



SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM

Polimer kompozitok alapanyagai, tulajdonságai, kompozitmechanikai alapok

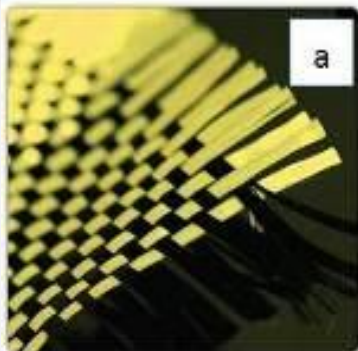
DR Hargitai Hajnalka

- monomer egységekből, makromolekulákból épül fel,
- nagy molekulatömeg, molekulatömeg eloszlás,
- halmaz és fizikai állapot,
- viszkoelasztikus viselkedés (egyidejűleg többfajta deformáció),
- időfüggő tulajdonságok (kúszás, feszültségrelaxáció)
- kis rendezettség, kristályosság
- nagy viszkozitás
- orientáció





Hibrid kompozitok



Bazalt-Aramid



Üveg-Szén szövetek



Szén-Aramid

Polimer kompozit fogalma

Többfázisú, alkotóiban fázishatárokkal elválasztott összetett szerkezet

- min. 2 komponens: befoglaló mátrix+erősítő anyag
- **a határfelületeken jó tapadás (adhézió), amely a deformáció, igénybevétel magas szintjén is tartósan fennmarad.**

ELV: A **terhelést** a merev, szilárd **szál viseli**, a **mátrix közvetíti** a szálak között

A szálerősítés alkalmazását több hatás is indokolja:

(1) Méret-hatás jelensége

(2) Fajlagos felület növelése a határfelületen: döntő hatású a kompozit tulajdonságaira

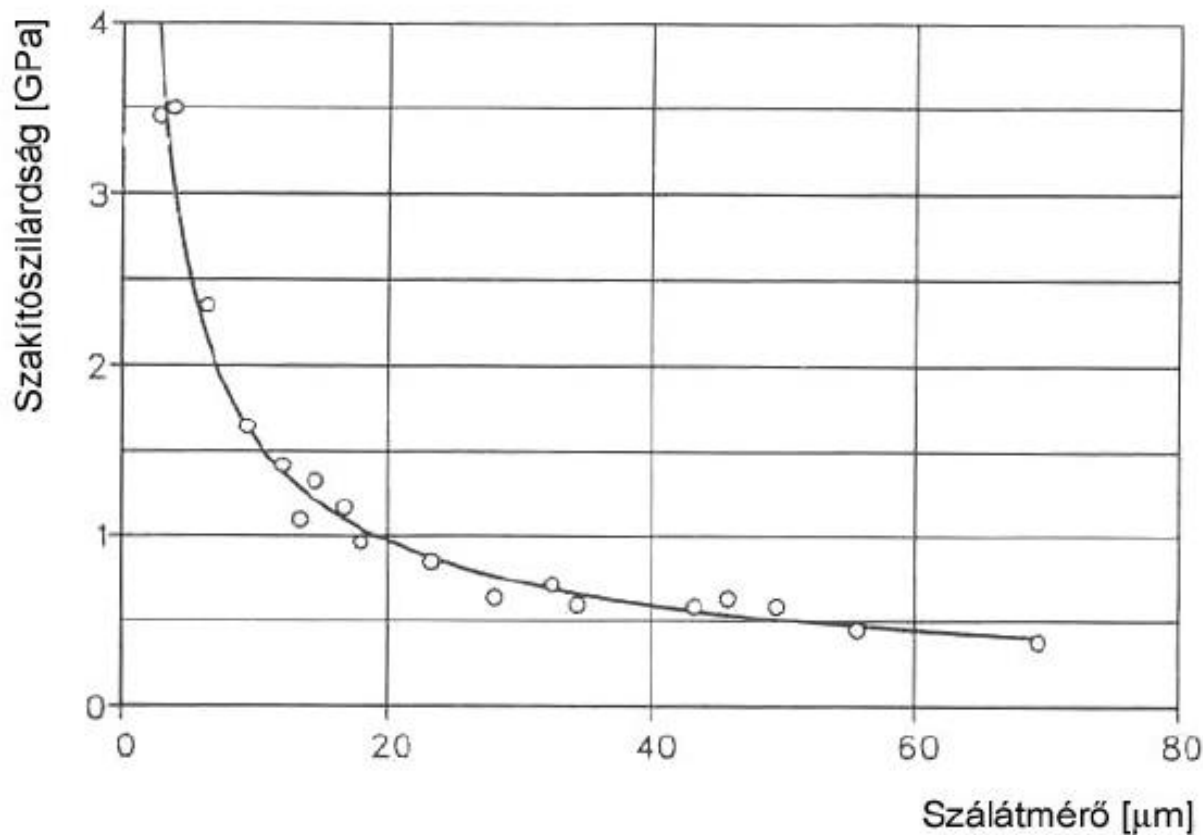
(3) Hajlékonyság: a szálak hajlékonysága nő az átmérő csökkenésével.

Ha a kompozitban lévő **szálak átmérőjét minimalizáljuk**, akkor a hibahelyek előfordulásnak esélye, ezáltal a kompozit tönkremenetelének esélye is lecsökken.

Az erősítő hatás tehát annál nagyobb, minél kisebb a szálatmérő (*mérethatás*).

A szálak szilárdsága ebből adódóan a **10 μ m alatti tartományban** exponenciálisan növekszik, ezzel számottevően növelve az erősítés hatékonyságát.

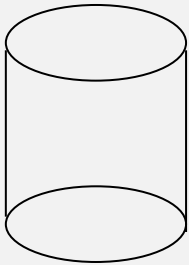
A szálátmérő hatása az üvegszál szakítószilárdságára



Kérdés: Hogyan érhető el a maximális fajlagos szálfelület?

A kompozit tulajdonságait döntő mértékben meghatározza a fázisok érintkező felületének a nagysága, azaz az erősítő anyag fajlagos felülete.

Szál



V: Szál térfogata

A: (fajlagos)felület

L: a szál hossza

R: a szál sugara

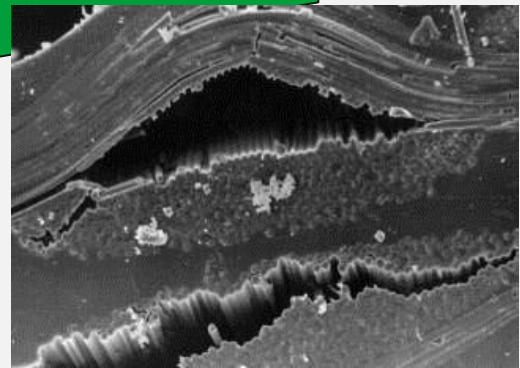
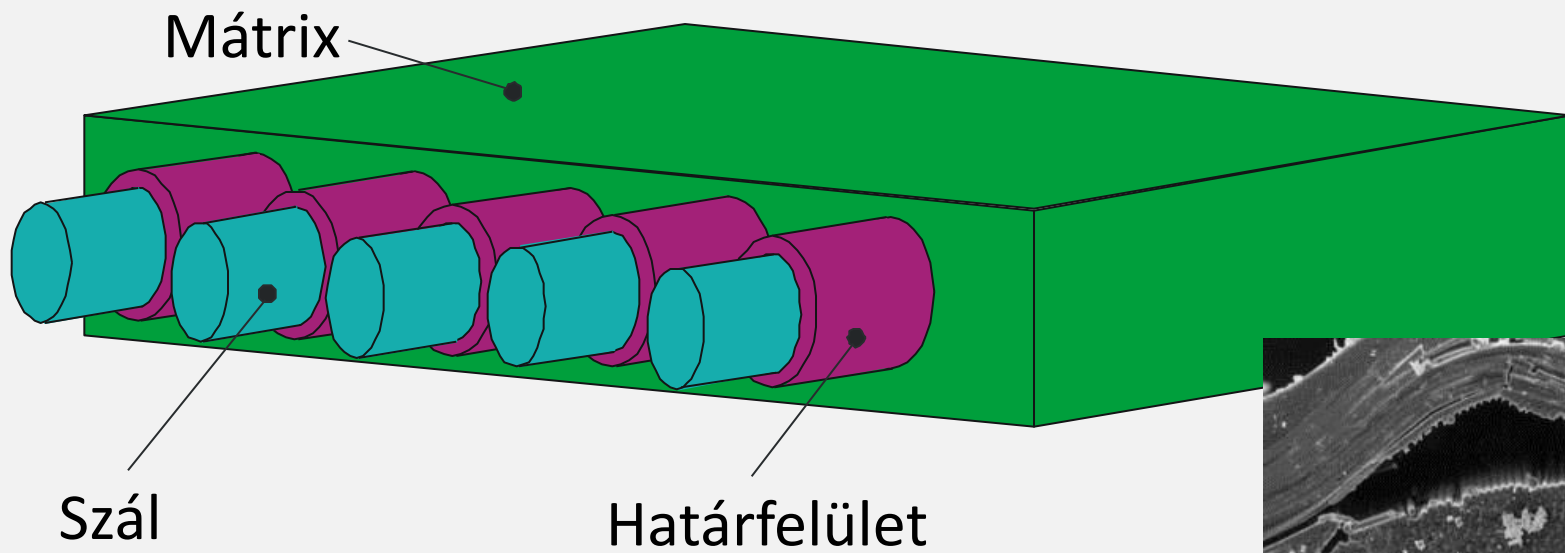
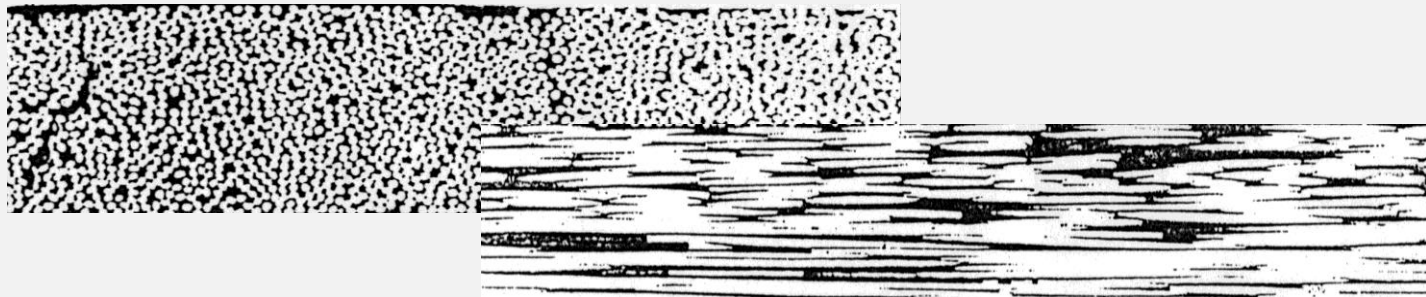
$$\text{Fajlagos felület: } A/V = (2r^2\pi + 2r\pi l) / r^2\pi l = 2/l + 2/r$$

Maximális, ha:

$l \gg r$ minimális átmérőjű hosszú szál (anizotróp, kitüntetett irányú erősítő hatás)

$r \gg l$ vékony lapos korong (pl. lemezes csillám)

(...rövid vágott szálas kompozitokban a szálak l/d viszonyának is kitüntetett jelentősége van...)



Élő kompozitok



erős, lágy kollagén és a kemény, törékeny apatit társítása (fehérjesterostok és kalcium-karbonát)

a kemény ligninbe ágyazva erős és rugalmas cellulóz szálak,



Hagyományos kompozitok



VÁLYOG: szalma, agyagos sár



ÍJ: állati és növényi eredetű anyagok kompozitja
magyarok íja: pl. fából, szürke marha szarvából és állati ínkból,
az egyes rétegeket halenyvvel rögzítették egymáshoz.

1960-as évek: tengerészet,

- kiváló mechanikai tulajdonságokkal
- nem mágnesezhetőek, azaz láthatatlanok a radarok számára,
- a különösen korrozív tengeri környezettel szemben ellenállóak.

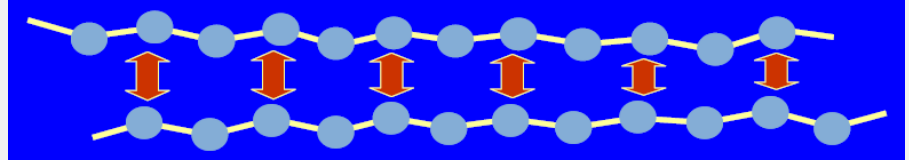
Alkalmazási területek:

- repülőgépiparban,
- a sporteszközök gyártásánál,
- a közlekedésben,
- az építőipar,
- elektronikai ipar.

Polimer kompozitok jellemző mátrix anyagai

- **Hőre lágyuló műanyagok** (gyártás 85-90%-a)

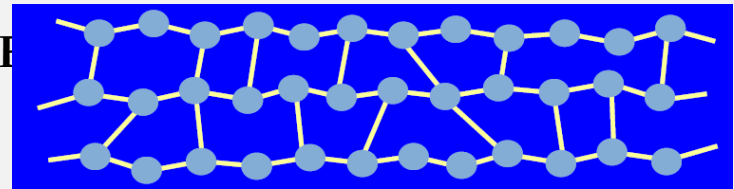
Kristályos: LDPE, HDPE, PP, PA, PET
Amorf: PVC, PS, SAN, ABS, PMMA, PC



Feldolgozásuk képlékeny alakítással

- **Hőre nem lágyuló (térhálós) polimerek** (high-tech alkalmazások)

Ritka térhálós elasztomerek: NR, SR, TPE, PUE
Sűrű térhálós duromerek: PF, UF, MF, UP, EP



Feldolgozásuk reaktív technológia, a szerszámban, visszafordíthatatlan kémiai reakcióval alakítjuk ki a térhálót.

Polipropilén (PP) és kompozitjai

	PP _{homo}	E-PP _{kopolimer}	PP-farost (35%)	PP- üvegszál(30%)
Előnyök	PE-nél jobb mech. Tul.	PP-nél jobb ütésállóság	Jó merevség, jó hőállóság, gazdaságos	Kitűnő mech. Tul, magas hőállóság
Hátrányok	Korlátozott hidegállóság Korl. ragaszthatóság	PP-nél kisebb modulusz	Korlátozott ütésállóság	Korlátozott hegeszthetőség, gép és szerszámkopás
Alkalmazás	Orientált PP: textilszál, kötöző-pánt, zsákanyag	Rekesz, akku-edény, gépk. Műszerfal, lökhárító, stb.	Gépk. Belső burk., csomagolás-technika	Mosógép alkatrész, gépipari alkatrész

PP-kompozitok



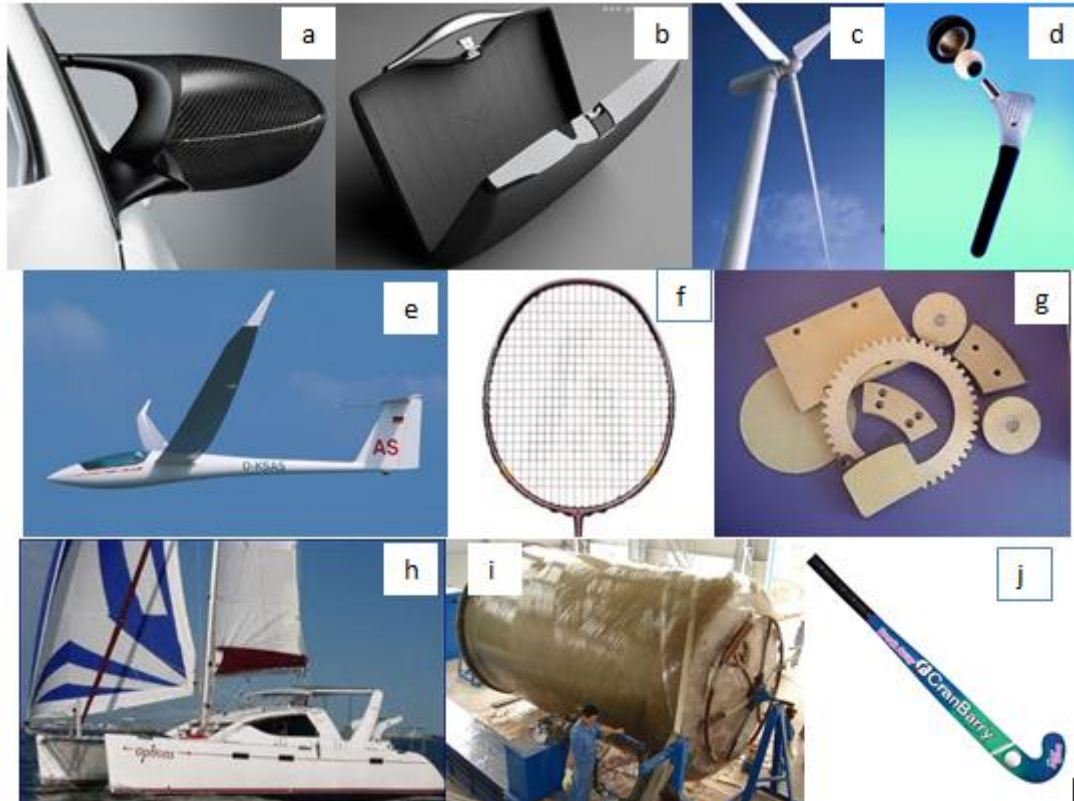
Figure 1 - Multifunctional plastic composite wheel covers with integral wheels built into a soft gripped composite wheel chemical stock by injection and postforming.



Üvegszálas PA mátrixú kompozitok



a)-d) szénzál erősítéses polimer kompozitok,



e) szénzál, kevlár, illetve üvegszál mûanyag alkatrészeket is tartalmaz,

f) kevlár erősítéses kompozit
g) súrlódó alkatrészek Kevlar erősítéses mûanyag kompozitból,

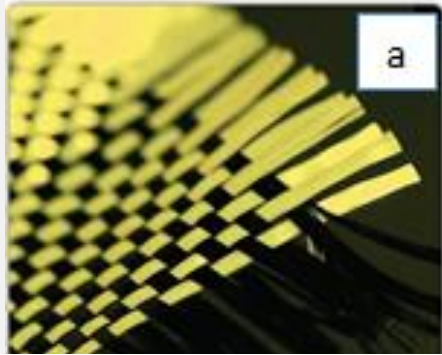
h)-j) üvegszál kompozitok

Növényi szálakkal (lenszállal) erősített műanyag kompozit termékek



Hibrid kompozitok

A kompozit alkotói, a befoglaló mátrix vagy az erősítőanyag összetett, több alkotóból áll.



c) kompozit ütő: 20% Kevlar-40%-karbon-40% üvegszál,

a)-b) Karbon/Kevlar szövet és kompozit (polikarbonát),



d) Karbon/kevlar/méhsejtszerkezet

e) Aramid/Bazalt szálak kompozit

hőre nem lágyuló mátrixú anyagok

a **térhálós szerkezetet szerszámban**, visszafordíthatatlan kémiai reakcióval alakítják ki (reaktív technológia).

High-tech alkalmazások, azaz nagyobb teherbírású szerkezetek is előállíthatók.

A nagyszilárdságú polimer kompozitok legjobb befoglaló mátrix anyagai

- **a telítetlen poliészter (UP) és az**
- **epoxi gyanta (EP).**

Ezek az anyagok **szobahőmérsékleten folyékony** halmazállapotúak és kisebb viszkozitásuk révén jobban impregnálják erősítőszálakat. A hőre nem lágyuló polimer kompozitok tulajdonságait elsősorban az erősítőszál tulajdonságai határozzák meg.

Telítetlen poliészter (UP)

- *alapanyagként*: mézsűrűségű folyékony gyanta: *oligomer* formában (65 % ilyen oligomerből és 35 % vinilmonomerből (tipikusan sztírolból) álló keverék-oldat
- Korlátolt tárolhatóság, a gélesedés magától beindul
- *végtermékként*: térhálós, hőre nem lágyuló nagyszilárdságú műszaki, szerkezeti anyag. (az oligomer gyanta és a monomer kettős kötéseinek elinduló és térhálóhoz vezető polimerizációs *láncreakcióban* keletkezik, legtöbbször üvegszállal,- szövettel,- paplannal erősített *kompozit*)
- Alkalmazása legtöbbször üvegszállal,- szövettel,- paplannal erősített kompozitként (pl. járműipar, vízi jármű gyártás, tartályok)

Üvegszálas telítetlen poliészter (UP) mátrixú kompozitok

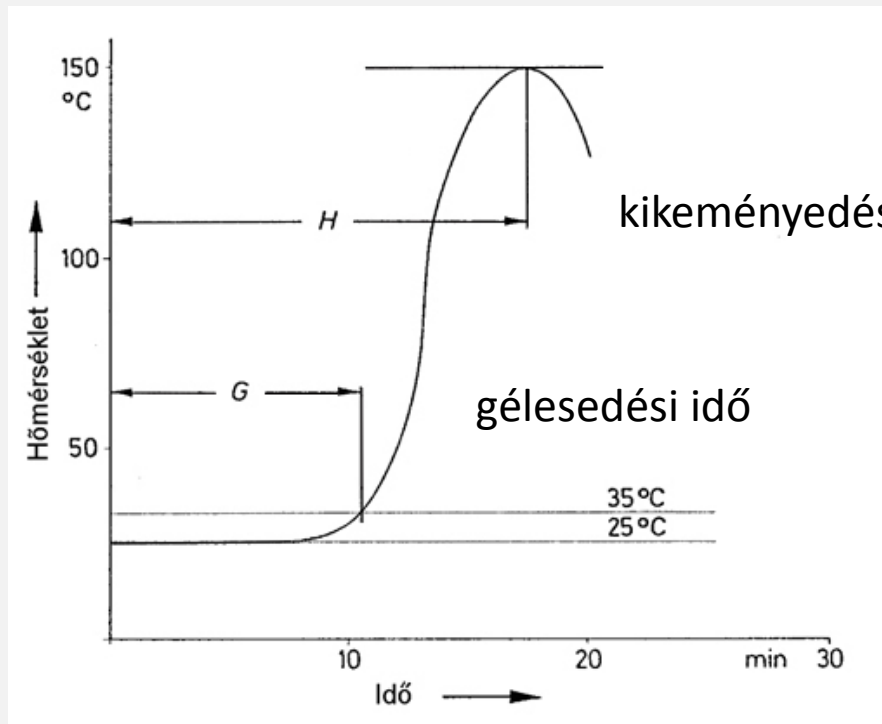


Telítetlen poliészter

A UP lánreakciója exoterm reakció- jellegű, megfelelő iniciátorral gyors folyamat.

gyanta + gyorsító + katalizátor (iniciátor)

(csak katalizálja a reakciót, nem vesz részt a kémiai folyamatban)



- kiváló tulajdonságokkal rendelkező gyantatípus,
- kiváló tapadóképesége miatt ragasztóként is hasznosítható,
- ellenálló a környezeti hatásokkal szemben,
- jó mechanikai tulajdonságok,
- kicsi zsugorodás,
- alkalmazása a számítástechnikától az űrtechnikáig sokrétű (pl. repülőgépgyártás, elektrotechnika)

Epoxi gyanta mátrixú kompozitok



UP versus epoxi

- Kitűnő mech. Tul.

Előny

- **Hőállóság**
- jó tapadás

Hátrány

- **Zsugorodás (1,5-0,5%)**
- Higiénikus feldolgozást igényel

Alkalmazás

- **Szálerősített kompozit:**
autóipar
vizijárműgyártás
- Szálerősített komp:
Repülőgépgyártás,
elektrotechnika

A polimer kompozitok erősítő anyagai

Természetes szálak



Növényi eredetű
(pamut, len, kender,
farost, kókuszrost, stb.)



Állati eredetű (gyapjú, hernyóselyem, lószőr
stb.)

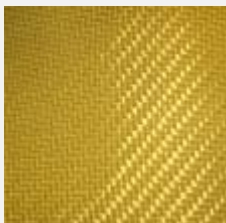
Ásványi eredetű (azbeszt)

A polimer kompozitok erősítő anyagai

Mesterséges szálak

Szerves

Aramid (Kevlar)



UHMWPE
(Dyneema)

Szervetlen

Szilikát (pl. üveg)



Szénszál



Fém, fém-oxid, stb.

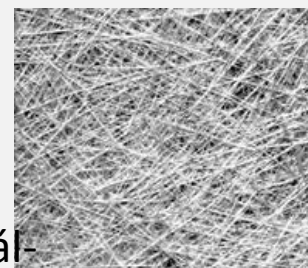


Üvegszál



- Legelterjedtebben alkalmazott erősítőanyag
- Szilikát (55-65% SiO_2 + egyéb fénoxidok)
- $\sim 10\mu\text{m}$ átmérőjű elemi szálak (10^3 db egy kötegben (roving))
- felületkezelés: Írezés (sizing) – védelem a feldolgozás alatt, szál-mátrix tapadás növelése

Epoxi, vinilszilán, fenolgyanta típusú kapcsolószerek)



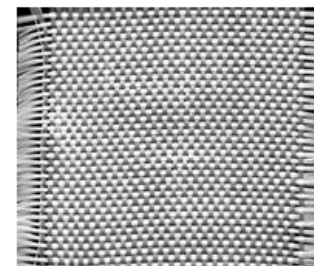
(a)



(b)



(c)



(d)

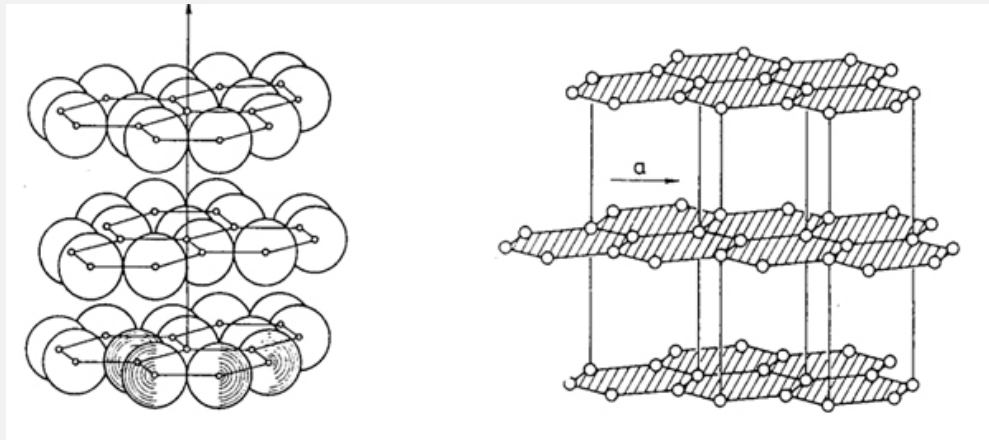
- **Előnyei:**
 - Olcsó
 - Nagy mennyiségben rendelkezésre áll
 - UV stabil, vegyszerálló, elektromosan szigetel
- **Hátrányai:**
 - erős koptató hatás egyes technológiáknál
 - Viszonylag nagy sűrűség, törékeny
 - alacsony rugalmassági modulus

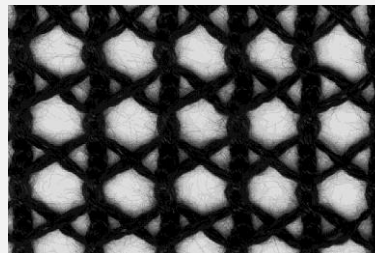
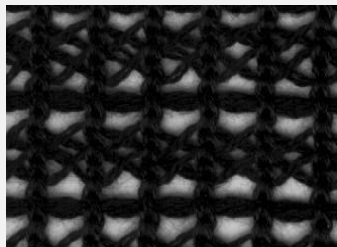
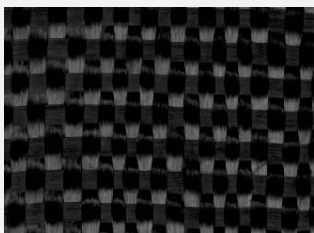
GF kompozitok



Szénuszál

- Sokféle rendezettségi forma
- Nagy szilárdság a szén-szén kötések miatt
- A szénuszálban a grafitos szerkezetet hasznosítjuk
- Rendkívüli grafitszilárdság, nagy modulus





A karbonszálgyártás:

az előtermék (*prekurzor*) *karbonizálása* majd *grafitosítása*, hogy közben ne olvadjon meg, ne égjen el, és a kívánt szénszerkezet alakuljon ki. (a hőfok és idő határozza meg a mech. tul-kat)

Prekurzorok:

- poliakrilnitril (PAN) szál
- kátrányalapú szál
- regenerált cellulóz (műselyem, viszkóz) szál.



1997 óta Magyarországon

Az eljárás főbb lépései:

- 1. stabilizálás:** enyhe oxidáció max. 200-350 °C-ig, amelyben a szál elszenesedik, de nem olvad meg, Az első lépésben létrejött termék az ún. **oxidált szál**, ami már felhasználható mint textilipari nyersanyag.
- 2. karbonizáció:** 800 °C-ra történő hevítés, amelyben a szál 90 %-ban szénné alakul, nitrogén közegben. Ez a termék a **szénszál**.
- 3. grafitosítás:** 1000–3000°C-on, szigorúan oxigénmentes közegben, feszített állapotban hevítik, kialakul a gyakorlatilag **tiszta szénből álló grafitos szerkezet**.

	Oxidált szál	Szénszál
Széntartalom, %	62	> 95
Sűrűség, g/cm ³	1,35–1,41 (típustól függően)	1,82
Szálátmérő, μm	13	7,2
Szakítószilárdság, MPa	260	3800
Rugalmassági modulus, GPa	8,5	242
Szakadási nyúlás, %	20–25	1,5
Hővel szembeni ellenállás	jó hőszigetelő	jó hővezető
Elektromos tulajdonságok	elektromosan szigetel	vezeti az elektromosságot
Lúgállóság	híg oldatban kitűnő, tömény oldatban gyenge	kitűnő
Savállóság	híg oldatban kitűnő, tömény oldatban jó	kitűnő
Nedvességfelvétel, %	6–10	< 0,1

CF kompozitok



A szénszál alkalmazás

- **Előnyei:**
 - Alacsony sűrűség
 - Magas rugalmassági modulus
 - Magas szilárdsági értékek
 - Alacsony hőtágulási együttható
- **Hátránya:**
 - Rideg
 - Magas ár

- Aromás poliamid, jó szilárdság a nagyfokú orientáció révén, hőállóság
- KEVLAR, TWARON, TECHNORA
- >3000 MPa szakítási szilárdság, $60 \div 120$ GPa húzó modulusz ($\rho=1,44$ g/cm³): a legjobb acélhuzalokkal vetekszenek,
- kompozitja rendkívül szívós, ütésszálló. Ütéssel és nyírással szembeni jó ellenállás (pl. golyóálló mellény)
- gyakran alkalmazzák karbonszállal együtt, *hibrid* erősítőrendszerben.
- A KEVLAR szálak kitűnő szilárdsága igen jól hasznosul a gumikompozitokban pl. a radiál-gumiabroncsokban.
- A NOMEX típusú szálból epoxi vagy fenolgyanta kötőanyaggal papírvékony kompozitlemez különleges kompozitbetét-alkatrészhez (hullámpapírhoz hasonló küllemű, de igen szilárd *méhsejt* lemez (*honeycomb*))

- **Előnyei:**

- Alacsony sűrűség
- Magas szilárdsági értékek
- Jó dinamikai tulajdonságok
- Hajlékony
- lángállóság

- **Hátrányai:**

- Gyenge ellenállás a környezeti hatásokkal szemben (UV, nedvesség)
- Alacsony nyomószilárdság

Aramid és aramid-CF alkalmazás



Polietilénszál (UHMWPE)

- Gélfázisú szálképzéssel nagymértékű orientáció
- Spectra, Dyneema
- Igen nagy szilárdság, könnyű
- Korlátozott hőállóság (140C), gyenge kompatibilitás más polimerekkel

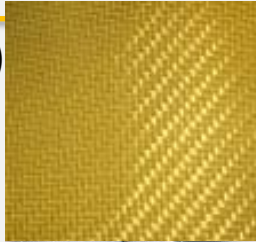




A polimer kompozitok erősítő anyagai

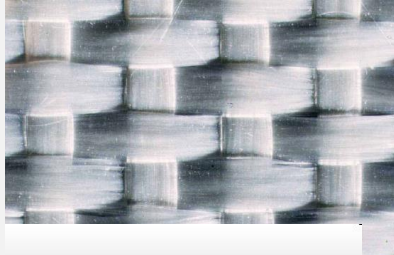
SZE - GYŐR

Aramid (Kevlar)



Mesterséges szálak

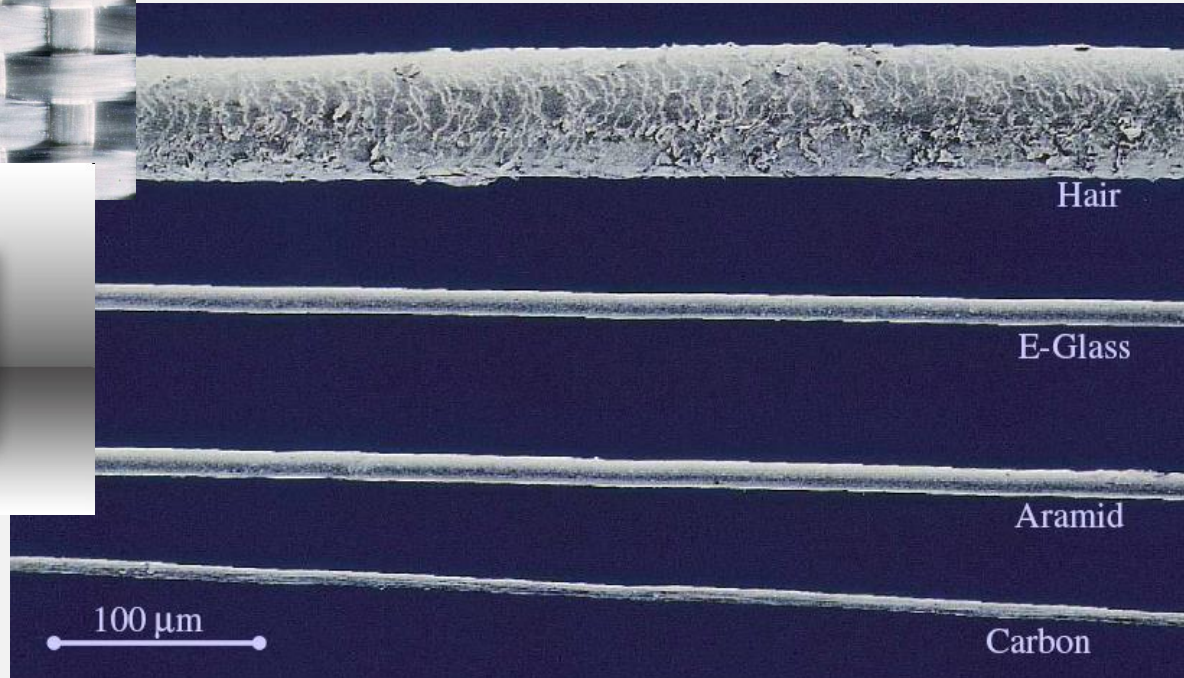
Üvegszál

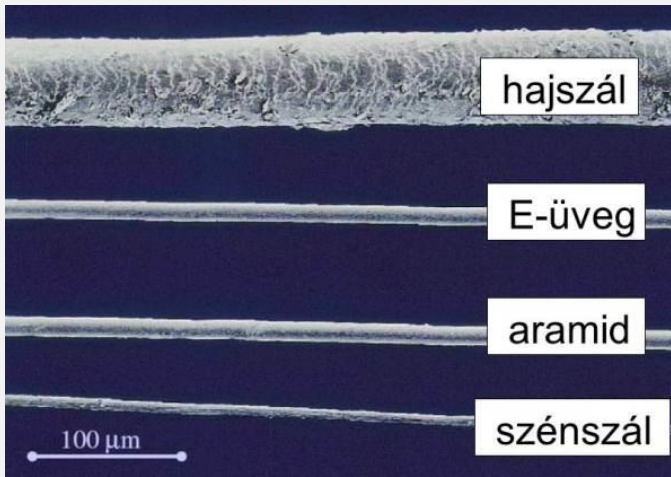


UHMWPE
(Dyneema)



Szénaszál



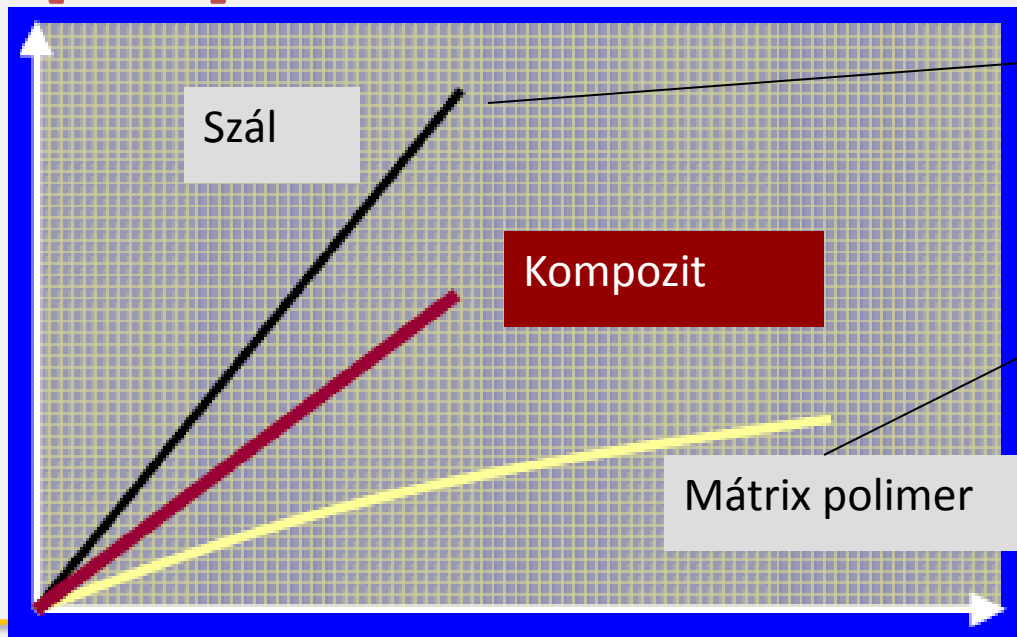


	Sűrűség [g/cm ³]	Rugalmassági modulus [GPa]	Szakító- szilárdság [GPa]	Fajlagos szakadási hossz [km]
E-üvegszál	2,5	73	2,0..3,0	80 (96)
Aramidszál	1,45	89..136	2,35..3,8	190 (230)
Szénszál	1,8	242	3,8	195
Polietilénszál (Spectra)	0,97	73-120	2,3-3,6	280..340
Eutektoidos acélhuzal	7,8	210	4,0	35 (50)

Kompozit

- Többfázisú (összetevői fázishatárokkal elválasztott)
- Összetett szerkezeti anyag, amely
- Erősítőanyagból (tipikusan szálerősítés) és
- Befoglaló anyagból (mátrix) áll

σ [MPa]



Nagyszilárdságú, nagy moduluszú

Kisebb szilárdságú, szívós

Kiváló adhézió

ε [%]

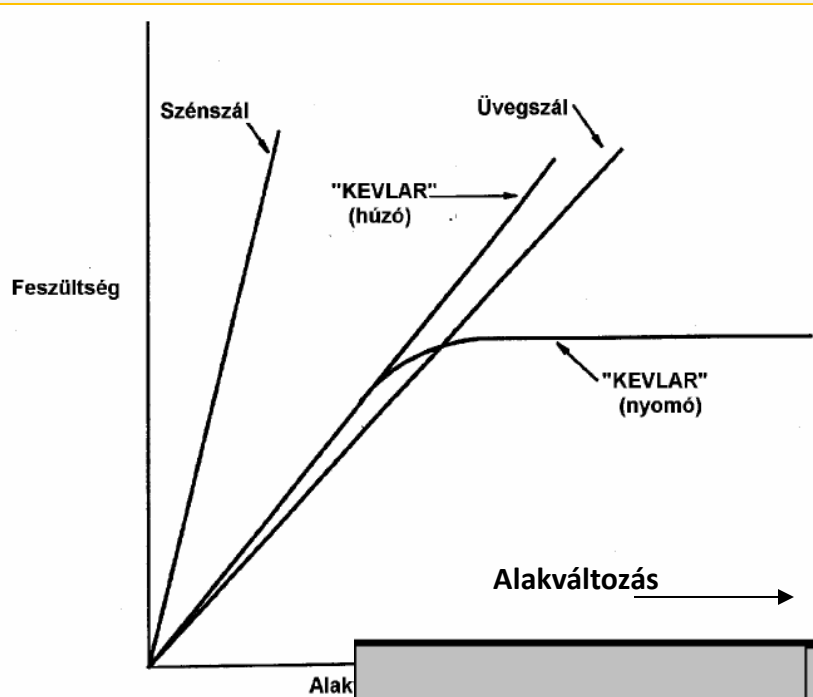
A kompozit tulajdonságainak meghatározói

- A szál-mátrix határfelületi adhézió
- A mátrix mechanikai tulajdonságai
- A szál mechanikai tulajdonságai
- A száltartalom
- A szálhossz, átmérő
- A szálak irányítottsága a mátrixban (orientáció)
- A gyártási technológia

Amátrix polimerek összehasonlítása

polimer	Sűrűség ρ [g/cm ³]	Szakító szilárdság σ [MPa]	Rugalmassági modulus E [GPa]	Szakadási nyúlás ε [%]
LDPE	0,92	10	0,2	400
HDPE	0,95	30	0,9	500
PP	0,9	30	1,6	150
PA6	1,13	80	3,2	50
UP	1,25	50	3,0	2
Epoxi	1,2	50	3,0	3

Az erősítőszálak összehasonlítása



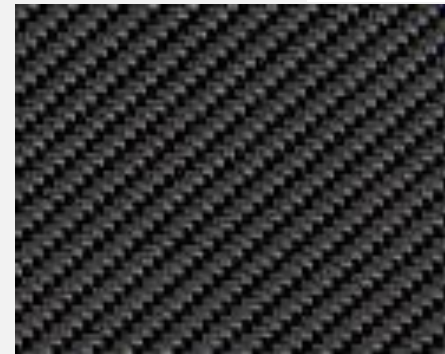
Száltypus	Sűrűség	Szakító szilárdság	Rugalmassági modulus	Szakadási nyúlás
	ρ [g/cm ³]	σ [GPa]	E [GPa]	ϵ [%]
Üvegszál	2,5-2,8	3,2-4,6	70-85	1,8-5,7
Szénszál	1,7-2	2-7	200-700	0,5-1,5
Aramidszál	1,44	2,8-3,8	60-130	2,2-4
Polietilénszál (Spectra)	0,97	2,3-3,6	73-120	2,8-3,9
Acélhuzal	7,6	4	240	1,4

Erősítőszálak kiszerezési formái

- Roving (köteg) vagy szalag (1D)



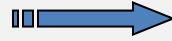
- Szőtt vagy nem-szőtt és kötött textíliák (2D)



- Vastag tűzött kelmék (3D)

Szálak irányítottsága

Szálak irányultsága

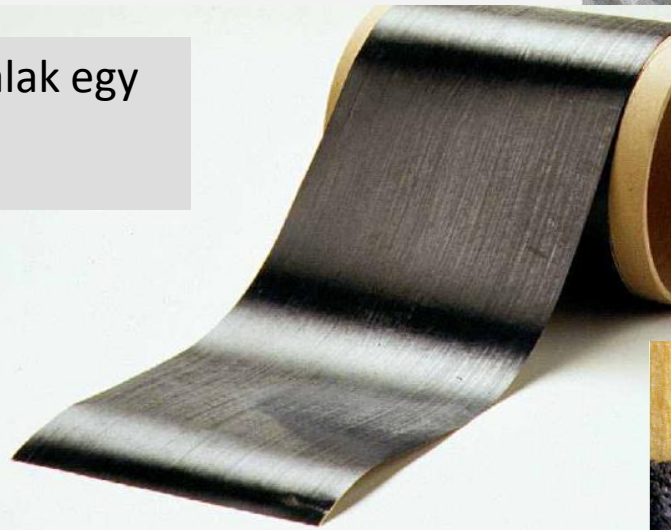


Bizonyos fokú orientáció

Paplan: nincs mechanikailag kitüntetett irány



Unidirekcionális réteg: szálak egy irányban állnak



Szövet: szálak két irányban



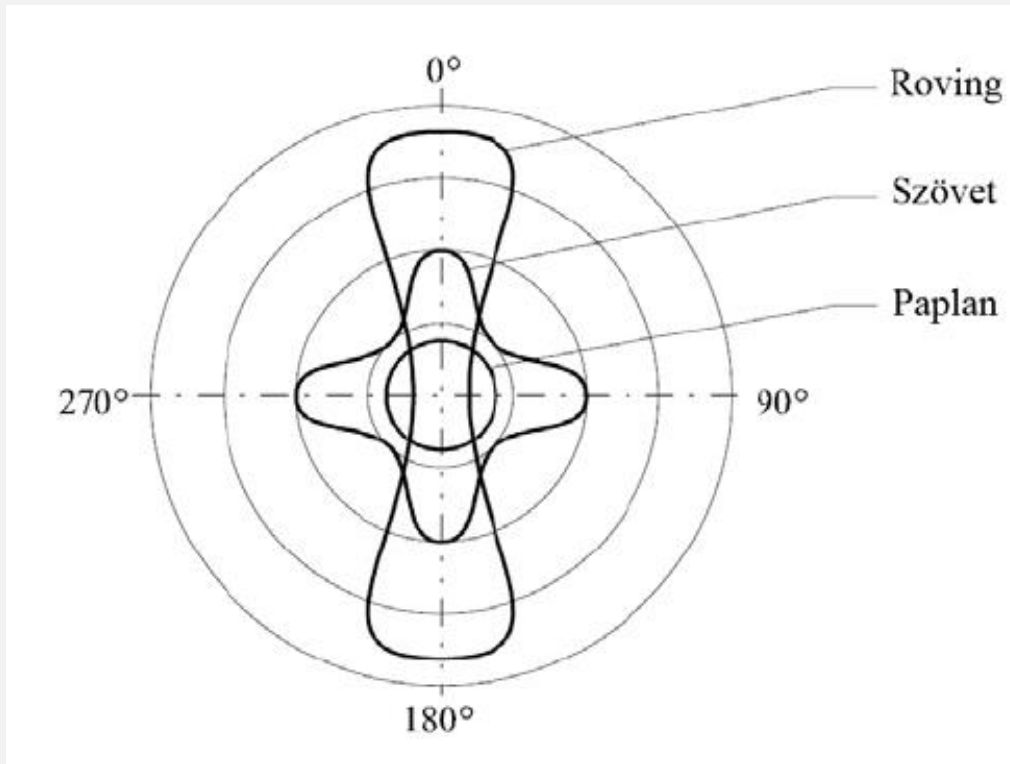
Multidirekcionális réteg: pl. három kitüntetett irány a síkban

Az erősítőanyag kiszerezési formák mechanikai tulajdonságai

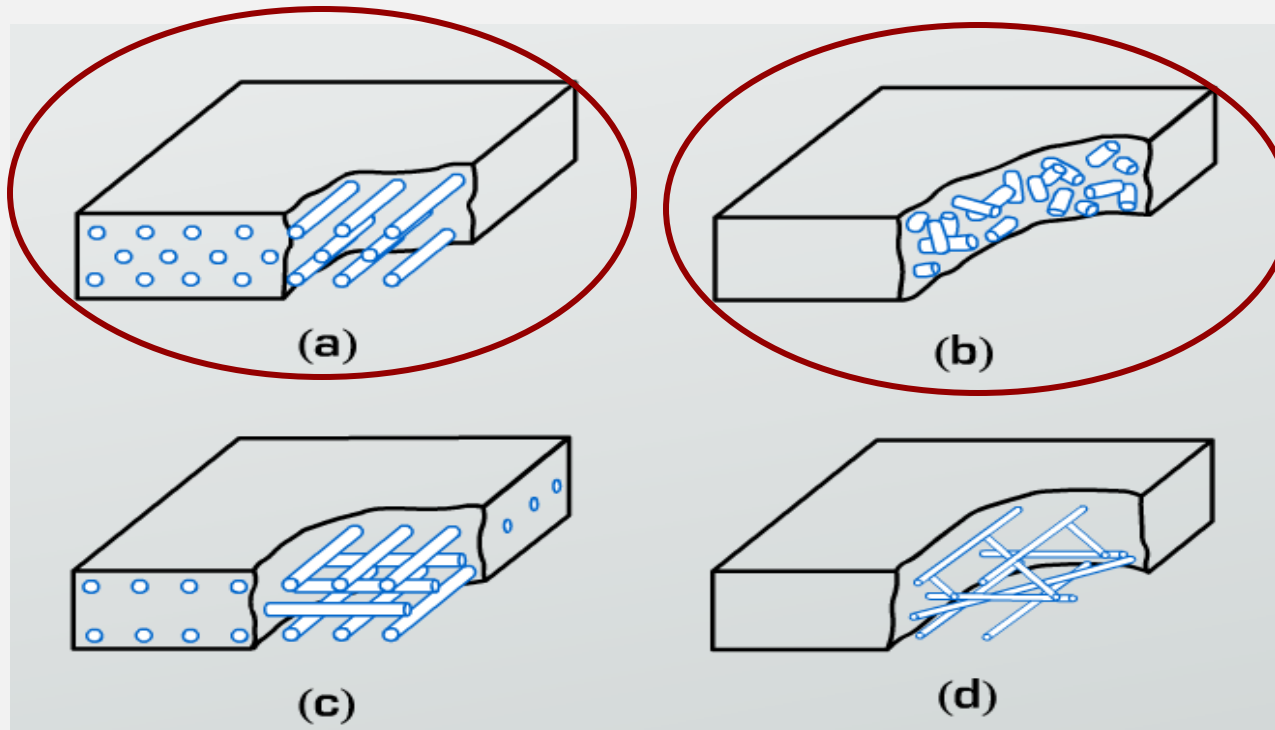
Húzószilárdság és rug. modulusz jellege a terhelési
szög függvényében



POLÁRDIAGRAM



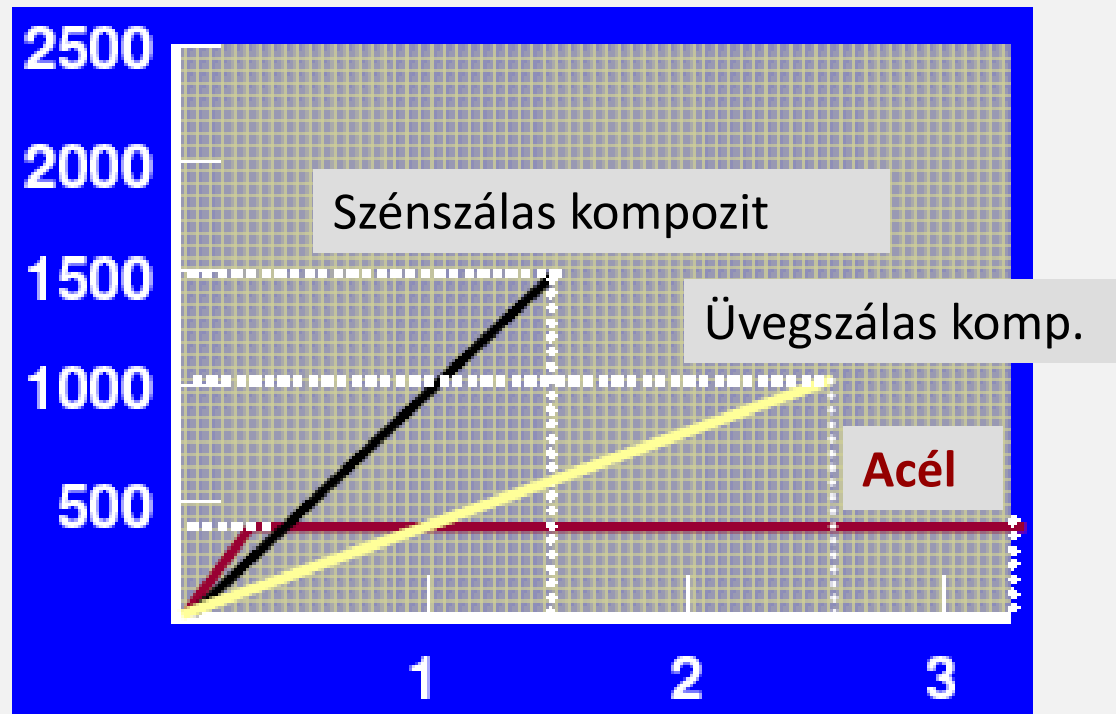
Különböző morfológiájú szálerősítéses kompozitok



- (a) folytonos, egyirányú szálak,
- (b) véletlenszerűen orientált, nem folyamatos szálak,
- (c) egymásra merőleges szálak,
- (d) rétegenként más-más irányú szálak.

A polimer kompozitok tulajdonságai az acélhoz képest

- Lineáris elasztikus jelleg a tönkremenetelig
- Nincs folyás
- Nagyobb szilárdság
- Kisebb szakadási nyúlás
- Versenyképes modulusz (Szénszálas kompozit)
- tömegcsökkenés!!!!



A polimer kompozitok tulajdonságai az acélhoz képest

Material	Ultimate Strength	Elastic Modulus	Failure Strain
Glass FRP	517-1207 MPa	30-55 GPa	2-4.5 %
Carbon FRP	1200-2410 MPa	147-165 GPa	1-1.5 %
Aramid FRP	1200-2068 MPa	50-74 GPa	2-2.6 %
Steel	483-690 MPa	200 GPa	>10 %

A szál-orientáció hatása

A polimer kompozitok ortotróp anyagok, a tulajdonságok irányfüggők

- **Unidirekcionális kompozitok**

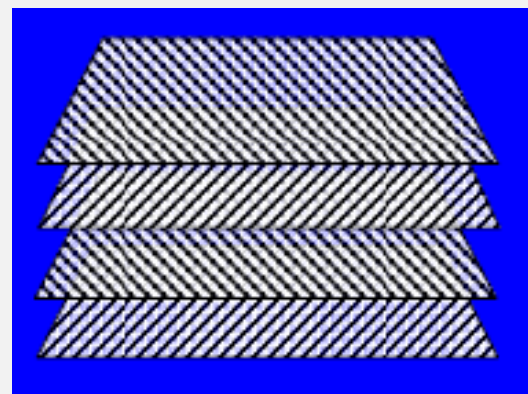
- A szálak egy irányban
- Nagyobb szilárdság és merevség szálirányban



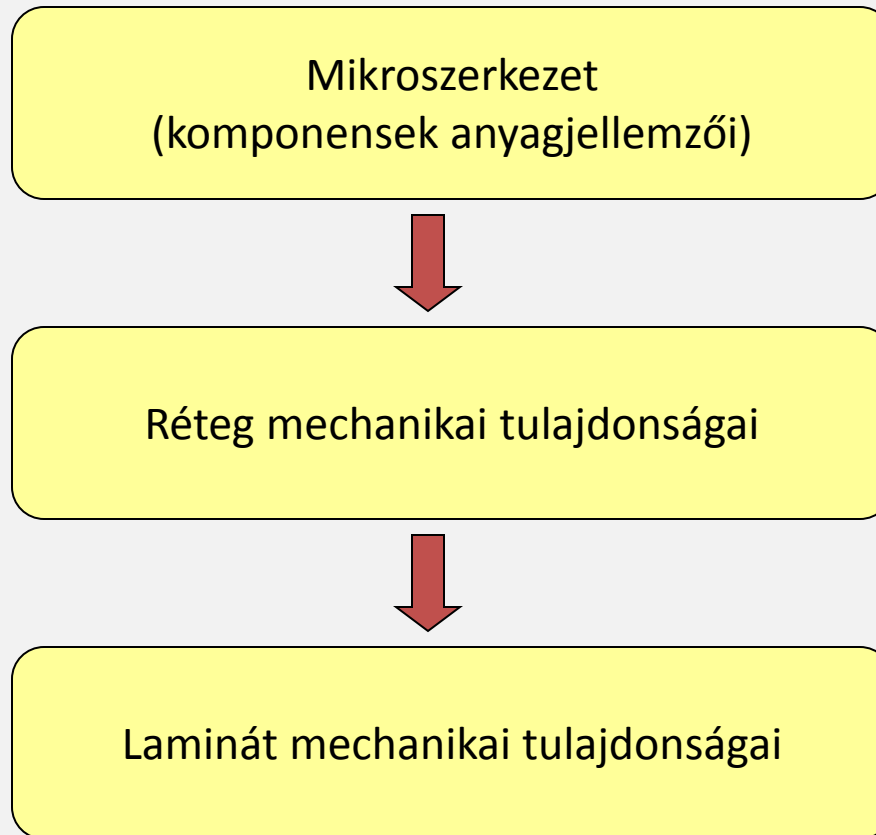
A szál-orientáció hatása

• **Multidirekcionális** kompozit laminátok

- a szálak különböző irányokban
- a tulajdonságok az igénybevételre szabhatók
- akár izotróp jelleg is



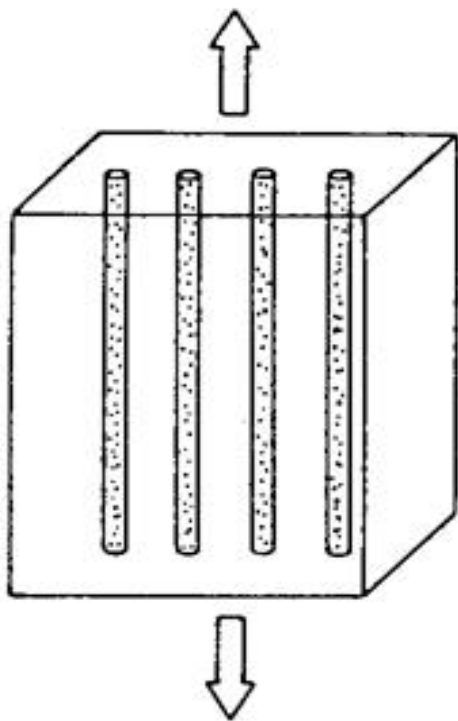
Többrétegű laminát mechanikai tulajdonságainak meghatározása



Hosszú szállal erősített kompozit szilárdsága *a terhelés irányában*

Méretezéshez legfontosabb:

a kompozit (c) szakítószilárdságának és húzó rugalmassági modulusának kiszámítása a szál (f) és a mátrix(m) tulajdonságaiból



Ismert:

σ_f , σ_m , az összetevők szakítószilárdsága

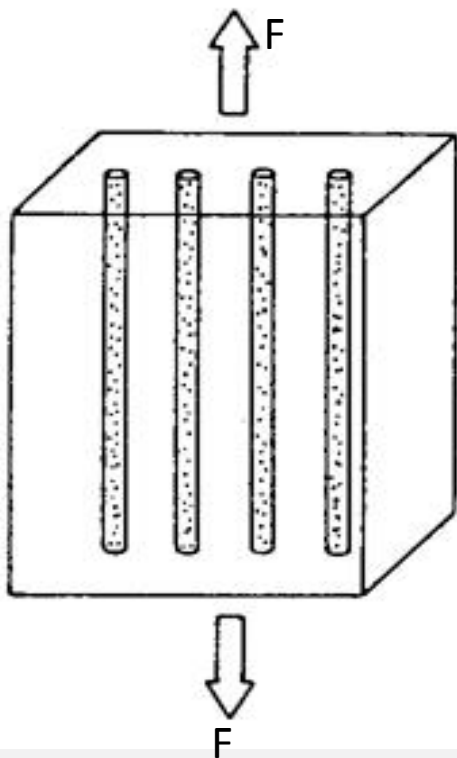
E_f , E_m , az összetevők Young modulusa

V_f : a száltartalom, térfogathányad

Hosszú szállal erősített kompozit szilárdsága *a terhelés irányában*

Méretezéshez legfontosabb:

a kompozit (c) szakítószilárdságának és húzó rugalmassági modulusának kiszámítása a szál (f) és a mátrix(m) tulajdonságaiból



Azonos a deformáció a komponensekben, tehát:

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f = \varepsilon_m \quad \text{és} \quad F_c = F_f + F_m$$

Mivel $F = \sigma \times A$

$$\sigma_c \times V_c = \sigma_f \times V_f + \sigma_m \times V_m$$

Hosszú szállal erősített kompozit szilárdsága *a terhelés irányában*

$$\sigma_c \times V_c = \sigma_f \times V_f + \sigma_m \times V_m$$

Ha V_c egységnyi (=1), akkor $V_f=1-V_m$ $V_m=1-V_f$

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f)$$

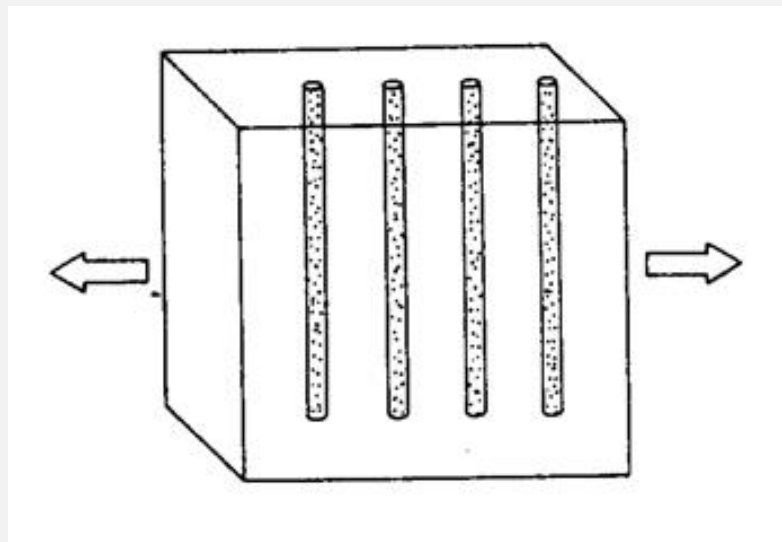
Hooke törvény+nyúlásazonosság miatt:

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f)$$

Voigt-szabály, vagy egyszerű „keverési” szabály (rule of mixtures)

kontrakciót, illetve Poisson-tényezőt elhanyagolja,
az alkalmazások többségében jó közelítés

A polimer kompozit szilárdsága a szálerősítés irányára merőlegesen



Ismert:

σ_f , σ_m , az összetevők szakítószilárdsága

E_f , E_m , az összetevők Young modulusa

V_f : a száltartalom, térfogathányad

A polimer kompozit szilárdsága a szálerősítés irányára merőlegesen

$$\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m$$

$$\Delta l_c = \Delta l_f + \Delta l_m$$

mivel $\varepsilon = \Delta l / l_0$ így

$$\varepsilon_c \cdot l_c = \varepsilon_f \cdot l_f + \varepsilon_m \cdot l_m$$

A Hooke törvény érvényességi tartományában $\varepsilon = \sigma / E$ alapján

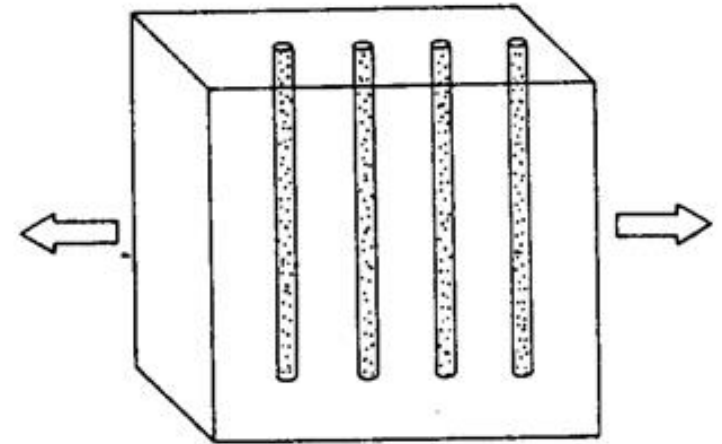
$$\frac{\sigma_c}{E_c} \cdot l_c = \frac{\sigma_f}{E_f} \cdot l_f + \frac{\sigma_m}{E_m} \cdot l_m$$

Mivel a σ feszültség az egyes rétegekben (így a kompozit egészében) azonos, így

$$\frac{l_c}{E_c} = \frac{l_f}{E_f} + \frac{l_m}{E_m}$$

a rétegvastagságok aránya valójában térfogathányadot képvisel, így

$$\frac{V_c}{E_c} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m}$$



A polimer kompozit szilárdsága a szálerősítés irányára merőlegesen

Ha a kompozit egységnyi térfogatában ($V_c=1$) V_f a szálerősítés térfogathányada és $1-V_f$ a matrix térfogathányada, akkor

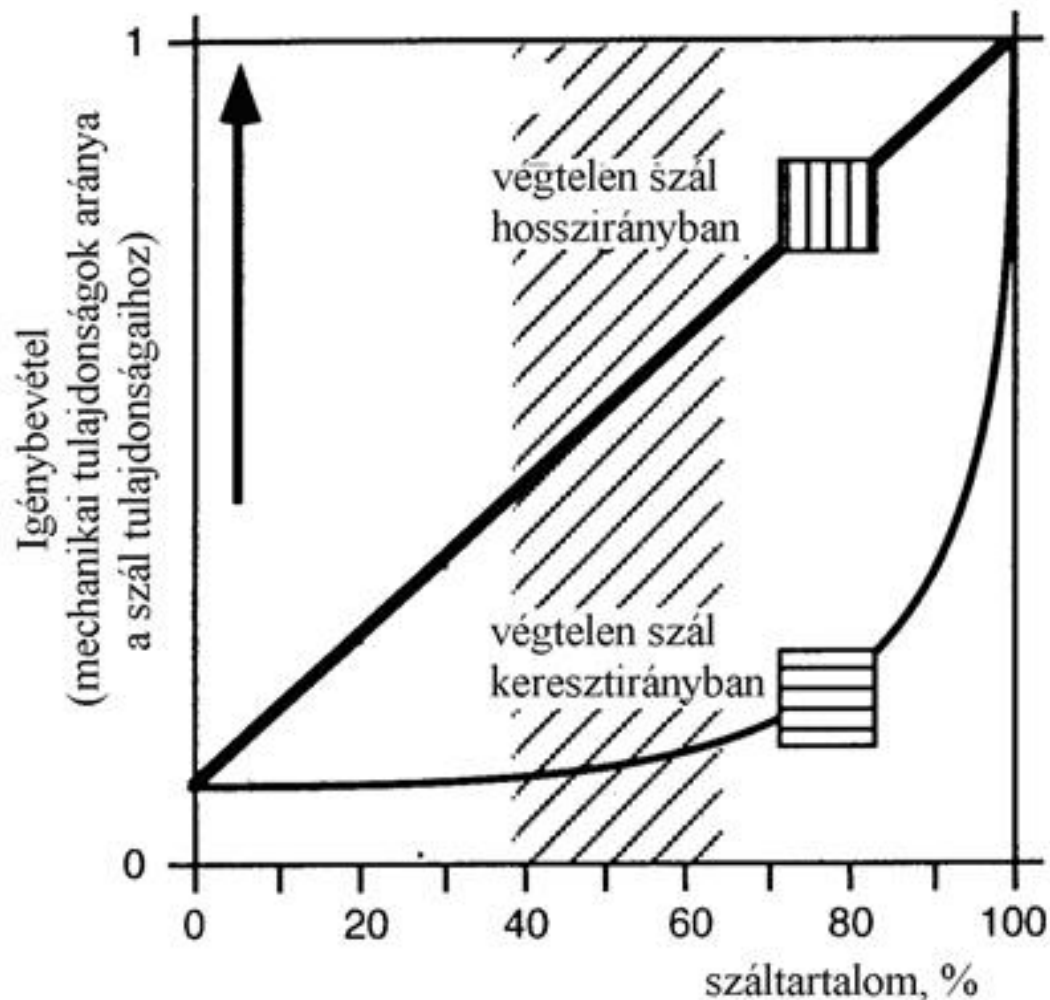
$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{1-V_f}{E_m}$$

ami átrendezés után

$$E_c = \frac{E_f E_m}{E_m V_f + E_f (1 - V_f)}$$

Reuss- szabály: az összetevők moduluszából kiszámíthatjuk a kompozit moduluszát.

A terhelés irányában és az arra merőlegesen elhelyezett szálerősítés hatása közti lényeges különbség



A szálerősítés határai (geometriai és technológiai) a gyakorlatban:

$$0,35 < V_f < 0,65$$

Szálas erősítőanyag modulusza és szilárdsága is 1-2 nagyságrenddel a mátrixénál.

Így *első közelítésben* a kompozitnak a szállal párhuzamosan mérhető szilárdságát és moduluszát *csak a szál* szilárdságából és moduluszából, a szál térfogathányadával arányosan számoljuk, a mátrixra vonatkozó összetevőt pedig elhanyagoljuk.

Közelítés szállal párhuzamos terhelésnél:

$$\sigma_{c,II} \approx \sigma_f \cdot V_f$$

$$E_{c,II} \approx E_f \cdot V_f$$

Közelítő egyenletek a szálerősítés irányára merőleges terhelésnél

a szálerősítés alig növeli a kompozit moduluszát és egyáltalán nem növeli szilárdságát.

csak a mátrix szilárdságával és moduluszával számolunk

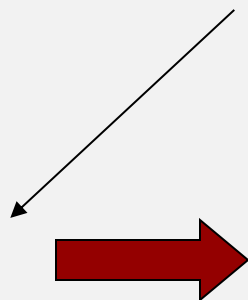
A szálerősítésre merőleges irányban mérhető modulusz a gyakorlatban jobb, mint az a *Reuss- szabályból* következik.

Vágott, rövid szállal erősített kompozitok

Kompozit alapelvek:

- nagyszilárdságú,
- lehetőleg nagy fajlagos felületű szál,
- jó tapadás a szál-mátrix határfelületen.

A szál még alkalmas,
legkisebb hossza
(rövidsége), pontosabban
 l/d aránya (<50)
ezzel a tapadással hozható
kapcsolatba.

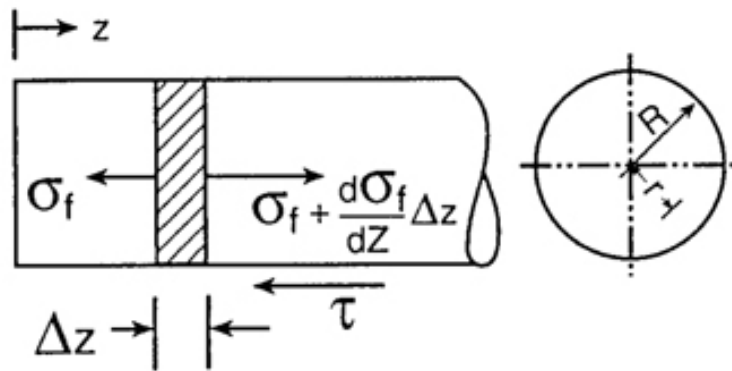


kritikus szállhossz,
amelynél rövidebb szál húzóigénybevétel
alkalmával a mátrixból kihúzódik

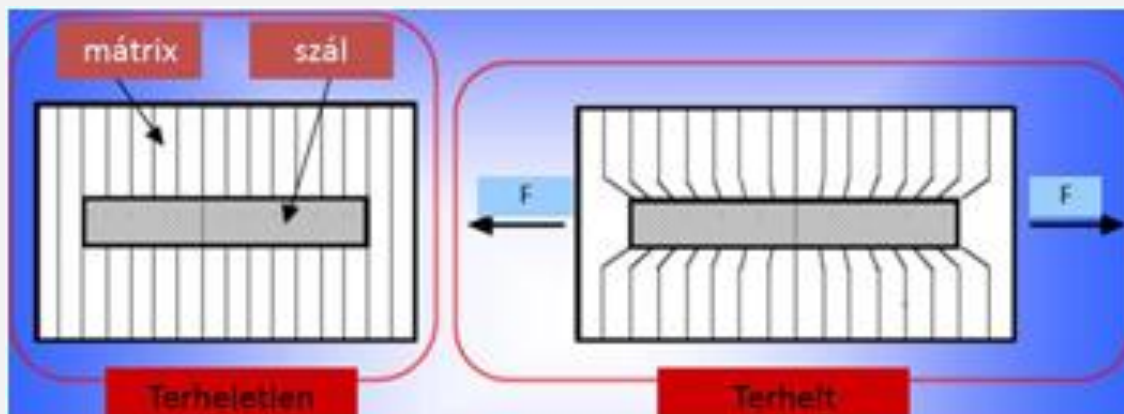
amelynél hosszabb szál a jó beágyazottság,
a jó tapadás következtében maga szakad el
a tönkremenetel pillanatában.

A kritikus szálhosszúság rövidszálas kompozitokban

Az összetett feszültségállapot jellemzésére különböző modelleket alkottak, a kritikus szálhosszúság (L_c) és a szálátmérő (D) viszonyát az ún. „Kelly-Tyson” (1965) összefüggés írja le:



τ a nyíróerő okozta feszültség a határfelületen,
 σ_f a szál szakítószilárdsága.

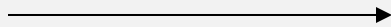


Kelly-Tyson összefüggés

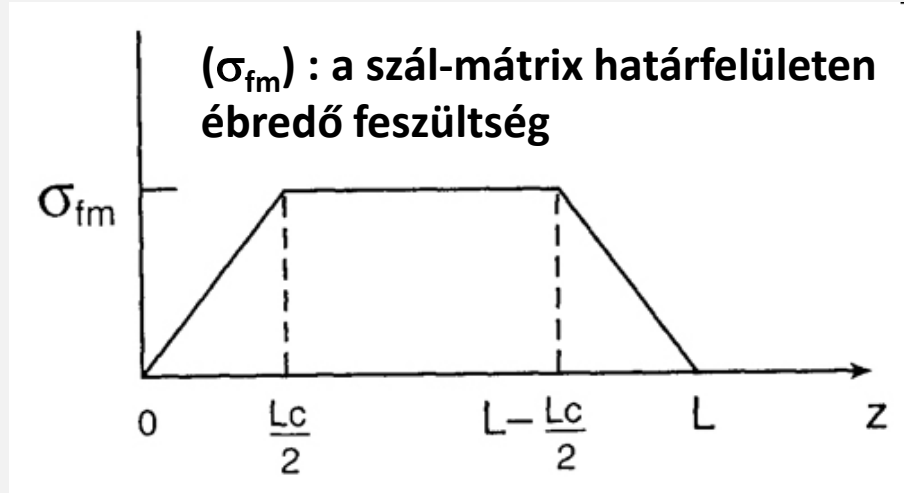
„Kelly-Tyson” összefüggés:

$$\frac{L_c}{D} = \frac{\sigma_f}{2\tau}$$

Adhézió javul



τ (MPa)	5	25	50	100	250
L_c / D	175	35	18	9	4
L^*_c (mm)	1,2	0,25	0,13	0,07	0,03



A kritikus szálhosszúság változása a határfelületi nyírófeszültség függvényében (* $D=7 \mu\text{m}$ tipikus szálátmérő esetén)

A vágott *rövidszálas* erősítés hatásfokának korlátai

- a technikailag elérhető *száltartalom* (V_f) *kisebb*, mint a nagyszilárdságú kompozitokban
- a hatékonyságot az L_c *korlátozza*,
- a *szálorientáció hatás*: a statisztikus eloszlásban orientált szálak közül csak a terheléssel közelítőleg párhuzamos szálak erősítenek igazán,
- a szálak orientációját az *ömladék-áramlás* erőteljesen befolyásolja.

A rövidszálas kompozitok modulusának kiszámítása:

$$E_c = \eta_{\ominus} \cdot \eta_l E_f \cdot V_f + E_m (1 - V_f)$$

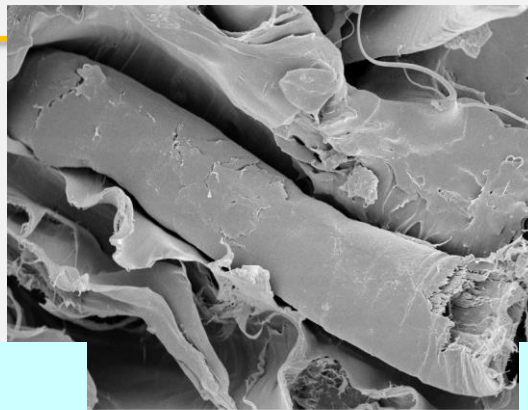
η_{\ominus} = a szálorientációt figyelembevevő hatékonysági tényező

η_l = a szálhosszúságot figyelembevevő hatékonysági tényező

Rövidszálas, illetve hosszúszálas kompozitok definiálására az ún. **alaki tényezőt**, az l/d (szálhossz/szálátmérő) viszonyszámot használjuk.

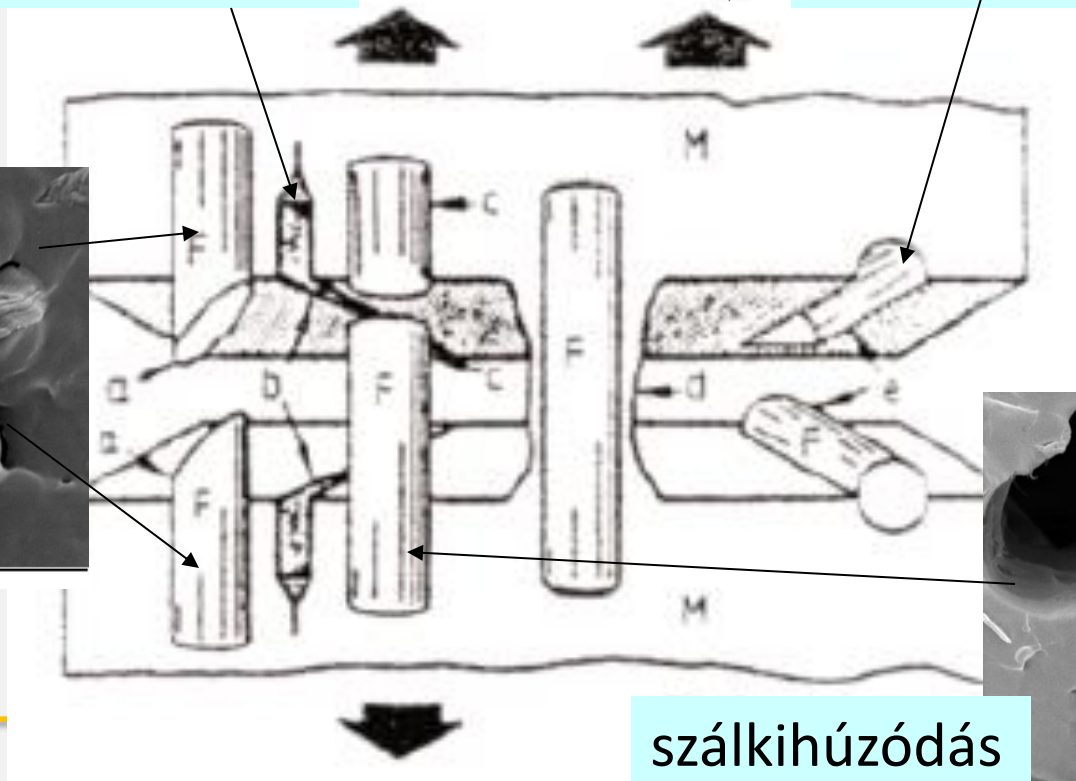
A **kritikus szálhossznál** *hosszabb* szál a jó beágyazottság, a jó tapadás következtében *magá szakad* el a tönkremenetel pillanatában. A kritikus szálhosszúság (L_c) és a szálátmérő (D) viszonyát az ún. „Kelly-Tyson” összefüggés írja le.

Polimer kompozitok tönkremeneteli formái

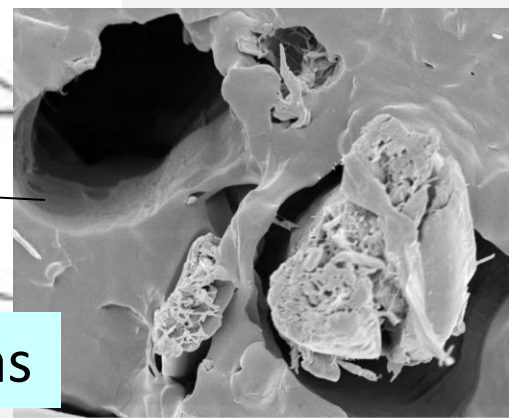
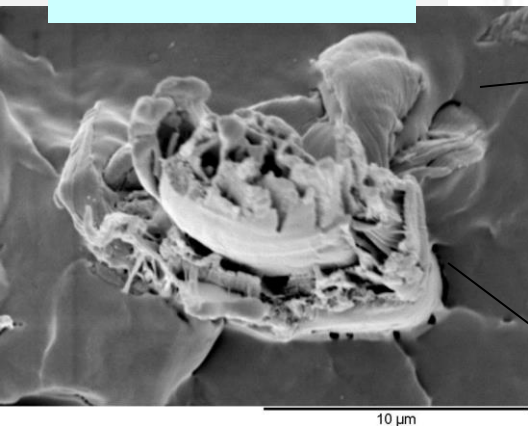


Mátrix törés

Szál-mátrix elválás



szálszakadás



szálkihúzóadás

A határfelületi adhézió mérésére, becslésére alkalmas eljárások

INDIREKT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Valós kompozit szerkezet vizsgálata

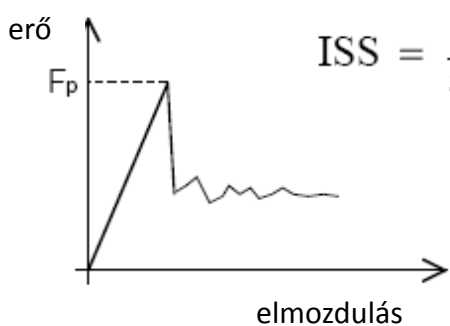
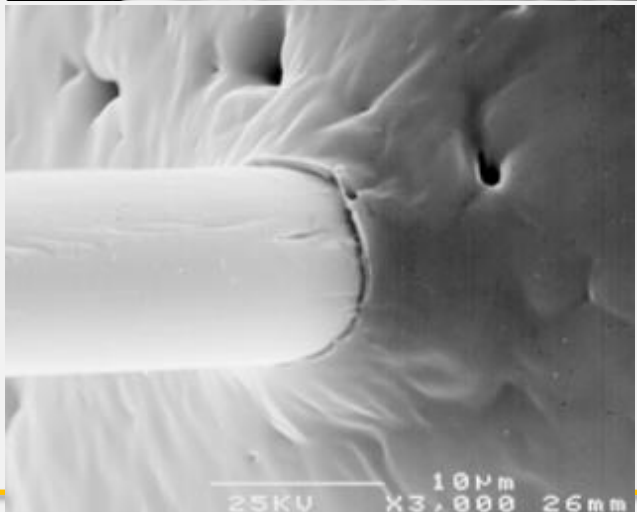
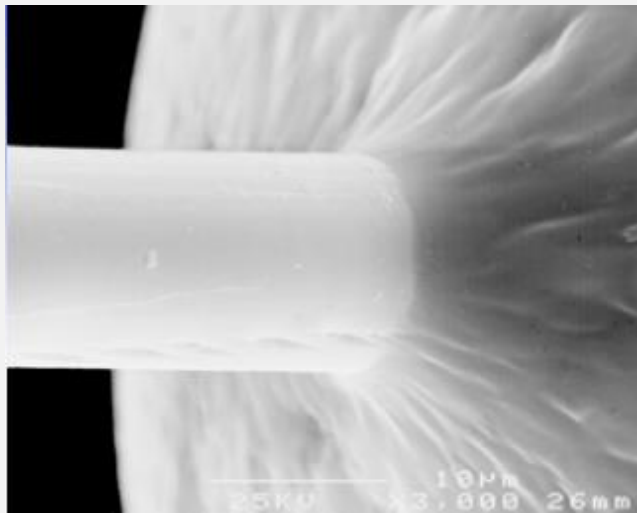
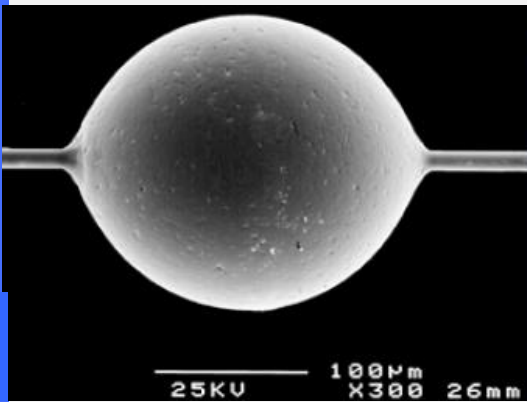
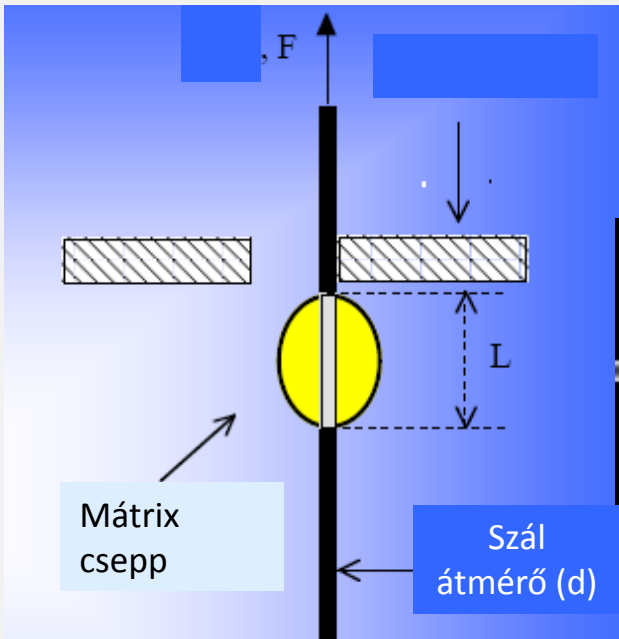
- húzó-,
- hajlító-,
- ütve hajlító-,
- rétegeközi nyíróvizsgálat, stb...

DIREKT VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

Mikrokompozit vizsgálata (egyedileg beágyazott szál)

- szálkihúzás (pull-out),
- Mikrocsepp lehúzás,
- fragmentációs vizsgálat, stb...

Mikrocsepp lehúzás



$$ISS = \frac{F_p}{\pi d L}$$

ISS: határfelületi nyírófeszültség

Kompozit példák





SZÉCHENYI
ISTVÁN
EGYETEM

Köszönöm a figyelmet!

hargitai@sze.hu

DR Hargitai Hajnalka