

# Värt att veta om kompositer

En specialtidning  
om kompositer

Text **Anders Sjögren**

**PLAST**  
FORUM  
NR 12 2010, DEL 2



# CRESTABOND

— STRUCTURAL ADHESIVES —



COMPOSITES METALS PLASTICS

Introducing our new range of primerless methacrylate structural adhesives which successfully bond composites, metals & plastics

## KEY FEATURES

- ✓ **REQUIRES NO PRIMER**
- ✓ Minimal surface preparation (dust and oil free)
- ✓ Excellent fatigue and impact resistance
- ✓ Range of working and fixture times
- ✓ Good gap filling capability

## MAIN MARKETS

- MARINE**  
from kayaks to super yachts
- LAND TRANSPORTATION**  
Buses, coaches, trains and trucks
- BUILDING & CONSTRUCTION**  
Doors, windows and cladding
- WIND ENERGY**  
Blades, housings and nacelles
- RECREATIONAL VEHICLES**  
Motorhomes and caravans
- AGRICULTURAL VEHICLES**  
Tractors, diggers and combine harvesters



### PACK SIZES

- 380ml co-axial cartridges
- 20 litre pails
- 200 litre drums

For further details contact **Scott Bader Scandinavia**  
Email: [composites@scottbader.se](mailto:composites@scottbader.se) Tel: +4634610100

## ASHLAND COMPOSITE POLYMERS

### MAXGUARD®

PREMIUM GELCOATS

MAXGUARD®  
Gelcoat baserad på  
patenterad LE-teknologi.

### HETRON®

HETRON®  
Självslocknande,  
korrosionsbeständig  
epoxivinylester / omättad polyester.

### DERAKANE®

EPOXY VINYL ESTER

DERAKANE®  
Världsledande produktsortiment  
av epoxivinylestrar.

### AROTRAN®

AROTRAN®  
SMC hartsteknologi för  
fordonsindustrin.

### AME®

AME®  
Marin epoxivinylester  
för styrka och ytfinish.

### AROPOL®

AROPOL®  
Globalt produktsortiment  
av omättade polyesterar.

# Vi har lösningen

GRP MS är din partner i Skandinavien



GRPMS är en ledande distributör i nord Europa, med 30 års erfarenhet, av distribution av produkter till AP industrin. GRP MS glömmmer aldrig distributörens ansvar och kundens behov av en pålitlig och punktlig leverans av varan. Logistik och distribution har alltid prioriterats högt och sköts av ett erfaret och motiverat säljteam.

GRP MS i Skandinavien:  
Sverige + 46 303729630, Danmark + 45 76347400,  
Norge + 47 33138250, Finland + 358 931582804



# Värt att veta om kompositer

Intresset för polymera fiberkompositer har ökat kraftigt under senare år. Detta beror på en mängd olika faktorer, t.ex. behovet av viktreduktion inom flyg- och fordonsindustrin, samt utbyggnaden av vindkraftsindustrin.

Text **Anders Sjögren**

Polymera fiberkompositer erbjuder förutom stor designfrihet och litet behov av underhåll även unika möjligheter till konstruktion och tillverkning av produkter med optimala prestanda. Kunskapen om polymera fiberkompositer är dock relativt bristfällig och Plastforum såg därför ett behov av att publicera en artikelserie om denna typ av material.

Artikelserien består av 10 delar och behandlar användningsområden, fibrer, matrismaterial, tillverkningsmetoder, skador och brott, provning och analys, reparationsmetodik, samt återvinning.

Polymera fiberkompositer består av fibrer inbäddade i plast. Den vanligaste typen av fiber är glasfiber, vilken kännetecknas av bra mekaniska egenskaper och lågt pris. För mer avancerade tillämpningar ersätts glasfibern ofta av kolfiber eftersom denna typ av fiber har lägre densitet och högre styvhet. Plasten benämns normalt matris och har som uppgift att skydda fibern samt se till så att yttre laster på ett effektivt sätt överförs till fibern.

De vanligaste plastmatriserna är omättad polyester, vinylester och epoxi. Det finns dock en strävan att ersätta dessa hårdplaster med

termoplaster, t.ex. polypropen eller polyamid, för att erhålla snabbare tillverkning, enklare återvinning och bättre arbetsmiljö.

## Fördelar med polymera fiberkompositer är till exempel:

- Hög specifik styvhet
- Hög specifik styrka
- Stor designfrihet
- Billiga verktyg
- Rostar inte
- Bra kemikaliebeständighet
- Litet behov av underhåll

Med hög specifik styvhet och styrka menas hög styvhet och styrka per viktsenhet. För produkter där vikten har liten betydelse är stål ofta ett lika bra materialval som polymera fiberkompositer, men för produkter där man eftersträvar låg vikt utgör polymera fiberkompositer normalt ett mycket bättre alternativ.

## Tyvärr finns det även nackdelar med polymera fiberkompositer och några av dessa är:

- Høgt pris

- Relativt begränsad temperaturtålighet
- Mer komplicerat konstruktionsförfarande
- Långa tillverkningstider
- Svåra att återvinna

Anledningen till det något mera komplicerade konstruktionsförfarandet, jämfört med metaller, är att materialegenskaperna är anisotropa, dvs varierar i olika riktningar, samt att materialet tillverkas samtidigt som produkten.

Sverige var tidigt ute med forskning kring polymera fiberkompositer, mycket tack vare Saab Aircraft i Linköping. Tyvärr har forskningen inte resulterat i så värst många produkter och företag, och användningen av polymera fiberkompositer är betydligt mera omfattande i England, Tyskland, Frankrike, Spanien och Italien än i Sverige.

Förhoppningsvis kan artikelserien "Värt att veta om kompositer" bidra till att förändra detta och stimulera till tankar och idéer kring nya svenska lättviktsprodukter baserade på polymera fiberkompositer.



# Värt att veta om kompositer

**Som en fortsättning på artikelserien "Värt att veta om plast" presenteras i detta och nästkommande nio nummer av Plastforum en artikelserie om polymera fiberkompositer (fiberarmerad plast). Artikelserien behandlar bland annat uppbyggnad och egenskaper, tillverkningsmetoder, skador och brott, samt återvinning och utgör ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer Colleges kursutbud ([www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). Då polymera fiberkompositer har använts som konstruktionsmaterial under nästan ett århundrade är det naturligtvis omöjligt att i tio korta artiklar ge en komplett beskrivning av området. Förhoppningen är dock att artikelserien ska utgöra intressant läsning samt ge en bra inblick i möjligheter och begränsningar med denna typ av material. *Text Anders Sjögren***

Polymera fiberkompositer erbjuder fantastiska konstruktionsmöjligheter och används därför numera i en mängd olika applikationer. I det följande presenteras ett litet urval av några vanligt förekommande användningsområden.

## Flyg

Polymera fiberkompositer har använts under lång tid inom flygindustrin. En

svensk pionjär inom området var Rudolf Abelin som redan under tidigt 1940-tal började experimentera med naturfiberförstärkta plaster för flygplanstillämpningar. Under mitten av 1950-talet utvecklade Svenska Aeroplan AB (numera Saab AB) ett luftintag till J35 Draken baserat på glasfiberarmerad epoxi och i slutet av 1960-talet utvecklades trimroder i kolfiberförstärkt epoxi till SK-60. Utvecklingen av dessa

komponenter gav kunskap som sedan användes vid utvecklingen av JAS 39 Gripen där ungefär 25 procent av strukturvikten består av kompositmaterial, t ex vingar och stjärtfena av kolfiberarmerad epoxi och noskon av glasfiberarmerad epoxi.

Att använda polymera fiberkompositer som konstruktionsmaterial vid tillverkning av nya flygplan är i dagsläget en självklarhet. Som exempel kan nämnas Boeing 787 Dreamliner som består av 50 viktprocent kompositmaterial (mestadels kolfiberarmerad epoxi). Helikoptrar byggs också till stor del av polymera fiberkompositer, på grund av materialets utmärkta utmattningsegenskaper, och både skrov och rotorblad till försvarets nya helikopter (HKP 14) är baserade på glas- och kolfiberförstärkt hårdplast.

Traditionellt har man inom flygindustrin använt mycket prepreg (d v s förimpregnerade fibrer) och bakning (autoklavering) eftersom detta medger tillverkning av komponenter med hög andel fiber och låg andel porer. Under senare tid har man dock även



Boeing 787 Dreamliner består av 50 procent kompositmaterial, 20 procent aluminium, 15 procent titan, 10 procent stål och 5 procent andra material.

börjat intressera sig för multiaxiella fiber-mattor och tillverkning med hjälp av RTM (Resin Transfer Moulding) och Volvo Flygmotor planerar att inom en snar framtid starta tillverkning av motorkomponenter baserade på denna typ av material och tillverkningsprocess.

### Fordon

Även inom fordonsindustrin har polymera fiberkompositter använts under lång tid och ett av de mest kända exemplen är troligtvis Chevrolet Corvette som redan vid starten 1953 var utrustad med kaross i glasfiberarmerad hårdplast. Ungefär samtidigt utvecklade både Saab Automobile och Volvo Personvagnar konceptbilar med karosser i glasfiberarmerad plast och Saabs konceptbil kom senare att bli förlaga till Saab Sonett.

Volvo Personvagnar har under åren utvecklat och använt sig av en stor mängd olika komponenter baserade på glasfiberarmerad plast, t ex bakluckor, frontpaneler, sätesramar, instrumentbrädor, kåpor och underkörningsskydd. Fördelar med glasfiberarmerad plast i fordonstillämpningar är bland annat låg vikt, hög hållfasthet, stor designfrihet, samt bra korrosionsbeständighet. Man har även utvecklat och testat ett antal kolfiberarmerade plastkomponenter, som balkar och kardanaxlar, men på grund av det höga materialpriset har dessa komponenter tyvärr aldrig kommit i produktion.

För tillverkare av exklusiva sportbilar, som Koenigsegg i Ängelholm, är prestanda viktigare än pris och man använder därför en stor andel kolfiberarmerad plast i sina

bilar. Till exempel består både chassi och kaross till Koenigsegg CCX av kolfiberarmerad epoxi. Ett annat svenskt företag som jobbar mycket med tillverkning av kolfiberbaserade fordonskomponenter är Elit Komposit i Uddevalla som i början av 2000-talet

tillverkade luftintag till Porsche i detta material.

Ett intressant forskningsprojekt pågår för närvarande vid Swerea Sicomp och handlar om utveckling av strukturella fiberarmerade plastmaterial med batterifunktion. Målet är att denna typ av material skall kunna användas som bottenplatta i framtida elbilar.

Polymera fiberkompositter lämpar sig naturligtvis bra även till lastbilar, bussar, tåg och andra tunga fordon. Volvo Lastvagnar började redan på 1970-talet att tillverka stänkskärmar och motorhuvar baserade på glasfiberarmerad plast. Därefter följde utveckling av vindavvisare och grillar i glasfiberarmerad plast och i dagsläget används detta material även för tillverkning av oljesumpar. Även Scania har genom åren använt mycket glasfiberarmerad plast i sina lastbilshytter och grillen till R-serien är till exempel tillverkad av SMC (glasfiberarmerad polyester).



Chevrolet Corvette var redan vid introduktionen 1953 utrustad med kaross i glasfiberarmerad hårdplast.



Både chassi och kaross till Koenigsegg CCX består till stora delar av kolfiberarmerad epoxi.



Skrov, däck och mast till Ericsson 4 är tillverkade av kolfiberarmerad epoxi.

### Fritidsbåtar

Glasfiberarmerad polyester har varit det helt dominerande materialet för skrov och däck till fritidsbåtar sedan 1950-talet eftersom materialet har bra mekaniska egenskaper, utmärkt vädertålighet, litet behov av underhåll, samt relativt lågt pris. För skrov och däck till tävlingsbåtar används dock oftast kolfiberarmerad epoxi eftersom man då kan erhålla styvare och lättare konstruktioner. Till exempel Ericsson 4, som vann det senaste Volvo Ocean Race, är till största del tillverkad av kolfiberarmerad epoxi. Även master till segelbåtar tillverkas av kolfiberarmerad epoxi och två svenska tillverkare av kompositmaster är Seldén Mast i Västra Frölunda och Marström Composite i Västervik. Seldén Mast tillverkar sina master med hjälp av fiberlindning medan Marström Composite har valt att använda prepreg (förimpregnerade fibrer). Marström Composite tillverkar förutom master även katamaraner och trimaraner baserade på kolfiberarmerad epoxi. Man har även utvecklat en RIB-båt i kolfiberarmerad epoxi som endast drar 0,9 liter bränsle per nautisk mil vid 45 knops fart. Låg bränsleförbrukning är även en av drivkrafterna vid den pågående utvecklingen av 540SE vilket är en 54 fots motorbåt som fullt utrustad skall väga mindre än 3,6 ton. För att lyckas använder tillverkaren (Strategic Composites) ett nytt kompositmaterial som består av epoxi med förstärkning av både kolfiber och kolnanorör.

### Vindkraft

Vindkraftsindustrin är i dagsläget en stor användare av polymera fiberkomposit. Fördelar med att tillverka vindkraftblad av denna typ av material är t ex låg vikt, hög styvhet och styrka, stor designfrihet, bra korrosionsbeständighet, samt utmärkta utmattningsegenskaper. Bladen till vindkraftverk tillverkas normalt sett av glasfiberarmerad hårdplast men ett skifte till kolfiberarmerad hårdplast kommer troligtvis att ske framöver då bladen numera är så stora (över 60 meter) att egenvikten



RIB-båt med skrov tillverkat av kolfiberarmerad epoxi.

börjar utgöra en begränsning. Högskolan i Kalmar har tillsammans med Marström Composite och Hovås Komposit studerat för- och nackdelar med en övergång från glasfiber till kolfiber i vindkraftblad och kommit fram till att den stora viktbesparing som kan erhållas (ca 11 ton för ett 60 meter långt blad) överväger det ökade materialpriset varför en övergång från glasfiber till kolfiber i vindkraftblad kan vara både ekonomiskt och prestandamässigt fördelaktigt.

Vindkraftindustrin är en stor användare av glasfiberarmerad hårdplast.



Cykelram tillverkad av Textreme, vilket är en kolfiberväv från Oxeon i Borås.



### Sport och fritid

En övergång från trä och metall till polymera fiberkompositter har mer eller mindre revolutionerat vissa idrottsgrenar. Inom stäv hopp skulle man ha svårt att ta sig över dagens höjder om man inte bytt från bambu till fiberarmerad plast i sina stavar och många andra idrotter, som tennis, slalom, och längdskidåkning, skulle också se väldigt annorlunda ut utan användning av polymera fiberkompositter.

I dagsläget tillverkas en stor mängd olika sport- och fritidsartiklar av polymera fiberkompositter, t ex hjälmar, cykelramar, skidor, stavar, racketar, klubbor, kanoter, surfbrädor, etc. Den vanligaste materialkombinationen för sport- och fritidsartiklar är kolfiberarmerad epoxi, men även glas- och aramidfiberarmerade plaster är vanligt förekommande. Attraktiva fördelar med polymera fiberkompositter för sport- och fri-

tidsartiklar är t ex låg vikt, hög styvhet och hållfasthet, samt stor designfrihet.

### Medicin

Inom det medicinska området används polymera fiberkompositter både för invärtes bruk (t ex höftledsprotoser) och utvärtes bruk (t ex ortoser och benprotoser). Den stora designfriheten erbjuder fantastiska möjligheter till individuell anpassning av skydd och hjälpmedel. Kolfiberarmerad plast används även för tillverkning av röntgenbord och bårar eftersom materialet inte skärmar röntgenstrålning och därmed underlättar bildexponering och undersökning. Fördelar med att använda fiberarmerad plast för medicinska tillämpningar är förutom stor designfrihet och liten skärmning av röntgenstrålning även låg vikt, hög styvhet och hållfasthet, låg termisk ledningsförmåga, samt biokompatibilitet



Röntgenbord i kolfiberarmerad epoxi tillverkat av Evers Composite AB.

### Infrastruktur

Polymera fiberkompositter används även för en mängd olika infrastrukturtillämpningar, som rör, tankar, reningsanläggningar, broar, broförstärkningar, plank, dörr- och fönsterkarmar, fasadbeklädnad, balkonger, mm. Egenskaper som gör polymera fiberkompositter attraktiva för infrastrukturtillämpningar är bland annat låg vikt, dimensionsstabilitet, kemikaliebeständighet, termisk isolering, korrosionsbeständighet, designfrihet samt litet behov av underhåll.

### Instrument

Glasfiber- och/eller kolfiberarmerad plast används ofta för tillverkning av lätta och säkra instrumentfodral. Numera finns det dock även instrument, t ex gitarrer, fioler och celli som är tillverkade av polymera fiberkompositter. Fördelar med att bygga med denna typ av material istället för t ex trä är låg vikt, stor designfrihet, liten inverkan av fukt och temperatur, samt bra skadetålighet.

Cello i kolfiberarmerad epoxi tillverkat av Luis & Clark.





# Värt att veta om kompositer

Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien "Värt att veta om kompositer". I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer Colleges kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta nummer ges en kort tillbakablick på användningen av polymera fiberkompositer i Sverige. Tyvärr är det omöjligt att på tre sidor berätta om alla entusiaster och uppfinnare som varit delaktiga i utvecklingen av den svenska kompositindustrin. Förhoppningen är dock att nedanstående lilla historiska exposé skall ge läsaren en inblick i intåget av polymera fiberkompositer i Sverige.

Text **Anders Sjögren**

## Glasfiberkompositer

Glasfiber har använts under många århundraden som dekoration och skall, enligt oberoende källor, även ha använts vid svepningen av Napoleon I vid hans död 1851. År 1870 uppfann John Player en metod för att massproducera glasfiberull och år 1880 patenterade Herman Hammesfahr ett glasfiberbaserat tygmateriale. Det dröjde dock ända till 1930-talet innan forskare vid Owens-Illinois Glass Company och Corning Glass Work lyckades tillverka den typ av glasfiber som

idag används i fiberarmerade plaster. De båda bolagen gick 1938 samman och bildade Owens-Corning Fiberglas (OCF) i syfte att tillverka och marknadsföra glasfiber och OCF har sedan dess varit marknadsledande inom tillverkning av glasfiber för förstärkning av plast. OCF ingår sedan 2007 i OCV Reinforcements.

I Sverige började ASEA i slutet av 1940-talet att tillverka glasfiber för isoleringsändamål. Man insåg dock potentialen för glasfiber som förstärkning i plast och lade sig därför med

OCF och startade 1 januari 1963 företaget Scandinavian Glasfiber AB. Den första tillverkningen av glasfiber ägde dock rum redan på julafton 1962! Bolaget placerades i Falkenberg, som då ansågs vara Nordens "köpkraftscentrum", och ägdes till 60 procent av ASEA och 40 procent av OCF. Tillverkningen av glasfiber i Falkenberg pågick till 1994 då man beslutade sig för att lägga ned fabriken och istället fungera som distributionscentral för glasfiberprodukter tillverkade vid andra OCF anläggningar i världen.



Inom fritidsbåtsbranschen insåg man tidigt den stora fördelen med att bygga skrov och däck av glasfiberarmerad plast och redan 1937 tillverkade Ray Greene i Toledo, USA, en motorbåt baserad på glasfiberarmerad plast. Det dröjde dock till mitten av 1950-talet innan det tog verklig fart med att bygga fritidsbåtar av glasfiber och polyester. En av de första "plastbåtarna" som byggdes i Sverige var Realloy-Pilen som tillverkades av Livbåtsvarvet Allmags Varv på Orust. Båten byggdes efter amerikansk förlaga och skroven tillverkades med hjälp av vakuuminjicering av plasten, vilket är intressant att notera eftersom man i dagsläget jobbar intensivt på många fritidsbåtsvarv runt om i Sverige med att införa vakuuminjicering av skrov och däck. En annan tidig svensk motorbåt i glasfiberarmerad plast var Svalan som tillverkades av Fisksätra varv och premiärvisades på båtmässan Allt för Sjön 1954. Vid Marieholms Bruk började man 1956 att tillverka en sportbåt vid namn Sweet Sixteen där skrovet bestod av glasfiberarmerad plast och däck av mahogny. Den första svenska seriebyggda segelbåten i glasfiberarmerad plast var Fingal som tillverkades av Fimoverken och premiärvisades 1961.

Flygindustrin såg naturligtvis också en stor potential i fiberarmerade plaster och en svensk pionjär inom området var Rudolf Abelin som redan under tidigt 1940-tal arbetade med utveckling av naturfiberarmerade plastkomponenter till ett lastglidflygplan. Han blev sedermera VD för Malmö Flygindustri (MFI), vilket är ett företag som betytt mycket för svensk kompositindustri. Man utvecklade till exempel under 1950-talet stora syraresistenta batterikärl till ubåtar baserade på glasfiberarmerad plast vilka blev en stor framgång. I Linköping utvecklade Saab Aircraft vid samma tidpunkt ett luftintag till J35 Draken baserat på glasfiberarmerad epoxi. Luftintaget innehöll mer än 60 volymprocent glasfiber och tillverkades med hjälp av RTM (Resin Transfer Moulding).

Även fordonsindustrin såg tidigt fördelarna med att använda glasfiberarmerad plast för att bygga lätta och starka komponenter och MFI tillverkade i början av 1950-talet en kaross i glasfiberförstärkt plast åt Volvo Personvagnar samt en konceptbil (MFI-13) åt Saab Automobile. Denna konceptbil kom senare att bli förlaga till Saab Sonett, för vilken Trelleborgsplast i Ljungby tillverkade karossen med hjälp av handlaminering och dörrar, motorhuv och strålkastarinfästningar med hjälp varmför-



Saab Sonett I, årsmodell 1956, med kaross i glasfiberarmerad härdplast.

ning. En annan tidig fordonsartikel var bakdörren till Volvo 145-HT som tillverkades av SMC (Sheet Moulding Compound).

I början av 1980-talet bedrevs ett intressant utvecklingsprojekt vid Volvo Personvagnar med benämningen LCP-2000. Ansvarig för projektet var Rolf Mellde (tidigare teknisk chef vid Saab Automobile) och syftet med projektet var att undersöka vad som gick att åstadkomma om ambitionen var att reducera energianvändningen under en personbils kompletta livscykel. Konceptbilar tillverkades med bottenplatta av aluminium, kaross av kompositmaterial och motorblock av magnesium vilket resulterade i bilar som drog mindre än 0,3 liter diesel per mil.

Glasfiberarmerade plaster har naturligtvis även använts för militära tillämpningar. En tidig produkt var pansarvärnsvapnet "Miniman" som utvecklades av Försvarets Fabriksverk (FFV) och tillverkades av Trelleborgsplast under 1960-talet. Framgångarna med "Miniman" ledde senare till utvecklingen av pansarvärnsvapnet AT4 vilket till en början tillverkades av ABB Plast i Piteå. 1974 startade Hägglunds tillverkning av Bandvagn 206 i Ljungby vilket var en av världens första serietillverkade RTM-produkter.

### Kolfiberkompositer

Ett första steg mot dagens högpresterande kolfiber togs 1958 då Dr. Roger Bacon vid Union Carbide i Cleveland, USA, tillverkade kolfiber baserad på silke. Fibern bestod dock endast av ca 20 procent kol och hade därför relativt dåliga mekaniska egenskaper. En klar förbättring i egenskaper erhöles då man i början av 1960-talet bytte från silke till polyakrylnitril

(PAN) som utgångsmaterial. Det stora genombrottet för kolfiber kom dock 1963 då Royal Aircraft Establishment (RAE) i Farnborough, England, utvecklade och patenterade en metod för tillverkning av högpresterande kolfiber.

Saab Aircraft i Linköping började i slutet av 1960-talet att tillverka flygplanskomponenter baserade på kolfiberförstärkt epoxi, t ex trimroder till SK-60. Man fortsatte sedan att tillverka kolfiberförstärkta plastkomponenter till Saab 340, Saab 2000 och J 37 Viggen och hela 7-8 procent av strukturvikten på Saab 340 består av fiberarmerad plast.

Under 1980-talet drev Volvo ett antal utvecklingsprojekt gällande kolfiberförstärkta komponenter, t ex stötstänger, krängningshämmare och balkar. Komponenterna uppfyllde med lätthet de krav som förelåg men ansågs vara allt för dyra för att kunna konkurrera med metallösningar. Detta gäller till stor del fortfarande och kolfiberförstärkta plaster används därför mestadels i exklusiva sportbilar som t. ex. Koenigsegg CCX. En övergång till elbilar kan dock leda till ökad användning av kolfiberarmerade plaster i konventionella bilar framöver (se artikeln "Nu laddar bilindustrin" i Plastforum nr 10 oktober 2009).

Användningen av fiberarmerade plaster har naturligtvis styrts lika mycket av utvecklingen av plastmatriser som utvecklingen av fibrer. I denna artikel beskrivs dock endast utvecklingen av fibrer och för information gällande plastmatrisernas utveckling hänvisas till artikelsen "Plasternas historia" som publicerades i Plastforum under slutet av 2007 och början av 2008.

En intressant reflektion gällande tillverkningen av fiberarmerade plastkomponenter är

FOTO: FLYGVAPENMUSEUM.



J35 Draken med luftintag av glasfiberarmerad epoxi. J35.

att man under 50- och 60-talet jobbade mycket med vakuuminjicering. Inom flygindustrin övergick man under 1960-talet från vakuuminjicering till prepreg (förimpregnerade fibrer) eftersom man därmed kunde erhålla högre andel fiber och bättre kvalitet. Man är dock numera på väg tillbaka till vakuuminjicering eftersom det under senare år utvecklats nya fiber- och matrismaterial som möjliggör tillverkning av komponenter med hög fiberandel och bra kvalitet till lägre pris än med prepreg. Liksom flygindustrin lämnade även fritidsbåtsbranschen under 60-talet vakuuminjiceringsstekniken och övergick till handlaminering och sprutning och dessa båda processer har sedan dess varit helt dominerande för tillverkning av skrov och däck. Nu är man dock på väg tillbaka till vakuuminjicering eftersom man med denna metod kan erhålla bättre och jämnare kvalitet på skrov och däck samt mycket bättre arbetsmiljö. Vakuuminjiceringsstekniken, som fört en relativt tynande tillvaro under några år, är därför tillbaka på bred front och flygindustrin (som stått för utvecklingen av högpresterande fiberarmera-

de plaster) kan intressant nog i dagsläget lära saker av fritidsbåtsbranschen (som stått för utvecklingen av "lågpresterande" fiberarmerade plaster), samt vice versa.

### Forskning

En tidig aktör inom svensk kompositforskning var Flygtekniska Försöksanstalten (FFA) i Bromma. Där samarbetade man med både Saab Aircraft och MFI och utförde provning av glasfiber- och kolfiberlaminat för flyg- och vindkraftstillämpningar.

Ansvariga för forskningsverksamheten vid FFA var bland andra Lennart Knutsson och Sven-Eric Thor. Under början av 1980-talet testade man kolfiberarmerade plaströr med enkelriktade fibrer och hade till en början svårt att få sönder rören på grund av deras höga brotthållfasthet. När de sedan väl sprack blev det bara pulver kvar, vilket fick den dåvarande generaldirektören för FFA att konstatera att kolfiberarmerad plast bör definitivt inte användas i flygtillämpningar! Under 1990-talet fokuserade man mycket på simulering av slagskador i kolfiberlaminat samt utveckling

av ett inbakat optiskt mätsystem för kontinuerlig mätning av spänningar och töjningar i materialet.

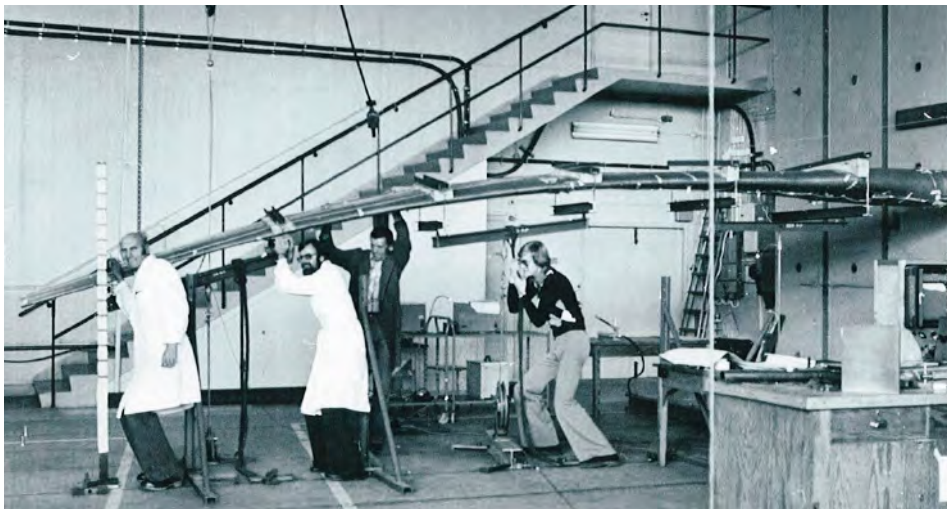
Vid Linköpings Tekniska Högskola började man i slutet av 1970-talet att forska inom området polymera fiberkompositter. Närheten till Saab Aircraft var naturligtvis en starkt bidragande orsak. Drivande personer var Tomas Johannesson och Jan Bäcklund (båda numera kända professorer inom universitetsvärlden) och man jobbade mycket med inverkan av fukt samt beräkning och simulering av mekaniska egenskaper. 1981 flyttade Jan Bäcklund till Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) för en tjänst som professor vid Institutionen för Lättkonstruktioner.

Vid KTH hade man redan innan Jan Bäcklunds ankomst forskat mycket kring fiberarmerade plaster. Drivande för mycket av denna forskning var Professor Karl-Axel Olsson som tillsammans med Karlskronavarvet och Försvarets materialverk (FMV) under 1960-talet jobbade med att utveckla och prova sandwichmaterial för minsvepare. Denna typ av fartyg hade tidigare byggts av ek, men med glasfibers intåg fick man helt nya möjligheter att bygga starka och omagnetiska skrov och däck. Utvecklingsarbetet ledde till konstruktion och tillverkning av minsveparen Viksten, vilken sjösattes 1974, följt av Landsort-serien vilken introducerades under början av 1980-talet. En del av utvecklingsarbetet gällande chockresistenta sandwichmaterial finns presenterat i Plastforum nr 4 och 5 från 1976. Man har även under senare år forskat mycket kring sandwichmaterial och sandwichkonstruktioner på KTH vilket innebär att man i dagsläget besitter en enorm kunskap och erfarenhet inom detta område.

1988 tog ABB beslut om att starta ett forskningsinstitut för polymera fiberkompositter och i augusti 1989 slog Sicomp upp portarna i Öjebyn utanför Piteå. VD för Sicomp vid starten var Peter Gudmundsson (numera rektor vid KTH) och han bestämde efter noga övervägande att man skulle fokusera på tillämpad forskning inom tillverkningsteknik (RTM, fiberlindning och varmpressning av SMC), strömningslära, samt mekanik (inverkan av mikrosprickor på styvhet och brotthållfasthet). 1993 började man på Sicomp att intressera sig för vakuuminjiceringsprocessen och man har sedan dess satsat stora forskningsresurser inom detta område.

*Stort tack till alla som bidragit med bilder och bakgrundsinformation till artikeln.*

FOTO: ARNE NEVIEN, FLYGTEKNISKA FÖRSÖKSANSTALTEN.



Utvärdering av vindkraftsblad vid FFA. Två från vänster står Sven-Eric Thor (numera R&D manager vid Vattenfall) och längst till höger står Christer Lundemo (numera plast- och kompositspecialist vid Scania).



# Värt att veta om kompositer

Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande kompositteknik som ingår i Polymer Colleges kursutbud ([www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta nummer presenteras de vanligaste fibertyperna för armering av plast. Fibrernas egenskaper styr till stor del kompositmaterialens egenskaper, men även fibrernas utformning (väv, matta, etc), matrismaterialens egenskaper, samt vidhäftningen mellan fiber och matris har stor betydelse. Vidhäftningens betydelse diskuteras kortfattat i slutet av denna artikel medan inverkan av fiberutformning och matrismaterial behandlas i nästkommande två artiklar. *Text Anders Sjögren*

## GLASFIBER

Glasfiber för armering av plast blev kommersiellt tillgänglig under slutet av 1930-talet genom Owens-Corning Fiberglas Corporation. Fibern består till största del av kiseldioxid ( $\text{SiO}_2$ ) och tillverkas genom smältning av råmaterialet, följt av dragning av det smälta materialet genom tunna munstycken. Fibrerna som skapas kyls sedan snabbt och beläggs därefter med en appretur (sizing) för att skydda fibern

från yttre påverkan, underlätta hantering, samt säkerställa bra vidhäftning mellan fibern och den plast som den är tänkt att förstärka.

Genom att variera glasets sammansättning kan fibrer med olika egenskaper erhållas. De vanligaste varianterna är; elektrogas (E-glas), höghållfast glas (S-glas), kemikalieresistent glas (C-glas), samt dielektriskt glas (D-glas). E-glas är den vanligaste varianten för armering av plast eftersom den

har bra prestanda i förhållande till priset. För högt belastade konstruktioner kan dock S-glas vara ett intressant alternativ och för komponenter utsatta för kemiskt aggressiva miljöer kan C-glas vara ett bra val. Under senare år har även ett antal modifierade varianter presenterats, t ex Advantex från OCV Reinforcement vilket är en fiber som kombinerar E-glasets mekaniska och elektriska egenskaper med C-glasets kemikaliebeständighet.

### Glasfibrers egenskaper

- + Hög hållfasthet
- + Lågt pris
- Låg styvhet
- Dålig nötningstålighet

### KOLFIBER

Kolfiber för armering av plast blev kommersiellt tillgänglig under slutet av 1960-talet genom bland andra Courtaulds i England. Fibern består till största del av tunna lameller av grafit och tillverkas genom sträckning och värmebehandling av polyakrylnitril (PAN) eller syntetisk tjära (pitch). PAN-baserade kolfibrer har normalt sett högre brotthållfasthet men lägre styvhet än pitch-baserade kolfibrer. Fibern klassificeras efter styvhet och styrka, t ex HS-fiber med hög styrka, HM-fiber med hög styvhet, samt IM-fiber med "mellanliggande" styvhet, samt efter storleken på fiberbuntarna där benämningen 3k innebär att det är 3000 fiber i varje bunt.

Mattor och vävar baserade på tunna fiberbuntar (3k och 6k) används ofta till högpressterande komponenter eftersom de har bättre mekaniska egenskaper än mattor och vävar baserade på grova fiberbuntar (24 k och 48k). Oxeon i Borås har dock utvecklat en vävteknik som gör det möjligt att utgå från tjocka fiberbuntar (vilka är billigare än tunna fiberbuntar) och genom spridning av fibern i breda band erhålla vävar med mycket bra mekaniska egenskaper.

### Kolfibrers egenskaper

- + Hög styvhet och hållfasthet
- + Hög termisk och elektrisk ledningsförmåga
- Låg brottöjning
- Högt pris

### ARAMIDFIBER

Aramidfiber för armering av plast introducerades på marknaden 1971 av DuPont. Försäljningsnamn för fibern var Kevlar. Aramid är ett organiskt material som tillhör gruppen flytande kristallina polymerer (liquid crystalline polymers). Fibrer av materialet tillverkas genom lösningsmedelsspinnning.

Aramidfibrer är mycket anisotropa och de mekaniska och termiska egenskaperna är därmed olika längs och tvärs fibern. Fibern är även hygroskopisk (dvs suger är

sig vatten) och det rekommenderas därför att fibern torkas innan impregnering. Vidare är UV-resistensen låg och fibern måste därför skyddas mot UV-ljus.

Slutligen, när det gäller konstruktion av komponenter baserade på aramidfiberförstärkt plast, är det viktigt att betänka att tryckhållfastheten är väsentligt lägre än draghållfastheten samt att fästet mellan fiber och matris ofta kan vara svagt på grund av fiberns opolära struktur.

### Aramidfibrers egenskaper

- + Hög styvhet och draghållfasthet
- + Hög brottseghet
- Dålig UV-beständighet
- Högt pris

### BASALTFIBER

Basalt är ett inert och naturligt förekommande material som finns över hela världen. Fibrer av basalt tillverkas i likhet med glasfiber genom smältning av råmaterialet i en ugn följt av dragning av det smälta materialet genom tunna munstycken. I jämförelse med E-glas fiber så har basaltfibern ca 15-20 procent högre styvhet och styrka, bättre kemikalie- och temperaturlåghet, samt bättre ljudisolering. Fibern är även enklare att återvinna än glasfiber eftersom den bryts ned till ett fint pulver vid förbränning.

### Basaltfibrers egenskaper

- + Hög hållfasthet
- + God kemikaliebeständighet
- Sämre tillgänglighet än glasfiber
- Dyrare än E-glas (ungefär dubbla priset)

### BORFIBER

Borfiber tillverkas genom beläggning av bor på tunna fibrer av tungsten eller kol. Fibern kännetecknas av stor diameter (ca 10 ggr större än glasfiber) vilket leder till hög tryckhållfasthet. Borfiber kan därför i vissa fall vara ett lämpligt alternativ för tryckbelastade konstruktioner.

### Borfibrers egenskaper

- + Hög styvhet och hållfasthet
- + Hög termisk konduktivitet
- Låg brottöjning
- Högt pris

### POLYETENFIBER

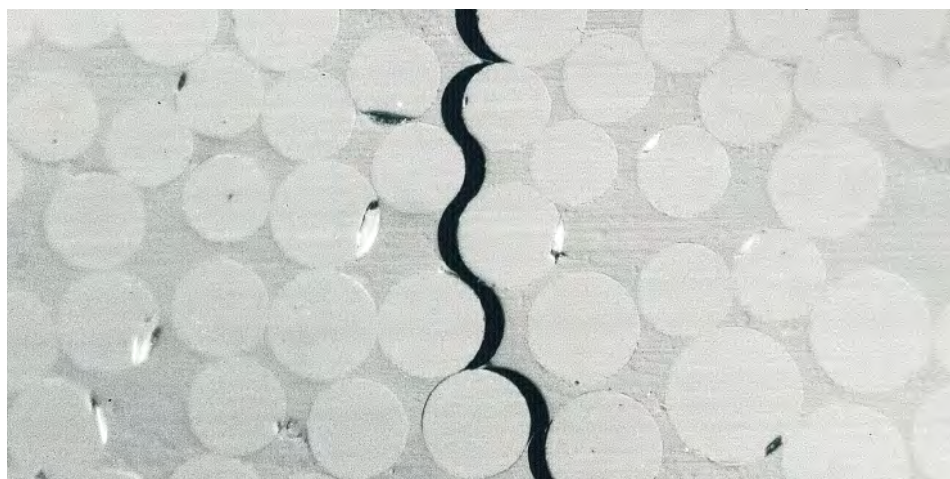
Polyetenfiber framställs genom gel-spinnning eller smältextrudering. Fibern sträcks därefter så att en kraftigt orienterad kristallin struktur erhålls. Fördelar med fibern är låg densitet, hög styvhet och hållfasthet, samt mycket hög brottseghet. Nackdelar är dock begränsad temperaturlåghet (bör ej användas över 100°C) samt dålig vidhäftning till plast. Vidhäftningen kan förbättras genom t ex plasmabehandling men polyetenfiber används trots detta relativt lite för armering av plast.

### Polyetenfibrers egenskaper

- + Hög styvhet och hållfasthet
- + Hög brottseghet
- Låg temperaturlåghet
- Låg krypresistens

### POLYESTERFIBER

Polyesterfiber tillverkas genom smältspinn-



Transversell spricka i glasfiberarmerad vinylester. Sprickan uppstod vid låg töjning (< 0.2%) på grund av dålig vidhäftning mellan fibrerna och plasten.

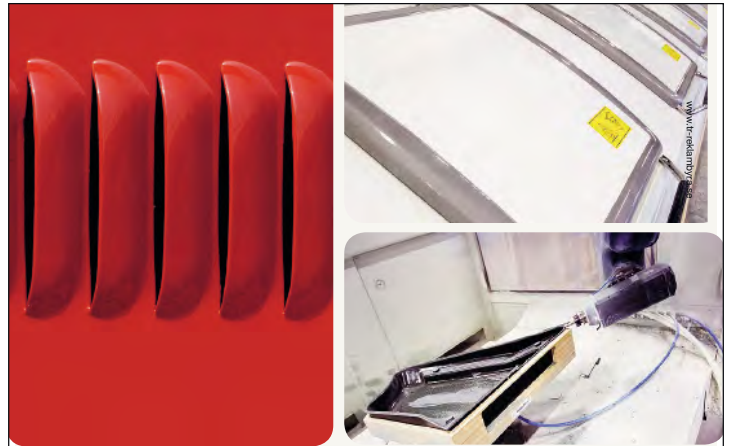
## Prenumerera på Plastforum!

Med en prenumeration på *Plastforum* är du alltid up-to-date med vad som händer i plastbranschen!

### DET HÄR FÅR DU:

- ▶ 10 utgåvor av tidningen
- ▶ Plastguiden – uppslagsverket när du söker information om branschen
- ▶ Faktatrycksaker
- ▶ Daglig nyhetsservice på [plastnet.se](http://plastnet.se)

Besök [www.plastnet.se](http://www.plastnet.se)  
för mer information!



## Konkurrensfördelar i komposit för fordons- och maskinindustrin

Hur mycket skulle du tjäna på om dina produkter t ex vore betydligt starkare och lättare? En hel del säkert. Det är bland annat den här sortens fördelar vi tillför med vår högteknologiska tillverkning av kompositdetaljer. Fördelar som dessutom blir fler allt eftersom vi fortsätter att utvecklas och kan uppfylla allt högre krav.

Kontakta oss så berättar vi mer om hur vi kan uppfylla just dina.

**PTC**

Tel. 0910-71 1390, [info@ptc.nu](mailto:info@ptc.nu), [www.ptc.nu](http://www.ptc.nu)



## FRÅN IDÉ TILL PRODUKTION - VI HAR DEN RÄTTA UTRUSTNINGEN!

Effektivisera produktionen och spara kostnader med maskiner och programvara från GERBER.

Vår Gerber skärmaskin finns bland annat hos Swerea SICOMP i Piteå.

### FÖR MER INFORMATION:

Robert Olsson (hårdvara)  
| 033-17 88 33 | 070-617 88 01 |  
[robert.olsson@acgnystrom.se](mailto:robert.olsson@acgnystrom.se)

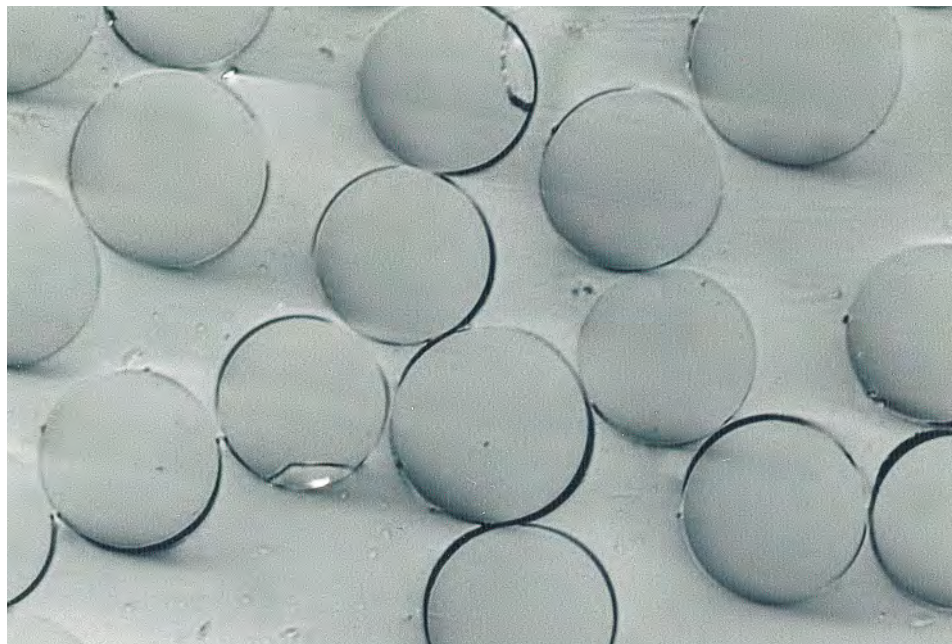
Lars Johansson (hårdvara)  
| 033-17 88 78 | 070-617 88 20 |  
[lars.johansson@acgnystrom.se](mailto:lars.johansson@acgnystrom.se)

Gabriella Zalewski (mjukvara)  
| 033-17 88 82 | 070-254 83 00 |  
[gabriella.zalewski@acgnystrom.se](mailto:gabriella.zalewski@acgnystrom.se)



Box 929, S-501 10 BORÅS Sweden Tel.: +46 (0)33 17 88 00 Telefax: +46 (0)33 10 07 07  
e-mail: [info@acgnystrom.se](mailto:info@acgnystrom.se) [www.acgnystrom.se](http://www.acgnystrom.se)

**ACG NYSTRÖM**  
Knowledge, Ability and Experience



Släppning (debondning) mellan glasfiber och vinylester efter härdning. Släppningen beror på dålig vidhäftning mellan fibrerna och plasten vilket medför att plasten krymper ifrån fibern vid härdning.

ning följt av sträckning. Fibern kännetecknas av hög brottseghet i kombination med bra nötningsbeständighet och används till kläder, mattor, möbler, rep, segel, mm. Polyesterfiber används relativt sällan för armering av plast, men vävar av polyesterfibrer används emellanåt för att förbättra slagtligheten hos glasfiberkomposit.

#### Polyesterfibrers egenskaper

- + Hög brottseghet
- + Bra nötningsstålighet
- Låg styvhet
- Låg krypresistens

#### NATURFIBER

Naturfibrer har använts som förstärkning i enklare typer av byggnadsmaterial under flera tusentals år. Under det senaste årtiondet har det dock uppstått ett intresse av att ersätta glasfiber med naturfiber eftersom naturfibrerna har låg densitet, lågt pris samt utvinns från förnyelsebara råvaror. Nackdelar jämfört med glasfiber är dock sämre brotthållfasthet, större spridning i kvalitet, samt hög fuktabsorption. Den höga fuktabsorptionen gör att fibrerna behöver torkas innan impregneringen med plast för att undvika allt för hög porhalt i materialet och därmed dåliga mekaniska egenskaper.

Naturfibrerna klassificeras normalt sett efter plats på växten. Lin, jute, och hampa

tillhör därför gruppen stjälfibrer, abaca och sisal tillhör gruppen bladfibrer och bomull och kapok tillhör gruppen fröhårsfibrer. Användningen av naturfiber som förstärkning i plast har ökat kraftigt under senare år, främst beroende på en stor användning inom fordonsindustrin.

#### Naturfibrers egenskaper

- + Låg densitet
- + Lågt pris
- + Relativt hög specifik styvhet
- + Förnyelsebara råvaror
- Låg brotthållfasthet
- Hög fuktupptagning
- Stor variation i kvalitet
- Begränsad processtemperatur

#### METALLFIBER

Metallfibrer används relativt sällan för armering av plast. Voestalpine Polynorm i Holland har dock tagit fram ett nytt material (EASI) som består av glasfiberarmerad polypropen i kombination med stålvaror. Stålvarorna ger ökad brottseghet samt håller ihop materialet efter slutbrott, vilket är två egenskaper som uppskattas inom fordonsindustrin.

#### VIDHÄFTNING

Vidhäftningen mellan fiber och plast är av mycket stor betydelse och påverkar såväl

mekaniska egenskaper som fuktupptagning och risk för skevning. Oftast eftersträvar man en stark vidhäftning för att erhålla hög styvhet och styrka på materialet. För vissa applikationer kan det emellertid vara önskvärt med en relativt svag bindning eftersom detta kan förbättra brottsegheten på materialet. För att erhålla en stark vidhäftning krävs att plasten kan väta fibern samt att det finns möjlighet till kemisk bindning, mekanisk låsning, elektrostatisk attraktion, eller molekylära intrasslingar.

Den starkaste vidhäftningen erhålls vid kemisk reaktion mellan fiber och plast och glasfiber beläggs därför med en appretur med ett "kopplingsmedel" vars uppgift är att åstadkomma kemisk bindning mellan fiber och matris. Vid användning av termoplastiska matrismaterial kan det ibland vara svårt att åstadkomma kemisk bindning och man belägger då fibern med en appretur som delvis består av en polymer med korta molekylkedjor. Dessa molekylkedjor diffunderar in bland molekylkedjorna i matrismaterial och skapar en fysikalisk låsning mellan fiber och matrismaterial.

Eftersom vidhäftningen mellan fiber och matris till stor del avgör materialets egenskaper är det viktigt att undersöka vidhäftningens styrka. Experimentella metoder för att mäta styrkan är t ex single-fiber pull-out, single-fiber push-out, samt single-fiber fragmentation. En effektiv metod för att skapa en uppfattning om vidhäftningen är även dragprovning av korslaminat eftersom töjningen vid uppkomst av transversella sprickor i lamellen med fibrer 90° mot belastningsriktningen styrs av bindningen mellan fiber och matris. En liten töjning (<0,2%) vid uppkomst av transversella sprickor tyder på en relativt svag bindning mellan fiber och matris medan en större töjning (>0,5%) tyder på en stark bindning. Studie av brottytor är även mycket effektivt för att få en uppfattning om vidhäftningen mellan fiber och matris. En svag bindning leder vid brott till utdragning av fibrer (fiber pull-out) vilket resulterar i brottytor med långa utstickande fiberändar. Genom att kombinera visuell undersökning av brottytor med undersökning i svepelektronmikroskop (SEM) kan ofta en mycket bra uppfattning om vidhäftningen mellan fiber och matris erhållas.

# Värt att veta om kompositer

Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer College kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta nummer presenteras de vanligaste armeringstyperna. *Text Anders Sjögren*

Egenskaperna hos polymera fiberkompositer styrs inte enbart av valet av fiber- och matrismaterial utan även till stor del av valet av armeringstyp, dvs utformning och längd på fibern. Långa kontinuerliga fibrer placerade i en riktning ger ett starkt och styvt material i fiberriktningen, men ett ganska veckt material tvärs fiberriktningen. Man väljer därför ofta att placera fibrer i olika riktningar för att undvika haveri på grund av oförutsedda laster. Valet av tillverkningsmetod har även stor betydelse för vilken armeringstyp som bör användas eftersom olika armeringstyper har olika

formbarhet, vätningsförmåga, etc. I det följande presenteras de vanligaste armeringstyperna som används i polymera fiberkompositer.

## Armeringstyper

### ROVING

Roving består av buntar med kontinuerliga fibrer och används som utgångsmaterial vid tillverkning av olika armeringstyper, t.ex. multiaxiella mattor och vävar. Roving används även direkt vid tillverkning med hjälp av sprutning, lindning eller profildragning. Densiteten på fiberbuntarna

beskrivs med hjälp av textal vilket anger vikten i gram för 1000 meter av materialet. Vanliga textal för glasfiberroving är 600, 1200 och 2400.

Roving finns även i form av hybridgarn vilket är en kombination av förstärkningsfibrer (oftast glasfiber) och termoplastfibrer. Genom att värma över polymerens smälttemperatur och samtidigt applicera ett lågt tryck flyter termoplastfibrerna ut och väter förstärkningsfibrerna.

### FLOCK

När fibrer huggs i längder mellan 3 och 50

mm får man en produkt som kallas för flock. Glasfiberflock används bland annat vid framställning av glasfiberspäckel, till pressmassor vid gipsarmering, samt till armering av termoplast.

#### ENKELRIKTADE FIBRER

Enkelriktade fibrer i form av UD-vävar eller band utnyttjas i konstruktioner där belastningsriktningen är känd. En fördel med att placera alla fibrer i en riktning är att det går att erhålla hög fiberhalt och därmed mycket bra mekaniska egenskaper. Enkelriktade fibrer används ofta för tillverkning av flyg- och rymdkomponenter och då i form av prepreg (dvs förimpregnerade fibrer). Inom andra branscher används enkelriktade fibrer i viss omfattning för lokal förstärkning av vävar och multiaxiella mattor.

#### HUGGEN MATTA

Vid tillverkning av huggen matta (Chopped Strand Mat) utgår man från glasfiberhärvor. Fibern leds genom en kutter där den huggs till en längd av vanligtvis 50 mm. De huggna fibrerna läggs på ett transportband och binds samman med ett emulsions- eller pulverbindemedel. Transportbandet går därefter genom ett antal torkugnar där bindemedlet torkas och härdar. Slutligen pressas mattan samman mellan valsar för att få rätt tjocklek och draghållfasthet. Huggen matta används ofta för tillverkning av fordonspaneler, tankar och behållare, samt fritidsbåtar.

#### KONTINUERLIG MATTA

Vid tillverkning av kontinuerlig matta (Continuous Strand Mat) formas fiberbuntar under deglar. Fibrerna binds sedan samman med ett emulsions- eller pulverbindemedel varefter materialet formas i ett virvelmönster till en kontinuerlig matta. Användningsområden för kontinuerlig matta är desamma som för huggen matta.

#### YTMATTA

Ytmattor används ofta som ett skyddande lager mellan gelcoat och vävar/multiaxiella mattor. Syftet med ytmattor är att förhindra fibergenomslag och därigenom underlätta tillverkning av gelcoatade produkter med bra ytfinish.

#### MULTIAXIELL MATTA

Multiaxiella mattor (Non-crimp fabrics) består av lager av fiberbuntar. Lagren hålls ihop av en tråd (ofta polyesterbaserad) för att förhindra att fiberbuntarna rör för mycket på sig. Det vanligaste är att kombinera lager med någon eller några av fiber-



Glasfiberflock.



Huggen glasfiber-matta.

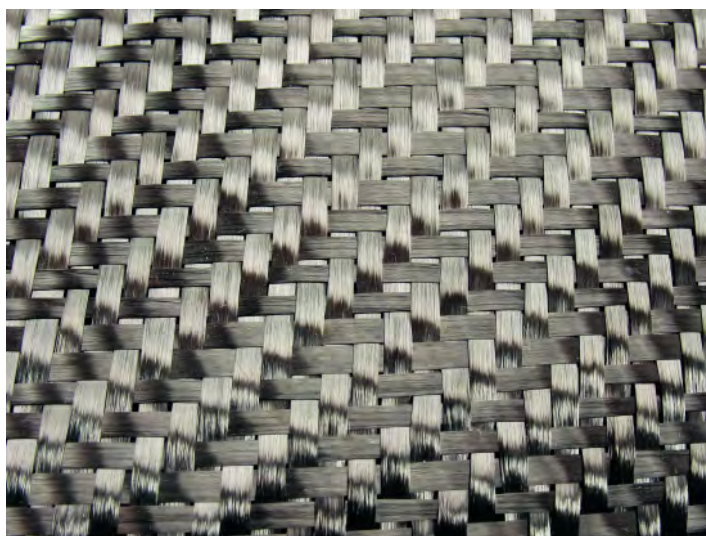


Kontinuerlig glasfiber-matta.



Multiaxiell glasfiber-matta med kolfiberinlägg.





Kolfiberväv.



Flätad strumpa bestående av en kombination av glasfiber och polypropenfiber (hybridgarn).

vinklarna 0°, 90° och ±45°. Multiaxiella mattor har under lång tid använts för tillverkning av fritidsbåtar. Intresset för multiaxiella mattor har dock ökat under senare år och i dagsläget används denna typ av armering i en mängd olika produkter.

## VÄVAR

Vävning innebär att två eller flera system av fiberbuntar korsas under konstant vinkel. Beroende på vävmetod erhålls vävar med olika täthet, formbarhet, vätningsförmåga, samt hållfasthet. De vanligaste vävbindningarna är; tvåskaftsbindning, kypertbindning, satängbindning samt panamabindning. Tvåskaftsbindning innebär att varje fiberbunt går omväxlande över och under en korsande fiberbunt. Detta ger en stabil väv som är lätt att impregnera. Kypertbindning innebär att fiberbuntarna i varpriktningen går under eller över minst två fiberbuntar i väfriktningen. Vävar med kypertbindning ger bättre formbarhet och hållfasthet än vävar med tvåskaftsbindning. Satängbindning innebär att fiberbuntarna i varpriktningen går under eller över minst fyra fiberbuntar i väfriktningen vilket leder till mycket bra formbarhet och hållfasthet. Panamabindning, slutligen, är en tvåskaftsbindning med grupper om två eller flera löpande fiberbuntar i såväl varpled som väftled.

En fördel med vävar, jämfört med enkelriktade fibrer och multiaxiella mattor, är att risken för delaminering vid slagpåverkan

minskar. En nackdel är dock sämre drag- och tryckhållfasthet på grund av fibrernas vågiga struktur. Vävar används för tillverkning av en mängd olika produkter, t.ex. tävlingsbåtar, cykelramar och röntgenbord.

I början av 2000-talet började Oxeon i Borås att tillverka bandvävar av kolfiber. Genom att använda breda band istället för fiberbuntar böjs fibrerna mindre och deras styvhet och hållfasthet kan därmed utnyttjas bättre.

## STICKADE STRUKTURER

Stickade strukturer består av ett system av fiberbuntar sammanbundna av looper. Fördelar med stickade strukturer är stor formbarhet samt hög skadetålighet. Nackdelar är dock relativt låg styvhet och brotthållfasthet, svårighet att förutse egenskaper då det stickade materialet sträcks i olika riktningar vid drapering, samt problem att sticka fibrer med hög styvhet (t.ex. kolfibrer). Stickade strukturer används i ganska liten omfattning för tillverkning av polymera kompositprodukter.

## FLÄTADE STRUKTURER

Vid flätning tvinnas två eller flera fiberbuntar om varandra i en motgående rörelse till att bilda en integrerad struktur. Genom att ändra fibervinklarna under flätningens gång är det möjligt att framställa förformar med olika egenskaper i olika riktningar. Flätade strukturer kännetecknas av bra formbarhet, hög vridstyvhet samt god ska-

detålighet. Användningen av flätade strukturer är, i likhet med användningen av stickade strukturer, ganska liten. Ett exempel på en flätad kompositprodukt är dock krockboxarna till Mercedes SLR McLaren.

## Förformning

Kapning av armeringen till önskade dimensioner sker i dagsläget vanligtvis med hjälp av sax. Ett flertal företag har dock under senare år investerat i skärmaskiner eftersom detta ger snabbare kapning samt mindre materialspill.

Vid stora produktionsvolymerna används ofta någon typ av förformningsteknik för att minska tiden för placering av armeringen i verktyget. En intressant förformningsteknik som används en del inom fordonsindustrin är P4-metoden som utvecklats av Applicator AB i Mölnlycke. Med denna metod sprutas huggna glasfiber och bindemedel på ett förformningsverktyg. Materialet värms sedan så att bindemedlet smälter och fixerar glasfibern. Fördelar med P4-metoden är t.ex. snabb förformning, bra ytfinish, samt lägre materialkostnad eftersom roving används istället för vävar eller mattor.

Förformning används dock inte enbart för att erhålla korta processtider. Med förformningstekniker såsom flätning, stickning, vävning och sömnad är det möjligt att placera fibrer i tre dimensioner och därmed tillverka produkter med mycket bra skadetålighet.



FOTO: PETER SZAMER

# Värt att veta om kompositer

Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer College kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta nummer presenteras de vanligaste plastmatriserna. *Text Anders Sjögren*

Förutom fibrer (vilket behandlats i artikel 3 och 4) består polymera fiberkompositer även av matrismaterial (plast). Matrismaterial har som uppgift att hålla fibrerna på plats, överföra last till fibrerna, skydda fibrerna från yttre påverkan (slag, kemikalier, fukt, mm), samt försvåra fibermikrobuckling vid trycklast. Både härdplaster och termoplaster används som matrismaterial. Vanligast är härdplaster, eftersom de normalt sett har bättre värmebeständighet, kemikaliebeständighet och mekaniska egenskaper än prismässigt jämförbara termoplaster. Vidare är det enklare att erhålla

bra vätning av fibrerna med härdplaster än med termoplaster på grund av deras lägre viskositet. Nackdelar med härdplastmatriser är dock längre processtid samt svårare återvinning. I det följande presenteras de vanligaste matrismaterialen för polymera fiberkompositer.

## Härdplaster OMÄTTAD POLYESTER (UP)

Omättad polyester består av långa molekylkedjor som skapats genom reaktion mellan karboxylsyror och alkoholer. För att sänka

viskositeten och möjliggöra härdning tillsätts oftast styren. Som initiator för härdningsprocessen används en peroxid, t ex metyletylketonperoxid (MEKP). Det finns en mängd olika typer av omättad polyester, varav de två vanligaste är orto-polyester och iso-polyester. Iso-polyestern är något dyrare än orto-polyestern men har högre temperaturlåghet, mindre fuktupptagning, samt bättre motstånd mot UV-strålning. Användningsområden för glasfiberförstärkt omättad polyester är t ex rör, tankar, elskåp, kanoter, fritidsbåtar, vindavisare, skåp och huvar till lastbilar och släp, mm.

**Egenskaper**

- + Snabb och enkel härdning
- + Bra beständighet mot syror och baser
- + Lågt pris
- Stort härdkrämp
- Arbetsmiljöproblem på grund av styrenavgång

**VINYLESTER (VE)**

Den kemiska uppbyggnaden av vinylester är snarlik den kemiska uppbyggnaden av epoxi, men härdningen sker på samma sätt som för omättad polyester. Egenskaperna är normalt sett något bättre än för omättad polyester, men något sämre än för epoxi.

Vinylester används oftast tillsammans med glasfiber. Typiska användningsområden är kemikalieresistenta rör och tankar, tryckkärl, vindkraftsblad, fritidsbåtar, mm.

Intressant att notera är att marinens Visby korvetter är byggda av kolfiberarmerad vinylester.

**Egenskaper**

- + Snabb och enkel härdning
- + Mycket bra kemikaliebeständighet
- + Bra mekaniska egenskaper
- Stort härdkrämp
- Arbetsmiljöproblem på grund av styrenavgång

**EPOXI (EP)**

Om det krävs bättre mekaniska egenskaper och/eller temperaturlåglighet än vad omättad polyester eller vinylester kan erbjuda används ofta epoxi. Det finns en mängd olika epoxivarianter men gemensamt för dem alla är att molekyllkedjorna innehåller epoxigrupper som vid härdning kemiskt reagerar med en härdare. Vid härdning av epoxi används alltså ingen initiator, utan epoxihartset blandas istället med en härdare och det är viktigt att notera att mängden härdare som krävs för fullständig uthärdning är i samma storleksordning som mängden epoxiharts.

Högtalare från Marten med kabinetttillverkat av kolfiberarmerad epoxi.



Visby korvett med skrov och däck tillverkade av kolfiberarmerad vinylester.



FOTO: ULF BRUDER

Eftersom det finns så många olika epoxivarianter, utvecklade för olika ändamål, är det svårt att klassificera epoxi. Man brukar dock ofta dela upp epoxivarianterna i rumshärdande och högttemperaturhärdande. De rumshärdande systemen kan, som namnet anger, härddas vid rumstemperatur medan högttemperatursystemen måste härddas under förhöjd temperatur (>100°C). Man kan alltså välja epoxi efter sina processbetingelser. Det är dock viktigt att komma ihåg att härdtemperatur och härdtid påverkar mängden tvärbindingar och därmed materialets egenskaper. Epoxi används oftast tillsammans med kolfiber. Typiska användningsområden är flyg- och rymdkomponenter, tennisracketar, golfklubbor, tryckkärl, chassi- och karosserikomponenter till exklusiva bilar, samt skrov och däck till tävlingsbåtar.

**Egenskaper**

- + Bra temperatur- och kemikaliebeständighet
- + Litet härdkrämp
- + Bra vidhäftning till andra material
- Högt pris
- Allergiframkallande

**POLYURETAN (PUR)**

Polyuretan består av molekyllkedjor som skapats genom reaktion mellan isocyanater och alkoholer (polyoler). Genom att styra den kemiska uppbyggnaden kan man erhålla material med vitt skilda egenskaper, d v s allt från styvt och hårt till mjukt och segt. Polyuretan används ofta utan armeringsmaterial, men i vissa fall förstärks materialet med fibrer och då vanligtvis glasfibrer. Ett

vanligt användningsområde för glasfiberförstärkt polyuretan är exteriöra fordonskomponenter.

**Egenskaper**

- + Snabb härdning
- + Bra vidhäftning till andra material
- + Lågt pris
- Begränsade temperaturegenskaper
- Ohälsosam råvara (isocyanat)

**FENOL**

Fenolharts är baserat på fenol och formaldehyd och finns i varianterna resol och novolack. Resolhartsen härddas utan tillsats av någon extra substans (härdare) vid uppvärmning och används inom kompositsammanhang för tillverkning av förimpregnerade fibertejper (prepreg). Novolackhartsen kräver däremot tillsats av formaldehyd för att härda. En vanlig formaldehydkälla är hexametylentetramin som i värme avspjälkar formaldehyd. Fenolplast används ofta istället för omättad polyester och vinylester då det krävs bra temperatur- och brandbeständighet. Vanliga användningsområden för glasfiberförstärkt fenolplast är komponenter inom elkraftsindustrin, motorkomponenter till bilar, interiöra komponenter till flygplan, bussar, tåg och tunnelbanevagnar, mm.

**Egenskaper**

- + Bra temperatur- och kemikaliebeständighet
- + Låg brännbarhet
- + Lågt pris
- Låg brottöjning
- Stort härdkrämp



Omrörare från ITT Water & Wastewater med blad tillverkade av glasfiberarmerad polyuretan.

## Termoplaster POLYPROPEN (PP)

Polypropen är näst efter lågdensitetspolyeten (LDPE) den vanligaste plasten på marknaden. Egenskaperna kan styras genom variation av molekylviktsfördelning, sampolymerisation, inblandning av elastomerer och/eller fyllmedel, samt förstärkning med fibrer. En stor fördel med polypropen är att materialet går att bearbeta med i stort sett alla vanliga tillverkningsmetoder för plastmaterial (t ex formsprutning, pressning och varmformning). Vanliga användningsområden för oarmerad polypropen är bilbatterier, förpackningar, rep, mattor, lådor med integrerade gångjärn, mm. Med glasfiberarmering erhålls en högre styvhet och bättre krypresistens och denna typ av material används mycket inom fordonsindustrin (batterihyllor, sätesramar, dörrmoduler, underkörningsskydd, mm). Det kan dock vara svårt att åstadkomma snygga ytor på glasfiberarmerad PP eftersom plasten krymper mycket vid stelning och materialet används därför mestadels till produkter med litet krav på ytfinish.

### Egenskaper

- + Låg densitet
- + Bra utmattningshållfasthet
- + Lågt pris
- Låg krypresistens
- Begränsad UV-beständighet

### POLYAMID (PA)

Polyamid är en delkristallin termoplast som finns i många olika varianter, t ex PA6, PA66, PA46, PA11 och PA12. De två vanligaste varianterna är PA6 och PA66 vilka kännetecknas av bra mekaniska egenskaper och låg friktion. En nackdel med PA6 och PA66 är dock att de absorberar fukt och måste torkas innan tillverkning för att undvika nedbrytning (hydrolys) av materialet. Även efter tillverkning påverkas materialet av fuktupptagning vilket leder till ökad brottseghet men minskad dimensionsstabi-

litet, krypresistens, styvhet och brotthållfasthet. Typiska användningsområden för kortfiberförstärkt polyamid är fordonskomponenter, kåpor och tankar till motorsågar, samt olika typer av handverktyg. Polyamid med långa/kontinuerliga fibrer används i viss utsträckning för tillverkning av hjälmar, skosulor och stötfångarbalkar.

### Egenskaper

- + Bra mekaniska egenskaper
- + God temperatur- och kemikaliebeständighet
- + Bra elektriska egenskaper
- Absorberar fukt (vilket påverkar egenskaperna)
- Spröd vid låga temperaturer

### POLYFTALAMID (PPA)

Polyftalamid utgörs av en grupp delkristallina aromatiska polyamider med klart bättre mekaniska och termiska egenskaper än PA6 och PA66. De tar även upp mindre fukt och är mera dimensionsstabila. De flesta PPA-kvaliteter är glasfiberarmerade och används vid formsprutning. Stora användare av glasfiberförstärkt PPA är till exempel elektronik- och fordonsindustrin.

### Egenskaper

- + Högre styvhet och hållfasthet än PA6 och PA66
- + Bra temperatur och kemikaliebeständighet
- + Lägre vattenabsorption än PA6 och PA66
- Sämre slagseghet än PA6 och PA66
- Högt pris

### POLYFENYLENSULFID (PPS)

Glasfiberarmerad polyfenylensulfid är ett mycket styvt material och kan ha en E-modul på över 20 GPa. Materialet tål hög temperatur och har mycket bra kemikalietålighet. Glasfiberarmerad PPS används för komponenter som kräver bra mekaniska egenskaper i kombination med hög kemikalietålighet och de

största användarna är desamma som för glasfiber-armerad polyftalamid, dvs elektronik- och fordonsindustrin.

### Egenskaper

- + Mycket hög styvhet och krypresistens
- + Bra temperatur- och kemikaliebeständighet
- + Utmärkt dimensionsstabilitet
- Låg brottöjning
- Högt pris

### POLYETERETERKETON (PEEK)

Det finns ett stort antal olika aromatiska polyketoner, men den vanligaste varianten i kompositsammanhang är polyetereterketon (PEEK). Denna plast karakteriseras av utmärkta mekaniska egenskaper över ett brett temperaturintervall. Drag- och böjållfastheten är till exempel oförändrad upp till 250°C. Både glas- och kolfiber används för armering av PEEK. Typiska användningsområden är flyg- och rymdkomponenter, medicinska implantat, elektriska komponenter, samt kolvar och ventiler.

### Egenskaper

- + Mycket bra mekaniska egenskaper
- + Utmärkt temperatur- och kemikaliebeständighet
- + Låg brännbarhet
- Kräver hög bearbetningstemperatur
- Högt pris



Åkgräsklippare från Stiga med chassi tillverkat av glasfiberarmerad polypropen.



# Värt att veta om kompositer

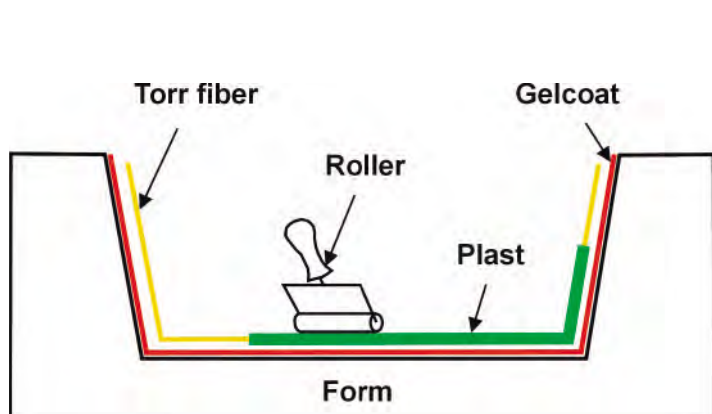
**Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer College kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta och nästkommande nummer presenteras de vanligaste tillverkningsmetoderna för polymera fiberkompositer. Text Anders Sjögren**

## HANDLAMINERING

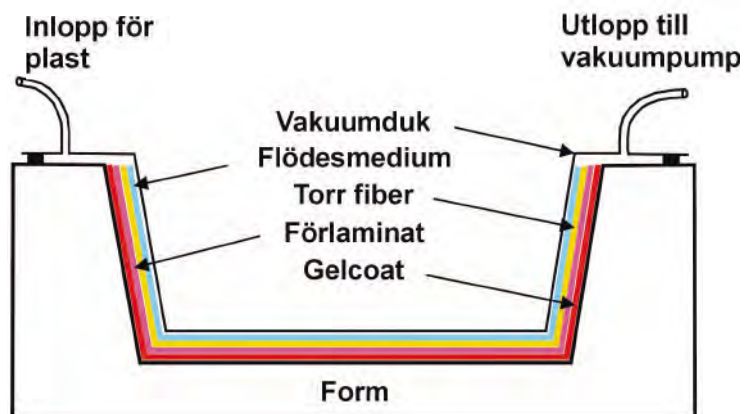
Handlaminering är en enkel och flexibel teknik som ofta används vid små serier. Det första steget vid tillverkning av en produkt är att belägga formen med släppmedel. Vanligtvis används vax som släppmedel för att få ett lagom fäste mellan form och laminat. Därefter penslas eller sprutas gelcoat i formen. Gelcoaten som används är oftast baserad på polyester och infärgad i önskvärd

kulör. Syftet med att använda gelcoat är att undvika fibergenomslag på ytan samt skydda det underliggande laminatet från nedbrytning på grund av UV-strålning, fukt, mm. Nästa steg i tillverkningsprocessen är att bygga styvhet och styrka och för detta används vanligtvis glasfiber och omättad polyester. Det går naturligtvis utmärkt att använda även andra typer av fibrer (t.ex. kol-fiber eller aramidfiber) och/eller andra typer

av plaster (t.ex. vinylester eller epoxi) men eftersom laminatkvaliteten kommer att bli relativt dålig på grund av mycket porer är det oftast klokast att använda billiga fiber- och plastmaterial vid handlaminering. För produkter med krav på bra ytkvalitet lamineras ofta en eller flera ytmattor närmast gelcoat-skiktet för att undvika fibergenomslag på ytterytan. Därefter lamineras önskvärt antal mattor/vävar fast med hjälp av rollers. Bäst kvalitet (lägst porhalt) erhålls om hartset appliceras före de torra mattorna/vävarna eftersom detta minskar risken för instängning av luft i laminatet. När önskat antal mattor/vävar laminerats fast får materialet hårda. Härdningen sker vanligtvis vid rumstemperatur, men för att åstadkomma fullständig uthärdning krävs normalt förhöjd temperatur. Som ett sista skikt läggs ofta en topcoat. Topcoaten är i likhet med gelcoaten oftast baserad på polyester. En skillnad är dock att topcoaten innehåller en liten mängd vax för att säkerställa bra uthärdning.



Schematisk beskrivning av handlaminering.



Schematisk beskrivning av vakuuminjicering.

En stor fördel med handlaminering är att man kan bygga stora produkter, t.ex. skrov och däck till fritidsbåtar. Om man inte hinner laminera klart innan arbetstidens slut är det bara att fortsätta nästa dag eftersom polyesterhartset inte hunnit härda fullt under natten och det därför finns tillräckligt med icke-reagerade molekyler och molekyldjor kvar för att åstadkomma bra vidhäftning till nya lager av glasfiber och polyester. Om polyesterplasten härdat för långt innan det är dags för nästa skikt krävs att ytskiktet slipas innan nästa skikt lamineras fast. Slipning krävs även vid användande av LSE-plaster (dvs polyesterplaster med låg styrenhalt) eftersom dessa plaster innehåller vax som lägger sig på ytan och detta vax måste avlägsnas för att säkerställa bra vidhäftning.

Handlaminering används även för tillverkning av sandwichprodukter. Viktigt att beakta vid laminering av sandwichprodukter är att vidhäftningen mellan laminat och kärnmateriale blir bra. Kärnmaterialet kan till exempel behöva mättas med polyester innan laminering för att säkerställa bra vidhäftning. Framförallt om kärnmaterialet har bearbetats eftersom man då har öppnat upp porer på ytan.

#### Egenskaper

- + Låga investeringskostnader
- + Ingen begränsning i storlek eller geometri
- Lång tillverknings tid
- Stor variation i kvalitet
- Öppen process – arbetsmiljöproblem

#### VAKUUMINJICERING

Vakuuminjicering är en sluten tillverkningsprocess som används vid tillverkning av skrov och däck till fritidsbåtar, vindkraftsblad, fordonspaneler, containrar, mm. Förde-

lar med vakuuminjicering jämfört med handlaminering är:

- Bättre arbetsmiljö
- Jämnare kvalitet
- Bättre mekaniska egenskaper
- Lättare produkter

Det första steget vid tillverkning av en produkt är, i likhet med handlaminering, applicering av släppmedel i formen, t.ex. vax. Formarna som används vid vakuuminjicering skiljer sig något från formarna som används vid handlaminering eftersom det krävs utrymme för att kunna tätas mellan form och vakuumduk. Vidare är det mycket viktigt att formarna är helt täta vid vakuuminjicering, annars kommer man att suga in luft under tillverkningsfasen och erhålla produkter med dålig kvalitet på grund av hög porhalt. Efter applicering av släppmedel, penslas eller sprutas vanligtvis ett tunt skikt av gelcoat. Detta skikt räcker dock inte som skydd mot fibergenomslag och man lägger därför ofta ett förlaminat bestående av tunna glasfiber mattor och vinylester (alternativt polyester) närmast gelcoatskiktet. Handlaminering av förlaminat är dock tidskrävande och har en negativ inverkan på arbetsmiljön eftersom det är en öppen process och vissa företag har därför övergått till att använda barriärcoat istället för förlaminat. Syftet med att använda barriärcoat är alltså detsamma som för förlaminat, dvs undvika fibergenomslag samt minska risken för böldpest på marina produkter. När förlaminatet, eller barriärcoaten, erhållit önskvärd uthärdningsgrad är det dags att applicera det första lagret av strukturell matta/väv. Normalt krävs ett flertal lager av huggen matta, multiaxiell matta och/eller väv för att erhålla önskvärd

styvhet och styrka. För att hålla de olika matorna/vävarna på plats under arbetet används sprejlim. Även kärnmateriale, t.ex. Divinycell, appliceras ofta med hjälp av sprejlim. När all fiber är på plats är det dags att placera ut in- och utloppskanaler. Som inloppskanal används normalt spiralslang och som utloppskanal spiralslang eller plastrep. När injiceringsstrategin är bestämd (det finns en mängd olika strategier, t.ex. katinjicering, punktinjicering, förgrenad injicering och sekventiell injicering) och alla slangar, plastrep, kopplingar, mm är utplacerade är det dags att täta formen och för detta ändamål används en vakuumduk. Vakuumduken är vanligtvis tillverkad av polyamid vilket gör att egenskaperna på duken kan variera något mellan årstiderna eftersom polyamid tar upp fukt. Luftfuktigheten i lokalen kan därför inverka på dukens flexibilitet och brotthållfasthet. Vakuumdukar tillverkade av polyamid är av engångstyp och lämpar sig bra för tillverkning av stora produkter. För mindre produkter kan dock vakuumdukar av silikon vara ett intressant alternativ eftersom de klarar flera injiceringar och mängden material som måste kasseras efter varje injicering därmed minskar. För att täta mellan form och vakuumduk används tätningstejp. Det är viktigt att välja en tätningstejp av bra kvalitet, så att den fäster till både form och vakuumduk. Applicering av vakuumduk på formar med komplexa geometrier, t.ex. däck till fritidsbåtar, är ett arbete som kräver en del erfarenhet. Viktigt att beakta är dock att duken måste ha möjlighet att pressa glasfibern mot formen och det får därför inte finnas några områden med sträckt vakuumduk som inte är i kontakt med underliggande lager av glasfiber då luften i formen evakuerats. Om



Din partner för  
Process och produktutveckling  
inom kompositområdet

[www.swereasicomp.se](http://www.swereasicomp.se)

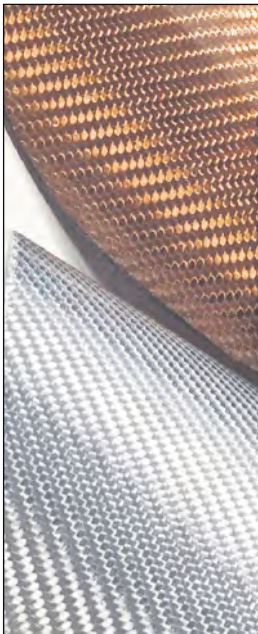
swerea | SICOMP

The centre of composites technology



**TANSO**  
Svenska Tanso AB

Tel: 036-36 85 00 Fax: 036 - 36 85 85  
[www.tanso.se](http://www.tanso.se) [sales@tanso.se](mailto:sales@tanso.se)



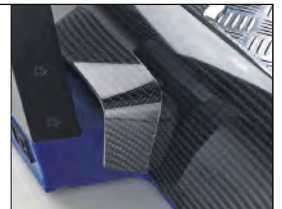
**CARBONIA**  
C O M P O S I T E S

Din totalleverantör inom  
**Avancerade Kolfiberprodukter**

- Utveckling
- Konstruktion
- Serieproduktion

Tel 040-295660

[www.carbonia.se](http://www.carbonia.se)



**VILL DU ANNONSERA I PLASTFORUM?**

*Kontakta oss för mer info!*

**BEHÖVER DU REKRYTERA PERSONAL?**

*Låt oss berätta om vårt förmånliga platsannonserpaket!*

**SAKNAR DU VÅR MEDIEINFO FÖR 2011?**

*Gå in på vår hemsida och ladda hem den!*



Lotta Hylén  
Tel: 042 490 19 27



Dagmar Wendelblom  
tel: 042 490 19 28

**PLAST**

[www.plastnet.se](http://www.plastnet.se)

vakuumduken inte har möjlighet att pressa glasfibern mot formen kommer det att bildas plastrika zoner och eftersom omättad polyester krymper ett antal procent vid härdning finns det stor risk för dragningar och/eller skevningar i produkten. När vakuumduk och slangar är på plats evakueras all luft ur formen och ett undertryck (vakuum) appliceras med hjälp av en vakuumpump. Mellan pump och form placeras en plastfälla för att undvika att plast sugas in och härdar i pumpen. Innan injiceringen startar är det viktigt att kontrollera så att ingen luft sipprar in genom sprickor i formen, luftkanaler mellan tätningstejp och vakuumduk och/eller hål i vakuumduken.

Det finns kommersiell utrustning speciellt framtagen för läcksökning. Undertrycket (vakuumet) får enligt DIAB Technologies maximalt sjunka med 15% under 5 minuter för att det skall vara acceptabelt att påbörja injiceringen. När inga läckor längre kan detekteras är det dags att öppna inloppet för plasten. Tiden för att fylla formen kan beräknas med hjälp av Darcy's lag. Enligt denna lag bestäms tiden för injicering av undertrycket (vakuumet), längden plasten måste flyta, plastens viskositet, samt glasfiberpartiklarnas permeabilitet (porositet). För att minska injiceringstiden eftersträvas hög permeabilitet och detta kan åstadkommas genom att lägga ett glest nät mellan glasfibern och vakuumduken, använda glasfiber mattor med flödesskikt t.ex. Rovicore eller Unifilo, och/eller använda skärade kärnmaterial. Vid injicering av en ny produkt kan det vara svårt att exakt förutsäga hur plasten kommer att flyta och det finns då risk för uppkomst av torrfläckar. Dessa torra zoner går dock oftast att rädda genom att göra hål i vakuumduken och applicera en ny utlopps kanal (vakuum) i den torra zonen.

När hela formen är fylld stoppar man injiceringen och låter plasten gela och härda innan man avlägsnar vakuumduk, slangar, kopplingar, avrivningsväv, mm. Sedan återstår bara att försiktigt knäcka ut produkten ur formen och trimma kanterna.

Vid vakuuminjicering av produkter baserade på kolfiber och epoxi används sällan gelcoat, barriärcoat och förlaminat utan man väljer vanligtvis att lackera produkten om en snygg exteriör yta krävs. Injiceringsmetodiken är dock densamma som beskrivits ovan.

### Egenskaper

- + Låga investeringskostnader
- + Sluten process – bra arbetsmiljö
- + Jämn kvalitet
- Viss erfarenhet krävs för att undvika torrfläckar och plastansamlingar
- Relativt stor mängd förbrukningsvaror

### RTM (Resin Transfer Moulding)

RTM (Resin Transfer Moulding) är i likhet med vakuuminjicering en sluten tillverkningsprocess. Metoden lämpar sig för såväl små som stora serier. Produkter som tillverkas med RTM är t.ex. fordonspaneler, luckor till fritidsbåtar, parabolantennor och propellrar.

Första steget vid tillverkning av en produkt med hjälp av RTM är att applicera släppmedel i formverktyget. Vanligtvis används lättflytande semipermanenta släppmedel såsom Freco-te och Zyvac. Nästa steg är att placera torra fiber mattor/vävar i den undre formhalvan av verktyget. För små serier kapas mattorna/vävarna manuellt till önskad storlek och form, medan för stora serier används speciella kapmaskiner. För stora serier används ofta även förföringsteknik vilket innebär att fibern sys, stickas, limmas, eller vävs ihop till ett packet (förföring) som sedan placeras i formen. Detta förfarande sparar tid, minskar risken för torrfläckar, samt möjliggör tillverkning av produkter med mycket bra interlaminär hållfasthet. När fibern, och eventuella flythjälpmiddel för att snabba upp injiceringstiden, är på plats i den undre formhalvan stängs verktyget. För små serier används bultar för att hålla ihop verktyget, medan för stora serier används speciella formhållare och pressar. Efter stängning av verktyget är det dags för injicering av plasten. För små serier blandas plast och härdare manuellt och injiceras med hjälp av en enkel tryckpotta, medan för stora serier används vanligtvis specialbyggda utrustningar som

sköter både blandning och injicering. När plasten pressas genom den torra fibern väljer den naturligtvis den enklaste vägen, dvs vägen med minst motstånd. Detta innebär att plasten föredrar att flyta mellan olika lager av mattor/vävar, samt mellan olika fiberbuntar, hellre än att flyta inuti tätt sammanpressade fiberbuntar. Om injiceringstrycket är för högt finns det därför risk för instängning av luft i fiberbuntarna. Injiceringstrycket vid tillverkning med RTM överstiger därför sällan 10 bar. Ofta används även vakuum för att evakuera luft ur formen samt underlätta plastens flöde och utvättning av den torra fibern. När plasten fyllt hela formen och börjar strömma ut ur den sista utloppskanalen stängs alla utlopp och injiceringstrycket sänks. I vissa fall kan det vara bra att låta en del plast strömma ut ur den sista utloppskanalen eftersom det ofta finns en hel del luft i plasten längst fram vid flytfronten. När injiceringen är klar är det bara att invänta gelning och härdning av plasten innan det är dags att öppna formverktyget och avlägsna produkten.

Vid användning av formverktyg tillverkade av fiberarmerad plast brukar man benämna processen "Light RTM". Fördelar med formverktyg tillverkade av glasfiberarmerad plast, jämfört med formverktyg tillverkade av aluminium eller stål, är lägre kostnad och transparens, medan nackdelar är sämre toleranser och kortare livslängd.

### Egenskaper

- + Hög fiberandel – bra mekaniska egenskaper
- + Sluten process – bra arbetsmiljö
- + Bra ytor
- Hög kostnad om metallverktyg erfordras
- Begränsningar i produktstorlek
- Intrimning krävs för att undvika torrfläckar

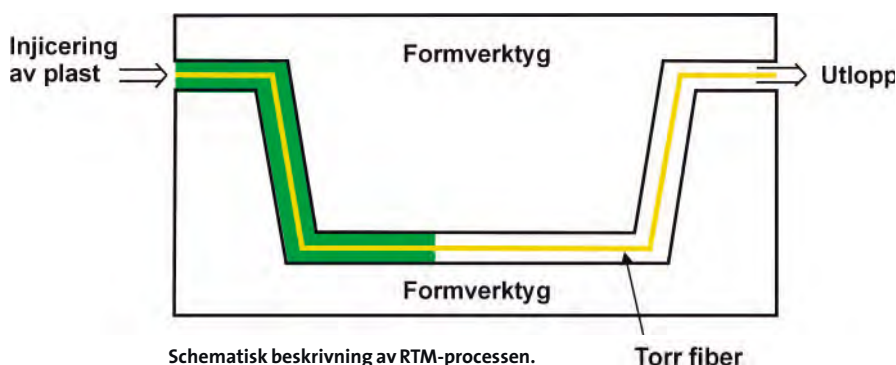






FOTO: NORDIC AIRCRAFT

# Värt att veta om kompositer

Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer College kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I föregående nummer presenterades tre vanliga tillverkningsmetoder för polymera fiberkompositer, nämligen handlaminering, vakuuminjicering och tryckinjicering (RTM). I detta nummer presenteras ytterligare några vanliga tillverkningsmetoder. *Text Anders Sjögren*

## PREPREGTEKNIK

Prepreg (preimpregnated reinforcement) består av tunna skikt av plastimpregnerade fibrer. Plasten är delvis uthärdad för att hålla ihop materialet och sägs befina sig i ett B-stadium (A-stadium innebär ohärdat material och C-stadium fullständigt uthärdat). Det finns en mängd olika typer av prepregmaterial, baserade på t.ex. glasfiber

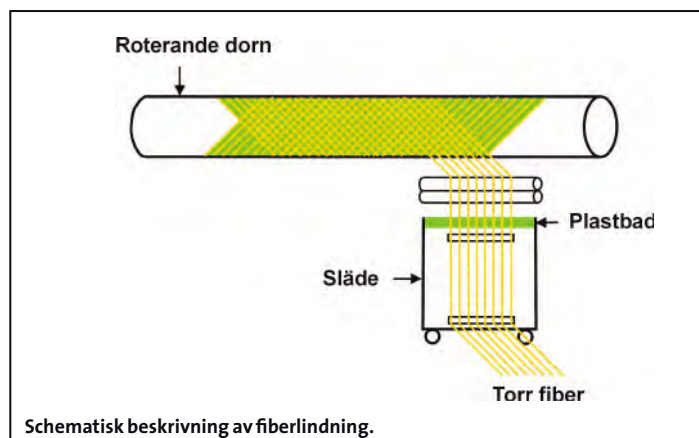
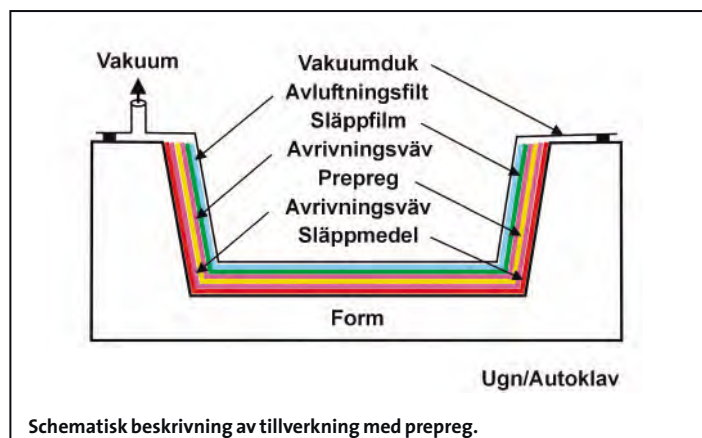
eller kolfiber i kombination med epoxi, cyanatester eller bismaleimid. Tidigare krävdes normalt en autoklav (trycksatt ugn) för att härda materialet, men i dagsläget finns prepregmaterial som går att härda utan varken tryck eller förhöjd temperatur. De mekaniska egenskaperna (framförallt de interlaminaära egenskaperna) blir dock bättre om man använder tryck och förhöjd temperatur.

Vid tillverkning med prepreg används vanligtvis någon av följande metoder:

- Autoklivering (bakning)
- Vakuumbag
- Pressning i formverktyg
- Lindning på kärna i kombination med krymptej
- Formverktyg i kombination med inre blåsa

Autoklivering innebär att prepregskikten stackas för hand eller med hjälp av en robot varefter materialet/komponenten täcks med en vakuumduk, vakuumpress appliceras och materialet/komponenten härdas i en ugn under förhöjd temperatur och tryck. Metoden används för tillverkning av vingar och fenor till flygplan, master till segelbåtar, chassi- och karosserikomponenter till exklusiva bilar, mm.

Tillverkning med vakuumbag är mycket snarlikt autoklivering. Prepregskikten stackas manuellt varefter materialet/komponenten täcks med en vakuumduk. Skill-



naden mellan tillverkning med vakuumbag och autoklavering är att inget yttre tryck används vid tillverkning med vakuumbag samt att härdningen sker i en vanlig ugn. Metoden används för tillverkning av karosserikomponenter till bilar, skrov och däck till tävlingsbåtar, mm.

Pressning i formverktyg möjliggör snabb tillverkning och är därför intressant för tillverkning av t.ex. fordonskomponenter. Prepregskikten stackas i ett formverktyg som sedan värms och placeras i en press. Härdning av materialet/komponenten sker i likhet med autoklavering under förhöjd temperatur och tryck vilket resulterar i bra mekaniska egenskaper.

Lindning på kärna i kombination med krymptejp lämpar sig bra för tillverkning av rör, master och bommar. Prepregmaterialet lindas på en kärna vilken ofta är tillverkad av aluminium. Utanpå prepregmaterialet lindas sedan en krymptejp. Materialet/komponenten placeras sedan i en ugn med förhöjd temperatur vilket innebär att aluminiumkärnan expanderar, krymptejpen drar ihop sig, och ett tryck skapas på prepregmaterialet. Efter härdning tillåts materialet/komponenten svalna i rumstemperatur, vilket leder till att aluminiumkärnan återgår till normal storlek och lossnar från det härdade kompositmaterialet.

Formverktyg i kombination med inre blåsa är ett intressant alternativ för tillverkning av ihåliga komponenter såsom cykelramar och propellerblad. Prepregmaterialet placeras i ett formverktyg tillsammans med en gummiblåsa. När verktyget stängts trycksätts gummiblåsan vilket gör att prepregmaterialet trycks ut mot formverktyget. Verktyget

placeras sedan i en ugn för härdning av materialet/komponenten.

I korthet består tillverkning med prepreg vanligtvis av följande steg:

1. Uppskärning av material
2. Uppläggning av materialet (stackning)
3. Formning (drapering)
4. Konsolidering via vakuumsugning (debulking)
5. Konsolidering med vakuum (och yttre tryck)
6. Härdning (i ugn eller autoklav)
7. Avformning

#### Egenskaper

- + Hög fiberandel -> bra mekaniska egenskaper
- + Jämn kvalitet
- Hög materialkostnad
- Lång tillverknings tid

#### FIBERLINDNING

Fiberlindning är en effektiv metod för tillverkning av ihåliga produkter såsom tankar, rör, master och tryckkärl. Det finns en mängd olika varianter av fiberlindning, t.ex. plan lindning, 360°-lindning och bandlindning. Den vanligaste varianten är dock spirallindning. Vid spirallindning placeras fibern på ett roterande dorn med hjälp av en släde. Lindningsvinkeln styrs av slädens transversella hastighet samt dornets rotationshastighet. Innan fibern placeras på dornet impregneras den med plast. För enklare produkter används normalt omättad polyester och för mer avancerade produkter epoxy.

Vid tillverkning av rör och master avlägsnas dornet efter det att materialet har här-

dat. För att underlätta borttagning av dornet används släppmedel, polerade ytor, släpvinklar och/eller dorn med högre termisk utvidgning än kompositmaterialet. Vid tillverkning av tankar och tryckkärl är det naturligtvis svårare att avlägsna dornet. För vissa produkter används dorn som går att smälta eller mekaniskt bearbeta bort, men ofta tillåts dornet att sitta kvar inuti produkten. I vissa fall utgör dornet en viktig del av produkten. Ett exempel är tryckkärl där dornet, ofta i form av en gummi- eller metallcylinder, förhindrar läckage av gas och/eller vätska.

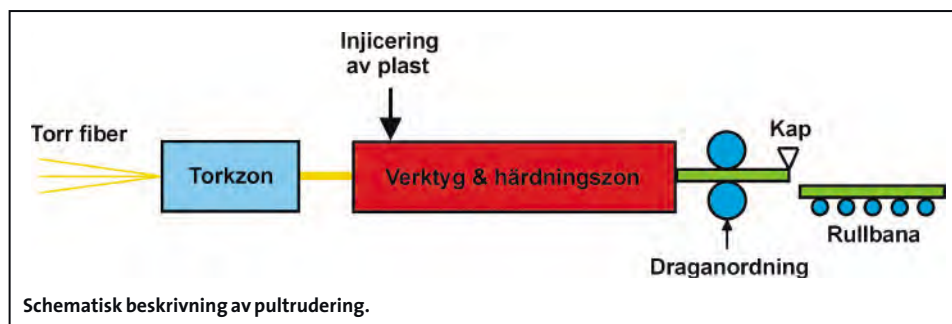
#### Egenskaper

- + Hög fiberandel -> bra mekaniska egenskaper
- + Automatiserad process -> Jämn kvalitet
- Endast lämplig för konvexa geometrier
- Lång tillverknings tid

#### PULTRUDERING

Pultrudering används för kontinuerlig tillverkning av rör och profiler. Tillverkningen påminner om extrudering, men skiljer sig genom att materialet dras igenom verktyget istället för trycks. Det första steget vid pultrudering av en profil är impregnering av fibern. Detta sker i ett impregneringsbad eller i en speciell impregneringskammare. Den impregnerade fibern leds därefter in i ett uppvärmt formverktyg där produktens tvärsnitt formas samtidigt som plasten härdar. Efter att produkten passerat verktyget kyls den innan den slutligen kapas till önskad längd.

I stort sett alla typer av fiber- och plastmaterial kan pultruderas. Den vanligaste



kombinationen är dock glasfiber och omätad polyester. Mestadels används glasfiber i form av roving, men det är fullt möjligt att använda även vävar, multiaxiella mattor och huggna mattor. För produkter som kräver hög vridstyvhet kombineras ofta pultrudering med fiberlindning i en tillverkningsprocess som kallas för "pullwinding". Det finns även möjlighet att tillverka produkter med små variationer i tvärsnitt genom användning av "pullforming". Denna metod innebär att tillverkningen sker i steg och att de impregnerade fibrerna pressas ihop till önskad form med hjälp av formverktyget.

#### Egenskaper

- + Kostnadseffektiv process
- + Låg materialkostnad
- Dyr utrustning
- Begränsningar i geometri

#### VARMPRESSNING

Varmpressning är en kostnadseffektiv metod för tillverkning av stora serier. Vanliga produkter är; elskåp, tågsäten, karosseripaneler och ventilkåpor. Materialen som används är mestadels SMC (Sheet Moulding Compound) och BMC (Bulk Moulding Compound). Båda materialen består normalt av glasfiber, omättad polyester och fyllmedel. Skillnaden är att BMC innehåller kortare fibrer (6-12 mm jämfört med 25-50 mm) samt mindre andel fibrer (20 vikt% jämfört med 30 vikt%). Detta medför att SMC lämpar sig för semi-strukturella komponenter såsom tågsäten och karosseripaneler medan BMC lämpar sig för värmetåliga komponenter med krav på bra ytkvalitet såsom strykjärn, kaffeapparater och strålkastar-reflektorer.

Vid tillverkning placeras en avvägd materialsats i undre delen av ett uppvärmt form-

verktyg. Storlek och form på materialsatsen har stor betydelse för komponentens egenskaper. En liten materialsats ger lång flytväg och därmed bra ytkvalitet, medan en stor materialsats ger kort flytväg och jämnare fiberorientering. Efter placering av materialsatsen stängs verktyget snabbt och materialet pressas ut i formrummet. När materialet härdat, efter ca 2 minuter, öppnas verktyget och komponenten stöts ut med hjälp av utstötare.

#### Egenskaper

- + Kort tillverkningstid
- + Låg materialkostnad
- Låg fiberandel -> låg styvhet och hållfasthet
- Risk för ytporer och därmed nålstick och blåsor vid lackering

#### PRESSNING AV GMT OCH LFT

GMT (Glass Mat Thermoplastic) består vanligtvis av glasfiberarmerad polypropen och säljs i form av förkonsoliderade plattor. Vid tillverkning värms plattorna upp i en ugn varefter de läggs i ett kallt verktyg (30-70°C) och pressas ut under högt tryck. Processtiden är kort (20-60 sekunder) och metoden är därför lämplig för stora serier. Pressning av GMT används mestadels för tillverkning av fordonskomponenter såsom batterihyllor, sätesramar, och bärare till bakluckor och instrumentbrädor.

LFT (Long Fiber Thermoplastic) består vanligtvis också av glasfiberarmerad polypropen, men istället för att tillverka förkonsoliderade plattor blandas fiber och plast i en extruder direkt före pressteget. Detta ger en billigare tillverkning och pressning av LFT har därför konkurrerat ut pressning av GMT för vissa produkter. Pressning av LFT används, liksom pressning av GMT, mestadels inom fordons-

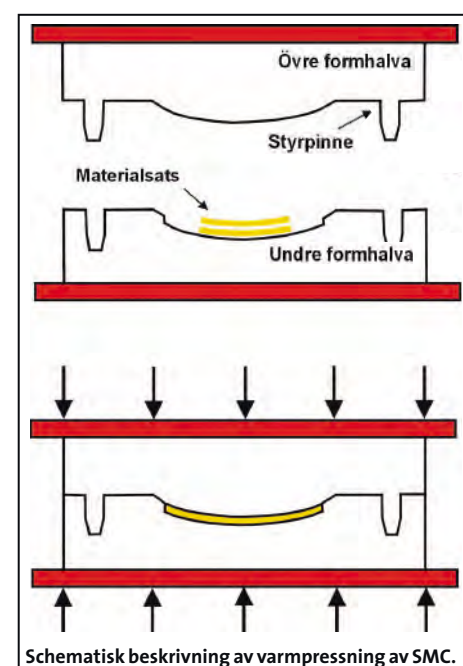
industrin och vanliga produkter är stänkskydd och reservhjulbaljor.

#### Egenskaper

- + Kort tillverkningstid
- + Låg materialkostnad
- Låg fiberandel -> låg styvhet och hållfasthet
- Dålig ytkvalitet

#### ÖVRIGA TILLVERKNINGSMETODER

Det finns naturligtvis fler tillverkningsmetoder för polymera fiberkompositter än de 8 metoder som beskrivits i denna och föregående artikel. Metoder som utelämnats är t. ex. sprutning, vilket tidigare var vanligt vid tillverkning av skrov och däck till fritidsbåtar, RIM (Reaction Injection Moulding) vilket är en mycket snabb tillverkningsmetod som bland annat används för tillverkning av fordonskomponenter, samt RFI (Resin Film Infusion) vilket är en teknik där torra fiber-mattor stackas tillsammans med plastfilm, formas och sedan härdas ut under vakuum och förhöjd temperatur. De vanligaste tillverkningsmetoderna för polymera fiberkompositter finns dock kortfattat beskrivet i artikel 6 och 7. För den som behöver mer ingående information om någon av tillverkningsmetoderna rekommenderas "Manufacturing of Polymer Composites" utgiven av Chapman & Hall, eller "Kompositthandboken" utgiven av Sveriges verkstadsindustrier.





# Värt att veta om kompositer

Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer College kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta nummer presenteras vanliga skador och brottmekanismer för polymera fiberkompositer. *Text Anders Sjögren*

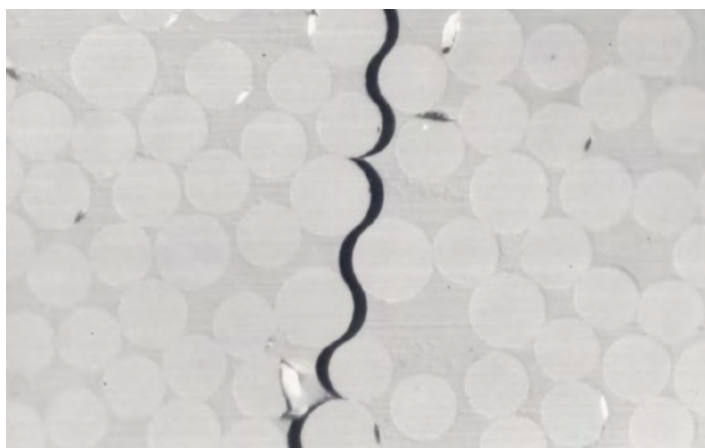
Skador och brott i polymera fiberkompositer skiljer sig från skador och brott i metaller och keramer eftersom materialen är heterogena och anisotropa. Brottförloppen kan vara ganska komplexa och styrs av en mängd olika parametrar, t.ex. fiberorientering, matrisens skjuvstyrka, samt fästet mellan fiber och matris. I det följande ges en kortfattad beskrivning av normala brottförlopp vid drag-, tryck-, slag-, och utmattningsbelastning av polymera fiberkompositer.

## DRAGBROTT

Polymera fiberkompositers draghållfasthet styrs av; fiberns egenskaper, matrisens egenskaper, andel fiber, fiberns längd, fiberns orientering, fästet mellan fiber och matris, porhalt, fukthalt, mm. För polymera fiberkompositer med långa/kontinuerliga fibrer enbart riktade i belastningsriktningen är det mängden fiber, samt fiberns egenskaper, som styr materialets draghållfasthet. Vid belastning går den svagaste fibern sönder

först, följt av den näst svagaste, osv. När tillräckligt många fibrer har gått sönder klarar inte materialet att bära mer last, utan materialet brister. Slutbrottet kan dock se ganska olika ut, eftersom ett starkt fäste mellan fiber och matris leder till en relativt slät brottyta, medan en svag bindning leder till utdragning av fibrer (fiber pullout) och en mera ojämn brottyta.

Polymera fiberkompositer med enbart fibrer i en riktning är ganska ovanligt, eftersom materialet blir känsligt för slag och snedbelastning. Polymera fiberkompositer med långa/kontinuerliga fibrer i två riktningar (korslaminat) eller fyra riktningar (kvasi-isotrop laminat) är därför mycket vanligare. Den första skada som uppstår i ett korslaminat vid dragbelastning är sprickor i skiktet med fibrer riktade transversellt mot belastningsriktningen. Uppkomsten av denna typ av transversella sprickor styrs till stor del av fästet mellan fiber och matris. Ett svagt fäste leder till sprickinitiering redan vid ca 0,2% töjning, medan ett starkt fäste förskjuter ini-



Transversell spricka i glasfiberarmerad vinylester. Sprickan uppstod vid låg töjning (< 0.2%) på grund av svagt fäste mellan fibrerna och plasten.



Transversell spricka i glasfiberarmerad vinylester. Sprickan uppstod vid hög töjning (> 0.6%) tack vare starkt fäste mellan fibrerna och plasten.

tieringen till >0,6% töjning. Uppkomst av transversella sprickor sänker styvheten på materialet men leder ej till slutbrott. Detta sker istället när fibern i belastningsriktningen går sönder. De transversella sprickorna kan dock påverka slutbrottet eftersom de orsakar spännings-koncentrationer och sänker hållfastheten på fibrerna i belastningsriktningen.

Skador och brott för kvasi-isotropa laminat är snarlikt skador och brott för korslaminat. Skillnaden är att det även uppstår sprickor i skikten riktade 45° mot belastningsriktningen. Slutbrott sker dock, i likhet för korslaminat och enkelriktade laminat, när fibern i belastningsriktningen går sönder.

### TRYCKBROTT

Polymera fiberkompositers tryckhållfasthet styrs av samma parametrar som draghållfastheten. Fibrens diameter har dock även betydelse, eftersom fibrerna vid tryckbelastning går att likställa med axialbelastade strävor som går sönder på grund av buckling. En stor fiberdiameter ger därför högre tryckhållfasthet än en liten fiberdiameter. Det är emellertid sällan som fiberdiametern specificeras eftersom fibrens orientering, matrisens styvhet, samt fästet mellan fiber och matris normalt har större betydelse för tryckhållfastheten än fiberdiametern.

Den dominerande brottmekanismen för polymera fiberkompositers vid tryckbelastning är plastisk fibermikrobuckling. Fibrer som inte ligger helt i belastningsriktningen ger upphov till lokala skjuvtöjningar, vilket leder till fibermikrobuckling följt av fiberbrott. Några enstaka fiberbrott leder naturligtvis inte till slutbrott, men med ökad tryck-

belastning bildas långa band av fiberbrott, vilka på engelska kallas för "kinkband", och dessa sänker tryckhållfastheten på materialet så pass mycket att slutbrott sker.

### SLAG

Slagskador i polymera fiberkompositers kan ge stor inverkan på de mekaniska egenskaperna. Även små skador, som inte går att se på ytan, kan ge stor försämring av både styvhet och hållfasthet. Risken för slagskador är därför ofta styrande vid konstruktion av komponenter baserade på polymera fiberkompositers.

Slagskador i polymera fiberkompositers består av matrissprickor, delamineringar (dvs släppningar mellan olika fiberskikt), samt fiberbrott. Den första typ av skada som uppkommer, vid relativt låga slagenergier, är matrissprickor. Dessa sprickor sänker styvheten på materialet, men resulterar inte i slutbrott. För lite högre slagenergier bildas förutom matrissprickor även delamineringar. Denna typ av sprickor är mycket allvarigare än matrissprickor eftersom de påverkar både hållfasthet och stabilitet. Komponenter med slagskador i form av delamineringar måste därför repareras, alternativt kasseras. Fiberbrott, slutligen, uppstår som en sista skademekanism innan slagkroppen penetrerar materialet. Fiberbrott leder till en sänkning av både styvhet och hållfasthet och komponenter med slagskador i form av fiberbrott måste definitivt åtgärdas.

**Storleken på en slagskada styrs inte enbart av slagenergin, utan även av:**

- Hastighet på slaget
- Geometri på slagkroppen
- Massförhållande slagkropp/slagobjekt

- Typ av matrismaterial
- Typ av fiber
- Andel fiber
- Fästet mellan fiber och matris
- Fiberorientering
- Tillverkningsmetod
- Materialtjocklek
- Inspänning

Val av fiber och matrismaterial har stor inverkan på slagskadors storlek. Ökad brottseghet på matrismaterialet kan förbättra motståndet mot initiering och tillväxt av både matrissprickor och delamineringar, medan ökad brotttöjning på fibern kan förbättra motståndet mot fiberbrott. Val av fiber med hög styvhet ger dock inte automatiskt bättre slag-tålighet, utan glasfiberkompositers kan ha minst lika bra slag-tålighet som kolfiberkompositers.

Gällande inspänning så leder ökad böjlighet på den slagbelastade komponenten till ökad motståndskraft mot slagskador. Ökad böjlighet kan dock leda till stabilitetsproblem (buckling) och man får därför göra en avvägning mellan risken för slagskador och behovet av stabilitet. Viktigt att betänka är dock att slag nära förstärkningsribbor/balkar kan ge större slagskador än slag mitt emellan ribborna/balkarna.

Slag mot sandwichpaneler skiljer sig något från slag mot enkelskalspaneler. Vid slag mot en sandwichpanel uppstår förutom matrissprickor, delamineringar och fiberbrott ofta även sprickor i kärnmaterialet samt släppning mellan ytskikt och kärna. En typisk skadeföljd vid slag mot en sandwichpanel ser ut som följande; krossning av kärnmaterialet, följt av släppning mellan kärnma-

terial och ytskikt (alt. sprickor i kärnmaterialet), följt av matrissprickor, delamineringar och fiberbrott i ytskiktet.

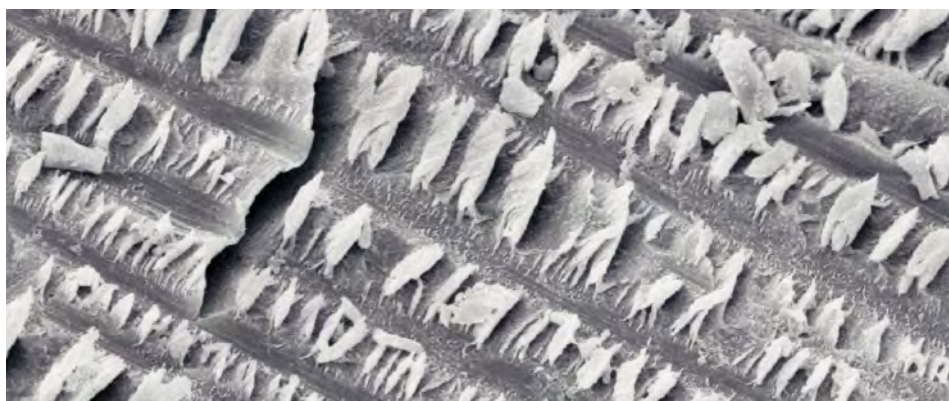
För att utveckla slagtåliga komponenter bör man beakta förväntad haverimekanism. För slanka komponenter kan t.ex. buckling vara styrande och då bör man försöka undvika delamineringar i materialet eftersom dessa sänker styvheten och därmed även den globala bucklingslasten. Om dragbrott däremot är den förväntade haverimekanismen är det viktigare att undvika fiberbrott än delamineringar eftersom fiberbrott sänker draghållfastheten.

### UTMATTNING

Utmattningsbrott uppkommer då en detalj utsätts för pulserande belastningar. Alla material är mer eller mindre känsliga för utmattningsbelastning och slutbrott uppstår normalt vid väsentligt lägre laster än vid statisk belastning. Utmattningshållfastheten för fiberkomposit styr av samma parametrar som drag- och tryckhållfastheten, se ovan, men påverkas dessutom även av belastningstyp (drag-drag, drag-tryck, tryck-tryck), storlek på spänningens amplitud, belastningsfrekvens, samt förekomst av lastpikar. Drag-tryckbelastning kan t.ex. för vissa materialsystem vara betydligt värre än drag-drag belastning eftersom sprickor som bildas under drag kan tillväxa under tryck.

Utmattningshållfastheten för polymera fiberkomposit med fibrer riktade enbart i belastningsriktningen är normalt mycket bra. Anledningen är att det är fibern som styr slutbrott och de flesta typer av fibrer har mycket bra utmattningshållfasthet. Utmattningshållfastheten för polymera fiberkomposit med fibrer i andra riktningar än belastningsriktningen, t.ex. korslaminat eller kvasi-isotropa laminat, är normalt sämre eftersom det i dessa fall är matrisen som till stor del styr egenskaperna.

Den första typen av utmattningsrelaterad skada i ett laminat med olika fibervinklar är normalt släppning mellan fiber och matris (debonding). Sprickorna som bildas i gränssytan mellan fiber och matris sammanlänkas sedan och bildar transversella sprickor. Även i laminat med slumpmässigt ordnade fibrer, t.ex. laminat baserade på huggna fiber-mattor, är den första utmattningsrelaterade skadan släppning mellan fiber och matris. De



Brotttyta i kolfiberarmerad epoxi. Delamineringssprickan har tillväxt under skjuvbelastning.

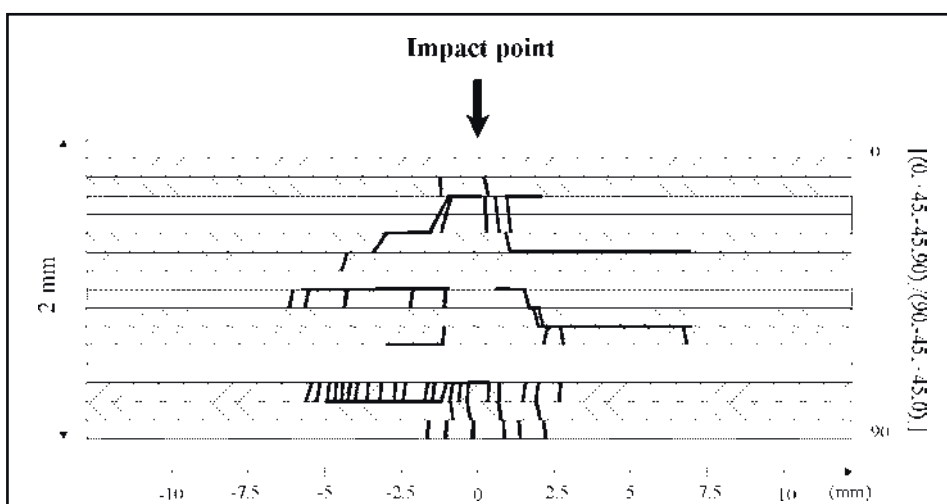
inledande skademekanismerna är alltså desamma vid statisk belastning, se ovan, och utmattningsbelastning, även om belastningsnivåerna vid skadeinitiering ofta är lägre vid utmattning. Den fortsatta skadetillväxten, efter bildandet av transversella sprickor, skiljer dock något. Medan de transversella sprickorna vid statisk dragbelastning stoppas upp av intilliggande skikt med andra fiberriktningar, fortsätter de transversella sprickorna ofta att tillväxa vid utmattningsbelastning, men nu i form av delamineringar mellan skikt med olika fiberorientering. Delamineringstillväxten leder till sprickor och fiberbrott i skikten med fibrer i belastningsriktningen och slutbrott sker när dessa skikt blir allt för försvagade.

Matrisens egenskaper har stor betydelse för utmattningsegenskaperna och epoxi ger normalt bättre utmattningshållfasthet än omättad polyester, eftersom brottsegheten är bättre, härdkrummet mindre, samt att bindningen till olika fibertyper är bättre.

Fibrernas orientering har också stor betydelse för utmattningsegenskaperna. Fibrer i enbart belastningsriktningen ger normalt mycket bra utmattningshållfasthet. För vissa materialsystem finns dock risk för splittring av fibrerna, och i dessa fall är det gynnsamt att komplettera med några skikt med annan fiberorientering för att förbättra utmattningshållfastheten. Även fibrernas raket har betydelse för utmattningsegenskaperna och laminat baserade på multiaxiella mattor har därför ofta bättre utmattningshållfasthet än laminat baserade på vävar.

Utmattning av komponenter med slagskador innebär risk för fortsatt delamineringstillväxt efter slaget, vilket leder till sänkt styvhet och i värsta fall haveri.

Vid hög belastningsfrekvens finns risk för uppvärmning av materialet och därmed försämrad hållfasthet. För att undvika problem med uppvärmning används fibrer med hög värmeledningsförmåga och/eller kylning av materialet.



Schematisk beskrivning av slagskada i ett kvasi-isotrop laminat.



# Värt att veta om kompositer

**Plastforum fortsätter i detta nummer artikelserien ”Värt att veta om kompositer”. I artikelserien ges grundläggande information om uppbyggnad och egenskaper hos polymera fiberkompositer, tillverkningsmetoder, skador och brott, återvinning, mm. Artikelserien är ett komplement till kursen Grundläggande Kompositteknik som ingår i Polymer College kursutbud (se [www.polymercollege.se](http://www.polymercollege.se)). I detta nummer ges en kort beskrivning av vanliga provnings- och analysmetoder för polymera fiberkompositer. Text Anders Sjögren**

## Mekanisk provning

### Dragprovning

Dragprovning används för att bestämma materialets elasticitetsmodul, draghållfasthet och tvärkontraktion. Provningsen ger dock även information om brottbeteende, t. ex. sprött brott utan någon förvarning eller duktilt brott med mycket knaster från initiering och tillväxt av sprickor.

Vanliga provningsstandarder är ASTM D3039 och ISO 527. Båda dessa standarder föreskriver användning av rektangulära provstavar med tabbar vid ändarna. Tabbar-

na, som ofta är tillverkade av glasfiberarmad epoxi, används för att minska uppkomsten av spänningskoncentrationer i provstavar vid infästning i dragprovningmaskinen. Brott i närhet av infästningspunkterna är ganska vanligt, trots användning av tabbar, och de uppmätta brottvärdena blir då inte helt rättvisande. Värdena kan dock i vissa fall användas som lägsta gränser för brottspänning och brotttöjning, men normalt krävs test av nya provstavar.

### Tryckprovning

De flesta kompositstrukturer utsätts både för

drag- och tryckbelastning och tryckprovning används för att bestämma materialets tryckmodul och tryckhållfasthet. Tryckhållfastheten är normalt mycket lägre än draghållfastheten för polymera fiberkompositer, vilket beror på att tryckhållfastheten styrs av mikro buckling av fibrerna och inte tryckbrott av fibrerna.

Vanliga provningsstandarder är ASTM D3410, ASTM D695 (modifierad), samt ASTM D6641. Alla tre standarder föreskriver användning av korta rektangulära provstavar med tabbar. Vid tryckprovning enligt ASTM D3410 används antingen en IITRI testfixtur, eller en Celanese testfixtur. Båda dessa testfixturer överför last från fixtur till provstav via skjuvbelastning. Vid tryckprovning enligt ASTM D695 (modifierad) används en testfixtur som till största del tryckbelastar provstavarnas ändtytor, medan vid tryckbelastning enligt ASTM D6641 används en testfixtur som överför last från fixtur till provstav via både tryckbelastning av ändtytor och skjuvbelastning.

Val av provningsstandard, och därmed val av testfixtur och provstavsgeometri, har stor inverkan på vilka resultat som erhålls. Det har även visat sig att provningsutföra-



Dragprovning

rens erfarenhet inverkar på resultaten.

### Böjprovning

Böjprovning är en enkel och användbar metod för att jämföra olika materials böjmodul och böjhållfasthet. Resultat från böjprovning måste dock alltid användas med viss försiktighet eftersom olika typ av brott kan uppkomma beroende på val av provstavsgeometri, avstånd mellan belastningspunkter, användning av tre eller fyra belastningspunkter, etc.

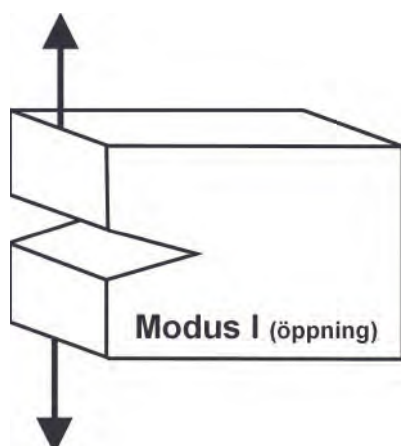
Vanliga provningsstandarder är ASTM D790 och ISO 14125. Båda dessa standarder föreskriver användning av rektangulära provstavar, men medan ASTM D790 tillåter användning av en mängd olika provstavsdimensioner är ISO 14125 mera begränsad och förordar provstavstjocklekar på 2 eller 4 mm. En fördel med ISO 14125 är dock att den föreskriver hur olika typer av fiberkomposit, t. ex. kortfiberkomposit, SMC, prepreg med enkelriktade fibrer, bör provas.

Provstavarnas tjocklek i kombination med avståndet mellan belastningspunkterna styr vilken spänning som uppkommer i provstavarna och därmed vilken typ av brott som kan förväntas. För att erhålla drag- eller tryckbrott i de yttre fiberskikten, och inte interlaminära skjuvsprickor i mitten, specificeras förhållandet mellan de undre belastningspunkternas avstånd och tjockleken på provstaven.

Vanliga förhållanden är 16:1, 32:1 och 40:1 för både 3-punkt och 4-punkt belastning.

### Skjuvprovning

Skjuvprovning används för att bestämma skjuvmodul och skjuvhållfasthet. Skjuvhållfastheten hos polymera fiberkomposit kan vara relativt låg eftersom den i vissa riktningar styrs av matrisens egenskaper. Det finns en mängd olika provningsmetoder för att mäta skjuvmodul och skjuvhållfasthet, t. ex. dragning av laminat med  $\pm 45^\circ$  fiberriktning, dragning av laminat med  $10^\circ$  fiberriktning, böjning av korta provstavar, skjuvning av skårade provstavar (Iosipescu), vridning av plattor, samt vridning av rör. Alla dessa metoder har sina för- och nackdelar och val av lämplig provningsmetod beror till stor



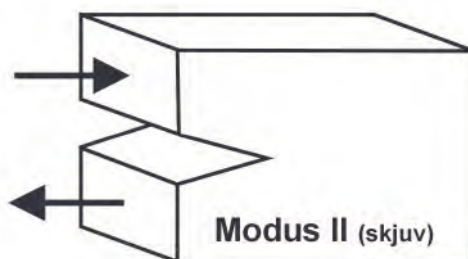
del på kompositmaterialets uppbyggnad.

Skjuvprovning används även för att mäta den interlaminära brottsegheten för kompositlaminat. Den interlaminära brottsegheten på materialet har t.ex. mycket stor betydelse för hur lätt delamineringar bildas och tillväxer. Vanliga provningsmetoder är; "end-loaded split (ELS)", samt "end-notched flexure (ENF)". När det gäller interlaminär brottseghet är även belastning i modus I (öppning) intressant och för bestämning av den interlaminära brottsegheten i modus I används vanligtvis "double cantilever beam (DCB)" provstavar. I verkligheten tillväxer dock delamineringar sällan varken i rent modus I (öppning) eller rent modus II (skjuv) och det kan därför ofta vara intressant att prova den interlaminära brottsegheten under olika kombinationer av modus I och modus II. Två vanliga metoder att prova kombinationer av modus I och modus II är "fixed ratio mixed mode (FRMM)" och "mixed mode bending (MMB)".

### Slagprovning

Polymera fiberkomposit med kontinuerliga fibrer kännetecknas normalt av hög specifik styvhet och styrka. Detta gäller dock endast vid belastning i fibrernas längsriktning. I övriga fall styr matrisens egenskaper och som exempel kan nämnas att kvasi-isotropa kolfiberlaminat med ca 1000 MPa i draghållfasthet endast klarar ca 50 MPa vid belastning ut ur planet (dvs dragbelastning i tjockleksriktningen). Detta gör att de flesta fiberkomposit är känsliga för slag och slagprovning är därmed mycket viktigt vid karakterisering av nya material samt konstruktion av produkter utsatta för slaghot.

Slagprovning kan ske på en mängd olika





sätt. Slagkroppen kan t.ex. utgöras av en pendel, en fallande vikt, eller en kula avfyrad från ett vapen och slagobjektet kan vara fritt upplagt eller fastspänt på något sätt. Olika testförhållanden ger naturligtvis upphov till olika spänningstillstånd och därmed olika typer av skador. Det är därför viktigt att prova under så relevanta förhållanden som möjligt.

Charpy- och Izodprovning, vilket är vanligt för oarmerade plaster, har tidigare använts en del för slagprovning av fiberkompositer. Provningsmetoderna är dock utvecklade för isotropa material och lämpar sig därför inte särskilt bra för slagprovning av fiberkompositer. Mer relevanta resultat erhålls istället vid slagprovning med hjälp av en fallande vikt. Det finns dock tyvärr ingen standard för denna typ av provning och resultaten som erhålls beror på faktorer såsom hastighet på slaget, geometri på slagkroppen, massförhållande mellan slagkropp och slagobjekt, samt inspänning av slagobjekt. Provning med fallande vikt används normalt för att bestämma erforderlig energi för skadeinitiering, storlek och form på delamineringar för olika slagenergier, samt absorberad energi vid penetration av slagkroppen. För att kunna jämföra resultat för olika material krävs dock att slagprovningen är utförd exakt likadant och en internationell provningsstandard vore därför mycket värdefull.

### Utmattningsprovning

Utmattningsprovning används för att bestämma hur många belastningscykler som materialet klarar under olika belastningstillstånd. Utmattningshållfastheten är normalt mycket bra för polymera fiberkompositer. Antalet belastningscykler till brott beror dock på en mängd olika faktorer, t.ex. fiber, matris, fiberupplägg, spänningsamplitud, medelspänning och provstavsgeometri. Det är därför viktigt att utmattningsprovning kompletteras med haverianalys för att säkerställa så att relevanta provdata erhålls. Tyvärr finns det ingen standard för utmattningsprovning av polymera fiberkompositer. Utmattningsprovning med enbart dragbelastning är relativt enkelt att utföra, medan utmattningsprovning med tryckbelastning är svårare eftersom provstavarna riskerar att buckla. Utmattningsprovning med skjuvbelastning är också relativt komplicerat och är därför inte lika vanligt som utmattningsprov-

ning med drag- eller tryckbelastning.

Utmattningsprovning utförs normalt med hjälp av en servohydraulisk dragprovningssmaskin. Belastningen kan antingen styras på konstant last, konstant töjning, eller konstant förskjutning. I många applikationer vill man naturligtvis att komponenten skall klara att bära föreskriven last även efter uppkomst av en viss mängd inre utmattningsrelaterade skador och då är utmattningsprovning med konstant last att föredra.

En viktig faktor att beakta vid utmattningsprovning är val av belastningsfrekvens. Hög frekvens innebär naturligtvis snabbare provning, men leder samtidigt till risk för uppvärmning av provstavarna på grund av matricematerialets viskoelastiska egenskaper. Belastningsfrekvensen för provstavar med huvuddelen av fibrerna i belastningsriktningen brukar därför begränsas till 10 Hz, medan belastningsfrekvensen för provstavar med huvuddelen av fibrer i andra riktningar än belastningsriktningen normalt begränsas till 5 Hz.

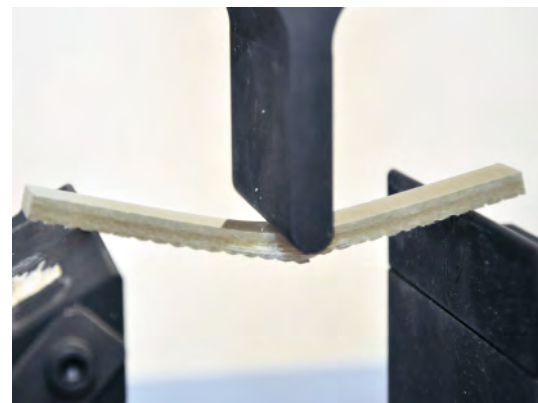
### TERMISK ANALYS

Bortsett mekanisk provning, vilket beskrivits ovan, är det även vanligt med termisk analys av polymera fiberkompositer. De två vanligaste analysmetoderna är Differential Scanning Calorimetry (DSC) och Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA). DSC används för att bestämma t.ex. glasomvandlingstemperatur för matricematerialet, uthärtningsgrad för hårdplastmatriser, samt kristallisationsgrad för termoplastmatriser. Glasomvandlingstemperatur för matricematerialet kan även bestämmas med hjälp av DMTA, vilket är en metod som används för att studera hur styvhet och dämpning hos materialet beror på temperatur och belastningsfrekvens. Övriga parametrar som kan analyseras med DMTA är t.ex. kemisk åldring samt längdutvidgning för olika temperaturer.

### OFÖRSTÖRANDE PROVNING (OFF)

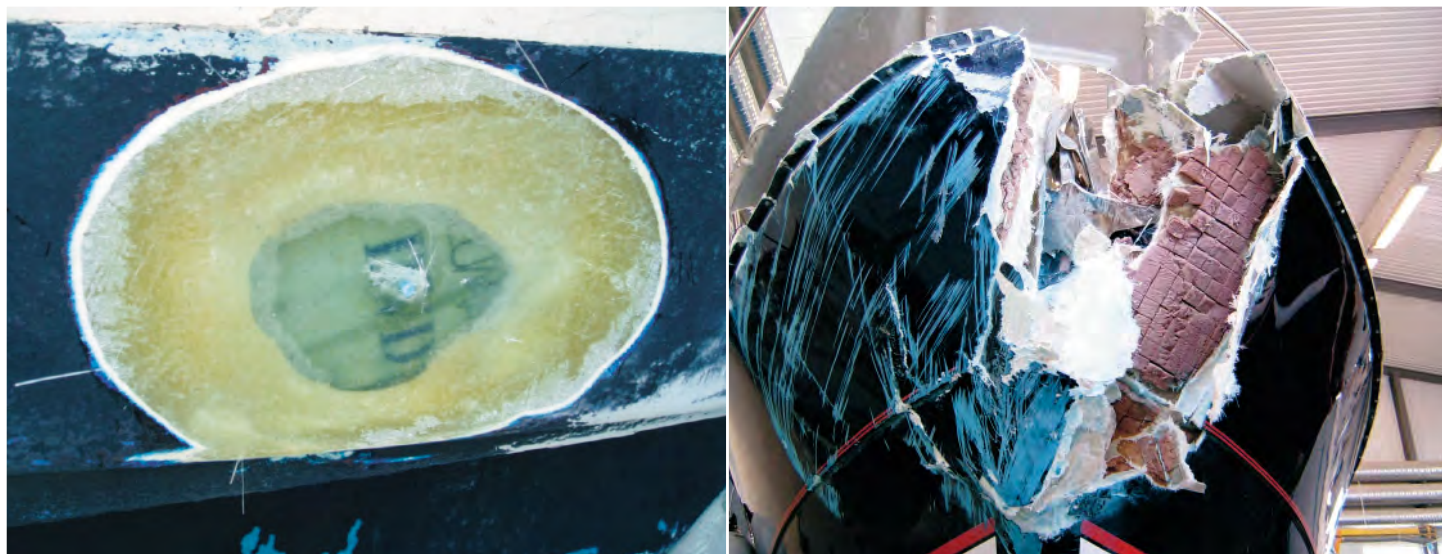
Oförstörande provning (OFF) används ofta för att detektera skador i polymera fiberkompositer. De vanligaste OFF-teknikerna är visuell inspektion, audiell inspektion, ultraljudsinspektion, röntgeninspektion, termografi, shearografi, samt inspektion med hjälp av penetrantvätska.

Visuell inspektion är normalt det första steget vid undersökning av en komponent/



3-punkt böjprovning

struktur. Slagskador i form av delamineringar kan dock vara svåra att upptäcka visuellt och för att detektera denna typ av skador används med fördel audiell inspektion, dvs knackning på materialet med ett mynt eller hammare, ultraljudsinspektion eller shearografi. Röntgeninspektion kan ofta ge mycket detaljerad information om skadebilden, framförallt om kontrastvätska används, och används för att detektera släppningar mellan fiber och matris, matrissprickor och delamineringar. Röntgeninspektion kräver dock relativt sofistikerad utrustning och metoden används därför i mindre omfattning än t.ex. ultraljudsinspektion. Termografi innebär att man värmer upp provet och analyserar hur det svalnar med hjälp av en värmekamera. Ett skadat område svalnar normalt snabbare än ett oskadat område. Även shearografi innebär uppvärmning av provet, men med denna metod fotograferas ytan på provet med en speciell kamera vid två olika temperaturer varefter bilderna överlagras och eventuella delamineringar framträder som optiska mönster. Penetrantvätska, slutligen, används ofta för att detektera sprickor i metaller. Metoden innebär att en lättflytande vätska sprutas på provet som skall undersökas. Vätskan torkas sedan noggrant av och ett framkallningspulver sprutas på provet. Pulvret suger upp vätskan som fastnat i sprickor och porer och visar skadorna i materialet. En nackdel med penetrantvätska för undersökning av polymera fiberkompositer är dock att skadorna normalt består av tusentals små mikrosprickor och vid applicering av framkallningspulvret går det inte att urskilja separata sprickor utan hela det skadade området antar färgen hos penetrantvätskan.



# Värt att veta om kompositer

Artikelserien ”Värt att veta om kompositer” avslutas i och med detta nummer av **Plastforum**. Vår förhoppning är att artikelserien utgjort intressant läsning samt visat på möjligheter och begränsningar med polymera fiberkompositer. Som avslutning ges här en kort beskrivning av reparation och återvinning. *Text Anders Sjögren*

## Reparation

### ENKELSKALSLAMINAT

Det första steget vid reparation av en skada är att bestämma skadans storlek. Detta görs normalt visuellt, eller med hjälp av någon lämplig oförstörande provningsmetod, t.ex. ultraljudsinspektion eller audiell inspektion. Därefter avlägsnas det skadade materialet med hjälp av en fräs, sliprondell, vinkelslip, eller dylikt. Även en del oskadat material avlägsnas för att skapa en stor fästytta mellan gammalt och nytt material och undvika uppkomst av spän-

ningskoncentrationer.

De två vanligaste reparationsgeometrierna är fasfog och stegfog. Stegfog används mestadels inom flygindustrin, medan fasfog används inom alla olika typer av branscher. Fasfogarnas storlek skiljer dock mellan olika branscher. Vid reparation av flygplanskomponenter använder man exempelvis ett förhållande på 1 till 50 mellan tjocklek på laminatet och längd på det fasade området, medan man vid reparation av skrov och däck på fritidsbåtar nöjer sig med ett förhållande på 1 till 10. Ett 4 mm

tjockt enkelskalslaminat skall alltså fasas minst 200 mm om det gäller reparation av en flygplansvinge och 40 mm om det gäller reparation av ett båtskrov.

När reparationsgeometrin är den rätta, och området som skall repareras är torrt och rent, är det dags att börja applicera nytt material. Inom flygindustrin används ofta prepreg, värmefiltar och vakuum, medan man inom de flesta andra branscher normalt klarar sig med torra fibermattor och lamineringsharts. För reparation av en fasfog, i t.ex. ett båtskrov, kan man

välja att antingen laminera fast det minsta fiberskiktet först, eller det största fiberskiktet först. Fördelar med det första alternativet är att fibrerna blir rätt orienterade och att uppbyggnad och egenskaper på det reparerade materialet blir snarlikt uppbyggnad och egenskaper på det ursprungliga materialet. En nackdel kan dock vara att fästytan mellan ursprungsmaterialet och de nya fiberskikten blir ganska liten. Många väljer därför att använda alternativ två, dvs att laminera fast det största fiberskiktet först, eftersom man då erhåller en stor fästytta mellan gammalt och nytt material. Nackdelar med denna metod är att fiberskikten inte blir helt plana, samt att reparationen bygger på att det första fiberskiktet verkligen fäster till ursprungsmateri-

alet, annars riskerar hela lagningen att ramla bort vid belastning.

Ett alternativ till att laminera fast ett antal fiberskikt är att göra en avgjutning av området som skall lagas och sedan tillverka och limma fast en "laglapp".

När lamineringen är klar får materialet härda. Därefter slipas och tvättas det reparerade området noggrant, varefter gelcoat eller lack appliceras. Slutligen poleras och vaxas det reparerade området till önskad finish.

### SANDWICHLAMINAT

Reparation av sandwichlaminat är mycket snarligt reparation av enkelskalslaminat. Det som skiljer är att kärnmaterialet också kan behöva repareras eller bytas. Om skadan är liten räcker det ofta att fasa och reparera ytskiktet på samma sätt som beskrivits för enkelskalslaminat. Men om skadan är lite större, så att kärnmaterialet är skadat, eller om kärnmaterialet skadats vid bortfräsning av ytskiktet, krävs reparation av kärnmaterialet. Detta sker normalt med hjälp av epoxi med glasmikroballonger. Genom att blanda epoxi med glasmikroballonger erhålls en trögflytande pasta med låg densitet, vilken lämpar sig utmärkt för reparation av skumkärnor. När kärnan sedan är reparerad sker reparation av ytskiktet på samma sätt som beskrivits för reparation av enkelskal. För stora skador, eller vid användning av honeycomb kärnor, krävs ofta att kärnmaterialet avlägsnas och ersätts med nytt material. Detta görs enklast genom att fräsa bort det skadade kärnmaterialet hela vägen ned till det undre ytskiktet, varefter en ny bit kärnmateriale limmas fast. Om slagobjektet även påverkat det undre ytskiktet måste naturligtvis även detta repareras. Detta görs genom att avlägsna allt skadat material, limma fast nytt

kärnmateriale, och sedan reparera de båda ytskikten på samma sätt som beskrivits för enkelskalslaminat.

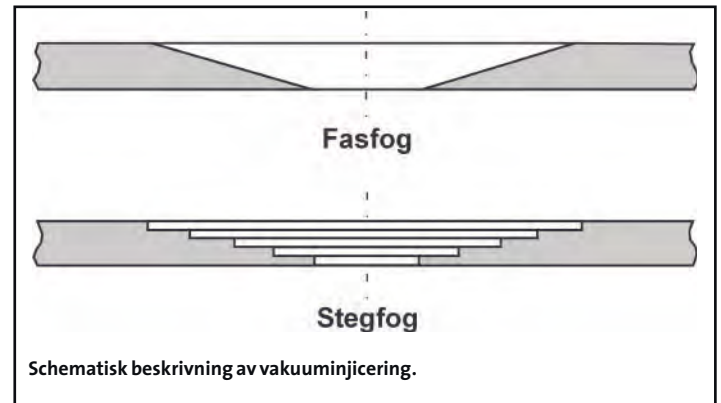
Om ett ytskikt släppt från kärnmaterialet kan det ibland räcka med att borra ett antal hål och injicera epoxi mellan ytskikt och kärna. Det är dock viktigt att säkerställa att kärnmaterialet är torrt och oskadat, för om så inte är fallet krävs en fullständig reparation enligt den princip som beskrivs ovan. Vidare skall man vara medveten om att epoxin som injiceras inte kommer att tränga ut till sprickspetsen mellan ytskikt och kärna och metoden används därför mestadels för reparation av släppningar i lågt belastade konstruktioner.

### ÅTERVINNING

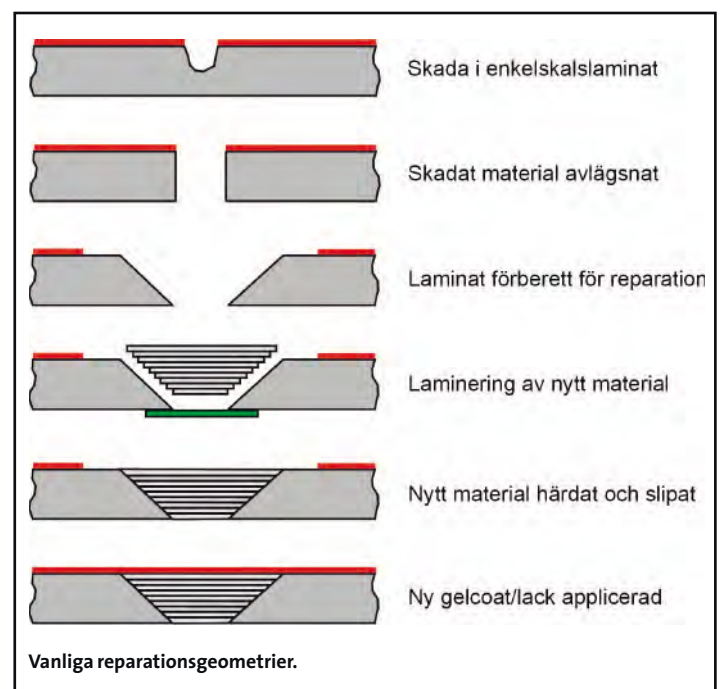
Återvinning av polymera fiberkompositter kan ske genom mekanisk återvinning, kemisk återvinning, eller förbränning. Den mekaniska återvinningen kan delas upp i primär och sekundär återvinning. Primär återvinning innebär att materialegenskaperna förblir intakta, medan sekundär återvinning innebär en försämring av materialegenskaperna. Primär återvinning är relativt ovanligt, medan sekundär återvinning används i stor utsträckning. Den vanligaste metoden för sekundär återvinning är krossning och malning av materialet till fragment/pulver, vilket kan användas som förstärkning eller utfyllnad i nya produkter. Som exempel kan nämnas att en viss del av krittan i SMC ofta ersätts med återvunnen SMC i pulverform.

Kemisk återvinning innebär nedbrytning av matris materialet till lågmolekylära föreningar med hjälp av lösningsmedel eller värme. Vanliga metoder är hydrolys, alkoholys, pyrolys, hydrogenering eller förgasning.

Pyrolys innebär att matrismate-



Schematisk beskrivning av vakuuminjicering.



Vanliga reparationsgeometrier.

riale bryts ned i en syrefri miljö, vilket resulterar i en blandning av flytande och förgasade kolväten. Denna metod används av bland andra Recycled Carbon Fibre Ltd, vilket är ett brittiskt företag som specialiserat sig på återvinning av kolfiberkompositter. I Sverige pågår arbete vid Högskolan i Borås för att utveckla en metod för mikrovågspyrolys av polymera fiberkompositter. Fördelar med denna metod är hög energieffektivitet samt avskiljning av fibern utan risk för mekanisk nedbrytning.

Återvinning via förbränning är ofta lämpligt när blandningar av olika material föreligger, eller när

materialet är förorenat. Energiinnehållet i epoxi är exempelvis nästan lika högt som i olja, och väsentligt högre än i papper och trä. Höga fiber- och fyllmedelshalter sänker dock energiinnehållet och försvårar effektiv förbränning.

Det finns, som beskrivits ovan, ett stort antal olika metoder för återvinning av polymera fiberkompositter. Insamling och återvinning är dock ofta dyrare än tillverkning av nytt material, vilket tyvärr begränsar intresset för återvinning. För kolfiberkompositter kan det dock vara lönsamt att återvinna fibern och en ökad användning av återvunnen kolfiber är att vänta framöver.

# ABIC



**KOMPOSIT**

**ELKRAFT &  
ELEKTRONIK**

**FORMGIVNING,  
MODELLER &  
PROTOTYPER**

**SAMMANFOGNING**

[www.abic.se](http://www.abic.se)