



**CHALMERS**  
UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

# **Nya materialsammansättningar av kolfiber och glasfiber i hoppstavar för stavhopp**

Examensarbete i kemi

Tove Olsson

## **Förord**

Mitt största intresse i livet har alltid varit sport och tävling. När jag fick ett mejl om att det fanns kandidatarbeten inom sport och teknologi på Chalmers tekniska högskola visste jag direkt att det var inom detta område jag ville göra mitt examensarbete. Jag tog kontakt med Peter Eriksson som stod som ansvarig och han föreslog att jag skulle söka det arbete som rörde stavhopp och utveckling av hoppstavar. Från början var det tänkt som ett kandidatarbete men det gjordes om till ett examensarbete så att jag skulle kunna göra det. Det är tack vare Peter Eriksson som jag fick möjligheten att göra det här arbetet som mitt examensarbete.

Jag vill därför tacka Peter Eriksson och alla på sports and technology för att de ha varit så positiva, hjälpsamma och entusiastiska.

Under starten av arbetet hölls ett möte där bland annat företaget Nordic sport medverkade. De är ett företag som konstruerar och säljer sportredskap och hjälpmedel, och de tillverkar redskap för bland annat friidrott och i synnerlighet spjut och hoppstavar.

Jag vill verkligen tacka Nordic sport för all hjälp, den har betytt mycket. Ni har svarat på alla mina frågor och ordnat två givande studiebesök på inomhus-SM i Göteborg som ägde rum i slutet på februari och framförallt i Arvidsjaur 9-10 juni 2014 där stavproduktionen sker. Jag vill speciellt tacka Lars Forsberg som visade mig runt i både Skellefteå och Arvidsjaur och som har varit till mycket stor hjälp.

Tack till svenska friidrottsförbundet som medverkade på ett seminarium den 9 maj 2014 där jag fick träffa stavhoppare och diskutera mina tankar och idéer och dessutom höra deras syn och önskemål på hoppstavar.

Till sist vill jag också tacka Gunnar Westman som jobbar inom sports and technology och på institutionen för kemi och bioteknik på Chalmers som har varit min handledare genom det här arbetet.

Det har varit ett mycket intressant arbete och jag är väldigt glad att jag fick göra något som har att göra med det jag brinner för, nämligen sport, och hela arbetet har varit givande och gett mig många bra erfarenheter.

Göteborg, Juni 2014

Tove Olsson

## Sammanfattning

Arbetet startades på grund av att Chalmers och ett svenskt företag som heter Nordic Sport ville utveckla och förnya stavar som används till stavhopp. Ett möte som ägde rum 21 februari startade det hela. Inledningsvis gjordes ett besök till en friidrottstävling i Göteborg och därefter genomfördes litteraturstudier på Chalmers, ett seminarium där bland annat svenska friidrottsförbundet medverkade och slutligen ett studiebesök hos Nordic Sport i Arvidsjaur.

Syftet med arbetet var att undersöka och utveckla hoppstavarna inom stavhopp med hjälp av nya materialblandningar och sammansättningar av kolfiber och glasfiber. Och den första frågan som ställdes och startade hela arbetet var; går det att förbättra stavarna med hjälp av andra sammansättningar och blandningar av kolfiber och glasfiber?

Hoppstavar idag består av glasfiber eller också av både glasfiber och kolfiber. Från början bestod hoppstavar av trä och var långa och oböjliga. Stavhopp utövades också på längden. 1850 hölls den första stavhoppstävlingen på höjden. Olika material och tekniker har används inom stavhopp. Stavmaterialen har gått från trä till bambu fram till det som stavarna består av idag glasfiber eller både glasfiber och kolfiber.

Viktiga parametrar när det gäller material och stavar är bland annat elasticitet, styvhet och styrka. E-modul, sträckgräns och draghållfasthet är parametrar som avslöjar dessa egenskaper hos ett material. E-modul avslöjar hur styvt eller elastiskt ett material är. De har förhållandet att draghållfastheten genom sträckgränsen (töjningen) ger ett materials E-modul,  $E = \sigma / \epsilon$ , där  $\sigma$  är spänningen i staven och  $\epsilon$  dess töjning.

Materialen som används i hoppstavar är glasfiber och kolfiber. Det finns olika typer av glasfiber och kolfiber och dessa delas in i olika grupper med olika egenskaper. De egenskaperna som skiljer de olika typerna från varandra är bland annat E-modul, styvhet, sträckgräns och densitet.

Hoppstavar idag består alltså av glasfiber eller kolfiber och glasfiber. När en stav konstrueras delas de olika momenten in i tre delar. Den första delen som utgör staven kallas first layer (första lagret), den andra delen kallas body piece och den tredje delen som läggs på är ett så kallat segel.



Alla tre delar har olika funktioner. Olika företag gör dessa delar på lite olika sätt men det är detaljer som skiljer sig åt. Alla stavar har dessa delar oavsett vilket företag som gör hoppstavarna.

S-glas och E-glas är de glasfiber material som skall användas på grund av att de är de glasfiber som har bäst lämpade egenskaper. Kolfiber bör vara en med hög sträckgräns (ca 2 %) men som också är stark. Tar man en kolfiber eller glasfiber med för hög E-modul blir staven för styv och brott sker vid böjning eller också kan utövaren inte böja staven. Många idéer och tankar har väckts under arbetet om förbättringar och hur sammansättningar av kolfiber och glasfiber kan se ut. Även många frågor har uppkommit.

## Innehållsförteckning

Inledning.....	1
Syfte och frågeställning .....	2
Teori och bakgrund .....	3
Stavhoppets historia.....	3
Elasticitetsmodul (E-modul) .....	5
Material .....	6
Glasfiber .....	6
Kolfiber .....	7
Stavhoppskonstruktion .....	9
Metod.....	14
Resultat.....	16
Diskussion om förbättringar och utveckling.....	18
Fortsättning och rekommendationer .....	20
Källor.....	21
Bilagor.....	23

## Inledning

Sports and technology är en relativt ny verksamhet på Chalmers Tekniska Högskola. Meningen med deras arbete är att samarbeta med olika sportförbund i Sverige för att utveckla och förnya olika idrotter och idrottsredskap. I nuläget är de friidrott, simning, segling, innebandy, ridning och fotboll som Sports and Technology jobbar med. De har ett nära samarbete med svenska friidrottsförbundet med syfte att utveckla friidrotten på olika sätt och att driva olika friidrottsgrenar framåt med hjälp av teknologi och nya förbättrade redskap som underlättar moment för utövarna inom de olika grenarna.

En friidrottsgren vars redskap inte har utvecklats eller förnyats på många år är stavhopp. Hoppare vill hela tiden nå högre höjder och för att få detta att ske kan lösningen vara att ta fram en mer effektiv stav. Dagens stavar består av kolfiber och glasfiber. Stavarna är inte helt optimala och det finns vissa brister och problem som kan förbättras och lösas. Kan man ta fram en stav som är ännu bättre och effektiv än dagens stavar kan nya möjligheter öppna sig inom stavhopp. Det finns intresse hos utövarna att få fram bättre stavar men också hos tillverkarna av hoppstavar. Tillverkarna vill ha så bra och effektiva stavar som möjligt för att bli konkurrenskraftiga på marknaden [1].

Det är inte många i världen som tillverkar stavar, det är tre företag som är de största och som konkurrerar med varandra i dagens läge. De är företagen Nordic Sport, USC Spirit och Gill Athletics. Dessa tre företag är de som dominerar på marknaden. Alla tre företag gör i princip på samma sätt när de konstruerar en stav. De skiljer sig lite i konstruktion och material och de försöker hålla detaljer så hemliga som möjligt för att undvika att konkurrenterna kan kopiera. Om en bättre stav tas fram än vad som finns på marknaden idag innebär det att företaget som tar fram denna stav blir mycket konkurrentkraftigt och kunderna, alltså hopparna, kommer att välja den stav som gör att hoppen blir högre för att kunna konkurrera och hoppa högst [1].

Problemet idag är att materialet som används i hoppstavar måste köpas in i stora volymer vilket inte gynnar företagen ekonomiskt, då de måste köpa stora volymer material bara för att utveckla nya konstruktioner och sammansättningar som kanske inte fungerar. Detta är inte hållbart för företagen. Därför behövs en studie och undersökning om hur dagens stavar kan utvecklas [1].

Detta arbete som påbörjar en undersökning om hoppstavar görs av intresse för Chalmers, svenska friidrottsförbundet och företaget Nordic sport där allas mål och intresse är att få bättre kunskaper om hoppstavar och utveckla de stavar som finns på marknaden idag.

Idag används antingen glasfiberstavar eller så används stavar som innehåller både kolfiber och glasfiber. Det är de sistnämnda stavarna som ligger grund för detta arbete och som är av störst intresse men viktigt att förstå och ta lärdom av glasfiberstavar och deras positiva egenskaper [1][2].

Arbetet går ut på att få kunskap om stavar och utveckla hoppstavar och förbättra dem genom att använda samma material som används i stavar idag alltså med hjälp av kolfiber och glasfiber men på andra sätt och med andra sammansättningar. Förhoppningarna är att hitta bättre sätt att använda materialerna på och att utvärdera vilka sammansättningar av kolfiber och

glasfiber som är bäst lämpade för att få önskvärda och förbättrade egenskaper hos hoppstavar. Detta arbete är det första som görs inom ämnet på Chalmers och förhoppningarna är att det skall tas vid och att det skall göras fler arbeten med detta som grund.

### **Syfte och frågeställning**

Syftet är att utveckla hoppstavarna inom stavhopp med hjälp av nya materialblandningar och sammansättningar av kolfiber och glasfiber.

Går det att förbättra stavarna med hjälp av andra sammansättningar och blandningar av kolfiber och glasfiber?

## Teori och bakgrund

### Stavhoppets historia

Från allra första början var inte stavhopp en sport utan man använde sig utav en stav eller pinne för att komma över vattendrag där det inte fanns någon bro [3]. Det utvecklades sedan till en sport som människor tävlade i. Stavhopp utövades då på längden och utövaren skulle hoppa så långt som möjligt med hjälp av en stav. Staven bestod av trä och utövaren skulle alltså ta sig så långt som möjligt med hjälp av denna trästav. Stavhoppet förändrades med tiden och denna tävlingsform försvann.

Människor har praktiserat den typ av stavhopp som sker på höjden, när den tävlande hoppar över ribban, sedan mitten av 1800-talet. Första kända tävlingen hölls år 1843 och 1850 började moderna tävlingar inom stavhopp hållas [2]. År 1850 när tävlingar inom denna friidrottsgren började anordnas användes träbalkar bestående av lövträ som stavar. Dessa trästavar var inte elastiska och de kunde inte böjas. Utövarna använde sig utav en klättermetod där man sprang med trästaven i händerna fram till hoppgropen som var placerad framför mattan, staven sattes i gropen och efter staven placerats i gropen klättrade utövaren upp på staven för att sedan hoppa över ribban. Runt år 1890 (1889) övergavs ”klättermetoden” och den så kallade ”swing-upmetoden” fick genomslag [2]. Med den nya tekniken behövdes andra typer av stavar som kunde töjas tillräckligt för att hopparna skulle klara av att utföra den nya hoppmetoden. Swing-up innebär att utövaren ”svingar” sig över ribban med benen först vilket medför att staven måste kunna böjas och sedan rätas upp, så att den tävlande kommer upp i luften och sedan över ribban [2] (se foton nedan).



*Foton från inomhus-SM i Göteborg 2014, fotograf Tove Olsson*

Det ställdes nya och mer avancerade krav på vad hoppstavarna skulle klara med den nya tekniken. Stavar gjorda av bambu blev lösningen på stavfrågan. Bambu är ett samlingsnamn för olika grässorter. Bambu är ett material bestående av växtfibrer (cellulosa) och stammen hos bambu har elastiska egenskaper. Bambu är starkt, lätt och töjligt och kan användas till många olika saker och ett av användningsområdena blev hoppstavar (se bilder på bambu nedan). Bambustammar klarar tryck och belastning till viss del utan att brott sker vilket gjorde att de passade bra som stavmaterial. Fram till ca 1950 hoppade stavhoppare på stavar gjorda utav bambu och sporten växte och blev en av de stora friidrottsgrenarna [2].



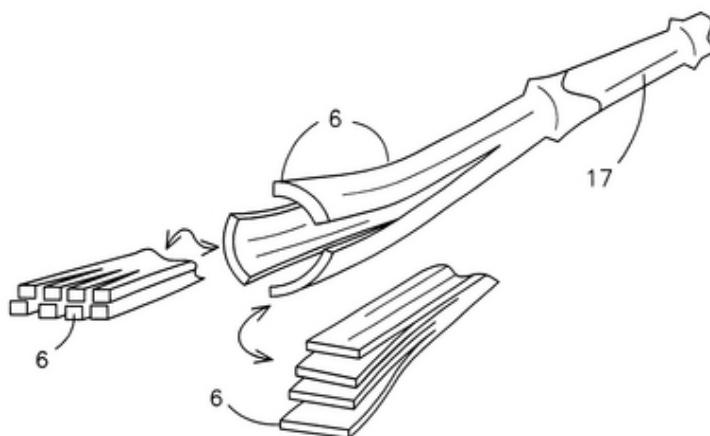
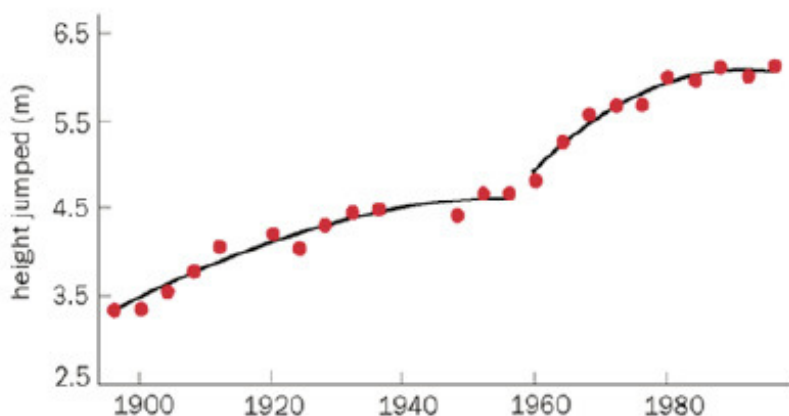


Bild 1 (höger) visar hur bambu ser ut och bild 2 (vänster) visar hur bambu är uppbyggt [16][17].

Efter bambustavar var det en kort period där stål och aluminiumstavar användes, men de stavar gjorde ingen succé och den stora förändringen och utvecklingen inom stavhopp kom 1956 när kolfiberstavar och glasfiberstavar presenterades. Stavhopp med stavar gjorda av kolfiber och glasfiber har alltså pågått sedan 1950-talet så det stavhopp som praktiseras idag har ca 50 år utan vidare utveckling när det gäller material, materialblandning och konstruktion på stavarna [1][2].

Det finns inga regler inom stavhopp på hur staven skall vara utformad. Det betyder att alla metoder och tillverkningar är tillåtna [1].

Kolfiber och glasfiber som material i stavar gjorde att hoppen blev högre och sporten utvecklades (se bild nedan). De sattes nya världsrekord med dessa typer av stavar och hoppare kom generellt högre på kol- och glasfiberstavar än vad som presterades med bambustavar och andra typer av stavar [2].



Bilden visar de olika höjderna av de vinnande hoppen i stavhopp vid olympiska spel från 1900-2000 [2].

## Elasticitetsmodul (E-modul)

Alla material är mer eller mindre elastiska, kan även vända på det och säga att alla material är mer eller mindre styva. Tar man gummi som exempel så är det ett väldigt elastiskt material som dras ut (töjs) mycket vid belastning. Jämför man gummi med stål ser man att stål är mycket mindre elastiskt alltså är ett mer styvt material. Utsätter man stål och gummi för samma typ av belastning så kommer gummi töjas ut mycket mer än vad stålet gör tills det uppnår brott eller att belastningen tas bort och de kan återgå till sin ursprungsform (om de inte blivit permanent deformerade).

I stycken ovan användes uttryck som E-modul, sträckgräns (töjbarhet/töjgräns) och draghållfasthet. Detta avsnitt kommer förklara vad de begreppen innebär.

Måttet på ett materials styvhet kallas E-modul eller elasticitetsmodul. Ett material som är mycket styvt har hög E-modul och ett material som är mer elastiskt har en lägre E-modul. Från exemplet ovan med gummi och stål förstår man att stål har hög E-modul och att gummi har låg E-modul. E-modul definieras som dragspänning ( $\sigma$ ) genom töjning ( $\epsilon$ ),  $E = \sigma/\epsilon$ . Hög E-modul innebär att ett material är styvt med väldigt låg töjbarhet, väldigt låg E-modul betyder att ett material är väldigt töjbart men inte klarar hög dragspänning alltså känsligt för drag [4][5].

Draghållfasthet även kallad dragspänning innebär att man definierar den kraft (N) som krävs för att deformera eller dra av (brott) provbiten av ett visst material. Mäter dragspänning genom att testa materialets styrka vid drag, detta genom att ta en provbit med tvärsnittsarean en kvadratmeter ( $m^2$ ) och utsätta provet för drag. Enheten på dragspänningen är pascal (Pa) [4][5].

Töjning eller sträckgräns är ett mått på hur mycket ett material kan deformeras och förändras tillfälligt under belastning. Då ett material belastas kommer den att få en viss förändring och detta kallas töjning. Desto mer förändring/böjning materialet får under belastningen utan att deformeras permanent desto högre blir töjbarheten/sträckgränsen ( $\epsilon$ ) [4]. Ett material har uppnått sin sträckgräns när det blir permanent deformerat alltså inte kan återgå till sin ursprungliga form utan har deformerats (ändrats) permanent och får en ny form. Sträckgräns är de samma som töjbarhet och töjningsgräns. Sträckgräns är viktigt för ett material som deformeras permanent och får en ny form kan få andra egenskaper än vad den ursprungliga formen på materialet hade [4][5].

Ett material som klarar hög dragspänning och har låg töjbarhet får en hög E-modul och det innebär att materialet är styvt. Ett material som har rätt hög draghållfasthet och hög töjbarhet får relativt låg E-modul detta tyder på att materialet är mer elastiskt än styvt. Ett material som har låg draghållfasthet med kan töjas mycket får en mycket låg E-modul och det materialet är det väldigt mjukt och rörligt.

Det är även viktigt att känna till begreppet brottgräns och vad det betyder. Brottgränsen är när det sker ett brott i materialet och hur mycket belastningen materialet klarar av innan brott sker. Brott innebär att materialet går sönder och bryts [5].

## Material

Det finns olika typer av kolfiber och glasfiber och alla typer har olika egenskaper. Det finns typer som är mer eller mindre elastiska, det finns sorter som är styva och väldigt spröda, några är mjuka, finns typer som har specialfunktioner som är väldigt specifika och så vidare. Vilka funktioner och egenskaper som fibern har beror på vad som används vid tillverkning och hur mycket av varje produkt [6]. Både glasfiber och kolfiber är starka och mycket användbara material som idag har stor betydelse för olika saker i samhället. Kolfiber används t.ex. för att armera andra material, bygga flygplan, vapen och olika sportredskap. Glasfiber används bland annat för att armera (förstärka) andra material och för att överföra ljus.

### Glasfiber

Glasfiber består av långa smala glastrådar som är mellan 0,001 mm och 0,1 mm. Dessa långa trådar även kallade fiber skapas genom att glas i flytande form dras ut och därefter får det svalna. Flytande glas fås genom att blanda olika produkter från stenbrott så som sand, kaolin, kalksten och kolemanit (detta är olika mineraler) med kiseldioxid vid 1600 grader Celsius. Det flytande glaset tvingas sedan in i små mikrohyllor (mikrofina bussningar/små rör) där de kyls. Det är i detta stadium det flytande glaset pressas ut till långa fibrer och kallas. När de kylts tillräckligt kommer glaset att stelna och förblir som långa smala glastrådar. De kyls snabbt för att förhindra kristallisering. Detta kallas defibrering [6].

Det finns ingen användning för ensamma glasfibertrådar så efter tillverkningen binds de ihop till en väv, matta eller något liknande. Genom att ändra innehållet i blandningen av stenbrottsprodukter (mineraler) som skall smältas ner och bilda glasfibern kan man få fram olika typer av glasfiber med olika egenskaper. Den mest kända och använda glasfibertyp är E-glas men finns även andra typer av glasfiber, t.ex. S-glas och C-glas [6][7].

E-glas är den absolut vanligaste och billigaste typen av glasfiber. Dragstyrkan för E-glas är rätt hög och ligger omkring 3400MPa och töjbarheten är hög för denna typ av glasfiber, ca 4,5 % töjgräns innan den går sönder, alltså innan brott sker. På grund av dess höga töjbarhet blir E-modulen för E-glas relativt låg. E-modulen för E-glas ligger runt 75 GPa och det visar att detta glasfibermaterial är relativt elastiskt (kan töjas till viss del utan att brott sker). Densiteten för E-glas är 2,62 kg/dm<sup>3</sup>[6][7].

S-glas är en typ av glasfiber som har bättre draghållfasthet än E-glas. Draghållfastheten ligger runt 4400 MPa, vilket är i klass med vissa kolfibrer (t.ex. HS och IM). Däremot är E-modulen lägre för S-glas än vad den är för dessa kolfibrer på grund utav att töjbarheten hos S-glas är högre. Töjbarheten ligger runt 5,5 % och detta gör då att E-modulen blir relativt låg 85 GPa. S-glas är alltså ett material med hög töjbarhet och hög draghållfasthet, materialet är rätt elastiskt vilket den låga E-modulen tyder på. S-glas har en densitet på 2,48–2,49 ≈ 2,5 kg/dm<sup>3</sup> [6][7].

C-glas används som material till produkter som behöver hög kemikalieresistens och vattenresistens. C-glas är en glasfiber med hög draghållfasthet och låg töjbarhet vilket innebär att E-modulen blir hög och det betyder att det är ett styvt material [7].

De finns även specialglasfiber och några exempel på dem är L-glas, M-glas och D-glas. Men dessa används inte i så stor utsträckning och har väldigt specifika egenskaper som används till

väldig karakteristiska produkter. De har inte samma töjlighet och elasticitet som S-glas och E-glas utan är mer styva. Som nämnts ovan så får glasfibrerna sina olika egenskaper beroende på vad som ingår i kiseldioxid och mineralblandningen [6][7].

### Kolfiber

Kolfiber är generellt styvare och lättare än glasfiber. Kolfiber har oftast högre E-modul än glasfiber vilket innebär att kolfiber är styvare och inte lika elastiskt och töjbart som glasfiber. Kolfiber är också generellt lättare än vad glasfiber är, alltså har en lägre densitet. De finns olika typer av kolfiber och de kan delas in i olika grupper; S (Standard), HS (High strength), IM (Intermediate Modulus), HM (High Modulus), UMH (Ultra High Modulus), HT (Low modulus and high-tensile) och SHT (super high-tensile) . I dessa grupper finns det olika typer av kolfiber [8].

Kolfiber har relativt låg töjgräns i jämförelse med E-glas och S-glas. Den ligger mellan 0,7-2,2 % hos olika kolfiber och är mindre än det man ser hos många glasfibersorter [7]. Töjbarheten hos kolfiber är sämre, vilket syns på de olika siffrorna för sträckgränsen, än vad den är hos glasfiber men draghållfastheten är generellt högre. Draghållfastheten för kolfiber är hög och ligger mellan 2700-6400 MPa. Att kolfiber har högre draghållfasthet men lägre töjbarhet gör att E-modulen för kolfiber är högre än för glasfiber och detta innebär att kolfiber är ett mer styvt material i jämförelse med glasfiber [7].

Kolfiber är fibrösa kolmaterial som innehåller mer än 90 % kol. Kolfiber tillverkas från organiska material genom att dessa värmebehandlas. De organiska materialen måste upphettas till 1000–15000 grader Celsius. Det finns två olika sätt att tillverka kolfiber. Det ena sättet är från organiska fiberämnen och det andra tillverknings sättet är från gasfastillväxt [9][8].

Eftersom slutprodukten kolfiber innehåller nära 100 % kol så är det möjligt att tillverka kolfiber från vilket fibröst material som helst som har en huvudkedja av kol. Men de tre förstadierna som visat sig mest effektiva och som har fått stor uppmärksamhet inom kolfiberproduktion är polyakrylnitril (PAN), beck (trögflytande vätska från organiska ämnen) och viskos [9][10]. Det är alltså ämnen med huvudkedja av kol och hög kolhalt som agerar bas och råmaterial för att tillverka kolfiber.

Nämnas kan också göra att det finns olika sätt att förbättra töjningen hos kolfiber så att materialet klarar av att töjas mer än vad det klarar i obehandlat rent tillstånd. För att få upp töjbarheten brukar kolfiber behandlas med epoxi, en härdplast, som förbättrar töjning och det gör också att kolfibern klarar högre tryck. Men obehandlade kolfibrer har lägre töjbarhet än glasfiber och är ett styvare material, vilket resulterar i att det har högre E-modul. Det finns förstås olika typerna av kolfiber och de har olika egenskaper, men generellt är kolfiber styvare, lättare och mindre elastiskt än vad glasfiber är [6].

Som nämdes tidigare så delas olika typer av kolfiber in i olika grupper beroende på dess egenskaper.

Standard heter en typ av kolfiber. Kolfiber av standardkvalité har en draghållfasthet på 3200-4000 MPa och en sträckgräns (töjbarhet) på 1,2–1,7 %. Kolfiber av standardkvalité har en densitet på ca 1,77 kg/dm<sup>3</sup>. E-modulen för standard kolfiber ligger under 265 GPa [7][10].

High Strength (HS), hög styrka, är en annan kvalitet på kolfiber men den har vissa likheter med standard. HS har precis som standardkvalitén en E-modul som ligger under 265 GPa. Draghållfastheten är däremot högre än för standard och ligger mellan 4000-5000 MPa och töjbarheten är 1,6–2,2 %. HS har en densitet på 1,80 kg/dm<sup>3</sup> vilket är lite högre än för standardkvalitén [7][10]. Hamnar på samma E-modul som S för att HS har högre draghållfasthet men också sträckgräns.

Intermediate Modulus (IM), mellanhög modul, är kolfibrer som har draghållfasthet mellan 3000-6400 MPa och en töjbarhet på 1,2–2,2 %. E-modulerna för de kolfiber som ingår i IM hamnar mellan 200-350 GPa [7][8].

High Modulus (HM) är en grupp som har låg töjbarhet. Dragspänningen ligger på 2700-5200 MPa och töjningen på 0,7-1,4 %. Detta resulterar i en hög E-modul, 320-450 GPa. Har ett material hög E-modul tyder det på att materialet är styvt och orörligt [7][8].

Ultra High Modulus (UHM) är en kolfibergrupp som innehåller kolfiber som har hög E-modul och är mycket styva. E-modulen ligger runt och över 440-450 GPa och materialet har en draghållfasthet på 3400-4900 MPa och en sträckgräns på 0,7-1,0 % [7][8].

HT (Low modulus and high-tensile) är kolfibrer med E-moduler under 100 GPa och hög draghållfasthet över 3000 MPa. E-modulens låga värde tyder på hög töjbarhet. I gruppen SHT (Super high-tensile) hamnar kolfibrer med en hög draghållfasthet över 4500 MPa [8].

Kolfiber	E-modul GPa	Draghållfasthet MPa	Sträckgräns %
S	< 250	3200-4000	1.2-1.7
HS	< 250	4000-5000	1.6-2.2%
IM	200-350	3000-6400	1.2-2.2
HM	320-450	2700-5200	0.7-1.4
UHM	>440-450	3400-4900	0.7-1.0
HT	< 100	>3000	-
SHT	-	>4500	-

Ovan förklaras de olika grupper som kolfiberkvaliteter delas in i beroende på deras egenskaper. Det finns mängder av olika kolfibrer och den absolut vanligaste kolfibern är Standard (S).

Alla kolfiber bygger på att ämnen baserade på kol görs till kolfiber, långa trådar bestående av mer än 90% kol tillverkas från ämnen som har kol som är uppbyggda av kol [9], men beroende på hur kolfibern är tillverkade och vilket material de är tillverkade från får de olika egenskaper så som töjbarhet, draghållfasthet och detta resulterar i olika E-moduler [9][10].

Även fast olika kolfiber skiljer sig i egenskaper så skiljer sig helt olika material mer ifrån varandra. Därför är det viktigt att ha kännedom om vilka olika material som finns och vad de är lämpade för. Olika typer av kolfiber och glasfiber har visat sig bäst lämpade för att bygga stavar. Nedan visas med en bild över olika material och hur de förhåller sig i jämförelse till varandra när det gäller draghållfasthet, töjbarhet och E-modul. På y-axeln är draghållfastighet och på x-axeln är brotttöjningen i procent [11].

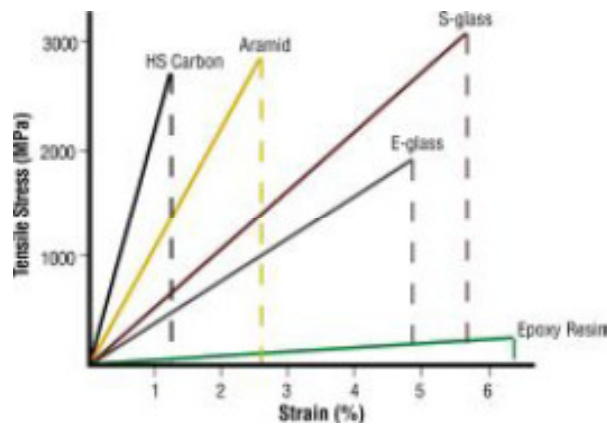


Bild som visar hur olika material förhåller sig till varandra när det gäller draghållfasthet och töjbarhet [11].

### Stavhoppskonstruktion

Energi överförs från utövare till stav och sedan tillbaka till utövaren. En stavs huvuduppgift är att fånga upp så mycket energi som möjligt från utövaren och sedan leverera tillbaka den energin. Det är inte möjligt att överföra energi utan att en del går till spillo (blir till värme) men målet är att så lite energi som möjligt skall bli till värme och så mycket som möjligt skall gå från utövare till stav och sedan tillbaka till utövare [2][11].

Den tävlande springer fram med staven i handen till hoppställningen och gropen där staven skall sättas i, i detta skede har staven lägesenergi och utövaren har rörelseenergi. När staven sätts i marken överförs hopparens energi till staven och önskemålet är att staven tar upp så mycket energi som möjligt från utövaren. När energin har förts över från hoppare till stav har staven en högre lägesenergi än tidigare, den energin skall sedan föras tillbaka till hopparen så att hopparen kommer upp i luften och över ribban. När energi skall överföras från stav till utövare önskas även lite energispill, så mycket energi som möjligt skall överföras från stav till hoppare så att den tävlande får så mycket fart och höjd som möjligt, fart och höjd påverkas av den energi som finns i systemet. De stavarna som klarar denna uppgift bäst idag är stavarna som består av glasfiber eller av både glasfiber och kolfiber[2][11].

Glasfiberstavar är lättare att böja än stavarna innehållande både glasfiber och kolfiber. Glasfiber är mer elastiskt än vad kolfiber är och därför blir stavarna som innehåller endast glasfiber mer elastiska och böjliga än blandstavar. De blandade stavarna med kolfiber och glasfiber är ofta längre stavarna eftersom kolfiber är ett lättare (har lägre densitet) och styvare material än vad glasfiber är [12]. Blandstavar görs alltså dels för att få ner vikten på staven men också för att öka styvheten och stabiliteten. En hoppare som väger mer och är lite längre har ofta svårigheter med mjuka stavarna eftersom de blir för lätt för utövaren att böja staven och staven orkar sedan inte skjuta tillbaka till sitt viloläge på grund utav att hopparen är för tung [13]. Dessutom blir rena glasfiberstavar tyngre än de blandade kolfiber och glasfiberstavar. Glasfiberstavar ofta ett problem när stavarna blir längre eftersom glasfiber har högre densitet än kolfiber och det gör att hoppare inte orkar bära med sig glasfiberstaven därför behövs en stav med mindre glasfiberhalt. Problematiken med kolfiberstavar är att de är styva och inte lika böjliga som glasfiber och brott kan ske om de böjs för mycket [6][9][7].



Hoppstavar konstrueras så att olika lager av fibrer viras runt en stång gjord av stål som kallas mandrel. En mandrel fungerar som mall för hoppstaven och för att staven skall bli ihålig så måste de lindas runt något som sedan plockas bort. Alla mandreler har inte samma diameter. Ju längre stav som skall göras ju större diameter på mandrel används [3][12] (se bild under).

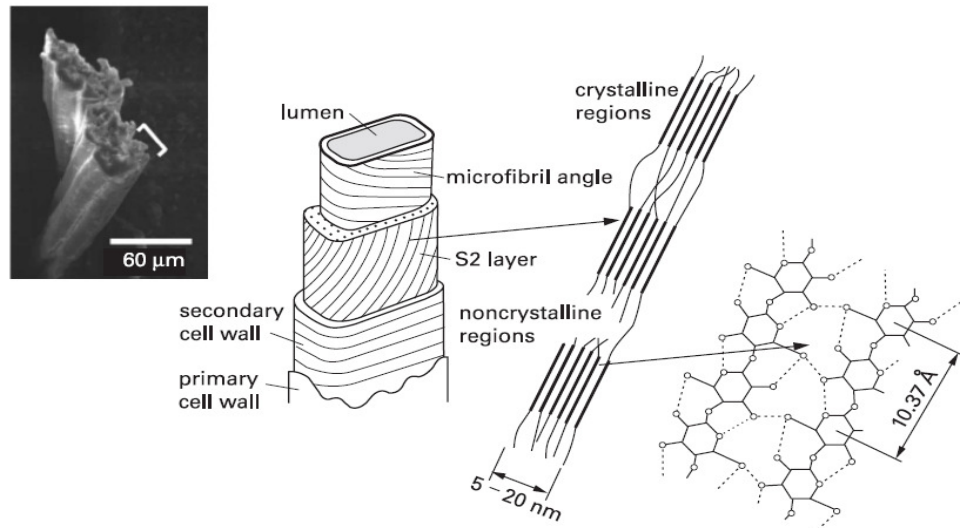


*Foto från studiebesöket i Arvidsjaur hos Nordic sport, fotograf Tove Olsson*

Det första som görs när en stav skall produceras är att en glasfiberremsa eller en kolfiberremsa viras runt stålstången. Det första lagret ger staven flexibilitet. Fibrerna ligger inte helt parallella med varandra utan de ligger virade åt olika håll och kan röra sig till viss del. Detta är det första steget i stavproduktionen alltså vira ett första lager av fibrer runt en mandrel och det kan göras på olika sätt och med olika material.

Ett sätt är att linda en glasfiberremsa runt stålstången och att en remsa till av glasfiber sedan viras ett lager till. Två lager av glasfiber lindas om stålstången fast åt olika håll. Det andra lagret viras åt motsatt håll mot det första för att få ett ”zick-zack” mönster, det görs för att stabiliteten och flexibiliteten på staven skall bli bättre än om de båda lagren hade lagts åt samma håll [3].

Denna metod att vira två lager som grund påminner om hur trä byggs upp med fibrer och olika fiberlager. I träd existerar det som kallas sekundär cellvägg som är indelad i olika lager kallade S1, S2 och S3. Fibrerna är olika placerade och uppbyggda för att ge trädet dess funktion. I vissa regioner av trädet ligger fibrerna i olika vinklar och mer oordning och i andra delar ligger de mer ordnade och parallella (se bild nedan). Att fibrerna är olika placerade och ligger mer eller mindre ordnade i trädet ger olika funktioner som krävs för att klara av naturens förhållanden så som vind, regn, snö och annat som kan påfresta och utsätta trädet för stress. Fibrernas placering och ordning ger alltså trädet dess flexibilitet, stabilitet och styrka [15].



*Bild på stammens och trädets uppbyggnad av träfibrer. Placering och ordning [15].*

På Nordic Sport görs två olika grunder med glasfiber och de använder inte den tekniken som förklarades ovan där två lager av glasfiberremsa läggs med ett "zick-zack" mönster. Där görs första lager av staven genom att ett tunt glasfiberband eller tråd med bredden ca 4-5 mm gjord av E-glas viras runt stålstången. Denna glasfibertråd kallas roving när den är obehandlad och när den är behandlad med epoxi kallas den tow-preg [12].



*Foto från studiebesöket i Arvidsjaur hos Nordic Sport, fotograf Tove Olsson*

Andra sättet de använder sig utav på Nordic Sport är att ett E-glas band viras runt en mandrel vilket innebär att det är en bredare remsa gjord utav E-glas som viras runt mandrelen som första lager, detta band är ca 25 mm brett [12].



Tredje sättet att konstruera stavar på hos Nordic Sport görs med hjälp utav att en kolfibertråd viras som förstalager istället för att använda ett glasfibermaterial som grund och denna kolfibertråd är ca 3 mm bred [12].



*Foton från studiebesöket i Arvidsjaur hos Nordic Sport, Fotograf Tove Olsson*

Gemensamt för alla stavar oavsett producent är att de består av tre delar. Första lagret, sedan kommer en så kallad body piece och därefter ett segel. Där första lagret ger flexibilitet, andra steget ger styrka och stabilitet och tredje delen som är seglet avgör hur böjningen på staven skall bli.

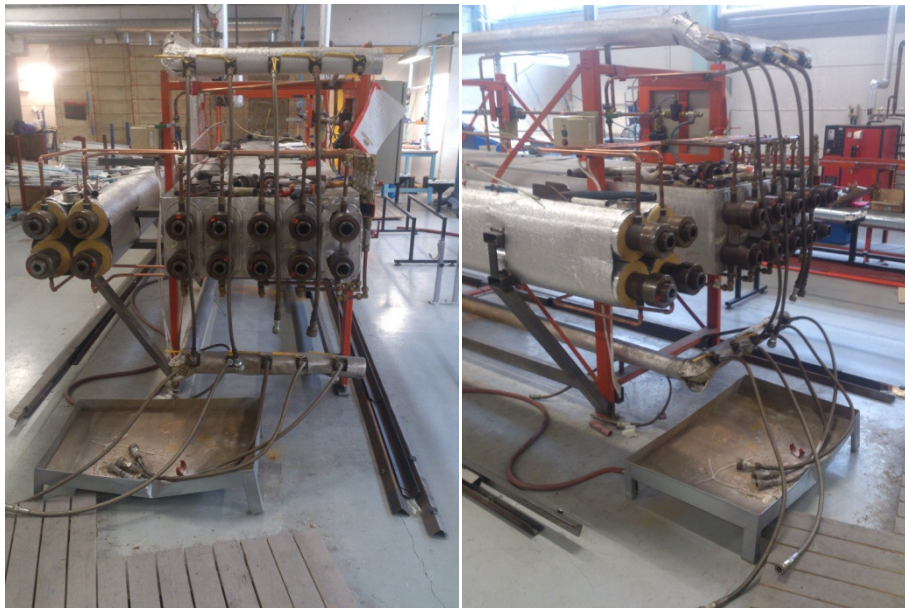
Steget efter att förstalagret har lagts i produktionen av hoppstavar är att fästa på en så kallad body piece. Det är en väv av glasfiber som stryks och fästs på det första lagret som gjorts i steget innan. Värme gör att glasfiberväven fäster till det första lagret som lagts med kolfiber eller glasfiber och stannar kvar på stången. Body pieceen ger stabilitet och styrka till staven och här är fibrerna mer parallella och i jämn struktur med varandra. Glasfibern är skuren som en rektangel med olika bredd beroende på hur stor diameter staven har men också beroende på hur seglet ser ut, som är nästa och sista steget i produktionen innan härdning [3][12].



*Foto från studiebesöket i Arvidsjaur hos Nordic Sport, fotograf Tove Olsson*

För att få böjningen på rätt ställe fäster man ett segel av glasfiber där på staven. Skärningen och placeringen av seglet är viktigt för att böjning skall ske där det är önskvärd, seglet påverkar även hur mycket staven böjs, hur mycket flex den får. Det är inte bara seglet som påverkar stavens flex det är även material och diameter men skall flexen förändras lite grann är det seglet som ändras [3][12].

När alla olika delar av glasfiber är på plats förs staven in i en ugn där den värms upp. De värms till 160 grader Celsius. De som värmer i ugnarna är vattenånga som strömmar genom stålstången som den blivande staven är lindad runt [12].



*Foton från studiebesöket i Arvidsjaur hos Nordic Sport, Fotograf Tove Olsson*

När staven sen tas ut och kylts ner skall stålstången tas bort. En mandrel användes endast för att få en form på staven och en grund att utgå från. Stavarna för böjs så att de får en liten böjning, sedan kapas överflödigt material bort och därefter mäts deras flex vilket fås fram genom att hänga en vikt (50 pound) på mitten av staven och se hur mycket den töjs ner [12].

Ett stresstest utförs för att undersöka så att staven håller den kvalité den skall göra men också för att se om några defekter finns. Då böjs staven med hjälp av en maskin. Testet görs inte bara för att testa staven utan det hjälper även utövaren att lättare böja staven när den skall användas. Därefter sker märkning, polering och tejpling av staven och pluggar sätts på [3][12].

Idag är det vanligast med glasfiberstavar men stavar med både kolfiber och glasfiber används också. Blandade stavar som innehåller både kolfiber och glasfiber konstrueras på liknande sätt men en kolfiber tråd används till vissa delar istället för ett glasfiberband och detta för att få en styvare, stabilare och lättare stav [12].

Problemet när kolfiber används är att stavarna kan bli för styva och de blir känsligare för brott och problemet med enbart glasfiber är att stavarna blir tunga och inte tillräckligt snärtande (de blir för mjuka). Förhoppningarna är att kombinera dessa två material på ett mer givande sätt så att effektivare stavar fås fram.

## Metod

Det som inledde arbetet var ett möte där två företag medverkade och även anställda på Chalmers. Mötet hölls för att diskutera vilka intressen och behov som finns inom stavgroppen idag. Företaget Nordic sport tillverkar stavar till stavgropp och mycket annat inom friidrott. De ser gärna att hoppelstavarna utvecklas eftersom de inte hämt speciellt mycket med redskapen inom stavgropp de senaste 50 åren och idag tillverkas i stort sett alla stavar som finns på marknaden på likadana sätt och innehåller i stort sett samma material enbart små detaljer skiljer de olika företagens stavar åt som finns på marknaden [1].

Den första observationen och undersökningen som gjordes var att fota och filma en stavgroppsävling under inomhus-SM som ägde rum 22-23 februari 2014 i Göteborg. Det var Nordic sport som ordnade så att detta besök var möjligt. Inomhus-SM besöktes söndagen den 23 februari 2014 och då var det en stavgroppsävling för damer, medverkade gjorde Sveriges elithoppare. Detta gjordes för att få en bild av hur hoppelstavarna används, vad de utsätts för och hur de fungerar och agerar under belastning och stress. Under tävlingen samtalades det med och diskuterades det även med Nordic Sport och vilket gav en bra och tydlig bild av stavgropp. Det var mycket stavgroppsare som kollade på tävlingen och fanns på plats, fanns då möjlighet att diskutera stavgropp och önskade egenskaper. Bra insikt och förståelse i vad utövarna själva vill få ut av hoppelstaven [14].

Därefter påbörjades litteraturstudier. Litteraturstudier om kolfiber, glasfiber, stavgropp och hoppelstavarnas konstruktion. Litteraturstudier om kolfiber och glasfiber var tvunget eftersom hoppelstavar tillverkas med dessa material. Viktigt att veta hur materialet som utgör stavarna fungerar.

Eftersom arbetet är ett relativt outforskat område var frågeställningen öppen och det var viktigt att göra en ordentlig litteraturstudie. Denna gjordes väldigt grundläggande för att få en bra faktabas om materialen att utgå från.

Litteraturstudierna har genomförts med hjälp av Chalmersbibliotek där böcker och artiklar har funnits eller också har de beställt hem efterfrågade artiklar som funnits i olika databaser som Chalmersbiblioteket har tillgång till.

Började med att söka på "pole vault" (stavgropp) för att få fram så mycket artiklar som möjligt om stavgropp. Fann inte mycket vetenskapliga artiklar på de olika vetenskapliga databaserna och heller inte på Chalmersbibliotek så fick även söka genom vanliga webbläsare för att få fram artiklar. När sökning sker via vanliga webbläsare är det viktigt att vara källkritisk och granska materialet noga och undersöka om det är trovärdigt. Många filmer på stavgropp (pole vault) finns på youtube och har varit användbara för både information om stavgropp men också för konstruktion av stavar. Svårigheter att finna litteratur om hoppelstavar och hur kolfibern och glasfibern är sammansatt. Många bra filmer om enbart glasfiberstavar går att få tag på relativt lätt och även om rena kolfiberstavar. Blandstavar (både kolfiber och glasfiber) är de svåra att finna information om och det är de som är av intresse för detta arbete. Svårighet på grund av att företag vill behålla detaljer i produktionen hemliga för varandra. Samtidigt gjordes sökningar på kolfiber och glasfiber. Inom de områdena finns mycket vetenskapliga böcker och artiklar. Lätt att finna information och fakta. Många böcker lånades på Chalmersbiblioteket men även artiklar från olika databaser tog fram.

Först var det allmän sökning och litteratur om stavhopp, kolfiber och glasfiber men allt eftersom när mer kunskap och fakta om stavhopp samlats in och mer förståelse fås började mer detaljerade litteraturstudier. Sökningar på olika typer av kolfibrer och glasfibrer för att få fram vad de har för olika egenskaper.

När sökningar på olika kolfiber och glasfiber hade ägt rum och olika typer och egenskaper fått fram var en del mer detaljerad sökning tvunget att göra. Det rörde sig framför allt om E-modul, tøjning och draghållfasthet. Detta för att kunna förstå och tolka olika egenskaper som materialen har.

Många olika typer av kolfiber och glasfiber har studerats teoretiskt för att kunna förstå vad som är bäst lämpat för hoppstavar och det är denna studie som tagit störst del av arbetet för att en ordentlig bakgrund med fakta om material är nödvändig.

Meningen med detta arbete är att det skall vara en bra grund för fortsatta studier och utveckling inom hoppstavar.

Det fanns betydligt mycket mer fakta och källor om kolfiber och glasfiber, vilket är en stor och viktig del att förstå om staven skall få de egenskaper som önskas. Studerat kolfiber och glasfiber för att förstå dess olika egenskaper, t.ex. densitet och E-modul. Viktigt att ha information och fakta om kolfiber och glasfiber för att kunna avgöra vilket/vilka kolfiber och glasfiber som är bäst att använda i hoppstavar och hur de två olika materialen fungerar i samspel med varandra.

Även intervjuer med stavhoppare har gjorts om deras önskemål och åsikter på hur en stav skall kännas och vara, skiljer sig mycket från hoppare till hoppare men alla är de överrens om att staven skall vara lätta att böja och sedan snabbt skjuta ifrån och bli rak igen, detta för att de skall få med sig så mycket fart i hoppet som möjligt.

En presentation genomfördes och den ägde rum den 9 maj där representanter från friidrottsförbundet, stavhoppare, studenter och lärare medverkade. Här presenterades arbetet i korthet och tillfälle gavs att återigen samtala med stavhoppare som kom med önskemål och synpunkter. Diskussion med stavhoppsutövare och andra studenter väckte nya idéer och frågeställningar. Mycket givande med friidrottarnas idéer och åsikter eftersom det i slutänden är dem som skall använda stavarna och de vet bäst vad som önskas och krävs av staven.

Som sista del ägde ett studiebesök i Arvidsjaur rum. Flög till Skellefteå och fick först se kontor och lager hos Nordic Sport där. Efter det fortsatte det till Arvidsjaur där Nordic Sport har sin stavproduktion. Mycket nyttigt och givande studiebesök där förståelsen om stavtillverkning ökade och en helhets bild växte fram. Diskussion med Lars Forsberg som tillverkar stavar och är ansvarig för det gav många bra idéer och svar på frågor som fanns.



## Resultat

Genom intervjuer med två olika stavhoppare som ägde rum under seminariet den 9/5 har en bild fåtts av hur de önskar att staven skall fungera i stora drag, de vill ha en relativt lätt stav som är enkel att böja men som sedan skjuter ifrån till sitt ursprungsläge vilket är i rakt tillstånd så att så mycket fart som möjligt fås med upp i hoppet. Alltså krävs det en stav som är elastisk men också stabil och styv på vissa ställen. Är staven för elastisk och böjlig rätar den inte upp sig fort efter böjning och hopparen får inte med sig fart över ribban, i värsta fall orkar staven överhuvudtaget inte återgå till sitt ursprungsläge, vilket är när den är rak. Staven är då långsam och seg. Är staven för styv är risk för brott stor när hopparen försöker böja staven, eller så orkar inte hopparen böja staven tillräckligt mycket för att kunna ta sig över ribban. En fin balans mellan elasticitet, stabilitet och styvhet måste finnas [11][12][13].

När kolfiber och glasfiber väljs är det viktigt att kolla på fiberns E-modul, sträckgräns (töjbarhet) och draghållfasthet. Materialet i hoppstavar får inte ha för hög E-modul vilket betyder att materialet är väldigt styvt för då sker brott vid töjning, utan staven måste vara förhållandevis elastiskt, men självklart också starkt som nämndes ovan. Materialen som skall användas till hoppstavar måste som nämnt vara fjädrande till viss del för att utövaren skall kunna utföra hoppet med "swing-up" tekniken. Om staven är helt oböjlig kan hopparen inte ta sig upp över ribban med hjälp av staven och swing-up tekniken [4][5].

Genom litteraturstudier har ökad kunskap och förståelse fåtts för glasfiber och kolfiber och hur dessa material bör och kan användas på bästa sätt med avseende på deras unika egenskaper. Det finns olika typer av glasfiber och kolfiber och alla har de olika karaktärsdrag. De olika sorterna skiljer sig i bland annat styrka, sprödhet, styvhet, mjukhet, elasticitet och densitet [6][7].

Alla sorter lämpar sig inte till att bygga hoppstavar utav eftersom alla inte har önskvärda egenskaper. De glasfibermaterial som teoretiskt är bäst lämpade och användbara är S-glas och E-glas på grund av att de har relativt hög töjbarhet men också är starka material. S-glas har en sträckgräns på ca 5 %. S-glas är den glasfiber som har högst töjbarhet och den är starkare än vad E-glas är. S-glas har också lägre densitet än vad E-glas har, den ligger på ca  $2,5 \text{ kg/dm}^3$  och E-glas har en densitet på  $2,62 \text{ kg/dm}^3$ . E-glas har en töjbarhet på ungefär 4,5 %. E-glas är den billigaste och mest använda glasfibern idag. Dessa två glasfiberkvaliteter är båda lämpade att använda i hoppstavar, de har de mest passande egenskaper för stavar om man jämför med de andra glasfibermaterialen [6].

De kolfibrer som är bäst att använda till hoppstavar verkar teoretiskt vara kolfiber som har en hög töjbarhet (hög jämfört med andra kolfiber) men också är stark. Kolfibern skall inte ha alldeles för hög E-modul för det är ett tecken på att den är styv och inte töjbar. Har kolfibern mellanhög E-modul har den oftast relativt hög töjbarhet eftersom draghållfastheten genom töjningen ger E-modulens värde. När kolfiber skall väljas är det bra att kolla efter just mellanhög E-modul och sedan på den specifika töjbarheten och draghållfastheten och är de båda relativt höga kan kolfibern vara lämpligt. De typer av kolfiber som verkar mest passande i teorin ingår i gruppen IM (Intermediate Modulus). Det är kolfibrer med draghållfasthet mellan 3000-6400 MPa och en sträckgräns (töjbarhet) på 1,2-2,2 %. E-modulerna för de olika kolfibertyperna som ingår i IM hamnar mellan 200-350. Sen den kolfiber som väljs inom

denna grupp bör vara en som har hög töjbarhet (runt 2 %) och som är relativt stark (hög draghållfasthet). En mycket passande kolfiber, teoretiskt, verkar vara HS (High-strength). Den sorten av kolfiber har en relativt låg E-modul, den ligger på under 265 GPa, jämfört med många andra kolfibrer och det beror på att töjbarheten är hög jämfört med andra sorter. Töjbarheten för HS är mellan 1,6-2,1 % och draghållfastheten 4000-5000 MPa [7][8].

Det behöver inte vara denna typ av kolfiber utan det viktiga är att kolla sträckgräns, draghållfasthet och E-modul och då leta efter en kolfiber som har relativt hög töjbarhet, runt 2 %, så att inte brott sker när staven skall böjas.

Om man hittar en lämplig sammansättning och vill testa den i en ny stav är det viktigt att mäta hoppstavens E-modul alltså draghållfasthet och töjning dels för hela staven men också på specifika ställen på staven. Detta på grund av att staven inte behöver ha samma egenskaper överallt. Mäts E-modul, töjning och draghållfasthet av hela staven men också på olika ställen kan en helhetsbild fås men också E-modulen för olika delar på hoppstaven. Olika delar på staven kan ha olika egenskaper och skall klara olika typer av belastning.

Inget definitivt resultat har framkommit genom studier på hur den perfekta sammansättningen bör se ut av kolfiber och glasfiber men idéer och många intressanta tankar har väckts på hur man kan utnyttja dessa material och dess önskvärda egenskaper.

Genom teoretiska studier och samtal med hoppare tros att mer kolfiber i botten av staven är lämpligt för att få en stabilare och starkare nedre del. Användes mer kolfiber och mindre glasfiber minskar även vikten på staven vilket framförallt många kvinnliga hoppare önskar. Hur mycket kolfiber som skall användas måste testas fram och studeras ytterligare. Däremot behöver glasfiber vara huvudkomponent där böjning skall ske eftersom det är mer elastiskt men att blanda in en liten del kolfiber kan göra att staven skjuter ifrån snabbare och blir mer ”snärtig”. En mycket fin balans mellan kolfiber och glasfiber måste hittas så att inte staven blir för styv och känslig för brott men också så att den inte blir för mjuk. Det behövs fortsatta studier, undersökningar och tester av hur dessa två material samverkar med varandra och hur mycket det behövs av varje komponent för att få bästa möjliga egenskaper. Tyvärr har inte tid funnits för dessa studier, utan förhoppningar är att någon annan skall ta vid och fortsätta detta arbete och se det här som en grund och hjälpmedel [6][7][12][13].

Under arbetets gång har flera frågor väcks kring hoppstavar och hur de kan utvecklas än bara den frågeställningen som utgicks från, kan andra sammansättningar av kolfiber och glasfiber än de som används idag förbättra hoppstavens egenskaper? De olika frågor och tankar som kommit upp är:

- Behöver konstruktionen på staven förändras?
- Kan man använda helt andra material för att förbättra stavarna?
- Olika typer av material i olika delar på staven?

Några intressanta tankar om konstruktioner och sammansättningar har kommit fram under arbetets gång och känns som de har utvecklingspotential och bör undersökas. De idéer som presenterats ovan kommer att diskuteras mer under avsnittet diskussion i denna rapport.

## Diskussion om förbättringar och utveckling

Ur en teoretisk synvinkel bör en blandning av kolfiber och glasfiber fungera bra eftersom de har olika kvaliteter och båda materialens egenskaper är önskvärda i hoppstavar till viss del. Det stora problemet är bara hur mycket av de olika komponenterna som är optimalt och var på staven de olika typerna av material skall placeras.

Två lager av glasfiber i första delen av produktionen bör testas hos Nordic Sport. I första lagret skapas mycket av flexibiliteten i staven och om två lager läggs som är virade åt motsatta håll så fås fler fibrer som arbetar i olika riktningar, flexibiliteten och styrkan i staven kan då bli bättre. Här används bara glasfiber men placeringen av fibrerna kan påverka stavens egenskaper och prestation [3][5].

Ett intressant alternativ är också att vira ett lager av glasfiber och ett av kolfiber i första delen av tillverkningen. Det gör att båda materialens egenskaper fås in i grunden. Remsor av glasfiber och kolfiber viras runt en mandrel och detta görs för att fibrerna skall kunna röra sig mer och ge mer flexibilitet än om de las en hel väv [12]. Viras de olika materialen i motsatt håll ger de fler fibrer i olika vinklar och lägen medans viras de åt samma håll blir de inte lika stor spridning. Båda alternativen bör testas att använda som första lager. Bör börja med att testa med den smala kolfiber tråd på ca 3 mm som används idag eftersom den fungerar som bottenmaterial. Att dessa två material kombineras i första lagret tros kunna ge en blandning av dess egenskaper vilket är önskvärt. Den svåra frågan är hur mycket av varje material som skall användas [5][12].

Kan även förändra täthet när man virar fibrerna i första steget, framförallt kolfibern, de påverkar flexibiliteten och elasticiteten i staven. Ju mer kolfiber som används ju styvare bör staven bli. Olika täthet mellan varven bör ge olika egenskaper och påverka styvheten i staven. Mer studier, beräkningar och undersökningar behövs för att veta vad som är bäst lämpat [5].

Utvärdera olika typer av glasfibervävar, hur den är vävd påverkar glasfibervävens flexibilitet och elasticitet [5].

Mer andel kolfiber i botten av staven skulle kunna göra staven stabilare och starkare där. Mer kolfiber i staven och mindre glasfiber gör även att staven blir lättare på grund av att kolfiber har lägre densitet [8][9].

Dessa tankar om förbättring och utveckling måste granskas noggrannare både teoretiskt och praktiskt. Mer arbete och studie krävs.

Problem idag är som nämnt i inledningen att företaget Nordic Sports inte själva kan utvärdera olika konstruktioner och sammansättningar eftersom material är dyrt och måste köpas i stora mängder. De som arbetar med produktionen har många bra idéer och förslag men kan inte köpa in material för att genomföra tester samt att det inte finns tid till att testa olika stavar hela tiden eftersom de måste producera och tillverka fungerande stavar som kan säljas. Här kan Chalmers och studenter hjälpa till att göra tester och studera material [12].

Förhoppningen är att någon annan skall ta vid detta arbete och fortsätta undersöka hur stavarna kan utvecklas. Detta är ett första arbete inom området och har krävt mycket tid kring materialens egenskaper, bakgrundsfakta och det har främst väckt frågor kring vad man kan

göra för att förbättra dagens stavar. Något definitivt svar har inte framkommit men som sagt många frågor, tankar och idéer har väckts och förhoppningarna är att någon annan student skall ta vid och fortsätta utveckla dessa frågor och tankar och genom att fortsätta på detta arbete kanske komma fram till en mer effektiv hoppstav för stavhoppare.

Materialens E-modul, sträckgräns (töjbarhet), draghållfasthet, densitet och hur olika placeringar av fibrer påverkar egenskaperna är de jag tror är viktigast att ta hänsyn till både när det gäller materialen var för sig men också kombinerade. Den stora frågan är hur mycket av varje material som skall finnas i en stav och var de skall placeras för att de skall ge stavar de bästa tänkbara kvaliteterna [4][5].

Detta arbete har fokuserat på kolfiber och glasfiber, men andra saker påverkar också stavens egenskaper. Kolla på epoxi och vad det gör med kolfiber, hur kan man utveckla det? Vad har det för bra egenskaper? Kan man använda det på andra sätt än man gör idag? Få förbättrade egenskaper med hjälp av blandningen epoxi/kolfiber. Det bör vara i ett senare skede när och om man kommer fram till bättre sammansättningar och konstruktioner.

Som nämnts ovan fanns inga riktlinjer när arbetet startades detta på grund av att det är det första arbetet som görs inom detta ämne på Chalmers men också för att företaget som är inblandat Nordic Sport ville börja helt från början och få en ny bild. Därför behövdes en grundlig bakgrundsstudie göras på de olika materialen och vad det finns för alternativ, och det är den litteraturstudie som tagit störst tid och kraft av arbetet.

### **Andra material i stavar?**

En idé och tanke är att man skulle kunna använda andra material tillsammans med kolfiber och/eller glasfiber i stavarna för att förbättra dess egenskaper. Det tänkta materialet är då cellulosa. Cellulosa forskas det just nu mycket på och det görs stora framsteg inom cellulosaforskning. Forskare har upptäckt att det är ett bra och användbart material om det används på rätt sätt. Det är ett material med unika och intressanta egenskaper. Cellulosa är för mjukt alltså har för låg E-modul för att kunna användas i hela staven. Endast cellulosafibrer i staven skulle alltså göra att den inte blir tillräckligt elastisk och styv (stabil) men som nämndes här ovan är en idé att använda den tillsammans med andra material som i detta fall är kolfiber och/eller glasfiber för att få önskade egenskaper hos en hoppstav. Cellulosafibrer förekommer naturligt och har som sagt intressanta egenskaper. Ser man till träd och växter så ser man att de kan böjas och töjas till viss del men samtidigt är stabila. De klarar högt tryck och andra påfrestningar som de utsätts för ute i naturen. Ett träd klarar oftast av hård vind och andra typer av stress så som regn, kyla osv. [15].

De bör finnas i åtanke att andra material kan användas men störst fokus i nuläget bör ligga på att förbättra stavarna med de material som används idag alltså glasfiber och kolfiber och hur man på bästa sätt skall få ut de önskade egenskaperna ur båda materialen.



## Fortsättning och rekommendationer

Det bör vara 2 stycken arbetare, det blir mycket för en ensam person. Det som skall göras i fortsättningen handlar mycket om mekanik så stort kunnande inom det området. Använda detta arbete som grund för att hitta lämpliga konstruktioner och sammansättningar av kolfiber och glasfiber för att göra en bättre stav än vad som existerar på marknaden idag. Utveckla de teorier som har börjats på, gör tester om någon verkar rimlig när fler undersökningar gjorts.

Fortsätta undersöka de idéer och förslag som uppkommit under arbetets gång, djupare studier, undersökningar och olika beräkningar behövs.

Ett nära samarbete och dialog med Lars Forsberg som tillverkar stavar och har stavansvar hos Nordic Sport bör fortsätta. Många intressanta idéer och väldigt bra insende i det praktiska.

Tester bör utföras när de angivna idéerna ovan har studerats mer, det bör göras både på Chalmers men också uppe i Arvidsjaur där alla maskiner finns tillgängliga.

Nordic Sport bör se över vilken typ av kolfiber de använder för de vet de inte idag, de vet inte dess egenskaper. De bör välja en kolfiber med hög töjbarhet, ca 2 %, men också hög dragstyrka detta resulterar i en relativt låg E-modul eftersom dragstyrkan genom töjningen ger måttet på E-modulen.

## Källor

- [1] Inledande möte med Chalmers och Nordic Sport. 21 Februari 2014. Chalmers tekniska högskola.
- [2] Matthew McCormick. Soaring to New Heights: The Evolution of Pole Vaulting and Pole Materials. Illumin. 2012. hämtad 2014-03-26. länk:  
<http://illumin.usc.edu/printer/143/soaring-to-new-heights-the-evolution-of-pole-vaulting-and-pole-materials/>
- [3] <http://www.youtube.com/watch?v=hS19y9VJwYA> hämtad 2014-04-10. Producerad för Discovery channel, TV-serie; How it's made.
- [4] Grundläggande hållfastighet och materiallära. Fiberkompositlaminering. Lars Viebke. länk: [www.kolfiber.info.se](http://www.kolfiber.info.se)
- [5] Inledande polymervetenskap. Thomas Hjertberg, Helena Andersson. Polymerteknologi, Institutionen för kemi- och bioteknik, Chalmers tekniska högskola, 2011. S.91-145
- [6] Glass fibers. Fredrick T. Wallenberger, James C. Watson, Hong Li, PPG Industries, Inc. 2001. utdrag ur ASM Handbook, volume 21: Composites. D.B Miracle and S-L. Donaldson. s. 27-34
- [7] Armeringsfibrer. Fiberkompositlaminering. Lars Viebke. Webbsida, länk: [www.kolfiber.info.se](http://www.kolfiber.info.se)
- [8] Carbon Fibers. Raghavendra R. Hegde, Atul Dahiya, M.G. Kamath. 2004. Hämtad 2014-03-27. länk: <http://www.engr.utk.edu/mse/Textiles/Carbon%20FIBERS.htm>
- [9] Carbon Fibers third edition revised and expanded, Jean-Baptiste Donnet, Tong Kuan Wang, Serge Rebouillat, Jimmy C.M. Peng. 1998 s. 1-71
- [10] Carbon Fibers, Paul J. Walsh, Zoltek Corporation, utdrag ur ASM Handbook, volume 21: Composites. D.B Miracle and S-L, Donaldson; 2001, s. 35-40
- [11] Pole Vault and the Pole. 12 mars 2006. Hämtad 2014-04-10. Länk: <http://www.stabhoch.com/epvc/polevaultandthepole.pdf>
- [12] Studiebesök hos Nordic Sport och Lars Forsberg i Arvidsjaur 9-10 juni 2014
- [13] Seminarium 9 maj 2014 Chalmers Tekniska Högskola, medverkande gjorde svenska friidrottsförbundet, friidrottare, studenter och lärare.
- [14] Studiebesök inomhus-SM i Göteborg 23 februari 2014
- [15] Wood bio-composites – extending the property range of paper products. Lars Berglund. 2011. S.231-254.

[16] Load-carrying structures comprising bamboo fibers and polymers. Ryan, Dale Bradley (Mitchell, SD). Publicerad 06/10/2003. Skriven 03/02/1999. Hämtad 2014-07-02. Länk: <http://www.freepatentsonline.com/6576331.html>

[17] Pulp and Paper Dictionary. Publicerad 2012-04-29. Länk: <http://finuscontrole.blogspot.se/2012/04/pulp-dictionary.html>

Webbadresser:

<http://www.ucsspirit.com/vaulting-poles/>

<http://www.gillathletics.com>

[www.nordicsport.com](http://www.nordicsport.com)

## Bilagor

Frågor från seminariet där studenter från BEST-kursen medverkade.

- Vilka beräkningar kan man gå vidare med för att få fram vilka sammansättningar som är bäst lämpade? Olika stimuleringar och beräkningar?
- Kan man använda andra material som liknar kolfiber till försök att konstruera stavar och för vilka sammansättningar som skall användas? Kolfiber är dyrt så ett bra sätt att testa?
- Kan det finnas andra material som är bättre än kolfiber och glasfiber? Cellulosa? Plast?
- Hur länge håller en stav?
- Kan man väva ihop materialen/lägga materialen omlott i första lagret (first layer) istället för att vira första varvet och andra varvet ovanpå varandra?
- Vilka andra parametrar kan vara viktiga att ta hänsyn till?