

Textilszálak kompozitok megerősítésére

Szabó Rudolf,
ingtex@t-online.hu

Szabó Lóránt
szabo.lorant@rkk.uni-obuda.hu

A természetes alapú textilszálak ruházati célú felhasználásának több ezer éves múltja van, nagyipari feldolgozásuk is több mint 200 éves. A vegyipar fejlődése az 1800-as évek végére lehetővé tette a természetes alapanyagú mesterséges (regenerált) szálak előállítását, majd az 1930-as években megjelenő szintetikus szálak térnyerése az azóta eltelt időben is rohamosan növekszik.

Az előző évtizedben a szálfelhasználás növekedésének éves átlaga 3,4 % volt, a 2010-ben a világ szálfelhasználása 80,8 millió tonna, az egy főre eső szálak átlagos mennyisége 11,8 kg/fő. A növekedés jelentősebb részét a mesterséges szálak tették ki, ezen belül is a poliészter filament (37 %) és a viszkóz növekedése volt a legdinamikusabb, és várható, hogy ez a tendencia a jövőben is folytatódik.

A legutóbbi évtizedekben a nagy szilárdságú és különleges tulajdonságú, speciális igényeket kielégítő textilszálak, az ún. HighTech elnevezésű mesterséges szálak fejlesztése előtérbe került. E szálak intenzív fejlesztése folyamatos, napjainkban is újabb és újabb különleges tulajdonságú szálak jelennek meg, amelyek felhasználása egyre sokrétűbb.

A textilszálak és -szerkezetek felhasználásuk szerint az alábbi csoportokba sorolhatók:

- ruházati,
- lakástextil,
- műszaki textil és
- kompozit erősítő textilszálak és -szerkezetek.

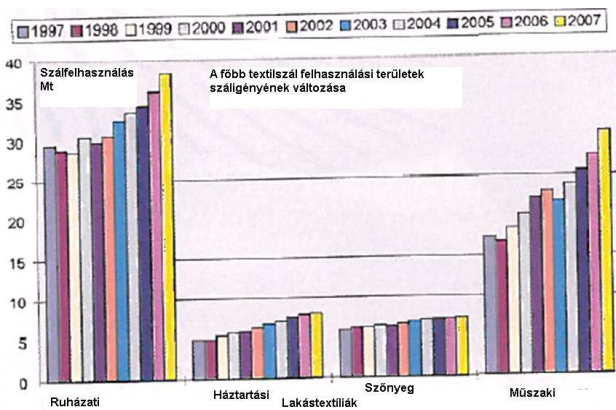
A textilanyagok felhasználását e négy csoportba sorolva meg kell azonban jegyezni, hogy e csoportok között nem húzható éles határ, az anyagok többsége több területen is alkalmazható.

A **ruházati textíliákon** belül a pamut továbbra is meghatározó, amelynek ára 2010 második felében több mint kétszeresére növekedett. A mesterséges szálak vékonyításával (1 dtex vagy annál finomabb ún. mikroszálak) a ruházati textíliák légysága is javítható. A ruházati szektorban az elasztán szálak felhasználása növekvő (közel 0,5 millió tonna/év), ezeket egyre több területen bekeverve alkalmazzák.

A **lakástextíliák** a textil termékek másik hagyományos alkalmazási területe. Itt a felhasznált szálak sokfélesége és mennyisége szintén növekvő tendenciájú.

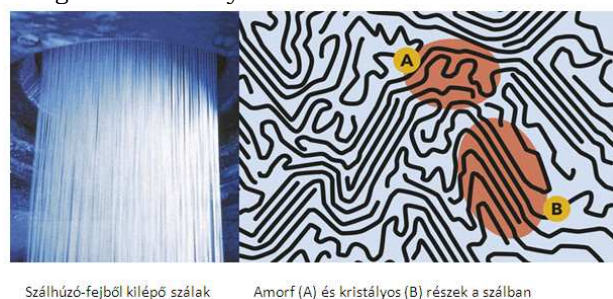
A **műszaki textíliák** látványos előre törése figyelhető meg az utóbbi évtizedekben. Alkalmazásuk egyre sokrétűbb, az iparilag fejlett országokban a részarányuk sok esetben az 50 %-ot is meghaladja. A különleges követelményeknek (nagy szilárdság, láng- vagy vegyszerállóság stb.) egyre jobban megfelelő tulajdonságú szálakat fejlesztenek ki, amelyek gyártási, felhasználási növekedését az 1. ábra szemlélteti.

Az utóbbi évtizedekben a speciális igényeknek való megfelelés miatt a legtöbb mesterséges szálnak kifejlesztették nagy szilárdságú vagy lángálló változatát is, ami általában a szálgyártás során a mesterséges szálak



1. ábra

szerkezeti módosításával, a nagyobb nyújtással, ezáltal a láncmolekulák párhuzamosításával (2. ábra), más anyagok hozzáadásával, oxidálással, szenesítéssel stb. érhető el. A szálak rendezett molekulaszervezete nagyobb szilárdságot és egyben nagyobb hő- és vegyszerállóságot is eredményez.

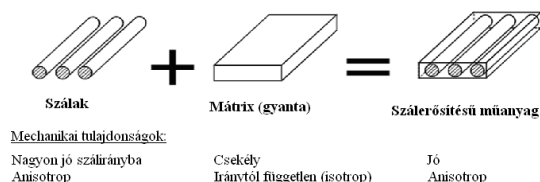


2. ábra

A **kompozitokban** a textilszálak és -szerkezetek az erősítő komponenst alkotják. A kompozitokat vagy társított anyagokat két vagy több különböző szerkezetű és makro-, mikro- vagy nano méretekben elkülönülő, egymással kölcsönhatásban levő anyagból úgy építik fel, hogy a hasznos tulajdonságok érvényesüljenek, míg a hátrányos tulajdonságok csökkenjenek.

A kompozitok az erősítő és a mátrix fázisból épülnek fel (3. ábra).

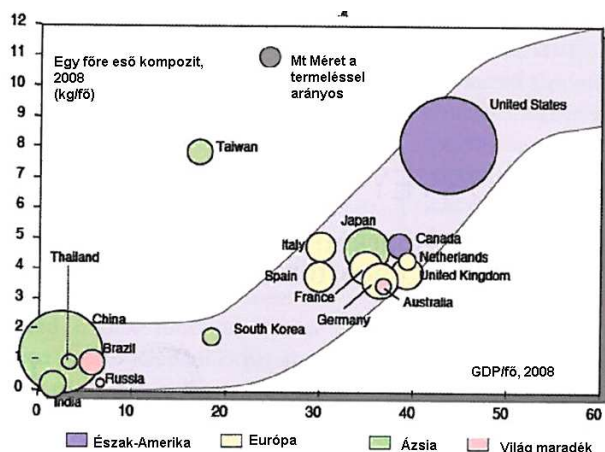
Szálerősítési műanyag - két komponens összekapcsolása



3. ábra

A **textilszálakkal vagy -szerkezettel erősített műanyagok (kompozitok)** egy új, de a legdinamikusabban fejlődő terület, amelyek növekedése – az elekt-

ronikai iparhoz hasonlóan – az egyes országok fejlettségi mutatójának is tekinthető (4. ábra).



4. ábra

A kompozitokhoz használt nagy szilárdságú (high tenacity – HT) és nagy modulusú (high modulus – HM) szálak a következők:

- üveg (E, R, S típusok),
- szén (HT, HM),
- para-amid (Kevlar, Twaron, Technora),
- UHMW PE (Ultra High Molecule Weight PolyEthylene) (Dyneema – DSM; Spectra – Honeywell),
- PBO (Aromatic PolyBenzOxazole) (Zylon – Toyobo),
- fém,
- kerámia,
- Boron,
- bazalt,
- poliamid,
- len, kender.

Az anyagok, szálak tulajdonságával, használatával kapcsolatban megfogalmazott négy paradoxon:

- *Szilárd anyagok paradoxona:* Valamely szilárd anyag tényleges szilárdsága sokkal kisebb, mint az elméletileg kiszámított szilárdsági értéke (F. Zwicky).
- *Szálak paradoxona:* Valamely anyag szál szerkezetű formájának szilárdsága sokszorosán nagyobb, mint ugyanannak az anyagnak egyéb formában való szilárdsága, és minél kisebb a szálasanyag keresztmetszete, annál nagyobb a viszonylagos szilárdsága (A. A. Griffith).
- *Befogott szabad hosszúság paradoxona:* Minél rövidebb a befogott hosszúság, annál nagyobb a vizsgálat anyagon mért szakítóerő.
- *Kompozitok paradoxona:* Valamely kompozitot igénybe véve, az olyan feszültségeknek is ellenáll, amelyek szétszakítanak a gyengébb összetevőt, mivel a kompozit erősebb összetevője elméleti erejétől nagyobb arányú erőnek képes ellenállni, mintha önmagában lenne terhelve (G. Slayter).

Kompozitokhoz használt szálaknál az E üveg a domináns (1. táblázat), a többi szálfajtával erősített anyag jelenlegi felhasználása két nagyságrenddel kisebb, de – bár lényegesen drágábbak – felhasználásuk gyorsan nő.

1. táblázat. Üvegfonal és roving kapacitás 2010-ben (1000 tonna ill. százalék)

Üvegfonal		
Európa	45 000	5 %
Észak Amerika	180 000	21 %
Ázsia	650 000	74 %
(Japán)	(50 000)	(6) %
Üvegfonal összesen	875 000	100 %
Roving		
Európa	850 000	22 %
Észak- és Latin-Amerika	790 000	21 %
Ázsia	2 200 000	57 %
Roving összesen	3 840 000	100 %

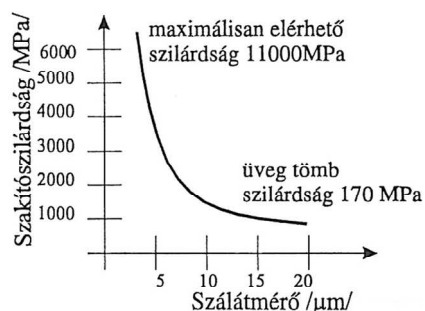
A kompozit-erősítő szálak általános jellemző tulajdonságai: nagy szilárdság és rugalmassági modulus, kis nyúlás, nagy hőállóság és hőstabilitás, kifáradással szembeni ellenállás stb. A kompozit gyártásakor a szál ill. textilszerkezetet mátrixba ágyazzák, amely vegyi kapcsolatba lép a szálfelülettel, majd megszilárdul. A szálak erősítőként a következő mátrix anyagban használhatók kompozit készítésére:

- szálerősítésű műanyag,
- vakolat- és épületeerősítő,
- gumibroncs,
- fémerősítő,
- faszerkezet erősítő
- stb.

Míg a fémek homogén, izotóp szerkezetűek, a nagy teljesítményű szálak szálirányban kiemelkedően nagy szilárdságúak és többségük nagy rugalmassági modulusú is.

A nagy szilárdságú, nagy rugalmassági modulusú szálakban a szálképzést követően a nagy nyújtás hatására a molekulaláncok kiegyenesednek, a szálak tovább vékonyodnak (átmérőjük 7–12 μm). Minél vékonyabb a szál, annál nagyobb a fajagos szilárdsága (5. ábra).

Szálméret hatása az üveg szilárdságára



5. ábra

Minden anyag szerkezetében előfordulhatnak hibás részek. Az anyag egy tömbből való kialakítása esetén a hibás anyagrészen kialakuló repedés miatt a törés bekövetkezése a teljes keresztmetszetre valószínűbb, emiatt a fémeknél is sok esetben több pászmával érik el a kellő biztonságot. A kisebb keresztmetszetű anyag egyúttal hajlékonyabb is, ezáltal jobban kezelhető.

Gyártási vagy anyaghiba a szálak esetén is előfordul (száلتörések), de ez a rendszer egészének szilárdsági tulajdonságaira csekély hatást gyakorol, mivel a terhelés a kompozitok esetében a mátrix által védett nagyszámú szálra (1000-tól akár több millió) oszlik el. A merev szálak feldolgozásakor azonban a száلتörések nehézségeket okoznak, emiatt a gyártás során a száلتörés gondos kezeléssel vagy nagyobb mennyiségű felületkezelő anyag (sizing) felvitelével csökkenthető.

A szálglyártás során kialakított különböző alakú és összetételű szál- (kompozit-) szerkezetekkel a különleges igényeknek megfelelő termékek állíthatók elő (6. ábra).

Különbözö bikomponensű szálszerkezetek

Family	Bicomponent Fibers Variants					
Side-by-Side						
Cow/Shield						
Matrix/Fibril	Islands-in-the-sea					
	Segmented-Pie / Multi-Layer					

6. ábra

A **textilszálak közös jellemzője**, hogy láncmolekulákból épülnek fel, és a szálak hosszúsága a keresztmetszethez képest nagyságrendekkel nagyobb.

A textilszálak keresztmetszete sok esetben nem kör alakú, a belőlük készült lineáris termék (fonal, cérna) vastagsága az átmérővel, vastagsággal egyértelműen nem jellemezhető, emiatt az elmúlt évszázadokban a **finomságot** a különböző országokban és a különböző iparágakban különbözően definiálták:

- *adott tömegegységű szál vagy fonal hosszával (indirekt finomsági szám – kisebb finomsági szám vastagabb szálát ill. fonalat jelent), vagy fordítva:*
- *adott hosszúságú szál vagy fonal tömegével (direkt finomsági szám – kisebb finomsági szám vékonyabb szálát ill. fonalat jelent).*

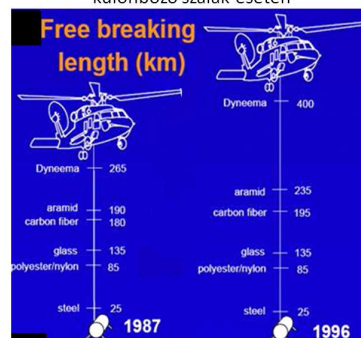
Az indirekt (pl. a metrikus Nm ill. az angol mértékegységeken alapuló Ne) finomsági rendszereket az SI alapú direkt rendszer bevezetése (tex) ellenére a gyakorlatban ma is használják, így a több „nyelvrendszer” használata a textilipari kommunikációt nagyban nehezíti.

A szál vagy fonal **szakítóerejét** (F) korábban gramm súlyban (g), később pondban (p), ma a textiliparban centinewtonban (cN)-ban adjuk meg, így az átszámításból adódó nagyságrend eltérés okozta bizonytalanság elkerülhető.

A mérnöki gyakorlatban a **szilárdságot** (σ) az egységnyi keresztmetszet elszakításához szükséges erővel (daN/mm^2) fejezik ki. Mivel a textiltermékek többségénél a keresztmetszet a legtöbb esetben egyértelműen nem határozható meg, emiatt a szilárdságot szemléletesen a szakítóhosszal jellemzik. A szakítóhossz a földi gravitációs térben a szál vagy fonal azon képzeletbeli hossza km -ben kifejezve, ami alatt a saját súlyából

adódó terhelés hatására elszakad) (7. ábra). A korábban használatos szilárdsági jellemző a szakítóhossz mérőszáma megegyezik az új rendszerben használatos fajlagos szilárdság mérőszámával ($x km \rightarrow x cN/tex$).

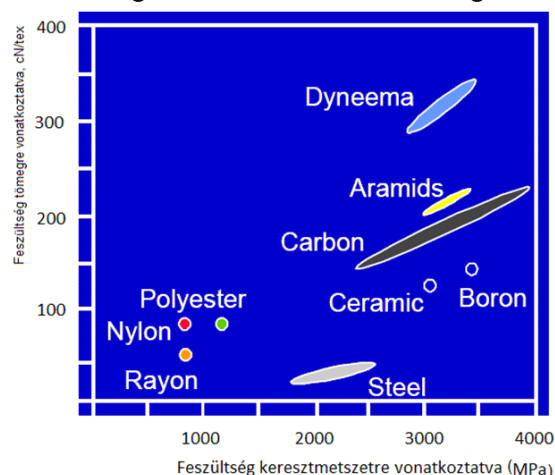
A szakítóhossz szemléltetése és változása különböző szálak esetén



7. ábra.

A szakítóhossz valójában a tömegre vonatkoztatott (fajlagos, specifikus) szilárdság ($\sigma^* \rightarrow [cN/tex] \rightarrow \sigma/\rho \rightarrow [m^2/s^2]$), amelynek alkalmazása a kompozit iparban előnyös a fémekkel való összehasonlításban (8. ábra).

A különböző szálak keresztmetszetre és tömegre vonatkoztatott feszültsége



8. ábra

A **nyúlás** (ϵ) az anyag rugalmasságára ill. ridegségére utal. A megnyúlt és az eredeti hossz különbségének az eredeti hosszhoz való viszonyításával számítják ki és százalékban fejezik ki.

A **rugalmassági modulus** (E) a szilárdságot és a nyúlást együttesen fejezi ki, dimenziója: daN/mm^2 . Textilíák esetén nehezen érzékelhető, mivel a ruházati textiltermékekre a lágyság, a hajlékonyság a jellemző, emiatt a szakítóerőt ill. szilárdságot adjuk meg. A nem-fémes anyagok (polimerek), így a szálak feszültség-nyúlás diagramja a lineáristól sok esetben lényegesen eltér, emiatt a rugalmassági modulus értelmezése további nehézségeket okoz. A textília viselkedése a rugalmassági modulus helyett inkább a görbe alatti integrálási területtel, azaz a szakítási munkával írható le.

Az utóbbi évtizedekben azonban a szövőgépeken a feldolgozási sebességek növekedésével a vetülékbevitel során a ránduláskori sebességváltozások miatti nagy erőcsúcsok fellépése a szálak és fonalak (lineáris, vo-

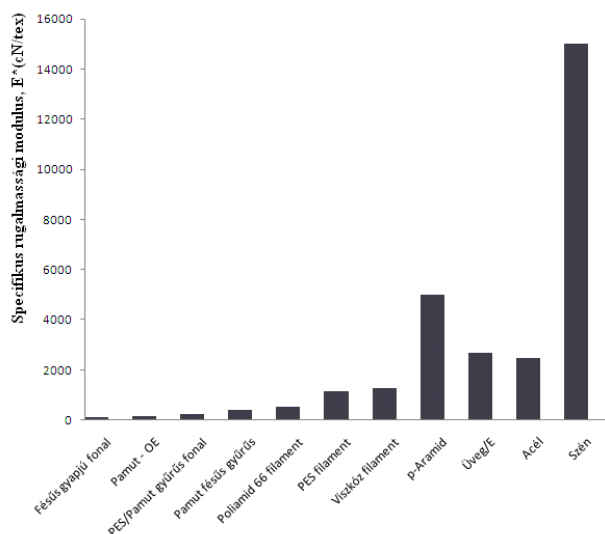
nalszerű textilanyagok) esetében is szükségessé tette a szálak, fonalak, cernák rugalmassági modulusának meghatározását, értelmezését. Rándulásszerű gyorsítás ill. lassítás esetén ugyanis az álló fonal elemi szakaszai az erő hatására az anyagban a longitudinális hullám terjedési sebességével gyorsulnak fel, a hullám terjedési sebessége így a fellépő erő- ill. feszültségcsúcs a textilanyag rugalmassági modulusától is függ:

$$\sigma^* = 10^{-2} v \sqrt{E^*}$$

ahol:

- σ^* – fajlagos feszültség, cN/tex,
- v – ránduláskori sebességváltozás, m/s,
- E^* – fajlagos rugalmassági modulus, cN/tex.

Néhány anyag rugalmassági modulusának összehasonlítását, a textiliparban használt tömegre vonatkoztatott értékeit a 9. ábra szemlélteti.



9. ábra

2. táblázat

Tulajdonság	Olvadás- pont	Sűrűség ρ	Szilárdság σ ₀	Szilárdság σ*	Rugal- massági modulus E	Rugal- massági modulus E*	Szaka- dási nyílás	Zsugo- ródás	Nedvszívó kép. %, 20°C 65% rel. légnedv
ALAPANYAG	T °C	g / cm ³	daN/mm ²	cN / tex	daN/mm ²	cN / tex	%		
VISZKÓZ	350	1,52	70	45	1960	1290	11	0	13,5
POLIESZTER	260	1,38	104	75	1610	1170	13	Erős	0,4
POLIAMID 66	255	1,14	93	80	590	520	16	Nagyon erős	3,6
ARAMID	450	1,44	245	170	7200	5000	3	Nagyon gyenge	4
POLIVINIL-KLORID	235	1,31	110	90	3000	2200	6	Gyenge	3
ÜVEG	>1400	2,55	247	95	7000	2700	2,5	0	8
ACÉL	1400	7,85	288	36	20000	2500	1,8	0	0
SZÉN	-	1,9	240	130	30000	15000	1,2	0	0,4

A 2. táblázat számszerűen hasonlítja össze az anyagok mechanikai jellemzőit. Az ábrából és a táblázat adataiból kitűnik, hogy a kompozit erősítő szálak tömegre vonatkoztatott szilárdsága és modulusa a kisebb sűrűségüknek köszönhetően a fémekhez képest szembetűnően, nagyságrenddel is nagyobb.

HighTech, nagy merevségű textilanyagok nagy szilárdságuk ellenére a hagyományos textilipari technológiákkal többnyire nehezen dolgozhatók fel, mivel a nyúlásuk csekély, emiatt merevek, törékenyek. Például a párhuzamos síkban vezetett és feltekereselt szerkezetek esetén a szálak, a kábelek, a fonalak azonos feszültségének biztosítása különösen fontos, mivel a kis nyúlás miatti hossz-kompenzációs hatás csekély. A textiltípusokat a textiliával érintkező felületeket narancshéj alakúra, rugalmas kompenzáló elemek beiktatása stb. a szálak sajátos tulajdonságait figyelembe véve kell kialakítani, a műveleti sebességeket sok esetben lassítani kell és a munkakörülmények gyakran a kezelőket is próbára teszik. Viszont az anyag tulajdonságainak megfelelően kialakított technológia pontos betartásával különleges igényeket kielégítő, nagy értékű termékek gyárthatók. Ezen kényes technológiáknál elengedhetetlen az adott tételen belül az alapanyag tulajdonságainak azonossága.

Ma ezeknek a HighTech anyagok volumene (az üveget leszámítva) az összes textil szálanyaghoz viszonyítva ugyan még csak ezrelékben mérhető (különkülön 100 ezer t/év felhasználás alatt van), de a mennyiségi növekedésük dinamikus, miközben a magas árak egyre csökkennek, emiatt szélesebb területen való alkalmazásuk várható.

Irodalom

- [1] Kolkman A., Gries T., Scheser M., Diltthey U.: Innovative Yarn Structures and Coating for Textil – Reinforced Concrete Techtextil Symposium 2005 – Buildtech
- [2] Tálos G.: Kompozitok a textil szemszögéből TMTE TexPlat kiadvány 2009.
- [3] Szabó D., Szabó L.: Textil erősítésű építőanyagok Magyar Textiltechnika 2008/6. p. 159-162.
- [4] Kollár L., Kiss R.: Szálerősítésű műanyagok (kompozitok) az építőiparban Közúti és mélyépítési szemle 1998/9. p. 331-338.
- [5] Szabó R.: Műanyag erősítő textilanyagok és -szerkezetek. Erősített műanyagok. 2010 Nemzetközi Balaton Konferencia 2010. május 18-20. Keszthely, Hotel Helikon.
- [6] Zsigmond B., Szabó R.: Oxidált- és szénszál, mint műszaki textil alapanyag. Innováció és együttműködés az európai textil és – ruhaipar jövőjéért Danubius Hotel Gellért – Budapest 2010. szeptember 23.
- [7] http://hu.wikipedia.org/wiki/Kompozit_anyagok
Reinforcement of composite materials by textile fibres.