

Az üvegszál, mint textilipari nyersanyag^{*}

Lázár Károly

Kulcsszavak: Üvegszál, Üvegyapot, Aprított üvegszálak, Roving, Üvegszálak textilipari feldolgozása, Textilipar

Az üvegszál a műszaki textiliák egyik legfontosabb nyersanyaga. A szálanyagok hivatalos csoportosítása szerint a mesterséges szálanyagok között a szeretlen anyagokból készült szálak egyike. Kémiaiilag a szilikátok családjába tartozik. Nem kristályos, hanem amorf szerkezetű. Fő alkotóeleme a szilícium-dioxid, ami mellett különböző más fémoxidokat is tartalmaz, amelyekkel kémiai és fizikai tulajdonságait állítják be. Felhasználják folytonos szálak és rövid szálak formájában egyaránt, részben textiltechnológiai eljárásokkal feldolgozva, részben – a rövid szálakat – más anyagokba bekeverve. Az üvegszálakból készült textiliák műszaki felhasználásai (kompozitgyártás, építőipar stb.) mellett dekorációs célokra is használatosak, emellett az üvegszálaknak mint optikai szálaknak a távközlésben is fontos szerepe van.

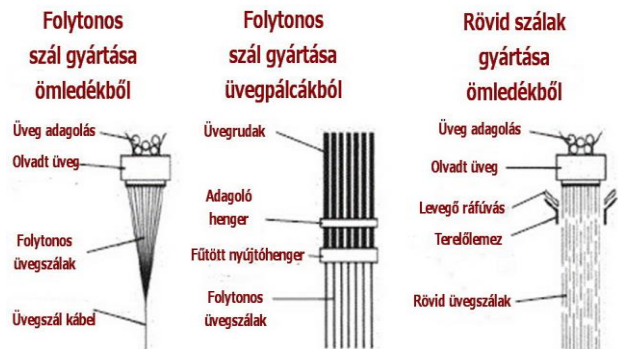
Történeti visszpillantás

Az üvegszál már az ókorban is ismert volt, a föníciaiak és az egyiptomiak is készítették durva üvegszálakat, amelyeket tárgyakra ráolvasztva díszítésre használtak [1, 2, 9]. Ezt a technikát a rómaiak is átvették és később, a 16.–18. században a velenceiek továbbfejlesztették, vázákat, tányérokat díszítettek vele. Ekkor még felhevített vékony üvegrudakból húzták a szálakat [3]. 1713-ban *René Antoine Ferchault de Réaumur* (akinek nevét a róla elnevezett hőmérsékleti skáláról is ismerjük) készített szövésre alkalmas üvegszálakat [4, 5, 6]. 1830 körül Napóleon koporsójához egy üvegfonalakkal díszített terítőt készítettek [6].

Tübingiai üvegfúvók a 19. században honosították meg az „angyalhaj” néven ismert terméket, amivel karácsonyfákat díszítenek. Ebből fejlődött ki a *Hermann Schuller* alapította üvegyár, ahol először készítettek meghatározott átmérőjű üvegszálakat [7]. Tisztán üvegfonalból készült szövetet először 1842-ben *Louis Schwabe* készített Manchesterben [8]. A fonalat megolvadt üvegnek apró lyukon való áthúzásával állította elő és ezzel megalapozta ezt a máig is használt technikát.

Az első üvegszál-gyártó manufaktúrát 1866-ban a francia *Jules de Brunfaut* alapította Bécsben. 6–12 µm átmérőjű üvegszálakat állított elő, amelyeket parókák, sapkák, menyasszonyi fátylak készítésére használt [9]. 1893-ban *Edward Drummon Libbey* a Chicagóban tartott Columbia Világkiállításon olyan ruhát mutatott be, amelynek anyaga üveg- és selyemszálak kombinációjával készült szövet volt, az üvegszálak a selyem vastagságának megfelelő vastagságúak voltak [8].

A jelenleg is alkalmazott korszerű eljárások az amerikai *Russel Games Slayter*nek az üvegyapot gyártására az 1930-as években kidolgozott találmányán alapulnak, amelyre gyárat is alapított. Itt elsősorban rövid üvegszálakat (üvegyapotot) gyártott. 1938-ban cégét egyesítette egy másik üvegyárral (*Owens-Illinois Glass Co.*), ahol munkatársaival, *John Thomas*-szal és *Dale*



1. ábra. Az üvegszál gyártási eljárásainak elve

*Kleist*tel a folyamatos üvegszálak gyártástechnológiáját is kifejlesztették. Az általuk előállított folytonos üvegszál vastagsága 4 µm volt [10].

Az üvegszálaknak műanyag kompozitok erősítésére való felhasználására az első kísérlet 1930-ban történt, amikor egy hajótestet készítettek el így poliészter gyantába ágyazott üvegszálakból. Az 1940-es években az USA légereje és tengerészete kezdett alkalmazni üvegszál erősítésű kompozitokat és 1945-ben már közel 32 ezer tonna üvegszálakat használtak fel katonai célokra [11].

Az üvegszálak típusai

Az üvegszálakat többféle változatban gyártják, amelyek mindegyike bizonyostulajdonságok kiemelését szolgálja. Szokásos típusmegjelöléseik a következők [12, 28, 29]:

- *A típus:* közönséges nátronüveg, nem lúgálló;
- *AR típus:* lúgálló (pl. beton szilárdítására használatos);
- *C típus:* korrózióálló, vegyszerálló. Főleg hőszigetelő anyagként használatos;
- *D típus:* kis dielektromos veszteséget biztosító típus (pl. radarállomásokon használatos);
- *E típus:* a legáltalánosabban használt, „közönséges” üvegszál, az üvegszálak 90 %-a ebben a típusban kerül forgalomba. Kiváló hő- és elektromos szigetelő;
- *M típus:* nagy rugalmassági modulusú, lúgmentes, nedvességgel szemben ellenálló;
- *R típus:* nagy mechanikai szilárdságával és rugalmassági modulusával tűnik ki, ezért előszeretettel alkalmazzák kompozitok megerősítésére;
- *S típus:* az *R* típus megjelölése az USA-ban [29];
- *T típus:* a *C* típus megjelölése az USA-ban [29].

Az üveg fő alkotóanyaga a szilícium-dioxid (SiO_2), amely – az üvegszál fajtájától függően – 60–70 %-ot képvisel. Emellett – ugyancsak a típustól függően – különböző mennyiségekben tartalmaz alumínium-, kalcium-, magnézium-, bór-, nátrium-, kálium-oxidokat is [13, 14].

A leggyakrabban használt típusok nyersanyagait az I. táblázat foglalja össze.

^{*} Cikkünk a Wikipédia *Üvegszálak (textilipar)* c. szócikke alapján készült.

I. táblázat. A különböző típusú üvegszálak anyagösszetétele (%) [13, 14]

Összetevő	A típus	C típus	D típus	E típus	R típus	S típus	AR típus
SiO ₂	70–72	60–66	72–75	50–56	60	62–65	60,9
Al ₂ O ₃	≤ 2,5	≤ 6	≤ 0,5	12–16	24–25	20–26	–
CaO	5–10	≤ 14	–	16–25	6–9	–	4,8
MgO	0,9–4	≤ 3	0,2	≤ 6	6–9	10–15	0,1
B ₂ O ₃	≤ 0,5	2–7	22–23	6–13	–	≤ 1,2	–
F	–	–	–	≤ 0,7	–	–	–
Na ₂ O	12–15	8–15	1,3	0,3–2	0,4	≤ 1,1	14,3
ZrO ₂	–	–	–	–	–	–	10,2
K ₂ O	≤ 1,5	1–8	≤ 1,5	0,2–0,5	0,1	–	2,7
Fe ₂ O ₃	≤ 0,5	≤ 0,3	0,2	0,3	0,3	–	–
TiO ₂	–	–	–	–	0,2	–	–
SO ₃	0,7	–	–	–	–	–	0,2

Az üvegszálak előállítása

Folytonos üvegszálak

A Slayter által kidolgozott eljárás alapuló üvegszálgyártás [15] alapja, hogy a szilícium-dioxidot (SiO₂) 1400 °C-ra hevítik, majd hideg víz rápermetezésével gyorsan visszahűtik 1200 °C-ra, így nem kristályosodik és amorf szerkezetűvé válik. Az olvadékat a szálképző lap apró (a kívánt szálvastagságtól függően 4–34 µm átmérőjű) nyílásain préselik át és a kifolyó viszkózus folyadékot víz rápermetezésével lehűtik. Így alakulnak ki a folytonos szálak (filamentek), amelyeket nagy sebességgel (sokkal gyorsabban, mint ahogy az üvegszál képződik) csévékre tekercselnek, miközben a sebességkülönbség miatt meg is nyúlnak (1. ábra).



2. ábra. Üvegszál roving

Az üvegszálakat a felcsévelés során folyamatosan védőbevonattal látják el, ami a szál tömegéhez képest 0,5–2 %-ot képvisel. Célja a szálak védelme a felület sérüléseitől a további feldolgozási műveletek során. Kenőanyagként különböző műgyantákat használnak, amelyek jól tapadnak az üveghez. Ezeknek a védőbevonatoknak a jelenlétére a kompozit-gyártásnál nagy figyelmet kell fordítani, hogy a szál és a kompozit mátrix anyaga tökéletesen egymáshoz tapadjon [15, 16].

A szálképző lapon több ezer nyílás van, az ezeken kijövő egyedi szálakat nagyjából ezresével az ún. rovingba fogják össze (2. ábra). A roving finomsága a benne levő egyedi szálak vastagságától függ és azt a fonalagnál alkalmazott finomsági számozási rendszer szerint Európában tex-ben, angol nyelvterületen yard/fontban (yd/lb) adják meg. (1 yd/lb = 0,153 tex.)

Rövid üvegszálak

A gyártási folyamat itt is az üveg megolvasztásával kezdődik. A megolvasztott üveget az olvasztó tartály nyílásain kilépő szálakra nagy sebességű gőz- vagy forró levegőáramot fújnak, amely nyújtja és darabolja a szálakat. A lehulló, 200–380 mm hosszú szálakra (angolul: staple fibres) olajat permeteznek és egy forgó dobon gyűjtik össze, ahonnan szalag formájába tömörítve választják le azokat. Ez a szalag ugyanúgy nyújtható és sodorható, mint a pamut- vagy gyapjúszálakból készített szalagok [3, 16].

Olyan eljárás is ismeretes [3], amely szerint a szálakat üvegrudak hevítéssel megömlesztett végéből húzzák. Az egymás mellett elhelyezett üvegrudakból húzott, 7–10 µm vastagságú szálakat egy dobra teker-cselik, majd meghatározott hossz elérésekor leválasztják a dobról és 70–120 mm hosszú darabokra vágják.

Aprított üvegszálak

A csak néhány (3–13) milliméter hosszúra darabolt, 10–13 µm vastag üvegszálakat (angolul: chopped fibres) műanyag kompozitok erősítésére, továbbá tömörített szalagok formájában szigetelőanyagként használják [16, 17].

Üvegyapot

Üvegyapot készítésénél a megolvadt üveget egy apró lyukakkal ellátott hengeres tartályba folytatják, amely nagy sebességgel forog. A folyékony üveg a centrifugális erő hatására kitéremlik a lyukakon és a közben ráfűjt forró levegő- vagy gázáram hatására megnyúlt szálakká alakul. A szálakat egy futószalagon gyűjtik össze, ahol rendezetlen állapotú, vattaszerű halmazt alkotnak, amit ráfűjt kötőanyaggal, majd ezt követő hőkezeléssel szilárdítanak meg. A kötőanyagtól függ, hogy az így képződött anyaghalmoz mennyire lesz hajlékony vagy kemény. Az üvegyapotot általában hőszigetelő anyagként használják fel [16].

Az üvegszálak védőbevonata

A gyártás során az üvegszálakra kopásállóságuk javítására védőbevonatot permeteznek. Az üvegyapot elektrosztatikus feltöltődése ellen a kötőanyagba antisztatizáló készítményt kevernek. Kompozitok gyártására szánt üvegszálakat olyan bevonattal látják el, amely elősegíti a mátrix anyaghoz való kötődésüket. Ha az üvegszálakból olyan textiliát szándékoznak készíteni, amit később színeznék, ennek megfelelő bevonatot kell felvinni a szálakra, amely lehetővé teszi a színezőanyag megkötését [15, 16].

Az üvegszálak tulajdonságai

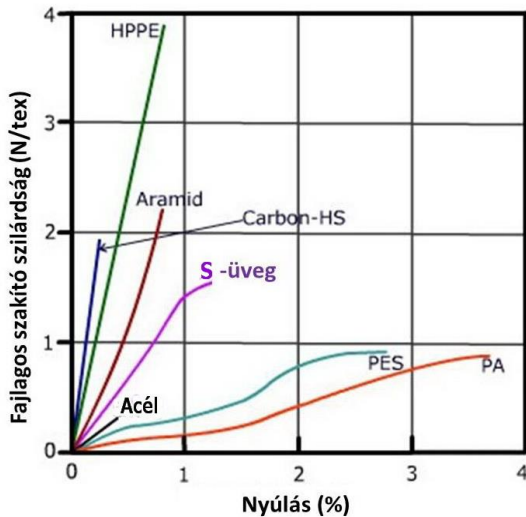
Az alábbi adatok a legáltalánosabban használt E-üvegre vonatkoznak [3].

Fizikai és mechanikai tulajdonságok

Mikroszkópi kép – A bevonat nélküli üvegszál mikroszkóp alatt sima, szerkezet nélküli képet mutat. Keresztmetszete kör, átmérője a szál hossza mentén enyhén ingadozik, felületi egyenetlenségek nem láthatók rajta.

Vastagság – A leggyakrabban alkalmazott üvegszálak vastagsága 17 vagy 24 µm. A hang- és hőszigetelésre, valamint szűrőkben használt üvegyapot 6–10 µm átmérőjű üvegszálakból áll. Textilipari célokra legalább 70, de inkább több mint 100 elemiszálból álló üvegfonalak alkalmasak.

Szakítószilárdság, szakadási nyúlás – Az üvegszálak igen nagy szilárdságúak. Érdekes módon minél vékonyabb egy üvegszál, annál nagyobb a felületegységre eső szakítóereje. Ennek az az oka, hogy a szál vékonyítását erőteljes nyújtással végzik, ami által a szál ten-



3. ábra. Az S típusú üvegszál szakítóerő-nyúlás diagramja néhány más szálanyagéhoz viszonyítva

gelye mentén rendeződő molekulák között erősebb kapcsolatok jönnek létre.

A leggyakrabban alkalmazott E típusú üvegszál adatait összehasonlítva más, ugyancsak nagy szilárdságú szintetikus szálanyagokéval, a II. táblázat foglalja össze. A nagyszilárdságú S típusú üvegszál szakítóerő-nyúlás diagramjának jellegét más szálanyagokéval összehasonlítva a 3. ábra szemlélteti.

Hajlékonyság – A textilipari célokra készült üvegszálak viszonylag hajlékonyak, mert az igen vékony szálakat a gyakorlatban a vastagságukhoz képest többnyire nagy görbületi sugarú ívben kell meghajlítani. Ez teszi lehetővé például a több elemiszálból készült fonalak sodrattal való egyesítését.

Rugalmasság – Az üvegszál rugalmas visszaalakuló képessége 100 %, azaz a szakadási nyúlás határán belül megfeszítve a tehermentesítéskor azonnal visszanyeri eredeti hosszát.

Nedvszívó képesség – Az üvegszál nem nedvszívó, ami villamosipari felhasználása szempontjából nagyon hasznos tulajdonság. Az üvegszálakból font fonalakban ill. az ezekből készült [[kelme|kelmékben]] a kapilláris hatás erősen érezteti a hatását, ezért ezek a kelmék vízzel érintkezve hamar átnedvesednek.

Hő hatása – Az üvegszál éghetetlen. 300 °C körül szilárdsága csökkenni kezd (400 °C-nál eredeti szilárdságának már csak 65 %-át mutatja), 650 °C-nál meglágyul, majd 800 °C körüli hőmérsékleten megolvad, égési gázok vagy hamu azonban eközben nem keletkezik. Igen jó hőszigetelő.

Elektromos tulajdonságok

Ellenállás – Az üvegszál fajlagos ellenállása 10^{13} Ω cm nagyságrendű, ami azonban függ a nedvességtől.

Átütési feszültség – Az üvegszövetből készült szigetelőanyagok átütési feszültsége a levegőével egyezik meg, mert a szikra az üvegszövet hézagain üt át.

Dielektromos állandó – Értéke 1 MHz frekvenciánál 6,4, 1 GHz frekvenciánál 6,13.

Az E-üveg kiemelkedik jó elektromos szigetelő tulajdonságával.

II. táblázat. Néhány szálanyag fajta műszaki adatainak összehasonlítása [17]

Száltípus	Sűrűség (g/cm ³)	Szakítószilárdság (GPa)	Rugalmassági modulus (GPa)	Szakadási nyúlás (%)	Szakítóhossz (km)
E típusú üvegszál	2,6	2,5	72	4,8	96
Szénszál	1,78	3,4	240	1,4	190
Kevlar	1,44	3,3	75	3,6	230
Acélhuzal	7,86	4,0	210	1,1	50

Optikai tulajdonságok

Törésmutató – Az üvegszálak légüres térre vonatkoztatott törésmutatója – típusonként kissé változóan – 1,54 körül van [3], levegőre vonatkoztatva pedig 1,65 [19]. (A fény légüres térre vonatkozó törésmutatója egy hányadossal is kifejezhető, amelynek számlálója a fény terjedési sebessége légüres térben – 300 000 km/s –, nevezője a fény terjedési sebessége az adott anyagban [20]).

Kémiai tulajdonságok

Vegyszerállóság – Az üvegszálak összetételük szerint különbözőképpen bírják a vegyszerek hatásait. Általában savállóak, de a fluorsav, az erős sósav és a forró kénsav és foszforsav oldja őket. Az E-üveg nem lúgálló, gyenge lúgok forrón, tömény lúgok hidegen is roncsolják [21]. Ha kifejezetten vegyszerálló üveget kell használni, erre a C-üveg a megfelelő.

Színezhetőség – Az üvegszálakban az anyagukhoz kevert színezékek a fénytörés miatt nem tudják hatásukat érvényesíteni, ezért a szálakat csaknem színtelennek látjuk, még akkor is, ha színezéket tartalmaznak.

Az üvegszálak textilipari feldolgozása

Rövid szálak

A rövid szálakból a szokásos eljárásokkal – az üvegszálak adottságainak megfelelő konstrukciójú gépeken – fonalak fonhatók, a folytonos szálak pedig a filamentfonalokhoz hasonlóan dolgozhatók fel. Üvegfonalak textilipari feldolgozására a szövés, a kötés, a varrvahurkolás és a fonatolás egyaránt alkalmas, azonban figyelembe kell venni, hogy az üvegszálak az erős hajlítgatást nem bírják, ezért például kötésnél szemeket nem lehet belőlük kialakítani, más technikával (lánc- ill. vetülékbefektetés) kell az üvegfonalat a kötött kelmében elhelyezni. A rövid szálak egy fontos alkalmazási területe a nemszött kelmék gyártása.

Folytonos szálak

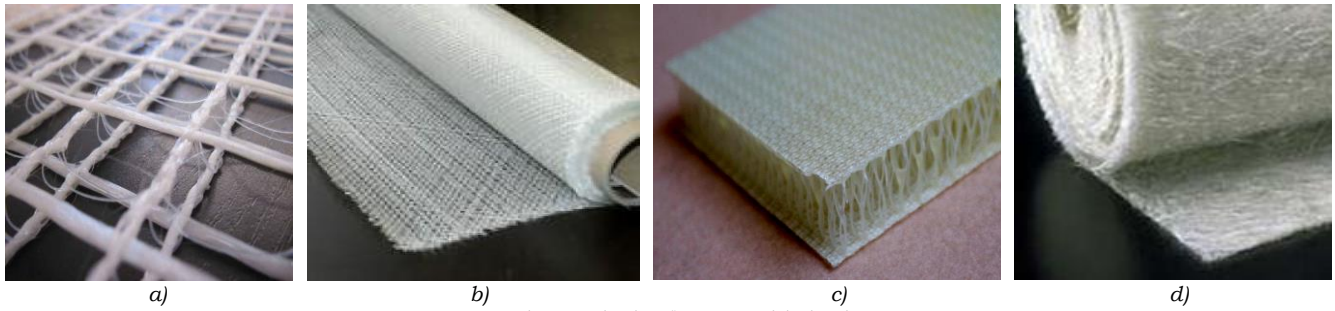
A folytonos üvegszálakból többféle eljárással is készítenek textilipari feldolgozásra alkalmas fonalakat [22].

- Sodrás nélkül vagy méterenként néhány száz menetből álló sodrattal filamentkötegeket (rovingot) készítenek, amely szövőgépen vagy láncrendszerű kötőgépen (itt csak lánc- ill. vetülékbefektetéssel) közvetlenül feldolgozható.

- Két szálköteget összesodorva üvegcernát készítenek, ami textilipari feldolgozásra alkalmas.

- Légfűvásos eljárással (amikor a folyamatosan képződő szálkötegekre rájuk merőlegesen bizonyos időnként hirtelen levegőt fújnak és ezzel ott pontszerű szakaszokon kissé összekuszálják a szálakat, ami aztán összetartja a szálköteget) képeznek textilipari feldolgozásra alkalmas üvegfonalakat.

- Ha a légfűvásos eljárást 2-3 egymás mellett futó



4. ábra. Különböző üvegszál-kelmék.

a) Betonerősítő vázszerkezet, b) Triaxiális üvegszövet, c) Üreges üvegszál-kelme, d) Üvegszálakból készült nemszőtt kelme

szálkötegen alkalmazzák, mégpedig úgy, hogy a két szálköteg sebessége között különbség van, akkor a szálakon hurkok keletkeznek, amelyek jelentősen emelik az ilyen fonalakból készült textilá hőszigetelő képességét.

- A folytonos üvegszálak közé keverhetnek poliészterszálakat is, ami nagymértékben javítja a fonal és a belőle készült textilá hajlékonyságát és kopásállóságát. Az ilyen fonalakat rendszerint együtt dolgozzák fel alumínium- vagy rézszálakkal (nagyon vékony huzalokkal) villamosipari felhasználásokban.

- Teflon-bevonattal ellátott, vékony acélszálakkal erősített üvegszálakat készítenek varrás céljára, üvegszál textiláak további megmunkálásához.

Az üvegszál-termékek felhasználása

Az üvegszálakat és az azokból készült textilanyagokat főleg műszaki textiláak gyártásához használják fel. 2013-ban a világon 5,2 millió tonna üvegszálakat gyártottak, ennek mintegy a felét Kína szállította [30].

Műanyag kompozitok – Az üvegszálak ill. a belőlük készült kelmék egyik legfontosabb felhasználási területe a műanyag kompozitok gyártása, ahol ezeket mint erősítőanyagokat alkalmazzák. Az üvegszál-erősítés egyrészt javítja a műanyag szilárdságát és rugalmassági modulusát, másrészt elősegíti, hogy a kompozit alkatrész hő hatására ne deformálódjék. Üvegszál erősítésű műanyag kompozitokat igen nagy mennyiségben használ a járműipar, a villamosipar, az építőipar, de más, iparcikkben is igen elterjedten használatosak.

Építőipari alkalmazások – Az építőipari anyagokba bekevert üvegszálak javítják a szilárdsági tulajdonságokat, csökkentik a betonelemek repedési hajlamát és javítják az élettartamát, víz alatti betonozásnál csökkentik a kimosódás veszélyét, vízzáró beton készítésénél megakadályozzák a beton alkotórészeinek szétválását. Vakolatok készítésénél javítják a habarcs minőségét, csökkentik lehullásának veszélyét [23].

Egyre nagyobb jelentőségű a textil vázszerkezetű beton, az ún. textilbeton, amelyben a vasbetonban al-

kalmazott acélrudak helyett szén- vagy üvegszál-kábeleket alkalmaznak. Üvegszál erősítés esetén lúgálló AR betont használnak. A textilbeton egyik nagy előnye, hogy azonos terhelést sokkal könnyebb textilbeton szerkezet bír el, mint a vasbeton. Ennek egyik oka, hogy az üveg- vagy szénszál-kábelek sokkal kisebb sűrűségűek (könnyebbek), mint az acél, másrészt az, hogy vasbetont esetében 3–4 cm vastag betonrétegnek kell körülvennie az acélrudakat, hogy kellően elszigeteljék azokat a nedvességtől és a környezeti hatásoktól, míg a textilbeton esetében erre 1 cm vastag réteg is elegendő. Ugyancsak nagy előny, hogy a textilbeton vázszerkezete nem korrodál [24, 25].

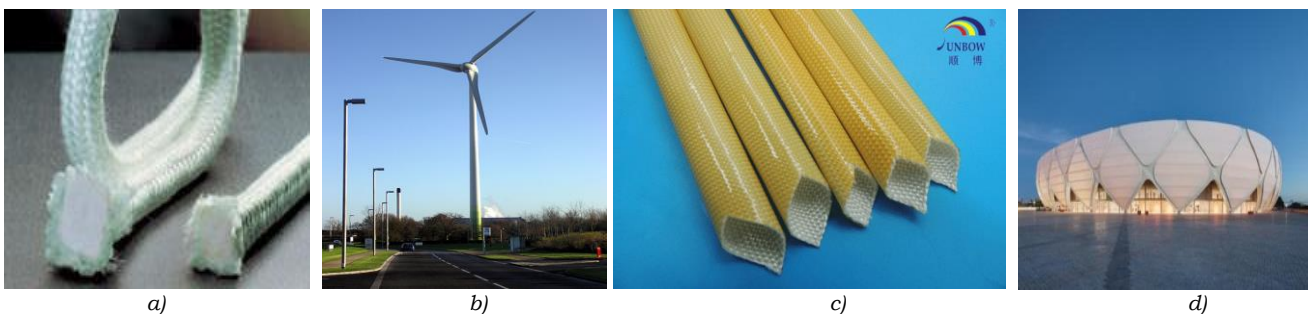
Elterjedten használnak olyan falburkoló anyagokat is, amelyek hordozóanyagát részben vagy teljesen üvegfonalakból készült kelmék (szövetek, kötött vagy nemszőtt kelmék) képezik. A fonatolt üvegszerkezetek rúd alakú kompozitok gyártásában használatosak. A textiltapéták egy részét is üvegszövet alkotja.

Egészségügyi vonatkozások

A hazai kutatások azt állapították meg, hogy a korszerű eljárásokkal készült üvegszálak és ezeken belül a leginkább kritikus üvegyapot olyan geometriai paraméterekkel (szálhossz, átmérő) rendelkezik, ami már alig belélegezhető, de belélegzés esetén sem jut el a tüdőbe és a sejtnedvek hatására feloldódik, azaz nem okoz tüdőkárosodást [26].

A Nemzetközi Kémiai Biztonsági Kártyák (International Chemical Safety Cards, ICSC) szintén az üvegyapotra vonatkozó 0157. sz. lapja [27] szerint az üvegyapot kiporzását meg kell akadályozni, mert

- belélegzés esetén köhögést, torokfájást, nehézlégzést okoz,
- a bőrön viszketést, vörösödést okoz,
- a szembe kerülve fájdalmat, vörösséget okoz,
- lenyelés esetén nem okoz tüneteket,
- rákkeltő hatása emberen nem bizonyított.



5. ábra. Az üvegszál-termékek néhány jellegzetes alkalmazása.

a) Tömítés, b) Szélturbina üvegszál erősítésű kompozitból, c) Csővezeték, d) Textil épület héjazata kent üvegszál-szövetből

Források

- [1] The History of Fiberglass.
http://www.classicglasspars.com/index.php?option=com_content&view=article&id=77:the-history-of-fiberglass&catid=117&Itemid=439
- [2] Who developed fiberglass? http://topics.info.com/_2779
- [3] Zilahi Márton: A textilipar nyersanyagai. Tankönyvkiadó, Budapest, 1953.
- [4] Hecht, Jeff: A Fiber-Optic Chronology.
<http://www.jeffhecht.com/chron.html>
- [5] ISOVER cégismertető.
http://www.isover.ch/m/mandanten/171/download/Ju bilaeums_Broschuere_de_low.pdf
- [6] Aravin Prince Periyasamy : Glass Fiber – Manufacturing & Applications. www.slideshare.net/abiramprince/glass-fiber-manufacture-and-applications
- [7] Glasfaser.
http://www.chemie.de/lexikon/Glasfaser.html#Geschichte_der_Glasfaser
- [8] Mahaptara, N. N.–Raichurkar, P.: Processing of Glass Fibres in Textile Industries. <http://engineering-shirpur.nmims.edu/docs/processing-of-glass-fibres-in-textile-industries.pdf>
- [9] Faserglas.
http://www.materialarchiv.ch/gruppe/628/Faserglas#/s_uche/
- [10] The making of glass fiber.
<http://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
- [11] History of the Composites Industry.
<http://www.acmanet.org/the-industry/history>
- [12] Glass Fiber Differences and Properties.
<http://www.build-on-prince.com/glass-fiber.html#sthash.k5XDY1SO.dpbs>
- [13] Wirth, Wolfgang: Herstellung vernadelten Vliese auf Basis von Glasfasern.
http://www.frenzelit.com/file/1382_HoferVliesstofftage.pdf
- [14] Fenyvesi Éva: Újszerű textilipari és műszaki szálanyagok. Magyar Textiltechnika különszám, 1994. 6. sz.
- [15] Gardiner, G.: The making of glass fiber.
<http://www.compositesworld.com/articles/the-making-of-glass-fiber>
- [16] Fiberglass. <http://www.madehow.com/Volume-2/Fiberglass.html>
- [17] Chopvantage.
<http://www.ppgfiberglass.com/Products/CHOPVANTAGE%20AE-Chopped-Fibers.aspx>
- [18] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai.
<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/polimertechnika-alapjai/ch14s02.html>
- [19] Gamow, G., Cleveland, J. M.: Fizika. Gondolat, Budapest, 1977.
- [20] Szalay Béla: Fizika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964.
- [21] Radnóti Imre: Szálanyagok és fonalak kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [22] Culimeta – Technische Garne.
<http://textilglas.culimeta.de/produktgruppen/technische-garne.html>
- [23] Aveeglass.
<http://www.faserverpage.eu/epitesiszalak/aveeglass.pdf>
- [24] Textilbeton – leicht, tragfähig und nachhaltig.
<http://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/textilbeton-leicht-tragfaehig-nachhaltig/>
- [25] Textilbeton. <http://avers.hu/termekek/textilbeton/>
- [26] Szóke Réka: Üvegszálak egészségkárosító hatásának tanulmányozása hagyományos és nukleáris módszerekkel. Doktori értekezés, 2008.
http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/szoke_r.pdf
- [27] ICSC:0157 Üvegyapott.
http://www.omfi.hu/icsc/PDF/PDF01/icsc0157_HUN.PDF
- [28] Glass fiber. https://en.wikipedia.org/wiki/Glass_fiber
- [29] Fiberglass. <https://en.wikipedia.org/wiki/Fiberglass>
- [30] Global Fiberglass Yarn Production Reached 5.2 Million Tons in 2013
<http://www.wickstore.com/ZoomImage.aspx?productID=b6cad33a-77fd-4779-b0d4-0018272e9408>