer beaktas i detta projekt.
- Utredning av de yttre omständigheternas, såsom underlagets och sikstens, betydelse för uppkomsten av en slip-catch-situation samt hur dessa påverkar skademekanismen kommer ej att genomföras.
- Vid anatomiska analyser av knän innan och under en slip-catch-situation beaktas endast knän utan tidigare känd skada.

1.4 Metodöversikt

Utförandet av detta arbete bestod inledningsvis utav en förundersökning där nödvändig kartläggning genomfördes. Knäts anatomi, fysiologi och biomekanik analyserades, likaså lastfallet slip-catch samt befintlig skidutrustning. Med förundersökningen som beslutsunderlag kunde arbetets fokusområde bestämmas. Lämpligt

fokusområde erhöjls genom utvärdering av vilken del av skidutrustningen som visade störst potential till förbättring med avseende på förebyggande av ACL-skador.

Vidare påbörjades en konceptutvecklingsprocess anpassad till fokusområdet. Inledningsvis genomfördes en idégenerering följt av en konceptgenerering och koncepteliminering. De koncept vilka ansågs ha störst potential att lösa problemet valdes sedan ut som slutgiltiga lösningar. Avslutningsvis skapades digitala 3D-modeller i ett lämpligt CAD-program, detta för att illustrativt visa lösningarna och skapa detaljritningar av koncepten.

1.5 Disposition

Rapporten inleds med att projektets bakgrund, syfte, avgränsningar och metodöversikt presenteras. I kapitel 2, Teori, redogörs för teori vilken har tagits fram genom en litteraturstudie. Kapitlet berör bland annat knäts anatomi och biomekanik, förklaring av skademekanismen slip-catch samt fakta om skidutrustning och sensorer. Tillvägagångssättet för projektets produktutvecklingsfas samt framtagning av lösningsförslag presenteras i kapitel 3, Genomförande. Vidare, i kapitel 4, Resultat, presenteras de valda koncepten. Efter resultatet följer ett kapitel med diskussion kring valda koncept samt hurvida projektets mål uppnåtts, kapitel 5. Rapportens sista kapitel innehåller projektets slutsats.

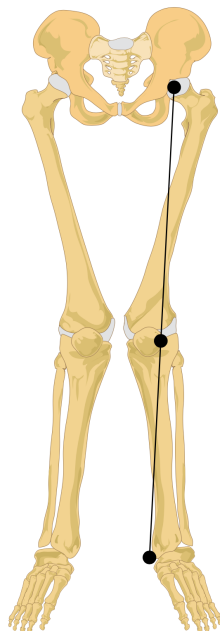
2

Teori

Teorikapitlet innehåller grundläggande teori för projektet. Kapitlet inleds med grundläggande anatomi och biomekanik för ett skadefritt knä, detta för att ge läsaren en bakgrund till, samt förståelse för ACL-skadan. Mer omfattande teori finns i appendix B. Vidare förklaras lastfallet slip-catch samt de krafter vilka verkar i samband med denna situation. Kapitlet redogör för existerande skidutrustning samt befintliga lösningar som specifikt avser att minska andelen knäskador. Då sensorer är en central del av lösningsförslagen avslutas kapitlet med en genomgång av elektronik innehållande en beslutsalgoritm.

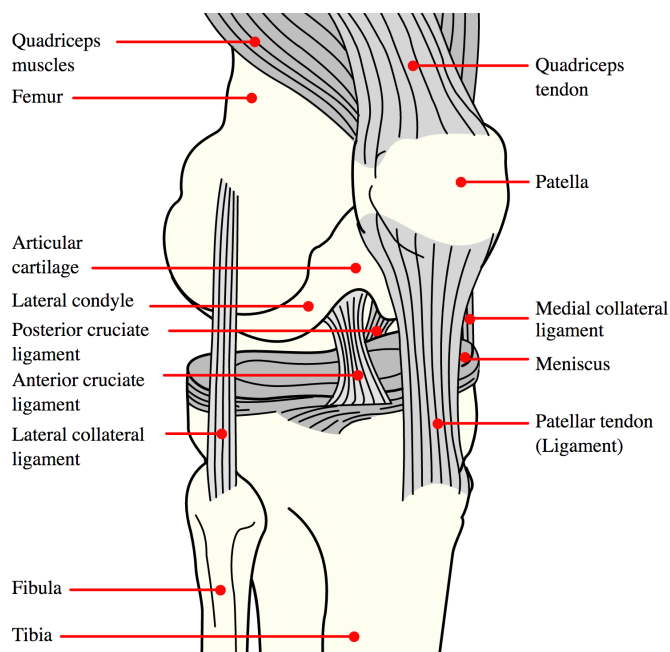
2.1 Anatomi

Knät förbinder nedre delen av femur, lårbenet, med övre delen av tibia, skenbenet, och patella, knäskålen. Knät är ett samlingsnamn för bland annat knäleden, knäts ligament, och kringliggande muskulatur.



Figur 2.1: Figuren illustrerar ett fall av valgus på båda benen. Den svarta linjen visar hur knät är vinklat i vanliga fall. (LadyofHats, Jecowa, Stündle 2011.). CC0. https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGenu_valgum.svg

Enligt Aspenberg (2013) är ligament uppbyggda av bland annat kollagenspiraler och elastinfibrer. Kollagenspiralerna är långa fiberbuntar vilka bidrar till stabilitet och styrka i bindväven. Elastinfibrer drar ihop kollagenspiralerna när senan är obelastad. Bojsen-Møller (2000) skriver om knäts fem stora ligament. Det är patellar ligamentet vilket fäster mellan patella och tibia, medial och lateral collateral ligamenten (inre och yttre sidoledbanden) samt anterior och posterior cruciate ligamenten (främre- och bakre korsbanden, ACL och PCL). Det inre sidoledbandet motverkar valgus, även kallat adduktion av knät, vilket är ett fall när knät är vinklat inåt medialt, se Figur 2.1. Det yttre sidoledbandet motverkar varus, även kallat abduktion av knät, när knät är vinklat utåt lateralt.



Figur 2.2: Figuren visar anatomin hos ett högerknä. (Mysid, 2011). CC0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AKnee_diagram.svg

Korsbanden fäster mellan tibia och femur. Den proximala änden av det främre korsbandet fäster på medialsidan av den laterala femurkondylen och den distala änden fram på tibia. Det bakre korsbandet är kraftigare än det främre och fäster bak på tibia och på lateralsidan av den mediala femurkondylen. Namnen på korsbanden baseras på vart på tibia de fäster samt att de korsar varandra, se Figur 2.2 (Bojsen-Møller, 2000). Korsbandens funktion är att ge rotationsstabilitet till knäleden samt att ACL motverkar rörelsen då tibia skjuts fram i förhållande till femur (Dargel et al., 2007).

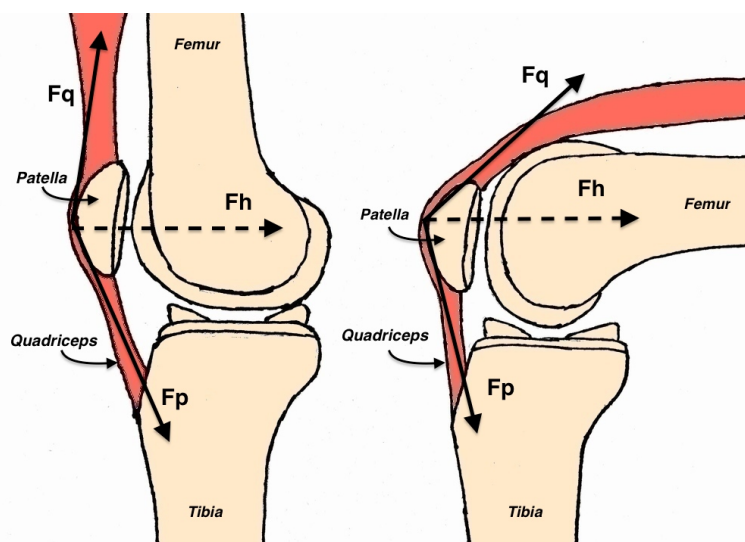
Låret har en främre och en bakre muskelgrupp. Den främre muskelgruppen består bland annat av quadriceps vilken är kroppens största muskel. Quadriceps proximala delar fäster på bäckenet och högt upp på femur och de distala fäster på tibia via knäskålen. Muskeln sträcker benet och den del som fäster i bäckenet bidrar även till flexion av höften. Musklerna i lårets bakre del fäster proximalt utspritt på bäckenet

och distalt ner på bakre sidan av femur och tibia. Muskelgruppen har samlingsnamnet hamstringsmuskulaturen. Musklerna extenserar höftleden och flexerar knäleden (Bojsen-Møller, 2000). Gluteus-muskulaturen, även kallad sätesmuskulaturen fäster proximalt på höftbenet och distalt på femur. Muskeln består av tre delar, gluteus minimus, gluteus medius och gluteus maximus. Dessa tre bidrar till höftens inåt- och utåtrotation, abduktion och adduktion samt extension (NE, 2017a).

2.2 Knäts biomekanik

Biomekanik kan definieras som mekaniska problem vilka kan appliceras på biologiska system. I detta sammanhang är det vilka krafter som verkar på muskel-skelettsystemet i människokroppen, och hur de fungerar när kroppen är i rörelse respektive i vila (Reikerås, O., 2009). Biomekaniken i en led omfattar dennes geometri samt dess dragegenskaper, således knäts rörelsesomgång samt hur mycket belastning det tål. Biomekaniken som presenteras i detta avsnitt avser ett friskt knä utan skador.

Knät rör sig kring de transversala och de vertikala axlarna, och utgör det som benämns flexion, extension och rotation. Ligamenten har en viktig roll då de stabiliserar leder. Om tibia utsätts för en inåtrotation, tvinnas korsbanden om varandra och spänns, medan sidobanden stannar rörelsen i motsatt riktning. "Korsbånd og sidebånd hindrer aktiv abduksjon og adduksjon i kneleddet og motvirker hyperekstension." (Dahl, H., Olsen, B., Rinvik, E. 1976, s.156). Enligt Escamillo, Macleod, Wilk, Paulos, Andrews (2012) är ACL mer belastat vid flexion av knät inom intervallet 10° - 50° än vid 50° - 100° .



Figur 2.3: Figuren visar krafter vilka verkar på ett skadefritt knä. Författarnas egen bild.

Krafterna i knät är de samma oberoende av om knät är böjt eller sträckt, men det är skillnad på hur starka de är. Contreras (2010) menar att det är två huvudkrafter

som verkar på knät och påverkar ACL, F_q (kraft quadriceps) och F_p (kraft patella), se figur 2.3. Då quadriceps är kroppens starkaste muskel (Kenhub, 2017) leder detta till att kraften F_q är stark och att den får en hävarm som motsvarar det horisontella avståndet mellan patella och quadriceps fäste i tibia. För att kompensera för denna kraft, vilken bidrar till att tibia glider framåt i förhållande till femur, är det viktigt att ha starka hamstringsmuskler. Kontraktion av hamstringsmusklerna vilka fäster bak på tibia motverkar glidningen. ACL är fäst fram på tibia och på medialsidan av den laterala femurkondylen, infästningen gör att ACL sträcks så tibia glider framåt. Det är också viktigt att ha starka gluteusmuskler då de förhindrar valgus, vilket förlänger och påfrestar ACL (Contreras, 2010).

2.3 ACL-skador

Skador på ACL är vanligt förekommande vid aktiviteter som innebär abrupta starter och stopp, snabba riktningsförändringar och landning.

2.3.1 Ruptur av ACL

Enligt Orthopaedic Research Society (ORS, 2012) klarar ACL i de flesta fall av en främre skjuvning av tibia i förhållande till femur, valgus av knät eller inre rotation av tibia var för sig. Däremot ökar skaderisken drastiskt vid en kombination av dessa faktorer.

En ACL-skada kan antingen ske genom att ligamentet slits av helt eller delvis, en total eller delvis ruptur. Vid en delvis ruptur sträcks ACL ut så pass långt att delar av det förlorar sin elasticitet, det går då inte tillbaka till sin normala längd. Vid total ruptur av ACL får knät en abnorm rörelse i sagittalplanet. Tibia kan då glida längre fram i förhållande till femur än i normala fall. Då ACL sitter ihop med menisken och brosk kan dessa också skadas vid en ruptur av ACL. Även andra närliggande ligament kan skadas eftersom knäts stabilitet minskas.

2.3.2 Individrelaterade riskfaktorer

Knäts förmåga att ta upp krafter utan att en ACL-skada sker beror på många faktorer såsom styrkan i musklerna vilka stabiliserar upp knät, tröttheten i de stabiliserande musklerna och åkarens kroppsbyggnad. Enligt Brown (2009) löper en åkare med tidigare skada på sitt ACL störst risk för framtida ACL-skador. Brown skriver även att skaderisken generellt sett är högre för kvinnor än för män på grund av en skillnad i vinkeln från bäckenet till knät vilket medför högre påfrestning på ACL.

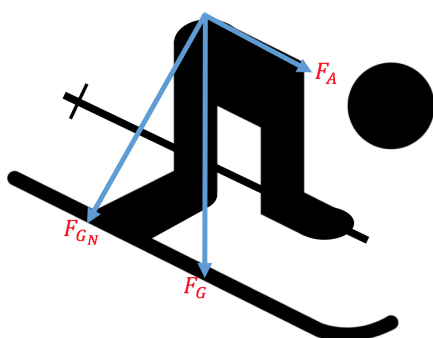
Enligt Niiler (2016) är det stor skillnad på antalet ACL-skador i det dominanta och det icke-dominanta knät med mycket högre risk att skada det icke-dominanta knät.

Detta visar att liksidig träning är viktigt och att muskelmassa är betydande för att förhindra en ruptur av ACL.

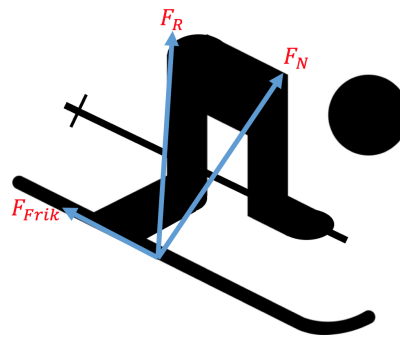
Westin (2015, s. 1) skriver; ” En familjehereditet, där skidåkaren antingen har en far och/eller mor med en främre korsbandsskada, ökade risken för denna skidåkare att ådra sig en främre korsbandsskada.” Detta visar att dessa åkare har stor nytta av en skadepreventiv produkt mot ACL-skador.

Vidare är åldern en riskfaktor enligt Woo, Hollis, Adams, Lyon och Takai (1990, s.222) vilka gjort en studie på bland annat brottlasten på ACL på 27 par kadaverk-nän från människor. Studien visar att de yngre personernas ACL kan klara mycket högre krafter på sin ACL. Äldre personer har därmed större nytta av en skadepreventiv produkt mot ACL-skador.

2.4 Krafter vid alpin skidåkning



Figur 2.4: Gravitationskraften på åkaren samt dess komponenter. (Pixabay, 2017). CC0. <https://pixabay.com/en/skiing-sport-downhill-winter-ski-2027087>



Figur 2.5: Reaktionskraften från marken samt dess komponenter. (Pixabay, 2017). CC0. <https://pixabay.com/en/skiing-sport-downhill-winter-ski-2027087>

Alpin skidåkning är en dynamisk sport där flera olika yttre krafter påverkar åkaren. Huvudsakligen är det gravitationskraften vilken verkar på åkarens masscentrum i riktning mot jordens mittpunkt. Gravitationskraften, F_G , se figur 2.4, kan i en skidbacke vidare delas upp i två komponenter; en kraft vinkelrätt mot backen, F_{GN} , och en parallellt med backen, F_A . Kraften parallellt med backen bidrar till att generera en acceleration medan den vinkelräta kraften trycker åkaren mot snön och på så sätt genererar en normalkraft. I motsatt riktning från gravitationskraften verkar en reaktionskraft från snön, F_R , se figur 2.5. Denna delas upp i normalkraften, F_N , samt reaktionskraften, F_{Frik} , vilken är en friktionskraft som är riktad motsatt åk-riktningen parallellt med underlaget och försöker hindra åkaren från att åka nedåt. Ju större lutning skidbacken har, desto större blir accelerationskraften och desto

mindre blir friktionskraften. Eftersom friktionen mellan skida och snö generellt är liten är reaktionskraften i stort sett riktad vinkelrätt från backen.



Figur 2.6: Reaktionskraftens uppdelning vid en sväng. Författarnas egen bild.

Vid en sväng kan reaktionskraften delas upp i ytterligare två krafter, se Figur 2.6. Dels en normalkraft vilken verkar mot gravitationskraften och dels en kraft vilken verkar till mittpunkten av svängen, centripetalkraften, $F_{centripetal} = \frac{mv^2}{r}$. Hastigheten är här den viktigaste faktorn då centripetalkraften ökar kvadratisk mot hastigheten. Centripetalkraften är den kraft vilken åkaren måste generera för att hålla sig kvar i cirkelbanan. Åkarens lutning mot underlaget in i en sväng påverkar svängradien och därmed storleken på centripetalkraften. Ju mer åkaren lutar, desto mindre radie får svängen. Vid en viss hastighet och 30° lutning i en sväng har åkaren 1.2 G-krafter vilka verkar på kroppen medan vid 40° lutning, som många elitskidåkare är lutade, måste åkaren utstå 2.5 G-krafter vid samma hastighet (Kramer, 2015).

2.5 Slip-catch-situationen

I detta avsnitt beskrivs först ett specifikt slip-catch-fall, sedan följer en generell analys av skadesituationen slip-catch. Sist ges en förklaring till biomekaniken vid slip-catch-situationen.

2.5.1 Specifikt fall av slip-catch

En slip-catch-situation är en skadesituation inom alpin skidåkning där knät skadas. I en rapport av Bere et al. (2013) analyseras två slip-catch-situationer genom videoanalys. Dessa två situationer leder till ruptur av ACL. Analyserna genomfördes med hjälp av model based image matching där en skelettmodell av åkaren skapats

i ett datorprogram för att studera tibias rörelse i förhållande till femur. En av slip-catch-situationerna som analyseras ägde rum på en slalomtävling i världscupen 2007, åkaren var en 29-årig man. Videoanalysen gjordes under de 640 millisekunder (ms) där slip-catch-situationen sker och situationen kan beskrivas på följande sätt:

- Slip-catch-situationen inleds med att åkaren får bakvikt på grund av att han är sen in i en sväng. Detta medför att han försöker genomföra nästa sväng på innerskidan. I svängningsfasen strax efter fallinjen är åkaren ur balans inåt och bakåt. I detta läge tappar ytterskidan helt snökontakten.
- En extension av åkarens yttre knä sker när åkaren försöker återfå snökontakten med ytterskidan.
- Extensionen gör att innerkanten på åkarens ytterskida abrupt får grepp i snön. Skidans bakre del greppar först och inom de nästa 60 ms ökar skidans kontakt med snön. Åkarens yttre ben får här en ökad inre rotationen av tibia och valgus på knät.
- 60 ms efter att ytterskidan får kontakt med snön påbörjas intervallet där skidan sker. Skadeintervallet påbörjas när snökontakten når centrum av skidan. Då flekterar knät kraftigt i sagittalplanet från 26° till 63° . Samtidigt sker en ytterligare inre rotation av tibia där den maximala rotationen på 12° uppnås. Valgus av knät ökar gradvis och den maximala valgusvinkeln på 13° uppkommer 80 ms efter att den maximala inre rotationen av tibia sker.
- Efter att rupturen av ACL sker faller åkaren bakåt åt sidan nedåt i backen, i detta skede är båda skidorna luftburna. Skidorna löser ej ut i detta skadefallet.

2.5.2 Generellt fall av slip-catch

Efter noggrann undersökning av olika slip-catch-situationer inom alpin skidåkning samt med bakgrund i situationen ovan vid ett specifikt fall kan en generell analys av slip-catch-situationen beskrivas. Vid benämningen alpin skidåkning i detta fall utgås det ifrån att åkaren har hög hastighet och i sväng har stor vinkel mellan skidans undersida och underlaget. En generell analys gör det lättare att förstå skadesituationen och underlättar produktutvecklingsfasen.

- En slip-catch-situation börjar då åkaren hamnar ur balans inåt och/eller bakåt i en sväng. Åkaren tappar därmed greppet på ytterskidan vilken i och med detta glider iväg åt sidan från åkarens centrum. Ytterskidan förlorar helt eller delvis snökontakten.
- För att återfå balansen sträcker åkaren ut benet mot snön. Det utsträckta benet gör att innerkanten på bakre delen av ytterskidan abrupt återfår trycket mot underlaget. Detta leder till att ytterskidan får en liten rotation inåt i svängen eftersom skidan fungerar som en hävarm och för att skidan har en stor vinkel mot underlaget. Detta leder i sin tur till en inre rotation av tibia. Eftersom åkaren pressar ytterskidan, som befinner sig långt från åkarens centrum, ned mot snön utsätts knät för valgus. Valgus fås på grund av att normalkraften från underlaget mot skidan pressar foten upp samtidigt som

åkaren pressar ned benet.

- Trycket mot snön ökar gradvis och när trycket når centrum av skidan så börjar skidan svänga snabbt på grund av dess utformning. Detta medför kraftig inre rotation av ytterbenets tibia, rotationen når sin topp under denna del av slip-catch-situationen.
- När trycket mot snön ökar så ökar det vertikala trycket och tvingar därmed knät att böjas kraftigt i sagittalplanet. Valgus sker gradvis under hela slip-catch-situationen. Troligtvis sker en delvis eller total ruptur av ACL under denna fas av skadeförloppet. Detta på grund av samverkan mellan flexion av knät, inre rotation av tibia och valgus. Det är ytterst sällan som skidan löser ut eftersom att krafterna på bindningen framförallt verkar i de riktningar där bindningen saknar frihetsgrader.

2.5.3 Knäts biomekanik vid slip-catch

Knäts biomekanik kan, utifrån analyserna i avsnitt 2.5, se ut enligt följande. I början av en slip-catch-situation när en extension av åkarens knä sker är belastningen på ACL på ytterbenet liten eftersom skidan har ytterst liten eller ingen snökontakt. När ytterskidan sedan får snökontakt resulterar detta i att knät får en liten ökning av valgus vilket sträcker ACL något. På grund av att skidan får snökontakt först endast i bakkant så sker en liten ökning av inre rotation av tibia vilket leder till ytterligare utsträckning av ACL. En främre skjuvning av tibia, i förhållande till femur, på grund av kraften från quadriceps är möjlig men kan ej bekräftas i de fall som studeras i studien av Bere et al. (2013). Om främre skjuvning sker bidrar även detta till en ytterligare utsträckning av ACL.

Sträckningarna av ACL är troligtvis ej tillräckliga för att skada ACL. När skidan sedan automatiskt börjar svänga, tack vare dess timglasform, ökar den inre rotationen av tibia markant och ACL vrids och sträcks ut. Valgus i knät ökar också i detta skede och når sitt maximum och därmed så sträcks ACL ut ytterligare. Dessa faktorer tillsammans ger tillräckligt stor utsträckning av ACL för att en ruptur ska ske.

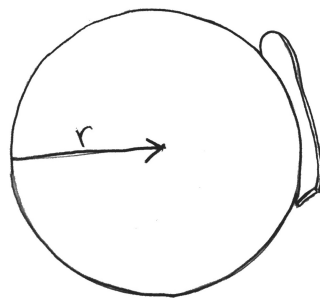
2.6 Skidutrustningen och dess uppförande vid slip-catch

För att kunna bedöma den befintliga utrustningen och hitta dess brister är det viktigt att förstå hur utrustningen fungerar. Därför följer en beskrivning av skidor, pjäxor, bindningar samt några befintliga lösningar med fokus på att förebygga knäskador.

Vid en slip-catch-situation påverkas kroppen av krafter och moment vilka överförs från skidorna. För att bättre förstå vad som sker under slip-catch-situationen undersöks skidan och bindningen separat.

2.6.1 Skidor

Dagens skidor består i sitt grundutförande av ett plastbelag omgärdat av stålkanter vilka glider mot snön. Ovan dessa ligger en sandwichkonstruktion av i huvudsak glasfiberduk med mellanliggande tråkärna, vilken bidrar med styvhet till skidan. Vissa modeller kan även substituera glasfiberduken mot kolfiberduk eller andra inlägg för ökad styvhet. Bindningen monteras i vanliga fall direkt på skidan eller i vissa fall, för att enkelt kunna ställa om bindningen, med en mellanliggande platta.



Figur 2.7: Figuren illustrerar förenklat skidans svängradie, vilken existerar tack vare skidans timglasform. Författarnas egen bild.

Skidorna varierar mycket i längd och skärningsmått, alltså skidans breddprofil. Längden och skärningsmåttarna avgör i sin tur skidans svängradie, se Figur 2.7. Enligt Kröll, Spörri, Gilgien, Schwameder, Müller (2016a) finns en koppling mellan en skidas svängradie och risken för ACL-skada. En skida med mindre svängradie, enkelt förklarat en skida som svänger snabbare, visade sig medföra en högre risk för åkaren att drabbas av en ACL-skada. Detta då en snabbt svängande skida medför snabbare rotation av underbenet avsett resten av kroppen om åkaren skulle förlora kontrollen och hamna i en slip-catch-situation.

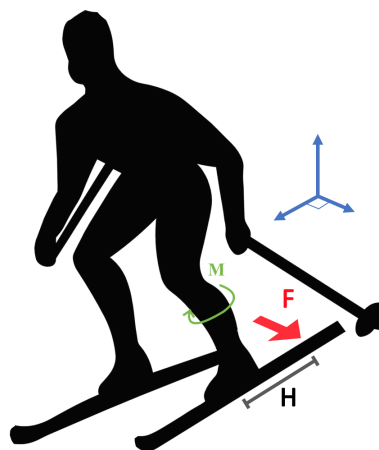


Figur 2.8: Figuren visar inre rotation av tibia på ett högerben. (Athikhun.suw, 2016).CC BY-SA.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Leg_and_foot_anterior.svg

Att skidans svängradie kan kopplas till risken för ACL-skada stöds i den tidigare nämnda studien av Bere et. al. (2013). I de två fall som analyseras i denna studie ökar valgusvinkeln på åkarens ytterben under skadeförloppet vilket är en stark bidragande faktor till ACL-skadan. Resultaten visar även att inre rotation av tibia är en bidragande faktor till ACL-skada vilket enligt studien sker vid slip-catch genom två mekanismer:

Den första mekanismen handlar om skidans egenskaper. När en skida med svängradie belastas på innerkanten kommer skidan automatiskt vilja styra inåt i svängen. Om åkaren är i balans när detta sker kan åkaren följa skidans väg utan att tappa kontrollen och skada sig. Är åkaren däremot i obalans kan åkarens masscentrum inte följa skidan vilken svänger inåt och tvingar knät till flexion och inre rotation av tibia, se figur 2.8.



Figur 2.9: Krafter som uppstår vid ett slag bak på skidans insida. Pilen F visar belastningen bak på skidans insida, H symboliserar hävarmen och M symboliserar momentet runt tibia. (Pixabay, 2012). CC0.

<https://pixabay.com/en/skier-silhouette-ski-ice-sports-34973/>

Om belastningen på skidans innerkant verkar bakom pjäxans läge kommer den andra mekanismen att spela roll, se figur 2.9. Skidan kommer då att fungera som en hävarm för belastningen bak på skidans insida och inre rotation av tibia uppstår. Om åkarens tyngdpunkt, och därmed belastningen på skidan, är placerad långt bakom pjäxans läge bidrar detta till en lång hävarm och därmed kraftigare inre rotation av tibia.

Värt att notera gällande skidans svängradie är dock att större svängradie generellt sett medför att åkaren tillåts erhålla större mängd kinetisk energi. Denna energi kan öka risken för skador i fallet att åkaren tappar kontrollen (Kröll et al., 2016b). Det bör dock tilläggas att en ökning av kinetisk energi inte garanterar ACL-ruptur. ACL-rupturen uppkommer då knät har en extraordinär vinkel, det krävs då endast en liten kraft från skidan för att skadan ska ske.

2.6.2 Pjäxor

Dagens hårda skidpjäxor kan ses som en åtgärd till de problem som deras föregångare hade. Den moderna skidpjäxans föregångare, läderpjäxan, var i praktiken en låg och relativt mjuk känga. Denna pjäxa var för instabil för att stödja upp skidåkarens fot och underben vid alpin skidåkning, med följden att underbensbrott och stukade fotleder var vanligt förekommande skador. För att åtgärda detta problem gjordes skidpjäxorna successivt högre samt tillverkades i hårdare material. Denna förändring till dagens pjäxor är den förändring av utrustningen vilken mest bidragit till ökningen av ACL-skadorna. När läderpjäxorna byttes ut mot styva plastpjäxor flyttades skaderiskzonen uppåt längst benet till knät. Detta har lett till att ACL skadas i många skadesituationer, till exempel slip-catch, istället för ankelleden eller underbenet.

De skidpjäxor som finns på marknaden idag består i princip av två huvuddelar. En mjuk innersko vilken omsluter foten samt ett ytterskal i hårdplast vilken omsluter innerskon. Innerskon har som syfte att bygga upp en bra grundposition för foten i pjäxan. Den skall även avlasta foten och underbenet för att motverka smärtsamma tryckpunkter vilka kan uppstå då det hårda ytterskalet spänns åt hårt runt fot och underben. Ytterskalet har som syfte att hålla fast innerskon samt att på ett effektivt sätt koppla ihop bindning och pjäxa. Detta för att genom sin styvhet medge en effektiv krafttransmission mellan åkare och skida.

Dagens pjäxor ser principiellt likadana ut som pjäxor gjorde när den första hårdplastpjäxan lanserades. Pjäxorna saknar design för att motverka knäskador bortsett från standardiserade mått på klackarna på pjäxans häl och tå, samt standardiserade sulor. Dessa standardiserade mått och sulor syftar till att ge brukaren möjlighet att använda sina skidpjäxor i skidbindningar av olika märken. De olika standarderna på sulorna ger brukaren information huruvida pjäxan är kompatibel med en viss typ av skidbindning.

2.6.3 Bindningar

Den bindningstyp vilken analyseras i denna rapport kallas för säkerhetsbindning och är den mest använda typen av bindning på marknaden idag. Andra bindningstyper förekommer också, så som turbindningar. Turbindningar är uppbyggda av andra komponenter, har en annorlunda utlösningmekanism samt användningsområde, varför detta arbete ej fokuseras dessa.

Hur hårt bindningen ska sitta mot pjäxan, och då även hur mycket kraft som måste appliceras för att pjäxan ska lossna, avgörs av dess DIN-inställning. DIN står för Deutsches Institut für Normung (Tyska institutet för standardisering) (Mechanics of sports, 2017). Skalan går vanligtvis från 1-18 för kommersiellt bruk och beräknas utifrån åkarens vikt, längd, åkstil, ålder och pjäxstorlek.

2.6.3.1 Bindningens uppbyggnad

Bindningen består utav en tådel samt en häldel. De båda delarna verkar för att vertikalt hålla pjäxan mot skidan, samt förhindra att pjäxan rör sig horisontellt fränsett skidan, detta gäller så länge inte utlösningmekanismen triggas. I tådelen sitter två vingar, under vilka pjäxans tåklack spänns in. Vingarna är fästa i tådelens huvuddel. I huvuddelen finns en fjäder vilken spänns åt med en spännskruv placerad på huvuddelen. Denna fjäderspänning bestämmer vilken kraft som behöver appliceras för att vingarna skall röra sig ur sin ursprungsposition, vilket utgör den främre DIN-inställningen. Ovanpå huvuddelen sitter en indikator, vilken visar vilken DIN bindningen är inställd på.

Under infästningspunkten för pjäxans tådel sitter en mekanism, bindningens Anti Friction Device (AFD), vilken minskar friktionen mellan pjäxans sula och bindningens infästningsplatta. Syftet med denna mekanism är att överföra kraften från pjäxan till tådelens vingar, och inte till bindningens infästningsplatta. Mekanismen är även tänkt att underlätta för pjäxan att glida horisontellt då tådelens utlösningmekanism triggas. Denna mekanism går att bygga upp på olika sätt och kan därför skilja sig mellan bindningstillverkare. En typ av konstruktion som finns på marknaden är en inkorporerad fjäderbelastad platta, vilken rör sig horisontellt tillsammans med pjäxan. AFD kan också byggas upp utav endast en metallyta med låg friktionskoefficient. De flesta bindningarna har även rullar på insidan av tådelen, detta för att ytterligare försäkra att pjäxan lossnar från bindningen vid utlösning.

2.6.3.2 Bindningens utlösningmekanism

Pjäxan löser ut från bindningen via två frihetsgrader. Pjäxan kan vridas i horisontalldå kraft appliceras på tådelens vingar, dessa roterar då utåt vilket gör att pjäxan lossnar. Axeln, vilken pjäxan roterar kring, är då placerad i hälen. Pjäxan kan även lösas ut genom att luta framåt, häklacken pressas då vertikalt mot bindningens häldel vilket gör att hävarmen trycks uppåt och pjäxan lossnar vertikalt (Mechanics of sports, 2017).

Det finns en specifik ISO-standard, ISO 9462:2014, vilken beskriver de viktigaste egenskaperna hos en skidbinding. ISO-standarderna specificerar även de moment som skall leda till att bindningen löser ut, vilka ges i förhållande till längden på sulan och DIN-inställningen. Med hjälp av denna standard kan man utforma bindningar vilka med större tillförlitlighet löser ut vid rätt tillfälle.

2.6.3.3 Bindningens uppförande vid slip-catch

Vid onormal vridning är det skidbindingens uppgift att frigöra pjäxan från skidan. Vid en slip-catch-situation sker däremot detta normalt inte. Vid en slip-catch-situation är det främst sidokrafter som inverkar vilket betyder att det är tådelen som försöker lösa ut. Belastningen vilken anbringas på ytterskidan när skidan får fäste igen hamnar däremot ofta inte tillräckligt långt bak på skidan för att ett till-

räckligt stort moment ska genereras runt häldelen på bindningen. Detta leder till att bindningen inte löser ut och pjäxan sitter kvar på skidan vilket ofta leder till skada (Newschoolers, 2015).

2.6.4 Befintliga produkter vilka ämnar motverka ACL-skador

Dagens säkerhetsbindningar med ovannämnda frihetsgrader i tå- och häldel syftar till att motverka ben- och knäskador, och därigenom även ACL-skador. Bindningars befintliga frihetsgrader har dock svårt att hantera laster vilka appliceras på specifika positioner längs skidan, bland annat de laster vilka uppstår i en slip-catch-situation. Försök har gjorts av vissa bindningstillverkare att införa en vertikal frihetsgrad i bindningens tådel, dock utan större kommersiellt genomslag. Detta gör att deras förmåga att minska ACL-skador vilka uppkommer i en slip-catch-situation är svår att utreda.

Den lösning vilken i dagsläget uppvisar störst potential i försöken att motverka ACL-skador är framtagen av skidbindningsföretaget Kneebinding. Deras lösning bygger på att tillåta pjäxan att rotera inåt ut ur bindningens häldel, och på så sätt ge bindningens häldel ytterligare en halv frihetsgrad. Detta är en helt mekanisk lösning som patenterades 2015 (U.S. Patent No. 2671743, 2015). Enligt företaget fungerar denna lösning, men den är inte utvecklad specifikt för att motverka skador vid en slip-catch-situation.

Ytterligare en lösning på marknaden är bindningsmodellen Kingpin framtagen av bindningsföretaget Marker. Modellen är ingen traditionell säkerhetsbindning, utan går in under segmentet turbindningar. Detta medför att Kingpin testas för ISO-standard 13992:2007, där både horisontell och vertikal utlösning sker i hälen, vilken skiljer sin från ISO-standard för säkerhetsbindningar. Skillnaden mellan Kingpin och andra turbindningar är att den använder sig av vad som närmast liknar en traditionell säkerhetsbindnings häldel, vilket gör häldelen kompatibel med en vanlig pjäxa. Detta är intressant då möjligheten till rotation av häldelen på bindningen medför att den kan kombineras med en vanlig bindningstådel. Häldelen har även en traditionell vertikal frihetsgrad. Den horisontella utlösningen sker mekaniskt genom en fjäderbelastad cylinder positionerad mellan två triangelformade block. Då häldelen utsätts för ett moment runt sin vertikalaxel vill cylindern åka upp längs blockens sidor men möts då av en ökande mothållande kraft från fjädern.

2.7 Sensorer och befintliga produkter innehållande sensorer

Sensorer mäter ändringen av fysikaliska storheter och gör om mätvärdena till en annan storhet, ofta till elektriska signaler (NE, 2017g). I kapitel 3 presenteras produktkoncept bestående av sensorer vilka fästs på skidåkarens kropp och utrustning i syfte att identifiera en slip-catch-situation. Teori om sensorer och befintliga sensorlösningar presenteras därför.

2.7.1 Olika slags sensorer

2.7.1.1 Töjningsmätare

En töjningsmätare mäter längdförändring hos en elastisk kropp. Ett ledande material fästs på kroppen och genom att mäta resistansen, vilken förändras vid deformation, så kan deformationens storlek bestämmas (NE, 2017b).

2.7.1.2 Accelerometer

En kropp vilken är i icke konstant rörelse upplever acceleration, vibrationer och stötar. En accelerometer mäter nämnda storheter och ger en förståelse för uppförandet och de dynamiska egenskaperna hos objektet. Metoden bygger på att kraften på en provkropp med känd massa mäts och genom accelerationslagen kan accelerationen beräknas (NE, 2017c).

2.7.1.3 Gyroskop

En gyrosensor används för att bestämma en vinkel eller vinkelhastighet hos en kropp relativt ett givet referensvärde. En accelerometer kan inte skilja på tyngskraften och acceleration i olika riktningar. Det är därför bra att kombinera en accelerometer och ett gyroskop vid kartläggning av rörelse. Denna kombination av sensorer kallas tröghetssensorer (Barbour, 2014).

2.7.1.4 Tryckmätare

En trycksensor består ofta av ett elastiskt element vilket deformeras då det utsätts för belastning. Trycket omvandlas sedan till en elektrisk signal (NE, 2017d).

2.7.1.5 Magnetometer

En magnetometer är en anordning vilken mäter elektriska fält och magnetiska egenskaper. Eftersom jorden har ett magnetfält kan en magnetometer användas som en kompass och en absolut referens (NE, 2017e).

2.7.1.6 Momentgivare

En givare vilken mäter moment kring en axel. Momentgivare kan mäta rotation både motsols och medsols (Geotech, 2017).

2.7.2 Befintliga produkter innehållande sensorer

Det finns flera produkter på marknaden där sensorer fästs på kroppen eller utrustningen för att detektera rörelser och krafter. Dessa används inom idrott för mätning och analys av prestation, men också i medicinska applikationer, vid filminspelning, e-sport, spelutveckling med mera.

I samarbete med bland annat den välkända skidutrustningstillverkaren Rossignol har företaget Piq lanserat en produkt med sensorer, vilken fästs på pjäxan. Denna lösning samlar in data och ger åkaren feedback på sin åkning och därmed underlag till att förbättra sin teknik (Piq sports intelligence, 2017). Denna lösningen ger åkaren möjlighet att kunna analysera sin åkning genom att produkten analyserar krafter, fart, vinklar med mera. En sensor fästs bak på pjäxan och skickar signaler via Bluetooth till din smartphone där du med hjälp av en app kan analysera dina åk.

Produkten är en kombination av intelligenssystemet GAIA och sensorlösningen PIQ ROBOTTM. GAIA har i flera år analyserat tusentals atleter för att lära sig att känna igen olika typer av rörelser med hjälp av precisionen från sensorn PIQ ROBOTTM.

Carv är en annan produkt med sensorer som hjälper skidåkare att förbättra sin åkning. Sensorer i form av en sula mäter tryckfördelning under fötterna för att analysera åktekniken och i realtid ge feedback till åkaren (Carv, 2016). En accelerometer, ett gyroskop och en magnetometer finns även i varje sula för att ge information om pjäxans position och rörelse. Sulan är väldigt tunn, 1 mm, och påverkar därför inte åkglädjen. Sulan är kopplad till en extra del vilken fästs bak på pjäxan och innehåller batteri och sändare. Via bluetooth skickar sändaren signaler till åkarens smartphone där åkaren kan få feedback under och mellan åken (Carv, 2016). Sensorer i sulor används även i andra sammanhang där man vill ha en detaljerad bild över fotens rörelse (Svenska Dagbladet, 2014).

Sensorer och ledande polymerer har på senare tid utvecklats inom så kallade smarta textilier. Ledande polymerer är elektriskt ledande plaststrängar vars ledningsförmåga ändras vid fysisk påverkan. Smarta textilier är därmed klädesplagg där dessa plaststrängar har vävts in i tyget för att mäta spänningsskillnader och till exempel detektera kroppsrörelser. Produkter med smarta textilier har redan utvecklats, och har bland annat implementerats på knästöd. Forskare på University of Wollongong i Australien har utvecklat ett sådant knästöd innehållande sensorer till idrottare (Forskning&Framsteg 2002) (Mailkontakt med Julie Steel, professor i biomekanik vid University of Wollongong, 4 april 2017). Sensorerna är i form av en tygremsa vilken sträcker sig över framsidan av knät. Sensorerna mäter knäts flexionsvinkel och med hjälp av en ljudsignal meddelar knäskyddet idrottarna hur mycket de bör böja på benen vid landning från exempelvis ett hopp. Syftet är att lära idrottare hur de bör landa för att minska risken för ACL-skador.

NeuronMoCap är en produkt vilken identifierar rörelse, den består av små tröghetssensorer vilka fästs på kroppen. Varje sensor väger 1,2 gram och har måttet 12,5x13,1x4,3 mm (NeuronMoCap, 2017). Sensorerna innehåller ett treaxligt gyro-

skop, en treaxlig accelerometer och en treaxlig magnetometer. Mätvärdena når en dator via WiFi eller en USB-port. Systemet kan hantera mellan 1-32 sensorer. Den statistiska noggrannheten är +/- en grad för transversal- och sagittalaxeln och +/- två grader för vertialaxeln.

En annan produkt som finns på marknaden är Smartsuit PRO från Rokoko vilken är en trådlös kroppsdräkt. Den har 19 stycken inbyggda sensorer med måtten 9x30x50 mm och en hub vilken är 16x60x100 mm (Rokoko, 2017). Företaget Yost Labs har även de ett system för rörelsedetektering och analysering av ledvinklar bestående av gyroskop, accelerometrar och magnetometerar (Yost Labs, u.å.).

Forskargrupp Dokia et al. (2012) från Akita University i Japan har genom att använda tröghetssensorer utvecklat en metod för att beräkna ledvinklar hos skidåkare. Sensorerna fästs på överkroppen, nedre mage/rygg, längs benet samt på pjäxan. I en ryggsäck har åkaren en dator och ett batteripack. Enligt forskargruppen är det möjligt att beräkna ledvinklar för höft, knä, ankel och nedre mage/rygg hos skidåkaren med den framtagna metoden. Noggrannheten för systemet nämns inte i forskningsrapporten.

3

Genomförande

Kapitlet som följer består av en redogörelse för produktutvecklingsprocessen i vilken en idégenerering, konceptgenerering och koncepteliminering ingår. Kapitlet innehåller även ett avsnitt om kravspecifikationen som använts till konceptelimineringen.

3.1 Kravspecifikation

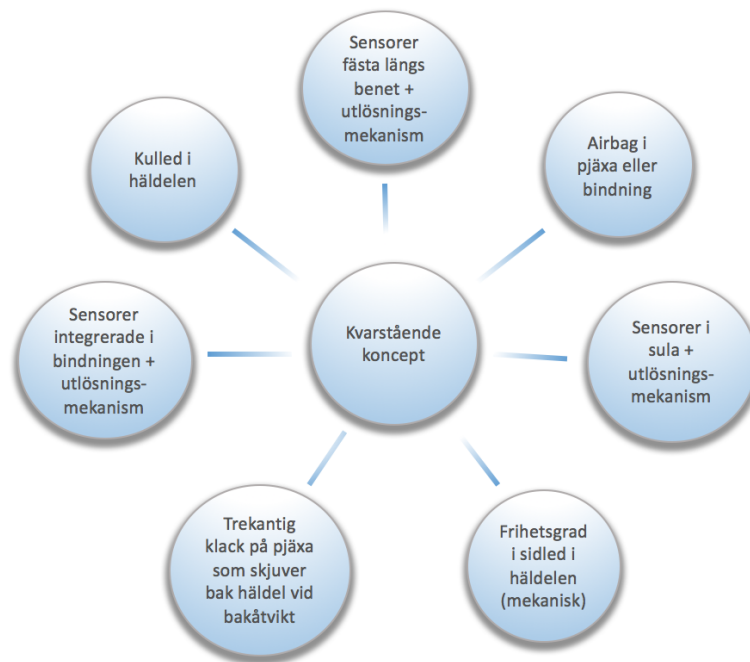
En kravspecifikation utarbetades för att specificera krav och önskemål för koncepten. Dess uppbyggnad består av kraven vilka framställdes inledningsvis i kapitel 1.2.3 krav, samt önskemål vilka tillkom under litteraturstudien. Kraven och önskemålen är uppdelade i fem huvudkategorier: huvudfunktioner, livslängd, användarvänlighet, robusthet och kostnader. Den fullständiga kravspecifikationen kan ses i appendix B.

3.2 Konceptframtagning

Efter att litteraturstudien genomfördes inleddes en idégenereringsfas. Gruppens medlemmar genererade i denna fas individuellt och i grupp fram dellösningar med syftet att minska andelen ACL-skador. Utgångspunkten i idégenereringen var att dellösningarna skulle motverka de skadefaktorer som identifierats i litteraturstudien, flexion av knät, valgus samt inre rotation av tibia.

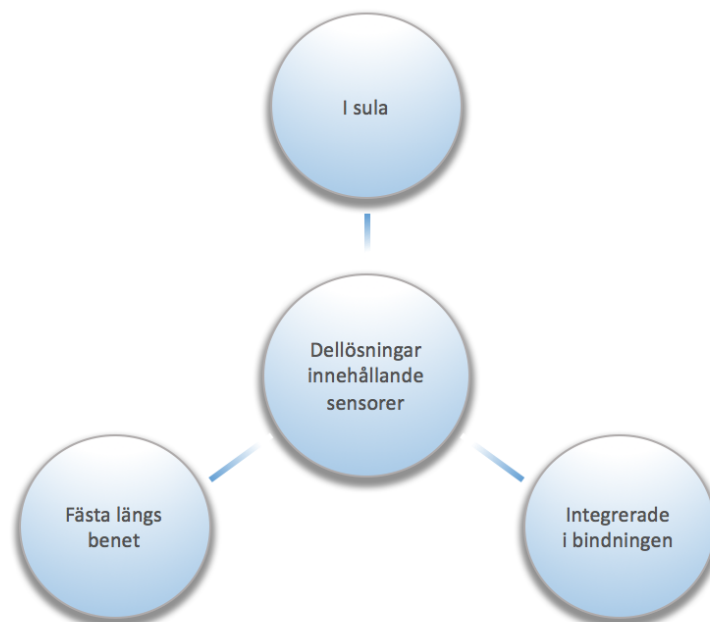
I nästa fas, konceptgenereringen, delades dellösningarna in i olika kategorier. Lösningar från olika kategorier kunde sedan kombineras för få ut konceptförslag. Bland annat kombinerades dellösningar med sensorer som detekterar skadesituationen, med utlösningmekanismer som frigör pjäxan från bindningen. Vissa dellösningar ansågs fungera utan att kombineras med andra.

Då flera konceptförslag tagits fram användes kravspecifikationen för elimineringsarbete. En elimineringsmatris togs fram och användes för att sälla bort de dellösningar vilka inte uppfyllde kraven från kravspecifikationen, se appendix A. Om en dellösning i ett koncept inte uppfyllde alla kraven valdes hela konceptet bort.



Figur 3.1: Ett urval av de kvarstående koncepten efter första elimineringen. Författarnas egen bild.

I figur 3.1 visas ett urval av de koncept vilka kvarstod efter elimineringsmatrisen. För närmare förklaring av de olika koncepten i figuren, se appendix D.



Figur 3.2: Möjliga placeringar av sensorer i en slutprodukt. Författarnas egen bild.

Figur 3.2 beskriver olika möjligheter för placering av sensorer. Lösningarna innehållande sensorer undersöktes noggrannare, och ytterligare en litteraturstudie ge-

nomfördes för att studera möjligheten att realisera dessa, se kapitel 2.7 Sensorer. Dellösningarna diskuterades med Petter Falkman och Jonas Fredriksson, docenter på institutionen för Signaler och System på Chalmers. P. Falkman (personlig kommunikation, 28 mars, 2017) och J. Fredriksson (personlig kommunikation, 4 april, 2017) vilka såg koncepten som tekniskt komplicerade och därigenom arbetskrävande, men realiserbara. Mailkorrespondens fördes även med Professor Julie Steel vid University of Wollongong (personlig kommunikation via email, 5 april 2017) och konsultation med Anja Lund, PhD, (personlig kommunikation, 7 april 2017) på Chalmers tekniska högskola för att diskutera möjligheterna till användning av sensorer längs benen. De ansåg att en sådan lösning har potential att fungera samt att dagens teknik tillåter en sådan lösning.

Pugh-och Kesselringmatriser vilka är vanliga steg i en produktutvecklingsprocess utfördes inte i detta projekt. I syfte att eliminera ytterligare koncept bestämdes det istället tillsammans med handledare Johan Davidsson att överläggning blev nästa steg. Överläggningen genomfördes med stöd från elimineringsmatrisen för att eliminera ytterligare koncept vilka inte säkert ansågs lösa problemet eller inte ansågs genomförbara. Besluten grundades även i diskussionerna med ovannämnda personer.

Efter andra elimineringsfasen kvarstod lösningar med sensorer kombinerade med en roterande utlösningmekanism i pjäxans bakdel som löser ut pjäxan horisontellt. Det beslutades att utlösningmekanismen på den slutliga produkten skulle vara en bindning vilken löser ut pjäxan genom en roterande häldel. Fem olika sätt att göra detta finns beskrivna i kapitel 4, Resultat. De olika utlösningmekanismerna modellerades med hjälp av CAD-programmet Catia v5 för att demonstrera deras funktion och design.

4

Resultat

I detta kapitel presenteras de viktigaste resultaten från litteraturstudien och konceptframställningen. De framtagna lösningsförslagen innefattar sensorer samt utlösningmekanismer. Avsnitten om utlösningmekanismerna innehåller teknisk beskrivning samt ritningar av dessa, medan avsnitten om sensorer består av redogörelse för möjliga placeringar av dessa.

4.1 Resultat av litteraturstudien

Litteraturstudien inleddes med en kartläggning av knäts anatomi. Efter denna kartläggning presenterades en biomekanisk utredning, vilken visade att ruptur av ACL vid skadesituationen slip-catch sker på grund av samverkan mellan flexion av knät, valgus och inre rotation av tibia. Graden av flexion av knät, valgus och inre rotation av tibia varierar från fall till fall. Ett viktigt resultat är att samverkan av dessa är vad som kan leda till en ruptur av ACL. Vid analys av skidans beteende vid en slip-catch-situation fastställdes att skidans utformning bidrar till att inre rotation uppkommer, detta sker då skidan återfår kontakt med snön. En annan bidragande orsak till inre rotation av tibia är när åkaren försöker återfå skidans grepp i snön och ett slag långt bak på skidans insidan sker.

Att bindningen ej löser ut vid de analyserade slip-catch-situationerna fastslogs som en bakomliggande faktor till uppkomsten av ACL-skadorna. Analysen av befintliga bindningar visade att anledningen till att dessa ej löser ut är att de endast har två frihetsgrader, en vertikalt i häldelen samt en horisontellt i tådelen.

Under litteraturstudien presenterades befintliga produkter vilka har som syfte att minimera antalet ACL-skador vid alpin skidåkning. Detta görs genom att en extra frihetsgrad införs i bindningens häldel. Produkterna är dock ej specifikt inriktade på att minska risken för ACL-skador vid slip-catch-situationer. De befintliga produkterna är rent mekaniska vilket potentiellt ökar risken att bindningen löser ut vid fel tillfälle. Avslutningsvis i litteraturstudien togs information om olika slags sensorer fram, samt information om befintliga produkter innehållande sensorer.

4.2 Resultat från konceptgenereringen

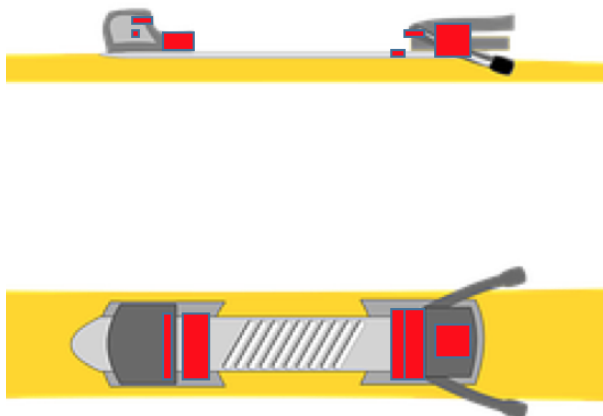
Efter undersökning av gruppens idéer och befintliga lösningar bestämdes det att den slutgiltiga produkten skulle bestå av en mekatronisk lösning med en kombination av sensorer och en utlösningmekanism. Det behövs då tas fram algoritmer som behandlar normal åkning samt kritiska fall utifrån data från sensorerna, samt avgöra när utlösningmekanismen bör aktiveras. Valet grundade sig främst på antaganden om säkerhetsrisker hos rent mekaniska lösningar. Vidare belägg för beslutet var förekomsten av flera befintliga lösningar, till exempel Carv och Piq, vilka forskar på och redan har lanserat produkter innehållande sensorer i skidutrustning. Dessa producenter har hittills utvecklat produkter för att öka åkglädje samt förbättra åkarens skidteknik. Teknikerna skulle däremot kunna vidareutvecklas för att detektera slip-catch-situationer och därigenom minska mängden ACL-skador.

De tre framtagna sensorförslagen omfattar sensorer fästa längs benet, sensorer integrerade i bindningen och sensorer i en sula mellan pjäxans skal och innersko. På grund av projektets tidsram utfördes ej en utförlig kartläggning av sensorer. Detta medför att gruppen ej med säkerhet kan avgöra vilken dellösning innehållande sensorer som har högst potential gällande realiserbarhet och lösning av problemet. Dock beslutades att en kombination av alla förslagen troligen har störst potential att motverka ACL-skador vid en slip-catch-situation.

4.2.1 Sensorer fästa längs benet

I litteraturundersökningen fastställdes det att inre rotation av tibia, flexion av knät samt valgus är bidragande faktorer till ruptur av ACL vid slip-catch. Sensorer längs benet är ett alternativ som troligen kan detektera de vinklar som är vanligt förekommande vid skadan. Målet är att sensorerna skickar signaler till bindningen vilken löser ut pjäxan när valgusvinkeln och den inre rotationen av tibia når ett visst värde. Ett förslag är att fästa tröghetssensorer på en åtsittande byxa eller på ett knäskydd. Genom att använda tröghetssensorer som kan samverka kan de detektera knäts vinklar. Ett alternativ till tröghetssensorer är ledande polymerer som mäter töjningen av plagget, se kapitel 2.7.2 Befintliga produkter innehållande sensorer.

4.2.2 Sensorer integrerade i bindningen



Figur 4.1: Möjliga placeringar av sensorer på bindningen markeras i figuren med röd färg. (Pixabay, 2017). CC0. <https://pixabay.com/en/ski-skis-snow-sport-2028185/>

Att placera sensorer på bindningen skulle innebära en möjlighet att detektera riskfaktorerna tibial rotation, valgus samt flexion. Alla dessa riskfaktorer skulle detekteras av trycksensorer implementerade i bindningens fjäderbelastade AFD-mekanism, placerad under pjäxans tådel. Trycksensorer kan även placeras i den horisontella yta som ligger an mot pjäxan i bindningens häldel. Ytterligare ett alternativ är att placera en trycksensor på den vertikala yta vilken ligger an mot pjäxans häldel. Möjlighet finns även att placera en momentgivare alternativt en trycksensor vid infästningspunkten för axeln runt vilken bindningens häldel roterar. Dessa typer av sensorer kan även placeras på undersidan av tå- respektive häldel, vilka ligger an mot ovan delen av pjäxans tå- respektive hälklack. Placering av sensorerna visas i Figur 4.1.

4.2.3 Sensorer i en sula mellan pjäxans skal och innersko

Precis som Carvs lösning, som presenterades i 2.7.2, kan tröghetssensorer och trycksensorer sättas i en sula vilken placeras mellan pjäxans skal och innersko. Med sensorer i sulor kan fötternas och skidornas läge mätas i förhållande till varandra. Troligtvis erhålls då också möjlighet att detektera huruvida skidorna är på väg att erhålla en abnorm vridning gentemot varandra. Trycksensorerna i sulan är en bra komponent för slip-catch-situationen då de kan detektera när åkaren förlorar trycket på ena skidan.

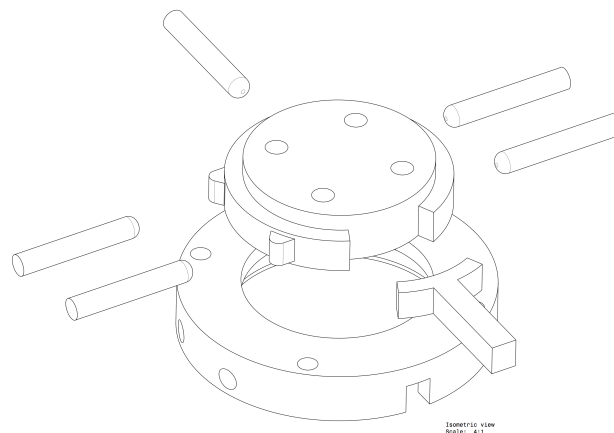
4.2.4 Utlösningmekanismer

Utlösningmekanismen med en roterande häldel valdes bland annat för att det möjliggör en naturlig rörelse för foten, och på så sätt minskad risken för ACL-skada vid en slip-catch-situation. Samt att det finns lösningar på marknaden vilka uppvisar stor potential för en sådan lösning, se avsnitt 2.6.4.

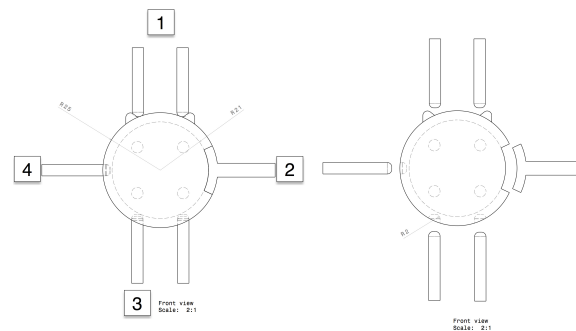
För att tillåta rotation av häldelen endast när en slip-catch-situation detekteras behöver en sprint med tillhörande ställdon implementeras. I möte med J. Fredriksson (Personlig kommunikation, 4 april, 2017) rekommenderade han två ställdonslösningar, en solenoid eller en linjärakuator. En solenoid kan utformas så att strömmen sätts på när en signal från sensorerna erhålls, vilket får en sprint att dras tillbaka. Häldelen på bindningen tillåts då att rotera. Solenoiden bör ha en fjäder för att återgå till startläget när strömmen stängs av. På så sätt kan då åkaren vrida tillbaka bindningen till rätt läge och bindningens häldel blir återigen fast.

I denna rapport har det tagits fram två möjliga sätt att åstadkomma rotation av häldelen, antingen med en roterande platta med sprint eller roterande häldel med sprint.

4.2.4.1 Roterande platta med sprint



Figur 4.2: Sprängskiss av utlösningmekanism med roterande platta och fyra varianter på sprintar. Författarnas egen bild.



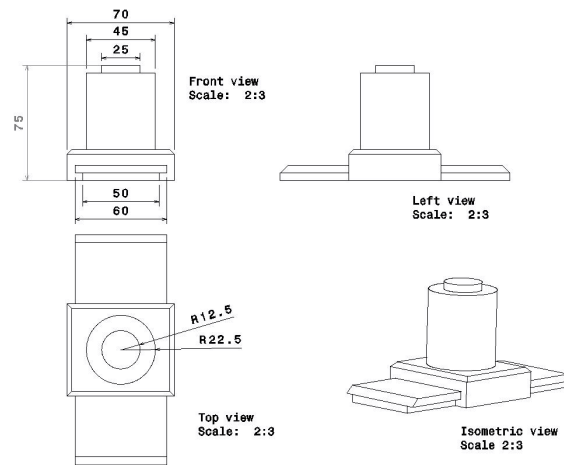
Figur 4.3: Ritning av utlösningmekanism med roterande platta och fyra varianter på sprintar. Författarnas egen bild.

Utlösningmekanismen kan utformas med en roterande rund platta som fästs under bindningens häldel, bestående av en innerdel och en ytterdel. Ytterdelen monteras fast på skidan och innesluter innerdelen vilket gör att innerdelen kan rotera, se figur 4.2. En sprint med tillhörande ställdon förhindrar denna rotation under åkning och dras tillbaka efter erhållen signal från sensorerna. I figur 4.3 visas en ritning av denna utlösningmekanism exklusive ytterringen. Fyra varianter på hur en sprint kan vara utformad visas i denna figur där de fyra varianterna är numrerade med nummer 1-4.

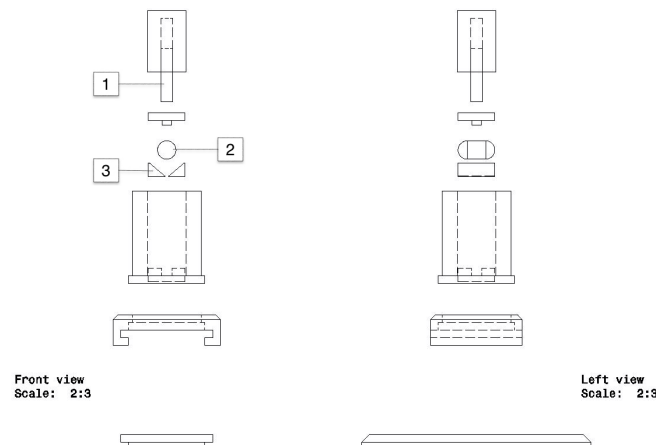
1. Den första varianten består av två sprintar. Tillsammans med sprintarna finns två utstickande klossar på innerdelen som förhindrar att innerdelen tillåts rotera fritt.
2. Den andra varianten består av endast en sprint som är utformad att passa in i en utfräsning i innerdelen.
3. Variant nummer tre fungerar på samma sätt som den första varianten med skillnaden att det inte finns några utstickande klossar från innerdelen. Istället är sprintarna införda i hålrum i innerdelen under åkning.
4. Som variant tre med endast en sprint istället för två sprintar .

Endast en av dessa sprintlösningar är tänkt att implementeras i en färdig produkt. Sprintlösningen samt ställdonet bör vara placerad bakom häldelen i den färdiga produkten för att inte vara i vägen under åkning. För att skydda sprinten mot snö och is kan en kåpa skydda denna del.

4.2.4.2 Roterande häldel med sprint



Figur 4.4: Ritning av utlösningmekanism liknande den hos Kingpin. Författarens egen bild.



Figur 4.5: Sprängskiss av utlösningmekanism liknande den hos Kingpin. De tre nya komponenterna markeras med 1-3. Författarens egen bild.

En alternativ rotationsmekanism är att använda sig av häldelen från den befintliga lösningen Kingpin. Kingpins häldel liknar en vanlig alpinbindnings häldel med skillnaden att den under fjäderbelastning tillåts rotera i horisontalplanet. Om en sprint implementeras, se Figur 4.5 komponent nummer ett, i stället för den befintliga fjädern för att hålla häldelen på plats, erhålls en lösning som vidare kommer benämnas roterande häldel med sprint. Vid signal från sensorerna är det tänkt att sprinten skall dras upp och därmed tillåta rotation av häldelen. Denna sprint trycker under åkning ned en cylinder, komponent nummer två, vilken då låses fast mellan två klossar, komponent nummer tre. En förenklad ritning av utlösningmekanismen illustreras i Figur 4.4.

5

Diskussion

Följande kapitel inleds med en diskussion om biomekanik vid slip-catch. Denna följs av en diskussion om framtagna lösningsförslag samt vissa, i dessa lösningsförslag, ingående komponenter. Diskussionen förs rörande de nämnda delarnas genomförbarhet och möjlighet att lösa projektets problem. Vidare diskuteras deluppgifterna vilka fastställdes i projektets början. Kapitlet avslutas med rekommendationer för framtida arbete och en diskussion om källorna som använts i projektet.

5.1 Diskussion om biomekanik vid slip-catch

Utifrån litteraturstudien sker en ruptur av ACL vid en slip-catch-situation på grund av synergiverkan mellan flexion av knät, valgus och inre rotation av tibia. Se kapitel 4.1 för sammandrag av litteraturstudien.

Flexion av knät i kombination med att skidan får abrupt fäste och sticker iväg resulterar troligtvis i att åkaren får bakvikt. Detta då åkarens tyngdpunkt riskerar att hamna bakom pjäxan. Hur mycket bakvikt det ger finns ej dokumenterat i de studerade slip-catch-situationerna. Det är dessutom varierande grad av flexion i knäleden i de studerade fallen vilket påverkar bakvikten olika.

Valgus av knät sker gradvis och den maximala valgusvinkeln inträffar vid olika tidpunkter i de studerade fallen vilket försvårar att erhålla en generell bild av slip-catch-situationen.

Inre rotation av tibia sker i alla de studerade fallen. Den maximala inre rotationen av tibia sker strax efter att skidans kontakt mot snön når skidans centrum, detta då skidans svängradie ger mest effekt i detta läge. Denna faktor är viktig att ta hänsyn till då detektion av slip-catch-situationen ska ske. Detta då pjäxan bör lösa ut från skidan innan den inre rotationen av tibia orskar en ruptur av ACL.

Sammanfattningsvis bör pjäxan, vid en slip-catch-situation, lösa ut innan eller vid den tidpunkt då skidans tryck mot snön når skidans centrum för att garantera att en ruptur av ACL ej ska ske. Detta då det är svårt att säga exakt när ruptur sker efter det att skidan börjar svänga på grund av sin utformning. I det studerade fallet, som beskrivs i kapitel 2.5, börjar skidan automatiskt svänga 60 ms efter att ytterskidan får kontakt med snön. Detta visar att tiden för detektering och utlösning är ytterst

begränsad. De studerade fallen utgör dock ett för litet underlag för att veta om denna tidsram på 60 ms är ett generellt mått.

5.2 Diskussion av framtagna koncept

5.2.1 Utlösningmekanismer

5.2.1.1 Roterande platta

Den roterande plattan anses vara en lösning med stor potential då den är kompatibel med redan befintliga bindningar. Detta medför att lösningen kan, med vissa justeringar av infästningspunkterna mellan bindning och platta, användas som ett tillägg till redan befintliga bindningar. Detta bör möjliggöra större spridning av produkten.

Lösningen är placerad som en platta mellan bindning och skida. Plattor mellan bindning och skida används i dagsläget. Detta leder till antagandet att lösningen inte har en negativ inverkan på åkgglädjen. Det som eventuellt kan leda till minskad åkgglädje är om produkten tillverkas i ett tungt material alternativt om plattan blir för hög eller plattans bredd överskrider skidans bredd.

Lösningen utvecklades med kravet att tåla påbyggnad av snö och is. Då lösningen saknar utstickande rörliga delar borde risken att rörliga delar blir orörliga, på grund av snö och is, vara liten. Denna lösning förändrar inte utformningen av befintlig bindning vilket gör att lösningen bör uppfylla kraven för befintlig ISO-standard.

Den roterande plattan hålls på plats i sitt ursprungsläge av sprintar. Flera förslag till en lösning med sprintar har utarbetats. Risk föreligger att sprintarna kan skapa stor friktion mot övriga delar av konstruktionen då hälen vill rotera. Det föreligger risk att friktionen försvårar sprintens förmåga att dras tillbaka och därmed förhindras fri rotation av häldelen.

5.2.1.2 Roterande häldel med sprint

Lösningen med en roterande häldel med sprint bygger som tidigare nämnts på en beprövad, fungerande utlösningmekanism. Detta medför att utlösningmekanismen i lösningen bör kräva mindre omfattande funktionstest. I denna lösning sitter alla små rörliga delar skyddade från yttre element. Detta gör lösningen robust enligt kravspecifikationen då påbyggnad av snö och is anses ha liten påverkan på dess funktion. Denna lösning förändrar inte utformningen på befintlig bindning vilket gör att lösningen bör uppfylla kraven för att uppnå befintlig ISO-standard. Volymen inne i bindningens häldel där komponenterna är placerade är begränsad. Tester måste därför utföras för att verifiera att komponenterna kan placeras på tänkt sätt och fortfarande utföra sin uppgift.

5.2.2 Ställdon till sprintar

För att ovan nämnda koncept skall kunna lösa ut skidan vid signal från sensorerna krävs drivning vilken förflyttar sprintarna vilka håller utlösningmekanismerna på plats. Denna drivning planeras att uppnås med ställdon. De två ställdon som diskuteras är solenoid samt linjärakuator.

En solenoid är klart snabbast utav de två alternativen. Det bör dock verifieras att en solenoid är stark nog för uppgiften, samtidigt som den inte upptar för stor volym. I fallet att en solenoid inte är tillräckligt stark kan detta eventuellt lösas genom att sprinten är en mekanisk lösning vilken aktiveras med en solenoid. Detta likt en råttfälla vilken endast behöver en liten last för att släppa sprinten i syfte att få fällan att slå ihop med stor kraft. En linjärakuator är starkare än en solenoid då denna består av en liten motor vilken skruvar sprinten framåt eller bakåt. Det behöver dock verifieras att linjäraktuatorn kan förskjuta sprinten tillräckligt snabbt för att utlösningen skall ske innan ACL-rupturen sker.

5.2.3 Dellösningar innehållande sensorer

Nedan diskuteras de framtagna sensorförslagen gällande lämplighet och genomförbarhet. Inget slutgiltigt val av dessa görs eftersom gruppens kunskaper inom ämnet inte anses tillräckliga.

5.2.3.1 Sensorer fästa längs benen

Att placera sensorer längs benen borde vara fördelaktigt då dessa mäter direkt vid området för skadan. De skulle även vara skyddade mot yttre element förutsatt att åkaren har ett yttre skyddande lager. Det finns även plats för många sensorer då det finns mycket tillgänglig yta. Däremot förutsätts att byxan eller knästödet, var sensorerna är integrerade, behöver sitta tätt inpå kroppen. Det betyder att en stor individanpassning av dessa produkter krävs. Skulle åkarens benstorlek ändras skulle detta påverka plaggets exakthet. Julie Steel, professor i biomekanik vid University of Wollongong, som utvecklat ett knästöd med sensorer, är skeptisk mot denna idé. Hon menar att det är teoretiskt möjligt att detektera valgusvinklar och inre rotation av knät, men att det kan vara svårt att veta exakt vilka vinklar sensorerna ska reagera på (Personlig kommunikation via email, 5 april, 2017). En annan nackdel med sensorer längs benet, som går emot önskemål från kravspecifikationen, är att det tvingar kunden att införskaffa två nya produkter: Ett plagg med sensorer samt en bindning vilken tar emot signalerna och kan lösa ut pjäxan.

5.2.3.2 Sensorer integrerade i bindningen

Det finns faktorer som bör beaktas vid valet av typ samt placering av sensorer i bindningen. För att kartlägga dessa analyserades de olika sensorerna samt deras placering utifrån vilken typ av riskfaktor som detekteras samt vilka för- och nackdelar de innebär.

Först i beaktning tas vilken riskfaktor sensorn detekterar. Till riskfaktorerna räknas rotation av tibia, flexion av knät samt valgus. Målet med dellösningarna innehållande sensorer är att ha en smart lösning vilken kan detektera samtliga nämnda riskfaktorer. Med dessa data är sedan målet att kunna detektera vad som är vanlig åkning för brukaren kontra fall vilka riskerar resultera i skada. Signalerna från sensorerna ska då förhoppningsvis kunna processeras och göra att bindningen lär sig att känna igen brukarens åkstil.

Vidare bör det vägas in hur pass robusta och tillförlitliga de olika sensorerlösningarna är. Att exempelvis placera en sensor i glidplattan skulle innebära att denna var exponerad för yttre element vilket kan leda till påbyggnad av snö och is på glidplattan. Detta medför risk för erhållande av felaktiga mätvärden. Att placera en sensor vid den axel vilken häldelen roterar kring i syfte att mäta moment skulle vara en robust lösning. Denna lösning skulle dock vara komplicerad att implementera då denna måste införlivas i bindningens design och inte fungerar som en modul vilken kan kombineras med befintliga bindningar.

5.2.3.3 Sensorer i en sula mellan pjäxans skal och innersko

Sulor innehållande sensorer är en beprövad teknik, använd inom flera olika områden. Det finns därför potential att tillämpa denna på skidutrustning i syftet att förhindra ACL-skador vid en slip-catch-situation. Precis som sensoralternativen längs benen är sulan skyddad mot yttre element, men kräver däremot att kunden köper två nya produkter. Sulan med integrerade sensorer kan ersätta den befintliga sulan i pjäxan vilket leder till att komforten, och då även åkglädjen, ej riskerar att minska.

5.3 Diskussion av deluppgifter

I början av projektet togs deluppgifter fram som riktlinjer för arbetets gång. Detta för att samtliga gruppmedlemmar skulle erhålla en likartad uppfattning om processen och vart projektet förväntades leda. Punkterna presenteras nedan i kursiv stil och delas upp i fyra kategorier: kunskap om biomekaniken, utrustningens uppförande vid en slip-catch-situation, identifiering av riskfaktorer samt verifikation av koncept. På grund av bristande fakta samt projektets tidsram hänvisas vissa eller delar av deluppgifterna till framtida arbete.

5.3.1 Kunskap om biomekanik

Erhålla djupare biomekaniska kunskaper genom att utreda vad som sker i knät på en anatomisk nivå vid en slip-catch-situation. Uppgiften omfattar att utreda vilka krafter knät utsätts för, riktning på dessa samt vilka delar av knät som påverkas. Enligt Koga et al. (2011) sker slip-catch i flera steg där knäts olika positioner och

vinklar vidare bör beaktas.

Genom litteraturstudien har uppgiften delvis besvarats. Knäts rörelse vid en slip-catch-situation har kartlagts och analyserats. Varje skadefall är dock unikt och följer olika rörelsemönster och tidslinjer. Gruppen anser att skadefallet vilket beskrivs i avsnitt 2.5 i stor utsträckning är representabelt som ett generellt fall, men vill trycka på det faktum att den ena slip-catch-situationen inte är den andra lik. Eftersom ACL inte är synligt i videoanalyserna går det inte att veta exakt när i händelseförloppet rupturen sker. Storlek och riktning på de krafter vilka verkar under skadesituationen har tyvärr ej kunnat fastställas och egen mätning av dessa har på grund av projektets tidsram ej utförts.

5.3.2 Utrustningens uppförande vid en slip-catch-situation

Utreda hur skidorna, bindningarna och pjäxorna uppför sig vid en slip-catch-situation, vilka krafter och kraftriktningar som dessa utsätts för samt vilka krafter som överförs till åkaren.

Återigen bör nämnas att inga slip-catch-situationen är identiska. Skidornas, bindningarnas och pjäxornas enskilda uppförande behandlas i teoridelen. Storleken på krafterna har inte kunnat identifieras, men en redogörelse för vilka krafter som verkar på utrustningen och utrustningens lägesförflyttningar berörs. Deluppgiften anses därmed delvis uppfyllt.

5.3.3 Identifiering av riskfaktorer

Undersöka existensen av individrelaterade riskfaktorer vilka påverkar utfallet vid ett ACL-skadetillbud, identifiera faktorerna utreda deras betydelse vid ett ACL-skadeförlopp.

Identifiera de störta riskfaktorerna för uppkomsten av en ACL-skada samt utreda huruvida dessa riskfaktorer kan påverkas inom de tidsmässiga, ekonomiska och tekniska ramarna som begränsar detta projekt.

Då ovanstående deluppgifter anses behandla samma område diskuteras de här gemensamt. Individuella och allmängiltiga riskfaktorer för skadan har analyserats och verifierats utifrån befintliga källor. Någon rangordning av hur stor risk de olika faktorerna medför har ej presenterats då tidsramen begränsar projektet. En annan anledning till att de olika faktorernas betydelse ej rangordnats är att många av dem inte är möjliga för gruppen att påverka, så som kön, vinkeln från bäckenet till knät samt tidigare skador. Istället har fokus lagts på att få bindningen att lösa ut vid rätt tillfälle vilket ansågs mest realiserbart och aktuellt för ingenjörstudenter.

5.3.4 Verifikation av koncept

Utvärdering av framtagna förslag vilka, enligt lösningsmetoden och framtagna fakta om skadans natur, på ett tillfredsställande sätt uppfyller syftet med projektet.

Eftersom varken fysisk produkt eller fullständig CAD-modell är framtagna har inte någon absolut verifiering av funktionen och hållbarheten kunnat presenteras. Denna typ av verifiering försvåras genom avsaknaden av uppgifter gällande verkande krafter. Flera olika befintliga och fungerande produkter med sensorer beskrivs i rapporten, vilket medför att erhållandet av en fungerande dellösning innehållande sensorer förefaller fullt möjligt. Det krävs en stor arbetsinsats för att utarbeta sensorernas placering, antal och sort, vilket krävs för en väl fungerande produkt. Algoritmer för att behandla normal åkning samt kritiska fall behöver tas fram, vilket lämnas till framtida arbete. En uppfattning huruvida koncepten är realiserbara och löser problemen har erhållits enbart genom diskussioner inom gruppen, samt genom samtal med inom ämnet kunniga personer.

5.4 Kravspecifikationens robusthet

Den framtagna kravspecifikationen för detta projektet anses vara tillräckligt robust för att ett tillfredsställande koncept ska kunna tas fram. Däremot behöver krav och önskemål specificeras eller läggas till för att en färdig produkt ska kunna utvecklas. Exempel på krav och önskemål är vilka delar som skall vara utbytbara samt livslängd på produkten.

Vissa krav och önskemål i kravspecifikationen är sådana att de i nuläget inte är mätbara för detta projekt. Exempelvis går det inte att kontrollera att de framtagna koncepten uppfyller den angivna ISO-standarderna i nuvarande utförande. Det går inte heller att avgöra om konceptet innebär opåverkad åk kvalitet. En kvalificerad gissning är det enda projektet kan bidra med i denna fråga. Framtida arbete kan ägna sig åt detta som en del av en vidareutveckling av koncepten.

5.5 Framtida arbete

För att utveckla produkten i sin helhet förekommer det flera steg vilka bör genomföras i ett framtida arbete. De deluppgifter vilka inte besvarats i denna rapport hänvisas därför vidare till eventuella vidare projekt.

Det första steget som rekommenderas skulle vara att detektera de krafter som verkar vid normal åkning, alltså åkning som ej resulterar i skada. Genom att samla in data, i form av krafter och knäts kinematik, från åkare med stor variation av parametrar så som åkstil samt kroppsstorlek kan en algoritm skapas. Algoritmen kan sedan med hjälp av sensorerna bedöma vilka förhållanden som representerar normal åkning samt vilka som riskerar att resultera i en slip-catch-situation.

Vidare rekommenderas en fördjupning inom ämnet sensorer och aktuatorer för att bestämma vilken typ av dessa samt vilken algoritm som skulle fungera bäst för den framtagna lösningen. I denna fördjupning behövs även antalet sensorer samt exakt placering av dessa optimeras.

Utlösningmekanismerna bör vidareutvecklas och verifieras. Dessutom bör ytterligare analys av solenoider utföras för att säkerställa att dessa är starka nog att utföra sin uppgift på ett tillfredställande sätt. På samma sätt bör det säkerställas att linjäraktuatorer är tillräckligt snabba. Alternativt kan idén rörande att få solenoiden att utlösa en sprintliknande funktion, likt den hos en råttfälla utvecklas.

Då en eventuell slutlig produkt är framtagen, finns det möjlighet att utvärdera denna mot detta projekts kravspecifikation. Detta för att få en inledande inblick i huruvida produkten löser problemet. Det skulle också vara möjligt att utforska en produkt vilken skulle kunna förhindra andra, närliggande skadefall till slip-catch-situationen.

5.5.1 Källkritik

Under projektets gång lades mycket arbete ner på att hitta användbara källor. Detta särskilt i den del av litteraturstudien som syftade till att kartlägga slip-catch-situationen, då denna situation saknade en tydlig definition. Definitionen av detta lastfall i denna rapport är därför skapad utifrån tolkning av olika källor och gruppens egen definition av en slip-catch-situation.

En annan svårighet kring slip-catch-situationen var bristen på mångfalden av källor. Huvuddelen av de källor som kunde erhållas och används var antingen skrivna av eller refererade till Bere et al. (2011, 2013). Detta medförde svårigheter i att erhålla en bred bild av situationen.

6

Slutsats

Syftet med detta arbete var att förebygga uppkomsten av ACL-skador vid skadesituationen slip-catch i samband med alpin skidåkning. Detta mål har uppfyllts i den grad att flera koncept för att lösa problemet har tagits fram. På grund av tidsramen för detta projekt har endast koncept och ingen slutgiltig produkt tagits fram. Det har därför inte varit möjligt att utföra mätningar på och verifiera tänkt produkt. Möjligt har ej heller varit att utföra mätningar på de krafter som verkar på kroppen. Det blir därför svårt att säga huruvida de framtagna koncepten är trovärdiga. Arbetet har däremot redogjort för faktorer vilka verkar vid en slip-catch-situation samt lagt fram förslag på åtgärder mot ACL-skador associerade med denna situation, med inriktning på skidutrustningen. Då endast förslag på koncept för utlösningmekanismen har tagits fram, har syftet inte uppfylls fullt ut. Rapporten anses dock som en fullgod utgångspunkt för vidare arbete mot en verifierbar, skadeförebyggande lösning.

En kartläggning har gjorts av de biomekaniska aspekterna i skadesituationen slip-catch, samt vilka lastfall som orsakar skadan. En samverkan av flexion av knät, inre rotation av tibia och valgus ses som de bakomliggande faktorerna för en ACL-skada i en slip-catch-situation, och därmed också ett av de viktigaste resultaten i denna rapport. Någon kvantitativ data på hur stora krafterna är vid situationen har ej lagts fram i denna rapport. Detta då inte någon mätning under en slip-catch har gjorts, samt att ett sådant arbete ej rymdes inom tidsramen för detta projekt. Med dessa fakta som bakgrund har sedan rekommendationer till lösningar presenterats.

En mekatronisk lösning med sensorer ansågs vara det bästa valet. En mekatronisk lösning bör kunna uppnå igenkänning av lastfallet, och därmed minimera risken att bindningen löser ut i en situation där lastfallet inte uppträder. Detta skulle minska den totala skaderisken vid alpin skidåkning.

Litteraturförteckning

- [1] Aspenberg, P., (2013). *Hur läker senor och ledband?* Hämtad 2017.05.10.
<http://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:760018/FULLTEXT01.pdf>
- [2] Barbour, N., (2014). *Gyroscope* Hämtad 2017.04.10.
<https://www.accessscience.com/content/gyroscope/304100>
- [3] Belfrage Medical. (u.å.). *Medicinsk ordbok*. Hämtad 2017.03.02.
<http://medicinskordbok.se/>
- [4] Benoit, D. (2002). *Slalompjäxans biomekanik*.
Hämtad 2017.02.06. <http://centrumforidrottsforskning.se/wp-content/uploads/2014/04/Slalompjaxans-biomekanik.pdf>
- [5] Bere, T., Florenes, T., Krosshaug, T., Koga, H., Nordsletten, L., Irving, C., Muller, E., Reid, R., Senner, V. & Bahr, R. (2011).
Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in world cup alpine skiing: A systematic video analysis of 20 cases. *The American journal of sports medicine*, 39(7), s. 1421-1429. Hämtad 2017.03.02. doi: <http://doi.org/10.1177/0363546511405147>
- [6] Bere, T., Mok, K., Koga, H., Krosshaug, T., Nordsletten, L. & Bahr, R. (2013).
Kinematics of Anterior Cruciate Ligament Ruptures in World Cup Alpine Skiing: 2 Case Reports of the Slip-Catch Mechanism.
The American journal of sports medicine, 41(5), s. 1067-1073. Hämtad 2017.04.03. doi: <https://doi.org/10.1177/0363546513479341>
- [7] Brown, J. (2009). *The Complete Guide to ACL Injuries*. Hämtad 2017.02.24.
<http://www.coreperformance.com/knowledge/injury-pain/acl-injuries.html>
- [8] Bojsen-Møller, F. (2000). *Rörelseapparatens anatomi*. Stockholm: Liber AB
- [9] Carbell A., Lundqvist W., Mattsson O., Jakobsson Sjöberg N., Sjöberg L., Skärby M. (2016).
Kartläggning av ACL-skador inom alpin skidåkning: Redogörelse för skademekanismer och preventiva åtgärder. (Kandidatarbete, Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för Fysik)

- [10] Carv. (2016). *The world's first wearable that helps you ski better*. Hämtad 2017.04.10. <http://carv.ai>
- [11] Chalabi, M. (2013). *Is skiing the worlds most dangerous sport?*. Hämtad 2017.01.31. <https://www.theguardian.com/news/datablog/2013/dec/30/is-skiing-the-worlds-most-dangerous-sport/>
- [12] Contreras, B. (2010, 13 oktober). *ACL Biomechanics and Split-Lines on Articular Cartilage* [Video fil]. Hämtad 2017.03.09. <https://www.youtube.com/watch?v=RSEc313IZ7c&t=265s>
- [13] Cooper, R. (2014). *Recent Statistics On Skiing And Snowboarding Injuries*. Hämtad 2017.01.31. <https://www.premax.co/index.php/au/blog/recent-statistics-on-skiing-and-snowboarding-injuries>
- [14] Dahl, H., Olsen, B., Rinvik, E.(1976). *Menneskets anatomi*. Oslo, Norge: J.W. Cappelens forlag
- [15] Dargel, J., Gotter, M., Mader, K., Pennig, D., Koebke, J., Schmidt-Wiethoff, R., (2007). *Biomechanics of the anterior cruciate ligament and implications for surgical reconstruction*. Hämtad 2017.05.01. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2321720/>
- [16] Dokia, H., Hirosea, K., Kondoa, A. (2012). *An attempt of a new motion measurement method for alpine ski turns using inertial sensors*. Hämtad 2017.04.15. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812016852>
- [17] Escamilla, R.F, Macleod, T.D, Wilk, K.E, Paulos, P., Andrews, J.R (2012). *Anterior Cruciate Ligament Strain and Tensile Forces for Weight-Bearing and Non-Weight-Bearing Exercises: A Guide to Exercise Selection*. Hämtad 2017.05.12. <http://www.jospt.org/doi/pdf/10.2519/jospt.2012.3768?code=jospt-site>
- [18] Howell R.J. (2015). US.Patent No. 14/621,499. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [19] Forskning&Framsteg (2002). *Nu kommer IT-kläderna*. Hämtad 2017.04.11. <http://fof.se/tidning/2002/5/nu-kommer-it-kladerna>
- [20] Healthline. (u.å.). *Ruptur av fremre korsband (ACL)*. Hämtad 2017.02.02. <http://no.healthline.com/health/ruptur-av-fremre-korsband-acl#Oversikt1>
- [21] Jungell J. (2011). *Knäskador inom elit alpin skidsport: Skademekanismer och yttre påverkande faktorer* (Examensarbe-

- te, Arcada, Idrott och Hälsopromotion). Hämtad 2017.02.24.
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37961/Jungell_Jacob.pdf
- [22] Kenhub (2017). *The Quadriceps femoris muscle*. Hämtad 2017.05.12.
<https://www.kenhub.com/en/library/anatomy/the-quadriceps-femoris-muscle>
- [23] Khuman, R. (2012). *Knee biomechanics*. Hämtad 2017.03.08.
<https://www.slideshare.net/prkhuman/knee-biomechanic>
- [24] Koga H., Bere T., Bahr R., Krosshaug T. (2011). *Kinematics of a slip-catch mechanism for anterior cruciate ligament injury in world cup alpine skiing*. British Journal of Sports Medicine, 45(4):327. doi: 10.1136/bjsm.2011.084038.48
- [25] Kröll J., Spörri J., Gilgien J., Schwameder H., Müller E. (2016a). *Effect of ski geometry on aggressive ski behaviour and visual aesthetics: equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing*. British Journal of Sports Medicine, 2016;50:20–25. doi: 10.1136/bjsports-2015-095433
- [26] Kröll J., Spörri J., Gilgien J., Schwameder H., Müller E. (2016b). *Sidcut radius and kinetic energy: equipment designed to reduce risk of severe traumatic knee injuries in alpine giant slalom ski racing*. British Journal of Sports Medicine, 2016;50:26–31. doi: 10.1136/bjsports-2015-095463
- [27] Mechanics of sport. (u.å). *Ski Bindings*. Hämtad 2017.02.15.
<http://www.mechanicsofsport.com/skiing/equipment/bindings.html>
- [28] Nationalencyklopedin [NE]. (2017a). *Sätesmuskel*. Hämtad 2017.05.01.
<http://www.ne.se.proxy.lib.chalmers.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/sätesmuskel>
- [29] Nationalencyklopedin [NE]. (2017b). *Trådtöjningsgivare*. Hämtad 2017.04.10.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/trådtöjningsgivare>
- [30] Nationalencyklopedin [NE]. (2017c). *Accelerometer*. Hämtad 2017.04.10.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/accelerometer>
- [31] Nationalencyklopedin [NE]. (2017d). *Tryckgivare*. Hämtad 2017.04.10.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/tryckgivare>
- [32] Nationalencyklopedin [NE]. (2017e). *Magnetometer*. Hämtad 2017.04.10.
<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/magnetometer>

- [33] Nationalencyklopedin [NE]. (2017g). *Givare*. Hämtad 2017.05.09. <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/givare>
- [34] NeuronMoCap. (2017). *Perception Neuron*. Hämtad 2017.04.11. https://neuronmocap.com/products/perception_neuron
- [35] Newschoolers. *All you ever wanted to know about ACL-injuries and ski bindings*. Hämtad 2017.02.24. <http://www.newschoolers.com/news/read/All-wanted-ACL-injuries-ski-bindings>
- [36] Niiler, E. (2016) *Skis and knees: Something's got to give*. Hämtad 2017.05.04. <https://www.adn.com/outdoors/article/skis-and-knees-somethings-got-give/2016/02/16/>
- [37] Olsen O., Myklebust G., Engebretsen L., Bahr R. (2004). *Injury Mechanisms for Anterior Cruciate Ligament Injuries in Team Handball-A Systematic Video Analysis*. Hämtad 2017.02.22. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15150050>
- [38] OrthoInfo. (2014). *Anterior Cruciate Ligament (ACL) Injuries*. Hämtad 2017.02.02. <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=a00549>
- [39] Orthopaedic Research Society (2012) *Conventional thought on ACL injury mechanism challenged: Combination of factors cause ACL to rupture*. Hämtad 2017.02.21. https://www.eurekalert.org/pub_releases/2012-02/ors-cto021412.php
- [40] Piq sport intelligence. (2017). *Let the PIQ ROBOTTM highlight your winning factors*. Hämtad 2017.04.10. <https://piq.com/ski>
- [41] Rehabspesialisten. (u.å.). *Fremre korsbåndskade (ACL-skade)*. Hämtad 2017.01.26. <http://www.rehabspesialisten.no/?portfolio=fremre-korsbandskade-acl-skade>
- [42] Reikerås, O. (13. februar 2009). *biomekanikk*. I *Store medisinske leksikon*. Hämtad 2017.03.15. <https://sml.snl.no/biomekanikk>
- [43] Reinold, M. (u.å.) *Biomechanics of Patellofemoral Rehabilitation*. Hämtad 2017.03.08. <https://mikereinold.com/biomechanics-of-patellofemoral>
- [44] Rokoko. (2017). *Smartsuit Pro*. Hämtad 2017.04.11. <https://www.rokoko.com/en/smartsuit-pro>
- [45] Skistar. (2016). *Den alpina världsmarknaden*. Hämtad 2017.01.31. <https://www.skistar.com/sv/Corporate/Om-SkiStar/Var-bransch/Den-alpina->

varldsmarknaden/

- [46] Sports medicine information. (2009). *Skiing Injuries*. Hämtad 2017.01.31.
<http://www.nsmi.org.uk/articles/skiing-injuries.html>
- [47] Svenska Dagbladet. (2014). *Sensor i sulan hjälp i äldreomsorg*. Hämtad 2017.04.25.
<https://www.svd.se/sensor-i-sulan-hjalp-i-aldreomsorg>
- [48] Westin, M. (2015) *Alpine skiing: Injury profile, ACL injury risk factors, and prevention*. (Doktorsavhandling, Karolinska Institutet, Institutionen för Molekylär medicin och kirurgi) Hämtad 2017.04.03 från
https://openarchive.ki.se/xmlui/bitstream/handle/10616/44689/%20//Thesis/_Maria/_Westin.pdf?sequence=3
- [49] Woo, S., Hollis, M., Adams, D., Lyon, R. och Takai, S. (1990). Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex: The effects of specimen age and orientation. *The American journal of sports medicine*, 19(3), s. 222. Hämtad 2017.03.02. doi:<https://doi.org/10.1177/036354659101900303>
- [50] Yost Labs. (u.å.). *Motion Capture*. Hämtad 2017.04.11. <https://yostlabs.com/>
- [51] Geotech (2017). *Momentgivare*. Hämtad 2017.05.10.
<http://www.geotech.se/index.php/produkter/borriggar?id=24:momentgivare&catid>

Bildförteckning

- [1] Athikhun, suw .(2016). Leg and foot anterior [Elektronisk bild]. Modifierad och hämtad från: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Leg_and_foot_anterior.svg
- [2] CFCF (2014). Anatomical Planes [Elektronisk bild]. Hämtad och modifierad från: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAnatomical_Planes.svg
- [3] <https://pixabay.com/en/users/Cfker-Free-Vector-Images-3736/>. (2012). Namnlös .[Elektronisk bild]. Hämtad och modifierad från: <https://pixabay.com/en/skier-silhouette-ski-ice-sports-34973/>
- [4] <https://pixabay.com/en/users/OpenClipart-Vectors-30363/> .(2017). Namnlös [Elektronisk bild]. Hämtad och modifierad från: <https://pixabay.com/en/skiing-sport-downhill-winter-ski-2027087/>
- [5] <https://pixabay.com/en/users/OpenClipart-Vectors-30363/> .(2017). Namnlös. [Elektronisk bild]. Hämtad och modifierad från: <https://pixabay.com/en/ski-skis-snow-sport-2028185/>
- [6] LadyofHats, Jecowa, Stündle. (2011). Genu valgum [Elektronisk bild]. Hämtad från: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AGenu_valgum.svg
- [7] Mattsson, O. (2011). Aksel Lund Trysil [Elektronisk bild]. Hämtad från: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAksel_Lund_Trysil.jpg
- [8] Mysid (2011). Knee diagram [Elektronisk bild]. Hämtad från: https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AKnee_diagram.svg

A

Elimineringsmatris

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
1.1 Minska uppkomsten av ACL-skada vid slip-catch																																										
1.3 Samma (eller lägre (Ö)) total skaderisk																																										
3.2 Opåverkad åkvalité																																										
3.4 Kompatibel med övrig utrustning																																										
4.1 Robusthet mot snö och is på utrustningen																																										
Övrigt																																										

Figur A.1: Elimineringsmatris. Siffrorna representerar olika koncept. Röd markering innebär att konceptet inte går vidare i sällningsprocessen. Författarens egen bild.

B

Kravspecifikation

Kravspecifikation					
Kriterier	Krav/Önskemål	Mätenhet	Verifiering	Intressenter	Målvärde
1 Huvudfunktioner					
1.1 Minska uppkomsten av ACL-skada vid slip-catch	K	Ja/Nej	FEM-modellering	Användare	Ja
1.2 Helt förhindra uppkomsten av ACL-skada vid slip-catch	Ö	Ja/Nej	FEM-modellering	Användare	Ja
1.3 Samma total skaderisk	K	AIS	Enligt AIS definition	Användare/Tillverkare	AIS = nuvarande AIS
1.4 Mindre total skaderisk	Ö	AIS	Enligt AIS definition	Användare/Tillverkare	AIS < nuvarande AIS
2 Livslängd					
2.1 Livslängd lika som befintliga produkter eller längre	Ö	Ja/Nej	Hållfasthetstest	Användare	Ja
2.2 Inom ISO standarder	Ö	Ja/Nej	Enligt ISO 9462:2014	Tillverkare	Ja
3 Användarvänlighet					
3.1 Förståelse utan instruktioner	Ö	Procent	Kundundersökning	Användare	95 % av kunderna
3.2 Opåverkad åkvalité	K	Ja/Nej	Kundundersökning	Användare	Ja
3.3 Integrerbar i nuvarande utrustning	Ö	Ja/Nej	Funktionstest	Användare	Ja
3.4 Kompatibel med övrig utrustning	K	Ja/Nej	Funktionstest	Användare	Ja
3.5 Reservdelar krävs efter utlösning	Ö	Ja/Nej	Se konstruktion	Användare	Nej
3.6 Utbytbara delar	Ö	Ja/Nej	Se konstruktion	Användare	Ja
3.7 Inom ISO standarder	Ö	Ja/Nej	Enligt ISO 9462:2014	Tillverkare	Ja
4 Robusthet					
4.1 Robusthet mot snö och is på utrustningen	K	Ja/Nej	Funktionstest	Användare	Ja
4.2 Bibehållen funktion vid felanvändning	Ö	Ja/Nej	Funktionstest	Användare	Ja
4.4 Inom ISO standarder	Ö	Ja/Nej	Enligt ISO 9462:2014	Tillverkare	Ja
5 Kostnader					
5.1 Tillverkningskostnader	Ö	Kr	Fråga tillverkare	Tillverkare	1000
5.2 Försäljningspris	Ö	Kr	Fråga tillverkare	Användare	4000

Figur B.1: Kravspecifikation. Här presenteras kriterier för slutprodukten. Författarens egen bild.

C

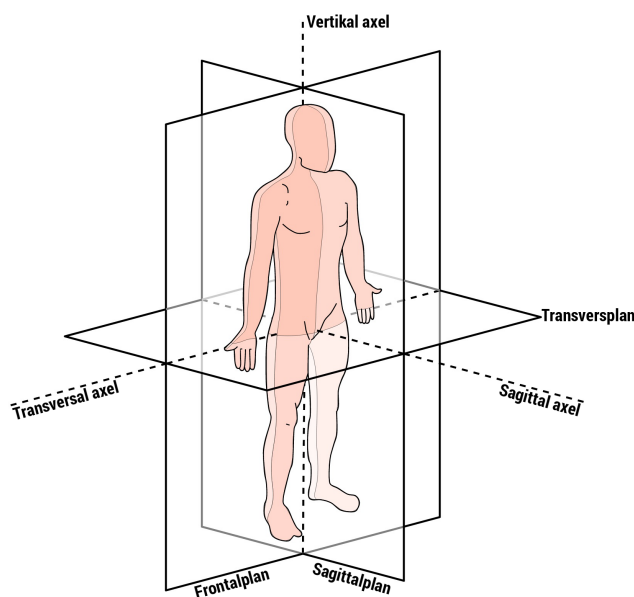
Anatomi

Inledningsvis var det ovisst hur omfattande anatomidel som krävdes för projektet. Då en stor del av litteraturundersökningen bestod av en fördjupning i knäts anatomi blev det bestämt att denna fördjupningen skulle läggas i appendix för läsare vilka inte har så stor anatomikunskap sedan innan.

C.1 Anatomiska termer

Läran om kroppens anatomi inkluderar en stor mängd termer vars syfte är att underlätta för förståelsen av positioner och rörelser ur ett rumperspektiv. För att hjälpa läsare vilka inte har så stor kunskap inom anatomi ges här en förklaring till en del av de begrepp som används i rapporten.

Kroppen kan delas upp i tre plan och tre axlar. De tre planen har dubbla beteckningar och kallas sagittal/median, frontal/coronal och transvers/horisonal plan, de två första utbreder sig vertikalt och sistnämnda horisontellt. Vidare blir de ofta uppdelade i en vertikal, transversal och sagittal axel (Belfrage Medical, u.å.).



Figur C.1: Anatomical Planes (CFCE, 2014). CC BY-SA 3.0.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AAnatomical_Planes.svg

En kroppsdel vilken är positionerad i riktning in mot kroppens centrum i frontalplanet benämns vara medial. Motsatsen till medial är lateral vilket innebär att kroppsdelens är riktad ut från kroppens mittlinje. Anterior innebär mot kroppens framsida och posterior mot kroppens baksida. En kroppsdel vilken är lokaliserad längst bort från kroppens mittpunkt kallas för en distal del och den delen som är närmast kroppens mittpunkt kallas en proximal del.

Det finns även begrepp vilka syftar till kroppens rörelser. Flexion innebär att en led böjs och extension att den sträcks ut. Dessa två sker i sagittalplanet. När en kroppsdel förflyttas ut från kroppen mittlinje i frontalplanet kallas det abduktion och motsatsen, när en kroppsdel förflyttas in mot kroppens mittlinje kallas adduktion. Två olika typer av rotation benämns, inåt- och utåtrotation. Inåtrotation för benet innebär att benets framsida roteras in mediallyt och vid utåtrotation riktas framsidan mer lateralt. Ett annat begrepp som används i rapporten är valgus vilket innebär att knät är vinklat inåt mediallyt. Motsatsen till valgus, när knät är vinklat utåt lateralt, benämns varus. Valgus kan också benämnas adduktion av knät och varus abduktion (Belfrage Medical, u.å.).

C.2 Knäts anatomi

Knät förbinder nedre delen av lårbenet, *femur*, med övre delen av skenbenet, *tibia*, och knäskålen, *patella*. Knät är ett samlingsnamn för bland annat knäleden, knäts ligament, ledkapseln och angränsande muskulatur.

C.2.1 Skelett och menisker

Enligt Bojsen-Møller (2000) kan knäleden delas upp i tre leder, två *Partes Femurotibiales* och en *Pars femuropatellaris*. *Partes Femurotibiales* är lederna mellan lårbenet och underbenet. Längst ner på lårbenet finns ett ledhuvud bestående av de två femurkondylerna och högst upp på skenbenet två lätt urgröpta ledytter kallade ledpannorna. På ledpannorna fäster två c-formade broskskivor, menisker, vilka har konkava ovansidor vilka passar i lårbenets ledhuvuden. Meniskerna jämnar ut skelettytornas ojämna form och ger en större kontaktyta och kraftfördelning mellan lårbenet och underbenet. Det mjuka och sega brosket vilket menisken består av skyddar leden genom dess stötupptagande förmåga.

Pars femuropatellaris är leden mellan lårbenet och knäskålen, även på ytorna mellan dessa två fäster och skyddar ledbrosk. Mellan femurkondylerna finns en skåra vilken knäskålen löper i, främst i vertikal riktning men även i viss mån horisontellt.

Femur och tibia är vanligtvis inte helt vertikala framifrån sett utan femur är snedställt i förhållande till tibia. Den laterala vinkeln mellan femur och tibia är cirka 175 grader men kan skilja sig mellan olika individer. Om vinkeln är större än 175 grader kallas det *hjulbenthet* och om den är mindre kallas det för *kobenthet*. Kvinnor är ofta mer kobenta på grund av deras breda bäcken.

C.2.2 Ledkapsel

Ledkapseln består av fibrasakapseln och synovialmembranet. Hinnan är det innersta lagret i kapseln, och täcker nästan hela. I tillägg täcker den korsbanden på sidan och framför, medan fibrasakapseln täcker banden på baksidan. Alltså är hinnan som ett tunt lager som går från det ACL ner till fibrasakapseln nedanför patella, se figur 2.3. Den yttre breda randen av menisken är sammanväxt med fiberkapseln, men täcks inte av hinnan. (Dahl, Olsen, Rinvik 1976).

C.2.3 Ligament

De fem stora ligamenten kring knäleden är *patellar ligamentet* vilket fäster mellan patella och tibia, *tibial* och *fibular collateral ligamenterna* (inre och yttre sidoledbanden) samt *anterior* och *posterior cruciate ligaments* (främre- och bakre korsbanden). Det inre sidoledbandet motverkar valgus och det yttre varus (Bojsen-Møller, 2000).

Enligt Aspenberg (2013) är ligament uppbyggda av bland annat kollagenspiraler och elastinfibrer. Kollagenspiralerna är långa fiberbuntar vilka bidrar till stabilitet och styrka i bindväven. Elastinfibrer drar ihop kollagenspiralerna när senan är obelastad.

C.2.3.1 Korsband

Korsbanden fäster mellan tibia och femur och ligger mellan fiberkapseln och synovialmembranet. Den proximala änden av ACL fäster på medialsidan av den laterala femurkondylen och den distala änden fram på tibia. Det bakre ledbandet (PCL) är kraftigare än det främre och fäster bak på tibia och på lateralsidan av den mediala femurkondylen. Namnen på korsbanden grundas på vart på tibia de fäster samt att de korsar varandra, se figur 2.2 (Bojsen-Møller, 2000).

Korsbandens funktion är att ge rotationsstabilitet till knäledet samt att ACL motverkar rörelsen då tibia skjuts fram i förhållande till femur, och PCL förhindrar att tibia skjuts bakåt i förhållande till femur (Dargel et al., 2007) .

C.2.4 Muskulatur

Låret har en främre, bakre och medial muskelgrupp. De främre är extensorer, de bakre flexorer och de mediala är adduktorer. Senor sammanlänkar muskler till skelettet. Senor och ligament blandas ofta ihop, skillnaden är att senor går mellan muskel och skelett medans ligament fäster mellan skelettdelar.

Den främre muskelgruppen består bland annat av quadriceps. Quadriceps är kroppens största muskel och den består av fyra delar. De proximala delarna fäster på bäckenet och högt upp på femur och de distala på tibia via knäskålen. Muskeln sträcker benet och den del vilken fäster i bäckenet bidrar även till böjning av höften.

Fäst mellan bäckenet och benets medialsida finns lårets mediala muskelgrupp vilken består av en mängd olika muskler. Dessa ger benet möjlighet till rörelse in mot kroppens centrala axel. Musklerna fäster från bäckenet längs största delen av femur

och ner till övre delen av tibia.

Musklerna i lårets bakre del fäster proximalt utspritt på bäckenet och distalt ner på bakre sidan av femur och tibia. Muskelgruppen har samlingsnamnet hamstrings-muskulaturen. Musklerna extenserar höftleden och flexerar knäleden (Bojsen-Møller, 2000).

Gluteus muskulaturen, även kallad sätesmuskulaturen fäster proximalt på höftbenet och distalt på femur. Muskeln består av tre delar, gluteus minimus, gluteus medius och gluteus maximus. Dessa tre bidrar till höftens inåt- och utåttrotation, abduction och adduktion samt extension (NE, 2017a).

C.3 Ruptur av ledband

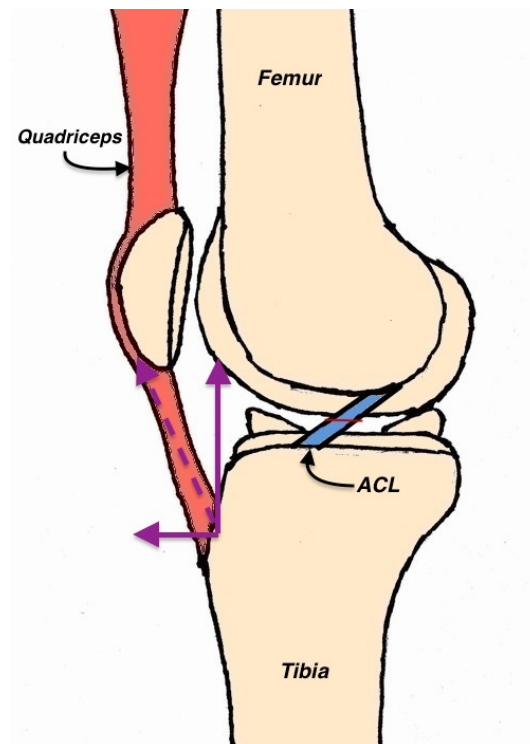
Ledbanden i knät kan ta upp betydande krafter utan att erhålla bestående skador. Vid dragprov av ledband så visas att det först endast är elastinfibrerna som spänns och så småningom spänns också kollagenspiralerna. När kollagenspiralerna dragits ut såpass att fibrerna blir raka så ökar kraften som ledbandet kan hålla emot. Kraften ökar därefter proportionellt per mm uttöjt ledband tills uttöjningen är mellan 5 till 8 %. Då brister enskilda fiberbuntar och dessa bristningar växer tills en ruptur av ledbandet sker. Det är ovanligt att endast fiberbuntarna brister utan en ruptur. Om bristningar ej skett så återvinns all energi vid tillbakagång förutom 15 % vilka utgörs av värmeförluster (Aspenberg, 2013, s. 1-2).

C.4 ACL-skador vid andra sporter

Ruptur av ACL är inte bara en vanlig skada inom alpin skidåkning. Även i inomhus-sporter där friktionen är hög mellan golv och sko sker ACL-skador relativt frekvent till exempel handboll och basket. Olsen, Myklebust, Engebretsen och Bahr (2004) studerade ACL-rupturer inom damhandboll på internationell nivå. 20 videoklipp från 12 säsonger analyserades där ACL-ruptur hade skett. 12 av dessa fallen skedde under lastfallet plant-and-cut där handbollsspelaren sätter ner foten (plant) för att sedan göra en snabb vändning åt en annan riktning (cut). ACL-rupturerna skedde då foten var helt fixerad mot golvet. Från ett näst intill utsträckt ben tvingades Knät till valgus. När överkroppen då vrids åt ett annat håll utsätts knät för inre (eller yttre) rotation. Det näst vanligaste fallet, vilket skedde i 4 av fallen, var vid landning på ett ben efter skott mot mål.

När foten belastas i de båda fallen spänns quadriceps vilket leder till en främre skjuvning av proximala delen av tibia enligt figur C.2. Skjuvning sker tack vara vinkeln på patellaligamentet relativt vertikala axeln av tibia. Ju större vinkel, desto större skjuvning. Enligt en studie av Yu och Garret (2007) där dragprov har gjorts på ACL från kadaver är en sådan skjuvning den största bidragande faktorn till ruptur av ACL. Studien visade också att vinkeln mellan patellaligamentet och vertikala

axeln av tibia ökar då knäts flexionsvinkel minskar. Vid slip-catch tvingas knät i flexion vilket betyder att patellavinkeln kommer minska och att skjuvningen kommer spela liten roll.



Figur C.2: Främre skjuvning vid proximala änden av tibia. Författarens egen bild.

I en annan studie av Krosshaug, Slauterbeck, Engebretsen, Bahr (2007) undersöktes bland annat ett fall av ACL-ruptur under en basketmatch. Skadan skedde då spelaren landade på ett ben. Tidförloppet från det att foten får kontakt med marken till det att den vertikala normalkraften från golvet uppnår sitt maximala värde är under 30 millisekunder och under samma tidsrymd ökade knäts flexionsvinkel från 13° till 35° . Valgusvinkeln ökade då också till 14° och rupturen skedde sannolikt under samma tidsrymd. Denna studie tillsammans med studien av Bere et. al. (2011) visar att en ruptur av ACL sker under en väldigt kort tidsperiod.

D

Ett urval av kvarstående koncept efter elimineringsmatris

Kulled i häldelen - pjäxans häldel fäster i en kulled som när skadesituationen detekteras möjliggör att hälen kan röras runt kulleden. Kulleden var svår att hitta en trolig fungerande lösning till och därför valdes konceptet bort.

Sensorer på bindning + utlösningmekanism, sensorer i pjäxan + utlösningmekanism samt sensorer längs benet + utlösningmekanism - Flera olika förslag på utlösningmekanismer togs fram, dessa tre koncept är en kombination av en av dessa utlösningmekanismer plus sensorer på bindningen, pjäxan eller längs benet som detekterar slip-catch-situationen. Alla dessa tre förslagen kvarstod.

Trekantig klack på pjäxa som skjuver bak häldel vid bakvikt - Då bakvikt förmodligen, men inte säkert, uppstår vid skadesituationen valdes denna lösning bort. Konceptet går ut på att kraften mot bindningen från klacken placerad bak på pjäxans häldel skjuvar bak häldelen så att pjäxan frigörs från bindningen.

Frihetsgrad i sidled i häldel (mekanisk) - Denna lösning möjliggör att pjäxan kan glida ut ur bindningen horisontellt. Detta möjliggörs genom att en fjäder i bindningens bakdel spänts till den grad att den enbart ger efter då krafterna från pjäxan blivit tillräckligt stora. Problemet med lösningen var att krafterna som den behövde motstå inte kunde identifieras. Det kunde då inte fastställas att krafterna är högre än vid normal åkning. Lösningen modifierades dock senare och används i de valda koncepten ihop med sensorer.

Airbag i pjäxa eller bindning - Ett koncept som diskuterades var att ha en airbag med en gaspatron i pjäxan eller bindningen som blåses upp då en slip-catch-situation detekteras. Denna lösning är alltså en kombination med sensorer. Konceptet eliminerades då patronen skulle behöva bytas ut varje gång den löst ut vilket inte upplevdes användarvänligt.