

Szervetlen szálanyagok jellemző tulajdonságai

Szabó Lóránt
Óbudai Egyetem RKK KMI
szabo.lorant@rkk.uni-obuda.hu

Kulcsszavak: Szervetlen szálak, Kompozit, Üvegszál, Húzószilárdság, Húzó rugalmassági modulus
Keywords: Inorganic fibres, Composites, Glass fibres, Tensile strength, Tensile modulus

Summary

Composites strengthened by inorganic fibres are used in space research, army, automotive industry, sporting goods and wind generator blades. With the development of the technology of fibre production more and more types of inorganic fibres (glass, basalt, ceramic, quartz, boron, metal fibres) are applied, processed in bigger quantities by a method used in textile industry. Character of inorganic fibres is the big elasticity modulus, that is why they are very fragile. The rigid fibres are processed mostly as filaments, but also by stretch breaking or rarely by carding. Other significant properties of inorganic fibres are the excellent heat, UV and chemical resistance.

Összefoglalás

A szervetlen üvegszálakat kompozit erősítőként elsőként az űrkutatásban, a hadiiparban alkalmazták, amit a szélerőműű lapátok, a járműipar, az elektromos ipar és a sporteszközök egyre nagyobb volumenű alkalmazása követett. A szálgyártási technológia fejlődésével, a szálak finomításával egyre többféle szervetlen szál (üveg, bazalt, kerámia, kvarc, bór, fémszálak) alkalmaznak, amelyeket egyre nagyobb mennyiségben dolgozzák fel textilipari eljárással. A szervetlen szálak jellemzője a nagy rugalmassági modulus, emiatt törékenyek. A merev szálakat nagyrészt filamentként dolgozzák fel, de tépéssel (stretch break) font fonal gyártható vagy ritkán kártolással szálbunda (vlies) vagy -fátyol is készíthető belőlük. A szervetlen szálak további kiemelkedő tulajdonságai a kiváló hő-, UV- és vegyszerállóság.

Bevezetés

A XXI. század ipari szerkezeti anyagainak alkalmazásában egyre meghatározóbb helyet foglalnak el a kompozitok. A kompozitok mechanikai tulajdonságai a két összetevő – az erősítő szál és a mátrix – tulajdonságaiból nem vezethetők le, a kompozitok a felhasználási igényeknek megfelelően kialakítható tulajdonságú, új anyagoknak tekinthetők. A kompozitok erősítésére használt szervetlen szálakat ömledékből történő szálhúzással állítják elő, a szálak vékonyításával szilárdság és hajlékonyság növelhető, így textiltechnológiai feldolgozhatóság is javítható.

A szervetlen szálanyagok tulajdonságai

A szervetlen amorf, izotróp szerkezetű üvegszál ipari gyártása és alkalmazása az 1938-ban E-üveggel az USA-ban kezdődött.

Az üvegszál – amelynek döntő hányada az E-üveg – a legnagyobb volumenben (kb. 5 millió t/év) gyártott szervetlen szál, kedvező tulajdonságai és olcsó ára révén felhasználása dinamikusan növekszik, többnyire kompozit erősítőként, de szövetként (szűrő, tapéta) is alkalmazzák. Az üvegszál évenkénti gyártási kapacitását az I. táblázat tartalmazza [8]. Az alapanyagok összetételétől függően különböző üvegszál típusokat gyártanak. A leggyakoribb összetevők: szilícium dioxid (SiO₂), kalcium oxid (CaO) és alumínium oxid (Al₂O₃). A II. táblázat az alapanyagok százalékos összetételét tartalmazza.

1. táblázat

Üvegfonal és roving gyártási kapacitás 2010-ben		
Földrész/ üvegfonal	Mennyiség, (ezer t)	%
Európa	45 000	5
Észak-Amerika	180 000	21
Ázsia	650 000	74
(Japán)	(50 000)	(6)
Üvegfonal összesen	875 000	100
Földrész / roving		
Európa	850 000	22
Észak-/Latin-Amerika	790 000	21
Ázsia	2 200 000	57
Roving összesen	3 840 000	100

II. táblázat

Üvegszálak tömegének %-os összetétele					
Összetevő	E-üveg bór tartalommal	E-üveg bór tartalom nélkül	ECR-üveg	S-2 üveg	R-üveg
SiO ₂	52-56	59	54-62	64-66	60-65
CaO	16-25	22-23	17-25	-	5-11
Al ₂ O ₃	12-16	12-13,2	9-15	24-26	17-24
B ₂ O ₃	5-10	-	-	-	-
MgO	0-5	3,1-3,4	0-5	8-12	6-12
ZnO	-	-	2,9	-	-
Na ₂ O	0-1	0,6-0,9	1,0	0-0,1	0-2
K ₂ O	nyomokban	0-0,2	0,2	-	0-2
TiO ₂	0,2-0,5	0,5-1,5	2,5	-	-

Az adalékanyagok előírt arányú összetevőit keverés után 1400–1500 °C hőmérsékleten megolvasztva szálakat húznak, amit levegőfúvással megszilárdítanak (1. ábra). A kör keresztmetszetű üvegszálak finomságát az átmérővel (2,5–24 µm) jellemzik vagy dtex-ben adják meg. Az átmérő és dtex közötti kapcsolat:

$$d = 10 \left(1,27 \frac{T}{\rho} \right)^{1/2} \quad (1)$$

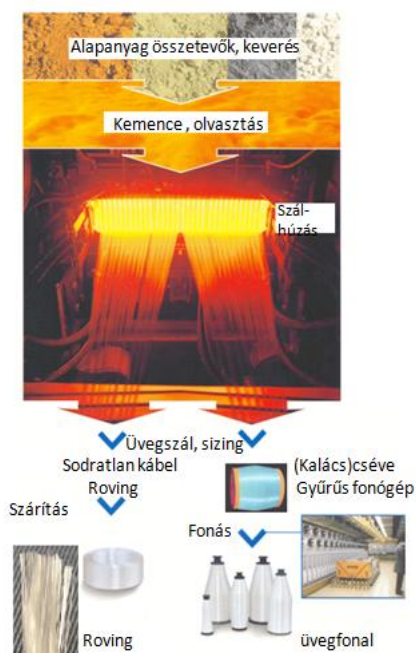
ahol

d – szálátmérő [µm],

T – lineáris sűrűség [dtex],

ρ – szál sűrűsége [g/cm³].

A szálak felületére a feldolgozásnak és felhasználásnak megfelelő felületkezelő bevonóanyagot (ún. sizing) visznek fel. A vékonyabb, kisebb elemiszálszámú üveg filamentet gyűrűsfonó gépen megsodorva fonal készíthető, míg a durvább, nagyobb elemiszálszámot tartalmazó kábelt sodrat nélkül, ún. roving formában csévélik fel [12].

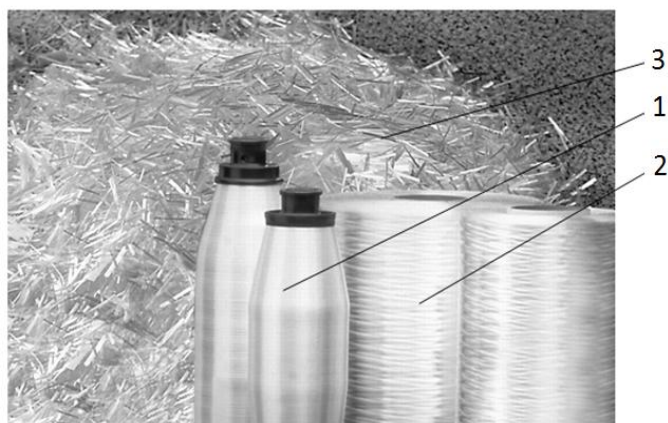


1. ábra

A szálhúzó fejből kilépő üvegszála a nagysebességű levegő ráfúvásával az üvegszál nyújtható és az eltöredező szálakat kondenzér hengeren összegyűjtve szalag formába rendezve font (véges szálhosszú) ún. stapel üvegfonal is gyártható.

A terjedelmesített üvegekábel a faltapéta vagy a dekorációs szövetek fonalrendszere.

Az 1 üvegfonalat (2. ábra) szövessel (pl. nyomtatott áramkör hordozó szövete vagy szűrőszövet céljára), vagy a láncirányú fonalbefektetés (UD) kelmék esetén a kábelek síkban tartására a kelme alá fektetve használják. A durvább elemiszálú, nagyobb szálszámú sodratlan végtelen (filament) kábeleket, az ún. üvegrovíngot (2) szövessel, nemzött eljárással, fektetéssel vagy fonatolással dolgozzák fel, míg a 6–12 mm hosszúságú aprított szálakból (3) készített rendezetlen szerkezetű szálbunda az izotróp kompozit erősítő szála, vagy granulátum formában is feldolgozható.



3. ábra. 1 – Fonal, 2 – roving, 3 – aprított szálak

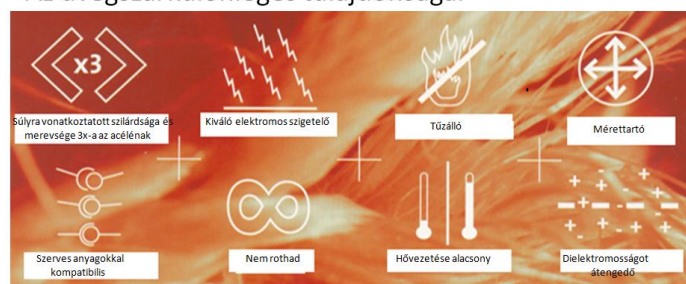
A vékony üvegszál fonalból légsugaras szövőgépen jelentős mennyiségben előállított kelme kiváló méretstabilitású és szigetelő, a nyomtatott áramkör alaplap-erősítő szövete célját szolgálja (3. ábra).



3. ábra

Az E-üveg elektromos tulajdonságai (kiváló szigetelő, dielektromos áteresztő képesség, mérettartó) révén (4. ábra) az elektromos ipar számos területen nagy volumenben használja [12].

Az üvegszál különleges tulajdonságai



4. ábra.

A PET filamenttel rögzített varrvahurkolt, durva, sodratlan (roving, tow) láncirányú UD kelméket is a befektetett üveg vetületek tartják a kelmékben. A kompozitok húzó merevsége az egyenes helyzetű (fektetett) kábelekkel növelhető (non-crimp fabrics).

Az 5. ábrán további példák láthatók az üvegtermékek elektromos ipari alkalmazására.

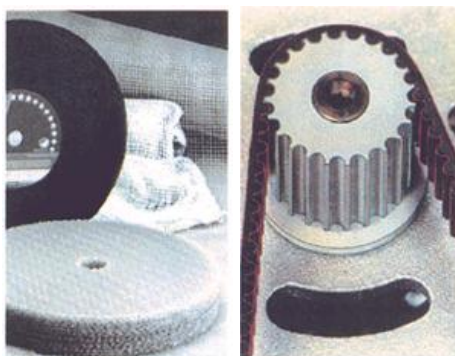


5. ábra

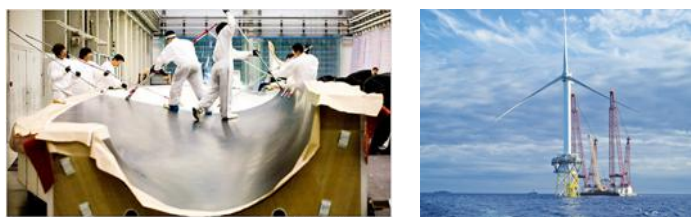
Az üvegrovíngok jelentős ipari alkalmazása még az üvegszál erősítésű kompozit vágókorongok és az üvegszál erősítésű hajtószíjak (6. ábra).

Az üvegszálakat nagy mennyiségben használja még a járműgyártás (a repülőgépektől az autókra át a hajószerkezetig) kompozit erősítőként.

A szellőpáthoz használt kompozitok túlnyomó része üvegszál erősítésű, alkalmazásuk dinamikusan növekszik (7. ábra).


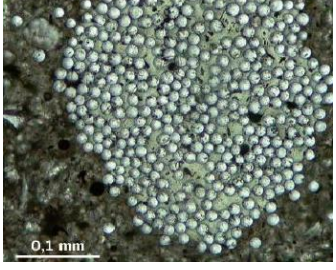


6. ábra



7. ábra

Az építőiparban a lúgos hatásnak ellenálló üveg-rovingok (AR - alkali resistant glass fibres – lúgos közegnek ellenálló üvegszálak) a beton- és vakolat-erősítésre kulcsfontosságúak. A 8. ábra az AR üvegszál fontosabb tulajdonságait adja meg.

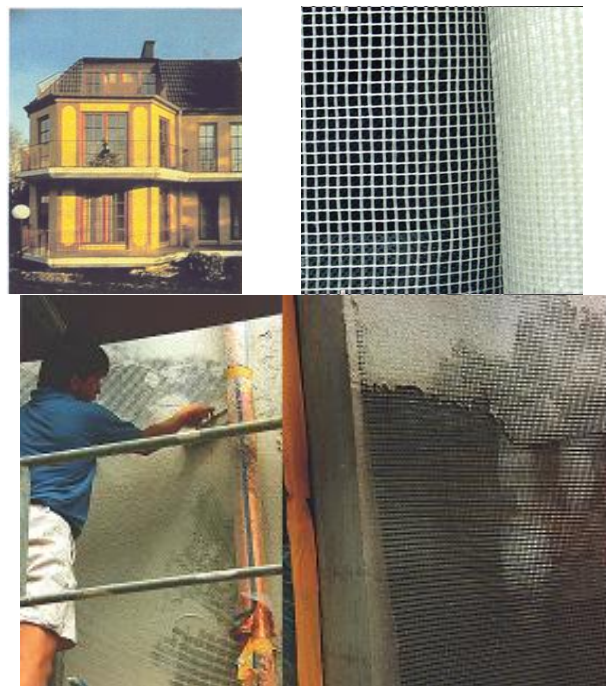
			
	0.1 mm		
Rugalmassági modulus [GPa]	76–80		
Tulajdonság	Filament	Vetülfonon	Kompozit
Húzófeszültség [GPa]	2–2,5	0,4–1,5	0,25–1,2
Fajlagos nyúlás [%]	2,5–3,1	0,5–1,9	0,4–1,8

8. ábra

A nagyszilárdságú üveg rácsszerkezetek alkalmazása az infrastruktúra területén is egyre nagyobb jelentőségű (útalapok, hidak). Az üvegszálak kompozitok nagyobb nyúlása (3–6%) kedvező az épületek földrengés okozta mozgás során a szerkezeti törések elkerülésében.

A ritka, rácsos szerkezetű hálók forgófonalas szövessel vagy fektetéssel PET varrvahurkolással rögzített kelmét épületek homlokzatának, hőszigetelő lapok megerősítésére, gipszkartonok illeszkedésénél repedésgátlására használják. A ritka kelmeszerkezetet a dreher kötésen túl a speciális lúgálló bevonóanyagba mártva stabilizálják (9. ábra).

A rácsos szerkezetek tulajdonságaival szemben támasztott legfontosabb követelmények a következők:



9. ábra

- hálós szerkezetű legyen, hogy a betonba, vakolatba, ragasztóba helyezve a rétegek ne szeparálják el a mátrix anyagot,
- jól beágyazható legyen,
- jó kapcsolat alakuljon ki a mátrix anyagával,
- tartós legyen,
- ellenálljon a cement lúgos kémhatásának.

Speciális, nagyteljesítményű üvegszálak

Az **S-2 üveget** a különleges, nagyobb mechanikai követelményeknek megfelelően fejlesztették ki az 1960-as években, de az utóbbi években is új üvegszál típusok jelentek meg. Az üvegszálak számos kedvező tulajdonsága és olcsósága révén számos területen sikeresen használják. A fejlesztéseket elsősorban az üveg szilárdságnövelése, a töréssel szembeni ellenállás növelése motiválja a felhasználó elvárásoknak megfelelően (hadipar, páncélozott járművek, szélérőművek, elektromos ipar, repülőgép konstrukció – 10. ábra).



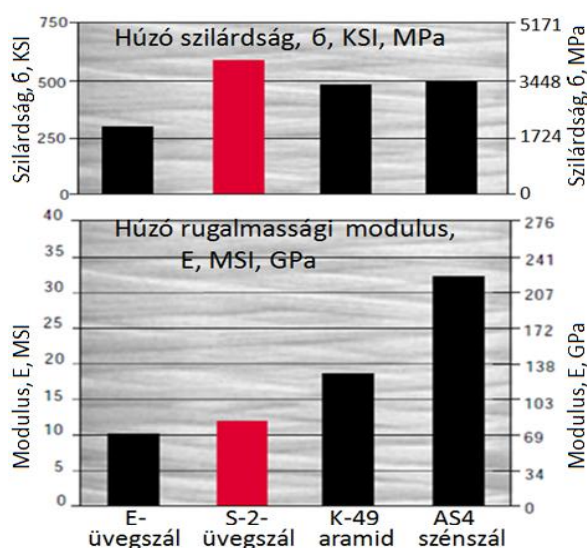
10. ábra

A különböző tulajdonságú üvegszál-típusok (E, R, S) mechanikai tulajdonságait a III. táblázat foglalja össze.

III. táblázat.

Tulajdonság	E-üveg	R-üveg	S-1 üveg	S-2 üveg
Húzó szilárdság [GPa]	1,9-2,5	3,1-3,4	3,8-4,1	4,3-4,6
Húzó rugalmassági modulus [GPa]	69-80	86-89	85-87	88-91

Az E-, az S-2-üveg-, az aramid- (K-48) és a szénszál (AS4) szilárdsági és modulus értékeit a 11. ábra szemlélteti, impregnált kábel esetén.



11. ábra.

A tömegre vonatkoztatott fajlagos szilárdsági és rugalmassági értékek (km, cN/tex) - az üvegszálak nagyobb fajlagos tömege (2,58 cN/cm³) miatt - összehasonlítva az aramid- és a szénszállakkal - az üvegszálakra kisebb értéket ad, mint az ábrán látható keresztmetszetre megadott értékek.

A mérnöki rendszerben a szilárdság (σ) és a modulus (E) keresztmetszetre vonatkoztatott (MPa), továbbá a tömegre vonatkoztatott szilárdsági (σ^*) és modulus (E^*) értékek m-ben értendők. Kilométerben megadva a km \rightarrow cN/tex közötti összefüggés érvényes:

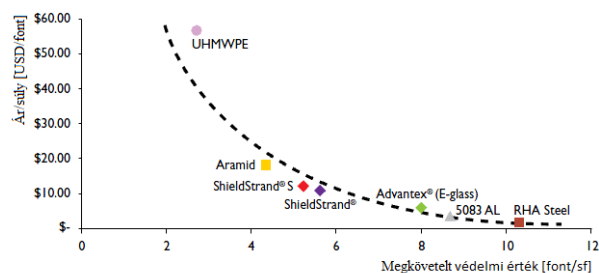
$$\sigma^* = \frac{\sigma}{\rho \cdot g} \quad \text{és} \quad E^* = \frac{E}{\rho \cdot g} \quad (2)$$

ahol:

- σ^*, E^* tömegre vonatkoztatott szilárdság ill. modulus, [km \rightarrow cN],
- σ, E keresztmetszetre vonatkoztatott szilárdság ill. modulus [Pa],
- g gravitációs gyorsulás [10 m/s²],
- ρ sűrűség [kg/m³].

Más nagyteljesítményű szállal készült hibrid szerkezetben alkalmazva a nagyobb teljesítményű üvegszállakkal a kiváló tulajdonságok elérésén túlmenően az árcsökkentés is fontos szempont.

Ugyanazon védelmi érték elérésére használt különböző anyagok tömeg-költség viszonya a 12. ábrán látható.



12. ábra

A **fényvezető üvegszálakat** (13. ábra) a biztonságosabb elektronikus információátvitel területén egyre elterjedtebben alkalmazzák.

A fényvezető üvegszálak dekorációs célú alkalmazásának egy sajátossága az építész szakmában szenzációs újdonságként ismert átlátszó beton, amely magyar építész-mérnök (Szilágyi Áron) szabadalma. A szabadalom lényege, hogy a betonfalba keresztirányban fényvezető üvegszálakat ágyazva a beton vastagságától függetlenül átlátszó, alkalmazásával az építészetben látványos hatás érhető el.

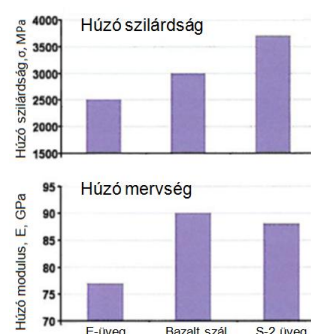


13. ábra

Egyéb szervesetlen anyagú szálak

A felhasználók különleges igényeire válaszolva (rendkívüli nagy hőállóság, nagy szilárdság és modulus, elektromos vezetőképesség stb.) egyre újabb és újabb szervesetlen szálakat és azokból kialakított szerkezeteket fejlesztenek ki.

A **bazaltszál** bazalt közet megolvastását követő szálhúzással készül. A bazalt szál sűrűsége 2,75 g/cm³. Mechanikai tulajdonságai (húzó- és nyomószilárdsága, húzó modulusa) felülmúlja az E-üvegét, de az S üveg tulajdonságaitól elmarad (14. ábra). Kiváló hő-, UV- és vegyszerálló, nem környezetidegen.



14. ábra

A **kerámiaszálakat** kiváló hőállóságuk (1093 °C-on 15 percig) miatt a szigorú követelményeket támaztó repülőgép-építésben alkalmazzák. A merev, vékony

filamenteket – hasonlóan a nyomtatott áramkörök alaplapjainak üvegfonal alapú hordozószövet-gyártásához – légsugaras szövőgépen szövik (15. ábra). A légsugaras szövőgépeken a vetülék a legkisebb iránytöréssel vethető be a szádnilyásba. A kis nyúlású, merev szálakat gyenge csomó- ill. hurokszilárdság jellemzi (a szál szakítószilárdságának csupán 10-30 %-a), emiatt pl. a láncszakadást sok esetben a szakadt végek összeragasztásával hárítják el.



15. ábra

A **kvarcszál** az üvegnél kisebb sűrűségű, nagy nyúlású, kiváló hőálló (rövid ideig 1050-1250 °C hőmérsékletet bír el), alacsony a hődilatációja, de drága (a 14 mm-es szál ára kilogrammonként 74 angol font, a 9 mm-esé 120 angol font).

A **bórszál** ötször erősebb és kétszer nagyobb húzó modulusú az acélnál (a keresztmetszetre vonatkoztatva). Vékony wolfram- vagy szénszál felületére kémiai-lag, gőzfázisú formában viszik fel. Szilárdsága, nyúlása, hajlíthatósága, nyomással és nyírással szembeni ellenállása kiváló, kis sűrűségű. Az űrtechnikában és a repülőiparban, sporteszközök (horgászbót, golfütő, siléc, kerékpár) gyártására használják.

Az **azbeszt** természetes szervesetlen (ásványi), véges hosszúságú szálanyag, amelyből kártolást követően

font fonalat készítettek. Az azbeszt kompozit szálerősítő anyagaként műszaki célra (pl. fékbetétek gyártására) a korábbi évtizedekben ugyan kiválóan megfelelt, de rákeltő tulajdonsága miatt használata ma már tilos.

A **fémzál**-fonalak elektromos vezetőképessége kiváló, munkaruhákban – láncban és vetülékben – bizonyos sűrűségben használva megakadályozzák az elektrosztatikus feltöltődést. A vékony acél filament kábelt nyújtva szakítás (stretch break) technológiával gyártott szalagból állítják elő a font fémzál fonalat. A kötő- és a fonatolóipar is használja a rendkívül vékony fémhuzalokat különböző műszaki célokra (pl. kábelek védőburkolatának gyártására és egyéb területeken burkolóanyagként, ahol mechanikai védelmet kell nyújtani vagy elektromágneses sugárzás elleni árnyékolással kell ellátni egy terméket).

Felhasznált szakirodalom

1. Roye A. – Gries T.: Das ITA und Robatex bringen 3D-Textile Betonbewehrungen auf den Bau. Kettenwirk Praxis 2008/2 p. 23.
2. Litzner H-U.: Textile reinforced concrete – Fields of application and perspectives Techtextil Symposium 2005 – Buildtech.
3. Kolkman A. - Gries T. - Scherer M. - Diltney U.: Innovative Yarn Structures and Coatings for Textil – Reinforced Concrete Techtextil Symposium 2005 – Buildtech.
4. Schierz M. - Waldmann M. – Franzke G. – Offermann P.: Directional Dependent Yarn Tensioning Regulation for the Production of Multi-Axial Reinforcement Structures. Techtextil Symposium 2003 – Buildtech
5. <http://www.litracon.hu>
6. Furanflex technológia kiadványa Kompozitor Műanyagipari Fejlesztő Kft.