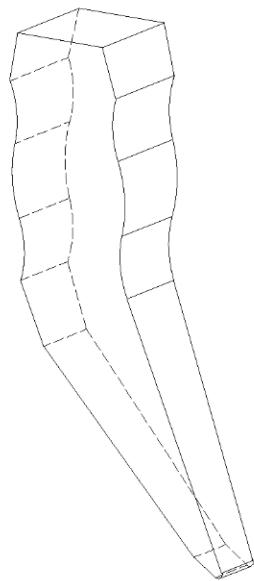


CHALMERS



Innovativ stavspets för rullskidåkning

Innovativ ski pole tip for roller skiing

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Maskinteknik

JESPER WINSTEDT

CORNELIA WONG NYLANDER

Institutionen för Material- och Tillverkningsteknik

Avdelningen för Avancerad oförstörande provning

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2017

Examinator: Gert Persson

Examensarbete No. 170/2017

Exanebsarbete No. 170/2017

Innovativ stavspets för rullskidåkning

JESPER WINSTEDT

CORNELIA WONG NYLANDER

Institutionen för Material- och Tillverkningsteknik

Avdelning för avancerad oförstörande provning

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, Sverige 2017

Innovativ stavspets för rullskidåkning

Innovativ ski pole tip for roller skiing

JESPER WINSTEDT & CORNELIA WONG NYLANDER

© WINSTEDT J. & WONG NYLANDER C., 2017

Institution för Material- och Tillverkningsteknik

Chalmers tekniska högskola

SE-412 96 Göteborg

Sverige

Telefon: +46 (0)31-772 1000

Omslag: Skiss på det framtagna konceptet – Vågad spets, gjord i CatiaV5.

Chalmers/Institutionen för Material- och Tillverkningsteknik

Göteborg, Sverige 2017

FÖRORD

Denna rapport omfattar 15 högskolepoäng och presenterar vårt examensarbete vid institutionen för Material- och Tillverkningsteknik på Chalmers tekniska högskola. Det är ett avslutande arbete på Högskoleingenjörsprogrammet i maskinteknik, 180 högskolepoäng.

Examensarbetet har utförts på ÅF Automotive i Trollhättan där vi främst vill tacka Lisa Simonsson och Jörgen Karlsson för deras hjälp och handledning. Vi vill även tacka Stefan Norling och personal från SkiGo som har hjälpt oss med frågor. På Chalmers tackar vi alla som hjälpt oss men framförallt vill vi tacka Gert Persson, Eric Tam, Sven Ekered och Peter Bövik.

JESPER WINSTEDT & CORNELIA WONG NYLANDER
Maskinteknik 180 hp, Chalmers tekniska högskola, våren 2017

SAMMANFATTNING

Det fanns en efterfrågan på en förbättrad stavspets till rullskidåkning som skulle hålla bättre utifrån brott och slitage. En medarbetare på ÅF Automotive i Trollhättan drog igång det här arbetet som i slutändan blev utformningen på ett projektarbete. Syftet med arbetet är att utifrån praktiska och teoretiska tester skapa en förståelse för problemet och utifrån testerna kunna presentera en stavspets som klarar av sportens påfrestningar bättre än dagens lösningar gör.

De praktiska och teoretiska tester som har utförts för att ge förståelse för problemet är slagtester, materialtester och FEM beräkningar där man lokaliserar koncentrationsspänningar och spänningsvärden vid olika lastfall. Resultatet från dessa tester blev projektets arbetsgrund vid framtagning av nya koncept. Det slutgiltiga konceptet vid namn Vågad spets med dimensioner som är till viss del mindre än en befintlig produkt med en varierande tjocklek, har 60 % mindre spänningar vid last pålagd framifrån och 27 % mindre spänningar vid last pålagd från sidan.

Arbetets beräkningar och tester bygger på en åkteknik kallad dubbelstakning. Hänsyn tas endast till en teoretisk rätt teknik där nedsättningen av staven är vinkelrät med marken vid åkning på plan mark. Utvärderingar kommer att utgå från två olika märken, Swix och SkiGo, som valdes ut under marknadsundersökningen. Endast tre olika lastfall kommer att analyseras där två av lastfallen är en kraft framifrån applicerad antingen på spetsens tipp eller på ett område placerat 4 mm ovanför tippen. Det tredje lastfallet är en kraft från sidan som läggs på spetsens breda yta 4 mm ovanför tippen.

ABSTRACT

There was a request for a better ski pole tip for roller skiing that would be more resilient against fracture and wear. A coworker at ÅF Automotive in Trollhättan started working with this request that in the end resulted in the creation of a project. The purpose with the undertaking is to understand the problem by conducting practical and theoretical tests. From the results, be able to present a ski pole tip that can handle the sport's strains better than today's solutions.

The practical and theoretical tests that have been made to give an understanding for the problem have been impact tests and material tests. By FEM calculations locate concentrations of strains and strain values at different applications of force. The results of these tests became the foundation with the creation of new concepts. In the end the winning concept was "Vågad spets", with dimensions that was smaller than an existing product and a varying thickness. The winning concept had 60 % smaller strain values by a force applied from the front, and 27 % smaller strain values by a force applied from the side.

Calculations and tests the project is based upon is a skiing technique called "double poling". The technique is technically perfect where the pole is put down into the ground at a ninety-degree angle to the ground, and where the ground is flat. Evaluations will be based upon two different brands, SkiGo and Swix, that were chosen during the market survey. Only three different cases of applied force will be analyzed where two of the forces are applied from the front, at the tip of the ski pole tip and 4 mm above the tip. The third force is applied from the side of the tip that will be 4 mm above the tip.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRKORTNINGAR.....	1
1. INLEDNING.....	2
1.1. Bakgrund	2
1.2. Syfte	2
1.3. Avgränsningar	2
1.4. Precisering av frågeställning	3
2. TEORETISK REFERENSRAM.....	4
2.1. Fakta	4
2.2. Forskning och tidigare arbeten	5
2.3. Skidstavens uppbyggnad.....	7
2.4. Underhåll av stavspets	8
2.5. Brott och Slitage	11
2.5.1. Brott	12
2.5.2. Slitage.....	12
2.5.3. Holk släpper från stav	12
2.6. Teori för utförda tester.....	13
2.6.1. Vickers hårdhets test	13
2.6.2. Röntgenkristallografi (XRD).....	14
3. METOD	15
3.1. Litteratursökning	15
3.2. Marknadsundersökning	15
3.2.1. Marknadsundersökning - åkare	15
3.2.2. Marknadsundersökning - företag	16
3.3. Beräkningar	16
3.4. Datorstödd analys, befintliga	18
3.4.1. CAD-modellering.....	19
3.4.2. Finita element metoden	19
3.5. Praktiska tester	20
3.5.1. Slagtester	20
3.5.2. Materialtester.....	21
3.6. Konceptgenerering.....	22
3.6.1. Brainstorming och Modellering	22
3.6.2. Finita element analys.....	23

3.7.	Utveckling av valda koncept	23
3.8.	Slutgiltigt koncept.....	24
4.	RESULTAT	25
4.1.	Litteratursökning	25
4.2.	Marknadsundersökning	25
4.2.1.	Marknadsundersökning - åkare	25
4.2.2.	Marknadsundersökning - företag	27
4.3.	Beräkningar	28
4.4.	Datorstödd analys, befintliga	29
4.4.1.	CAD-modellering.....	30
4.4.2.	Finita element analys.....	32
4.5.	Praktiska tester	45
4.5.1.	Slagtester	45
4.5.2.	Materialtest.....	48
4.6.	Konceptgenerering.....	54
4.6.1.	Brainstorming & Modellering.....	54
4.6.2.	Finita element analys.....	57
4.7.	Utveckling av valda koncept	62
4.7.1.	CAD-modellering.....	62
4.7.2.	Finita element analys.....	63
4.8.	Slutgiltigt koncept - vågad.....	67
4.8.1.	Kraft framifrån	67
4.8.2.	Kraft från sidan.....	68
4.8.3.	Kraft underifrån.....	70
4.8.4.	Jämförelser med befintliga spetsar	70
5.	DISKUSSION.....	73
6.	SLUTSATS.....	74
6.1.	Bedömning av resultat	74
6.2.	Trovärdighetsanalys.....	75
6.3.	Erfarenhet	77
6.4.	Framtida arbete	77
REFERENSER.....		
BILAGA A – MARKNADSUNDERSÖKNINGSFORMULÄR.....		
BILAGA B – MATLAB KOD.....		
BILAGA C – VICKERS HÅRDHETS TESTER		

BILAGA D – XRD DOKUMENT.....	
BILAGA E – RITNING AV VÅGAD SPETS	

FÖRKORTNINGAR

CAD: "Computer Aided design" eller "Datorstödd konstruktion", program för att skapa en 3D-modell på dator.

FEM: "Finita Element Metoden", en metod inom CAD för att analysera spänningar i en konstruktion vid en pålagd last för ett finit antal genererade element.

GSA: "Generative Structural Analysis", verktyg inom CAD för att utföra FEM.

Mesh: Verktyg för att skapa ett gitter med element i en 3D-modell, storlek skrivs för att bestämma storlek på element.

Sag: Hur mycket elementen i mesh'en får avvika från CAD-geometri.

1. INLEDNING

I detta kapitel beskrivs arbetet i form av hur bakgrunden ser ut och vad syftet med det är. Vad som kommer att ingå i arbetet och vad som avgränsas presenteras även som frågeställningar och i underkapitlet Avgränsningar.

1.1. Bakgrund

Längdskidsäsongen brukar sträcka sig från slutet av november till mitten av mars och avslutas med Vasaloppet. För att hålla konditionen i form och även öva på tekniken går man över till att åka rullskidor under april när vägarna är sopade och grusfria till någon gång under september. Trots att underlaget inte är det samma som längdskidåkning används samma tekniker för att ta sig fram i rullskidåkning. Därför är rullskidåkning den bästa träningen under sommartiden för att förbereda sig inför skidsäsongen.

Inom rullskidåkning utsätts stavspetsen för en mängd påfrestningar varje gång den stöts mot asfalterad mark. Stavspetsen ska vara konstruerad efter att klara av den pålagda kraften från rullskidåkaren, men även en del yttre krafter och den ska även slitas ut på ett kontrollerat sätt. Med det menat skall stavspetsen efter ett par mil fortfarande ge grepp åt rullskidåkaren när personen tar sig framåt. Anställda på ÅF Industry i Trollhättan har dock upptäckt att stavspetsen inte är särskilt pålitliga då den ofta slits ut snabbt eller går sönder. För professionella skidåkare är det ett problem om stavspetsen går sönder under ett lopp då det kan medföra oönskade konsekvenser. Därför har ÅF skapat ett projekt för att utveckla en stavspets som upplever mindre slitage, är stöttåligare och som har bra fäste mot marken i jämförelse med dagens stavspetsar.

Commented [JW1]: Uppdaterad text

1.2. Syfte

Syftet med det här projektet är att förstå och analysera stavspetsens sprickbildning och utslitning med hjälp av kundundersökningar och olika slagprov-tester mot stavspetsen. Med hjälp av produktutvecklingsmodeller, projektmetodik samt analyser på befintliga produkter kommer en ny konstruktion tas fram. Därefter skall förslag på en förbättrad stavspets som tål mer påfrestningar än marknadens konkurrerande lösningar (de befintliga lösningarna) redovisas i slutet av projektet.

1.3. Avgränsningar

Projektet kommer ha sitt fokus på att ta fram en hållfast konstruktion på stavspetsen som skall tåla högre yttre påfrestningar och minska antalet brott. Utifrån slagprov-tester som skall representera olika situationer som spetsen utsätts för i verkligheten kommer endast hänsyn tas

till två befintliga produkter som kommer vara grunden till beräkningar och konstruktion. Varför bara två lösningar tas till hänsyn är dels på grund av bristande tid och att de flesta stavspetsar har en likartad form, samt är det begränsad budget i projektet. Krafterna som förekommer på spetsen vid slag kommer att appliceras utifrån en felfri teknik under stakning, som är en vanlig förekommande åkstil.

Då projektet är begränsat inom en viss tidsplan kommer inga djupgående och utförliga beräkningar utföras, utan endast grundliga sådana. Ingen simulering av framtagna produkt kommer att göras samt kommer ingen tillverkning av prototyp ske. Inga kostnadskalkyler kommer att tas fram.

1.4. Precisering av frågeställning

Problemformulering:

Hur skall man konstruera en slitstark skidstavspets som har en längre livslängd och tål yttre påfrestningar bättre än dagens lösningar?

Delfrågor som besvarar huvudfrågan:

Hur ser dagens lösningar ut?

Hur ser spetsens infästning ut idag?

Vart befinner sig de högsta spänningarna i stavspetsen som leder till sprickbildning?

Hur ser brotten ut?

Vad är avvikande och gemensamt hos olika stavspetsar vid brott?

Vad har materialet för betydelse när det kommer till utmattningen, utslitning och brott?

Kan ett bättre material väljas?

Commented [JW2]: Snyggt?

2. TEORETISK REFERENS RAM

I kapitlet kommer tidigare arbeten och forskning inom området rullskidåkning och stavspetsar att refereras. Det presenteras även hur staven är uppbyggd samt hur stavspetsen för rullskidor ser ut och är fäst på staven. I kapitlet tas det även upp om hur stavspetsen skall underhållas samt hur brott och slitage uppstår.

2.1. Fakta

Skidutrustningen har förbättrats sakta men säkert redan från 2500 e.Kr. då anskaffning av olika material egenskapsmässigt passade bättre än andra (Street G. M. 1992).

Vid observering av skidstavens utveckling har det hänt en hel del genom århundraden. Den solida trästaven byttes ut mot ett par långa bambustavar som därefter ersattes av aluminium och fiberglasstavar runt 70-talet. Idag är många skidstavar tillverkade av kolfiber och kevlar för att få egenskaper som lättviktad men samtidigt styv.

Ett annat bevis på att skidåkningen har utvecklats är genom att jämföra olika tiders medelhastigheter. Början av 90-talet låg tiden per kilometer i sprint på 4:15 minuter men som sedan under mitten av 90-talet låg på 2:30. Idag på 2000-talet har vi en beräknad medelhastighet på 10 [m/s] (Stöggl & Müller, 2008). Det här bekräftar att skidåkningen har genomgått en stor utveckling där åktekniker har tagits fram och förfinats för att göra det möjligt att komma upp i dessa hastigheter. Utrustningen har där en avgörande roll för åkarnas prestation. En av teknikerna som tillämpas i längdskidåkning är dubbelstakning där stavarna utsätts för en stor framåtdrivande kraft vid nedsättning och frånskjut. Med tanke på stavarnas väsentlighet har man satt stort fokus på konstruktionen och materialvalet, men även hos den övriga utrustningen för att få fram de optimala egenskaperna (Stöggl T. och Karlöf L, 2013).

I detta arbete kommer endast en teknik analyseras, vilket är dubbelstakning. Det som utmärker tekniken är att armarna och stavarna förs framåt samtidigt för att därefter sätta stavarna i marken och trycka sig framåt. Det är en av de mest använda teknikerna bland klassisk längdskidåkning (Bergh & Forsberg, 1992). Framdrivningen i dubbelstakning involverar främst bålen och armarna när man trycker kroppen framåt under självaste staktaget. Bålen med dess stora muskelmassa samspelar då, med armarna och stavarna genom skulderna och armbågslederna. Med hjälp av en höft rörelse kan rörelsen sammansättas till en rörelse och överföra den alstrade kraften till ett stavtag.

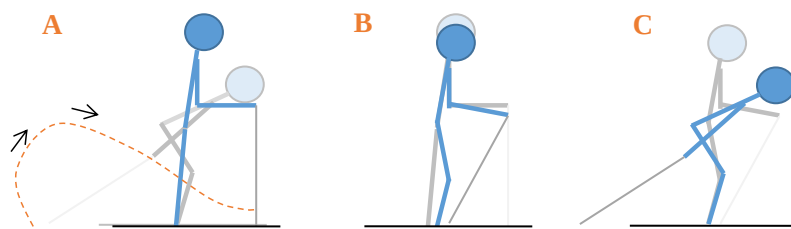
Under de senaste åren har man sett att flexibilitet i knän även har en betydelse i åkstilen. Flexibilitet gör nämligen att åkaren kan sänka sin tyngdpunkt för att därefter kunna göra en vertikal momentöverföring från kropp till stavarna. Det här medför en ökning i den vertikala och horisontella kraftkomponenterna i stavtaget (Nilsson J., Tinmark F., Halvorsen K., Arndt A., 2013).

2.2. Forskning och tidigare arbeten

I studien “Kinematic, kinetic and electromyographic adaptation to speed and resistance in double poling cross country skiing” (Nilsson J., Tinmark F., Halvorsen K., Arndt A., 2013) analyseras de biomekaniska anpassningarna efter hastighet och ett horisontellt motstånd där man eventuellt använt sig av en elektromyograf för att beräkna timing, varaktighet och amplituden på musklernas aktivitet. Elektromyografi (EMG) är alltså ett sätt att dokumentera musklernas reaktion på simulering från nervsystemet (Wikipedia, 2016).

Efter en sammanställning av EMG testerna visade resultatet att den vertikala stavkraften var som högst i början av stavtaget, följt av en ökad horisontell kraftkomponent då stavvinkeln ökade med avseende på dess startposition. Det man även fick ut av testerna är att både frånskjut- och svängfasens varaktighet blev signifikant längre vid lägre hastigheter. Men dock fanns det ingen större skillnad på den relativa varaktigheten på stakfasen mot den normaliserade cykeltiden vid olika hastigheter.

För att förklara de olika faserna, stak-, frånskjut- och svängfasen, illustreras de i figur 2.1.



Figur 2.1. Beskrivning av de olika faserna: A. svängfasen, B. stakfasen och C. frånskjutsfasen

I delfiguren A demonstreras svängfasen, vilket är när staven lämnar marken efter ett frånskjut och sätts i igen för ett nytt staktag för att färdas framåt. I B beskrivs stakfasen vilket är när åkaren sätter i staven och tar kraft för att föra kroppen framåt för att sedan avsluta rörelsen med ett frånskjut (delfigur C). De här tre faserna upprepas för att åkaren skall kunna färdas framåt och bildar en cykel.

En annan studie som handlar om att granska stavkrafterna för olika åktekniker är “Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed” (Millet, Hoffman, Candau, Clifford, 1998). Studien grundar sig på åktester på löpband där nio professionella längdskidåkare får utöva fyra vanligt förekommande tekniker i längdskidåkning medans stavkrafter och timing dokumenteras med mätningssystem.

I den intressanta delen av resultatet framgick det att bland fyra vanliga åktekniker var dubbelstakning den tekniken som genererar störst kraft i staven och då utsätter stavspetsen för störst kraft. Medelkraften över en hel cykel ökade också med hastigheten för samtliga

Commented [CWN3]: Vilka?

Commented [CWN4R3]: Måste dem presenteras? Säger ju ändå inget om jag säger vilka de är, eller?

tekniker. Dock uppkommer dubbelstakning inte i samma höga hastigheter som de övriga teknikerna då dubbelstakning ungefär är 9 [%] långsammare.

Fler studier som är av intresse inom området av rullskidåkning är "Mechanical behaviour of cross-country ski racing poles during double poling" (Stöggl, Karlöf, 2013). I studien utvärderar Stöggl och Karlöf beteendet hos skidstavar för längdskidåkning under dubbelstakning på ett löpband vid användning av 3-D kinematik. Detta utfördes genom att låta åkarna staka på ett rullband med sensorer utsatta på stavarna som registrerade stavens position kontinuerligt. Variablerna som beskriver cykelkaraktistikan, böjstyvheten, böjningsbeteendet och stavmarkörernas bana analyserades. De provade tre olika stavar med märket Swix – CT1, CT2 och Triac och gjorde tester på 18 professionella skidåkare (2 kvinnor, 16 män) där de testades på två olika maxhastigheter samt två olika lutningsgrader. Triac som har en triangulär form visades vara den styvaste skidstaven bland dessa tre och hade lägsta variationen i maximala utböjning. CT2 som var den mjukare staven visade på stor variation hos dess böjningsbeteende och som tappade markfäste vid höga hastigheter.

Generellt sett hos skidstavarna hade alla störst utböjning i mittendelen av staven, vilket är avvikande från tillverkarnas statistiska stavanalys. Triac svarade inte bara bra i styvhetstestet utan också i testet på stavens pendelegenskaper och stavkontroll under svängfasen. I denna studie så har Triac de bästa stavegenskaperna följt av CT1 och sist CT2. I studien rekommenderas skidåkare på hög nivå en styvare stav som inte har stora varierande utböjningsegenskaper, som CT2 visade att ha, p.g.a. de hastigheter de kommer upp i då bra mark grepp är en viktig egenskap. I studien påvisades även att mjuka stavar inte kan få ett optimalt markfäste vid höga hastigheter, vilket inte är att rekommendera för skidåkare på elitnivå.

En annan studie som har tagits fram handlar om kroppsdimensionernas och kroppskompositionens inverkan på åkningen (Stöggl Enqvist, Müller, Holmberg, 2010). Målet med studien var att analysera de mänskliga kroppsmåtten faktorerna och dra slutsatser om specifika kroppskompositioner eller kroppsdimensioner har någon fördel i specifika åkstilar. I studien deltog 14 män som var nationella och internationella elitskidåkare. De fick prestera på två toppfartstester i dubbelstakning samt diagonalåkning på ett löpband. För att ta fram nödvändig data till analysen användes en "Dual-energy x-ray absorptiometry".

Det som senare presenterades i studien var att kroppshöjden och kroppsdimensionerna inte påverkar åkningen hos de båda stilarna. Dock fanns det starka kopplingar mellan kropps-/bålmassa och topphastigheten för dubbelstakning. Stavens längd har även den en väsentlig roll vid höga hastigheter i dubbelstakning då det beräknades ha en väsentlighetsknot på 60 [%]. Effekten med en längre stav medför en högre framåtdrivande kraftimpuls och en längre frånskjutsfas. En längre stav medför alltså en högre toppfart.

Vid sökning bland studentuppsatser hittades två intressanta arbeten där ett arbete handlar om böjd stavdesign och det andra handlar om vikten på stavspetsen.

Arbetet om böjd stavdesign (Nilsson M., 2016) jämför stavisättningen och stakfasens påverkan vid användning av en böjd stav med en rak stavdesign i hög hastighet på rullskidor

Commented [CWN5]: Förklara

på rullband. Tio manliga längdskidåkare fick genomföra ett Vmax-protokoll där data samlades in för analys för att fastställa skillnader i stavisättning, stakfas, svängfas och total cykeltid. Resultatet av studien visade på inga större skillnader i de olika faserna eller i den totala cykeltiden. Det enda som skiljde sig var att stavisättningen skedde längre fram vid skidorna jämfört med en rak stav.

Syftet med det andra arbetet (Olsson D., 2016) var att undersöka skillnaderna mellan två olika tunga stavspetsar och dess inverkan på dess rörelsemönster under rullskidåkning i två olika åk hastigheter vid dubbelstakning på rullband. Ett rörelseanalyssystem användes för att samla in data angående stavspetsens rörelsemönster i x-, y-, och z-led. Resultatet blev att rörelsemönstret hos den lättare stavspetsen var mer förstorat i jämförelse med den tyngre stavspetsen oberoende arbetsintensiteten. Den lättare stavspetsen befann sig högre upp i förhållande till mattan, längre fram i förhållande till stavisättningen samt längre bak i förhållande till stavsläppet än när tung stavspets används. Stavspetsens kontakttid med mattan va den samma för de båda stavspetsarna oavsett hastighet. Vid tävlingssammanhang på snö används så lätt utrustnings som möjligt. För att efterlikna rörelsemönstret vid dessa sammanhang bör det övervägas att använda lätta stavspetsar.

Staffanstaven (Staffanstaven, u.å.) är ett projekt som har grundat sig på att rullskidåkare blir väldigt belastade i armbågar och axlar då de stakar på hårda underlag. Projektet har lett till att ett speciellt handtag har tagits fram som har en dämpande fjäder under sig, vilket leder till att åkaren får en snöliknande känsla när hen stakar. Förutom att åkarens axlar och armbågar blir mindre påfrestad och åkaren kan åka mer, kan de bibehålla en optimal stakning längre och det blir effektivare åkning. Resultatet från att en optimal stakning kan hållas bättre och längre leder till att stavspetsen håller längre, eftersom det blir mindre oregelbundna eller slöa stakningar.

Ett kanadensiskt företag vid namn Proskida (Proskida, u.å.) har utvecklat och håller på att arbeta vidare med ett projekt där en effektmätare sitter i handtaget på skidstaven. Effektmätaren är sedan kopplad till åkarens mobil via en app som ger åkaren möjligheten att ta del av den data som har uppmätts under passet. Det som kan utläsas är information om effektmedelvärde under mätningen, den största effekten åkaren har kommit upp i, genomsnittshastigheten och åkt sträcka.

2.3. Skidstavens uppbyggnad

Skidstaven består av tre huvuddelar - handtag, stav och stavspets. Delarna kan dock variera i utformning och material.

- **Handtaget** tillverkas oftast av plast, gummi eller kork och har en rem som man fäster runt handleden.

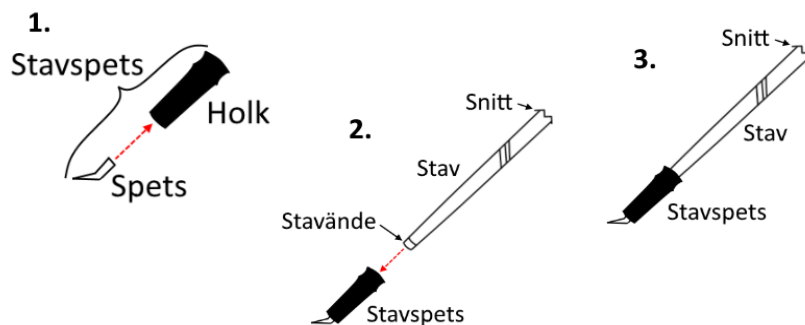
Commented [CWN6]: Referens

Commented [CWN7R6]: musch

Commented [CWN8]: Referens

Commented [CWN9R8]: musch

- **Staven** är oftast ett rakt skaft, men andra versioner av staven har börjat dyka upp som består av metall eller kolfiber med andra former. Kolfiberstaven är en av de dyrare varianterna på marknaden som de flesta på proffsnivå använder på grund av dess hållfasta material och låga vikt.
- **Stavspetsarna** för rullskidåkning består huvudsakligen utav två grunddelar. En *spets* som är i kontakt med ytan och en hållare som kallas *holk*. Spetsen sitter fast i holken och sedan är det holken som fästs på skidstavens ände. Stavspetsens utformning samt belägenhet på staven finns beskrivet i figur 2.2.



Figur 2.2. Montering av stavspets, uppdelat i tre steg.

I de flesta fall är spetsen gjord av metall men det förekommer tillfällen där den är tillverkad av plast och gummi. Dock förekommer gummi mer som en fot än en spets när man tränar rullskidåkning på löpband.

Holken kan komma i många olika storlekar och former, t. ex. kan den ha en inbyggd fjäder eller ha en funktion som gör den lätt utbytbar. Holken är oftast någon form av plast, men det har börjat komma plastholkar nu där plasten är förstärkt med kolfiber.

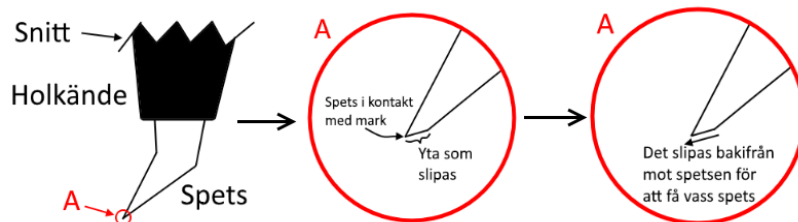
Med en komplett stavspets, spetsen ihopsatt med holken, fästs stavspetsen på stavens ände, motsatt handtaget, med ett fäste som oftast är smältlim.

2.4. Underhåll av stavspets

En stor skillnad mellan att åka rullskidor och vanliga skidor är underlaget. Istället för att åka på mjuk snö varierar underlaget när man åker rullskidor, men majoriteten av tiden försöker man åka på asfalt för att det är ett jämnt och fast underlag. Detta leder till att man måste underhålla stavspetsen.

Commented [CWN10]: Nämna komposit kanske

Första sättet man kan underhålla spetsen på är att man slipar den. Det är för att spetsen ska bibehålla sin skärpa så att åkaren får ett bra grepp i marken under stakning och inte slinter. I figur 2.3 förklaras hur slipningen utförs i bildform, där färdriktningen är åt vänster dit spetsen pekar.



Figur 2.3. Förklaring för slipning av spetsen.

Hur ofta spetsen behöver slipas beror på flera olika parametrar. Åkstilen hos åkaren spelar stor roll eftersom spetsen då slits på olika sätt. Asfalt, som är det underlag majoriteten åker på, blir hårdare respektive mjukare beroende på vilken temperatur det är i luften, vilken årstid det är har alltså inverkan på spetsens förslitning. Utöver det spelar det också roll vad det är för underlag åkaren åker på när det kommer till förslitning av spetsen.

De olika parametrarna gör det svårt att veta exakt när stavspetsen behöver slipas vilket leder till dåligt grepp eller en för mycket slipad spets. På hemsidan Rullskidor.se finner man en text som på ett bra sätt förklarar vad åkaren ska tänka på och hur dem ska gå tillväga med att slipa spetsen. Texten finnes på Rullskidor.se och lyder:

" Glöm ej att slipa stavspetsarna med jämna mellanrum, du förlänger livstiden på spetsarna samt sparar pengar eftersom du inte behöver köpa nya spetsar så ofta. När asfalten är hård (höst, vinter och vår) så bör stavspetsarna slipas var 2-3:e mil och under sommaren var 3-4:e mil. Investera i ett bra diamanbryne som du alltid har med dig, för då kan du slipa så fort du känner att staven börjar slinta. "

Det finns flera olika verktyg för att slipa spetsen. En vanlig platt metallfil, en trumslip med diamanthölje, maskinslip eller ett diamanbryne. Enligt undersökningar är ett diamanbryne det vanligaste verktyget som används vid slipning av stavspetsen.

En del billigare stavar, t.ex. stavar som är riktade till mindre barn har ofta spetsen inbyggd i staven, vilket medför att spetsen inte går att byta om den går sönder. Stavar för äldre åkare och särskilt de stavar som är till ett dyrare pris går det att ta av stavspetsen, där majoriteten av stavspetsar sitter fast i skidstaven med smältlim. Detta ger möjligheten att ta av spetsen för att sätta på en ny när det behövs.

För att byta stavspets värmer man först holken som sitter på staven med en värmepistol eller badar den i kokhett vatten så att smältlimmet mellan holk och stav släpper tillräckligt för att stavspetsen ska kunna tas av. När den gamla spetsen är borttagen värmer man smältlim med

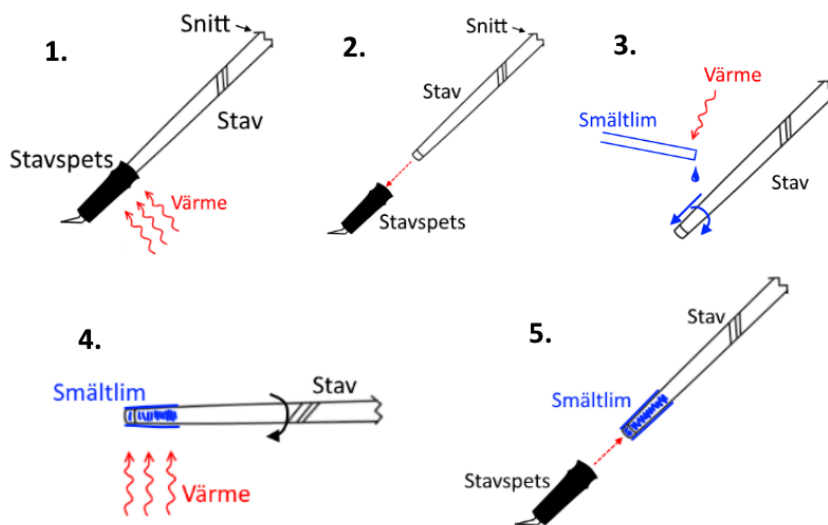
Commented [CWN11]: Vilket håll färdas åkaren?

Commented [CWN12]: ?

Commented [CWN13]: Upprepning?

Commented [CWN14]: syftning

en varmluftspistol och applicerar smältlimmet på stavens ände. Därefter värmer man staven med det applicerade limmet något extra för att till sist sätta dit en ny stavspets. Viktigt att veta är att inte värma för länge och att inte hålla staven för nära varmluftspistolen då det kan skada materialet i staven. Det är även viktigt att spetsen pekar åt rätt håll när den sätts på, spetsen skall peka åt samma håll som rullskidorna vid framåtfärd när staven hålls vinkelrätt mot marken. Processen förklaras i figur 2.4. nedanför i stegform, där steg 1 är att holken värms. Steg 2 är när holken tas av o.s.v..



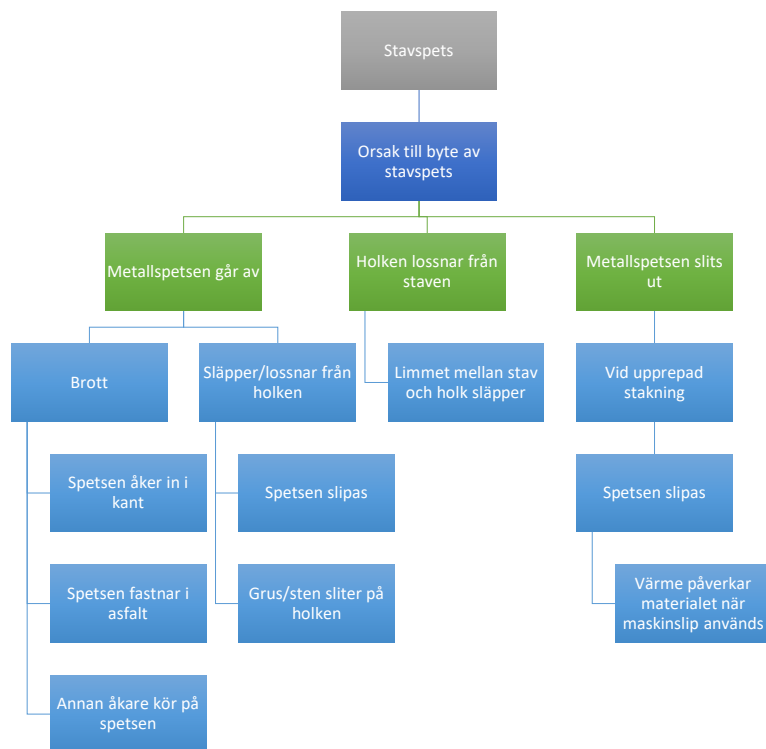
Figur 2.4. Fem steg vid byte av stavspets.

Commented [CWN15]: Riktning?

Commented [CWN16]: Har egentligen redan förklarat bilden, men kunde vara bra att hänvisa typ: "...värmer först staven, vilket går att se i steg 1 i figur 2.3...."

2.5. Brott och Slitage

Utifrån utvärdering och undersökningar i litteratur och personliga intervjuer har anledningar till att stavspetsen byts ut brutits ner till olika orsaker enligt en trädstruktur, som kan observeras i figur 2.5. De olika fallen förklaras senare i underrubrikerna.



Figur 2.5. Träddiagram för orsaker att byta spets.

2.5.1. Brott

När spetsen går av sker det antingen genom att det blir ett brott i metallspetsen, eller så lossnar spetsen helt från holken.

I nästan alla fall beror brott på en yttre påverkan på metallspetsen och spetsen splittras/går av. Spetsen är konstruerad på ett sådant sätt att den klarar av stakning mot hård yta bra, men när det uppkommer en sidokraft går den sönder väldigt lätt. Detta betyder att när åkaren fastnar i en spricka i vägen eller råkar slå metallspetsen i sidan, t.ex. på ett brunnslöck, går spetsen nästan alltid sönder om krafterna är för stora.

Vid tillfällen spetsen släpper helt från holken beror majoriteten av fallen på två olika saker. Antingen har metalldelen blivit för varm vid en slipning och ytan mellan spetsen och holken försämras så att spetsen släpper. Andra fallet är att holken har slitits, t.ex. av småsten som flyger upp och sliter på plasten på holken vid metallspetsens infästning när det är grusunderlag. Till sist tappar holken sitt grepp om spetsen.

2.5.2. Slitage

Enligt ÅF var utslitningen det största och vanligaste problemet rullskidåkare hade. Eftersom stakningen sker på hårda underlag slits metallspetsen ut. För att bibehålla ett bra grepp måste därför spetsen slipas så att det blir optimalt grepp för åkaren.

Efter ett antal slipningar måste spetsen bytas ut eftersom spetsen har tappat sitt grepp mot asfalt och det går inte att slipa till en ny bra spets längre.

2.5.3. Holk släpper från stav

Om stavspetsen har blivit för varm vid en slipning med maskin eller om staven har tagit någon skada av en värmepistol kan limmet mellan holk och stav släppa så att hela stavspetsen ramlar av. Detta fallet verkar dock väldigt sällsynt.

2.6. Teori för utförda tester

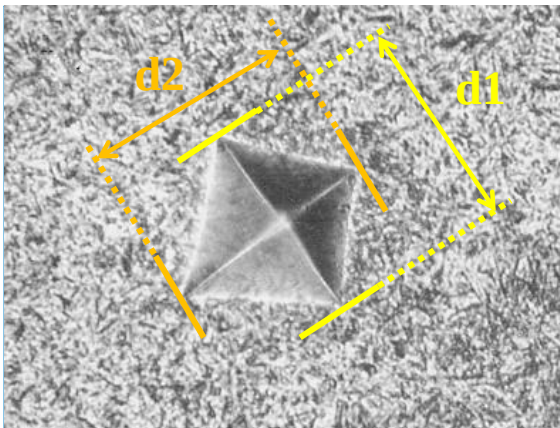
Avsnittet behandlar bakomliggande teori och information för de materialtester som har utförts under arbetet.

2.6.1. Vickers hårdhets test

För att ta reda på ett materials hårdhet kan man utföra ett hårdhetstest. Hårdheten kan definieras som ett motstånd på inskärning och beräknas genom mätning av det permanenta djupet på intrycket som en indenter skapat.

Vickers hårdhets test, även kallat ett mikrohårdhetstest, används oftast till små objekt eftersom intrycket är väldigt litet. Vickers metoden baseras på ett optiskt måttssystem. Genom att specificera en lätt last, mellan 5 till 2000 [gram], över ett område med hjälp av en diamant indenter skapades ett märke som måttsätts och därefter konverteras till ett hårdhets värde, HV (materials.co.uk, u.å.).

En rektangulär pyramidformad diamant används vid Vickerstesterna. Mellan två motsatta sidor vid diamant indenterens spets är det en vinkel på 136 [grader] som med den förbestämda lasten pressas ner i provet. Kraften initierar provet i 2 till 8 [sekunder] och själva kraften kan appliceras mellan 10–30 [sekunder]. Efter att indenter har applicerat kraften mäts de diagonala längderna ut, d1 och d2 [µm]. Dessa längder definieras i figur 2.6 (Clarke D. M., 1988 (Modifierad)).



Figur 2.6. Visualiserar hur mätningarna d1 och d2 tas

Därefter beräknas Vickers hårdhets värde, HV, ut genom formeln:

$$(1) \quad HV = \text{Konstant} * \text{Testkraft} / \text{Inskärningsytans area} = 0,102 * \frac{2F \left(\sin \frac{136^\circ}{2} \right)}{d^2}$$

Commented [CWN17]: <http://www.materials.co.uk/vickers.htm>

Commented [CWN18]: (modifierad)
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/db/Case_hardened_steel-vickers_hardness_test.png

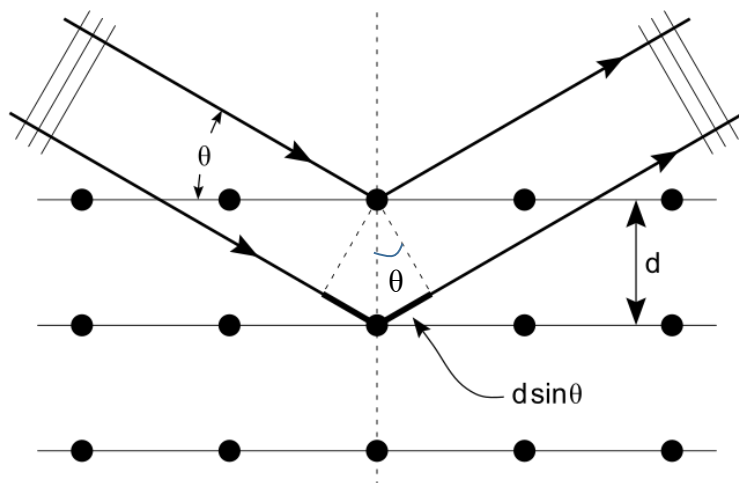
2.6.2. Röntgenkristallografi (XRD)

”X-Ray Diffraction” vilket även förkortas till XRD är en metod som tar fram den molekylära kompositionen och strukturen hos ett kristallint material.

Med hjälp av monokromatiska röntgenstrålar och ett kristallint prov kan en XRD utföras. Röntgenstrålarna som genereras i ett katodstrålerör filtreras för att producera monokromatisk strålning som riktas mot provet (SERC, 2017). När strålningen träffar provet genereras konstruktiv interferens när förhållandena stämmer överens med Bragg’s lag:

$$(2) \quad n\lambda = 2d \cdot \sin \theta$$

Lagen relaterar våglängden hos strålningen (λ) till diffraktionsvinkeln (θ) och gitterspannet (d) i det kristallina provet. ” n ” står för reflektionens ”ordning” vilket är ett positivt heltal. Med hjälp av en detektometer som roterar runt provet och samlar in röntgenstrålarnas diffraktionsvinkel samt intensiteten kan toppar vid speciellt d -avstånd identifieras om Bragg’s lag uppfylls. Det här medför identifikation med provets mineralämnen då varje grundämne har ett unikt d -avstånd. Provets framtagna d -avstånd jämförs då med standardiserade referensmönster. I figur 2.7 beskrivs Bragg’s lag med de olika parametrarna θ , λ och d (Hydrargyrum, 2011 (Modifierad)).



Figur 2.7. Bragg’s lag applicerad i ett gitter med atomer

Commented [JW19]: syftning?

Commented [JW20]: Kommer folk undra över n? vad är det exakt?

3. METOD

Nedan beskrivs olika metoder och tillvägagångssätt som användes i projektet. Först bestämdes metoder för undersökningar och analyser av stavspetsar som sedan går över till fysiska och teoretiska tester av spetsens hållbarhet. I slutet utfördes en konceptframtagning av informationen som tagits fram som sedan utvärderades för att få fram en optimal lösning.

3.1. Litteratursökning

En litteratursökning gjordes för att få en bättre förståelse för projektet och produkten men även för att se om tidigare arbeten hade gjorts inom arbetsområdet för att se om det kan utnyttjas i arbetet. Sökning på patent, företag, forskningar och produkter utfördes samt uppföljning av artiklar och tidskrifter som eventuellt ÅF tillhandahållit projektet. En del av den framtagna informationen finns att läsa om i kapitel 2.

3.2. Marknadsundersökning

Med hjälp av en marknadsundersökning kunde projektet få en uppfattning om hur kunder och företag såg på problemet med icke hållbara stavspetsar. En marknadsundersökning med 17 frågor togs fram där åkare fick uttrycka sina åsikter om dagens stavspetsar för rullskidåkning där hänsyn togs till åkarens nivå, erfarenhet inom åkning, åkunderlag, märke, träningssträcka och slipverktyg. Kontakt togs även med företag för att få deras syn på marknads stavspetsar och vad de ansåg problemet till den dåliga hållbarheten som vissa åkare uppfattade som problematisk. Då projektet fick kontakt med företaget SkiGo AB och startade ett samarbete med dem så utnyttjades kontakter som företaget hade.

3.2.1. Marknadsundersökning - åkare

Ett formulär med 17 frågor skapades och skickades ut till ÅF Trollhättans medarbetare då ett engagemang fanns på företaget. Projektets handledare på ÅF skickade formuläret internt till medarbetarnas mail för enskilt besvarande.

Med hjälp av sociala media skapades kontakt med två olika rullskidåkar-grupper för att kunna publicera formuläret där. En grupp kallade sig för "Rullskidåkare i Trollhättan" och hade 422 medlemmar med gemenskapen att alla åker rullskidor i Trollhättan och vill träna tillsammans. Den andra gruppen hette "Rullskidor - IK Stern" vilket var en grupp med 258 medlemmar som även är medlemmar i rullskidsklubben IK Stern. Formuläret finns att hitta i BILAGA A.

Från informationen formulären tillhandahåller valdes den vanligaste spetsen och staven för framtida analyser och tester. I formuläret efterfrågades även kontaktuppgifter för framtida

Commented [CWN21]: Relevant resultat

kontakt med aktiva åkare, ifall personlig intervju eftertraktas eller om det behöver ställas fler frågor.

Utav projektets samarbetspartner Stefan Norling från SkiGo AB utgavs även specifika åkares kontaktuppgifter som åkte på elitnivå alternativt väldigt mycket för att få deras åsikt. För att komplettera formulärets svar togs dessa personer kontakt via telefon.

3.2.2. Marknadsundersökning - företag

Det togs kontakt med olika företag som tillverkade stavspetsar till rullskidor som eventuellt Stefan Norling rekommenderade projektet att ta kontakt med. Till vissa företag skickades det e-mail till medans andra togs kontakt med via telefon. ÅF rekommenderade också att ta kontakt med en medarbetare på företaget då han åker väldigt mycket rullskidor.

Intervjun med företagen omfattade frågor som behandlar deras utbud på stavspetsar, dem upplevda problem med deras produkter och åsikterna de hade om brott och slitage på stavspetsar. Beroende om respondenten själv är åkare ställdes liknande frågor som i formuläret för att få höra deras personliga uppfattning om problem med spetsarna. Även frågor angående företagets tillverkning av spetsarna ställdes för att få information om materialdata, tillverkningsstekniker och leverantörer. Informationen kommer att därefter användas vid senare analyser, som brotttester och FE-analyser.

3.3. Beräkningar

För att undersöka vad en möjlig referenskraft skulle kunna ligga på vid det tillfälle stavspetsen upplever en stöt vid krock av kant vid framåtfart, utfördes impulsberäkningar på stöten. Inga tester har utförts vilket betyder att det inte finns några referensvärden att utgå ifrån till beräkningarna, därav kommer framtagna krafter inte användas eller refereras till vid FE-analyserna. Tillfället spetsen slår i kanten anses den ha en rätlinjig rörelse där kraften ses som konstant under stötförloppet. Fallet beskrivs med följande formel (Grahn & Jansson 2013, 301):

$$(3) \quad F_x * t = m * \dot{v} - m * v$$

Formel (3) är *impulslagen* vid en konstant kraft och en rätlinjig rörelse. Parametrarna i formeln står för F_x =Kraften i stöten, t =tiden under stöten, m =massan hos kropparna som upplever stöten, v =hastigheten innan stöt och $\dot{v}$ =hastigheten efter stöt. Kraften är ett medelvärde som kan skrivas enligt:

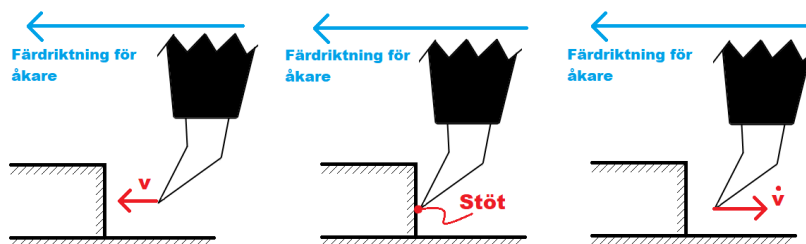
- $F_x = \bar{F}_{stöt}$

Commented [JW22]: Möjligen uppdatera siffror

Stöttiden t ses som den del av tiden som stavspetsen är i kontakt med ytan den krockar med och formuleras om som:

- $t = \Delta t$

Stavspetsen krockar med en fast yta där ytan har en hastighet före och efter stöt som är 0 [m/s]. Därav fås hastigheten $v_2=0$ för den fasta ytan (ytan spetsen slår i). Från detta blir också hastighetsriktningen efter stöt motriktad riktningen innan stöt för spetsen, eftersom den fasta ytan har ingen rörelse före och efter stöt. Figur 3.1. visar hur rörelsen ser ut.



Figur 3.1. Spetsens stöt mot en fast yta vid en färdriktning framåt

Med ovanstående antaganden insatta i formel (3) kan formeln skrivas om enligt:

$$(4) \quad \bar{F}_{stöt} \times \Delta t = m\dot{v} - (-mv) = m\dot{v} + mv$$

Stötkoefficienten e bestäms med följande formel (Grahn och Jansson 2013, 494):

$$(5) \quad \frac{\dot{v}_2 - \dot{v}_1}{v_1 - v_2} = e$$

I formel (5) är $\dot{v}_1$ och $\dot{v}_1$ spetsens hastigheter före och efter stöt med ytan medans $\dot{v}_2$ och $\dot{v}_2$ är den fasta ytans hastigheter. Men ytans hastighet är noll både före och efter stöt. Värdena i formeln för stötkoefficienten skrivs då om enligt:

- $\dot{v}_1 = (-v)$
- $\dot{v}_1 = \dot{v}$
- $\dot{v}_2 = \dot{v}_2 = 0$

Omskrivna värden insatt i formel (5) för stötkoefficienten ger stöt mot en fast yta enligt (Grahn och Jansson 2013, 496):

$$(6) \quad \frac{0 - \dot{v}}{(-v) - 0} = e \Rightarrow \dot{v} = e \times v$$

Commented [JW23]: Skriv full referens i referenskapitlet

Commented [JW24]: Skriv full referens i referenskapitlet

Formel (6) insatt i formel (4) ger den slutgiltiga formeln som kommer användas:

$$(7) \quad m \times e \times v + m \times v = \bar{F}_{stöt} \times \Delta t$$

$$(8) \quad m \times v \times (1 + e) = \bar{F}_{stöt} \times \Delta t$$

Stötkoefficienten e och tiden Δt är de obekanta termerna och den sökta parametern är medelkraften i stöten. Formel (8) skrivs om enligt:

$$(9) \quad \frac{m \times v \times (1 + e)}{\Delta t} = \bar{F}_{stöt}$$

Massan m baserades på en massa som utgick från gram/meter som låg på ca 70 [gram/meter] hos staven, där staven hade en längd på 1,6 [m]. Värdet på massan togs från ett medelvärde på massa per längdenhet utifrån analys av skidstavar som fanns på marknaden. Längden sattes till 1,6 [m] eftersom det var en vanlig längd att ha på staven utifrån en personlig längd på 1,8 [m]. Hastigheten v sattes till 50 [km/h] som är 13,89 [m/s], vilken valdes utefter intervjuer med åkare och artiklar som visade att proffsåkare kan komma upp i dem hastigheterna med rätt förhållande.

Problemet nu är att bestämma faktorerna e och Δt . Det fanns inga möjligheter eller resurser för att utföra noggranna tester för vilka värden som medelkraften antar vid stöten som leder till brott i spetsen. Utifrån mekanikboken (Grahn, R. & Jansson, P. 2013, 496) är en stöt mellan bly och bly ca $e=0.2$, vilket togs som det lägsta värdet på stötkoefficienten. Stötkoefficienten sattes att variera mellan $0.2 \leq e \leq 1$ i beräkningarna. Stöttiden var väldigt svår att uppskatta, men sattes mellan $0.01 \leq t \leq 0.1$ eftersom den är väldigt kort.

Det skapades en MATLAB-kod som hanterade beräkningarna hos de varierande stötkoefficienterna och stöttiderna. Ett diagram genererades för att se hur rimligt resultatet blev samt undersöka hur medelkraften betedde sig.

Beräkningarna är väldigt grova och kommer bli hårt kritiserade då inga tester har utförts för att få fram referensvärden för stöttiden och stötkoefficienten. Om värdena är för orimliga ändras parametrarna för att få fram ett annorlunda värde som verkar stämma bättre.

3.4. Datorstödd analys, befintliga

Efter ha beslutat att gå vidare med stavspetsarna SkiGo Basic, SkiGo Pro Carbon och Swix Ferrule roller 2011 genomgick de djupgående analyser på spänningar som uppstår i holken och på metallspetsen. Projektet gick vidare till uppritning av dessa modeller på datorn för att därefter använda *Finita Element Metoden* (FEM) för att analysera spänningarna i modellerna som uppstår vid applicerad last i olika riktningar.

3.4.1. CAD-modellering

Innan CAD-processens påbörjan köptes stavspetsar in för att kunna veta dess dimensioner för att få en rättfärdigad CAD-modell av de verkliga stavspetsarna. För att få de inre måtten på metallspetsen samt för att få en förståelse på hur spetsen sitter i holken sågades vissa stavspetsar sönder för att möjliggöra mätning av dessa dimensioner och geometrier. Alla mått togs fram med hjälp av skjutmått, linjal och vinkelskiva.

Stavspetsarna skissades först upp på papper för att få en överblick på spetsarna och dess utformning med de frammätta värdena. Efter att alla modeller hade skissats fram skapades två parter för varje modell i Catia V5, en för metallspetsen och en för holken. När spetsarna hade genererats i 3D på datorn med olika verktyg i CatiaV5 monterades parterna ihop till en sammansatt produkt, en stavspets.

3.4.2. Finita element metoden

Efter att en 3D-modell för respektive modeller hade skapats öppnas de sedan i "Generative Structure Analysis", förkortat "GSA". Verktygen "general contact analysis" och "contact connection property" sattes på ytorna på spetsen och holken där de låg i kontakt med varandra. "No sliding" aktiverades inte för att ytorna skulle kunna glida mot varandra, eftersom det finns inget lim eller någon form av svetsad infästning, vilket upptäcktes när stavspetsen sågades itu.

Eftersom endast spänningskoncentrationerna i spetsen utvärderades i förhållande till stavspetsarna, applicerades en godtycklig kraft på 60 [N]. Därefter jämfördes spänningsvärdena i de olika stavspetsarna samt vart spänningskoncentrationerna uppstod.

Information som fåtts från marknadsundersökningen om hur brott vanligast uppstod ledde till att varje modell analyserades för 4 olika lastfall där spetsen utsattes för samma slags statiska last på 60 [N] på fyra olika områden. Ett område var längst fram på metallspetsens tipp där en horisontell kraft placerades ut längs med en linje på tippens som skall representera påstötningar framifrån.

Det andra området som också utsattes för samma sorts horisontella kraft var på en yta som befann sig ca 4 [mm] ovanför tippens med en area på 2 [mm] multiplicerat med metallspetsens bredd. Lasten skall representera kraften som uppstår vid fastnande i asfalt. Det stötfallet uppgav sig att även ge en bättre observation på spänningarna i metallspetsen då kraften är utspridd över ett större område och problemet med felaktiga spänningar motarbetades.

Det tredje området var placerat på metallspetsens breda sida 4 [mm] upp från tippens som var ett område med höjden 2 [mm] och var lika bred som spetsen. Kraften skall representera den kraft som spetsen kan utsättas för vid påkörning av en annan åkare. Till sist sattes en kraft underifrån på spetsen vertikalt uppåt. Denna riktningen symboliserar början på en stakning,

Commented [CWN25]: Teoretisk ref. ram?

Commented [CWN26R25]: Nej?

Commented [CWN27]: Omskrivet. Funkar?

där tidigare arbeten visar att det är vid det tillfället störst kraft upplevs i staven och därav spetsen.

Efter att ett av lastfall lagts på, genererades en mesh där själva plastholken får en generell mesh på 3 [mm] med en sag på 0,3 [mm] och där en lokal mesh och sag på 1 [mm] respektive 0,1 [mm] sattes på intressanta områden, t.ex. ytan mellan holk och spets. Meshen på metallspetsen sattes antingen till 1 eller 2 [mm], där den lokala meshen i så fall låg på 1 [mm] vid intressanta områden. Sag på spetsen sattes till 0,1 [mm] respektive 0,2 [mm]. Därefter beräknade datorn fram olika spänningar som uppstod på grund av lastfallet. Den maximala spänningen och dess område dokumenterades på de befintliga stavspetsarna och blev utgångsspänningen som inte skall överstigas vid framtagning av nya stavspetsar.

3.5. Praktiska tester

Inköpta stavspetsar testades genom att slås sönder för att analysera hur spetsarna gick av, sedan analyseras de sönderslagna spetsarna samt icke söndergå spetsar i ett materiallaboratorium på campus Johanneberg.

3.5.1. Slagtester

När FE-analyserna hade utförts och en förståelse för var spänningskoncentrationerna uppstod i stavspetsen utfördes praktiska tester på stavspetsarna. Testernas syfte var att ge en uppfattning för var och hur spetsarna går sönder vid brott. Samt hur väl FE-analyserna stämde med att spetsarna gick sönder där det mättes stora spänningar i spetsarna.

De framtagna testerna är enkelt utformade där syftet var att ta sönder metallspetsen på ett representativt sätt där kraften skulle vara horisontellt lagd. Holken fästes ordentligt i ett skruvstöd för att det inte skulle förflytta sig när slaget lades. För att precisera området där slaget skulle anbringa användes ett rektangulärt metallblock som placerades framför metallspetsen i kontakt med den utsatta ytan. Ett slag med en slaghammare utgjorde kraften som medförde brott eller eventuella deformationer i metallspetsen och plastholken. På varje stavspetsmodell (Swix och SkiGo) utfördes tre olika lastfall, ett på metallspetsens tipp, ett på ett område 4 [mm] ovanför tippen och ett från sidan lagd ungefär 4 [mm] upp från tippen.

Om den pålagda kraften inte var tillräckligt stor för att medföra brott i spetsen analyserades stavspetsen efter eventuella skador för att sedan bli utsatt för ännu ett slag. Processen upprepades tills stavspetsen gick sönder. I händelse av att spetsen gick sönder men inte bröts av, betraktades testet som inte fullständigt korrekt men resultatet utvärderades ändå.

3.5.2. Materialtester

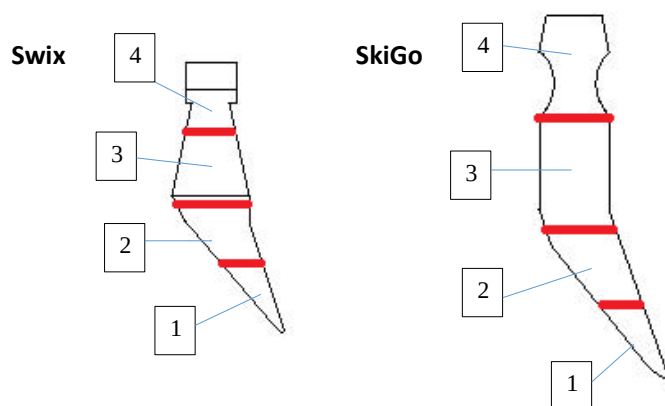
För att få en djupare förståelse kring brott som uppstod analyserades materialet som metallspetsen är tillverkad av. Vid framtagning av materialegenskaper utfördes hårdhetstester, röntgenkristallografi och mikroskopiska utvärderingar av materialet samt på brottytor.

3.5.2.1. Vickers hårdhets test

Commented [CWN28]: Teoretisk refram

Vid framtagning av materialets hårdhet användes maskinen SHIMADZU Micro hårdhetsmätare HMV-2000 som var belägen på Johannebergs material laboratorium. Genom att nollställa mätlinjerna samt ställa in anpassad last och verkningstid gjordes testet redo att köra. Med hjälp av två objektiv, ett med en förstöringsgrad på 10x och ett med 50x, placerades provet tillrätta under diamantindenten med rätt fokusering som efter start pressades ned med vald kraft i provet för att göra ett stjärnavtryck på provets yta. Därefter mäts avtrycket från två håll med hjälp av 50x objektivet och mätlinjerna. Efter att ha dokumenterat avstånden gör maskinen en kalkylering av materialets hårdhet med avseende på den pålagda lasten över den beräknade påverkade ytan. Måttet på hårdheten är känd som "Vickers pyramid number" som förkortas till HV.

För att se om spetsen är homogent tillverkad där hårdheten inte skiljer sig över dess yta delades metallspetsen in i fyra områden för att därefter ta fram ett medelvärde på hårdheten för respektive område. Hur spetsarna delades in i fyra områden visualiseras i figur 3.2.



Figur 3.2. SkiGo's och Swix's indelade områden på metallspetsen.

3.5.2.2. Röntgenkristallografi analys

X-Ray Diffraction är en metod som tar fram den molekylära kompositionen och strukturen hos ett kristallint material. Denna analys sker helt autonomt av ett instrument som använder sig av XRD när den skall analysera provets kristallina struktur och egenskaper. För att kunna ta reda på metallspetsarnas egenskaper ordnades en röntgenkristallografi analys på både Swix's och SkiGo's stavspetsar där varje analys tog ungefär 3–4 h.

Commented [CWN29]: Ref. ram?

Commented [JW30]: Skrivs om då det nu står i teoretisk ref. ram. Hur testet fungerar?

3.5.2.3. Mikroskopisk analys

För att få en visuell förståelse på hur brotten som skapades vid slagtesterna uppstod studerades de avslagna metallspetsarna ur mikroskop med 50x till 200x förstoring. En analytisk granskning på metallspetsarnas opåverkade yta gjordes också för att se om metallspetsens olika regioner skiljer sig något ur ett mikroskopiskt perspektiv.

3.6. Konceptgenerering

För att undersöka ifall det fanns bättre lösningar på stavspetsar till rullskidor än vad det fanns på marknaden, togs ett antal nya koncept fram. Konsumenternas åsikter från marknadsundersökningen, samt hur de nuvarande spetsarna är utformade betraktades. Materialet till spetsarna arbetades inte med då det saknades resurser och kompetens för att arbeta med det området.

Efter att ha bestämt koncepten som skall vidare analyseras gjordes en CAD-modellering för varje koncept som därefter utvärderades via "Finita Element Metoden", förkortat FEM, för de uppstådda spänningarna vid pålagd last.

3.6.1. Brainstorming och Modellering

Med hänsyn tagen till marknadsundersökningen, kommentarer från åkare och företag, FE-analyser och slagtester på de valda stavspetsarna har en kombination av brainstorming och skissning genomförts för att ta fram nya geometrier på metallspetsen. 10 minuters betänketid och enskild skissning utfördes där idéerna presenterades för varandra efteråt. Efter reflektion över de framtagna koncepten valdes de mest trovärdiga idéerna vidare för 3D konstruktion i CAD och analysering av spänningarna som uppstår vid pålagd last.

Med inspiration från Swix och SkiGo's stavspetsar på mått och vinklar skissades de slutgiltiga koncepten upp i CAD med programmet CatiaV5. På samma sätt som vid CAD-modellering av befintliga modeller genererades en 3D modell med hjälp av de olika verktyg som programmet besitter. Eftersom endast metallspetsen omkonstruerades valdes holken till de nyframtagna metallspetsarna vara densamma som på SkiGo Pro Carbon eller SkiGo Basic vid

hopsättning till en produkt i “Assembly” beroende på hur metallspetsen är utformad och vad som passar bättre. Valet av holk har ingen större påverkan på spänningarna som uppstår i metallspetsen då det endast utgör knappt 1 [%] skillnad i spänningar vid jämförelse vid val av holken för SkiGo Basic respektive SkiGo Pro.

3.6.2. Finita element analys

Med koncepten klara i CatiaV5 utvärderades de via Finita Element Metoden (FEM), där de jämfördes med modellerna från SkiGo och Swix för att se om spänningarna vid olika lastfall blev mindre eller större. Om spänningar blev mindre i ett koncept utvärderades de noggrannare och om spänningarna blev mycket större kommer konceptet utvärderas om det är ett felvärde. Ifall koncepten med större spänningar inte hade ett stort felvärde kasserades de.

Som på samma sätt som tidigare sattes egenskaper och begränsningar på kontaktytor mellan holken och metallspetsen. Tre lastfall på 60 [N] sattes enligt tidigare framifrån vid spets och mitten av spetsen och från sidan av spetsen. Det fjärde lastfallet som är underifrån analyserades inte vid detta tillfället utan kommer utvärderas vid kapitel 3.7. Utveckling av valda koncept. Holken fick en genererad mesh på 3 [mm] och en sag på 0,3 [mm], med en lokal mesh och sag på 1 [mm] och 0,1 [mm] på nödvändiga områden. Spetsen fick en mesh på 1 [mm] och sag på 0,1 [mm].

3.7. Utveckling av valda koncept

Efter att ha valt att gå vidare med tre koncept som visade bäst resultat i uppvisade spänningar i konstruktionen, då de hade lägst spänningskoncentrationer, modifierades dessa. För att se om ett ännu bättre uppträdande i spänningar kunde åstadkomma ändrades små parametrar som vinklar och längd hos koncepten men att formen och geometrin kvarstår. Spänningarna i de modifierade koncepten jämförs med originalet för att se om spänningskoncentrationerna har blivit lägre, högre eller är oförändrade. En ännu noggrannare FE-analys gjordes eventuellt för att se om precisionen och procentuella felvärden kunde tas ned till ännu bättre värden samt en analysering på förbättrad konstruktion. Beroende på utfallet kunde slutsatser dras om hur en metallspets borde konstrueras och vad som rekommenderas för att få ned spänningarna i den.

Utöver detta sattes även den fjärde kraften underifrån på spetsen in. Maximala spänningen som uppstår vid det tillfället får inte bli mycket högre än vid de befintliga spetsarnas maximala spänningar. Om det är fallet kommer en utvärdering ske där resultatet blir att spetsen modifieras för att se om man kan få bort den höga spänningen eller så kasseras det modifierade konceptet.

3.8. Slutgiltigt koncept

Alla koncept utvärderades ifall det fanns några parametrar som inte var bra och som skulle ha en dålig inverkan på spänningarna. Efter det valdes ett koncept från ”Utveckling av valda koncept” som hade lägst spänningskoncentrationer.

Det utvalda konceptet utvecklades sedan med andra geometrier för att en sista gång se om det gick att dra ner spänningarna i spetsen vid en verkande kraft. Beslutet togs att inte analysera en kraft som verkade vid tippen av spetsen på framsidan av spetsen, alltså lastfall 1.

Den slutliga FE-analysen började med att först analysera lastfall 2, en kraft om 60 [N] som verkar 4 [mm] upp från tippen på framsidan av spetsen. Andra kraften som analyserades är lastfall 3, en kraft om 60 [N] som verkar 4 [mm] upp från tippen på sidan av spetsen. För att se till att det inte blev större spänningar vid stakning analyserades dessutom lastfall 4, en kraft applicerad underifrån på tippen, där maximala spänningen inte får överstiga de befintliga stavspetsarnas spänningar. Estimerade precisionen analyserades och utvärderades om den var godkänd innan spänningskoncentrationerna i spetsen analyserades.

Efter analysen var klar valdes en modifierad modell ut som vinnande koncept där spänningskoncentrationerna hade blivit lägre i jämförelse med originalkonceptet. Det vinnande konceptet jämfördes sedan med de befintliga stavspetsarna för att se hur mycket bättre den presterade.

4. RESULTAT

I detta avsnitt redovisas all resultat till använda metoder som presenterades i det förra kapitlet som marknadsundersökningen, datorstödda analyser, testerna som har genomförts samt resultat från konceptgenereringsfasen.

4.1. Litteratursökning

Litteratursökningen gav projektet en förståelse över vad som tidigare hade jobbat med inom gränserna för rullskidåkning men även en förståelse för sporten då inga förkunskaper fanns innan projektets start. En uppfattning skapades fort under sökningens gång att inget tidigare arbete hade inriktat sig åt det håll som detta projekt går åt. Det fanns gott om forskningsarbeten på nätet om ergonomi, krafter som åkaren behärskar under ett lopp, olika åkstilar och deras fördelar med mera. Information om rullskidåkning och utrustningen som används och hur stavspetsen underhålls samlas in från olika forum och företag. En del av den väsentliga informationen som togs fram sammanfattas i den teoretiska referensramen under kapitel 2.

4.2. Marknadsundersökning

Efter att marknadsundersökningen hade skickats ut till ÅF's medarbetare samt de två grupperna i sociala media sammanfattades alla svar och slutsatser kunde dras. Efter ett antal telefonsamtal till företag och rekommenderade privatpersoner kunde även olika konstateranden göras. Samtliga resultat presenteras i 4.2.1 och 4.2.2.

4.2.1. Marknadsundersökning - åkare

Tre enkäter skickades ut till olika svarsgrupper. Två av enkäterna skickades till två olika grupper för rullskidsåkare på sociala media och en tredje skickades till ÅF:s medarbetare då det var känt att det fanns en del åkare på företaget i Trollhättan. Det var sammanlagt 84 personer som svarade på marknadsundersökningen. 30 av de svarande kom från gruppen "Rullskidåkare i Trollhättan", 46 svar kom från "Rullskidor - IK Stern och 8 svarande från medarbetare i ÅF Trollhättan.

Vid sammanställning från svarande från ÅF hade alla en åkarnivå (erfarenhet) på 2–3 där nivå 1 skall representera nybörjaren och 6 eliten. En representativ sammanställning var svår att åstadkomma då alla svarande inte hade svarat på alla frågor som t. ex. märke på spets samt antal gånger personen slipar spetsen. Men det som kunde fås ut var att de flesta slipade spetsen efter minst ett pass och att den huvudsakliga orsaken till byte av stavspets är slitage.

Commented [CWN31]: Relevant var svaren kmr ifrån, att män dominerar?

Commented [JW32R31]: Jag förstår inte frågan helt. Verkar inte ha någon större betydelse heller?

90 % av svarande från “Rullskidåkare i Trollhättan” är män och de flesta har en erfarenhet av rullskidåkning på minst 3 år, är tävlande och som ligger på en genomsnittlig åkarnivå på 4. De flesta slipar stavspetsen max 1 gång efter varje pass men det är dock inte ovanligt att man slipar spetsen efter andra eller tredje passet. De flesta använder sig av verktyget diamanbryne och många anser inte slipandet som något större problem eller besvärligt. Det är en tvådelad åsikt om vad den vanligaste orsaken till byte av stavspetsen är då det ungefär är 52 procent anser att det är slitage som orsakar bytet respektive 48 procent som anser att det är brott.

Engagemanget i gruppen “Rullskidor -IK Stern” var störst då det var 46 svarande. Även här dominerade männen svarssekvensen med 87 %. Spridningen på antal års erfarenhet är jämn fördelad över tre-års-intervall från 2 till 10+ år där genomsnittet ligger på en 4 som åkarnivå av 6 samt att ungefär 70 % av deltagarna var tävlande. Nästintill alla slipar inte spetsen mer än en gång per pass och uppfattar inte slipningen som en börda då ungefär 70 % har rankat det som en 1:a eller 2:a av 4, där 4 är den maximala besvärlighetsgraden. Bland dessa åkare uppfattas slitaget mer som den vanligaste orsaken till byte av stavspets då 60 % har svarat slitage framför brott.

Utifrån marknadsundersökningen med totalt 84 svarande har en uppfattning skapats på självaste problemet, vad som används idag och förstå vad åkarna vill se för förbättring i framtiden med deras stavspetsar. Den vanligaste stavspetsen som användes bland deltagarna var tillverkad av Swix där Swenor var det näst mest använda märket och på en tredje plats kom Rexs stavspetsar. Verktyget som användes mest för slipning av stavspets var diamanbryne där alternativ som trumslip och maskinslip också förekom. Efter att ha betraktat längden på åkarnas träningssträckor och efter hur många pass de slipar stavspetsen räknades det fram att de flesta slipar sina spetsar efter ungefär 30 km åkning på asfalt. Besvärligheten på att slipa ligger genomsnittligen på en 2:a där besvararen fick välja besvärlighetsgrad mellan 1 - 4 där 1 representerar “inte alls besvärligt”.

Som kommentarer på om det finns något hos åkarens stavspets som de vill förbättra så efterfrågades en bättre spets som har en längre livslängd där hållbarheten och slitstyrkan skulle förbättras. Från åkare som använde Swenors spetsar så kommenterades det ofta att det vid slitage mer slås bort flisor av material från spetsen än att den “trubbas ned”. Åsikter om att plasten skulle ha bättre skydd mot slitage och att det uppskattades en kortare metallspets (den exponerade delen) uttrycktes också. Två kommentarer som togs till värdering var åsikten på att inte vilja slipa spetsen gå grund av bortfilad ythårdning som skulle bidra till att metallspetsen slits snabbare och då hellre bytte ut stavspetsen till en ny. Den andra kommentaren handlade om att man lätt trycker igenom spetsen i plasten som då leder till skador i stavröret, vilket är ett återkommande problem för alla spetsar enligt deltagaren.

Utifrån undersökningen så visade sig att Swix var det mest förekommande märket på spetsar vilket gör att projektet kommer att välja en stavspets från Swix att utgå ifrån i vidare undersökningar och analyser tillsammans med SkiGo’s stavspets Pro Carbon med förstärkt carbon i plasten. Eftersom det tog en viss tid att få stavspetsarna levererade köptes det en

Skigo basic för att komma igång med vissa analyser. Därför kommer även denna finnas med när jämförelser görs.

Den komplementerande informationen som gavs vid kontakt med enskilda åkare var givande där vi kunde anpassa frågorna efter person och få ut annan användbar information. En av de som togs kontakt hade smeknamnet Mr. Rullskidor som har åkt rullskidor i 30 år och som åker rullskidor året runt. Han ansåg att materialet som metallspetsen är tillverkad av är alldeles för hårt för att vara till åkarens fördel. Det uppkommer lätt brott vid i stötningar och fastnande i asfalt. Han tyckte att Exels gamla stavspetsar hade funnit en bra balans på dess materialval då det inte var för hårt eller mjukt. Han hade tyvärr inte fått så bra intryck på Rex stavspetsar då metallspetsens egenskaper varierade stort under olika väderförhållanden. Vid kallt väder blev metallen hård och materialet flisades bort under åkningen.

Stefan Norling som har varit projektets samarbetspartner har givit projektet mycket god hjälp och input på presenterade tillvägagångssätt. Eftersom han själv även är en rullskidåkare och varit aktivt tävlande så har han stor förståelse kring brott och slitage på metallspetsen. Han förklarade tre vanliga situationer på när brott kan ske under en åkning. Första situationen är när man åker på exempelvis brunnslock eller andra upphöjningar i marken och råkar stöta i metallspetsen i dessa objekt vid stakningsfasen. Andra situationen är när metallspetsen fastnar i håligheter i marken och utsätts för momentkraft vilket är väldigt vanligt. Den tredje situationen som kan orsaka brott i metallspetsen är när andra åkare råkar åka på stavspetsen när den är isatt i marken.

4.2.2. Marknadsundersökning - företag

Företagen som togs kontakt med var Swix, Swenor, Exel, Skike, V2 Jenex och Rex QR. Inga av företagen uppgav någon materialdata eller detaljinformation på grund av att det är företagshemligheter. Heller utgav inga företag sina leverantörer till stavspetsarna.

Utöver det var det endast Swix och Swenor som tilläts sig intervjuas om problemen kring stavspetsar idag, där företagen tog upp mycket om slitaget på spetsarna. En gemensam åsikt från Swix, Swenor, samt SkiGo som vi har kontakt med, var att de ansåg att den största bidragande faktorn till stavspetsens slitning är beroende på åkarens åkstil och hur spetsen slipas av åkaren. Försäljare från Swix ansåg också att en stavspets hållbarhet egentligen inte skiljer sig så mycket åt mellan olika tillverkare om man skulle titta på materialval och konstruktion. Han ansåg då att en stavspets kvalitet och hållbarhet är kopplad till tillverkningsprocessen och kvalitetskontrollen. Det är upp till företaget att i så fall satsa mer resurser på att åstadkomma en noggrannare kontroll på de tillverkade produkterna så att företaget inte säljer olämpliga stavspetsar.

Utöver det tyckte flera företag att det är ett stort problem med att spetsar går sönder via brott eller att spetsarna lossnar från holken under ett lopp, då det kostar dyrbar tid när en tävling pågår.

4.3. Beräkningar

Parametrar insatta i formel (7), som hanterades i en MATLAB-fil gav en medelkraft med ett lägsta värde på 18,7 [N] och ett maximalt värde på 311,1 [N]. I diagram 4.1. visas hur kraften förändras beroende på stötkoefficienten och i diagram 4.2. visas hur kraften förändras beroende på stöttiden.

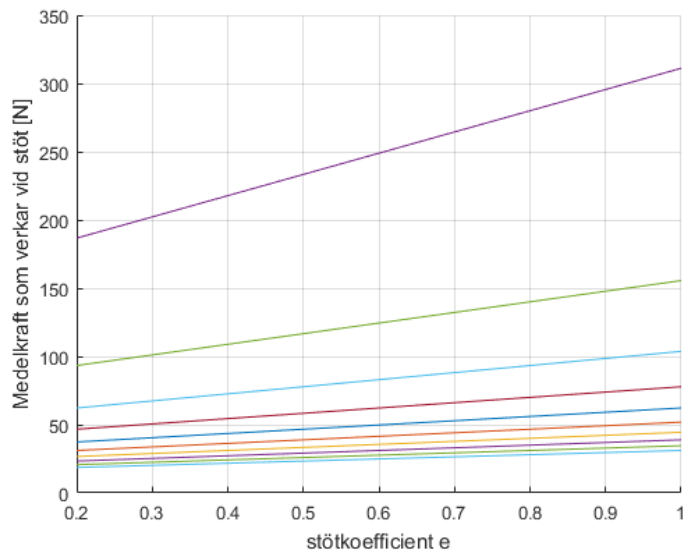


Diagram 4.1 Medelkraften vid stötfallet beroende på parameter e

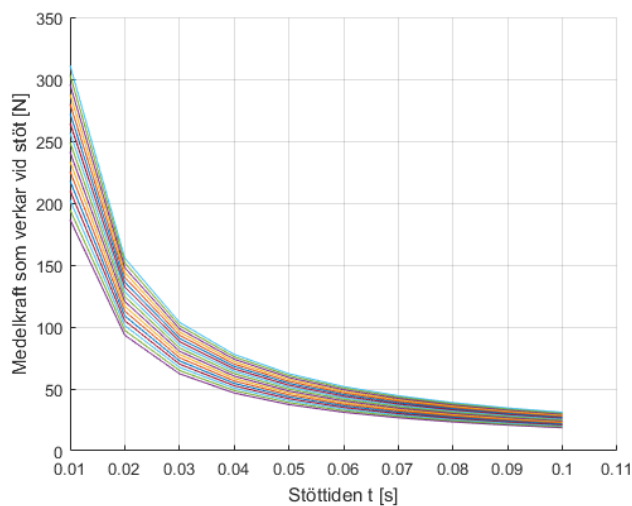


Diagram 4.2 Medelkraften vid stötfallet beroende på parameter t

I diagram 4.3, som kallas "Surf" i MATLAB, kan det observeras hur kraften förändras utifrån både stötkoefficienten och stöttiden.

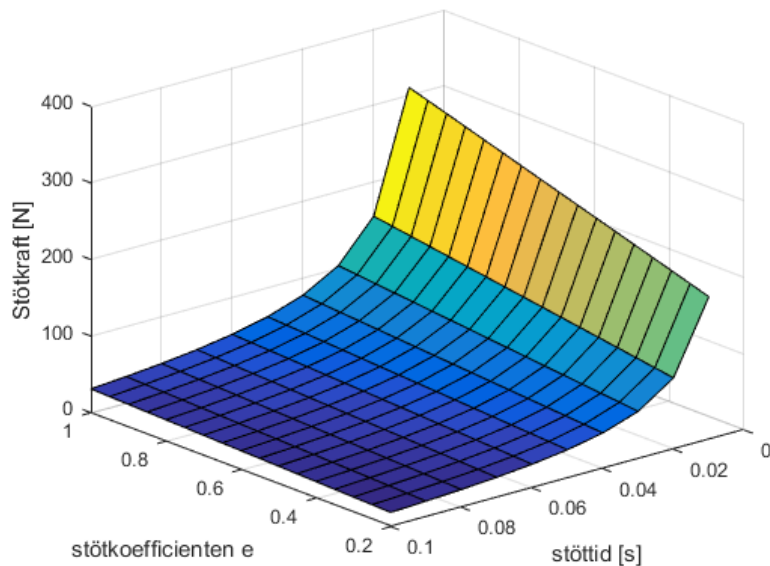


Diagram 4.3. Medelkraften som uppstår vid stöt utifrån parametrarna e och t

Resultatet visar på att stötkoefficienten ger en linjär ökning desto större stötkoefficienten är. Hur mycket kraften ökar beroende på stötkoefficienten beror dessutom på startvärdet enligt diagrammen. Stöttiden tyder på en exponentiell ökning desto kortare stöttiden blir. Stöttiden spelar störst roll på hur stor kraften blir. Om en stöttid mellan 0.03 och 0.04 sekunder väljs fås ett värde på kraften mellan 50 till 100 [N], vilket är då den extrema ökningen minskar beroende på stöttiden. Från det antagandet verkar den valda kraften till 60 [N] hos Fe-analyserna stämma bra. Vid närmare titt på den skapta MATLAB's koden hänvisas BILAGA B.

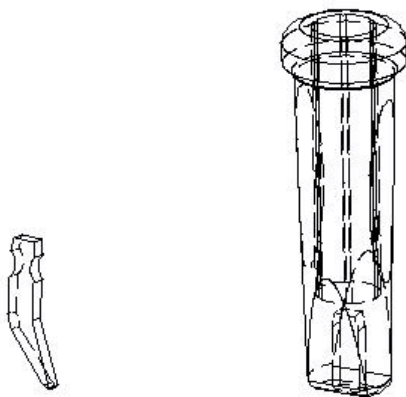
4.4. Datorstödd analys, befintliga

3D-modellerna till SkiGo Basic, SkiGo Pro och Swix stavspetarna och deras FE-analyser kan ses i följande kapitel 4.4.1 och 4.4.2.

4.4.1. CAD-modellering

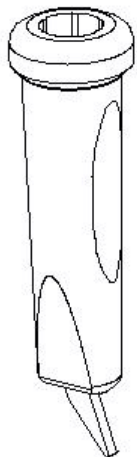
Genererade delar för de tre olika spetarna SkiGo Basic, SkiGo Pro och Swix följer nedan. Materialen som lades på parterna var "steel" på metallspetsen och "plastic" på holken från CatiaV5's utbud då ingen detaljdata hade lyckats få tags på från leverantörer och tillverkare.

SkiGo Basic's genererade parter *Holk Basic* och *Metallspets* blev enligt figur 4.1. Observera att parterna inte har samma skala på partfiguren och är inte proportionerliga med varandra.



Figur 4.1. SkiGo Basic "parterna", metallspets till vänster och holk till höger, skala 1:1

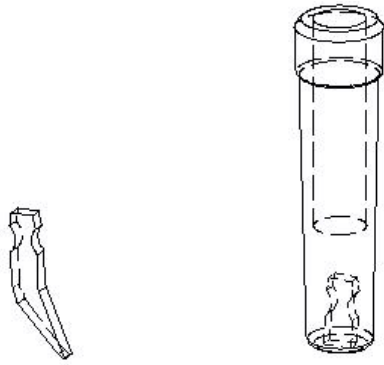
Den sammansatta modellen av parterna *Holk Basic* och *Metallspets* heter *Stavspets SkiGo Basic*. Stavspetsen ser ut enligt figur 4.2.



Figur 4.2. SkiGo Basic stavspetsen, sammansatt av parterna, skala 1:1

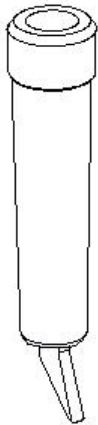
Commented [JW33]: Obs! jag har skrivit man kan se ritningar i bilagor! Ska vi fixa eller låta vara?

SkiGo Pro's genererade parter *Holk Pro* och *Metallspets* blev enligt figur 4.3. Observera att parterna inte har samma skala på partfiguren och är inte proportionerliga med varandra.



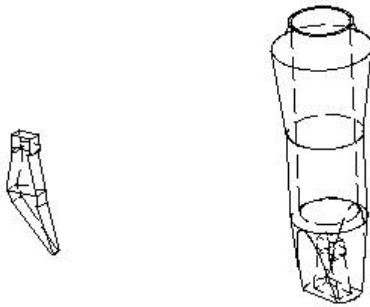
Figur 4.3. SkiGo Pro "parterna", metallspets till vänster och holk till höger, skala 1:1

Den sammansatta modellen av parterna *Holk Pro* och *Metallspets* heter *Stavspets SkiGo Pro*. Stavspetsen ser ut enligt figur 4.4.



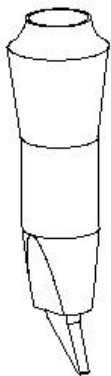
Figur 4.4. SkiGo Pro stavspetsen, sammansatt av parterna, skala 1:1

Swix genererade parter *Holk Swix* och *Metallspets-Swix* blev enligt figur 4.5. Observera att parterna inte har samma skala på partfiguren och är inte proportionerliga med varandra.



Figur 4.5. Swix "parterna", metallspets till vänster och holk till höger, skala 1:1

Den sammansatta modellen av parterna *Holk-swix* och *Metallspets-swix* heter *Stavspets Swix*. Modellen ser ut enligt figur 4.6.



Figur 4.6. Swix stavspetsen, sammansatt av parterna och, skala 1:1

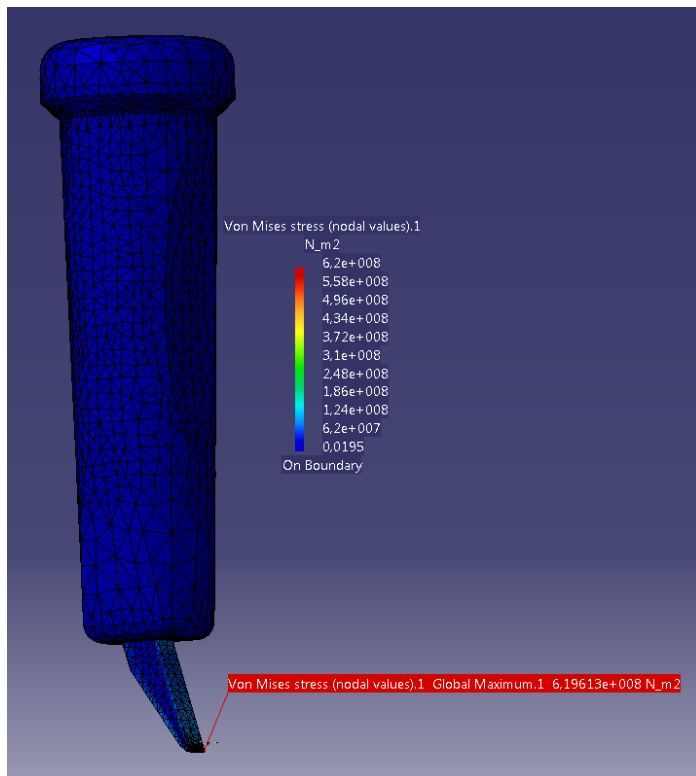
4.4.2. Finita element analys

Följande data på intressanta områden hade tagits fram från FE-analyserna på de befintliga stavspetsarna. Alla krafter som verkade vara 60 [N] som nämnts tidigare och kopplingen mellan holk och spets var "contact connection property". Alla ytor i hålet ner i holken där staven skall sitta har "clamp"-villkor som symboliserar den stela staven som sitter fast i spetsen.

4.4.2.1. Kraft framifrån

Följande analys av SkiGo Basic har skett vid en kraft applicerad framifrån vid spetsen. Estimerad precision i FEM-beräkningen vid en kraft applicerad framifrån vid spetsen gav ett värde på $6,69\text{e-}4$ [J] och ett globalt felvärde på 17,93 %. Observera att den estimerade precisionen och den globala uppskattningen var ganska höga, men analysen kommer ändå accepteras då det inte gick att få ner värdena mer utan att få orimliga beräkningstider.

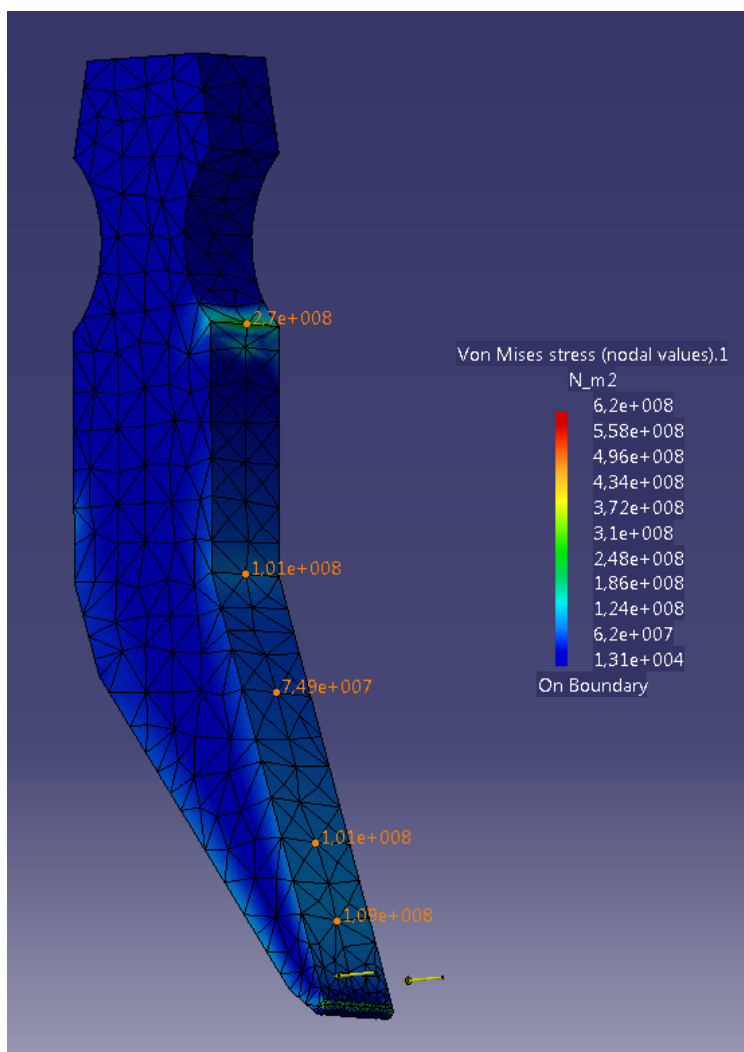
Den maximala effektivspänningen var vid tippen där kraften verkar och låg på 619,6 [MPa]. Spänningen var troligtvis så stor på grund av att det var en väldigt liten radie ute vid spetsen och en väldigt liten mesh. Två intressanta punkter togs ut för framtida jämförelser mellan de befintliga spetsarna och framtida koncept. Figur 4.7 visar FE-analysen av maximala effektivspänningen.



Figur 4.7. Maximala effektivspänningen i SkiGo Basic med kraft vid spets

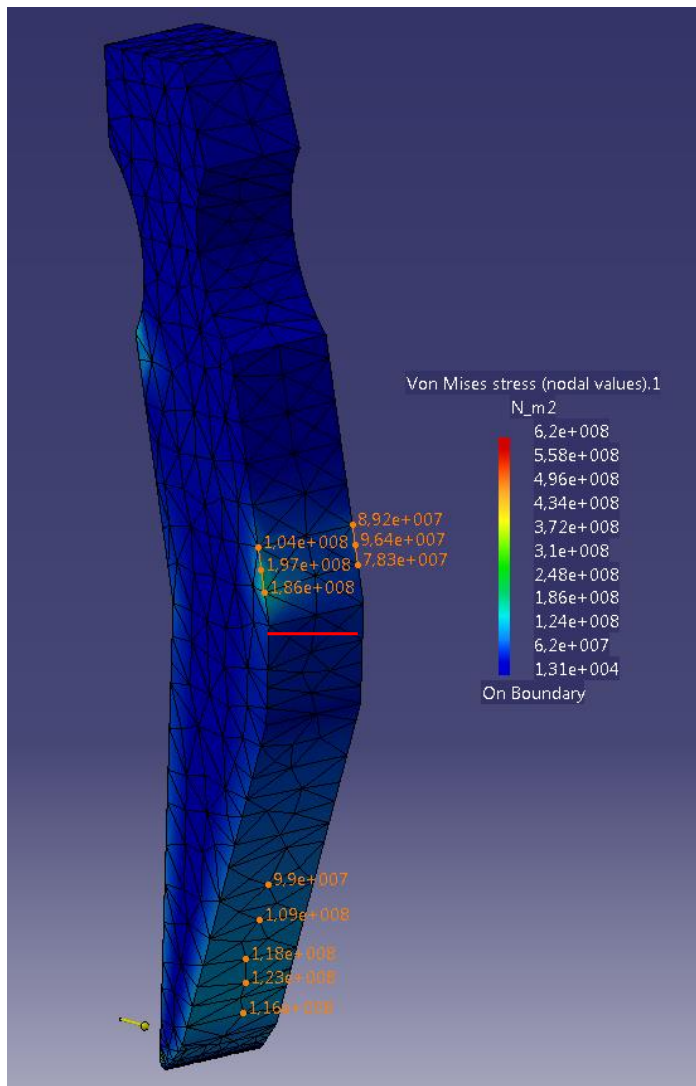
Spänningsanalysen av effektivspänningarna visade att spänningarna i holken var försumbara jämfört med spänningarna som uppstod i metallspetsen. Därav observerades endast metallspetsen vid analys av de andra effektivspänningarna.

Effektivspänningar framifrån såg ut enligt figur 4.8. Den största effektivspänningen utöver maximala spänningen uppstod precis på kanten under midjebildningen och låg på 270 [MPa]. Resultatet verkade rimligt då spänningen var vid en kant precis innan en midja. Figur 4.8 visar FE-analysen effektivspänningarna i spetsen framifrån.



Figur 4.8. Effektivspänningar framifrån vid kraft applicerad framifrån vid spets.

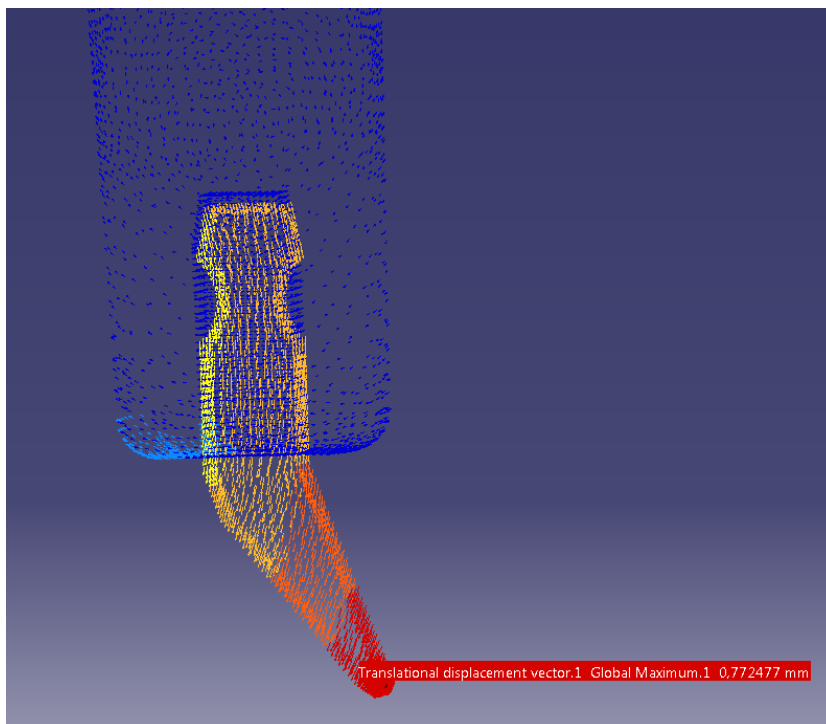
Vid analys av baksidan på metallspetsen observerades en spänning på 197 [MPa] som låg precis ovanför infästningen i holken. Det kan vara ett felvärde då ena sidan visade större spänningar än andra sidan enligt figur 4.9. Figur 4.9 visar FE-analysen för effektivspänningar sett bakifrån på metallspetsen.



Figur 4.9. Effektivspänningar bakifrån vid kraft applicerad framifrån vid tippen.

Commented [CWN34]: Kanske borde markera största spänningen

Förskjutningarna och maximal förskjutning i modellen vid en kraft applicerad framifrån vid spetsen var ca 0,77 [mm] vid spetsen i kraftens riktning och nedåt. Varför den förskjuts nedåt var för att kopplingen mellan metallspets och holk tillåter ytorna att glida mot varandra. Det då finns ingen yta i SkiGo basic som stoppar metallspetsen från att glida neråt och ut från holken. I verkligheten sker detta inte så lätt och förskjutningen blir ett större värde än vad det borde vara. Datan sparades för möjliga framtida jämförelser med andra befintliga spetsar och koncept. Figur 4.10 visar FE-analysen av förskjutningarna.



Figur 4.10. Förskjutningar i SkiGo Basic vid kraft applicerad framifrån vid spets.

Samma tillvägagångssätt som har utförts på SkiGo Basic's FE-analys utförs på SKiGo Pro och Swix. I tabellerna nedanför presenteras de tre spetsarnas uppmätta värden vid analyserna.

Den estimerade precisionen låg mellan 0,0002 - 0,0007 [J] och 12 – 18 [%] i global feluppskattning. Modellerna anses egentligen inte vara tillräckligt precisa. Men på grund av en för lång beräkningstid vid förminskad mesh begärdes accepterade värdena. I tabell 4.1. kan de olika värdena på feluppskattning observeras.

Tabell 4.1. Estimerad precision i värden hos befintliga spetsar, kraftfall 1

Kraft applicerad framifrån på toppen av spets		
Namn	Estimerad precision	
	[J]	%
SkiGo Basic	6,70E-04	17,9
SkiGo Pro	4,20E-04	12,1
Swix	2,90E-04	14,9

Effektivspänningarna i spetsarna och vilka spänningar som var högst kan ses i tabell 4.2. där alla tre stavspetsarna hade höga värden precis vid tippen, vilket som innan beror på att det var en väldigt liten radie och liten mesh precis vid toppen. Utöver det har både SkiGo Basic och SkiGo Pro två andra höga spänningar runt midjan på framsidan och baksida på spetsen nära infästningen, spänningarna presenteras som intressant punkt 1 och 2. Swix har markant högre spänningar vid dessa två punkterna som båda ligger vid huvudet. Detta beror på att det var små dimensioner och skarpa hörn, spänningarna är troligen högre än vad de borde vara. Dock anses det att Swix har större spänningar vid sitt ”huvud” än vad SkiGo spetsarna har vid sin midja.

Tabell 4.2. Effektivspänningar hos befintliga spetsar, kraftfall 1

Kraft applicerad framifrån på toppen av spets			
Namn	Max Effektivspänning	Effektivspänning vid intressant punkt 1	Effektivspänning vid intressant punkt 2
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
SkiGo Basic	620	270	197
SkiGo Pro	623	153	105
Swix	615	526	352

Commented [CWN35]: Vad är det för punkter? Beskriv i text

Förskjutningarna blev enligt tabell 4.3. där SkiGo Basic var spetsen som hade störst förskjutning på grund av ”contact connection” villkoret som nämnt innan. Swix var spetsen som hade förskjutits minst.

Tabell 4.3. Förskjutningar av befintliga spetsar, kraftfall 1

Kraft applicerad framifrån på toppen av spets	
Namn	Maximal förskjutning vid spets
	[mm]
SkiGo Basic	0,77
SkiGo Pro	0,48
Swix	0,23

Kraftfall 2 hade samma parametrar som vid kraftfall 1 vid analysen, förutom att kraften nu verkar 4 [mm] upp vid tippet, ungefär i mitten av spetsen. Obs! resultatet är väldigt likt presenterat vid kraftfall 2 som vid kraftfall 1.

Den estimerade precisionen låg mellan 0,0001 - 0,0004 [J] och 12 – 18 [%] i global feluppskattning. I tabell 4.4. kan de olika värdena på feluppskattning observeras.

Tabell 4.4. Estimerad precision i värden hos befintliga spetsar, kraftfall 2

Kraft applicerad framifrån på mitten av spets		
Namn	Estimerad precision	
	[J]	%
SkiGo Basic	3,50E-04	17,5
SkiGo Pro	2,70E-04	12
Swix	1,50E-04	14,9

Effektivspänningarna i tabell 4.5 har ett markant mindre maximalvärde till skillnad från lastfall 1. SkiGo hade sina maxvärden vid midjan på framsidan av spetsen medan Swix hade sitt maxvärde vid toppen av metallspetsen, huvud, som sitter i holken, på framsidan av spetsen. Den första intressanta punkten hade SkiGo Basic spänningen vid metallspetsen infästning i holken på framsidan av spetsen. SkiGo Pro hade den första intressanta punkten strax ovanför midjan på framsidan av spetsen. Swix hade sin intressanta punkt vid botten av sitt huvud i övergången mellan midjan och huvudet. I den andra intressanta punkten för spetsarna hade alla tre spetsar spänning vid infästningen på baksidan av spetsen.

Tabell 4.5. Effektivspänningar hos befintliga spetsar, kraftfall 2

Kraft applicerad framifrån på mitten av spets			
Namn	Max Effektivspänning	Effektivspänning vid intressant punkt 1	Effektivspänning vid intressant punkt 2
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
SkiGo Basic	183	60	145
SkiGo Pro	113	85	92
Swix	320	261	176

Förskjutningarna hade inte ändrats så mycket förutom att de hade blivit mindre eftersom den verkande kraften inte är lika långt ner på spetsen.

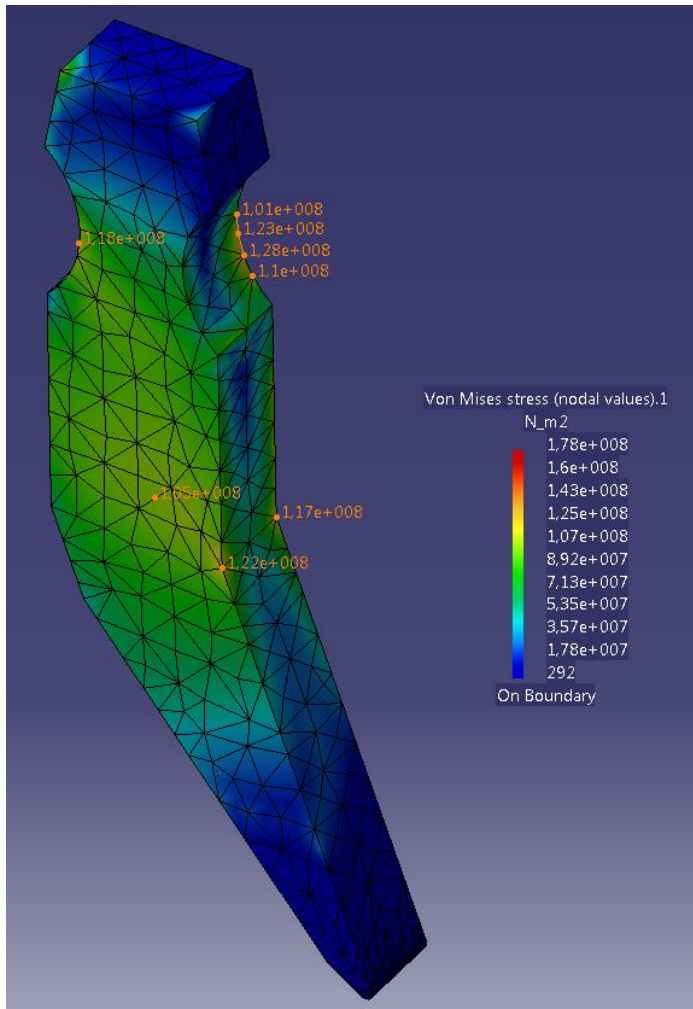
Tabell 4.6. Förskjutningar av befintliga spetsar, kraftfall 2

Kraft applicerad framifrån på mitten av spets	
Namn	Maximal förskjutning vid spets
	[mm]
SkiGo Basic	0,54
SkiGo Pro	0,39
Swix	0,16

4.4.2.2. Kraft från sidan

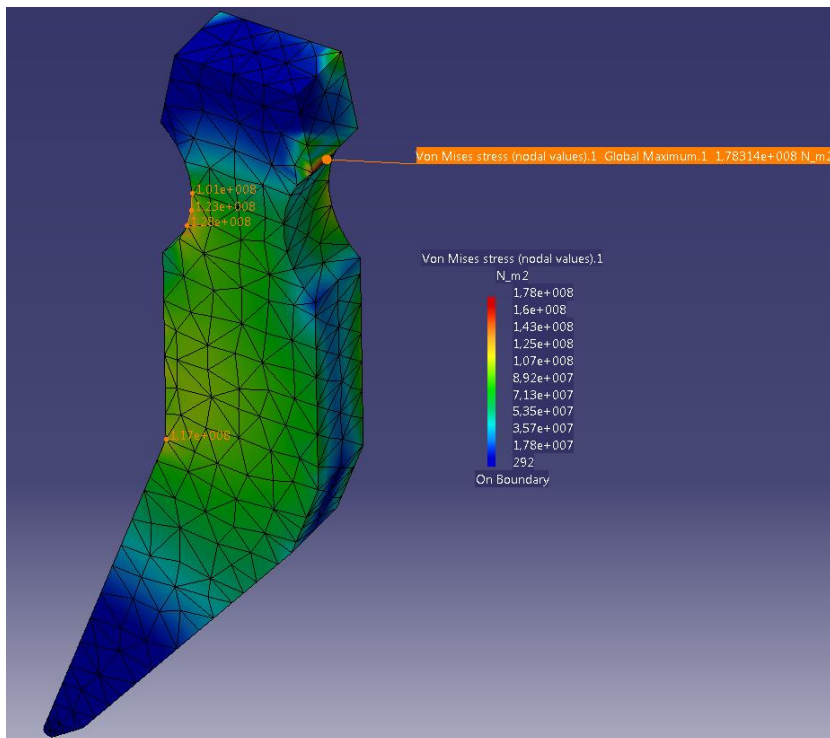
Följande analys av SkiGo Basic har skett vid en kraft applicerad från sidan vid mitten av spetsen. Estimerad precision i FEM-beräkningen vid en kraft applicerad framifrån vid spetsen gav ett värde på $6,69 \times 10^{-4}$ [J] och ett globalt felvärde på 17,93 [%].

Spänningarna i holken var försumbara gentemot spänningarna som metallspetsen upplevde. Därav analyserades endast metallspetsen vid observation av effektivspänningarna. Först analyserades sidan på vilken kraften verkade på med vy över framsidan av spetsen. Här observerades att spetsen hade en större spänning vid mitten av midjebildningen på sidan som kraften inte verkade på och låg på 128 [MPa]. Den andra större spänningen som observerades var på sidan som kraften verkade på och ligger vid infästningen och låg på 122 [MPa]. Figur 4.11 visar FE-analysen av effektivspänningarna.



Figur 4.11. Effektivspänningar observerat från kraftsida, kraftfall 3

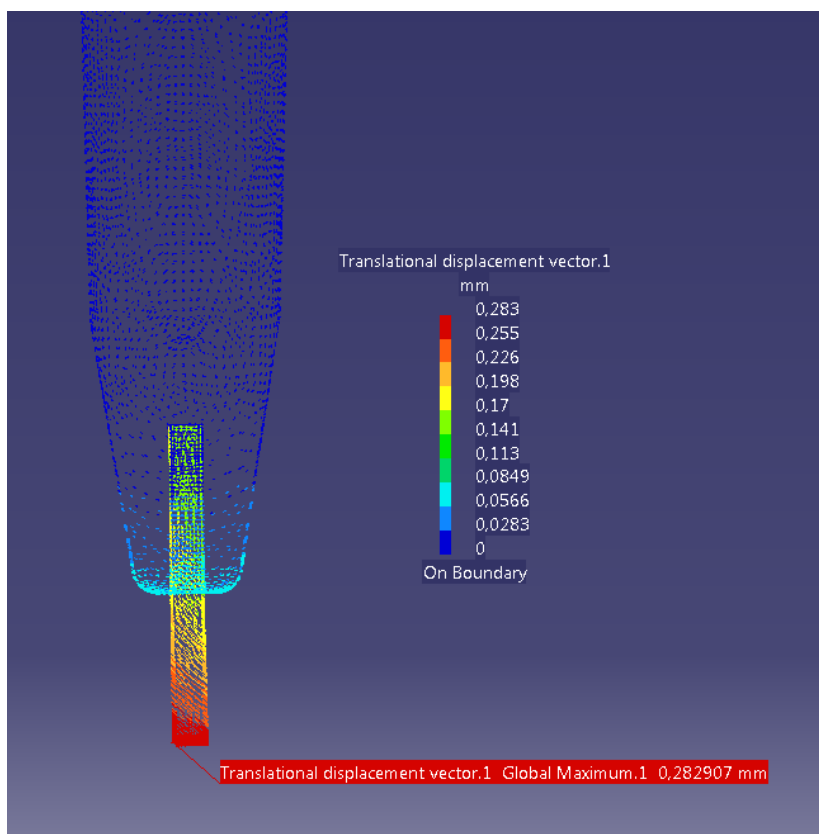
Effektivspänningarna observerade från sidan som kraften inte verkade på visade en maximal effektivspänning på ca 178 [MPa] som låg strax ovanför midjan på baksidan av spetsen. Det är oklart om det är ett felvärde eller är korrekt värde i analysen och spänningen tas då med och jämförs med de andra befintliga spetsarnas spänningar. Figur 4.12 visar FE-analysen av effektivspänningarna.



Figur 4.12. Effektivspänningar observera från sida kraft ej verkar på, kraftfall 3

Förskjutningarna i modellen med en kraft applicerad från sidan på mittenområdet av spetsen hade en maximal förskjutning på ca 0,28 [mm] vid tippen i kraftens riktning. I det här fallet blev det inga felvärden på grund av villkoret "contact connection property" med tillåtelse att planen glider. Datan sparades för möjliga framtida analyser och utvärdering. Figur 4.12. visar FE-analysen av förskjutningarna.

Commented [CWN36]: svårläst



Figur 4.13. Förskjutningar i SkiGo Basic vid kraft från sida vid mitten av spets

Samma tillvägagångssätt av analysen vid en kraft på 60 [N] applicerad från sidan vid mitten av spetsen, utfördes sedan på stavspetsarna SkiGo Pro och Swix. I tabellerna nedanför presenteras de tre spetsarnas uppmätta värden vid analyserna.

Den estimerade precisionen låg mellan 0,0001 - 0,0003 [J] och 10 – 16 [%] i global feluppskattning. I tabell 4.1. kan de olika värdena på feluppskattning observeras.

Tabell 4.7. Estimerad precision i värden hos befintliga spetsar, lastfall 3

Kraft applicerad från sidan på mitten av spets		
Namn	Estimerad precision	
	[J]	%
SkiGo Basic	2,70E-04	15,7
SkiGo Pro	2,50E-04	10,8
Swix	1,70E-04	14

SkiGo Pro hade sin maximala spänning vid infästningen på sidan som kraften verkade på, vid spetsen framsida. Swix maximal spänning låg på baksidan av spetsens huvud. Vid den första intressanta punkten hade både SkiGo Basic och SkiGo Pro en större spänning vid midjan vid spetsens framsida. Skillnaden är att SkiGo Basic hade spänningen på sidan som kraften inte verkade på och SkiGo Pro hade spänningen på sidan kraften verkade på. Swix hade en större spänning vid nedre delen av sitt huvud på kraftsidan. Den andra intressanta punkten hade alla tre spetsarna vid infästningen. Där SkiGo Basic och SkiGo Pro hade den på kraftsidan vid spetsen framsida medans Swix har spänningen på sidan kraften inte verkade på vid spetsen baksida.

Tabell 4.8. Effektivspänningar hos befintliga spetsar, kraftfall 3

Kraft applicerad från sidan på mitten av spets			
Namn	Max Effektivspänning	Effektivspänning vid intressant punkt 1	Effektivspänning vid intressant punkt 2
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
SkiGo Basic	178	128	122
SkiGo Pro	164	134	121
Swix	158	136	150

I förskjutningstabellen 4.9. kan det observeras att SkiGo Pro var den spets som försköts mest. Detta är troligen resultatet från att den exponerade delen av metallspetsen var större än hos de andra två spetsarna.

Tabell 4.9. Förskjutningar av befintliga spetsar, kraftfall 3

Kraft applicerad från sidan på mitten av spets	
Namn	Maximal förskjutning vid spets
	[mm]
SkiGo Basic	0,28
SkiGo Pro	0,46
Swix	0,2

Till sist analyserades de olika spänningarna som de befintliga spetsarna upplever när en kraft applicerades på tippen av spetsen i vertikalt led. Värdena kommer jämföras med slutgiltigt koncept för att se till att det slutliga konceptet inte har för stora spänningar vid vanlig stakning.

De maximala spänningarna låg vid tippen av spetsen på varenda modell och var antagna felvärden då radien och dimensionerna vid spetsen var väldigt små och mesh väldigt liten. Dock stämmer det att det var väldigt stora spänningar på tippen av spetsen vid stakning eftersom materialet slits ut.

De största spänningarna som fanns i den övre delen av spetsen var för SkiGo-spetsarna vid metallspetsens midja. Hos Swix låg den större inspänningen vid metallspetsens infästning på spetsens framsida.

Estimerade precisionen ansågs vara godtagbar då den var bättre vid detta fall än hos tidigare analyser.

Tabell 4.10. Effektivspänningar och estimerad precision vid kraftfall4

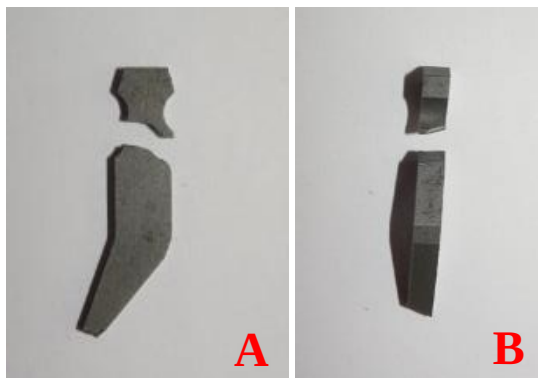
Kraft nerifrån spets, kallad stakkraft				
Namn	Maximal spänning	största effektivspänning ej vid spets	Estimerad precision	
	[MPa]		[J]	%
SkiGo Basic	328	64	1,89E-05	11,16
SkiGo Pro	322	64	1,80E-05	9,72
Swix	211	47	4,63E-05	16,92

4.5. Praktiska tester

Följande resultat från slag- och materialtesterna av inköpta stavspetsar från Swix och SkiGo kan ses i följande kapitel 4.5.1 och 4.5.2.

4.5.1. Slagtester

Ett slag framifrån resulterade i att metallspetsen för de båda märkena bröts av precis där kraften lades. Men det medförde också brott i den ingjutna delen av metallspetsen där den utgjorde en midja. I SkiGo's fall gjorde det att hela metallspetsen trillade ut ur holken. Eftersom modellen på SkiGo Pro Carbon är jämntjock (2,5 [mm]) över hela metallspetsen samt att den är jämnt bred i början av ingjutningsdelen fram tills innan dess midja. Det här medför att när ett brott sker i midjan kommer bara metallspetsen hållas på plats med hjälp av grepp och inte av någon form och geometrier. Det medför då att spetsen kan dras ut från dess ingjutning och stavspetsen blir oanvändbar. I figur 4.14 visas ett foto på brottet hos SkiGo Pro Carbon.



Figur 4.14. a) SkiGo Pro brott vid slag framifrån vid spets tipp, b) vy bakifrån

När liknande slagtester utfördes på Swix stavspetsar dök det upp problem. När slag mot metallspetsen utfördes tog plasten på holken vika och deformerades utan att metallspetsen tog någon skada. Figur 4.15 visar holkens deformationer. Det medförde att metallspetsen inte längre satt på plats utan kunde röra sig i sin ingjutning. Efter att ha utträttat två slag kunde man med hjälp av en tång dra ut metallspetsen. Samma sak hände när slag från sidan utfördes. Tillslut togs beslutet att endast spänna in metallspetsen i skruvstället så att den skulle få det stöd den behöver för att få ett brott.

Commented [CWN37]: 45 graders riktning – kan det här ha ngt med skjuvspänningar att göra?

Commented [JW38R37]: Möjligen skriv i slutsatser

Commented [CWN39]: Foto?

Commented [CWN40]: A, b i figuren



Figur 4.15. Deformerad Swix-holk

När endast metallspetsen spändes fast gick huvudet av då brottet skapades precis vid dess smalaste del på den ingjutna delen vid slag framifrån, figur 4.16.a. Eftersom tjockleken över metallspetsen är varierande, 2 [mm] vid tippen, 3 [mm] i mitten där ingjutningen börjar och 2 [mm] högst upp på huvudet, medför det att den var svårare att dra ut ur holken men den kunde ändå lösgöras från den.

I första försöket vid slag på tippen skapades inget brott precis där slaget applicerades men vid slag mot området högre upp gick tippen av. Ett brott vid midjan på den ingjutna delen skapades också samt att det även blev ett brott längre ner från huvudet, figur 4.16.b. Det medförde alltså att metallspetsen gick i tre delar. Tyvärr tappades huvudet bort vid slagtestet.



Figur 4.16.a) Swix brott vid slag framifrån på spets tippen, b) slag på mitten-området

Vid slag från sidan på SkiGo Pro Carbon skapades en spricka som gav uppkomsten till två brott. Ett vid infästningen som medförde att hela den exponerade delen av metallspetsen skiljdes från holken (figur 4.17.a) och ett lite längre ned som hade ett diagonalt snitt som gick mellan två vinkeländringar (figur 4.17.b). Även här tappades mittendelen bort under slagtestet.



Figur 4.17. SkiGo Pro vid slag från sidan där a) brott vid infästningen skedde och b) lite längre ned på metallspetsen

När Swix's metallspets från stavspetsen Roller Ski Ferrules utsattes för sidokraften blev det också två brottytor som påminner om SkiGo's brott. Ett precis vid infästningen och ett lite högre upp på spetsen i ingjutningsdelen, i anslutning till det andra brottet (figur 4.18).



Figur 4.18. Swix brott vid slag från sidan

Slutsatserna som kunde dras ifrån dessa tester är att materialet som används i de båda stavspetsarna är väldigt sprött. När en liten initial spricka uppstår kommer det ge ett brott rakt igenom materialet. Metallspetsen deformeras inte, utan om kraften är tillräckligt stor och det orsakar för stora spänningskoncentrationer kommer det att ge upphov till brott.

I slag framifrån på tippen uppstår ungefär samma brott för de båda stavspetsarna. Vid slag på området ovanför tippen framifrån skiljde sig något då förutom vid brott vid metallspetsens huvud så fick även Swix ett till brott lite nedanför huvudet. Även vid slag från sidan skiljde de sig något. Det brotten har gemensamt är att de båda metallspetsarna har ett brott som sker vid infästningen men att det andra brottet sker antingen i ingjutningsdelen eller på den exponerade delen.

Vid visuell analys av brottytan var det nästintill omöjligt att avgöra vart sprickan har uppstått till en början. Det ända som kan sägas om sprickbildningen är att den initieras från det håll slaget kommer ifrån på grund av skjuvspänningar på ytan.

Utifrån tidigare beräknade analyser på spänningar som uppstår vid de tre lastfallen (3.4.2.) stödjer utfallet från slagtesterna FE-analyserna. I FE-analyserna var de största spänningskoncentrationerna lokaliserade precis vid de avsmalnade områdena och vid infästningen. Att brott uppstår vid självaste slagets yta påvisar att materialet är väldigt sprött. Antagningar på att materialet är sintrat gjordes för att i materiallaboratoriet få det bekräftat.

Det testerna även gav var att en karbon förstärkt plastholk gör att stavspetsen tål mycket mer än en vanlig plastholk. En förstärkt plastholk medför att plasten klarar mer slag och påfrestningar samt håller metallspetsen på plats genom att glapp mellan metallspets och holk inte lika lätt uppstår. Om man jämför holkarnas deformation med varandra har Swix's holkar en högre elasticitet och är betydligt mjukare än SkiGo's hårda holkar där materialet plasticerar vid stora krafter och spänningar istället för att töjas ut som Swix. Vid förtydligande deformerar Swix's holkar tidigare än SkiGo's.

4.5.2. Materialtest

I detta avsnitt kommer resultaten från de utförda materialtesterna presenteras. Från Vickers hårdhetstester beräknades ett medelvärde fram för fyra olika områden på metallspetsen. Ett diagram och en tabell som röntgenkristallografi-analysen tog fram efter XRD presenteras, samt mikroskopiska bilder tagna under tiden som metallspetsgranskningen skedde.

4.5.2.1. Vickers hårdhetstest

När fyra, alternativt fem när mätningarna varierat mycket, hårdhetstester hade gjorts på varje område av de fyra som metallspetsen hade delats in i togs ett medelvärde fram för respektive område. Först gjordes det tester på SkiGo's stavspets och i tabellen 4.11 presenteras medelvärdet som räknades ut för respektive område. För att se alla värdena som togs för SkiGo gå till BILAGA C.

Commented [CWN41]: Vf varierande?

Commented [JW42]: uppdatera

Tabell 4.11. Medelvärden från utförda hårdhets tester på SkiGo

Hårdhets test - medelvärde - SkiGo Pro Carbon			
Område	D1	D2	HV
1	40,3	37,6	2708
2	42,6	45	2060
3	42,2	43,2	2083
4	44,5	45,4	1888

Vid framtagning av HV värdet för varje test krävdes ett fint ögonmått för att identifiera längden på linjerna som diamantindenten hade skapat efter nedtryckt kraft på 2000 [gram] som verkade under 15 [s] i alla områden. Eftersom måttet är i mikrometer kunde en liten felplacering skapa stora skillnader i HV-värdet.

I varje område kunde HV-värdet skilja sig en hel del då det är osäkert om det är på grund av fel ögonmått eller på grund av att det hade i just den punkten lyckats pricka en komposit i materialet som var väldigt hård. Men eftersom osäkerheten var lika stor i alla områdena sågs resultatet ändå som ett rättfärdigt utfall då osäkerheten i alla områdena tog ut varandra i slutändan.

Område 1 var placerat längst ut på spetsen medan område 4 var längst upp på metallspetsen vid dess huvud. Det som kunde urskiljas i resultatet är att hårdheten ökade över spetsen. Ju längre ned på tippen testerna togs, desto hårdare blev materialet.

När nästa stavspets testades, Swix Roller Ski Ferrules, gjordes en ytterligare observation på vart indenten träffade området (kant eller mitt) för att se om det hade någon betydelse. Till skillnad från SkiGo hade Swix en nedtryckningskraft på 1000 [gram] som verkade under 20 [s]. Dock verkade nedtryckningen under 25 [s] uppe vid huvudet, område 4. I BILAGA C markeras värdena som var tagna utmed kanten med en “*”. I tabellen 4.12 visas det beräknade medelvärdet för alla områdena.

Commented [JW43]: Uppdatera

Tabell 4.12. Medelvärden från utförda hårdhets-tester på Swix

Hårdhets test - medelvärde - Swix			
Område	D1	D2	HV
2	33,1	29,5	3712
3	33,5	37,7	1469
4	34,8	33,25	1638

Commented [CWN44]: Vilken last?

Även bland dessa värden finns det en stor osäkerhet av samma orsak som tidigare, ögonmått samt materialkomposit. Men med samma resultat som för SkiGo har metallspetsens nedre del ett högre HV värde än övre delen, dock är det ingen successiv ökning utifrån det uträknade medelvärdet på HV. Dessvärre kunde inte en analys göras på område 1 på Swix, på grund av att den inte är jämntjock över hela spetsen.

När inställningarna hade gjorts på hårdhetsmätaren så utgick allting ifrån det avståndet som mätts fram med hjälp av objektiven. Om avståndet inte stämmer kommer en kalkylering göras på fel förutsättningar och ett felvärde kommer att beräknas ut. I Swix fall kommer ett för kort avstånd att ställas in då metallspetsen fortfarande har en fri yta mellan arbetsbordet och spetsen på grund av dess avsmalning vid tippen. Det här medförde att när diamantindenten skall trycka ned objektet så kommer det inte ha en yta som medför något motstånd och provet utsätts inte för någon kraft, vilket gör att inget avtryck kommer att skapas.

Ingen slutsats kunde dras efter observationen på om testet är taget nära en kant eller mitt på materialet. I tabell "Hårdhets tester – Swix Roller Ski Ferrules" i BILAGA C kan man i område 3's värden se att värdet inte nödvändigtvis inte behöver vara annorlunda beroende om det är nära en kant eller mitt på materialet. I område 2 och 4 togs bara ett kant-värde var, vilket för att ingen jämförelse kunde göras.

4.5.2.2. Röntgenkristallografi analys

Efter att en röntgenkristallografi analys hade gjorts på varje spets gavs två dokument ut där det ena beskriver materialets uppbyggnad, molekylära struktur, materialets egenskaper samt vart de olika molekylära lagren fanns m.m. Medan det andra dokumentet beskriver röntgenstrålarnas diffraktionsmönster som hade uppstått.

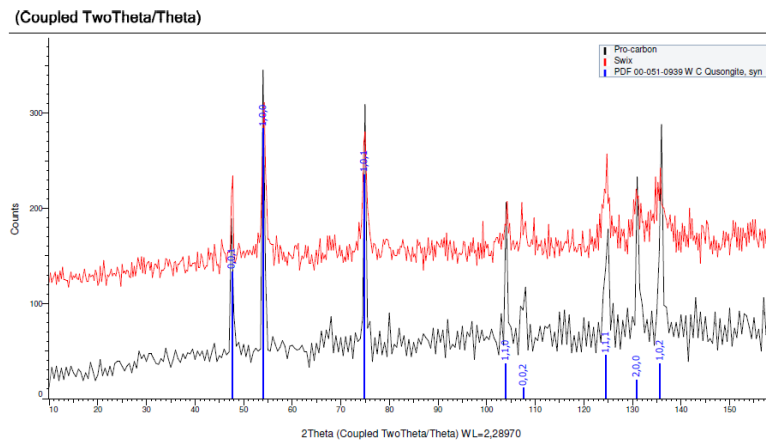


Diagram 4.4. Diffraktionsmönstret för Swix och SkiGo med valt referensmaterial.

I diagrammet 4.13 är x-axeln vinkel-positionen i grader hos den diffrakterade röntgenstrålen och y-axeln satt som intensiteten per sekund. Den röda vågrörelsen representerar den kemiska och atom arrangemanget som finns i metallspetsen för Swix medan den svarta representerar SkiGo Pro Carbon's metallspets.

Det som vågrörelsen beskriver i diagrammet är materialets olika faser när en strålning CuK-alpha1 med våglängden 2,2897 träffar provet. De blåa staplarna är referensmönstret som den röda och blåa vågrörelsen jämförs med. När positionen och intensiteten hos referensstaplarna matchar värdena hos Swix eller SkiGo så har man funnit provets referensmaterial. I diagrammet ser man att både Swix och SkiGo följer samma mönster vilket betyder att de är tillverkade av samma grundmaterial.

Tabell 4.13 Referensmaterialets data

Pattern: PDF 00-051-0939 Radiation:	
Formula	W C
Name	Tungsten Carbide
Name (mineral)	Qusongite, syn
Name (common)	
Lattice:	Hexagonal
S.G.:	P-6m2 (187)
Mol. weight =	195,86
Volume [CD] =	20,76
D _{hkl} =	
D _m =	
I/I _{cor} =	14,940
a = 2,90631	alpha =
b =	beta =
c = 2,83754	gamma =
a/b = 1,00000	Z = 1
c/b = 0,97634	
Additional Patterns: See PDF 01-072-0097 and 01-073-0471. To replace 00-025-1047	
Analysis: Chemical analysis (wt %): "C" 6.153, "W" 0.08, "Ca" <0.01	
Color: Black	
Melting Point: 3098 K	
Physical property: Tc=10 K	
Sample Source or Locality: Commercial source - Cescs (T-1173).	
Described as a mineral from Mengyin, Shandong and Danba, Sichuan, China. Zianhong, Z., Guojie, Y., Zhaoxi, L., Acta	

I tabell 4.13, som är ett selektivt urklipp från dess original tabell som finns i BILAGA D, visas det data på vad det är för referensmaterial som både Swix och SkiGo har matchat med. I tabellen framgår det att materialet är Volframkarbid med den kemiska formel WC som produkterna är tillverkade av. Det är en kemisk sammansättning där mängden är lika mellan tungsten och karbid. Volframkarbid förekommer som ett grått pulver i sin mest naturliga form som brukar pressas ihop för användning i industriella maskiner, verktyg, smycken och inom sport.

Med en smältpunkt vid 3098 Kelvin, ett Vickers tal som oftast ligger runt 2600 [HV] samt med en sträckgräns som ligger ungefärligen mellan 530-700 [GPa] och maximala brottgräns på ungefär 344 [MPa] är Volframkarbid ungefär 2 gånger styvare än stål. Vickerstalen som är uppmätta avviker från materialdatan som har tagits ut, vilket tyder på att mätdata borde tas om. Den har även en densitet som kan placeras mellan bly och guld och det går att jämföra Volframkarbid med Korund, som är ett mineral som rubin och safir består av.

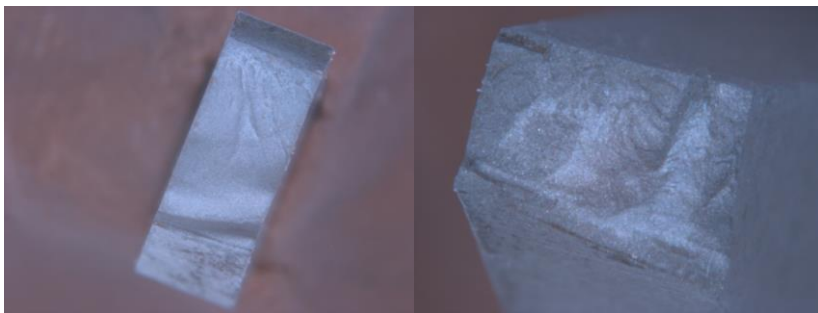
I Moh's hårdhetsskala, som går från 0 - 10 Moh, visar skalan reptåligheten för olika mineraler där mineralen rangordnas efter att repa ett mjukare mineral. På 1 Moh ligger Talk och på 10 Moh ligger diamanten. Om Volframkarbid skulle rangordnas i Mohs hårdhetsskala skulle den ligga runt 9 Moh vilket säger en del om materialets hårdhet.

Commented [CWN45]: Koppling till våra värden

Commented [CWN46]: Teo.ref.ram?

4.5.2.3. Mikroskopisk analys

Efter att ha tittat på metallspetsarna i mikroskop och studerat brottytan kan det ses i snittet att materialet är väldigt homogent och inget som påvisar att det finns någon ytbehandling längs med kanterna på brottytan. Därmed drogs slutsatsen att ingen ytbehandling har gjorts på spetsarna. I figuren 4.17 visas brottytan på ett av slagtesterna som hade gjorts på en av SkiGo's stavspetsar vid slag framifrån. Analysering på metallspetsens brottyta vid midjan och vid tippen gjordes.



Figur 4.17. Bilder tagna under mikroskopisk analysering av SkiGo's brottyta. a) Brottytan vid midjan och b) vid tippen

Annan information som även gavs vid mikroskopisk analys var att Swix's metallspetsar (nedre del) hade ett material som hade en mer jämn utspridning av dess materiella ämnen än vad SkiGo's metallspets hade. SkiGo påvisade att längst ut med tippen fanns det en intensiv mängd av ett ämne i jämförelse med resten av metallspetsen. Eftersom ingen kunskap fanns om vad det var för ämne kan inte mycket yttras om vad det ger för egenskaper. Men utifrån hårdhets-testet visade SkiGo på en ökad hårdhet längs med tippen. Utifrån det här testet kan det vara en förklaring till den successiva ökningen i hårdhet. I figur 4.16 visas de mikroskopiska bilderna tagna under analysen där a. är på Swix och b. är på SkiGo.



Figur 4.16. Mikroskopiska bilder tagna på ytan på a) Swix och b) SkiGo

4.6. Konceptgenerering

Åtta koncept togs fram efter brainstormingen för att därefter analyseras med hjälp av FEM för att se om spänningarna som uppstod i metallspetsen vid samma pålagda kraft är lägre än de spänningar som uppkom i de befintliga stavspetsarna. Vid högre spänningar går inte konceptet vidare till nästa steg vilket är utvecklingsfasen. Nedan presenteras de åtta koncepten som togs fram samt resultatet från FE-analyserna.

4.6.1. Brainstorming & Modellering

Brainstormingen gav upphov till sju olika modeller på metallspetsar som ritades upp på papper som därefter diskuterades i arbetsgruppen. Därefter fortskred arbetet till att återskapa modellerna i CatiaV5.

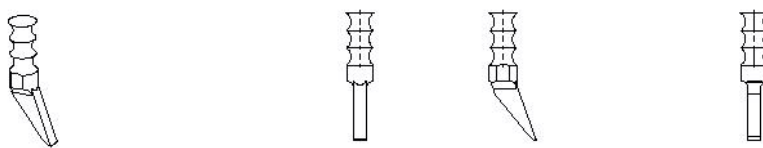
Holkarna som användes till koncepten var SkiGo's holkar *Holk-Basic* och *Holk-Pro* som modifierades så att konceptens utformning passade in i holken. Beroende på om *Holk-Basic* eller *Holk-Pro* används till koncept har varierat utifrån projektgruppens bedömning.

Tanken för varje framtaget koncept är att dem ska gjutas in i holken när de sätts ihop under tillverkning.

Skruvad spets

Skruvad spets konstruerades med tanken att se ifall mer massa kunde dra ner spänningarna som uppstod i spetsen generellt. Konceptets spets har sammans dimensioner som SkiGo spetsarna. Överdelen däremot är cylinderformad med tre midjebildningar längs med övre delen som går längs omkretsen. Figur 4.17 beskriver hur konceptet ser ut.

Scale: 1:1

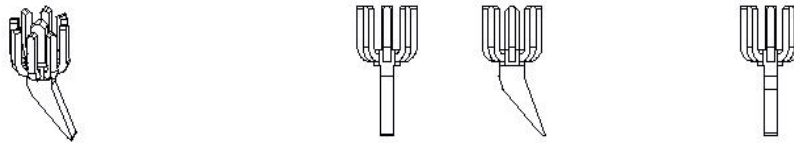


Figur 4.17. Skruvad spets ritning i olika vyer i skala 1:1.

Spindel spets

Spindelspetsen har samma dimensioner som SkiGo spetsarna men den övre delen består av “armar” som går runt en smalare metallstomme i mitten. Idén var att försöka sprida ut ytan spetsen har inne i holken för att se om spänningarna kunde bli mindre. Modellen har en väldigt komplex form. Figur 4.18 beskriver hur konceptet ser ut.

Scale: 1:1

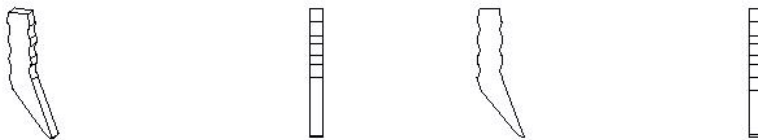


Figur 4.18. Spindel spets ritning i olika vyer i skala 1:1.

Vågad spets

Vågad spets är väldigt lik spetsen som sitter i SkiGo Basic och SkiGo Pro förutom att fram- och baksidan består av “vågor”. Figur 4.19 beskriver hur konceptet ser ut.

Scale: 1:1

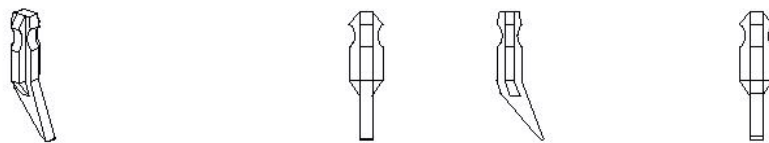


Figur 4.19. Vågad spets ritning i olika vyer i skala 1:1.

Balkspets

Balkspets är som det låter en balk som går längs med sidan på spetsen från huvudet till början av den avsmalnande delen av spetsen. Tanken är att balken ska stödja upp spetsen så att den kan klara av större spänningar. Värt att notera är att Spets balk har skapats med både SkiGo-Basic holken och SkiGo-Pro holken. Figur 4.20 beskriver hur konceptet ser ut.

Scale: 1:1

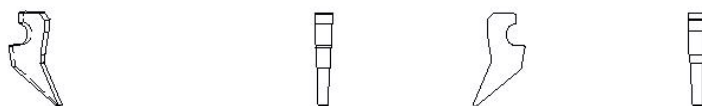


Figur 4.20. Balkspetsens ritning i olika vyer i skala 1:1.

Nyckel-spets

I tidigare fall så skapas det ett brott vid midjan som initierar från riktningen kraften är lagd. Eftersom avsmalningar ger potential till brott har den tanken kasserats och istället har den främre kortsidan blivit en bastant rak yta. För att inte metallspetsen skall trilla ut lätt och sitta bättre så har en urgröpning från bakre kortsida gjorts in mot spetsens mitt. För att inte skapa allt för skarpa vinklar har olika snitt lagts för att minska dessa. Genom att ha en varierande tjocklek tros det medföra svårare bort-ryckning från dess ingjutning. Spetsens tipp har då en mindre bredd än vad spetsens huvud har. Spetsen modelleras med Holk-Basic. Figur 4.21 beskriver hur konceptet ser ut.

Scale: 1:1



Figur 4.21. Nyckelspetsens ritning i olika vyer i skala 1:1.

Hålspets

Tanken bakom formen är att inte ha några skarpa vinklar alls, och genom att sätta ett hål i mitten kompenseras inte metallspetsens fäste i holken. Även denna modell får en varierande tjocklek, small vid tippen som successivt ökar mot spetsens andra ände. Hålspetsen modelleras med Holk-Basic. Figur 4.22 beskriver konceptets utseende.

Scale: 1:1

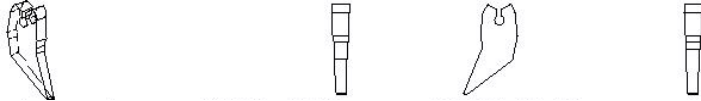


Figur 4.22. Hålspetsens ritning

Skiftnyckel-spets

Skiftnyckeln är en vidareutveckling på Hålspetsen där det isolerade hålet i mitten nu har en öppning högst upp vid huvudet. En varierande tjocklek är också applicerad på denna modell. Spetsen modelleras med Holk-Basic. Figur 4.23 beskriver hur konceptet ser ut.

Scale: 1:1



Figur 4.23 Skiftnyckelns ritning.

4.6.2. Finita element analys

På samma sätt som vid FE-analysen på de befintliga spetsarna, analyserades koncepten vid tre olika lastfall. Lastfall 1 är en kraft applicerad på toppen av spetsen, lastfall 2 är en kraft applicerad 4 [mm] upp ovanför toppen av spetsen och lastfall 3 är en kraft applicerad på sidan av spetsen 4 [mm] upp från spetsen topp. I Samtliga lastfall ligger kraften på 60 [N] som för analysen av de befintliga spetsarna.

Det upptäcktes tidigt i analyserings stadiet att konceptet Spindel spetsen var för komplext och förutom att det tog lång tid för Catia att beräkna modellen i GSA hade den stora felmarginaler. Därav valdes konceptet att tas bort från analysen.

4.6.2.1. Krafter framifrån

Först observerades den estimerade precisionen ifall analysernas värden stämmer tillräckligt bra och inte har för stor feluppskattning, de bör ligga under 10^{-8} [J] och under 20 [%] i global feluppskattning för att uppfattas som trovärdiga värden. Observera att de befintliga spetsarna är med i tabell 4.14 för att snabbt och flexibelt kunna jämföra värdena.

Tabell 4.14. Feluppskattning i FEM för koncept och befintliga spetsar vid krafter framifrån

Namn	Estimerad precision [J]			
	Spetsområdet		Mittenområdet	
	[J]	%	[J]	%
SkiGo Basic	6,70E-04	17,9	3,50E-04	17,5
SkiGo Pro	4,20E-04	12,1	2,70E-04	12
Swix	2,90E-04	14,9	1,50E-04	14,9
Skruvad spets	2,60E-04	11	1,60E-04	11
Vågad spets	2,80E-04	15,7	1,60E-04	16,1
Balkspets Basic	2,10E-04	14,1	1,20E-04	14,5
Balkspets Pro	2,80E-04	9,93	1,60E-04	9,8
Nyckel-spets	6,70E-04	19,8	3,80E-04	19,3
Hålspets	9,80E-04	20,7	5,00E-04	20,4
Skiftnyckel-spets	6,00E-04	19,4	3,20E-04	18,9

Hålspetsen hade ett procentuellt felvärde strax över maxvärdet som är tillåtet. Därefter ligger alla koncept över det rekommenderade precisionsvärdet i [J]. Men efter en utvärdering inom projektgruppen anses resultaten ändå fungera och koncepten fortsätter att analyseras.

Analysen för effektivspänningarna utfördes efter feluppskattningen var klar där den maximala effektivspänningen togs ut från modellen, samt två stycken intressanta spänningspunkter. Resultaten jämfört med de befintliga spetsarna kan observeras i tabell 4.15.

Tabell 4.15. Effektivspänningar i spetsarna vid kraft som verkar framifrån vid topp och mitt

	Maximala effektivspänningar		Intressanta spänningpunkter lastfall 1		Intressanta spänningpunkter lastfall 2	
Namn	Lastfall 1	Lastfall 2	Intressepunkt 1	Intressepunkt 2	Intressepunkt 1	Intressepunkt 2
	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
SkiGo Basic	620	183	270	197	60	145
SkiGo Pro	623	113	153	105	85	92
Swix	615	320	526	352	261	176
Skruvad spets	486	155	202	174	117	41
Vågad spets	698	122	130	106	79	57
Balkspets Basic	730	89	118	100	65	51
Balkspets Pro	733	294	386	128	89	53
Nyckel-spets	808	447	787	681	442	68
Hålspets	332	186	264	107	186	69
Skiftnyckel-spets	927	174	213	135	125	96

Som vid tidigare analyser var det väldigt höga spänningar vid spetsens tipp vid lastfall 1 (kraft vid spets), men nu varierade de även mellan 332 [MPa] till 927 [MPa]. Vilket påpekade att det troligen var felvärden som Catia hade tagit fram. Resultatet och jämförelsen fokuserades mer på lastfall 2 där kraften verkade på mitten.

De tre koncepten som hade lägst maximala spänningar var Balkspets Basic, Vågad spets och Skiftnyckel spets. Utifrån de intressanta punkterna som hade tagits ut var de tre koncepten med lägst spänningar Skruvad spets, Balkspets Basic och Balkspets Pro. Vågad spets valdes också att ta med som koncept med lägst spänningar eftersom konceptet hade ungefär samma spänningar som Balkspets Pro.

4.6.2.2. Kraft från sidan

Estimerade precision observerades först för att se till att inget koncept hade för stor feluppskattning precis som vid krafter framifrån, tabell 4.16.

Tabell 4.16. Feluppskattningar i FEM vid en kraft som verkar i sidan

Namn	Estimerad precision [J]	
	Mittenområdet	
	[J]	%
SkiGo Basic	2,70E-04	15,7
SkiGo Pro	2,50E-04	10,8
Swix	1,70E-04	14
Skruvad spets	5,30E-04	16,1
Vågad spets	1,80E-04	14,5
Balkspets Basic	1,50E-04	15,3
Balkspets Pro	1,70E-04	10,1
Nyckel-spets	3,30E-04	18,7
Hålspets	2,80E-04	17,9
Skiftnyckel-spets	3,50E-04	19,1

Alla koncepten låg under gränserna för beräknade felvärden men dock var den beräknade precisionen för höga. Men efter en utvärdering inom projektgruppen anses resultaten ändå fungera och koncepten fortsätter att analyseras.

Analysen utfördes på samma sätt enligt kap 4.6.2.1. för effektivspänningarna. Resultaten jämfört med de befintliga spetsarna kan observeras i tabell 4.17.

Tabell 4.17. Effektivspänningar i spetsarna vid kraft som verkar framifrån vid topp och mitt

	Maximala effektivspänningar	Intressanta spänningspunkter lastfall 3	
Namn	Lastfall 3	Intressepunkt 1	Intressepunkt 2
	[MPa]	[MPa]	[MPa]
SkiGo Basic	178	128	122
SkiGo Pro	164	134	121
Swix	158	136	150
Skruvad spets	142	113	100
Vågad Spets	155	124	141
Balkspets Basic	74	68	54
Balkspets Pro	205	75	70
Nyckel-spets	245	183	153
Hålspets	129	72	56
Skiftnyckel-spets	264	128	119

Från spänningstabellen kan det utläsas att koncepten med minst maximal effektivspänning var Balkspets Basic, Hålspets och Skruvad spets. Samma koncept hade minst spänningar vid intressanta punkter dessutom.

4.6.2.3. Slututvärdering av analyserade koncept

Efter konceptens analys och jämförelse av spänningar diskuterades möjliga problem med olika koncept. Efter diskussion valdes det att utesluta Skruvad spets trots bra värden i spänningsanalysen. Förskjutningsanalysen av den visade att spetsen började rotera i holken på grund av sin form, vilket leder till att spetsen inte går att staka med eftersom den inte var framåtriktad då.

Projektgruppen valde att utveckla vidare och fortsätta analysera tre koncept. Balkspets, Vågad spets och Hålspets.

För Balkspetsen kommer både Basic och Pro att utvecklas men mer tyngd läggs på Basic. Vågad spets hade bra värden på effektivspänningarna och valdes att utvecklas från det. Hålspets och Skiftnyckel hade ungefär lika spänningsvärden vid kraft framifrån. Men vid kraft från sidan hade Hålspetsen mycket bättre värden än Skiftnyckeln. Därför togs beslutet att gå vidare med Hålspetsen.

4.7. Utveckling av valda koncept

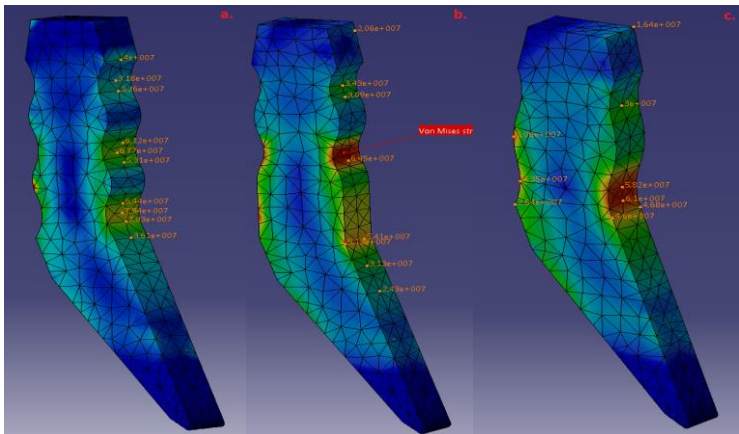
Efter att ha valt ut de tre bästa koncepten, som var Vågad spets, Balkspets och Hålspets, gjordes en utvärdering kring hur sannolikt de är att tillverka modellerna. Efter utvärdering togs bara två av de tre koncepten vidare för att göra ytterligare analyser där små ändringar gjordes på konceptets grundmodell. Målet var att åstadkomma ännu mindre spänningar i metallspetsen.

Det konceptet som lämnades efter var Balkspetsen som på grund av dess svåra dimensioner kommer att medföra en hög tillverkningskostnad. Men av rent intresse gjordes ännu en analys på Balkspetsen.

4.7.1. CAD-modellering

Vågadspets

Ändringarna som gjordes på den ursprungliga Vågade spetsen (Figur 4.24.a.) var att först testa att ta bort den lägsta midjan på spetsens ingjutna del så att det endast återstår två midjor (Figur 4.24.b.). Den andra ändringen som gjordes var att korta ner den ingjutna delen så att metallspetsens totallängd gick från 25,5 mm till 22,5 mm. Detta gjorde att den ingjutna delen är 10,5 mm och den exponerade delen fortfarande hade en vertikal längd på 12 mm. (Figur 4.24.c.)



Figur 4.24. a) Den ursprungliga Vågade spetsen , b) modifierad Vågad spets genom att ta bort den nedersta midjan och (Mod.1. Vågad), c) modifierad Vågad spets genom att korta ned huvudet på ingjutningsdelen (Mod.2. Vågad)

Hålspets

De modifieringar som gjordes den första gången (Mod.1-H) var att ändra vinklarna som gjordes mindre, vilket medförde att bredden blev mindre vid infästningen och därmed hela ingjutningsdelen. Eftersom allt avsmalnades gjordes hålet i mitten mindre. Den andra modellen (Mod.2-H) modifierades till att ha några vinklar större vilket då medförde att bredden expanderades och en kortare exponeringsdel. I tabell 4.18 visas alla mått som sattes på de modifierade koncepten.

Tabell 4.18. Dimensionstabell för Hålspets och dess koncept

Hålspets	Original	Mod.1-H	Mod.2-H
Totala längd (mm)	20	20	19
Exponerings del (mm)	11	11	10
Vinklar (grader)	24 / 43 / 65 / 142	23 / 51 / 65 / 164	24 / 47 / 65 / 153,5
Bredd (mm)	5,5	7,5	6
Diameter (mm)	2	3	3

Balkspets

Till en början hade Balkspetsen dimensionerats för holk-Basic. Men för att få en förståelse kring hur stor inverkan en vinklad ingjutning gjorde som det är i holk-Pro dimensionerades Balkspetsen även för holk-Pro med en 3 grader vinkel framåt.

4.7.2. Finita element analys

I kapitlet presenteras FEM-beräkningarna som har gjorts och var de största spänningarna uppkommer i de nykonstruerade modellerna. Alla FEM-beräkningar hade en feluppskattning under 20% vilket gör att de framtagna värdena är tillräckligt trovärdiga. Dock kunde inte den estimerade precisionen fås tillräckligt låg då det uppskattas att få den runt 10^{-8} [J] då de framberäkta värdena ligger runt $2,5 (+/- 1,0) \cdot 10^{-4}$. För att lyckas få ned värdet ännu mer måste meshen minskas ytterligare som medför orimliga beräkningstider, vilket inte fungerar. Därför accepterades dessa spänningvärden som gick vidare för analys.

4.7.2.1. Kraft framifrån

Vågad spets

Vid framtagning av spänningskoncentrationerna på de modifierade metallspetsarna på Vågad spets blev spänningarna lägre. I tabellen 4.19 framgår spänningvärdena vid de olika lastfallen framifrån, ett vid tippen av spetsen och ett på ett område 4 [mm] ovanför tippen. När kraften

på spetsen applicerades låg de maximala spänningar i spetsen vid tippet, vilka har försummats då dessa är möjliga felvärden. Istället gjordes noggrannare granskningar på de två områdena på metallspetsen som hade de nästkommande spänningsvärdena efter maxvärdet.

Tabell 4.19. Spänningsvärden för Vågade spetsens koncept, fram

	Effektivspänningen spets [MPa]		Effektivspänningen mitten [MPa]	
	Intressant pkt 1	Intressant pkt 2	Max	Intressant pkt 1
Vågad	130	106	122	79
Mod.1-V	118	107	74	70
Mod.2-V	106	83	66	61

Det som var gemensamt hos alla modeller var att spänningen vid “Intressant pkt 1” vid last pålagd vid tippet uppstod på liknande ställen för de olika modellerna. Spänningen var belägen mitt i lägsta midjan på främre kortsida (sidan där lasten är lagd). Därefter följer endast Mod.2-V ursprungs-spetsens uppkomst av spänningar vilket var runt den lägsta midjan, både främre och bakrekortsida.

Mod.1-V, vilket var modellen med borttagen midja nedtill med samma längd på den ingjutna delen, skiljer sig inte allt för mycket från de andra två modellerna eftersom ett slag framifrån kommer att medföra ett brott i dess lägsta midja trots skilda spänningpunkter. Dock är spänningen vid last på mittenområdet lokaliserad på metallspetsens huvud när granskning av “intressant pkt 1” gjordes.

Ingen större förskjutning vid spetsen skedde då endast ett kortare huvud medförde en ökning på 0,04 mm bakåt alternativt 0,06 mm. Istället för 0,14 mm förskjutning fick Mod.2-V en förskjutning på 0,18 vid slag i mittenområdet eller 0,26 mm vid slag mot spets.

Utifrån dessa modifieringar gav Mod.2-V de bästa spänningarna och kom att jämföras med Hålspetsens bästa modifierade koncept.

Hålspets

Efter FEM-beräkningar och analyseringar kunde inte Hålspetsen prestera bättre än vad den Vågade spetsen gjorde. I tabell 4.20 presenteras alla spänningsvärden. Resultatet var att med en mindre främre vinkel men med större vinklar till de bakre vinklarna som medförde en bredare infästningsbredd fick ned alla spänningar något.

Främst gick spänningarna ned vid “Intressant pkt 1” både vid last på spets och på mittenområdet. Förskjutningen minskades också med 0,06 [mm]. Vid jämförelse med original-Hålspetsen och Mod.1-H uppkom spänningarna på samma ställe för de båda modellerna.

Området där de högsta spänningarna uppkommer är vid den bakre kortsidans kant i ingjutningsdelen och det andra området är belagt på den främre kortsidan framför hålet. Analysering av brott med dessa spänningar och former kommer att ske vid den bakre kortsidans kant och utveckla sig nedåt mot infästningen vid främre kortsida. Detta kommer att medföra att hela exponeringsdelen faller av.

Tabell 4.20. Spänningsvärden för Hålspetsens koncept, fram

	Effektivspänningen spets [MPa]		Effektivspänningen mitten [MPa]		Förskjutning [mm]	
	Intressant pkt 1	Intressant pkt 2	Max	Intressant pkt 1	Spetskraft	Mittkraft
Hål	264	107	186	69,4	0,41	0,37
Mod.1-H	217	93,1	156	61,9	0,35	0,29
Mod.2-H	166	134	105	92	0,42	0,29

Mod.2-H presenterade bra värden vid framtagning av de högsta spänningarna, men vid nästa spänningspunkt blev spänningarna högre i jämförelse med de andra två modellerna. Vid analysring av vart spänningarna uppstod var dem skilda från vad de tidigare hade uppstått. Nu hade de största spänningarna uppträtt vid främre kortsida framför hål och de andra spänningarna vid bakre kortsidans kant. Det skulle medföra ett brott som sker vid de maximala spänningarna och utveckla sig in mot hålet. Därefter är det väldigt svårt att förutsäga hur brottet skulle se ut. Men brottet i sig skulle inte orsaka för stora problem för åkaren då fortsatt användning skulle gå. Problemet är dock att de nästkommande spänningskoncentrationerna är ganska stora och uppstår vid ett riskfyllt område. Det kommer att medföra ett brott som i de tidigare fallen orsakar bortfall av spetsdel.

Eftersom Vågad spets har bättre spänningar än Hålspets kommer konceptet Mod.2-V att väljas att arbeta vidare med då dessa krafter är mer väsentliga än sidokrafterna. Men för att se hur spänningarna beter sig vid last pålagd från sidan analyseras även dessa krafter i 4.7.2.2.

Balkspets

För att se hur stor skillnad det gör med att ha en 3 graders insättningsvinkel i jämförelse med en rak insättning gjordes en spänningsanalys på Balkspetsen när den sattes in i som SkiGo Pro i holk-Pro. Resultatet blev att spänningarna blev högre i alla områden i jämförelse med Balkspets - Basic, spänningsvärdena finns i tabell 4.21.

Tabell 4.21. Spänningsvärdena för Balkspetsen i Basic och Pro, fram

	Effektivspänningen spets [MPa]		Effektivspänningen mitten [MPa]	
	Intressant pkt 1	Intressant pkt 2	Max	Intressant pkt 1
Balk - Basic	118	106	89	65
Balk - Pro	386	128	294	89

Den första intressanta spänningen som uppkom som "Intressant pkt 1" för last på spetsen uppkom även som maximala spänningen för last lagd på mitten. Området där spänningen fanns var vid kanten på den främre kortsidan ovanför midjan. Det andra området som hade de näst största spänningarna fanns vid midjan.

Utifrån FEM-beräkningarna är en vinklad insättning inte något att föredra då spänningarna ökar.

4.7.2.2. Kraft från sidan

Vågad Spets

Vid slag från sidan uppkom spänningskoncentrationerna ungefär vid samma områden på de olika koncepten, den lägsta midjan och på främre kanten vid infästningen. Resultatet från FE-beräkningarna, som presenteras i tabell 4.22, var att krafterna gick ned något mer för Mod.1-V än för Mod.2-V. Men trots detta utfall kommer ändå Mod.2-V, vilket var konceptet med ett kortare huvud för ingjutning, att väljas.

Tabell 4.22. Spänningsvärdena för Vågad spets, sidan

	Effektivspänningen mitten [MPa]	
	Max	Intressant pkt 1
Vågad	155	124
Mod.1-V	120	119
Mod.2-V	143	121

Hålspets

När analyser på Hålspetsen gjordes var endast Mod.1-H konceptet som fick ned sidokrafterna avsevärt mycket med dess bastanta exponerade spets och stora bredd vid infästningen. Spänningarna som uppkom var även placerade på bra ställen nära hålet vilket kommer att medföra ett brott som inte kommer att synas samt påverka åkaren utifrån hypotetiska värderingar. De andra två koncepten har sin spänningskoncentration vid infästningen och kanten på innerdiametern på hålet, samt vid nedre kanten på bakre kortsida några millimeter ovanför infästningen. Utifrån hypotetiska värderingar kommer dessa brott att medföra att nedre delen på metallspetsen kommer att trilla av. De framtagna spänningarna presenteras i tabell 4.23.

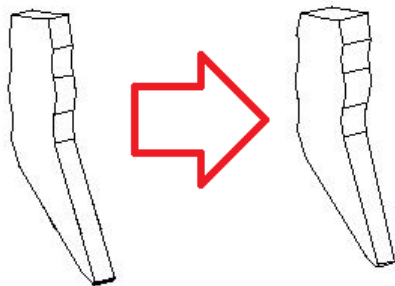
Tabell 4.23. Spänningsvärden för Hålspets, sidan

	Effektivspänningen mitten [MPa]	
	Max	Intressant pkt 1
Hål	129	72
Mod.1-H	78,3	76
Mod.2-H	203	107

Trots att Mod.1-H har bättre spänningar än vad Mod.2-V har valdes ändå Mod.2-V vidare på grund av bättre spänningar vid slag framifrån. Men eftersom Hålspetsen hade en varierande tjocklek kommer denna egenskap att appliceras på konceptets modell för att se om ännu en optimering av spänningar kan tas fram. Detta kan läsas mer om i kapitel 4.8.

4.8. Slutgiltigt koncept - vågad

Mod.2-V som var den vågade spetsen med kortare huvud i infästningsdelen inuti holken var det koncept som valdes ut för att göra de sista modifieringarna. Sista förändringarna som gjordes i spetsen var att korta ner den exponerade delen från 12 [mm] till 11 [mm], övre delen som är infäst i holken kortades ner med 0,5 [mm]. Därefter gjordes spetsen 4 [mm] bred vid huvudet som smalnades av till 2 [mm] nere vid spetsens tipp. Resultatet blev den slutgiltiga spetsen som det utfördes analyser på som jämfördes sedan med de befintliga spetsarna. I figur 4.25 visas den nya formen.

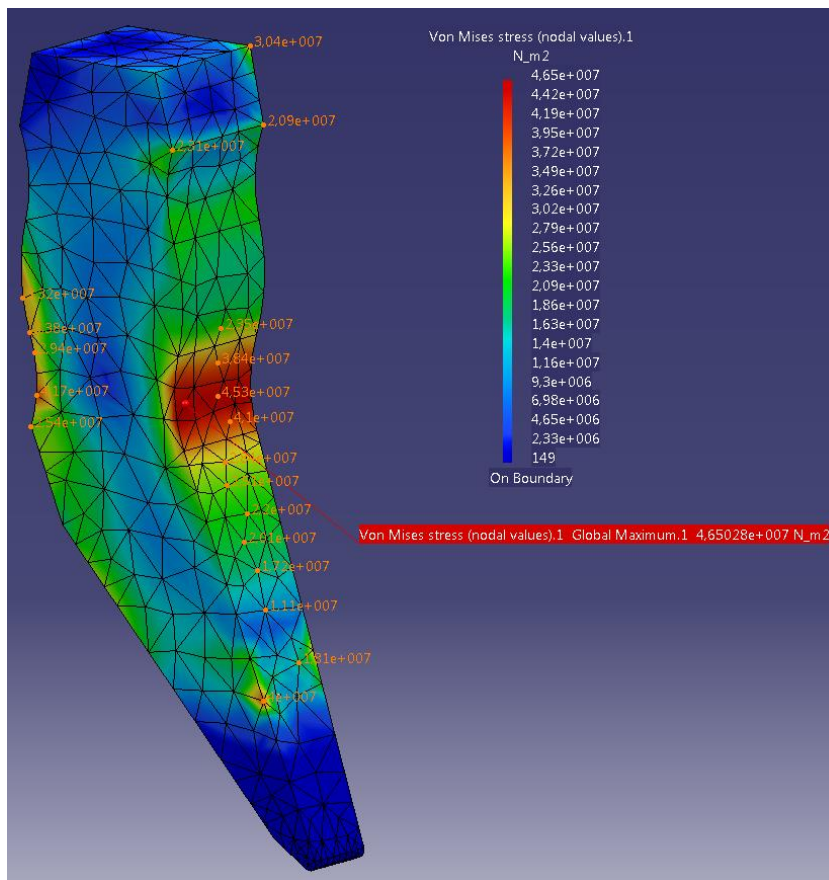


Figur 4.25. Sista modifieringar av utvalt koncept "Vågad spets kort"

4.8.1. Kraft framifrån

Första analysen var lastfallet där en kraft på 60 [N] som verkade på framsidan av spetsen 4 [mm] upp från spetsens tipp. Den beräknade precisionen låg på $9,8e-5$ [J] och den globala feluppskattningen var 11,9 [%]. Värdena accepteras då de är bättre än många av de andra modellerna som har analyserats i projektet. Effektivspänningarna hade ett maximalt värde i

mitten av den nedersta midjan på spetsens framsida som låg runt ett värde på 47 [MPa]. Det är ett värde som är mycket mindre än tidigare analyser. Två andra intressanta spänningar som var höga var en som låg runt 42 [MPa] i mitten av lägsta midjan på baksidan av spetsen, och en som låg runt 33 [MPa] mellan midjorna i mitten av den infästa delen på spetsens baksida. Spänningskoncentrationerna tyder på att spetsen kommer gå sönder vid lägsta midjan på framsidan av spetsen. Områdena det uppkommer effektivspänningar kan ses i figur 4.26.



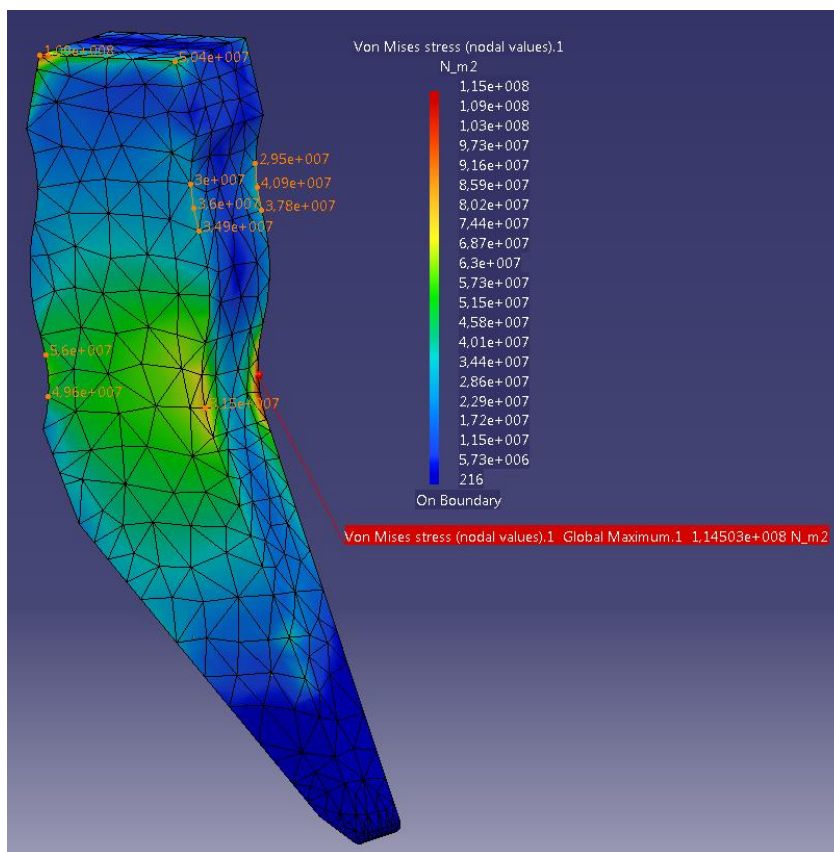
Figur 4.26. Effektivspänningar i slutligt koncept vid kraft framifrån

4.8.2. Kraft från sidan

Andra analysen var lastfallet där en kraft om 60 [N] som verkade på sidan av spetsen 4 [mm] upp från spetsen tipp. Den estimerade precisionen låg på $1,4e-4$ [J] och den globala feluppskattningen var 13,2 [%]. Den beräknade precisionen låg som vanligt under 10^{-8} [J] men

för att kunna få ner det värdet kommer beräkningstiderna bli orimligt långa. Värdena accepterades ändå trots ett stort precisionsfel.

Effektivspänningarna hade ett maximalt värde i mitten av den nedersta midjan på spetsens framsida, på sidan kraften inte verkade på, som låg runt ett värde på 115 [MPa]. Två andra intressanta spänningar som var höga var en som låg runt 109 [MPa] på toppen av spetsens huvud och den andra spänningen låg runt 70 [MPa] i mitten av den lägsta midjan på spetsens baksida. Spänningskoncentrationerna tyder alltså på att spetsen kommer gå sönder vid den lägsta midjan om en tillräckligt stor kraft träffar spetsen från sidan. Områdena det uppkommer effektivspänningar kan ses i figur 4.27.



Figur 4.27. Effektivspänningar i slutligt koncept vid kraft från sida av spets

4.8.3. Kraft underifrån

Tredje analysen var en kraft applicerad underifrån på spetsen som symboliserar isättningskraften – stak-kraften. Viktiga här var att den maximala spänningen inte gick över de befintliga spetsarnas maximala spänning då det kan påverka stakningen avsevärt.

Den estimerade precisionen låg på $2,6e-4$ [J] och den globala feluppskattningen låg på 12,9 [%]. Maximala effektivspänningen som uppstod i Vågad spets som inte är ett felvärde var 49 [MPa]. Den allra största spänningen uppstod i spetsen på 672 [MPa] som dock är ett möjligt felvärde. Den Vågade spetsens värden var bra i jämförelse med SkiGo's stavspetsar då både Pro och Basic hade spänningar på 64 [MPa]. Dock presterade Vågade inte bättre än Swix då den hade en spänning på 47 [MPa].

4.8.4. Jämförelser med befintliga spetsar

Sist gjordes en jämförelse mellan den slutgiltiga spetsen och de befintliga spetsarna. I tabell 4.24. kan effektivspänningarna för en kraft applicerad framifrån 4 [mm] upp från spetsens tipp jämföras.

Tabell 4.24. Effektivspänningar hos det slutliga konceptet jämfört med de befintliga spetsarna, kraft framifrån

	Effektivspänningar från kraft i mitten [Mpa]		
	Maximal spänning	Intressant punkt 1	Intressant punkt 2
SkiGo Basic	183	60	145
SkiGo Pro	113	85	92
Swix	320	261	176
Slutgiltigt koncept	47	42	33

Commented [CWN47]: Dela upp, intressant pkt 1, intressant pkt 2 i tabellen. Samma sak för nästa

Maximala effektivspänningen framifrån är 66 [MPa] lägre än vad SkiGo Pro hade, det är en förbättring runt 60 [%]. Vilket är ett väldigt givande resultat.

I tabell 4.25. kan effektivspänningarna för en kraft applicerad från sidan 4 [mm] upp från spetsens tipp jämföras.

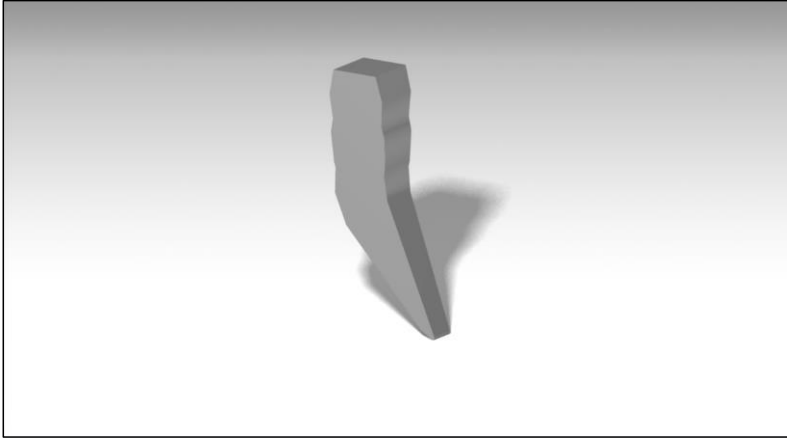
Tabell 4.25. Effektivspänningar hos det slutliga konceptet jämfört med de befintliga spetsarna, kraft från sida

	Effektivspänningar från kraft i mitten [Mpa]		
	Maximal spänning	Intressant punkt 1	Intressant punkt 2
SkiGo Basic	178	128	122
SkiGo Pro	164	134	121
Swix	158	136	150
Slutgiltigt koncept	115	109	70

Maximala effektivspänningen från sidan är 43 [MPa] lägre än vad Swix hade, det är en förbättring runt 27 [%].

I förskjutningarna skedde det inga drastiska förändringar. Utvalda konceptet låg runt 0,16 [mm] likt Swix förskjutning vid kraft framifrån på spetsen. Förskjutningen i sidled låg runt 0,18 [mm] där Swix låg på 0,2 [mm] i förskjutning.

När det kommer till dimensionerna hos det slutgiltiga konceptet hänvisas till BILAGA E, som är ritning på spetsen. Figur 4.28. visar en bild på det vinnande konceptet.



Figur 4.28. Vinnande konceptet

5. DISKUSSION

Vid början av arbetet upptäcktes det att problemet som beskrevs av ÅF var väldigt stort i dagens läge. Det fanns väldigt många parametrar som hade inverkan på varför spetsen slits ut eller går sönder. Exempel på några parametrar var temperaturen i luften, personliga åkstilar, vilket underlag som åktes på, vilken lutning underlaget har, hur felfri åkarens teknik är med mera. Beslutet togs att titta på fallet när åkaren använder åkstilen *dubbelstakning*, tekniken är felfri, underlaget är asfalt, och marken är plan. Detta medför att den framtagna slutprodukten inte direkt kan appliceras i verkligheten. Men dock var det nödvändigt att göra dessa avgränsningar då arbetet annars skulle blivit för stort inom tidsramarna.

Swenor's spets var nästan lika använd som Swix's spets och det hade inte krävts många fler undersökningar som svarat "Swenor" för att den spetsen skulle få fler röster än vad Swix hade. Hade det varit bättre att köpa in Swenor's och Swix's spetsar istället för SkiGo och Swix spetsarna? Enligt projektgruppens åsikt nej. Swix var fortfarande spetsen som hade flest röster i marknadsundersökningen och arbetsgruppen hade en bra kontakt med företaget SkiGo. Därav var det SkiGo's spetsar som köptes in med Swix istället för Swenor's spetsar.

Första tanken med slagtesterna var att ordna en pendel som slår på stavspetsen. På det sättet skulle kraften som slår mot spetsen kunna kontrolleras och veta kraften som behövs för att slå av spetsen. Dock på grund av rekommendationer från handledaren och brist på resurser övergavs idén med en pendel och slagtesterna utfördes med ett skruvstäd och en hammare. Hur stor kraften var ignorerades och det intressanta som söktes var hur spetsarna gick sönder och hur brottytan såg ut.

Finita element-analyserna visade i varje modell en väldigt stor spänningskoncentration i tippen av spetsen vid lastfall 1, en kraft som verkar framifrån vid toppen av spetsen. Detta är ett möjligt felvärde som framkommer på grund av att det är väldigt liten *mesh* vid det området. Sidorna på spetsen är dessutom skarpa, vilket leder till att Catia utför beräkningar på spänningskoncentrationer som går mot ett oändligt stort värde. Från den observationen utgick analysen mer från lastfall 2, där en kraft verkar framifrån vid mitten av spetsen, där det stora felvärdet undviks vid spetsen. Vid den sista analysen av det slutliga konceptet försumrades lastfall 1 och endast lastfallen som verkar framifrån i mitten av spetsen och från sidan i mitten av spetsen analyserades.

Beräknade precisionen var egentligen inte tillräckligt bra då den egentligen borde legat under 10^{-8} [J]. I analyserna visar det sig att den estimerade precisionen vid nästan alla fall låg mellan 10^{-3} [J] och 10^{-5} [J]. Dock gick det inte att få ner värdet mer, och de fallen det faktiskt gick gav det en orimligt lång beräkningstid som datorn inte klarade av. Utifrån det accepteras värden som låg under 10^{-3} [J] och 20 [%].

Commented [CWN48]: Vad menar vi?

6. SLUTSATS

I följande kapitel beskrivs bedömningen av resultatet, analysering av hur trovärdiga resultaten är och vad projektgrupp har dragit för erfarenheter från arbetet. I slutet presenteras åsikter för vad som bör tänkas på vid framtida arbeten inom liknande projekt.

6.1. Bedömning av resultat

Efter ett arbete som har varit väldigt beräkningstungt där många genererade CAD modeller har gjorts, samt FEM-beräkningar som har kalkylerats fram för redovisning av spänningskoncentrationer och spänningsvärden har ett slutgiltigt koncept utvecklats som grundar sig på dessa beräkningar. Konceptet har ett utseende som liknar SkiGo's metallspetsar. Men med dess 0,24 [mm] djupgående vågor längs med kortsidorna, en ingjutningsdel som är 10 [mm] lång. En exponerad del som är 10,5 [mm] samt med en varierande tjocklek som successivt ökar från 2 [mm] vid tippens av metallspetsen till 4 [mm] vid toppen av huvudet, är de här dimensionerna till det vinnande konceptet, Vågade spetsen.

För att kunna göra representativa CAD-modeller på de befintliga produkterna som projektet har valt att bygga arbetet på, har produkterna noggrant granskats samt skärts upp. För förståelsen av hur brott ser ut och vart spänningskoncentrationerna är belägna utfördes slagtester som analyserades noggrant. Resultatet från slagtesterna stämde överens med vart spänningarna hade pekats ut från FE-analyserna. De mest utsatta ställena var vid metallspetsens midja inne i ingjutningsdelen samt vid infästningen, vilket var gemensamt för de båda stavspetsarna.

Syftet med arbetet var att med hjälp av teoretisk och praktisk förståelse komma fram till hur och varför spetsen går sönder i dagsläget, samt analysera nötningen som sker vid spetsen vid upprepad stakning mot asfalt. Samt att utifrån resultaten presentera en stavspets som klarar av sportens påfrestningar bättre vid slutet av projektet. Om den Vågade stavspetsen skulle framställas i samma material som de befintliga produkterna Swix och SkiGo med hänsyn tagen till arbetets avgränsningar skulle det framtagna konceptet prestera bättre. Maxspänningarna som uppstår i Vågad spets vid last lagd framifrån på mitten-området ligger på 47 [MPa]. Vid jämförelse med det bästa spännings-resultatet hos de befintliga produkterna Swix och SkiGo är det en minskning med 66 [MPa] vilket även står för en 60 procentig minskning i spänningar.

Projektgruppen ger även rekommendationer att tillverka holken i samma material som SkiGo Pro Carbon's holk är tillverkad av. Vid slagtesterna framgick det att plasten hos SkiGo var mycket bättre än Swix då Swix holk hann gå sönder innan spetsen gjorde. Om holken är tillverkad med en starkare plast medför det att risken för att spetsen rycks av/trillar av sin infästning i holken minskar. Det är p.g.a. att glapp i infästningen minskar som skapas när metallspetsen utsätts för slag och andra påfrestningar i holken.

Tyvärr har inget större utvecklingsområde skett med att minska slitningen på stavspetsen då arbetet mer har skapat grunden för utvecklingspotential för materialvalet. Från gjorda materialtester togs det fram vad projektets valda produkter har för grundmaterial. En förståelse för materialets egenskaper skapades vilket även har medfört en större insikt för varför brotten beter sig som de gör.

Materialet som de båda stavspetsarna var tillverkade av är *Volframkarbid* vilket är ett väldigt hårt material som klarar stora kompressionskrafter bra. Men vid utsättning av annan kraft tar materialet vika och brott sker direkt utan någon utmattningsprocess då materialet är väldigt sprött. Eftersom både Swix och SkiGo är framställda av samma grundmaterial är slagtesternas utfall oberoende av materialvalet. De båda stavspetsarna har samma förutsättningar ur materialsynpunkt.

Från de mikroskopiska analyserna verifierades det att det inte finns någon ytbehandling som kan ge extra styrka åt materialet som många åkare antog. Det man även fick se från mikroskopen var att det fanns något grundämne i materialet som inte hade en jämn spridning i spetsarna. Intensiteten på detta ämne fanns längst ut på tippen på SkiGo Pro's metallspets medan det var något jämnare utspritt hos Swix. Det här kan vara en förklaring till hårdhetstesternas utfall av att hårdheten ökar desto närmre man kommer till stavspetsens tipp. Detta kan även ge en förklaring kring varför stavspetsen inte lika lätt nöts ut i början av användningen men att efter ett antal slitningar medför ett mer kontinuerligt slipande, vilket är vad åkare har kommenterat under marknadsundersökningen. Utifrån den homogena ytan vid brottet, som bekräftades under den mikroskopiska granskningen, och med hänsyn taget till brottets uppkomst antogs det att stavspetsarna är sintrade och tillverkade via pulvermetallurgi.

En verifiering av det befintliga materialet har gjorts för att i senare fall vid fortsatt arbete med detta område veta vad det är för materialegenskaper hos produkterna.

6.2. Trovärdighetsanalys

Om det bara ses till resultaten till det vinnande konceptet, Vågad spets, skulle det betraktas som ett trovärdigt slutkoncept på grund av de värden som konceptet stöds av. Men om hela projektet utvärderas i sin helhet och olika delar diskuteras finns det en del brister i projektet.

I marknadsundersökningen var det 84 stycken som svarade på enkäterna från två olika sociala medier grupper med rullskidåkare och ett fåtal från ÅF som arbetet utfördes på. För att få ett bättre utfall som representerade majoriteten av rullskidsåkare hade en större svarssekvens krävts. Det skulle ha varit bättre om enkäten hade lagts upp i ännu en grupp med aktiva åkare för att få in fler svar. Eftersom ett av de sociala medier grupperna som enkäten lades upp i var förankrade med en klubb borde användning av märke tas med en nypa salt. Klubben kan mycket väl ha ett avtal med ett företag för att få förmåner vid inköp av vissa produkter, vilket i sin tur kan påverka resultatet på den vanligaste stavspetsen som används.

Slagtesterna var väldigt förenklade mot verkligheten för att dem skulle kunna utföras och hanteras. Frågan är om dem följde verkligheten tillräckligt bra. En kunnig och insatt åkare borde ha kontrollerat utslagen för att bekräfta om resultaten kunde representera verklighetens fall. Om slagtesterna inte var verklighetstroga, få hjälp av personen att utforma mer anpassade tester.

Från utvärdering av krafter och intervjuer med erfarna åkare upptäcktes det att en noggrann analys av krafter vid brott som spetsen upplever är ett eget projekt i sig. Beslutet blev att acceptera de utförda slagtesterna som egentligen borde analyseras mer och bättre. Mängden utförda slagtester borde ha varit fler för respektive märke för att vara säkra på att det inte var ett avvikande resultat. Endast ett eller två tester utfördes för varje lastfall för respektive märke vilket inte är ett resultat av hög tillförlitlighet.

Vickers-testerna som togs för att mäta hårdheten hos materialet i spetsarna är värden som borde undersökas och tas igen med större noggrannhet och helst med en annan maskin som tar testerna autonomt. Maskinen som användes kunde bara utgå sina beräkningar från manuellt uppmätta värden som var mycket svåra att ta med hög precision. Värdena går inte att fullständigt lita på fastän det togs 4 - 5 värden i respektive område för att få ett medelvärde. Värdena skilde sig allt för mycket ifrån varandra för att ett representativt värde kunde tas. Fler värden i varje område borde ha tagits, det enda som kunde antas var att det faktiskt var ett väldigt hårt material som metallspetsarna var tillverkade av.

Utifrån de mikroskopiska analyserna bekräftades det att det fanns en ojämn spridning av ett ämne i materialet. Det relaterades till hårdhetstestet där hårdheten ökade vid närmandet av spetsens tipp. Dock finns det inget som styrker det påståendet vilket är ett hypotetiskt uttalande.

Vid framtagning av spänningsvärden har det funnits en hel del osäkerheter om det dokumenterade värdet är ett felvärde som går att jämföras med andra värden. Vid ansatt kraft framifrån vid tippet uppstår det stora spänningar längst ner i spetsen. Eftersom den har väldigt små dimensioner där har dessa värden betraktats som felvärden. För att kunna veta om det faktiskt är ett felvärde så skall samma sorts analys upprepas ett antal gånger med förminskad mesh för att kunna se om värdena konverterar. Värdena som inte gör det är ett tecken på felvärden. På grund av bristande tid har inte helt korrekta analyser gjorts för att kunna anta något felvärde. Detta medför en viss osäkerhet på om rätt värden jämförts för att därefter dra en korrekt slutsats om vilka koncept som har bättre spänningar än andra.

Beräkningarna som utfördes i projektet är väldigt grova. Parametrarna e och t som valdes ut efter en utvärdering av projektgruppen. Värdena hade inte utgått ifrån några tester eller ingående analyser. Krafterna som uppstod vid stöt gick därför inte att lita på i arbetet, de har mer varit en referens för att skapa en förståelse hos projektgruppen.

För att få konkreta resultat borde det införskaffas högupplösta kameror som tar väldigt många bilder i sekunden för att kunna mäta tiden som spetsen är i kontakt med stötytan vid

stöttillfället. På så sätt kan man använda formeln för att räkna fram en godtyckligt korrekt kraft.

Commented [CWN49]: Beräkning

6.3. Erfarenhet

Vid reflektion över arbetet som har gjorts och vad projektgruppen har genomgått har stor erfarenhet erfarit. En stor ambition att ta fram en revolutionerande stavspets har funnits igenom hela arbetets gång. Men vid uppstart av projektet insågs bristande resurser och förstudier för att kunna kicka igång det faktiska arbetet direkt. En mängd avgränsningar togs för att kunna göra arbetet utförbart vilket har varit svårt men nödvändigt. Projektet som presenterades till en början var alldeles för omfattande där en precisering hade uppskattats. Arbetet har stått på egna ben igenom hela arbetsgången och mycket grundarbete har utförts vilket har skapat en lång process innan konceptgenereringen kom igång. Men det har varit ett väldigt roligt och givande projekt som har fört med sig stor kunskap inom inte bara sporten rullskidor utan också framtagning av ett slutresultat.

6.4. Framtida arbete

Arbetet som har utförts är en grund för framtida arbeten med stavspetsar. Fler efterforskningar krävs för att kunna ta fram en perfekt stavspets som klarar av olika påfrestningar under olika situationer.

För att kunna ta fram en revolutionerande produkt behöver materialet arbetas vidare med. I detta arbete har det varit mer fokus på konstruktionen och verifiering av materialet. Nästa steg vore nog att titta extra på vad som kan göras för slags förbättringar inom material-området. Under materialtesterna sågs ingen ytbehandling, så där finns det möjligheter till att öka hållfastheten och minska slitaget med en pålagd yta som medför extra skydd. Kanske en ytbehandling som åkare själv kan applicera efter varje slipning?

För att kunna ta fram en stavspets som är aktuell för olika situationer bör framtida arbeten titta på andra lastfall och förutsättningar än de som har arbetats med i detta projekt.

Många av de framtagna koncepten har stor potential till att utvecklas så att spänningarna minskas ännu mer. Dock är det små geometrier som behöver arbetas med för att få ned vissa spänningskoncentrationer. Ett fortsatt arbete med koncepten kan medföra ännu bättre resultat.

Ett annat framtida arbete skulle vara att kolla mer på slipnings vinklar och där med också spetsens exponerade vinklar för att kunna få fram om det finns något optimalt sätt att slipa spetsarna på för att minska slitningen.

Till sist rekommenderas för framtida arbeten inom rullskidåkning är att arbeta med det under säsongstider. Det underlättar en hel del genom att få kontakt med åkare som är aktiva i sin rullskidåkning då även relevant fakta och uppdateringar kan fås smidigare.

REFERENSER

Referenslistan sorteras i bokstavsordning efter författarnas efternamn.

Litteratur, tidsskrifter och websidor

Bergh U., Forsberg A. (1992). *Influence of body mass on cross-country ski racing performance*. Medicine and science in sports and exercise. 24(9):1033-1039.

Grahn, Ragnar och Jansson, Per-Åke. (2013). *Mekanik - statik och dynamik*. 3.e Uppl. Poland: Elanders Poland.

Materials.co.uk (u.å.). *Vickers hardness tester*. Materials.co.uk.
<http://www.ub.umu.se/skriva/skriva-referenser/referenser-harvard>, [2017-06-15]

Millet G., Hoffman M.D., Candau R.B., Clifford P.S. (1998). *Poling forces during roller skiing: effects of technique and speed*. Medicine and science in sports and experience, 30(11):1645-1653.

Nilsson J., Tinmark F., Halvorsen K., Arndt A. (2013). *Kinematic, kinetic and electromyographic adaption to speed and resistance in double poling cross country skiing*. European journal of applied physiology, 113(6):1385-1394.

Nilsson, Mattias (2016). *En böjd stavdesigns påverkan på stakfasens egenskaper*. Kandidatuppsats. Högskolan Dalarna/Idrotts- och hälsovetenskap.

Olsson, Daniel (2016). *Vikten på stavspetsen påverkar dess rörelsebana vid dubbelsaktning på rullskidor*. Kandidatuppsats. Högskolan Dalarna/Idrott- och hälsovetenskap.

Proskida (u.å.). *Taking Cross Country Skiing To The Next Level*. Proskida.
<http://www.proskida.com/aboutus/>, [2017-03-11].

SERC (2017). *X-ray Power Diffraction (XRD)*.
https://serc.carleton.edu/research_education/geochemsheets/techniques/XRD.html, [2017-06-15]

Staffanstaven (u.å.). *Staffanstaven – För snölik och skonsam rullskidåkning*. Larsson, Staffan och Winroth, Gunnar. <http://www.staffanstaven.com/sv/hem.htm>, [2017-03-10].

Street G.M. (1992). *Technological advances in cross-country ski equipment*. Medicine and science in sports and exercise. 24(9):1048-1054.

Stöggl T., Enqvist J., Müller E., Holmberg H.C. (2010). *Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing*. Journal of sports science. 28(2):161-169.

Stöggl T., Karlöf L. (2013). *Mechanical behaviour of cross-country ski racing poles during double poling*. Sports biomechanics. 12(4):365-380.

Stöggl T., Muller E., Lindinger S. (2008). *Biomechanical comparison of the doublepush technique and the conventional skate skiing technique in cross-country sprint skiing*. Journal of sports sciences. 26(1):1225-1233.

Wikipedia (2016). *Elektromyografi*. <https://sv.wikipedia.org/wiki/Elektromyografi>, [2017-06-03]

Illustrationer

Clarke D.M. (1988). *Vickers Hardness Test of Case Hardened Steel*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Case_hardened_steel-vickers_hardness_test.png. Modifierad av Wong Nylander C., [2017-06-15]

Hydrargyrum (2011). *Bragg diffraction 2*. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bragg_diffraction_2.svg, Modifierad av Wong Nylander C., [2017-06-15]

Commented [JW50]: Ska det vara Stöggle? Eller Stöggl?

BILAGA A – MARKNADSUNDERSÖKNINGSFORMULÄR

Stavspets för rullskidåkning

En enkät som undersöker stavspetsens uthållighet där vi frågar om slitage och om dig som rullskidåkare.

Enkäten har 17 frågor och tar ungefär 5 minuter att svara på samtliga frågor.

Utgå från en sort stav och stavspets som du använder under din träning när du svarar på följande frågor.

Vi tackar på förhand att ni hjälper oss att få en bra grund att stå på för att kunna utföra ett exemplariskt examensarbete där vi skall försöka förbättra den befintliga stavspetsen! Tack.

*Obligatorisk

1. Kön

- ☐ Kvinna
- ☐ Man
- ☐ Annat

2. Vikt

- ☐ 40-50 kg
- ☐ 50-60 kg
- ☐ 60-70 kg
- ☐ 70-80 kg
- ☐ 80-90 kg
- ☐ 90-100 kg
- ☐ 100+ kg
- ☐ Övrigt: _____

3. Hur länge har ni åkt rullskidor?

- ☐ 0-1 år
- ☐ 2-3 år
- ☐ 3-5 år
- ☐ 5-7 år
- ☐ 7-10 år
- ☐ 10+ år

4. Vilken nivå anser ni vara på?

	1	2	3	4	5	6	
Nybjörjare	☐	☐	☐	☐	☐	☐	Elit

5. Deltar ni i tävlingar i rullskidåkning/skidåkning?

- ☐ Ja
☐ Nej

6. Vilket underlag åker ni mest på?

- ☐ Asfalt
☐ Grus
☐ Övrigt: _____

7. Hur lång är er genomsnittliga träningssträcka på? (km)

Ditt svar _____

8. Vilket märke på stavarna använder ni?

- ☐ One Way
☐ Skigo
☐ Swix
☐ Övrigt: _____

9. Vilket märke på stavspetsen använder ni?

- ☐ Exel
☐ One Way
☐ Skigo
☐ Swenor
☐ Swix
☐ Övrigt: _____

10.1. Finns det någon slags dämpning i skidstaven?

- ☐ Ja
☐ Nej

10.2. Om ja, vart sitter dämpningen någonstans?

Ditt svar _____

11.1. Hur ofta slipar ni spetsen?

- ☐ a. Har aldrig slipat
☐ b. Efter ett/flera träningspass
☐ c. En/flera gånger under ett träningspass

11.2. Svarat b i frågan 11.1. Efter hur många träningspass?

- ☐ 1 pass
☐ 2 pass
☐ 3 pass
☐ 4 pass
☐ 5 pass
☐ Övrigt: _____

11.3. Svarat c i frågan 11.1. Hur många gånger under ett träningspass?

- ☐ 1 ggn
☐ 2 ggr
☐ 3 ggr
☐ 4 ggr
☐ 5 ggr
☐ Övrigt: _____

12. Hur stort är besväret att behöva slipa stavspetsen så ofta som ni gör? *

	1	2	3	4	
Inte alls besvärligt	☐	☐	☐	☐	Väldigt besvärligt

13. Vilket slipverktyg använder ni?

- ☐ Vanlig fil
- ☐ Diamantfil/bryne
- ☐ Maskinslip
- ☐ Trumslip diamant
- ☐ Övrigt: _____

14. Efter hur många träningspass byter ni ut stavspetsen mot en ny, med endast hänsyn till slitage (ej brott)?

Ditt svar _____

15. Vad är den vanligaste orsaken till byte av stavspets?

- ☐ Slitage
- ☐ Brott
- ☐ Övrigt: _____

16. Finns det något hos eran stavspets som ni vill förbättra?

Ditt svar _____

17. Om du kan tänka dig svara på framtida frågor och bli kontaktad av oss lämna gärna din email-adress nedan.

Ditt svar _____

SKICKA

BILAGA B – MATLAB KOD

```
% Varierande stötkoefficient och stöttid för medelkraft vid stöt %
clc; clear all; clf;

% Stavlängd och hastighet %
l=1.6; v=50/3.6;

% varierande stötkoefficient och stöttid %
e=linspace(0.2,1,17);
t=linspace(0.01,0.1,10);

kgm=70/1000;           %kilogram/meter, stavens specifika massa/längdenhet.
mst=1.*kgm;           %stavens massa

A=zeros(length(t),length(e));   %Skapas matris som Krafter sparas i.

% Impulslagen för rätlinjig rörelse och konstant kraft %
f=@(e,t) (mst.*v.*(1+e))./t;

for i=1:length(t)
    for j=1:length(e)
        F=f(e(j),t(i));
        A(i,j)=F;
    end
end

figure(1)
hold on, grid on, grid minor
xlabel('stötkoefficient e'), ylabel('Medelkraft som verkar vid stöt [N]')
for i=1:length(t)
    plot(e,A(i,:))
end

figure(2)
hold on, grid on, grid minor
xlabel('Stöttiden t [s]'), ylabel('Medelkraft som verkar vid stöt [N]')
for i=1:length(e)
    plot(t,A(:,i))
end

% Plangenerering där man ser stötkraft beroende på stavlängd och hastighet
[E,T]=meshgrid(e,t);

figure(3)
surf(E,T,A)
xlabel('stötkoefficienten e'),ylabel('stöttid [s]'),zlabel('Stötkraft [N]')
```

BILAGA C – VICKERS HÅRDHETS TESTER

Hårdhets test - SkiGo Pro Carbon			
Område	D1	D2	HV
1	44,1	54,3	1532
	38,7	30,4	3108
	51,2	42,7	1682
	34,4	29,6	3621
	33	31,2	3599
2	43,1	42,8	2010
	33,7	35,7	3080
	47,5	55,6	1395
	45,9	46	1756
3	40,8	42	2163
	43,3	44	1946
	49,6	51,3	1457
	36,3	39,1	2568
	40,9	39,7	2283
4	43,2	43,2	1987
	51,7	53,6	1337
	40,4	40,8	2249
	42,7	43,9	1978

Hårdhets tester - Swix Roller Ski Ferrules				
Område	Test	D1	D2	HV
1	-	-	-	-
2	1	21,8	17,6	4778
	2	42,9	24,6	3256
	3	24,9	30,1	4904
	4	*42,6	*45,5	*1911
3	1	36,6	36,7	1380
	2	30,7	15,2	3520
	3	*30,5	*39,4	*1518
	4	*41,8	*31,8	*1369
	5	*25	*42,9	*1608
4	1	34	36,2	1505
	2	*32,9	*27	*2067
	3	36,3	39,7	1284
	4	36	30,1	1697

BILAGA D – XRD DOKUMENT

Pattern: PDF 00-051-0939 Radiation: 2,28970 Quality: Star (*)

Formula W C		d	2θ	I fix	h	k	l
Name Tungsten Carbide		2,83677	47,604	48	0	0	1
Name (mineral) Qusongite, syn		2,51696	54,111	100	1	0	0
Name		1,88290	74,894	83	1	0	1
(common)		1,45313	103,970	14	1	1	0
		1,41895	107,575	4	0	0	2
		1,29339	124,541	16	1	1	1
		1,25850	130,926	7	2	0	0
Lattice: Hexagonal		1,23603	135,710	14	1	0	2
S.G.: P-6m2 (187)		1,15041	168,729	10	2	0	1
a = 2,90631 alpha =							
b = beta =							
c = 2,83754 gamma							
a/b = 1,00000 =							
c/b = 0,97634 Z = 1							
Additional Patterns: See PDF 01-072-0097 and 01-073-0471. To replace 00-025-1047							
Analysis: Chemical analysis (wt %): "C" 6.153, "V" 0.08, "Ca" <0.01							
Color: Black							
Melting Point: 3098 K							
Physical property: Tc=10 K							
Sample Source or Locality: Commercial source - Cersac (T-1173).							
Described as a mineral from Mengyin, Shandong and Danba, Sichuan, China. Zianhong, Z., Guojie, Y., Zhao, L., Acta Mineral. Sinica, 6 344-349 (1986)							
Primary Reference							
Publication: ICDD Grant-in-Aid							
Authors: Mayo, W., H&M Analytical Services, Inc., Allentown, NJ, USA.							
Radiation: CuKα1							
Wavelength 2,28970							
Filter: F							
d-spacing:							
SS/FOM: 333,3 (0,003;14)							

BILAGA E – RITNING AV VÅGAD SPETS

