

Innovációk a fonatolás technológiájában

Eszenyi Lajos, Krámer Lajos, Szabó Rudolf

Orsó '95 Kft., 2
info@orsokft.hu

Kulcsszavak/Keywords: *Fonatstruktúrák, Fonatológépek, Fonatolás alkalmazásai*
Braided structures, Braiding machines, Applications of braids

A fonatolási folyamat során három vagy több fonal átlós irányú keresztezésével vastagabb, szélesebb, erősebb textiliák állíthatók elő, vagy a különböző formájú tárgyak befonatolással megerősíthetők. A fonatokat a kompozit megerősítésen túlmenően egy sor műszaki területen is széleskörűen használják, az orvosi implantátumoktól a sporteszközön át a közlekedési és űrhajózási eszközökig. Ez a cikk a speciális technológiákat, új fejlesztéseket és alkalmazásokat ismerteti.

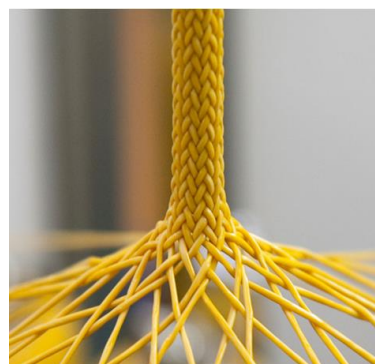
Braiding is the process of interlacing of three or more threads or yarns in diagonal direction in order to obtain thicker, wider or stronger textiles or, in the case of overbraiding, in order to cover a profile. Braids are also used for reinforcement of composites and have found a range of technical applications in various fields including medicine, sports, transport and aerospace. This presentation covers some advanced technologies and new developments in the manufacture and applications.

Bevezetés

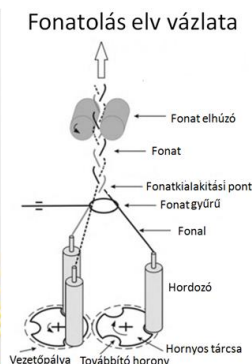
A fonatolt termékek az előállítás és a textília sajátos struktúrája miatt a textiltechnológiakon belül önálló csoportot alkotnak (1. ábra), jelentőségük, alkalmazásuk a műszaki textiliák és a kompozitok iránti különleges igények hatására gyorsan növekszik.

A fonatológépen a három vagy több hordozóba helyezett, ellentétes irányban hullámzó pályán mozgó csévékről („babákról”) lefejtett fonalak (az alkalmazás céljától függően esetleg cérnák, kábelek vagy fonatok) keresztezésével a hosszirányhoz képest átlós fonalszerkezetű *fonatok* (szalag, zsinór, kötél, tömlő, preform) készíthetők széles mérettartományban és szerkezeti formában (2. ábra).

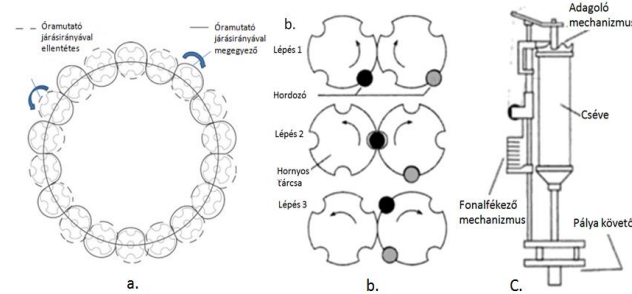
A fonatológépek többsége a hordozók ill. a beléjük helyezett csévék két csoportját hornyos tárcsák révén egymással ellentétes irányban mozgatják, általában szinuszgörbéhez hasonlóan hullámzó körpályát alkotó vezetőhornyokban. A csévékről a fonalat a fonalfeszítés hatására a csévék forgatásával fejtik le, majd a fonalvezetőkön vezetve és fékezve, a kereszteződő fonalakból a fonatgyűrűn át a fonat kialakulási ponthoz vezetve alakul ki az ún. fonat. A hordozók ill. a fonalak kereszteződése által létrejövő fonat lapos, kör keresztmetszetű zsinór, tömlő, üreges cső lehet, de készíthetők egyedi



2. ábra



Hordozók mozgáspályája (a.), váltása (b.) és a hordozó kialakítása (c.)

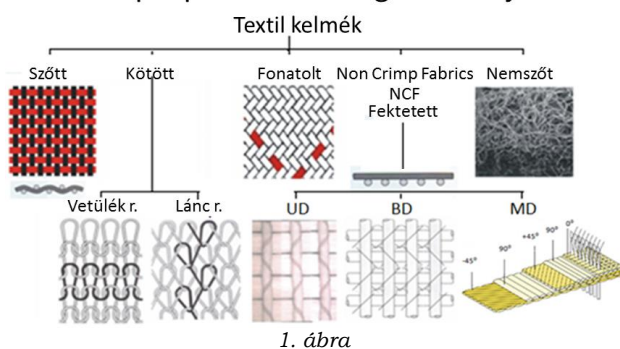


3. ábra

kialakítású keresztmetszettel rendelkező fonatok is. Az ellentétes dőlésirányú, kereszteződő fonalcsoportokat a szövés analógiájához hasonlóan „láncnak” és „vetüléknek” is nevezik (3. ábra).

A hordozókat a hornyos tárcsák tengelyére rögzített fogaskerekek kényszerhajtással ellentétes irányban, az ütközések kiküszöbölésére szinkronizáltan mozgatják. A vezetőhornyban megvezetett nem vezérelt hordozók a hornyos tárcsák csatlakozási pontjában átadódnak, a továbbiakban az új hornyos tárcsa által mozgatva a hordozó az ellentétes hullámoldalon halad tovább. Az ellentétes irányban mozgó babák a külső és belső hullámívre váltakozva történő átváltásával a fonalrendszerek külső és belső pozíciója változik, a fonalrendszerek a fonat hossz tengelyéhez képest átlósan kereszteződnek. A hornyos tárcsa hornyait kopásálló betéttel

Lapképzési technológiák sémája



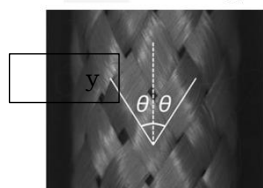
1. ábra

Hornyos tárcsa kialakítása, a hordozó csoportok mozgatása



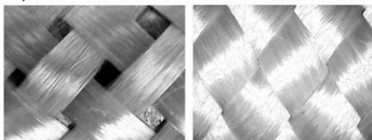
4. ábra

Fonat menet-
emelkedési szög, θ



Nyitott fonatszerkezet

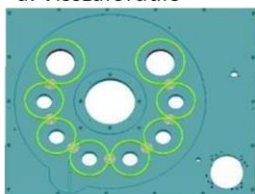
Zárt fonatszerkezet



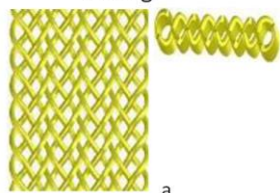
5. ábra

Csévehordozók mozgáspályája

a. Visszaforduló

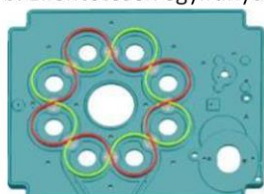


Szalag



a.

b. Ellentétesen egyirányú

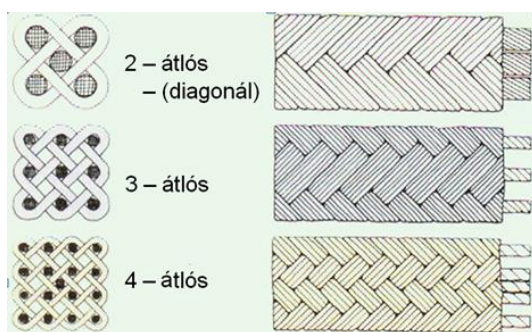


Tömlő



b.

6. ábra



7. ábra

bélelik. Az ellentétesen mozgó hordozó csoportok (sárga és piros) elrendezési képét a 4. ábra szemlélteti.

1. Fonatstruktúrák

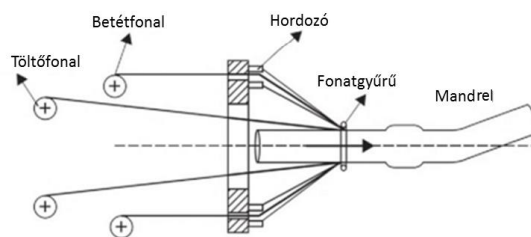
A fonatot a fonalak kereszteződési helein fellépő súrlódás tartja össze; tömörségét, menetemelkedési szögét a fonalfinomság, a babák száma, a húzótüske (mandrel) alakja és a fonat elhúzási sebessége határozza meg (5. ábra).

A csévehordozók (babák) mozgásirányától függően több eset lehetséges:

- visszaforduló babák esetén a fonat szalag (lapos) formájú (6/a ábra);
- ellentétes, de a hordozó-csoportok azonos haladási irányú mozgása esetén a fonat zsinór vagy tömlő szerkezetű (6/b. ábra);
- egymásra merőleges, átlós irányú pályákon haladó mozgás (diagonális) esetén tömör szerkezetű, négy-szög keresztmetszetű fonatok készíthetők (7. ábra).

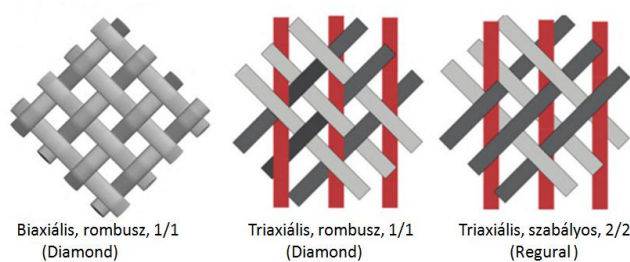
A fonatot általában a hosszanti tengelyhez képest egymást átlósan kereszteződő fonalrendszerek alkotják, emiatt húzóerő hatására a deformálódás mértéke nagy, a fonat nyúlékony. A fonat nagy nyúlása a hornyos tárcsák tengelyében levő furaton az egyenes helyzetű ún.

Mandrel befonatolási elve



8. ábra

Különböző fonat struktúra szerkezetek

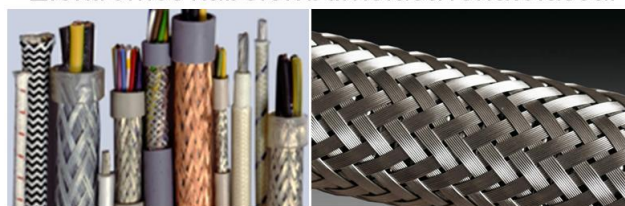


9. ábra



10. ábra

Elektromos kábelek burkolása fonatolással



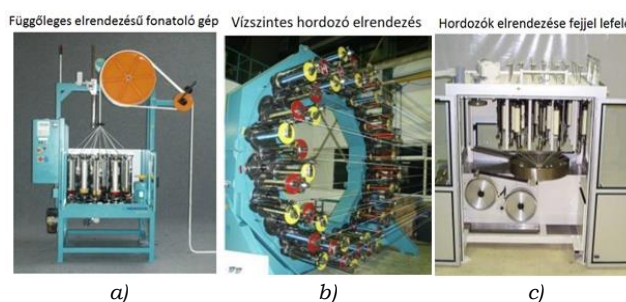
11. ábra

betétfonalak bevezetésével és bekötésével csökkenthető. A cső alakú kelme belsejébe nagy szilárdságú, egyenes helyzetű ún. belfonal, vagy tüske (mandrel) is behelyezhető (8. ábra). A fonatok szilárdsága nagyszilárdságú belfonal, párhuzamos filamentköteg vagy acélsodrony bevezetésével is növelhető.

A 2D-s fonatolt kötősszerkezetekre a 9. ábra mutat példákat. Rugalmas fonat nagy nyúlású, előfeszített elastán betétfonalak köpenybe való bekötésével állítható elő (10. ábra). A villamos vezetékeken burkolatként alkalmazott tömlős fonatok a vezetékek szigetelését és mechanikai védelmét szolgálja (11. ábra).

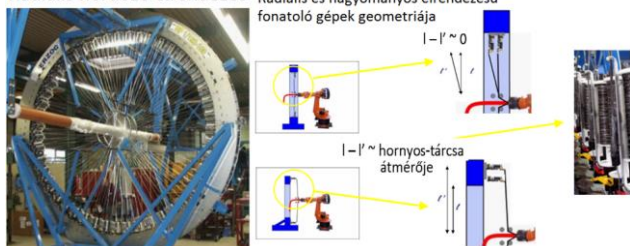
2. A fonatológépek elrendezései

A függőleges hordozó tengelyes elrendezés az általánosan alkalmazott megoldás. Itt a csévék mozgás-



12. ábra

Radiális hordozó elrendezés



13. ábra

síkja vízszintes, a hajtás alulról történik, a fonatot fölfelé húzzák el (12/a. ábra).

Vízszintes hordozó tengelyes elrendezés esetén a csévek mozgássíkja függőleges, a fonat elhúzása vízszintes (12/b ábra). Merev, nagy helyigényű, robot mozgatható mandrel anyagok elhúzása esetén előnyös.

Hordozó tengely függőlegesen fejjel lefelé, a hajtás felül, a fonat elhúzása lefelé (12/c ábra). Szennyező, leporló anyagok (pl. szén-szál) feldolgozására ajánlott elrendezés.

3. A hordozók ill. csévek elrendezése

A fonatológépek a hordozók ill. csévek elrendezése szerint lehetnek

- hagyományos (konvencionális), párhuzamos elrendezésűek, a csévek helyzete a gép tengelyével párhuzamos;

zamos;

- radiális cséve elrendezés esetén (a hordozók tengelye a gép tengelyére merőleges) a fonallejtési geometria kedvezőbb, a húzózárt befogó célszerűbben elhelyezhető; kényes műszaki szálak (pl. szén-szál) feldolgozására alkalmazzák (13. ábra).

4. A fonatológépek és fonatok jellemzői

A fonatok többsége (a zsinór és a szalag kivételével) valójában térbeli (3D) alakzat. Eszerint a fonatológépeket, ill. a fonatokat az alábbiak szerint jelölik:

- **2-D fonatológép:** kötél és tömlő gyártására (14. ábra).

- A **2½-D fonatológépek** csoportjába a húzótűs-két (mandrel) befonatológépek tartoznak. A különböző formájú mandrel (tüske) befonatolásával, a robotokkal tervezhetően változtatható elhúzó sebességgel az alkatrészek, tartályok a mechanikai igényeknek megfelelően kialakított fonattal megerősíthetők (15. ábra).

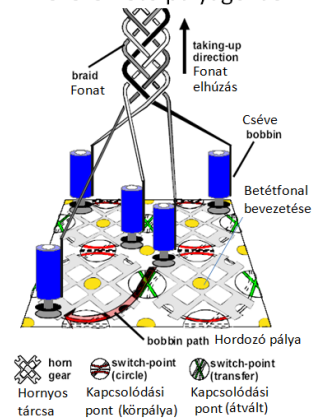
- **3-D fonatológépekkel** tömör fonatolt profilok gyárthatók az alkatrészek kívánt alakjának megfelelően (preform) (16. ábra).

5. Jacquard-vezérlésű hordozó mozgítás, bionika sugallta fonatstruktúrák

A hordozók mozgáspályája vezérelt változtatásával (jacquard-rendszerű mintázás) a fonatológépek a többágú mandrel burkolásával lehetővé teszik többszárú kompozitok gyártását (17. ábra).

A bionika az a tudományág, ami az élő természetben kifejlesztett optimális megoldásokat átülteti a műszaki gyakorlatba. Az élőlények esetében számos területen találkozunk különleges szerkezeti struktúrákkal, amelyek sok esetben ma is a műszaki megoldások inspirálói (madarak repülése→repülőgép, selyemhernyó szálhúzása→mesterséges szálak gyártása, bogáncs→tépőzár, lóbuszlevél→vizlepergető felületek stb.). A növények szárában a csatlakozási pontokon a rostok elrendezése megerősített szerkezetű. A fonatolással megerősített kompozitok esetében a természetből ismert struktú-

Hordozók mozgata
vezérelhető pályagörbén



17. ábra

2-D fonatoló gép elrendezése és a különböző 2-D fonatok



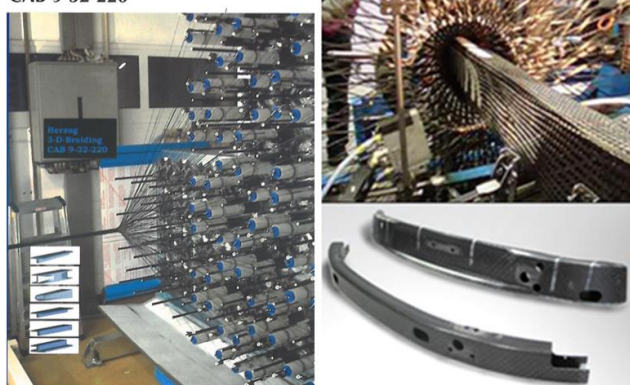
14. ábra

2½-D fonatoló gépek



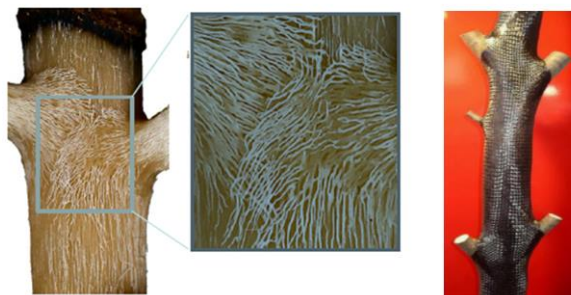
15. ábra

HERZOG 3-D Braiding machine type CAB 9-32-220



16. ábra

Rostok elrendeződése a növények szárában, magon a fonat szerkezete a növényi rostoknak megfelelő



18. ábra

Különleges 2½-D fonatolt struktúrák



19. ábra

rákhoz hasonló szerkezetek elérésére törekednek. A cél a használat során a fellépő erőknek optimálisan megfelelő szerkezetű és alakú erősítő fonatok kialakítása (18. ábra).

Az egyenes vonalú vagy térben hajlított mandrelek a 2½-D gépeken fonattal burkolhatók, a fonalak elhelyezkedési szöge a fellépő erőknek megfelelően változtatható. A fonat átmérője gyártás közbeni is változtatható, hálós szerkezetek kialakítását is lehetővé teszi (19. ábra).

Számos alkalmazási területen (pl. kerékpárváz, állvány- és tetőváz-csatlakozások) előtérbe kerül a többágú fémcsatlakozási pontok könnyűszerkezetekkel való helyettesítése. A természet inspirációjának megfelelően a fonatolási technológia kiválóan alkalmas többágú (két- vagy háromágú) fonatok készítésére (20. ábra).

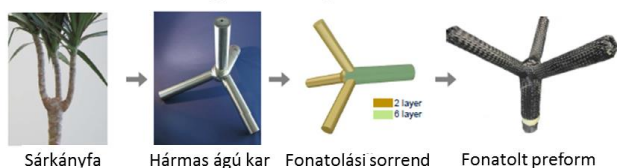
Erősítő részek beillesztésével, vagy a fonalfékezés változtatásával egyes részek kihagyása is lehetséges (21. ábra).

Kettős gyűrűs tömlős fonatok gyártásakor – a külső és a belső körpályán mozgó hordozók bizonyos helyzetekben vezérelt cseréjével – a fonatgyűrűk összekapcsolhatók.

A fonatolás számos számos különböző keresztmetszetű, ún. preform profil kompozit erősítő struktúra kialakítását teszi lehetővé, amelyeket a mátrix anyaggal átítatva és kikeményítve nagy szilárdságú, könnyű hosszanti szerkezetű elemek gyárthatók (22. ábra).

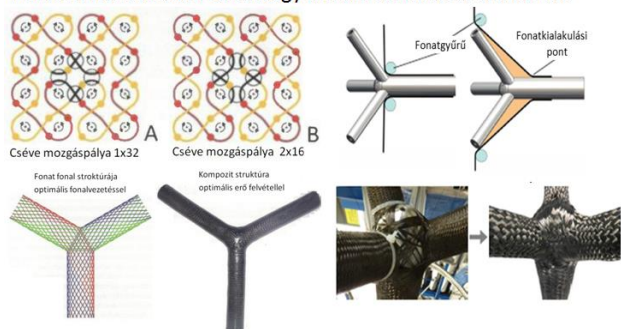
A cső formájú, szén- ill. üvegszál erősítésű kompozitok gyártása esetén a fonatológépet a pultrúziós gép elé építve a fonat közvetlenül bevezethető az

Technológiai megvalósítás



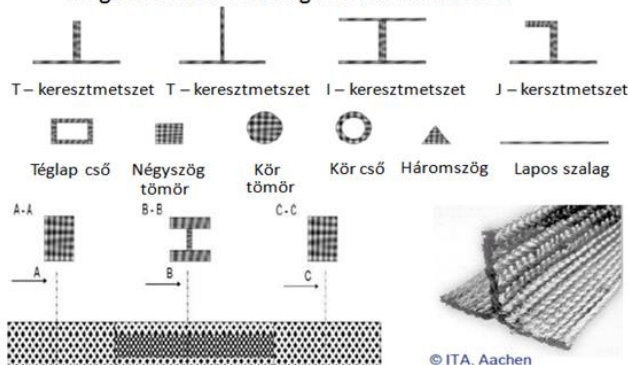
20. ábra

Vezérelt hordozókkal és fonatgyűrűkkel kialakított struktúrák



21. ábra

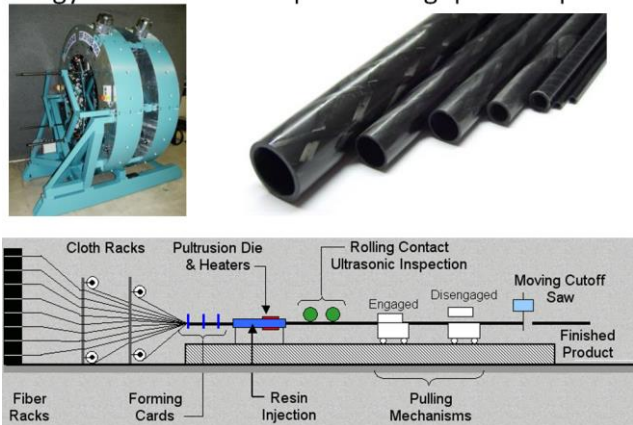
Megvalósítható lehetséges keresztmetszetek



Működés közben változtatható a keresztmetszet

22. ábra

Csőgyártás fonatoló és pultrúziós gép összeépítése



23. ábra

extruderbe (23. ábra).

A fonatolással készített tartályok a fonalrendszerek váltakozó keresztmetszetéből adódó stabilabb szerkezetének köszönhetően robbanás esetén ellenállóbbak, kevésbé károsodnak, mint a tekercseléssel egymásra fektetett fonalrétegekkel erősített szerkezetű tartályok.

Összefoglalás

Fonatolt termékek nagy választékának gyártására a fonatológépek számos változatát fejlesztették ki. A fokozott minőségi követelmények kielégítésére a fonallal érintkező gépfelületeket a fonaltulajdonságoknak megfelelően alakítják ki, a fonalszakadás, a fonalfeszültség, a fonatpontok ellenőrzése drót nélküli adattovábbítással megoldott. A csévek (babák) fonalszerkezetének kialakítása is döntő fontosságú.

Néhány fontos jellemző adat:

- A fonatológépeken alkalmazott fonalak finomsága 11 dtex-től az 50k-s (azaz 50 000 szál tartalmazó) szénszál-kábelig terjed. Egyes gépeken acélhuzalok is feldolgozhatók.

- A gyártható fonatok legkisebb átmérője 0,01 mm, felső határ elméletileg nincs.

- A csévek száma legalább 3, de több száz is lehet – nincs elméleti felső határ.

- A cséve térfogata 0,5 cm³-től 1,131 m³-ig terjedhet, tömege akár több tonna is lehet.

- A hornyos tárcsa átmérője 56-2000 mm.

- A fonatelhúzó erő a 10 kN-t is meghaladja.

A fonatológépek ill. fonatok széles választékára a 24. ábra mutat példát.

Fonatok a gyufaszál vastagságtól a gigantikus méretekig

Egészségügyi fonatok



Varratok (felszívódó, nem felszívódó)
Implantátumok



24. ábra

A széles mechanikai tulajdonság-tartományt képviselő szálakból, fonalakból és kábelekből (a természetes és a nagy választékú mesterséges szálú fonalaktól a

nagyteljesítményű kábelekg – Dyneema, szénszálkábel, acélsodrony –, a termékek széles skálája állítható elő fonatolással, az implantátumoktól, a műszaki textiliák és kompoziterősítők nagy sokaságán túlmenően a tengeri olajfűró állomások rögzítő köteleig. A fonatolt termékek egy sajátos alkalmazási területet fednek le a műszaki textiliák és a kompoziterősítők területén, választékuk és mennyiségük dinamikusan növekszik.

Felhasznált irodalom

- Szentpéteri Gyula: Rövidáru ismeretek. KMF Textiltechnológiai Tsz. Jegyzet
- Herzog: Herzog Composite
- Markus Milwich: ITMA 2015: Innovations in the area of braiding. Melliand Int. 2016.2 p. 105-107.
- Simon Küppers, Lena Müller, Dagmar Ewert, Götz T. Gresser: Flechten von Verzweigungen für die Faserverbundtechnik Melliand Textilb. 2016/2. pp. 76-77.
- M. Gude, A. Gruhl, H. Böhm, W. Hufenbach: Bionically inspired design and technological implementation of lightweight structures with braided fiber reinforcement. 8. Aachen Dresden International Textile Conference