

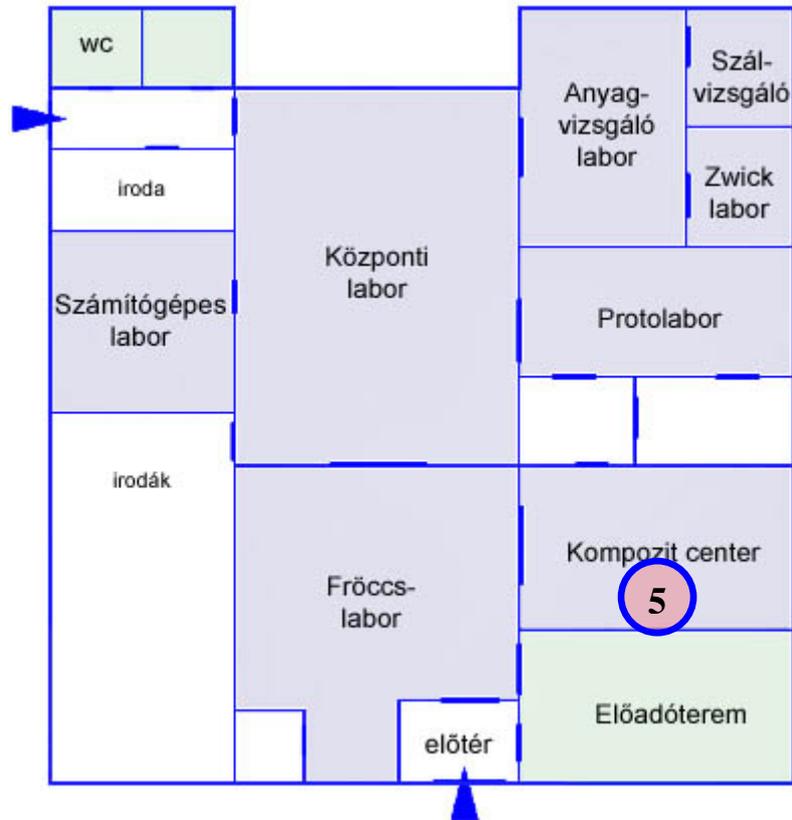
**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM  
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR  
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK**

# **FASERVERBUNDWERKSTOFFE**

**AUF WÄRME ERHÄRTENDE POLYMER-MATRIX  
FASERVERBUNDWERKSTOFFE**

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI WEB OLDALON KELL ELLENŐRIZNI!  
WWW.PT.BME.HU**

**ORT DER MESSUNG**



**INHALT**

- 1. ZIEL DER MESSUNG**
  - 2. THEORETISCHE GRUNDLAGEN**
    - 2.1. Verstärkungsmaterialien des Polymer-Faserverbundwerkstoffes
    - 2.2. Ausführungsformen der Fasern
    - 2.3. Werkstoffe des Polymer-Matrix-Faserverbundwerkstoffes
    - 2.4. Fertigungstechnologien des Polymer Faserverbundwerkstoffes
    - 2.5. Sandwichkonstruktion
  - 3. DIE IN DER MESSUNG BENUTZTEN GERÄTE, EINRICHTUNGEN**
  - 4. DIE WICHTIGSTEN WÖRTER AUF ENGLISH UND DEUTSCH**
  - 5. EMPFOHLENE LITERATUR**
- MESSPROTOKOLL**

## 1. Ziel der Messung

Das Ziel der Übung ist, Faserverbundwerkstoff aus auf Wärme erhärtenden Matrixstoff und aus verschiedenen Glasfasernverstärkungsstrukturen herzustellen. Wir werden es mit der einfachsten Technologie herstellen, die in der heimischen Industrie benutzt wird. Diese Methode ist das Laminieren.

## 2. Theoretische Grundlagen

In der Ingenieurpraxis unterscheidet man drei Konstruktionswerkstoffgruppen: Metalle, Polymere und Keramiken. Der Faserverbundwerkstoff ist ein solcher Konstruktionswerkstoff, der aus zwei oder mehrere Werkstoffen besteht.

Die Faserverbundwerkstoffe bilden die modernste Gruppe der technologischen Konstruktionswerkstoffe. Ihr Ursprung stammt aus der Erkenntnis, dass die Belastung der Werkstoffe fast nie in allen Richtungen des Raumes gleich ist. In den meisten technologischen Erzeugnissen, Maschinen, Maschinenteilen, Bauten oder in sonstigen Gebrauchsgegenständen tritt die Beanspruchung in gut definierten Wirkungslinien auf. In der Richtung dieser Wirkungslinien sollen die Festigkeit und die Steifigkeit viel grösser sein, als in anderen Richtungen. Dies begründet die Verstärkung der homogenen Konstruktionsmaterialien mit Verstärkungsmaterialien, die in der Lastrichtung eine höhere Festigkeit und/oder E-Modul haben.

Der Faserverbundwerkstoff ist ein:

- mehrphasiges (seine Gefügebestandteile sind mit Phasengrenzen getrennt)
  - zusammengesetztes, aus mehreren Materialien bestehendes Konstruktionsmaterial, das aus
  - Verstärkungsmaterial (typisch aus Faserverstärkung) und aus
  - umhüllendem (einbettendem) Material (Matrix) besteht,
- und das dadurch charakterisiert ist, dass es
- zwischen dem Verstärkungsmaterial (faserverstärktes) mit großer Festigkeit und mit großem Young-Modul und
  - dem Matrix mit kleinerer Festigkeit
  - ein perfekte Verbindung (Adhäsion, Haftung) besteht, das
  - im Falle von Deformation oder hoher Beanspruchung weiterhin andauert.

Die Rolle des Verstärkungsmaterials ist, dass es die entsprechende Steifigkeit und Festigkeit sichert. Die Rolle des Matrixwerkstoffs ist, dass es die

Faserschichten zusammenhält und die Fasern vor äußerer umweltlichen und physikalischen Einwirkungen schützt und die gleichmäßige Belastungsverteilung sichert.

**Faserverbundwerkstoff:** Faserverbundwerkstoff mit Polymermatrix bedeutet eine solche feste Substanz, die mindestens aus zwei Komponenten besteht. Die eine ist das Trägermaterial – Matrix – mit kleinerer Festigkeit und mit kleinerer Dichte. Die zweite ist das Verstärkungsmaterial mit großer Festigkeit und mit großem Young-Modul. Durch die Untersuchung der Lage der Bestandteile können wir feststellen, dass die stetige Phase (Matrix) die andere fein verteilte Phase (Verstärkungsmaterial) vollständig umhüllt, und zwischen ihnen eine ausgezeichnete Verbindung besteht, welche auch bei Deformation andauert.

## 2.1 Verstärkungsmaterialien der polymeren Faserverbundwerkstoffen

In den Herstellungstechnologien von Faserverbundwerkstoffen haben die natürliche (Lein, Hanf, Sisal usw.), mineralische (Keramik, Basalt, usw.), künstliche auf natürlicher Basis (Viskose, Azetat, usw.), und die künstliche (Glas, Kohle, Aramid, HOPE, usw.) Fasern eine große Bedeutung. Mit den künstlichen Fasern werden wir uns ausführlich beschäftigen, besonders mit der Glasfaser.

### 2.1.1 Glasfaser

Glas als Gefügematerial gehört zu den Silikaten. In erster Linie besteht es aus Silizium-Oxiden ( $\text{SiO}_2$ ), Glas besteht zu 55-65% daraus. Weiterhin enthält es noch Eisenoxide, die sich mit dem Silizium zu einem riesigen Molekül vereinigen, und zwar mit primär kovalenten und Ionen-Verbindungen, die eine große Kohäsionsenergie haben.

Aus der Glasschmelze können durch einen geeigneten Spinnkopf Fasern mit hoher Festigkeit gezogen werden, in der Regel in der Form von einem Bündel elementarer Fasern, deren Anzahl in der Größenordnung von  $10^3$  liegt (roving). Der Durchmesser der elementaren Fasern ist zwischen 8-17 Mikrometer.

Wie andere elementare Fasern auch, benötigt die Glasfaser auch eine Oberflächenbehandlung. Zuerst muss sie vor eventuell auftretenden Schäden während der Verarbeitung -z.B.: Weben- geschützt werden, das nennen wir Schlichten. Die Aufgabe des Schlichtmittels ist der zeitweilige Schutz und der Zusammenhalt. Andererseits müssen wir den Kontakt zwischen Glasfaser und Polymermatrix sichern, mit so vielen primären Bindungen wie möglich. Die

wird durch das Auftragen von Epoxyverbindungen, von Vinylsilan, eventuell phenolharzartige Kontaktmaterialien gesichert.

Die Glasfasern sind die meistverbreitetsten Verstärkungsfasern. Physikalischen und mechanische Eigenschaften enthält die Tabelle 1.

Die Vorteile der Glasfaserverstärkung sind:

- billig
- steht in großen Mengen zur Verfügung
- UV stabil, beständig gegen Chemikalien, elektrische Isolierfähigkeit

Nachteile:

- bei bestimmten Technologien hohe Verschleißwirkung (wo es unmittelbar an das Werkzeug gerieben wird)
- verhältnismäßig große Dichte
- zerbrechlich
- relative niedriges E-Modul

### 2.1.2 Kohlenfaser

Die Vielseitigkeit der Verbindungsformen, der Ordnungsformen der Ketten aus Kohlenfasern steht im Mittelpunkt der technischen Werkstoffkunde der Polymere. Die mechanischen Eigenschaften der synthetischen Polymere und die Festigkeit der Polymerkette werden von den C-C-Verbindungen gesichert. Die größte C-C-Verbindungskraft wirkt bekannterweise in den striktestgeordneten Systemen, wie im Diamant, der ein stark kovalentes Bindungssystem hat, und der mit dem größten Maß an Ordnung und an Härte als Etalon betrachtet wird. Auch der Ruß, mit einer großen spezifischen Oberfläche, ist als aktives – auch chemisch verbindendes - Füllmaterial der Gummimatrix schon lange bekannt. Aus dem Kohlenstoff hergestellte Verstärkungsfasern benutzen wir die graphitischen Gefügen.

Das Graphitgefüge sichert in Richtung der Lamellenebenen, die aus sechseckigen Teilen aufgebaut sind eine besonders große Festigkeit. In den Kohlenfäden benutzen wir die besondere Graphit-Festigkeit und das damit verbundene große E-Modul.

Das Ausgangsprodukt der Kohlenstoff-Faserherstellung können verschiedene Polymerfasern sein, falls wir diese so verkohlen können (karbonisieren dann graphitisieren), dass es während dessen nicht schmilzt, brennt, und das erwünschte Material entsteht. Die Temperatur der Karbonisierung und Graphitisierung definiert die mechanischen Eigenschaften der Faser. Die mechanischen Eigenschaften der so produzierten Fasern sind

zwischen breiten Grenzen veränderlich. Seit 1997 stellt die Firma ZOLTEK auch in Ungarn Kohlenstoff-Fasern auf PAN (Polyakrylnitril)-Basis her.

Vorteile der Anwendung der Kohlenstoff-Faserverstärkung:

- niedrige Dichte
- hohes E-Modul
- hohe Festigkeit
- hoher Ausdehnungskoeffizient

Nachteile:

- spröde
- hoher Preis

### 2.1.3. Aramidfaser

Die aromatischen (Aramid-) Polyamidfasern gewinnen ihre hohe Festigkeit während einer starken Orientation (d.h. Zug). 2 Hauptgruppen werden unterschieden: Aramide mit Para- und Meta-Verbindungen. In der Praxis haben sich die para-verbundenen Aramide verbreitet (Markennamen: KEVLAR, TWARON, usw.), die eine hohe Bruchfestigkeit haben. Die ausgezeichnete Festigkeit und die verhältnismäßig große Bruchdehnung sind bei Gummifaserverbundwerkstoffen vorteilhaft (zB.: radiale Gummireifen). Weitere gute Eigenschaften sind: besonders gute Zähigkeit und Stoßbeständigkeit (zB.: kugelsichere Weste).

Vorteile der Aramidfaser:

- niedrige Dichte
- hohe Festigkeit
- gute dynamische Eigenschaften
- Biugsamkeit
- Feuerbeständigkeit

Nachteile:

- schwache Beständigkeit gegen Umwelteinwirkungen (Empfindlichkeit für UV und Feuchtigkeit)
- niedrige Druckfestigkeitswerte

### 2.1.4. Polyethylen-Faser

Aus dem gelartigen UHMWPE (Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene) mit großer Molekülmasse ausgehend (Fasernbildung aus Gelphase) lassen sich durch Anwendung eines hohen Orientationsgrades leichte Polyethylenfasern mit sehr hoher Festigkeit herstellen (Markenname: Spectra,

Dyneema). Ihre Verbreitung wird durch 2 Faktoren blockiert. Der eine ist die Hitzebeständigkeit der PE, die schon bei HOPE auf max. 140 Celsius Grad begrenzt ist. Der andere ist, dass PE eine niedrige Adhäsion für andere Polymere aufweist, somit kann es dem wichtigsten Kriterium der Verbundwerkstoffe: der möglichst starken Verbindung der Grenzflächen nur mit spezieller Oberflächenbehandlung genügen. Die wichtigen Eigenschaften der Verstärkungsfasern werden in der Tabelle 1. zusammengefasst.

**1. Tabelle Die wichtigste Eigenschaften von Fasern**

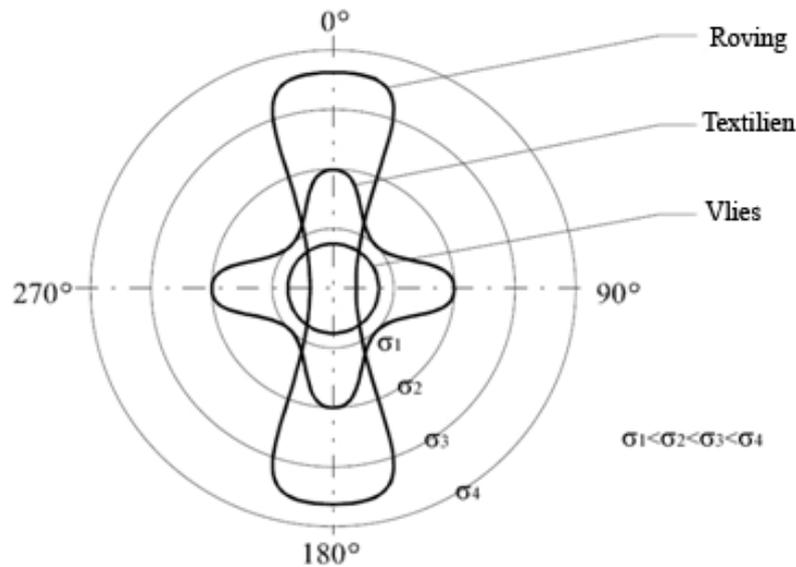
Fasertyp	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul	Dehnung
	$\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\sigma$ [GPa]	E [GPa]	$\epsilon$ [%]
Glasfaser	2,5-2,8	3,2-4,6	70-85	1,8-5,7
Kohlenfaser	1,7-2	2-7	200-700	0,5-1,5
Aramidfaser	1,44	2,8-3,8	60-130	2,2-4
Polyethylen-faser (Spectra)	0,97	2,3-3,6	73-120	2,8-3,9
Stahlfaser	7,6	4	240	1,4

## 2.2. Ausführungsformen der Fasern

Die Verstärkungsmaterialien findet man auf dem Markt in 1D, 2D oder 3D Form vor. 1D werden die in Roving-, (Bündel-) oder Streifenform erscheinenden Fasermengen genannt. Gewebe oder nicht gewebte und gestrickte Textilien fallen in die Gruppe 2D. Die in alle Richtungen des Raumes Verstärkungsmaterial enthaltende 3D-Systeme sind die gesteppten Stoffe oder die, die in Richtung der Schichtdicke Verstärkungsmaterial enthalten.

Durch die Anordnung der Richtungen der Fasern kann eine bestimmte Orientierung erreicht werden. Die polsterartigen Verstärkungsstoffe enthalten in allen Richtungen Fasern, es gibt keine mechanisch bevorzugte Richtung. In den unidirektionalen Schichten stehen die Fasern in einer Richtung, mechanische Eigenschaften in dieser Richtung sind hervorragend. Durch Weben hergestellte Verstärkungssysteme haben zwei Richtungen, die zueinander senkrecht stehen, aber es existieren auch multidirektionale Stoffe (zB.: drei ausgezeichnete Richtungen in der Ebene)

Die mechanischen Eigenschaften der einzelnen Verstärkungsformen werden meistens in einem Polardiagramm dargestellt. Der Charakter der Zugfestigkeit und des E-Moduls der obigen Materialien veranschaulicht das Polardiagramm (Abbildung 1) in Abhängigkeit des Beanspruchungswinkels.



1. Abbildung Das Polardiagramm der Zugfestigkeit und des E-Moduls von den verschiedene Ausführungsformen der Fasern [3]

### 2.3. Matrixstoffe der Polymer-Faserverbundwerkstoffe

Als Matrixwerkstoffe der Faserverbundwerkstoffe werden mehrere Polymerarten benutzt. Die Polymer-Matrixen können in zwei verschiedene Gruppen eingeteilt werden: auf Wärme erhärtende und auf Wärme erweichende. Wie auch der Name zeigt, brauchen diese Stoffe zu der Bearbeitung Wärme. Die auf Wärme erweichende Polymere (zB.: PP) können durch den Prozess Schmelzen - Formgebung – Kühlen verarbeitet werden. Nach dem Prozess entsteht kein vernetztes Gefüge, somit sind diese Schritte reversibel. Auf Wärme weichende Polymere werden im Allgemeinen für kurze (1-5 mm) Fasern als Matrixwerkstoff benutzt, die durch Spritzgießen oder mit Extrusion bearbeitet werden. Heutzutage erscheinen die selbstverstärkten Polymere, bei denen sowohl die Faser als auch die Matrix aus dem gleichen auf Wärme erweichenden Material hergestellt werden.

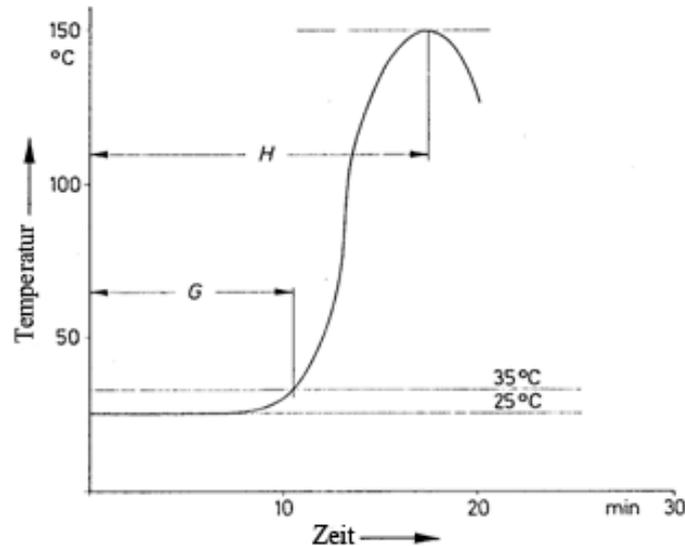
Heutzutage werden in erster Linie auf Wärme erhärtende Harze für die Herstellung von Faserverbundwerkstoffen benutzt, die eine hohe Leistung haben. Die auf Wärme erhärtende Materialien (zB.: Epoxi, PE, VE, PI) gehen aus dem flüssigen Aggregatzustand am Ende eines irreversiblen Prozesses in einen vernetzten, festen Aggregatzustand über. Danach kann es nicht mehr geschmolzen werden, obwohl die Temperaturänderung die mechanischen Eigenschaften beeinflusst. Ihr großer Vorteil ist, dass sie bei Raumtemperatur im Laufe der Bearbeitung flüssig sind und für die Bearbeitung – gegenüber dem Spritzgießen – kein großer Druck gebraucht wird. Ein weiterer Vorteil ist, dass sie billig, jedoch noch nicht recyclebar sind. Zur Zeit sind die zwei auf Wärme

erhärtenden Harze - die heute in der Industrie benutzt werden – das Epoxy und das ungesättigte Polyesterharz. Die Festigkeit der faserverstärkten Faserverbundwerkstoffe wird mit der Eigenschaft des Verstärkungsmaterials bestimmt, weil die Festigkeit und das E-Modul, der einbettenden Polymermatrix im Allgemeinen um zwei Größenordnungen kleiner ist.

Die Viskosität ist der Grad des Widerstands vom Werkstoff gegen der Scherverformung. Die Viskosität charakterisiert den inneren Widerstand des Mediums (Flüssigkeit oder Gas) gegenüber der Strömung, und kann es auch als innere Reibung eines Stoffs auffassen. Somit ist das Wasser „fließender“, es hat eine kleinere Viskosität, während das Tafelöl oder der Honig „dehnbarer“ sind, sie haben eine höhere Viskosität.

### **2.3.1. Polyester**

Polyester ist der meist verbreitete Harztyp, der aus zweiwertigen Karbonsäuren und zweiwertigen Alkohol aufgebaut wird. Das Polyester-Harz ist im Allgemeinen eine viskose Flüssigkeit, die im Monomer Styrol aufgelöstes Polyester ist. Das Styrol spielt in der Senkung der Viskosität eine große Rolle, und weiterhin auch darin, dass Kreuzbindungen zwischen den Polyesterketten bilden können, ohne dass ein Nebenprodukt entsteht. Die Polyester-Harze sind nur für geringe Zeit speicherbar, weil sie nach einiger Zeit anfangen gelartig zu werden. Diese Zeit kann während ihrer Verarbeitung nicht abgewartet werden, somit werden zum Harz Beschleuniger und Katalysator hinzugegeben. Nach der Zugabe des Initiators beginnt die Vernetzung innerhalb einer kurzen Zeit. Der Initiator selbst nimmt im chemischen Prozess nicht teil, er katalysiert es nur. Nach dem der Initiator zum Harz zugegeben wurde, beginnt nach kurzer Zeit die zur Vernetzung führende Polymerisationskettenreaktion, während sich ein exothermer Prozess abspielt. Die totale Verfestigung findet in einigen Minuten statt. (Abbildung 2)



2. Abbildung Der exoterm Wärmeeffect der Polymerisationskettenreaktion von UP [1]  
(G - Topfzeit; H - Hartenzzeit)

### 2.3.2 Epoxy

Epoxy-Harz hat unter den Harzen die besten Eigenschaften. Epoxy hat sehr gute mechanische Eigenschaften und Beständigkeit gegen Umwelteinwirkungen, deshalb wird es zum Beispiel in der Flugzeugproduktion benutzt.

Epoxy-Harz hat zahlreiche gute Eigenschaften. Wegen der geringen Viskosität kann es den zur Verfügung stehenden Platz leicht ausfüllen (zB.: Werkzeug). Ein anderer großer Vorteil ist, dass nur eine geringe Volumenabnahme auftritt, so wird die innere Spannung nach der Vernetzungsbildung minimal.

Ähnlich zu den UP Harzen werden Epoxy-Harze mit Verstärkungsmaterialien/ Füllmaterialien benutzt. Die mit Epoxy Harzen hergestellten Faserverbundwerkstoffe - mit ähnlichen Verstärkungsmaterialien – zeigen eine bessere Festigkeit und Steifigkeit, als die mit Polyester-Harz hergestellten; dies bezieht sich in erster Linie auf dauerhafte, bzw. periodische Wechselbeanspruchungen.

### 2.3.3 Sonstige Matrix Werkstoffe

Außer den obigen werden für spezielle Zwecke Vinylester-Harz (Chemikalienbeständigkeit + Wärmebeständigkeit), Furan-Harze (Chemikalienbeständigkeit), bzw. Acryl-Harze (chemische Beständigkeit) usw. benutzt.

## 2.4 Fertigungstechnologien der Polymer-Faserverbundwerkstoffe

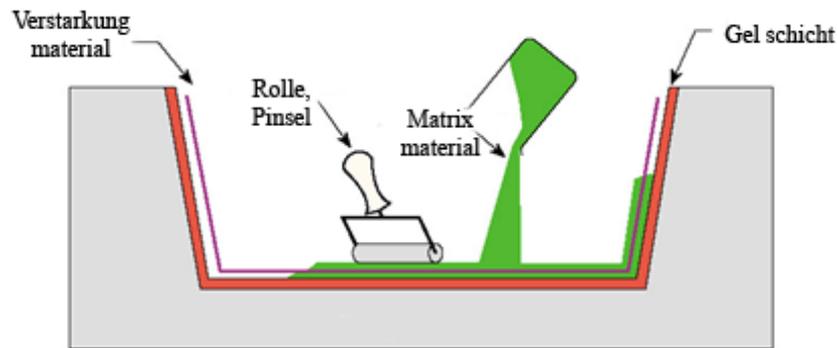
Der Schichtaufbau sichert den größten technischen Vorteil des Faserverbundwerkstoffs: wir können die Steifigkeit und Festigkeit des ganzen Werkstücks, Produkts bei minimalem Eigengewicht so optimieren, dass wir in Richtung der Kraftlinien die besten Eigenschaften bekommen. Die Schritte der Konstruktionsaufgabe sind die Bestimmung der Hauptrichtungen, Dimensionierung der Schichten und die Schichtordnung. Dabei muss auf die Fertigbarkeit des Produktes geachtet werden (Kosten, Serienanzahl, Technologie, usw.), womit die Fertigungstechnologie gewählt werden kann.

Eine der wichtigsten Fragen der Technologie ist die Kontrolle des Raumnetzes: der Matrix-Grundwerkstoff, der Oligomere und Monomere enthält, muss ganz in ein Vernetzungsgefüge ungewandelt werden. In der Praxis ist es wichtig, dass die ganze Konversion vorgehen kann, d.h. 100% der reaktiven Gruppen umgeformt wird, weil die physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften davon sehr stark abhängen. Der Rest, der nicht reagiert hat, beeinflusst die Alterung und die physikalischen, mechanischen Eigenschaften des Produktes sehr stark. Vielfältige Technologien stehen zur Verfügung, um Werkzeuge aus Faserverbundwerkstoffen herzustellen. In der Übung werden wir mit manueller Laminierung ein Probewerkstück aus Faserverbundwerkstoffen herstellen.

### 2.4.1 Manuelle Laminierung

In der Serienfertigung von den ersten modernen Verbundwerkstoffprodukten vor 50 Jahren wurden die Verstärkungsfasern mit der Hand aufeinander getan (hand-lay-up, lamination). So wurden die im zweiten Weltkrieg benutzten Schiffe aus glasfaserverstärkten Polyester gebaut. Diese ist wegen den geringen Kosten und der allgemeinen Verwendbarkeit die am meisten verbreitete Technologie. Im Falle von Prototyp- bzw. kleine Serienfertigung ist diese am wirtschaftlichste Technologie.

Das Grundprinzip manueller Laminierung ist auf der Abbildung 6. dargestellt. Die Oberfläche der positiven oder der negativen Werkzeuge muss mit Formabtrennungsmittel behandelt werden, damit das Produkt später entfernt werden kann. Die äußere Schicht des Produkts ist die sogenannte Gelschicht. Sie ist gegen Umwelteinwirkungen (Wetter, mechanische Einwirkungen) beständig. Danach werden die lastaufnehmenden Schichten mit Rollen, Walzen und Pinsel aufgetragen. Das wichtigste ist, dass eine massive Wanddicke ohne Luftblasen hergestellt werden muss, dazu dient das Ausrollen der Luft aus dem imprägnierten Schichten.



3. Abbildung Der Grundsatz der Laminierung

Die fertigen Faserverbundwerkstoff-Platten können aus mehr als 10 Schichten bestehen, dazu muss auf die Aufwahl des Harzes geachtet werden (Gelzeit, exothermer Wärmehöhepunkt). Das Laminat enthält erhebliche Verstärkungen, Verdickungen, Rippen, Eisen-Einlagen usw., und es kann auch als Sandwichkonstruktion aufgebaut werden.

Der Aufbau des Raumnetzes hängt vom Harzsystem ab, im Allgemeinen bei Raumtemperatur, aber in einigen Fällen bei höheren Temperaturen. Nachträgliche Raumnetzbildung auf höherer Temperatur ist hinsichtlich der Konversion wichtig. Danach geschieht das Maßschneiden, das Abkanten, bzw. die nachträgliche Montage.

## 2.4.2 Andere Herstellungstechnologien

Die gemeinsame Eigenschaft der einzelnen Technologien ist, dass bei kontrollierten Wärme- und Druckbedingungen aus dem flüssigen Matrixwerkstoff und aus dem Faserverstärkungsmaterial ein vernetztes Produkt hergestellt wird. Jetzt werden die wichtigsten und die am meisten benutzten Technologien vorgestellt.

**Streuen:** Mechanisierte Form der Laminierung, durch einen speziellen Streuerkopf wird das Faser-Matrix-Gemisch auf die Oberfläche des Werkzeuges aufgestreut. So können große Produkte wirtschaftlich hergestellt werden (zB.: Schiffskörper)

**Pressen:** Bei größeren Serien benutzte Fertigungstechnologie, wobei hydraulische Presse, heizbare Eisenwerkzeuge und anpassende präzise Werkzeughälfte verwendet werden. Matrixwerkstoff und Verstärkungsmaterial werden schon vorher gemischt zwischen den Werkzeughälften gebracht. Geeignet zur Herstellung von Produkten mit kurzer Zykluszeit, Massenproduktion möglich (zB.: in der Automobilindustrie)

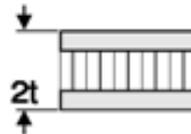
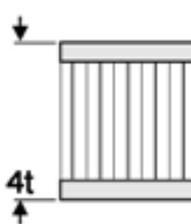
**Spulen:** Auf drehende, achsensymmetrische (im Allgemeinen zylindrisch) Kernform werden kontinuierliche Fasern, die mit Harz imprägniert wurden, aufgewickelt. Der Legungswinkel der Rovings kann der Belastung entsprechend im Voraus berechnet werden. Das Fertigprodukt wird vom Kern entfernt. Dafür ist ein kegeliges Werkzeug nötig. Meistens werden damit Behälter, Rohre hergestellt.

**Pultruzion:** Die Profilverstellung von mit in Längsrichtung über verstärkte Faser verfügende Faserverbundwerkstoffe ist ähnlich zu den auf Wärme erweichenden Extrusion, mit dem wesentlichen Unterschied, dass hier das imprägnierte Verstärkungsmaterial durch das Werkzeug durchgezogen wird. Es ist der einzige Fertigungstechnologie von auf Wärme erhärtenden Matrix-Faserverbundwerkstoffen. Profile, 1D-Produkte – zB.: Balken, Querriegel, Schaufelgriff, usw.

**Injektierung:** Das Verstärkungsmaterial wird trocken in das Werkzeug gelegt. Im geschlossenen Werkzeug mit Überdruck oder mit Vakuum wird der Matrixwerkstoff hineinbefördert. Während der Strömung der Matrixwerkstoff wird das Material imprägniert. Übertreffende mechanische Eigenschaften, Qualitätsprodukte können hergestellt werden (zB.: Flugzeugbauteile, Hochleistungswerkzeugteile, usw.)

## 2.5. Sandwichkonstruktion

Die Sandwichkonstruktion besteht aus zwei parallelen ebenen oder gekrümmten Platten, die hohe Festigkeit haben (Deckplatte, Schale) Zwischen denen befindet sich ein leichtes Material mit kleiner Festigkeit, das dicker ist als die Deckplatten (Kornmaterial), so dass die drei Schichten eine mechanische Einheit bilden. Eine wichtige Eigenschaft der Sandwichkonstruktion ist, dass mit kleinen zusätzlichen Stoffmengen eine große Biegesteifigkeit erreicht werden kann. Die Eigenschaftverbesserungen werden in der Abbildung 4 dargestellt.

	bündige Schicht	Kernschicht - 1t	Kernschicht - 3t
			
Biegesteifigkeit	1.0	7.0	37.0
Biegefestigkeit	1.0	3.5	9.2
Gewicht	1.0	1.03	1.06

4. Abbildung Die Mechanik von Sandwichkonstruktionen

In erster Linie verbreiteten sich die Sandwichkonstruktionen in Verbindung mit den Faserverbundwerkstoffen, da hier neben den günstigen Festigkeitseigenschaften als Nachteil aufkommt, dass sie gegenüber einer Eisenkonstruktion - welche die gleiche Geometrie hat – eine ungünstige Stabilität und kleinere Biegesteifigkeit haben. Dies kommt davon, dass die Faserverbundwerkstoffe ähnliche oder größere Zugfestigkeiten, jedoch ein kleineres E-Modul haben, als die Metalle. Die Folge ist, dass hier Steifigkeitsprobleme auftreten können, die mit Sandwichkonstruktion, Dickenerhöhung, unästhetischen Rippen vermindert werden können. Noch eine Ursache der Verbreitung ist, dass Sandwichkonstruktionen leicht herstellbar sind.

Sandwichkonstruktionen aus Faserverbundwerkstoffen werden auf verschiedener Weise hergestellt:

- Die zwei verstärkten Faserverbundwerkstoffplatten werden in Form hergestellt, und dazwischen wird das Kornmaterial geklebt
- Deckplatten werden hergestellt, dann wird das Kornmaterial zwischen die zwei Schalen geschäumt
- Auf die, sich noch in der Form befindende, noch weiche, nicht vernetzte Platte wird das Kornmaterial befestigt, die Platte wird sich vernetzen, dadurch das Kornmaterial auf die Platte geklebt wird. Dann wird die noch in der Form liegende, oder die bereits

aus der Form herausgenommene andere Deckplatte auf die freie Oberfläche des Kornstoffes aufgeschichtet.

- Auf das vorher geschnittene, gekrümmte oder zusammengesetzte Kornmaterial werden die zwei Faserverbundwerkstoffplatten von zwei Seiten aufgeschichtet.

Die gebrauchten Kornmaterialen haben viele Typen. Das Material kann Papier, Aluminum, Polymer, Holz usw. sein. Meistens können wir aufgeschäumte Polymer-Kornwerkstoffe treffen, zB.: PUR, PVC.

### 3. Die in der Messung benutzten Geräte, Einrichtungen

- köpeny, gumikesztyű, szemüveg;
- olló, ecset, görgő;
- mérleg;

### 4. Die wichtigsten Wörter auf English und Deutsch

Magyar	Angol	Német
gyanta	resin	s Harz
héj, fedőlemez	shell, skin	e Deckschicht
kompozit	composite	r Faserverbundwerkstoff
maganyag	core	r Kernmaterial
paplan	mat	e Fasermatte
szálerősítés	fiber reinforcement	e Faserverstärkung
száltartalom	fiber content	r Fasergehalt
szendvicsszerkezet	sandwich structure	r Kernverbund
szénszál	carbon fiber	e Kohlenstoff-Faser
szövet	woven structure, fabrics	s Gewebe
üvegszál	glass fiber	e Glasfaser

### 5. Empfohlene Literatur

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
2. G. W. Ehrenstein: Faserverbund-Kunststoffe, Hanser Verlag, München, 1992
3. Hintersdorf: Műanyag tartószerkezetek
4. P. K. Mallick, S. Newman: Composite Materials Technology, Hanser Verlag, New York, 1990

**MESSPROTOKOLL**

Name: .....

Note: .....

Neptun Kode: .....

Datum: .....

Kontrolliert: .....

Übungsleiter: .....

**1. Aufgabe**

A gyakorlat során üvegszálerősítésű poliészter mátrixú kompozit terméket fogunk előállítani.

A gyakorlat menete:

- A védő öltözet (köpeny, gumikesztyű, szemüveg) felvétele.
- A szerszám előkészítése, portalanítása majd felületkezelése.
- Az erősítő réteg (paplan, szövet) kiszabása, felületi tömeg meghatározása.
- A mátrixanyag kimérése majd iniciálása.
- Kompozit termék előállítása kézi laminálással.

**2. Basisdaten, gemessene und berechnete Ergebnisse**

A felhasznált anyagok típusa

Mátrix: .....

Erősítőanyag: .....

**FIGYELEM**

**Köpeny, gumikesztyű, védőszemüveg használata a gyakorlat során kötelező!**  
**A felhasznált vegyi anyagok egészségre ártalmasak lehetnek, részben tűzveszélyesek.**  
**Gyanta, katalizátor ill., aceton nyálkahártyához nem juthat.**  
**A bőr szennyeződése esetén azonnal szappanos vizes mosás alkalmazandó.**