

Kompositteknologi

Planering och framställning av ett kiteskimbräde

Markus Höglund

Examensarbete
Maskin- och produktionsteknik

2010

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Maskin- och produktionsteknik
Identifikationsnummer:	6928
Författare:	Markus Höglund
Arbetets namn:	Kompositteknologi Planering och framställning av ett kiteskimbräde
Handledare (Arcada):	Rene Herrmann
Uppdragsgivare:	-
<p>Sammandrag:</p> <p>I det här arbetet analyseras ett kitebrädes egenskaper samt faktorer som påverkar egenskaperna. Syftet är att på basis av detta bestämma optimal form för ett kiteskimbräde, bestämma hållfasthetskrav, materialval och – behov, konstruktion samt tillverkningsprocess. Arbetet innehåller ett experiment att bygga ett kiteskimbräde av sandwichkonstruktion. Brädet är menat att fungera i riktigt lätta vindar och hålla 300kg. Experimentet är resultatet av teorin och beskriver även de olika byggskedena samt problem som uppstod under projektet. Som avslutning på experimentet följer ett test av det färdiga brädet. Som tillverkningsmaterial valdes glasfiber och kärna i PVC och som tillverkningsprocess valdes vacuum bagging. Materialen och tillverkningsprocessen uppfyller de hållfasthetskrav på 300kg som ställts och formen av brädet var ändamålsenlig. Grunden och informationen till forskningen har fåtts från en kitebrädestillverkare, genom intervjuer med professionella kiteboardare och kitemärkesrepresentanter samt genom empiriska test. Litteratur som använts är bl. a. böcker om båtdesign och kompositer. Materialtillverkares hemsidor och sidor om komposittillverkning har även spelat stor roll i informationshämtningen. Svårigheten med forskningen var att samla information om kitebrädets egenskaper eftersom kitebrädesutvecklingen sker empiriskt, genom erfarenhet, istället för rent teoretiskt.</p>	
Nyckelord:	Flex, kiteboard, kitebräde, kompositteknologi, sandwich, sandwichprincip, vacuum bagging, vakuuminfusion
Sidantal:	55
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Maskin- och produktionsteknik
Identification number:	6928
Author:	Markus Höglund
Title:	Kompositteknologi Planering och framställning av ett kiteskimbräde
Supervisor (Arcada):	Rene Herrman
Commissioned by:	-
<p>Abstract:</p> <p>In this thesis work are relevant properties of a kiteboard analyzed. The purpose is to optimize parameters such as shape, rocker etc. for a kiteskimboard based on the properties. Furthermore are strength demand for the kiteboard, materials and material need, construction and suitable manufacturing processes determined and chosen to fulfill the demands. The thesis work includes an experiment to build a kiteskimboard with sandwich construction. The board is meant to work in really light winds and hold 300kg. The experiment is the result of my research and also shows the different building phases and problems that occurred during the project. A test of the board follows the experiment. I chose to build the board using fiberglass and PVC core and the board was built using vacuum bagging as manufacturing technique. The chosen construction and materials fulfill the demand to hold 300kg.</p> <p>The information for my research I got from a kiteboard manufacturer, from interviews with professional riders and thru empirical tests. Literature I have used is among others books on boat design and composites. Material manufacturer's web pages have also played an important role as a source of information. The difficulty of the research was to find information on properties of kiteboards because the development of kiteboards is based on experience and testing rather than theory.</p>	
Keywords:	Flex, kiteboard, kitebräde, kompositteknologi, sandwich, sandwichprincip, vacuum bagging, vakuuminfusion
Number of pages:	55
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

INNEHÅLL

1	Introduktion	8
1.1	Syfte	8
1.2	Problemställning och mål	8
1.3	Metod	9
1.4	Avgränsning	10
2	Kiteboarding	10
3	Sandwichkonstruktion	11
3.1	Sandwichprincipen	11
4	Laminatets mekaniska egenskaper	13
4.1	Mikrosprickor	13
4.2	Hållfasthet	14
5	Tillverkningsmetoder för sandwichkonstruktioner	16
5.1	Vakuuminfusion	16
5.2	Vacuum bagging	18
5.3	Laminering i press	18
6	Tillverkningsmaterial	19
6.1	Fibermaterial	19
6.1.1	<i>Allmänt om fibermaterial</i>	19
6.1.2	<i>Glasfiber</i>	21
6.1.3	<i>Kolfiber</i>	22
6.2	Matris	22
6.2.1	<i>Polyester</i>	22
6.2.2	<i>Vinylester</i>	23
6.2.3	<i>Epoxi</i>	24
6.2.4	<i>Matrisens vätnings- och limningsförmåga</i>	24
6.3	Kärnmaterial	25
6.3.1	<i>Honeycomb</i>	25
6.3.2	<i>PVC</i>	25
6.3.3	<i>Polyuretan</i>	26
6.3.4	<i>Trä</i>	26
7	Faktorer som påverkar kitebrädets köregenskaper	26
7.1	Kitebrädets form	27
7.1.1	<i>Rocker</i>	27

7.1.2	<i>Outline</i>	28
7.1.3	<i>Fören och akterns form</i>	28
7.1.4	<i>Flexmönster</i>	28
7.2	Bottnens utformning	29
7.2.1	<i>Konkava botten</i>	30
7.2.2	<i>Kanternas utformning</i>	30
7.2.3	<i>Kanaler</i>	31
7.2.4	<i>Fenornas placering och storlek</i>	31
7.3	Konstruktion	31
8	Planering av ett kiteskimboard	34
8.1	Form och mått	34
8.2	Materialval	35
8.3	Beräkningar av brädets hållfasthet och styvhet	35
8.4	Materialbehov	38
8.5	Val av tillverkningsmetod	38
9	Experiment att tillverka ett kitebräde med sandwichteknik	39
9.1	Mål och förväntningar	39
9.2	Använda material och verktyg	39
9.3	Bearbetning av kärnan	40
9.4	Laminering	41
9.5	Efter bearbetning	43
9.6	Målandet	44
9.7	Resultat	45
10	Test av brädet	46
10.1	Slutsats av brädestestet	47
10.2	Bucklor i ytan	48
11	Diskussion	48
	Källor	50
	Bilagor	54

Figurer

Figur 1 Sandwichprincipen (Foam Core Materials in the Marine Industry [www]).....	12
Figur 2 Drag (Loading[www])	14
Figur 3 Tryck (Loading[www]).....	14
Figur 4 Skjuvning (Loading[www]).....	14
Figur 5 Böjning (Loading[www])	15
Figur 6 Böjning av sandwichkonstruktioner (Core materials[www]).....	16
Figur 7 Optimering av flex genom förändring av tjocklek i ett bräde. (Skywalker[www])	32
Figur 8. Böjning av en balk(Beam bending[www]).....	36
Figur 9. Laminerat bräde under vakuum.	43
Figur 10. Det färdiga brädet	45
Figur 11. Test av brädet.....	47

Definitioner

Chop = ojämna vågor på havet, sjö

Delaminering = skiktlösning i laminat, skikten släpper från varandra

Flex = ett kitebrädes böjlighet

Geltid = Den tid som hartsen hålls flytande efter det att härdaren har blandats i. Med andra ord är det den tid man har på sig att arbeta med produkten förrän hartsen härdat.

Kiteboarding = Extremsport där en styrbar drake används som drivkälla. Utförs på vatten, snö, is, sand o.s.v. med kitebräde, snowboard, skidor, skateboard etc.

Kitebräde = Vattenfarkost som används vid kiteboarding

Laminat = Lager av armeringsfibrer sammanbundna av ett bindmedel

Matris = Bindmedel, lim, harts

Outline = Kitebrädets form

Pop = snabbt hopp med kitebräde genom att stampa aktern av brädet hårt i vattnet, kan liknas vid rullbrädesåkningens hopp.

Rocker = Ett kitebrädes böjning, profil

Sandwich = Konstruktion bestående av en kärna omsluten av laminat

1 INTRODUKTION

Ett kitebräde består av en kärna omsluten av laminat. Denna kombination ger brädet dess mekaniska egenskaper. Men förutom de mekaniska egenskaperna spelar även andra faktorer en stor roll i hur brädet fungerar.

1.1 Syfte

I detta arbete studeras framställningen av ett kitebräde. Syftet är att bestämma och använda ett kitebrädes driftsegenskaper för att optimera parametrar för form och konstruktion och på basis av dessa bestämma hållfasthetskrav. Vidare väljs lämpliga material och tillverkningsmetod. Målet är att bygga ett fungerande kitebräde på basis av teorin.

Ett kitebräde skall vara lätt, starkt och styvt. Dessutom skall det flyta och ha en viss form. För denna applikation fungerar sandwichkonstruktion ypperligt varför arbetets tyngdpunkt ligger just på denna typ av konstruktion.

1.2 Problemställning och mål

Under arbetet har jag några grundläggande problem som jag skall identifiera och lösa. En elementär fråga är vilka egenskaper som är mest relevanta för ett kitebräde och hur man skall kunna fastställa och definiera dem. Ett annat problem är att ställa upp teorin rätt för att få relevant information om hållfasthets- och styvhetskrav. Hur skall man kunna testa teorin och hur bra stämmer det med verkligheten.

Följande frågor och problem har jag ställt som uppgift att identifiera och lösa:

Frågeställning	Eventuellt svar	Innebörd
Vilka egenskaper är viktiga?	Planar tidigt, kryssnings-egenskaper, styvhet, vikt, hållbarhet,	Optimering av form, botten, konstruktion och material.

Hur skall teorin ställas upp för att ge rätt information?	Konservativ approximering av belastning som brädet kan utsättas för	Hållfasthetskrav, materialval
Vilka material skall användas?	Glasfiber, kolfiber för laminationet, PVC, trä eller honeycomb för kärnan	Val av förnuftigt material med tanke på hållfasthet, kostnader och egenskaper
Vilka tillverkningsmetoder kan användas?	Vacuum bagging, vakuuminfusion, press	Val av tillverkningsmetod lämplig för konstruktion
Hur bra stämmer teorin med verkligheten och hur kan det testas?	Approximering av hållfasthet, testkörning av brädet.	

1.3 Metod

I detta arbete studeras lämpliga material och tillverkningsmetoder för kitebräden på basis av analys av rimliga egenskaper för ett kitebräde. Arbetet innehåller både ett konkret empiriskt experiment att tillverka ett kitebräde och ett test av det färdiga brädet. Tillverkningen sker på Underground kiteboards utvecklingscenter med deras material och verktyg.

Tyngdpunkten av arbetet ligger främst i att studera sandwichkonstruktioner. Den praktiska informationen till arbetet har jag främst fått från Underground kiteboards, en innovativ kitebrädestillverkare från Nya Zeeland. De gav viktig information om hur kitebräden fungerar, hur utvecklingen gått framåt, information om tillverkningsmetoder och vilka material som används med mera. Min praktik hos Underground var ett starkt stöd för min studie och hjälpte mig även att komma i kontakt med andra källor för arbetet så som representanter för kitemärken och professionella åkare som jag diskuterade kitebrädens egenskaper med. Eftersom jag själv är en aktiv utövare av sporten och hållit på i flera år så var det lätt att förstå innebörden av den information jag fick. Den information jag fått om kitebrädens egenskaper har jag analyserat så kritiskt som möjligt utgående från egen erfarenhet, kunskap och observationer. Ett exempel på det här kan nämnas brädestestet som följer under byggprojektet. Dessutom har jag testat flera olika bräden

och brädesmodeller sinsemellan för att kunna förstå hur olika egenskaper påverkar bräden.

Den litteratur jag använt mig av är framför allt Principles of Yacht Design från år 2000 av Lars Larsson & Rolf E. Eliasson. På Internet har jag främst sökt materialtillverkares sidor, vetenskapliga sidor om kompositerna och kitebrädes tillverkarens sidor samt diskussionsforum för kiteboarding. Exempel på sökord på google som jag använt är till exempel ”composites”, ”epoxy”, ”corecell”, ”fibreglass”, ”kiteboard rocker”, ”kiteboard flex”, ”sandwichprinciple”, ”strength of sandwich” m.fl.

1.4 Avgränsning

Eftersom det visat sig vara svårt att hitta pålitlig, dokumenterad information om egenskaper för kitebräden är de som beskrivs endast approximerade. Informationen till drift-egenskaperna har jag samlat genom att diskutera med professionella utövare, tillverkare och representanter för brädesmärken samt på basis av egna preferenser.

På grund av praktiska och ekonomiska skäl tillverkas endast ett bräde och endast en tillverkningsmetod testas. Av samma skäl görs inga materialtester utan beräkningarna är approximerade på basis av uppskattade materialvärden.

2 KITEBOARDING

Kiteboarding, även kallat kitesurfing, är en av de fortast växande extremsporterna i världen. Kiteboarding går ut på att man har en styrbar drake som drar en på ett bräde, skidor eller dylikt på vatten, is, snö, sand osv. Drakarna som används är styrbara och mellan 4 m² och 20 m² stora. 12 m² är den mest använda storleken för en person runt 80kg och används för vindar från 7m/s till 13m/s. Drakarna är oerhört starka men fullt kontrollerbara och gör det möjligt att uppnå hastigheter på upp till 130 km/h på land och över 50 knop på vatten samt att göra hopp på ca 20 m upp i luften och i det närmaste flyga. (Upwind The Launch of Kiteboarding [DVD])

3 SANDWICHKONSTRUKTION

En laminerad produkt kan vara uppbyggd på flera olika sätt. Det finns bland annat enkellaminat och dubbellaminat. Enkellaminat betyder att laminatet enbart består av fiber och lim medan dubbellaminat har dubbla väggar, eller skin, med ett kärnmaterial emellan. Dubbellaminat kallas ofta för sandwichkonstruktion och har visat sig vara en mycket effektiv metod att tillverka produkter i komposit. Inte minst båtindustrin har tillämpat denna teknik under lång tid. De största fördelarna med en sandwichkonstruktion gentemot enkellaminat är avsevärda material och vikt besparingar med bibehållen styvhet och styrka vid tjocka konstruktioner. Kärnans funktion är att ge form för laminatet vilket konstruktionsmässigt ger en oerhörd fördel gentemot enkellaminat. Kärnan hjälper även till att sprida och fördela kraften mellan fibrerna. Kärnan består av ett lätt och ofta poröst material så som till exempel olika skumplaster, lätta träslag osv. (L. Larsson & R. E. Eliasson Principles of yacht design 2.2000, Fiberkompositlaminering - Sandwich [www])

3.1 Sandwichprincipen

Hemligheten till en sandwichkonstruktions höga styvhet jämfört med vikten kan förklaras med sandwichprincipen enligt Trevor Gundberg vid DIAB Inc. (Foam Core Materials in the Marine Industry [www]). Sandwichprincipen förklarar hur styvheten av en sandwich konstruktion förändras med tjockleken av kärnan. Teorin förklaras med en balk i sandwichkonstruktion. Enligt Trevor Gundberg är böjstyvhet D en produkt av materialets elasticitets modul E och balkens tröghetsmoment I .

Funktionen blir:

$$D = EI = \frac{E_s b t^3}{6} + \frac{E_s b t d^2}{2} + \frac{E_c b c^3}{12} \text{ [Nm}^2\text{]}$$

Där:

E_s = Elasticitets modul för skinnet

E_c = Elasticitets modul för kärnan

b = Balkens bredd

d = Avstånd mellan skinnens mittpunkt

t = Skinnets tjocklek

c = Kärnans tjocklek

Ifall kärnans tjocklek är betydligt större än skinnets $\frac{d}{t} > 6$ och kärnan betydligt svagare

än skinnet $\frac{E_s}{E_c} \times \frac{td^2}{c^3} > 17$ kan ekvationen förenklas till:

$$D = EI = \frac{E_s b t d^2}{2} [\text{Nm}^2]$$

Ur detta fås att d, avståndet mellan skinnens mittpunkter, är den variabel som har störst inverkan på styvheten (se figur 1). Ytterligare kan ses att E_c fallit bort d.v.s. kärnans elasticitets modul inverkar inte på konstruktionens styvhet. Detta betyder att kärnan endast, med tanke på styvhet, skall fungera som distansmaterial vilket naturligt betyder att det skall hålla tillräckligt med kompression för att inte pressas ihop.

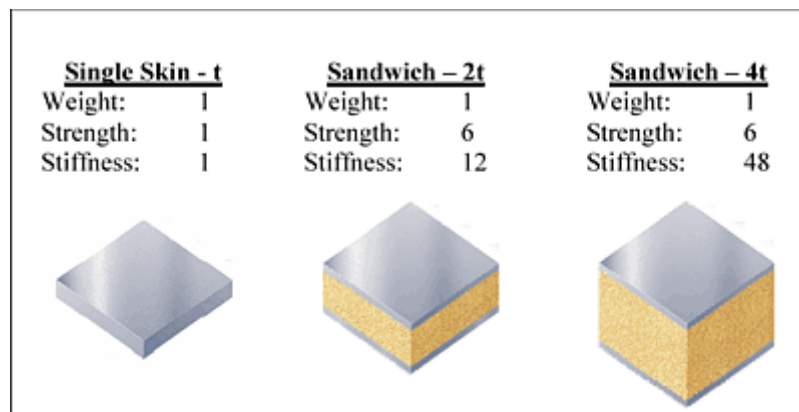


Figure 2

Figure 1 Sandwichprincipen (Foam Core Materials in the Marine Industry [www])

Trevor Gundberg säger även att för att en sandwichkonstruktion skall fungera korrekt måste limmet mellan laminatet och kärnan kunna överföra krafter mellan de olika komponenterna och därför vara åtminstone så starkt som kärnan. Utan en tillräcklig häftning fungerar konstruktionen inte som en enhet utan de olika delarna fungerar separat och styvheten går förlorad.

4 LAMINATETS MEKANISKA EGENSKAPER

Ett laminats mekaniska egenskaper bestäms av flera faktorer. I första hand är det armeringsfiberns egenskaper man vill utnyttja. Detta görs genom att man tillsätter ett bindemedel. Bindemedlet skall binda fibrerna med varandra och en eventuell kärna och fördela kraften över ett större område i laminatet istället för över ett litet område. Detta uppnås endast ifall limmet har tillräckligt god kontakt till fibrerna. (Fiberkompositlamining – Bindmedel/Matris[www])

Epoxi har de bästa mekaniska egenskaperna jämfört med polyester och vinylester. Detta beror bland annat på att epoxi har mycket lägre krympning vid härdning. Polyester och vinylester kräver stor omgruppering av molekylerna vid härdning, jämfört med epoxi, vilket resulterar i en hög krympning. Krympningen hos dessa kan nå ända upp till 8 % medan den för epoxi kan vara så liten som 0,5 % (Olli Saarela, Ilkka Airasmaa, Juha Kokko, Mikael Skrifvars, Veikko Komppa 2003 s. 47). På grund av att molekylerna omgrupperas vid härdning hos polyester och vinylester resulterar detta i att bindningarna till armeringsfibrerna blir färre och svagare än hos epoxi. (Fiberkompositlamining – Bindmedel/Matris[www])

4.1 Mikrosprickor

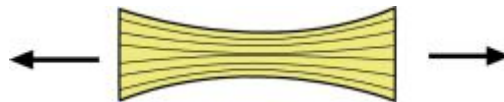
En annan faktor som påverkar de mekaniska egenskaperna är så kallade mikrosprickor. Ett laminats styrka anses vara den totala mängd kraft det kan motstå förrän det brister. Dock sker det små bristningar i laminatet mycket tidigare än vid den verkliga bristningsgränsen. Detta fenomen kallas mikrosprickor och orsakas av att fibrer som inte är orienterade i kraftens riktning bryts loss från limmet. Det är alltså inte fibrerna som bryter utan limmet som släpper. Dessa mikrosprickor kan i värsta fall spridas i laminatet och försvaga det. Eftersom epoxin har starkare bindningar än de övriga matriserna klarar epoxilaminat av högre grad av påfrestning förrän mikrosprickor bildas. Detta är speciellt relevant för strukturer som skall hålla länge och konstant utsätts för dynamiska krafter. Som exempel kan tas polyesterlaminat där mikrosprickor redan kan uppkomma vid 0.2 % böjning. Ifall ett sådant laminats bristningsgräns ligger vid ca 2 % resulterar det i att laminatet endast kan utsättas för 10 % av den maximala belastning som lamina-

tet tål för att man skall hållas under gränsen för uppkomsten av mikrosprickor. Ifall kraften överskrider denna gräns kan det hända att mikrosprickor uppkommer vilket i värsta fall kan resultera i att hela konstruktionen brister. En annan orsak varför man inte vill att mikrosprickor skall uppkomma är att dessa kan suga upp vatten vilket resulterar i högre vikt, minskad styvhet och i värsta fall i delaminering. (Micro-Cracking [www])

4.2 Hållfasthet

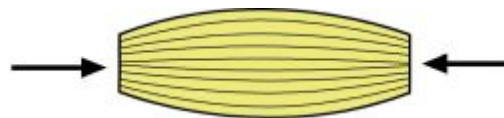
Hos en sandwichkonstruktion är det framför allt skinnen, alltså, fiberlaminatet som tar upp belastning och står för konstruktionens hållfasthet. Det finns i huvudsak fyra fall av belastning:

- Drag



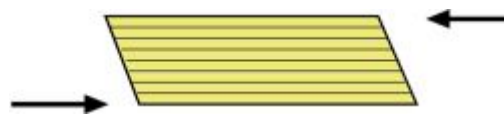
Figur 2 Drag (Loading[www])

- Tryck



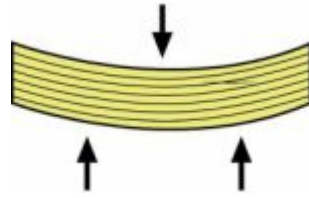
Figur 3 Tryck (Loading[www])

- Skjuvning



Figur 4 Skjuvning (Loading[www])

- Böjning



Figur 5 Böjning (Loading[www])

Vid definition av hållfasthet och egenskaper för ett laminat nämns ofta draghållfasthet och elasticitetsmodul. (Fiberkompositlaminering - Hållfasthet [www])

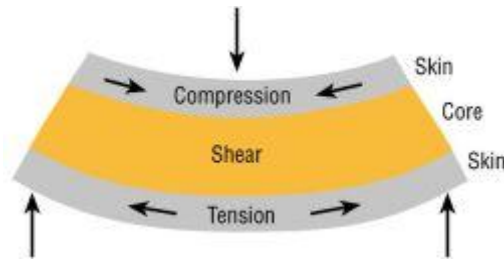
Draghållfastheten anger hur stor kraft ett material tål då det utsätts för drag. Draghållfasthet mäts vid bristpunkten och anges i MPa eller N/mm^2 . Draghållfasthet är fibrernas starkaste egenskap. Fibrerna som ett laminat består av har otroligt hög draghållfasthet jämfört med vikten och volymen. (Fiberkompositlaminering - Hållfasthet [www])

$$\text{Draghållfasthet}[MPa] = \text{Kraft}[N] / 1 \cdot 10^{-6}[m^2]$$

Elasticitetsmodulen eller E-modulen är ett mått på hur styvt ett material är och kan anges i samband med drag, tryck och böjning men är oftast i samband med draghållfasthet. E-modulen för ett material är sambandet mellan (drag)hållfastheten och hur mycket materialet töjer i procent och anges ofta i GPa . (Fiberkompositlaminering - Hållfasthet [www])

$$E\text{-modul}[GPa] = \text{Kraft}[N] / 1 \cdot 10^{-6}[m^2] / \text{Töjning} [x/100]$$

Då en sandwichkonstruktion utsätts för böjning belastas ena sidan för drag medan andra sidan utsätts för tryck. I sådana fall är det fibrerna som tar upp drag, men endast i fibrernas riktning medan hartsen tar upp både drag och tryckbelastning. (L. Larsson & R. E. Eliasson 2000 s. 262, F. C. Campbell 2004 s. 3-4, Core Materials [www])



Figur 6 Böjning av sandwichkonstruktioner (Core materials[www])

5 TILLVERKNINGSMETODER FÖR SANDWICHKONSTRUKTIONER

De två vanligaste metoderna för tillverkning av sandwichkonstruktioner är vakuuminfusion och våtlaminering i vakuumpåse. Båda metoderna använder vakuum för att skapa tryck över laminatet vid härdning för att komprimera fibrerna och få ett högt fiberinnehåll jämfört med limandelen. Detta ger goda mekaniska egenskaper och hög styvhet. Trycket på produkten är i teorin en atmosfär, alltså 101,325 KPa, vid havsnivå, vilket motsvarar ca 10000 kg/m². Resultatet är ett väldigt tätt laminat med högt fiberinnehåll jämfört med harts innehåll.

En annan metod som används främst vid tillverkning av skidor, snowboards, wakeboards och kiteboards är tillverkning i press. Denna metod har samma syfte som tillverkning med vakuum det vill säga att komprimera fibrerna.

5.1 Vakuuminfusion

Vakuuminfusion av en laminerad produkt sägs ge de bästa mekaniska egenskaperna. Målet med vakuuminfusion är att få ett laminat med så lågt lim innehåll som möjligt med andra ord ett så högt fiber innehåll som möjligt vilket ger ett mycket starkt och styvt material. Vakuuminfusion används inom industrin för produkter med höga krav på hållfasthet och låg vikt. Eftersom det är möjligt att laminera stora delar med denna metod används den mycket vid till exempel tillverkning av båtskrov, speciellt segelbåtar. Vid vakuuminfusion förbereds produkten helt torr. Fibermattorna läggs torra på produkten varefter en plastfilm läggs över formen där produkten ligger och luften suggs ut med

hjälp av en vakuumpump. När maximalt undertryck har uppnåtts öppnar man limkanalen och matrisen suges igenom fibrerna tack vare undertrycket. (Infusion Processes[www])

Repeterbarheten för massproducerade produkter tillverkade genom vakuuminfusion är väldigt god. Med andra ord blir resultaten väldigt lika. Dock är det mycket mera krävande att tillverka sandwich konstruktioner med vakuuminfusion än genom handlaminering eftersom man måste få limmet att flyta på båda sidor om kärnan. Detta kan man till exempel åstadkomma genom att dra limkanaler på båda sidor av kärnan. Detta leder dock till att man måste sänka in limkanalerna i formen. En annan metod är att göra hål eller spår i kärnan så att limmet kan flyta igenom kärnan. Den senare metoden används mycket inom segelbåtsindustrin. Ett annat kritiskt moment vid vakuuminfusion är vätningen. Detta är ett allmänt problem vid användning av täta eller tjocka lager av fiber. Därför måste ofta special lim med låg viskositet användas vid vakuuminfusion. Denna är ofta dyrare än motsvarande lim med normal viskositet. (Infusion Processes [www], Foam Core Materials in the Marine Industry [www])

Fördelar med vakuuminfusion är bland annat:

- Ren metod, kräver inte mycket rengöring av verktyg
- Högt fiber innehåll jämfört med volymen ger goda mekaniska egenskaper samt viktsparing
- Stora delar kan gjutas på en gång
- Lamineringen sker snabbt
- God repeterbarhet, samma resultat

Nackdelar med vakuuminfusion är bland annat:

- Kräver noggranna förberedelser
- Svårt att laminera sandwich på en gång
- Kräver mer utrustning än flera andra metoder
- Kräver dyrare lågvisköst lim
- Inte möjligt att rätta till fel som eventuellt uppstår vid infusionen
- Eventuella problem med vätning

5.2 Vacuum bagging

En annan vanlig lamineringsmetod är vacuum bagging alltså våtlaminering i vakuumpåse. Denna metod skiljer sig från vakuuminfusionen genom att armeringsfibrerna väts manuellt förrän de appliceras varefter den ohärdade produkten sätts i en form och vakuumpåsen läggs på. Denna metod kräver mera arbete för hand men kan vara ett bättre alternativ ifall endast några produkter skall tillverkas eller ifall man är osäker om vakuuminfusion skulle lyckas.

Fördelar med handlaminering är bland annat:

- Simpel metod, mindre risk att misslyckas
- Enklare att laminera sandwich än med vakuuminfusion
- Garanterar god vätning
- Möjligt att använda billigare limsorter än vakuuminfusion, kräver ej lågvisköst lim
- Kräver inte limkanaler i kärnan vilket sparar resurser
- Säkrare resultat för oprövad tillverkningsmetod, fel kan rättas till under arbetet
- Kräver mindre förberedelse och mindre utrustning än vakuuminfusion

Nackdelar med vacuum bagging är bland annat:

- Eventuellt inte lika goda mekaniska egenskaper som för vakuuminfusion
- Kräver mycket manuellt arbete med limmet, smutsigt
- Tidskrävande, begränsar storleken på produkten

5.3 Laminering i press

Till skillnad från vakuumlaminering används inte vakuum för att komprimera fibrerna vid laminering med press utan sandwichkonstruktionen pressas ihop för att skapa ett kompakt laminat. Denna metod används speciellt vid tillverkning av skidor, snowboards och sedan början av 2000-talet även för kitebräden. Metoden används för relativt tunna produkter som ofta har en träkärna och kanter av hårdare material, ofta ABS. Orsaken

till att man använder sig av en press och inte av vakuum är bland annat för att man laminerar flera olika komponenter på samma gång och därför kräver ett högre tryck över produkten för att få en starkare bindning mellan dem. Enligt Steve Palmer på Underground räcker inte trycket vid vakuumlaminering till då man laminerar kitebräden med träkärna, fibermaterial och toppskikt i PBT på en gång. Underground använder ett tryck på ca 60 psi det vill säga dryga 4 bar då de laminerar i press, vilket är ca fyra gånger högre än trycket man uppnår med vakuum.

Pressen består av två formhalvor som pressas mot varandra med hjälp av en luftkudde vilken hjälper till att fördela trycket jämnt. Tillverkning sker genom att den färdigtbearbetade kärnan våtlamineras för hand och alla komponenter läggs i pressens bottenform varefter toppformen läggs på och trycket höjs långsamt. Man kan försnabba härdningen genom att använda värmeslingor i formarna. (Steve Palmer - Underground kiteboards, Underground [DVD])

Denna metod begränsas dock av produktens storlek. Eftersom tryck är en kraft över en yta enligt $P = \frac{F}{A}$ [N/m² eller Pa] eller $F = PA$ [N] betyder detta i praktiken att ifall man vill ha 4 bars tryck, alltså 400 000 Pa, över en 1 m² stor produkt kräver detta en kraft på 400 000 N vilket dividerat med jordens gravitation ca 9.81 ger ca 40775kg alltså ca 41 ton! Detta ställer krav på pressens konstruktion med tanke på hållfasthet.

6 TILLVERKNINGSMATERIAL

6.1 Fibermaterial

Inom industrin används flera olika sorters fibermaterial, varav glasfiber och kolfiber är de vanligaste och mest använda. Aramid, eller kevlar som det kallas, som används i skottsäkra västar hör även det till de kändare fibermaterialen. I detta arbete kommer jag mestadels att använda mig av glasfiber.

6.1.1 Allmänt om fibermaterial

Det är inte enbart fibrerna och limmet som utgör produktens mekaniska egenskaper utan även fibrernas orientering och längd har ytterst stor betydelse för hur slutprodukten blir.

Med hjälp av fibrernas orientering i laminatet kan man ändra på vissa egenskaper hos produkten. Bland annat kan man ändra på böjligheten, styvheten i önskade riktningar. Till exempel vill man ha en kontrollerad böjning, så kallad flex, på längden på ett kitebräde. Därför kommer fibermaterialen i flera olika utföranden och grovlekar för olika krav. De vanligaste är flock, matta, roving, enkelriktad väv och väv. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

Flock är lösa fibrer utan orientering, oftast glasfiber, och används ofta bland annat tillsammans med polyester som spackel men även vid laminering där det inte är möjligt att använda matta. Armering med flock ger laminat med lågt fiberinnehåll, ca 20-30 % och dålig hållfasthet. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

CSM(Chopped strand mat) består av huggna fibrer som slumpmässigt ligger i alla riktningar. CSM är främst ämnat för användning med polyester eftersom fibrerna hålls ihop med ett bindmedel som smälter av polyesterns styren. Mattans fördelar är billigt pris samt enkel och snabb placering av armeringen över komplicerade former. Dessutom är de fysikaliska egenskaperna samma i laminatets alla riktningar. Till nackdelarna hör låg fiberhalt i laminatet, ca 30-50 %, samt dåliga hållfasthet. Glasfibermattor används allmänt i båtskrov och är ett första val för produkter där vikt och hållfasthet inte är av så hög betydelse. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

Roving är en otvinnad grov tråd bestående av tusentals armeringsfibrer. Roving används i fibervävar men kan användas som sådan vid laminering som förstärkning. Roving levereras i grovlekar mellan 1K och 24K där K står för tusentrådar. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

Enkelriktad väv eller UDR-Unidirectional Roving består av roving trådar bredvid varandra orienterad åt samma håll. Väven hålls ihop genom att den antingen är sydd, ofta med vanlig tråd, eller svetsad, med tunna plastfibrer, på tvären med jämna mellanrum. Enkelriktad väv används bland annat i konstruktioner där belastningsriktningen är känd, vid lokala förstärkningar i en konstruktion eller applikationer där man vill ha rikttad styvhet och hållfasthet. Ifall belastningsriktningen inte är känd kan man placera de olika lagrens väver med fibrerna i olika riktningar för att täcka olika riktningar. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

Det finns flera olika sorters vävar med olika mönster gemensamt har de att de alla är vävda av roving eller liknande garn av fibermaterial. Täta vävar som plain håller bra ihop medan medeltäta vävar som satin och twill har bättre draperbarhet det vill säga de

följer kurvor och former bättre än t.ex. plain. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

6.1.2 Glasfiber

Glasfiber, glassfibre eller fibreglass på engelska är grundstenen för komposita produkter. Glasfiber är som namnet säger tunna fibrer av glas med en tjocklek på mellan 0,001mm och 0,1mm som är väldigt starka i förhållande till sin diameter.

Det finns fyra huvudtyper av glasfiber, E-, S- C-glas och specialglasfiber.

E-glas är den vanligaste glasfiber sorten där E står för att den är elektriskt isolerande. E-glasfiber har även ett lågt pris i kombination med rätt hög draghållfasthet, ca 3400 MPa. Men den har även relativt hög töjning vid brottgränsen, ca 4,5 %, vilket betyder att den inte är så styv och ger en ganska låg E-modul på ca 75GPa. E-glas används allmänt inom laminering som armeringsfiber. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

S-glas har högre draghållfasthet än E-glas men även en hög töjning vid brottgränsen, ca 5,5 %, vilket ger en E-modul på ca 85GPa. S-glas används i konstruktioner med hög töjning och hållfast. S-glas har relativt högt pris som motsvarar kolfiber av sämre kvalitet. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

C-glas har hög resistans mot kemikalier vatten varför den används som ytskikt i laminat som skydd. C-glas används ofta som tunn matta. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

Till specialglasfiber räknas bland andra quartsglas med högvärmetålighet, L-glas med hög blyhalt som strålningskydd, högmodult M-glas med motsvarande hållfasthet som kolfiber och lågdensitets D-glas. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

Det glasfiber som används vid laminering levereras ofta som mattor och det finns flera olika sorter och grovlekar. Tack vare fibrernas orientering i väven kan man genom att placera väven med fibrerna orienterade på olika sätt bland annat ändra på slutproduktens styvhet i olika riktningar. Fibermattornas grovlek anges i g/m² och jag kommer att använda mig av ca 300g/m² vävd glasfibermatta. En vävd glasfibermatta är nästan som silke och dess mekaniska egenskaper kan först utnyttjas efter härdning av limmet. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

6.1.3 Kolfiber

Kolfiber är ett kristallint material som är extremt lätt och starkt. I kombination med epoxi eller liknande lim är det även väldigt styvt. Som namnet säger består de av kolatomer i keder som i tusental bildar extremt tunna tuber, fibrer. Kolfibrerna är väldigt tunna, endast mellan 5-10 μ m. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

För att kunna utnyttja kolfibrets mekaniska egenskaper skall det helst användas med epoxi, men även vinylester går bra. Problemet med kolfibermattor är att det kan uppstå problem med att mattorna inte väts ordentligt av limmet. Inom industrin är det därför vanligt att kolfibermattorna leveras förbehandlade med lim, så kallade prepregs. Prepregmattor härddar av värme varför produkten måste sättas i en ugn för att limmet skall härda. (Fiberkompositlaminering - Armeringsfibrer [www])

6.2 Matris

Matrisens uppgift i ett laminat är att binda fibrerna till varandra, hålla ihop laminatet samt skydda fibrerna från yttre påverkning. Matrisen är en härdplast som består av två komponenter, själva limmet och en katalysator, härdare. Katalysatorns uppgift i limmet är att skapa en kemisk reaktion så att limmets molekyler binds till varandra. Katalysator kallas ofta härdare och är olika för olika lim. Härdningsprocessen är irreversibel, det vill säga, härdplasten kan inte återgå till sitt ursprungsstadium efter härdning. Det är ofta av väldigt hög betydelse att mängden härdare i limmet är den rätta för att härdningsförloppet skal bli det rätta. För mycket härdare orsakar ofta att matrisen överhärddar och blir skör medan för lite gör att matrisen inte härddar tillräckligt utan bli mjuk eller förlorar sina egenskaper.

De tre vanligaste matriserna för laminering är polyester, vinylester och epoxi.

6.2.1 Polyester

Polyester är den klart mest använda och billigaste matrisen inom laminering. Den används ofta i samband med glasfiber av flock- eller CSM-typ i billiga massproducerade

kompositprodukter där varken vikt eller hög hållfasthet är av så stor betydelse. Dessutom används polystyren som främsta matris inom fritidsbåtsindustrin. Andra typiska produkter där polystyren används är soptunnor, busshållplaster etc. (Fiberkompositlaminering - Matris[www])

Polyester är lösningsmedelsbaserat och innehåller upp till 50 % styren. Styrenet i polyestern är viktig för att härdningen sker korrekt samt bidrar till att sänka polyesterns viskositet, det vill säga göra den mer lättflytande, vilket förbättrar vätningsförmågan.

Vid härdning avger polyestern styren som är en starkt luktande gas som både är brandfarlig och kan vara farlig vid inandning. Som katalysator för polyester används ofta MEK-Peroxid (Metyl Etyl Keton Peroxid). Polyesterns största fördel är att den är billig. (Fiberkompositlaminering - Matris[www])

6.2.2 Vinylester

Vinylestern är mycket lik polyestern men skiljer sig genom att den har starkare bindningar vilket ger bättre mekaniska egenskaper. Dessutom har vinylestern färre estergrupper än polyestern vilket gör den mindre känslig för vatten. Vinyl ester innehåller även betydligt mindre styren än polyester. Vinylestern utmärks genom god beständighet mot yttre miljöpåverkan och kemikaliebeständighet samt relativt goda mekaniska egenskaper. Dock måste vinylestern värmehärdas under den senare delen av härdningen för att uppnå bästa mekaniska egenskaper. Härdning sker med en peroxid som katalysator, dock inte samma som för polyestern. (Olli Saarela, Ilkka Airasmaa, Juha Kokko, Mikael Skrifvars, veikko Komppa 2003 s.44, Håkan Damberg 2001 s.41–42, (Fiberkompositlaminering - Matris[www])

Vinylester används i applikationer där goda mekaniska egenskaper krävs men där även priset är av stor betydelse. Sådana applikationer är till exempel båtdäck. (Fiberkompositlaminering - Matris[www])

6.2.3 Epoxi

Epoxi är en kopolymer och består av två komponenter i mer eller mindre lika stor volym andel. Epoxins baskomponent är en lång molekylär kedja med epoxigrupper i ändorna. Den vanligaste epoxin tillverkas genom en reaktion mellan bisfenol-A och epiklorhydrin. (Olli Saarela, Ilkka Airasmaa, Juha Kokko, Mikael Skrifvars, veikko Komppa 2003 s.46)

Tillskillnad från de esterbaserade matriserna skär härdningen inte med en katalysator utan genom tillsättning av en annan komponent, ofta en amin. Härdningen bildar starka bindningar mellan kedjorna och skapar en komplex och stark tredimensionell molekylär struktur.

Eftersom epoxin, tillskillnad från vinyl- och polyestern, inte innehåller estergrupper är den därför mera beständig mot vatten och den är även mycket beständig mot kemikalier och yttre påverkning. en annan god egenskap hos epoxin är att den har väldigt liten krympningsgrad vid härdning vilket minimerar inre spänningar och resulterar i de extremt goda mekaniska egenskaperna samt goda limnings- och vätningsförmåga. Tack var epoxins goda mekaniska egenskaper kan den användas för väldigt krävande applikationer. (Olli Saarela, Ilkka Airasmaa, Juha Kokko, Mikael Skrifvars, veikko Komppa 2003 s.47)

Epoxins stora nackdel är att den är dyr jämfört med vinylestern och polyestern men dens övriga egenskaper gör den ändå ofta till ett första val för applikationer där vikt och styrka är av högsta prioritet. (Håkan Damberg 2001 s. 43, Fiberkompositlaminering - Matris[www])

6.2.4 Matrisens vätnings- och limningsförmåga

Inom laminering talas det mycket om vätning och limningsförmåga hos matrisen. Limmets vätningsförmåga anger hur bra det flyter i fibermaterialet samt hur bra det fyller tomrummet mellan fibrerna och på så sätt blöter fiberlagren i laminatet. Vätningen är en kritisk del av lamineringsprocessen eftersom det är grunden för laminatets slutliga mekaniska egenskaper. Målet är att få ett så tätt och homogent material som möjligt.

Täta armeringsvävar är svåra att väta eftersom limmet har svårare att flyta mellan de tätt packade fibrerna. Vissa material är svårare att väta än andra och olika matriser har olika bra vätningsförmåga. Genom att använda lim med lägre viskositet kan man öka vät-

ningsförmågan. Epoxi har tack vare sin kemiska struktur bättre vätningsförmåga än t.ex. polyester. Vissa armeringsfibrer är svårare att väta än andra. Till exempel aramid är svårt att väta på grund av sin kemiska struktur varför man bör använda epoxi vid laminering av aramidfibrer.

Matrisens förmåga att fästa sig vid fibrerna eller limningsförmåga som det kallas är även det en viktig faktor som påverkar slutproduktens mekaniska egenskaper. Fibrerna i sig suger inte upp limmet utan det är limmets kemiska struktur som skapar adhesionen. Dessutom krävs god limningsförmåga för att hålla ihop laminatet och kärnan samt eventuella kanter och ytbeläggning.

Vinylester har bättre limningsförmåga än polyester men epoxi har den klart bästa limningsförmågan av dessa tre.

Limmets största uppgift i ett laminat är att binda fibrerna till varandra och på sätt fördela kraften som laminatet utsätts för över fibrerna. Fibrerna i sig kan endast ta upp ren dragande belastning i fibrernas riktning. Det är först i kombination med limmet som de även tar upp tryckande belastning. Ett laminats goda hållfasthet uppnås endast ifall limmets bindning av fibrerna till varandra är tillräckligt god.

6.3 Kärnmaterial

6.3.1 Honeycomb

Honeycomb är ett av de lättaste och starkaste kärnmaterialen och används bland annat i stridsplansvingar. Honeycomb består av en papperskonstruktion indränkt i lim och liknar binas vaxkonstruktioner, därav även namnet honeycomb. Honeycomb är oerhört dyrt varför man ofta använder billigare kärnor gjorda av skumplaster eller trä.

6.3.2 PVC

Polyvinyl klorid- eller PVC-skumplast är en relativt hård skumplast med goda mekaniska egenskaper. Dess fördelar är främst goda styvhet och hårdhet trots låga vikt samt beständighet mot miljöpåverkningar så som fukt med mera. PVC-skumplast används i stor utsträckning vid tillverkning av båtar, ofta i stora segelbåtsskrov. PVC-skumplast

finns i flera olika densiteter. Allt från 40 kg/m² till 250 kg/m² används. Densiteten bestämmer materialets hårdhet/styvhet. Nackdelen med PVC-skumplast är att den är relativt dyr, dock billigare än honeycomb, och inte så miljövänlig. (PVC Foam [www]) Olika tillverkare har gett eget namn åt sin PVC-skumplast. Kändast är troligen DIABs divinycell, men även Gurits Corecell och ALCANs Airex är allmänt använda namn för materialet. PVC-skumplast kan tillsammans med honeycomb räknas till de högteknologiska kärnmaterialen och används i dyra och krävande produkter så som stora segelbåtar, i vingar på flygplan, vindkraftverksvingar och så vidare.

6.3.3 Polyuretan

Polyuretanskumplast är ett tredje kärnmaterial som är allmänt känt. PU-skumplast liknar PVC-skumplasten och används för liknande applikationer där inte lika höga krav på mekaniska egenskaper ställs. Den är betydligt billigare än PVC-skummet men saknar även dess goda mekaniska egenskaper samt tålighet mot yttre miljöpåverknin g så som fukt, kemikalier etc.

6.3.4 Trä

Trä används ofta som kärnmaterial eller som tillägg i snowboard, skidor, wakeboard, kiteboard och andra sport relaterade produkter. Speciellt uppskattas träets goda böjlighet, så kallade flex, och ”känsla” samt goda mekaniska egenskaper för nämnda produkter. Dessutom är trä ofta billigare än PVC varför det används istället.

7 FAKTORER SOM PÅVERKAR KITEBRÄDETS KÖREGENSKAPER

Genom att diskutera med brädestillverkare, brädes representanter, professionella kiteboardare och på basis av egen erfarenhet och preferenser genom att testa och jämföra olika bräden och brädestyper har jag fått information om väsentliga driftsegenskaper. Här följer resultatet av mina studier om vilka faktorer som påverkar egenskaperna hos ett kitebräde samt hur de gör det. Flera egenskaper har ett samband till varandra och

främst handlar det om att nå en kompromiss mellan olika egenskaper för att få ett bräde som fungerar på önskat sätt. Därför kan man i större grad inte maximera egenskaperna utan istället försöker man optimera dem för ändamålet.

7.1 Kitebrädets form

Kitebrädets form, bortsett från storlek och modell, har stor betydelse för hur brädet fungerar. De viktigaste faktorerna som påverkar egenskaperna är rocker, outline, bottenform och flexmönster. Förutom dessa egenskaper kan man med olika former på ändorna, fenplacering, fenornas storlek och kanternas utformning finjustera egenskaperna. Genom att variera dessa kan man i stora drag få önskade egenskaper.

7.1.1 Rocker

En djup rocker ger ett bräde som går mjukt i vågor och gör även brädet snabbt att svänga. En djup rocker gör dock att brädet planar sämre. Ett plattare bräde planar bättre och kör rakare men är inte lika livligt och känns kantigt i grov sjö, eller chop som det kallas. Dessutom har ett bräde med flat profil benägenhet att i dyka ifall man inte har tillräckligt med tyngd på bakre foten.

Djup rocker:

- går mjukt i vågor
- ger mjuka landningar
- behöver mycket kraft i draken
- planar sent

Plan rocker:

- planar tidigt
- känns lätt under fötterna
- behöver lite kraft i draken
- känslig för vågor
- hårda landningar

7.1.2 Outline

Ett runt bräde kör mjukt i vågor och är livligt medan ett rakare bräde är snabbare och har bättre kontroll. Men i kombination med en flat rocker blir ett rakt bräde känsligt för vågor och har benägenhet att skvätta mycket.

Ett rundare bräde:

- går mjukt i vågor
- livligt
- långsammare än ett rakare bräde

Ett rakare bräde:

- snabbt
- går rakare
- lugnare
- känsligare för vågor än ett runt bräde

7.1.3 Fören och akterns form

Hos ett twintipbräde har fören och akterns utformning mindre betydelse än hos ett surfbräde eller ett skimbräde eftersom aktern på twintipbräden är böjd och styr vattnet på annat sätt. Men hos alla bräden är det ändå aktern som är av större betydelse eftersom fören är ovanför vattnet. Det finns en uppsjö av olika former men den har ändå mera estetisk än funktionell betydelse. Enligt Underground påverkar akterns utformning köregenskaperna endast från kanten ungefär fram till fenornas placering på bredden. Mellan fenorna har formen knappt någon betydelse alls.

7.1.4 Flexmönster

Med flexmönster menas på vilket sätt och vilka delar av brädet som flexar. Det är en viktig del av kitebrädet och har med tiden blivit ännu viktigare och förfinad. Flexen fungerar som fjädringen på en bil och gör det mycket bekvämare och bättre att åka. Olika bräden har olika flexmönster beroende på ändamålet men gemensamt har de att

ändorna har mer flex än mitten av brädet. Som med de andra faktorerna försöker brädetillverkarna optimera flexen. Till exempel har nybörjarbräden ofta mera flex än ett tävlingsbräde och dessutom även flex som går längre över brädet och inte bara i ändorna. Flexen gör brädet bekvämt, följsamt och förlåtande men gör det även för mjukt för riktigt hård körning. Tävlingsbrädena däremot är ofta väldigt styva på mitten mellan bindingarna men mjukare mot ändorna.

Fördelar med mycket flex är:

- God stötdämpning i vågor och hårt väder samt vid landningar
- Gör brädet följsamt och förlåtande
- Gör det lättare att kanta och svänga
- Lättare att åka, inte lika tungt att kanta, kryssa etc.

Nackdelar med mycket flex är:

- Brädet blir för mjukt, ger efter vid skarpa svängningar
- Klarar inte av att köras riktigt hårt
- Sämre pop
- Sämre hållfasthet p.g.a. lägre E modul

Dessutom är det kritiskt för tunga åkare eller vid hård körning att inte ha för mycket flex eftersom det ändrar på brädets rocker och försämrar köregenskaperna. Ifall man har för mjukt bräde böjs det för mycket och brädet planar sämre då det börjar bromsa.

Själv föredrar jag ett bräde med lite mera flex eftersom det är lättare att åka och känns mera följsamt och eftersom jag inte väger så mycket fungerar det bättre för mig, även då brädet körs hårt.

7.2 Bottnens utformning

När det gäller bottnens utformning tog det en relativt lång tid förrän det på allvar började hända något inom detta område. Det experimenteras en hel del inom kitevärlden på denna front just nu och det är speciellt här tillsammans med materialsammansättning som de nya innovationerna kommer fram. I början var det flata botten som var normen

med vissa undantag men på senare tid har det kommit fram mer och mer avancerade bottenprofiler.

7.2.1 Konkava botten

Förutom flata botten började det rätt tidigt även dyka upp konkava botten, det vill säga botten som var böjda inåt. Ett konkavt botten främsta fördelar är:

- Ger mera lyft än flata botten
- Planar tidigare
- Ger mera grepp åt kanten eftersom den ligger lägre
- Ger mera styvhet åt brädet med mindre material

Nackdelarna med ett konkavt botten är:

- Brädet blir långsammare
- Brädet blir nervösare, speciellt då det körs plant
- Brädet är svårare att lyfta från vattnet för hopp eftersom det ”klibbar fast”
- Svårare att tillverka

Flera av dagens bräden har så kallade dubbelkonkav botten. Ett dubbelkonkavt bräde har en rygg emellan vilken skall minska ett enkelkonkavs nervösa köregenskaper och hjälpa brädet att gå rakare utan att försämra dess övriga goda egenskaper.

7.2.2 Kanternas utformning

Kanterna ger tillsammans med fenorna grepp åt brädet. Ofta kombineras skarpa och runda kanter för att ge rätt balans. Till exempel kan kanten vara skarp på mitten och runda av mot ändorna och vice versa.

Skarpa kanter:

- ger bra grepp
- brädet går som på räls
- underlättar vid kryssning och hårt väder

- mindre fenor kan användas
- kräver exakt styrning för att inte kanten skall hugga

Runda kanter:

- mjuk körkänsla
- brädet känns livligt
- brädet lättar att hantera
- svårare att kanta vid hårt väder
- kanten tappar lätt greppet

7.2.3 Kanaler

Kanaler eller så kallade chanelns är som namnet säger längs gående kanaler i botten som hjälper brädet att styra vilket gör att brädet fortfarande styr bra med mindre eller till och med inga fenor. Detta används speciellt i bräden som är menade för att köras i ramper och dylikt.

7.2.4 Fenornas placering och storlek

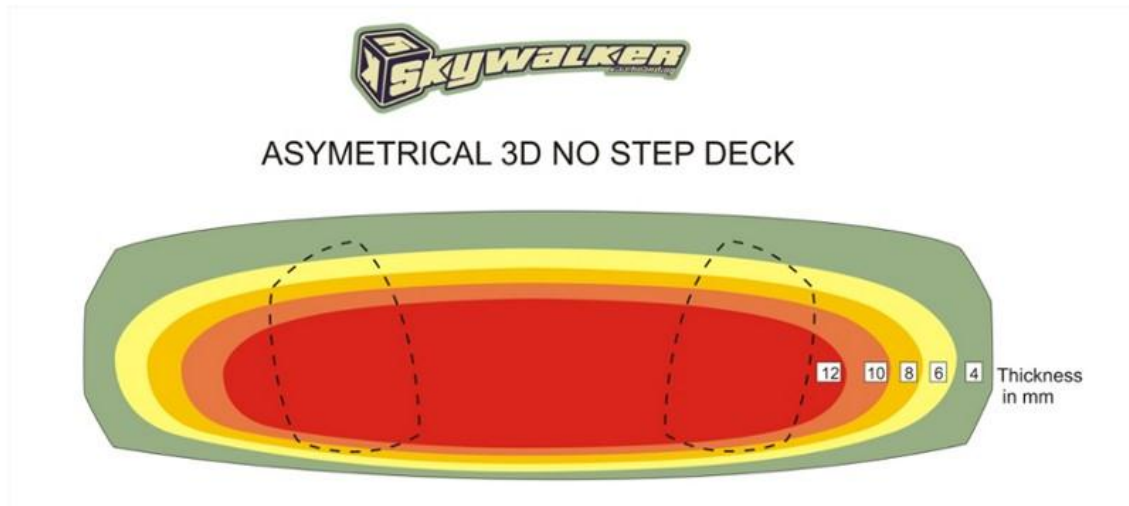
Med fenornas placering kan man ändra hur brädet greppar, svänger och hur bra i linje brädet går. Om man har fenorna längre bak gör det att brädet går rakare men gör att det är trögare att svänga och vice versa.

Stora fenor ger mera grepp men gör även brädet trögare att svänga medan mindre fenor gör brädet lekfullt men även mera okontrollerbart speciellt i starkare vind.

7.3 Konstruktion

På basis av mina studier om kitebrädens driftegenskaper har det visat sig att flexen och bottenens utformning störst inverkan på kitebrädets driftegenskaper. Efter som flex är beroende av faktor D i sandwichprincipen kan denna påverkas rent konstruktionsmässigt medan bottenens utformning påverkas geometriskt.

Olika tillverkare har använt sig av olika metoder för att ändra och optimera på flexen hos sina bräden men ofta har de gemensamt att de antingen ändrar på tjockleken på olika ställen på brädet för att optimera flexen.



Figur 7 Optimering av flex genom förändring av tjocklek i ett bräde. (Skywalker[www])

Detta kan förklaras med sandwich principen där man kan se att den faktor som mest påverkar på styvheten är faktor d med andra ord tjockleken av sandwichen.

$$D = EI = \frac{E_s b t^3}{6} + \frac{E_s b t d^2}{2} + \frac{E_c b c^3}{12} \text{ [Nm}^2\text{]}$$

Eftersom E modulen för skinnet är en kombination av matrisens och fibrernas E modul blir den sammansatta E modulen för skinnet E_s (The Design of Composite Materials[www]):

$$E_s = (1 - f)E_m + fE_f$$

E_m = E modul för matrisen, 4,5 GPa för epoxi (se Bilaga 1)

E_f = E modul för fibrerna, 72.5 GPa för E-glas (Reinforcements[www])

f = volym andel

Den totala E modulen för ett laminat med 60 % fiber volymandel blir:

$$E_s = (1 - 0.4)4.5\text{GPa} + 0.6 \times 72.5\text{GPa} = 46.2\text{GPa}$$

För kitebrädet antas följande värden:

$$E_s = 46.2\text{GPa}$$

$$E_c = 81\text{MPa} = 0,081\text{GPa} \text{ (Corecell A500 se datablad)}$$

$$b = 400\text{mm}$$

$$d = 11,5\text{mm}$$

$$t = 0,5\text{mm}$$

$$c = 11\text{mm}$$

Ifall kärnans tjocklek är betydligt större än skinnets $\frac{d}{t} > 6$ och kärnan betydligt svagare

än skinnet $\frac{E_s}{E_c} \times \frac{td^2}{c^3} > 17$, vilket gäller för kiteskimbrädet då:

$$\frac{d}{t} \text{ blir } \frac{11,5\text{mm}}{0,5\text{mm}} = 21 \text{ vilket är större än } 6,$$

och

$$\frac{E_s}{E_c} \times \frac{td^2}{c^3} \text{ blir } \frac{46.2e^9\text{Pa}}{0,081e^9\text{Pa}} \times \frac{0,5e^{-3}\text{m} \times (11,5e^{-3}\text{m})^2}{(11e^{-3}\text{m})^3} \approx 28 \text{ vilket är större än } 17,$$

kan ekvationen förenklas till:

$$D = EI = \frac{E_s b t d^2}{2} [\text{Nm}^2]$$

Så om man jämför tjockleken av brädet i figur 7 på det tjockaste jämfört med smalaste stället d.v.s. 12mm resp. 4mm och jämförelsevis ser det som två jämntjocka bräden med samma bredd på 40cm och antar att laminaten är 0,5mm tjocka med en E modul på 46.2GPa och blir det för 12mm tjocklek:

$$D = \frac{E_s b t d^2}{2} = \frac{46.2e^9\text{Pa} \times 0,4\text{m} \times 0,5e^{-3}\text{m} \times (11,5e^{-3}\text{m})^2}{2} = 610.995 \text{ Nm}^2$$

och för 4mm tjocklek:

$$D = \frac{E_s b t d^2}{2} = \frac{46.2e^9\text{Pa} \times 0,4\text{m} \times 0,5e^{-3}\text{m} \times (3,5e^{-3}\text{m})^2}{2} = 56.595 \text{ Nm}^2$$

Om man sedan jämför dem med varandra:

$$\frac{610.995\text{Nm}^2}{56.595\text{Nm}^2} \approx 10,8$$

Resultatet visar att det 12mm tjocka brädet skulle vara 10.8 ggr styvare än det 4mm tjocka.

En annan metod är att använda olika material för att öka på styvheten i önskad riktning. Främst används kolfiber som förstyvning men även extra lager glasfiber, trä, metall eller kombinationer av olika kärnmaterial osv. Teorin bakom förstyvningen är att skapa ett skin med högre E vilket ger en styvare konstruktion då $D=EI$.

8 PLANERING AV ETT KITESKIMBOARD

Målet är att bygga ett kiteskimboard i sandwichkonstruktion med kärna i PVC-skumplast. Dess viktigaste egenskap är att kunna köras i verkligt lätta vindar, det vill säga det skall plana tidigt. Dessutom skall det vara lätt och kännas livligt.

8.1 Form och mått

Ett bräde med en längd på ca 1300mm och bredd på ca 400mm har visat sig vara en lämplig storlek för en person som väger ca 75kg i vindar börjandes från ca 6 m/s. För att brädet skall plana och kryssa i ännu lättare vindar skall skimbrädet vara större men inte för stort för att det inte skall vara klumpigt. Eftersom ett längre bräde har mer motstånd och blir trögare att svänga görs brädet därför bredare för att ge mer area. Brädets mått fastslås därför till 1350mm på längden och 510mm på bredden.

Eftersom brädet skall plana så lätt som möjligt görs rockern plan över största delen av brädet medan endast fören har rocker för att förhindra att fören sjunker och för att gå bättre i vågor då fören hålls ovanför vattnet. Ett twintipbräde har normalt en rocker på mellan 30mm och 50mm varför skimboardet får en jämn rocker på 35mm. Rockern börjar 550mm från fören vilket ungefär är var framfoten hålls vid normal åkning.

För att ge livliga och mjuka köregenskaper väljs en relativt rund, droppformad outline med avsmalnande akter. På grund av att brädet är helt plant ända ut i aktern är det skäl

att inte ha för skarpa kanter för att inte ta bort livligheten men ändå tillräckligt skarpa för att ge tillräckligt med grepp åt det breda brädet.

Fenorna placeras så att bakkanten är ca 40mm från kanten och ungefär var bakfoten skall vara. Detta borde enligt Underground ge bra kontroll med bibehållen livlighet eftersom man har ena tyngdpunkten på fenorna.

8.2 Materialval

Epoxi är tack vare sina goda mekaniska egenskaper den klart vanligaste hartsen vid tillverkning av kitebräden varför även jag har valt att använda epoxi trots att det är betydligt dyrare än andra hartser.

Eftersom glasfiber är betydligt billigare än kolfiber men ändå har goda hållfasthetsegenskaper och är ett vanligare tillverkningsmaterial vid tillverkning av kitebräden väljs detta. Som kärnmaterial väljs Corecells A500 skumplast eftersom det har tillräckligt hög styrka för att tåla trycket från fötterna då dess kompressionsstyrka är 0.9MPa. Då trycket på brädet ofta kommer från hälen och hälens mått approximativt är 70mm x 60mm blir arean ca 4200mm². Om man konservativt antar att brädet skall hålla 300kg d.v.s. 150kg per fot alltså $150\text{kg} \times 9.81\text{m/s}^2 = 1471.5\text{N}$ blir trycket per mm² $1471.5\text{N} / 4200\text{mm}^2 \approx 0,35\text{N/mm}^2$.

Då 1MPa är $1 \times 10^6\text{N/m}^2$ och 1m^2 är $1 \times 10^6\text{mm}^2$ blir $1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2$

Det vill säga 0.9MPa räcker väl.

8.3 Beräkningar av brädets hållfasthet och styvhet

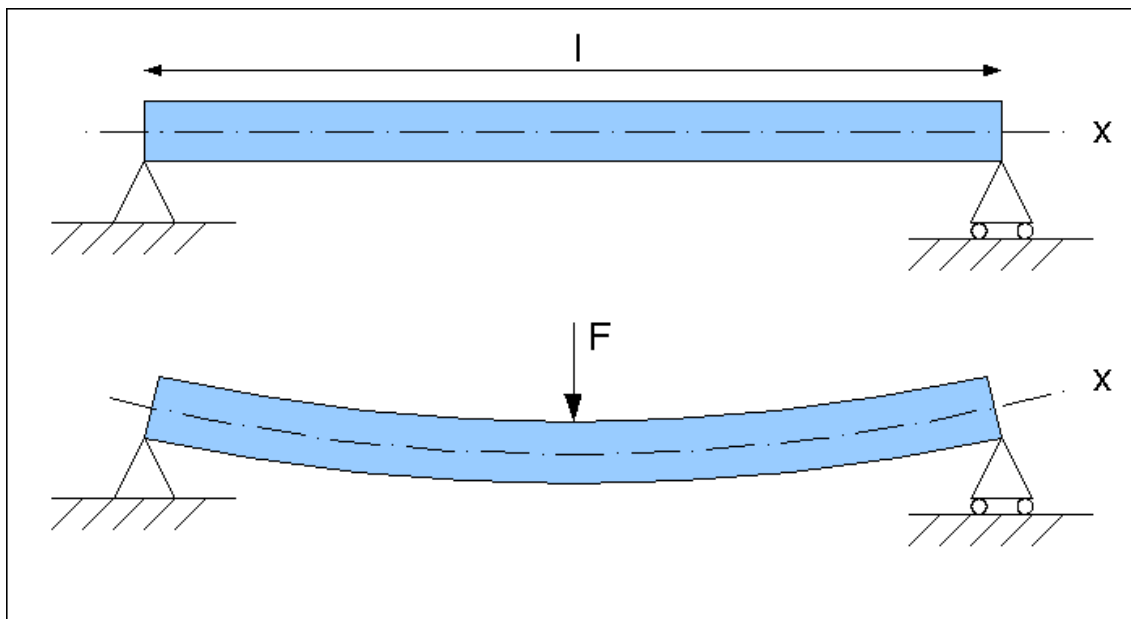
För att kunna räkna ut hållfasthet och styvheten för brädet krävs att man vet de olika komponenternas egenskaper. Detta kräver även att man känner till tjocklek av laminatet samt fibrernas och hartsens volymandel. Tyvärr finns denna information inte eftersom inga sådana tester gjordes då det varken fanns möjlighet eller tillräckligt med material för att utföra sådana tester då brädet byggdes. Därför görs istället en approximation av värdena på basis av liknande material. Ett minimivärde för laminatens dragstyrka be-

stäms till 450MPa vilket baserar sig på tester utförda under Arcadas kurs Kompositteknologi laborationer(Rene Herrman[kurs]).

Ett konservativt antagande av hållfasthetskrav är att anta att brädet är en balk som stöds på två ställen och utsätts för en belastning på mitten (se Figur 8). Detta representerar ett extremfall där brädet är mitt emellan två vågtoppar och åkarens tyngd belastar brädet.

Brädets ändor antas vara 15cm i vågorna varför balkens längd bestäms till 135cm – 2x15cm=105cm. Balkens bredd motsvarar brädets medelbredd vilken jag approximerar till 40 cm vilket baserar sig på en approximerad area på 0,53m² dividerat med längden 135cm vilket ger 39,3cm.

Som konservativt värde för maximal belastning bestäms 300kg, alltså 300kg x 9.81m/s²=2943N, vilket kan ses som den maximala belastningen som brädet skall hålla för. (FE-Analysis and lay-up strategies for a kiteboard [www])



Figur 8. Böjning av en balk(Beam bending[www])

Brädets böjstyvhet då bredden är 40cm, tjockleken är 12mm och laminatets tjocklek är 0,5mm blir:

$$D = EI = \frac{E_s b t d^2}{2} = \frac{46.2e^9 Pa \times 0.4m \times 0.5e^{-3}m \times (11.5e^{-3}m)^2}{2} = 610.995 \text{ Nm}^2$$

Hållfasthetsuträkningen baserar sig på att använda den maximala belastningen på 2943N för att räkna ut spänningen i laminatet och jämföra det med laminatets dragstyrka på 450MPa.

För att räkna ut spänningen används följande formel(Strength of Sandwich Structures[www]):

$$\sigma_f = \frac{MyEf}{EI} = \frac{M}{btc} = \frac{Pl}{B3btc}$$

Där:

σ_f = spänning i laminatet

M = moment

y = avstånd(höjd) från konstruktionens mittpunkt = halva tjockleken = 6mm

E_f = Laminatets E modul = 46.2GPa

EI = böjstyvhets = D = 610.995Nm²

P = Kraft = 2943N

l = längd = 105cm

b = bredd = 40cm

t = laminatets tjocklek = 0.5mm

c = kärnans tjocklek = 11mm

B_3 = geometrisk konstant beroende på böjningsfallet = 4 för denna typ (Design and Properties of Sandwich Core Structures[www])

För att räkna ut spänningen σ_f krävs att man räknar ut momentet M enligt:

$$\frac{M}{btc} = \frac{Pl}{B3btc}$$

Vilket kan förenklas till:

$$M = \frac{Pl}{B3} = \frac{2943N \times 1.05m}{4} = 772.5375Nm$$

Då kan spänningen räknas ut enligt:

$$\sigma_f = \frac{MyEf}{D} = \frac{772.5375Nm \times 6e^{-3}m \times 46.2e^9N/m^2}{610.995Nm^2} = 3500489603N/m^2$$

$$\approx 350\text{MPa}$$

Det här visar att en tyngd på 300kg på brädets mitt skulle orsaka en spänning på 350MPa i laminatet vilket är mindre än 450MPa som materialet håller för. Med andra ord är det tillräckligt att ha en total tjocklek på 12mm med laminat på 0.5mm och med en dragstyrka på 450MPa för att uppnå tillräckligt hög hållfasthet av brädet. Teorin är mycket förenklad på grund av kitebrädets varierande dimensioner och belastningsfallet kan ses som väldigt extremt eftersom kiteskimbrädet är menat för lätta vindar och inte utsätts för sådan belastning. Men resultatet visar att det i varje fall klarar av en sådan belastning utan att brista.

8.4 Materialbehov

Ett ofta använt fibermaterial för kitebräden är plain glasfiberväv. Denna väv har fibrerna orienterade i riktningarna $0^\circ/90^\circ$ och ger både styvhet på längden och bredden. För att uppnå ett laminat med en tjocklek på 0.5mm används två lager 200g/ m² glasfiberväv per sida. Brädets area approximerar jag till 0,53m² vilket betyder att det går åt ca 0,6m² glasfiber per lager och det krävs fyra lager vilket betyder totalt ca 2,4m². Totala vikten för glasfibret blir $2,4 \text{ m}^2 \times 200\text{g/ m}^2 = 480\text{g}$.

Det krävs ungefär samma viktmängd harts som fibrer plus lite extra beroende på tillverkarens erfarenhet vilket betyder att det går åt ungefär 500g harts. (Diskussion om tillverkning av kitebräden[muntl.]

8.5 Val av tillverkningsmetod

Eftersom tillverkning i press inte lämpar sig för tjocka PVC-kärnor ligger valet av tillverkningsmetod mellan vakuuminfusion och våtlaminering. På grund av knapp materialtillgång finns det endast material för ett bräde vilket betyder att lamineringen måste lyckas på första gången. Vakuuminfusion vore en fungerande metod men har högre risk att misslyckas än våtlaminering eftersom man inte kan påverka lamineringen efter att limmet tillförts. Dessutom kräver vakuuminfusion även mera förberedelse av bland annat kärnan för att hela produkten skall bli vätt vilket är ytterst kritiskt för en lyckad la-

minering. Detta kan medföra problem vilka inte kan rättas till under lamineringen vilket skulle kunna resultera i en förstörd produkt. Eftersom det handlar om en relativt liten produkt vilken är lätt att handskas med under lamineringen och eftersom det endast byggs ett bräde spelar vakuuminfusionens fördelar gentemot våtlaminering ingen roll. Eftersom vakuuminfusion inte medför några fördelar för detta projekt och har större risk att misslyckas på första försöket blir det naturliga valet våtlaminering som tillverkningsmetod för brädet.

9 EXPERIMENT ATT TILLVERKA ETT KITEBRÄDE MED SANDWICHTEKNIK

9.1 Mål och förväntningar

Jag hoppas med detta experiment lyckas bygga ett kiteskimbräde som uppnår önskad styvhet och hållfasthet och vars kvalitet motsvarar ett kommersiellt bräde. Eftersom det är första gången jag bygger en produkt i sandwich blir det intressant att se vilka problem som uppstår. Eftersom själva lamineringsprocessen måste ske rätt snabbt eftersom hartsen härdar blir det spännande att se ifall man hinner laminera hela brädet förrän det är för sent.

9.2 Använda material och verktyg

- Kärna, Corecell, skuren och formad i CNC maskin
- Matris, Epoxi, TP 33
- Härdare, West Systems 206
- Mikrobollar
- Glasfiberväv, plain 200g/2 0°/90°
- Peelply, släppningsfilm
- Andningsfilm
- 10 oz/yd² glasfiberväv för uppsugning av överlopps harts

- Spackel
- Rockerbord
- Vakuumpump

9.3 Bearbetning av kärnan

Första steget var att slipa rent brädet och forma kanterna till önskad form. Slipandet utfördes med sandpapper och slipblock. Det är viktigt när man slipar att man använder sig av ett slipblock för att få en så jämn slipning över hela brädet som möjligt. PVC skum är väldigt enkelt att slipa eftersom det är skört och hårt. Kärnan mätte 1350mm på längden, 510mm på bredden, 18mm på tjockaste stället och vägde 820g som oslipat och 780g som färdigslipat.

Jag använde Undergrounds Future fenor som är 50mm höga och 125mm långa. Fenornas placering ritades ut och ett rektangulärt block skars ut för fenoinsatsen. Fenornas fästningshål är för M6 skruvar och är enligt standard 1,5 tum, ca 38mm, från varandra. Fenoinsatsen skar jag ut i ABS plast som jag slipade och flambehandlade för att förbättra limningen varefter kanterna rundades av. Fenoinsatsens uppgift är att ge extra styrka kring skruvhålen och förhindra att kärnan och laminatet förstörs ifall man kör på sten eller dylikt.

Kanterna formade jag enligt gammal surfbrädes princip med runda kanter från fören till ungefär en handflats längd från fenornas framkant varefter kanten blir vassare. De runda kanterna gör att brädet glider över sin kant och inte hugger oväntat då brädet körs vanligt med tyngden över hela brädet medan de vassare kanterna närmare aktern ger bättre grepp i svängarna då tyngden sätts på aktern.

Efter att brädet slipats färdigt var det dags att välja ut en lämplig rocker för brädet. Eftersom detta är ett kiteskimboard som skall fungera bra i lätta vindar valde jag en relativt plan rocker som endast har böjning i fören medan aktern är plan. Resultatet var en mer eller mindre jämn rocker på 35mm börjandes ca 550mm från fören.

9.4 Laminering

Sedan var det dags att skära ut glasfiberväven. Vävens gränser ritades ut med hjälp av en penna i en rulle som drogs längs med brädets kanter. Även brädets för och akter ritades ut för att underlätta placeringen. Sedan skars bitarna ut med en skärare. Några små bitar på ca 70x100mm skars även ut.

Före brädet laminerades skulle det först täckas med bog, en trögflytande blandning av epoxi och mikrobollar. Mikrobollarna är ett ljusbrunt, dammaktigt material som används för att fylla ut epoxin och göra den mer trögflytande. Syftet med att täcka kärnan med bog före laminering är att förhindra kärnan från att suga upp för mycket lim ur laminatet vilket kan resultera i ett för torrt laminat vilket gör laminatet svagt eller öka brädets vikt ifall laminatet är för väl vätt. Epoxiblandningen brädes ut över kärnan varefter all överflödigg bog togs bort med ett spackel. Det är viktigt att försöka få bort all överflödigg bog för att hålla nere vikten.

Jag hade blivit rekommenderad att använda 200g epoxi. Mängden harts som behövs är ungefär samma som vikten av fibermaterialet. Dock räckte det inte helt till att väta laminatet så jag blandade ytterligare ca 50g harts vilket gav en total harts mängd på 500g vilket är vad jag approximerat att skulle gå åt. Laminatet vättes för hand med ett spackel. När väven blivit helt genomskinlig är den vätt. Därefter rullades fiberväven upp på en rulle och sedan över brädet varpå laminatet stryktes ut med spackeln. Man skall börja med att laminera undersidan eftersom det stryks runt kanterna och in på översidan. Det visade sig vara relativt krångligt att få väven att följa kanterna trots att det klipptes på lämpliga ställen för att inte bli skrynkligt. Det visade sig även vara svårt att få den vätta väven att fastna på översidan, så det resulterade i att jag måste stryka harts längs med kanterna för att få väven att klibba.

Efter att bottenlaminatet var applicerat lades brädet med en tyngd på rockerbordet och feninsatserna limmades på plats med bog. Tyvärr gjorde jag ett misstag här och fyllde inte igen hela gropen som uppstod på grund av skillnaden i tjocklek mellan feninsatsen och kärnan. Jag var rädd att vakuumtrycket skulle trycka ut limmet ur håligheten och in mellan laminatet och kärnan och fyllde därför inte gropen helt och hållet. Detta resulterade i luftbubblor och ojämnheter vid feninsatsen vilka jag sedan skar upp och fyllde med bog.

Efter att feninsatserna var på plats var det topplaminatets tur. Detta vättes med 250g epoxi lika som för bottenlaminatet och applicerades på samma sätt. Skillnaden var att topplaminatet inte viks hela vägen över till botten utan endast till bottenkant var det sedan trycks delvis in under botten. Detta kallas för tucked-in-kanter. Det är viktigt att man får en stram och god fog eftersom det är kritiskt för kanternas stöttålighet. Detta var ett knepigt skede av laminering eftersom det var svårt att trycka in laminatet utan att det drogs bort från översidan. Dessutom höll hartsen vid det här skedet på att börja härda vilket betydde att tiden höll på att ta slut. Vid de ställen jag klippt laminatet, för att förhindra skrynlor, satte jag de små bitarna av glasfiber som förstärkning. Det är viktigt att få ett så homogent laminat som möjligt eftersom det annars kan uppstå försvagningar i produkten.

Tillslut när hela brädet var laminerat täcktes brädet med en peelply film och en 10oz/yd² glasfibernatta, vilken suger upp överlopps harts ur laminatet, och en perforerad plastfilm, emellan som förhindrar att glasfibernattan suger upp för mycket harts ur laminatet vilket kan leda till ett svagt laminat. Sedan sattes hela rockerbordet i en stor plastpåse som kopplades till en vakuumpump. Medan undertrycket byggdes upp använde jag två spackel för att trycka in laminatet runt kanterna. När allt var klart täcktes hela paketet med ett värmetäcke och brädet läts vara under vakuum över natten.



Figur 9. Laminerat bräde under vakuum.

9.5 Efter bearbetning

Nästa morgon togs brädet ur plastpåsen och peelply filmen drogs bort. Till min stora lättnad hade laminering lyckats trots att tiden hade blivit knapp och limmet redan börjat härda före allt var på plats under lamineringen. Jag var rädd att laminatet inte skulle fästa sig vid kärnan eftersom det hade hunnit bli relativt torrt före alla fiberlager var applicerade.

Efter lamineringen skars allt överlopps laminat bort med en sticksåg runt kanterna. Vid det här skedet vägde brädet 1720g, det vill säga laminatet tillsammans med feninsatserna vägde 940g varav ca 500g var lim och bog. Så med andra ord vägde glasfibret uppskattningsvis 440g vilket betyder att det ungefär gick åt 2,2 m² glasfiber väv i två lager per sida.

Sedan slipades brädet och kanterna lätt varefter brädet vägde 1660g. Under slipningen kom det fram att tucked-in-kanterna inte på alla ställen lyckats som de borde och på vissa ställen hade det blivit mellanrum mellan laminaten vilka jag skar upp och fyllde

med bog. Det kan hända att detta berodde på att laminatet hade hunnit bli för torrt förrän jag hann laminera kanterna färdigt.

Efter slipandet täckte jag hela brädet i bog som efter att det torkat över natten slipades till en jämn och stark yta. Det gick åt ca 300g bog till brädet. Efter att brädet slipats rent från boggen vägde brädet ca 1800g.

9.6 Målandet

Före målandet ströks brädet med en så kallad pinholefiller som är ett bilvax aktigt medel som fyller alla mikroskopiska hål så att målytan blir jämnare. Sedan var det dags att måla brädet med grundfärg. Jag använde grå epoxibaserad grundfärg som jag applicerade med färgspruta. Det visade sig att det inte alls är så enkelt som det ser ut på TV att hantera en färgspruta. Men som tur lyckades det ganska bra, till och med över mina förväntningar. När färgen torkat var det dags för våt slipning och fyllning av så kallade pinholes som är små luftbubblor i färgen. Pinholefillern var en acrylbaserad, röd massa som ströks på som spackel och sedan slipades bort.

Efter ytterligare ett lager grundfärg och en hel del finslipande var det dags för ytfärg. Jag hade valt att gå för något simpelt och stilrent, det vill säga vitt. Som ytfärg användes en uretanbaserad färg vilken är mjukare än den epoxibaserade och har god UV-beständighet. Tyvärr visade sig att den även var mer lättflytande och mer kritisk än grundfärgen så första försöket misslyckades totalt. Färgen började rinna och bildade tjocka, ojämna vågor så jag fick slipa hela brädet till grundfärgen och måla om. Misslyckandet kan även ha berott på att jag använde en annan färgspruta för ytfärgen som var lite effektivare. Andra gången lyckades jag bättre.

Sedan var det dags för att fundera ut grafiken för brädet. Igen hade jag tänkt mig något simpelt så jag experimenterade lite tills jag tillslut kom på mönstret, vilket jag formade med tejp. Alla ytor som inte skulle målas täcktes med papper och brädet målades med svart uretanfärg.

När färgen torkat våt slipades brädet med 1500 grovleks sandpapper varefter brädet polerades.

Sista skedet var att skära ut och limma fast footpaden alltså ett mjukt skumgummi material som ger grepp för fötterna. Jag satte en så kallad stomp-pad vid aktern för att ge mera grepp för bakre foten.

9.7 Resultat

Resultatet var över mina förväntningar. Brädet blev mycket bättre än vad jag tänkt mig och även Underground tyckte att det var bra. Det blev mycket lättare och jämnare än jag tänkt mig. Det var inte perfekt, vissa ojämnheter i kanterna och färgytan hade några pinholes men utöver det var jag nöjd med brädet.



Figur 10. Det färdiga brädet

10 TEST AV BRÄDET

Brädet testades i svag men jämn vind mellan 3 och 6 m/s och jag använde en 12m2 Cabrinha Switchblade 2010. Brädet var monterat med 50 mm fenor. Jag väger ca 75kg. Första intrycket av brädet var hur lätt det planar. Det stiger direkt upp i plan och känns väldigt lätt under fötterna. Det är ett verkligt lättvindsbräde och kräver minimalt med vind. Vinden var så svag vid testtillfället att kiten knappt fungerade, utan var trög och långsam. Men när man väl fick lite fart kunde man riktigt bra kryssa vilket jag omöjligt hade kunnat göra i den vinden med mitt vanliga twintipbräde som är 130 cm långt och 39 cm brett. Eftersom skillnaden på storleken mellan bräderna är marginell kan de goda lättvindsegenskaperna anses vara tack vare den flata rockern. Men trots det visade sig brädet gå relativt lugnt i vågorna trots att vågorna kom ganska skarpt mot färdriktningen. Detta beror på att brädet lätt kan kantas p.g.a. sin runda form. Det var endast då brädet kördes plattare i t.ex. medvind som det började stampa.

Brädet är förvånansvärt styvt och lätt och känns även det på vattnet, vilket beror på brädets större volym det vill säga D värdet enligt sandwichprincipen är högre än för ett twintipbräde. Personligen hade jag önskat mig lite mer flex eftersom det gjort brädet bekvämare att köra men det gör istället att brädet verkar vara oerhört starkt trots sin låga vikt.

Brädet kryssar bra men kräver att det kantas. Jag hade önskat lite bättre kryssningsegenskaper vilket hade eventuellt kunnat fås genom att ha längre rocker eller ett smalare bräde med inte lika rund outline. Dessutom vill brädet inte kryssa av sig själv utan kräver att man styr det upp i vind. Då får man det nog att kryssa bra men då sker det ibland att fenorna tappar greppet eller börjar bromsa. Det skulle eventuellt kryssa bättre med större fenor.

Brädet kommer snabbt upp i plan och accelererar fort men är inte lika snabbt som ett twintipbräde. Detta beror på brädets runda form vilket gör att kanterna går djupt då det kantas och därför bromsar. Man har bra kontroll över brädet och man kanta relativt skarpt trots bredden men är ändå inte menat för att köras i riktigt hårt väder.

Det är ett riktigt roligt bräde som är enkelt att leka med. Det känns väldigt lätt under fötterna och det är väldigt skoj att åka barfota utan bindningar. Det känns nästan som att man skulle kunna gå på vattnet. Det tar en stund förrän man vänjer sig vid känslan men det bygger även upp brädeskontrollen och känslan till brädet vilket hjälper för att träna

nya trick. Men framför allt är det ett otroligt roligt lättvindsbräde som fungerar i de lättaste av vindar.



Figur 11. Test av brädet.

10.1 Slutsats av brädestestet

Brädet planar väldigt tidigt och kan användas i riktigt lätta vindar, mycket bättre än twintipbräden. Detta beror på brädets stora yta och flata rocker. Den runda formen på brädet gör att det känns livligt men gör även att brädet inte är så snabbt och kräver att det styrs upp i vind för att kryssa ordentligt. Brädet accelererar fort men är inte så snabbt. Det känns väldigt lätt under fötterna och går bra även i vågor men stampar en aning på grund av den flata rockern och känns ganska hårt eftersom det är så styvt. Lite mera flex skulle gynna brädet vilket man skulle kunnat uppnå med en tunnare kärna. Men å andra sidan verkar brädet vara oerhört starkt och håller säkert de 300kg som den är tänkt att hålla.

10.2 Bucklor i ytan

Ett fenomen som uppstod på det färdiga brädet var små bucklor i ytan. Dessa små bucklor uppstod på grund av tryck. En buckla uppstod vid ena fenans framkant då den skruvades fast. Orsaken var att fenan inte var helt plan utan tryckte på laminatet. Andra bucklor uppstod då brädets flex testades genom att brädet sattes mellan två stolar och jag stod på det. Orsaken till varför dessa bucklor uppstår kan bero på flera olika saker. En orsak kan vara ett typiskt fall för sandwichkonstruktioner där kärnan inte klarar av tillräckligt med tryckbelastning och därför kollapsar. En möjlighet att förhindra detta vore antingen att använda skin med högre elasticitets modul, med andra ord styvare, eller en starkare kärna (L. Larsson & R. E. Eliasson 2000 s. 264). En orsak till att laminatet inte blev tillräckligt styvt vara att den använda 206 härdaren som är lite långsammare ger lite lägre elasticitets modul än den snabbare 205 (Se bilaga 1). Men liknande märken uppstod på ett kitesurfbräde då dess flex testades på liknande sätt hos Underground och de använder den snabbare 205 härdaren och det brädet har liknande konstruktion.

Orsaker till att bucklorna uppstod kan vara:

- Inte tillräckligt styvt laminat
- För svag kärna

Orsaker till varför laminatet inte blev tillräckligt styvt kan vara:

- Härdaren gav sämre resultat än väntat

11 DISKUSSION

Syftet med arbetet var att definiera och analysera ett kitebrädes egenskaper och vilka faktorer som påverkar dessa för att kunna bestämma lämpliga parametrar för framställning av ett kiteskimbräde. Dessa parametrar var form, hållfasthets- och styvhetskrav och på basis av dessa bestämma lämpliga material och konstruktion. En lämplig tillverkningsmetod tillämpades för att uppnå dessa krav.

Eftersom det är svårt att hitta information om vilka faktorer som påverkar egenskaperna hos ett kitebräde är jag nöjd med resultatet vilket jag anser stämma med verkligheten. På basis av min analys av ett kitebrädes egenskaper var det relativt enkelt att bestämma kiteskimbrädes form, rocker osv. Brädet som byggdes fungerade som det skulle. Jag hade eventuellt valt en lite rakare outline för att göra brädet lite snabbare och kanske få det att kryssa bättre. Men sen igen var tanken att brädet skulle plana tidigt och vara livligt vilket det är.

Uträkningarna som gjordes var förenklade och det valda belastningsfallet extremt men jag tycker ändå att resultaten stämmer med verkligheten. De visar att brädet i teorin håller över 300kg och brädet som byggdes verkar nog hålla det. Så jag anser mig ha nått mina krav på hållfasthet.

Hållfasthets- och styvhetsmässigt skulle det varit intressant att prova olika material för att konkret se hur det skulle ha påverkat egenskaperna. Men däremot var målet att välja vettiga material med tanke på ändamålsenlighet, vilket jag anser mig nått.

Tillverkningsmetoden jag valde fungerade väl med tanke på syftet men krävde väldigt mycket arbete för hand och var stressigt på grund av tidspress då hartsen härdade. Detta ställde till problem då den började härda förrän jag hunnit få brädet i vakuum. Det skulle ha varit intressant att testa vakuuminfusion för att jämföra metoderna.

Arbetet kunde ha innehållit fler beräkningar av belastningar och beräkningar av hållfasthet av materialsammansättningar. Till exempel kan det som idé för framtida arbeten vara att göra FEM uträkningar av belastningar och analysera fall där kitebräden gått av eller studera hur flexmönster påverkar kitebrädets egenskaper då det körs i vågor eller dylikt.

KÄLLOR

Böcker

Olli Saarela, Ilkka Airasmaa, Juha Kokko, Mikael Skrifvars, Veikko Komppa. 2003 *Komposiittirakenteet*, Muoviyhdistys ry, 496 s.

Håkan Damberg, red. 2001 *Komposithandboken*, VI, Sveriges Verkstadsindustrier, 447 s.

F. C. Campbell. 2004 *Manufacturing Processes for Advanced Composites*, Elsevier Advanced Technology, 513 s.

Lars Larsson & Rolf E. Eliasson 2000, *Principles of Yacht Design*, 2 uppl., Adlard Coles Nautical, 334 s.

Öppet material tillgängligt på Internet

Airush. Tillgänglig:

<http://www.airush.com>, Hämtad 1.9.2010

Beam bending. Tillgänglig:

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Beam_bending.png, Hämtad 1.10.2010

Corecell A-Foam, Gurit. Tillgänglig:

http://www.gurit.com/sector_introduction.asp?section=0001000100220016§iontitle=corecell%99+-+structural+core+materials+from+sp-high+modulus, Hämtad 22.9.2010

Design and Properties of Sandwich Core Structures, John Pilling, Michigan Technological University. Tillgänglig:

<http://www.mse.mtu.edu/~drjohn/my4150/sandwich/sp1.html#Table%201>, Hämtad 1.10.2010

FE-Analysis and lay-up strategies for a kiteboard, PFH - PRIVATE UNIVERSITY of Applied Sciences. Tillgänglig:

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MImg&_imagekey=B9869-508WXJK-5B-1&_cdi=59121&_user=9651469&_pii=S1877705810004042&_origin=search&_coverDate=06%2F30%2F2010&_sk=999979997&view=c&wchp=dGLbVzW-zSkWb&md5=dbf5a21f1d13d7e2bf3cdf66755019c3&ie=/sdarticle.pdf, Hämtad 20.9.2010

Fiberkompositlaminering, Lars Viebke. Tillgänglig:

<http://www.kolfiber.info.se/>, Hämtad 3.9.2009

Generell dimensionering av ett grundelement i Sandwich, Rolf Lundström, Sicomp.

Tillgänglig:

<http://extra.ivf.se/karossmoduler/download/Rapporter/TR08-006.pdf>, Hämtad 29.9.2010

Hexcel fiberinformationsblad. Hexcel Tillgänglig:

<http://www.hexcel.com/NR/rdonlyres/617142B7-E674-4511-9674-AB52CFE52BF4/0/FabricHandbookMarch2009v2.pdf>, Hämtad 3.9.2009.

Kevra. Tillgänglig:

www.kevra.fi, Hämtad 3.9.2009

Kiteboarding history by Bruno Legaignoux. Bruno Legaignoux. Tillgänglig:

<http://www.ikiteboarding.com/kiteboarding/articles/kiteboarding-history-by-bruno-legaignoux.aspx#>, Hämtad 3.9.2009

Micro-Cracking, David Cripps, Gurit. Tillgänglig:

<http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=15>, Hämtad 11.2.2010

Moment of Inertia. Tillgänglig:

<http://www.clag.org.uk/beam.html>, hämtad 22.9.201

PVC Foam, DIAB. Tillgänglig:

<http://www.netcomposites.com/education.asp?sequence=48>, Hämtad 8.9.2010

Reinforcements, Exel Composites. Tillgänglig:

<http://www.exelcomposites.com/English/Technical/Rawmaterials/Reinforcements/tabid/7674/language/en-US/Default.aspx>, Hämtad 29.9.2010

Sandwichprincip, Trevor Grundberg, Diab. Tillgänglig:

<http://www.boatdesign.net/articles/foam-core/>, Hämtad 27.8.2010

Skipress. Tillgänglig:

<http://www.skibuilders.com/articles/>, Hämtad 13.9.2010

Skywalkerkiteboards. Tillgänglig:

<http://www.skywalkerkiteboarding.com/2010/>, Hämtad 25.2.2010

Snowboardpressar. Tillgänglig:

<http://snowboardmaterials.com/pages/snowboard%20presses.htm>, Hämtad 13.9.2010

Strength of Sandwich Structures, John Pilling, Michigan Technological University.

Tillgänglig:

<http://www.mse.mtu.edu/~drjohn/my4150/sandwich/sp2.html>, Hämtad 1.10.2010

Tillverkningsmetoder. Tillgänglig:

<http://www.owenscorning.com/composites/>, Hämtad 3.9.2009

Typical Physical Properties, West Systems. Tillgänglig:

<http://www.westsystem.com/ss/typical-physical-properties/>, Hämtad 20.9.2010

Underground. Tillgänglig:

<http://www.undergroundkiteboards.com/> Hämtad 1.9.2010

Typical Physical Properties, West Systems. Tillgänglig:

<http://www.westsystem.com/ss/typical-physical-properties/>, Hämtad

Dvd-skivor

Upwind The Launch of Kiteboarding, 2006 [DVD], Red Bull

Undergroundkiteboarding, 2004, [DVD]

Muntliga källor

Diskussion om tillverkning av kitebräden, Steve Palmer, Underground. Christchurch, Nya Zeeland 16.3.2010

Övriga källor

Kompositteknologi laborationer, Rene Herrman, Arcada 2009[kurs]

BILAGOR

Test specimens cured at room temperature for two weeks, unless otherwise noted. Typical values; not to be construed as specifications. Neat epoxy specimens (*i.e.*, containing no fillers or fiber reinforcements) were used for testing.

Property	105/205	105/206	105/207	105/209	Six10	G/flex
Mix Ratio by weight*	5.07:1	5.0:1	3.7:1	3.56:1	n/a	1.2:1
Mix Viscosity @ 72°F (cPs)	975	725	760	650	gel**	15,000
Pot Life of 100 g @ 72°F (min.)	12	21.5	22	62	42	45
Specific Gravity of Cured Resin	1.18	1.18	1.15	1.16		
Hardness @ 2 weeks (Shore D)	83	83	84.4	82	80.6	75
Compression Yield @ 2 weeks (PSI)	11,418	11,500	11,043	11,960	9,693	5,268
Tensile Strength (PSI)	7,846	7,320	6,748	7,280	6,438	3,440
Tensile Elongation (%)	3.4	4.5	3.8	3.6	7.9	32.7
Tensile Modulus (PSI)	4.08E+05	4.60E+05	4.40E+05	3.98E+05	3.71E+05	1.44E+05
Flexural Strength (PSI)	14,112	11,810	11,324	12,459	11,320	5,192
Flexural Modulus (PSI)	4.61E+05	4.50E+05	4.12E+05	3.97E+05	3.51E+05	1.56E+05
Heat Deflection Temperature (°F)	118	123	117	117	127	127
Onset of Tg by DSC (°F)	129	126	116	122		138
Ultimate Tg by DSC (°F)	142	139	116	130		154
Annular Shear Fatigue (lbs @ 100,000 cycles)	10,629	10,047	9,623	9,857		
Izod Impact, notched (ft-lbs/in)	0.93	0.54	1.45	1.33		1.28

*Actual Ratio Dispensed by Calibrated WEST SYSTEM® Mini pumps.

** Viscosity data for Six10 at various sheer rates is available on request.

Bilaga 1 Epoxi specificationer, se 105/206 (Typical Physical Properties[www])

Type	Test Method	Units	A400	A450	A500	A550	A600	A800	A1200
Nominal Density		kg/m ³	69	81	92	103	116.5	150	210
		lb/ft ³	4.3	5.0	5.7	6.4	7.3	9.3	13.1
Density Range		kg/m ³	64-74	75-86	87-97	98-108	109-124	140-160	200-220
		lb/ft ³	4.0-4.6	4.7-5.4	5.4-6.0	6.1-6.7	6.8-7.7	8.7-10.0	12.5-13.7
Compression Strength	ASTM D1621	MPa	0.6	0.8	0.9	1.1	1.4	2.1	3.9
		psi	90	112	135	161	197	308	564
Compressive Modulus	ASTM D1621b	MPa	41	53	64	72	83	117	217
		psi	5950	7620	9290	10450	12040	16980	31490
Shear Strength	ISO 1922	MPa	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.6	2.6
		psi	102	123	144	157	176	229	373
Shear Modulus	ISO 1922	MPa	22	24	26	30	34	47	76
		psi	3190	3480	3770	4350	4930	6820	11030
Shear Elongation	ISO 1922	%	63%	63%	69%	66%	64%	50%	46%
Tensile Strength	ASTM C-297	MPa	0.9	1.1	1.3	1.6	1.8	2.5	3.9
		psi	135	165	194	225	264	364	560
Tensile Modulus	ASTM C-297	MPa	50	65	81	97	120	183	321
		psi	7260	9430	11750	14080	17410	26560	46580
Thermal Conductivity	ASTM C518	W/mK	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
Dimensional Stability	DIN 53424	°C	63	63	63	63	63	63	63
		°F	145	145	145	145	145	145	145

* Peak change rate under static load

Intermediate densities may be available on request, subject to minimum order quantities.

Bilaga 2.Corecell A-Foam, se A500 (Corecell [www])