

MŰANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS FELDOLGOZÁSA

Újdonságok és fejlesztések a hosszú üvegszállal és szénszállal erősített műanyag termékek körében

Az üvegszálás, de különösen a szénszállal erősített kompozitok tovább szélesítik a műanyagok alkalmazását. Az új feldolgozási technológiák nem csak a termékek tulajdonságait javítják, hanem hozzájárulnak a költségek csökkentéséhez, ami különösen a szénszálás kompozitok további elterjedését segíti.

Tárgyszavak: üvegszál-erősítés; kompozit; szénszálerősítés; új technológiák; autóipar; építőipar.

Új koncepció a hosszú üvegszál-erősítésű elemek gyártásában – helyi erősítés végtelen szállal

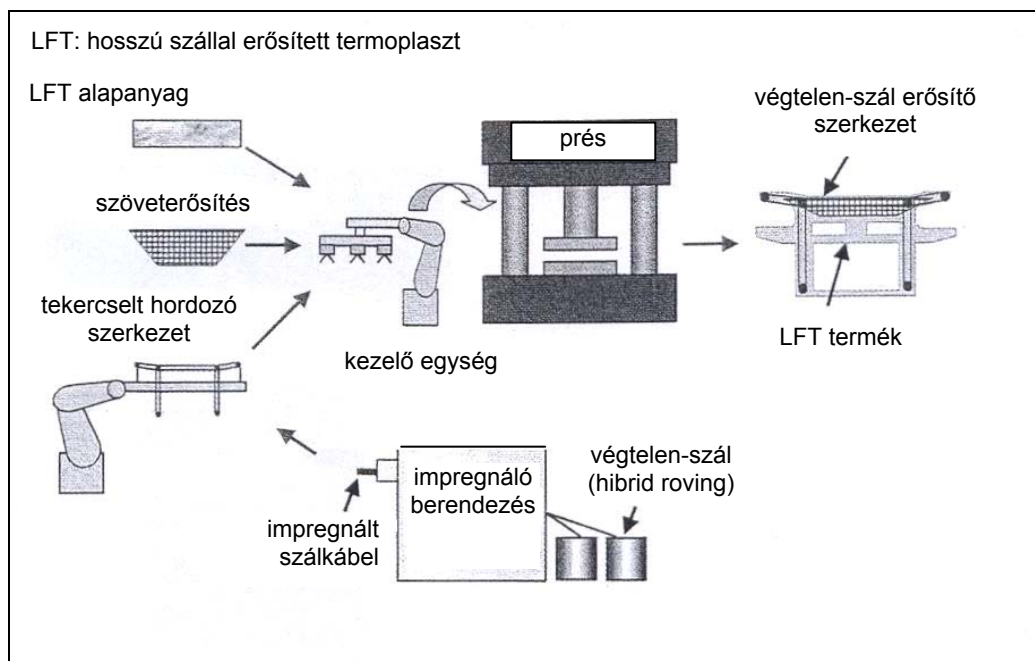
A hosszú üvegszállal erősített termoplasztikus alkatrészek (Langglasverstärkte Thermoplastbauteile – LFT) a normál szálerősítéssel szemben nagy ütésállósággal és szilárdsággal tűnnek ki. Ezeknél a típusoknál kiemelkedő az ár-teljesítmény arány. *Még jobb tulajdonságokat lehet elérni a helyi végtelen szállal történő erősítések beépítésével anélkül, hogy a termék tömege jelentősen nőne.* A hosszúszállal erősített polipropilént egyre nagyobb mennyiségben használják az autógyártásban, például nagy felületű automodulokhoz. A nagyméretű alkatrészeknél azonban problémát jelent az, hogy a nagyobb terheléseknek kitett helyeken az alkatrész törése, károsodása léphet fel. A mátrixműanyagba beépített helyi végtelen szálerősítéssel az ilyen problémák elkerülhetők egy kis tömegnövekedés árán.

Erősítésként előimpregnált végtelen szálszerkezeteket használnak előorientált vagy tekercselt profilok formájában. Az erősítéseket a prészszerzámba helyezik el, és elvégzik a formázást hosszú szállal erősített műanyaggal. Mivel a hőmérséklet magas, a préseléshez automatikus fogóberendezést és robotokat alkalmaznak. A síkban történő erősítéseknél a mátrixpolimer olvadáspontja fölé kell menni, hogy hibátlan legyen a formázás. A különböző más formájú erősítéseket előformázva helyezik a formába. Ilyenkor ezeket elő kell melegíteni, hogy a kötés megfelelő legyen a polimerhez. A siker alapfeltétele a mátrixpolimer és az erősítő szerkezet közötti megfelelő tapadás. A határfelületeken fellépő tapadás kohéziós és adhéziós erőkől tevődik össze. A kohéziós tapadási erők a láncmolekuláknak a megolvadt érintkező felületek közötti diffúziójából adódik. Minél hosszabb ideig van lehetőség erre a diffúzióra, annál nagyobb

lesz a kötőszilárdság a felületen. Az adhézió a kémiai és a mechanikai adhéziós erők-ből származik, amelyek a polimer és a felületen levő szálak között lépnek fel.

Az 1. ábra egy hosszú szállal erősített alkatrész előállítását mutatja be, ahol a feltekereselt szerkezetű erősítést in-line viszik be a préselés során. Az erősítést hibrid rovingból feltekereséssel előformázva állítják elő.

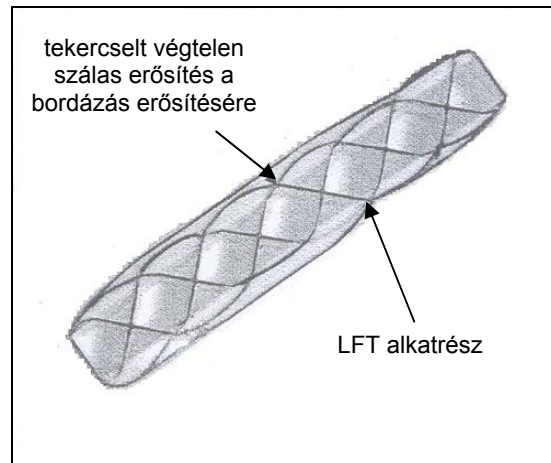
Az erősítés és a mátrixpolimer közötti tapadást és az ebből adódó szilárdságot kísérletileg vizsgálták az erősítőszerkezet előmelegítésének függvényében. Erősítésre Twintex szövetet helyeztek a présbe és 30% hosszú üvegszál erősítésű polipropilénnel préselték össze kétoldalról, és így állították elő a próbatestet. A kötőszilárdság jellemzésére húzó- és nyírószilárdság mérést végeztek. Az eredmények szerint a mért szilárdság 220 °C-os présmassza hőmérséklet mellett a legnagyobb, vagyis a *kötőerő abban az esetben a legnagyobb, amikor az erősítő Twintexet 180 °C-ra melegítették*. Ennél magasabb hőmérsékleten már megindul a degradáció az erősítő laminátum felületén. Ha egyáltalán nem melegítik elő az erősítést, a végső szilárdság akkor is eléri a lehetséges maximum felét. Ez a hidegen is fellépő kötőerő a felületi érdességéből adódó mechanikai adhézióból keletkezik. A fenti vizsgálatból levonható az a következtetés, hogy a *maximális hatás elérése érdekében az erősítésre használt szálszerkezetet a présmassza olvadáspontjának közelében kell előmelegíteni, és az erősítés felületének lehetőleg strukturálnak kell lennie*.



1. ábra Hosszú szállal erősített alkatrész (LFT) előállítása

Az anyagszerkezethez köthető tényezőkön kívül az elérhető hatás szempontjából nagy szerepet játszik a beágyazás geometriája is. A szálerősített szerkezeti anyagokból

készített alkatrészek esetén a tervezésnél figyelembe kell venni a szálerősítés szükség-szerű anizotrópiáját. Nyilvánvalóan a szálirányban a szerkezeti anyag szilárdsága na-gyobb, mint az ettől eltérő irányokban, másképpen kifejezve a szálirányban a húzó szilárdság meghaladja a nyomó ill. a nyíró szilárdságot, és számolni kell a torziós fe-szültséggel is. Mindebből következik, hogy *a szerkezeti anyaghoz jól igazodó konst-rukciónál a helyi végtelen szálas erősítésnek a húzásnak kitett részekben kell lennie.*

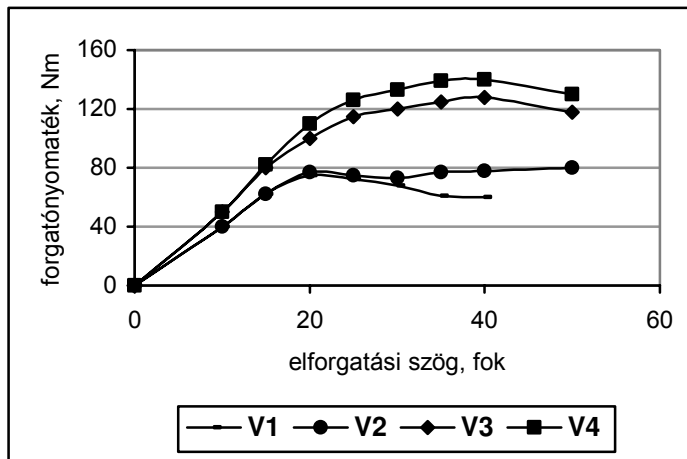


2. ábra Bordázott tartó LFT-ből végtelen-szál erősítéssel

A fentieket a 2. ábrán látható keresztirányban bordázott hordozó szerkezeten mu-tatják be, amelynek falvastagsága 2,5 mm, tömege 285 g. A hordozó alapanyaga 30% hosszú üvegszál-erősítésű polipropilén (LFT-D-PP/GF30). A kísérletben a négy minta torziós nyomatékát mérték. A négy minta közül egy erősítő betét nélkül, három helyi erősítéssel készült. A 2. minta egy 1278 g/m² triaxiális erősítő betétet tartalmaz. A 3. és a 4. mintánál végtelen szálból készült erősítő betétet alkalmaztak, azzal a külön-bséggel, hogy a 4. mintánál a betétet előfeszítették. Az eredményt a forgatónyomaték-nak az elforgatás szögétől való függése mutatja (3. ábra). Az ábrán látható, hogy a végtelen szállal történő erősítés a torziós ellenállást 80 Nm-ről 140 Nm-re növeli és az, a végtelen szálszerkezetnek a préselés előtti feszítésével még további 10%-kal növel-hető. *A végtelen szál beépítése ugyanakkor mindössze 10 g tömegnövekedést okoz.*

A nagy húzóerők átvételére különösen alkalmasak a gyűrűs szerkezetek. Az egyirányban húzott gyűrűs szerkezetekben a végtelen szál az erőhatás irányában orien-tált, így a szál húzószilárdsága maximálisan kihasználható. *Különösen a nagy húzószilárdsági és merevségi követelmények esetén célszerű a gyűrűs elrendezés.* Gyűrűs erő-sítésnél egy csap, vagy csavar körülhurkolásánál az erőbevezetés az alkatrészbe irányí-tottan történik. Ellentétben az utólag fűrt, vagy stancolt lyukakkal az ilyen gyűrű alakú végtelen szállal erősített kialakított lyukak esetén a nyílás kialakításakor nem károsod-ik az erősítő szál.

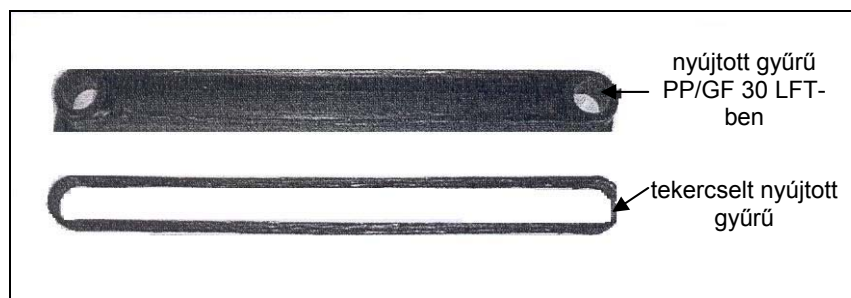
Kísérletként egy impregnált *Twintex* rovingból tekercselt gyűrűt préseltek össze 30 % hosszú üvegszállal erősített polipropilénnel (LFT-D-PP/GF30). Ezt a 4. ábrán látható próbadarabot több irányban terhelték, mivel az ütközésnek kitett elemeknél többirányú erőhatással kell számolni. Az X hosszirányú húzóvizsgálat mellett Y irányban (a furat irányában) és Z irányban (a furatra merőlegesen) hajlító vizsgálatot végeztek rögzített végekkel. A próbatest előállításánál változtatták a tekercselésnél a rovingok számát. A húzott gyűrű alakú erősítést a préselés előtt 145 °C-ra melegítették.



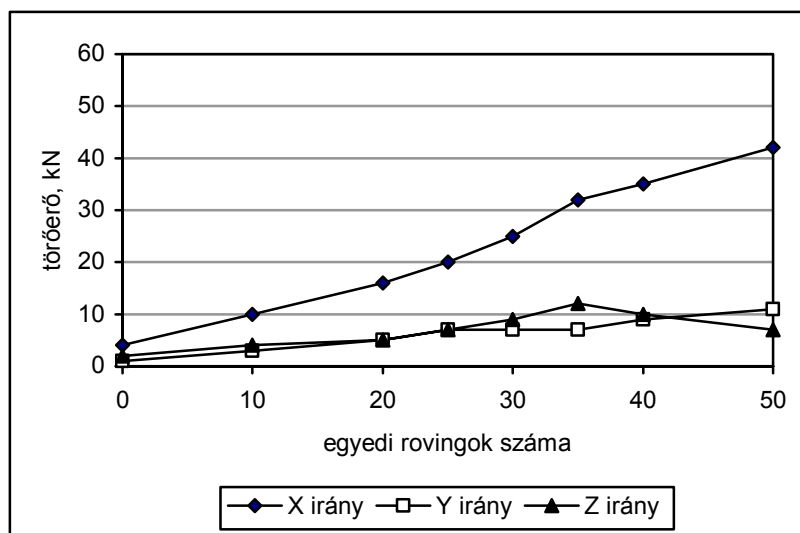
V1: LFT tartó végtelen szál erősítés nélkül
V2: LFT tartó triaxiális erősítéssel
V3: LFT tartó nem előfeszített végtelen szál erősítéssel
V4: LFT tartó végtelen szál erősítéssel

3. ábra A tartószerkezet torziós tulajdonságai különböző végtelen szál erősítéssel

A különböző terhelési irányban mért szilárdsági értékeket mutatja az 5. ábra. A várakozásnak megfelelően a hosszirányban mért szilárdság lényegesen nagyobb, mint az erre merőleges irányokban, de ezekben az irányokban is mérhető ugyanúgy *tízszeres szilárdságnövekedés az erősítetlen próbatesthez képest*, mint a hosszirányban. Ezt az erősítő hatást 48 egyedi rovingból történő tekercselésnél kapták. A tekercselés rétegeinek számát optimalizálni lehet a terhelési adatok, valamint a **Fraunhofer Institut für Chemische Technologie** által közölt mutatók alapján.



4. ábra Nyújtott gyűrű próbatest



5. ábra A nyújtott gyűrű próbatest törési szilárdsága különböző irányokban végzett vizsgálatoknál

A fentiekből kitűnik, hogy a jól tervezett, optimalizált technológiai paraméterekkel kivitelezett helyi erősítésekkel, elsősorban végtelen szálas szerkezetekkel, jelentősen növelhető a szilárdság és a merevség. Az erősítéshez előimpregnált végtelen szálat használnak profilok, szövetek vagy rovingtekercsek formájában. Az építőelemek cél tudatos tervezéséhez és az előállítás optimalizálásához a végtelen szálak nagyon jó fajlagos mechanikai tulajdonságait és a mátrixanyaggal való jó összeépíthetőséget veszik alapul.

A helyi erősítés integrálása az LFT eljárásba rugalmassá és gazdaságossá teszi a termoplasztikus szálerősítésű szerkezeti anyagok felhasználását az autógyártásban. Az ilyen szerkezetek legfontosabb alkalmazásai: lökhárító, karosszéria és ajtó szerkezetek hordozó szerkezetei, amelyeknél a felfüggesztési helyen nem megengedhető a szét esést eredményező törés. Mátrixként természetesen a polipropilén mellett más műszaki hőre lágyuló műanyagok is szóba jöhetnek. Így már vannak kísérletek PA 66-tal is. Ez ideig a Dieffenbacher volt az egyetlen gépgyártó, aki a végtelen szálas technológiára (LFT) berendezést tudott szállítani. Világszerte mintegy 30 ilyen berendezést értékesített, elsősorban autóiipari célokra. 2005 közepe óta konkurensként a prés gyártó Müller Weingarten jelent meg a piacon, aki a Coperion Werner & Pfeleiderer céggel együttműködve fejlesztette ki az LFT technológiát és berendezését.

Celstran+, a hosszúszállal erősített high-tech műanyag az új VW Golfban

Az új „Hochform” VW Golf egy tenyérnyivel magasabb, mint az alapmodell, ezáltal a konstruktőrök új lehetőségeket kaptak a belső tér alakítására. Az új, nagyvonalúan kialakított elemekhez, pl. a műszerfal elemeihez a **Ticona** a VW igényeihez iga-

zodva kifejlesztette a *Celstran+* nevű hosszú szállal erősített kompaundot. Az új típus merevsége, szívóssága, feldolgozhatósága és a belőle készült termék felületi minősége jobb, mint az eddig használt termoplasztikus műanyagok. A legnagyobb előnyt azonban a *Celstran+* alacsony árával nyújtja.

Az új *Celstran+*-t pultrúziós eljárással állítják elő. Ennek során 20–60% *aramid, üveg, szén vagy acél szálakat ágyaznak be különböző mátrixba: polietilénbe, polipropilénbe és poliamidba.* A pultrúzió során a polimer nagyon egyenletesen öleli körül szálakat és így az eloszlás sokkal homogénebb. Ezért az anyag könnyen feldolgozható és a termék felülete homogén lesz. Az új anyag tulajdonságai széles hőmérséklet- és klímaterományban állandóak.

A *Celstran* típusokat régóta használják az autógyártásban, sebességváltó-dobozokat, ajtómodulokat és komplett első borítóelemeket készítenek belőlük.

A szénszálas erősítésű elemek az autógyártásban is terjednek

A szénszállal erősített epoxigyantákat először az űrkutatásban alkalmazták a hatvanas években, majd a katonai és a civil repülőgépek szerkezeti elemeinél használták ki előnyös tulajdonságaikat. A szénszálakat mintegy 20 évvel később a magas árfekvésű, nagy szilárdságot igénylő sportcikk (pl. golf- és teniszütők) gyártásában is bevezették, napjainkban pedig az építőipar (pl. a hídépítés) és az autógyártás érdeklődése is megnőtt a szénszállal erősített kompozitok iránt. Míg korábban csak a kisszériás verseny- és luxusautók karosszériaelemei és belső borításai készültek szénszálas kompozitokból, a trend, ha lassan is, a nagyobb szériában gyártott autók felé fordul. A **BMW** 3 CSL típus tetőit 2003 óta szénszállal erősített kompozitból készítik RTM (Resin Transfer Moulding) eljárással. A **BMW** más típusú is tartalmaznak szénszálas szerkezeti elemeket. A **Comat GmbH** szénszálas tekerceselésű PA tartályokat állít elő, amelyek alkalmasak a gázüzemű gépkocsik üzemanyagának tárolására.

A szénszállal erősített műanyagok világpiaca 1998 óta megduplázódott. A szénszál gyártási kapacitások jelenleg kb. évi 30 ezer tonnát tesznek ki.

A szénszállal erősített műanyagok (CFK) a legkönnyebb szerkezeti anyagok közé tartoznak: az alumíniumnál 30, az acélnál 50%-kal könnyebbek. Ezért alkalmazásuk azokon a területeken kerülnek előtérbe, ahol minden kg tömegmegtakarítás számít, a repülőgépeknél, a versenyautóknál és az űrtechnikában. A szénszálerősítésű kompozitok további nagy előnye, hogy jelentősen növelik a szilárdságot és a merevséget, és emellett csillapítják a mechanikai rezgéseket is. *A szénszálerősítésű elemek nagyobb volumenű használatát egyelőre magas árak hátráltatja.* A szálgyártók a különböző minőségű szálak előállításával igyekeznek a kínálatot bővíteni, és egyben olcsóbb típusokkal az alkalmazásokat segíteni. Az ún. „heavy tow” szálak (a szálköteg 24 ezer elemi szálnál többet tartalmaz) árának hosszútávon 10 EUR/kg alatt kell maradnia.

A magas ár egyik oka az elemek kialakításának magas költsége az alacsony automatizáltság miatt. Az előállítás során a szénszál paplant a nagy törékenysége miatt a préselés előtt kézzel kell kialakítani, rögzíteni, és csak ezután jön a gyantával való átítítás és a keményítés a prészerszámban.

A **Wacker Polymer-Systems GmbH & Co. KG** szakemberei megoldották a préselési idő csökkentését. Ezt a *Vinnex* nevű porformájú kötőanyaggal érték el. Ez a por „magjában” egy termoplasztot tartalmaz, amelyet egy térhálósodó polimer vesz körül. A porszemcsékkel 170 °C-on „szinterezik” a szénszálvázat, majd előmelegítés után a hideg présben formázzák. Így egy olyan szénszál előformát kapnak, amely már elég merev ahhoz, hogy ipari robotokkal dolgozzák fel, azaz a gyantával átítatják, és a kívánt formára keményítik. Mindennek eredményeképpen lényegesen csökken a ciklusidő, és nő a termelékenység, bonyolult formáknál akár kétszeresére is. Ráadásul a kötőanyaggal keményített előforma jobb tulajdonságokkal is rendelkezik. Az ilyen előformát nehézség nélkül tudják szabni.

Az új eljárás mechanizmusát a mikroszkópos felvételekből jól meg lehet érteni: a kötésponatok a szálak érintkezési ill. metszéspontjainál alakulnak ki. A pontszerű kötések eredménye, hogy nő a stabilitás, és drasztikusan csökken az anyag kifáradási hajlama.

Az *LCM (Liquid Composite Moulding) eljárásnál* a szénszálat a formaadási folyamat során impregnálják a hőre keményedő folyékony gyantával. Mivel nem szükséges a keveréket előre elkészíteni (mint az SMC-hez a prepreget) és hűteni, egyúttal rövidebbek a ciklusidők, az LCM eljárás olcsóbb az eddigi feldolgozási technológiáknál.

Összeállította: Máthé Csabáné dr. és Dr. Orbán Sylvia

Krause, W., Geiger, O., Henning, F.: Lokale Endlosfaserverstärkung. = Kunststoffe, 96. k. 2. sz. 2006. p. 112–115.

www.ict.fraunhofer.de

Küll, H.: Das Plus im Doppelpack. = KunststoffTrends, 2005. 1. sz. p. 14.

Lehmann, G. T.: Fertigungsautomatisierung verbessert Chancen von CFK-Anwendungen im Automobilbau. = MM Das IndustrieMagazin, 2004. 11. sz. p. 22–23.

Das schwarze Gold des Leichtbaus. = Kunststoffe, 2006. 96. k. 3. sz. p. 76–82.

Direct approach. = European Plastics News, 33. k. 3. sz. 2006. p. 23–24.

Hazai hírek

Üzemanyagcellák fejlesztése

Az üzemanyagcellák üzemanyag és levegő keverékét alakítják át villamos árammá, hővé és vízzé. Polisztirol membrános üzemanyagcellákat a **NASA** már 40 évvel ezelőtt alkalmazott a *Gemini programban*, de azok élettartama még nem volt megfelelő.

A kutatások azóta is folynak ezen a területen, de a fejlesztés inkább a prototípusokig jutott, amelyeket szakkiállításokon, például a tokiói *Fuel Cell Expo-n* mutattak be.

Közös kísérletet folytat az **SFC**, **Brunthal-Nord** német cég a **Mitsui**-val, és az üzemanyagcellák fejlesztésén dolgoznak a **DuPont**-nál is. *A leglényegesebb elem a membrán-elektroda alapanyagaként alkalmazott fólia.* A **DuPont** diszperziós öntéssel vagy extrudálással előállított PTFE kopolimer membránt alkalmaz. A francia **Arkema**

cég PVdF-ből készült membránt fejlesztett ki *Kynar* márkanevű protoncsérés termékéhez. A **Gore Fuel Cell Technologies** erősített PTFE fluorionomer kompozit membránokat alkalmaz, melyek méretállósága és erőssége valamint olcsósága a döntő. Emellett folyik a kísérlet más anyagokkal is. A **Stanford Egyetem Kutató Intézete** szénhidrogén-alapú polimerekkel folytat sikeres kísérleteket. Bár nem nevezték meg alapanyagukat, valószínű *ultranagy molekulatömegű polietilénről* van szó. A membrán előállítás technológiájában is újdonságot vezettek be, oldószeres öntéssel állítják elő membránjaikat, ideiglenes hordozókat, mint pl. végtelenített szalagot vagy tekercset alkalmaznak a megszilárdulás előtti fázisban.

A műanyag-feldolgozók számára az üzemanyagcellák alkatrészeinek gyártása nyújtanak majd lehetőségeket, és biztos piac marad a metanol üzemanyagtartály is.

Fuel cells slated to energize plastics demand. = Modern Plastics, 82. k. 4. sz. 2005. p. 28–29.
Brennstoffzelle kommt voran- www.ticona.com

H. L.-né

Új elektronikus adatbank a műanyagokról

A **Weka Media** (Kissing, Németország) 6000 műanyag alapanyag típus és félkész termék (fólia, lemez stb.), valamint 1500 gyártó és szállító adatait összefoglaló adatbankot hozott létre, hogy segítse a feldolgozókat és a műanyag-felhasználókat a „műanyagok dzsungelében” eligazodni. Az egyes alapanyag típusokat mechanikai, termikus, villamos és egyéb, a felhasználás szempontjából fontos tulajdonságaik alapján lehet összehasonlítani, ami a célnak megfelelő típus kiválasztását nagyban segíti. Az adott típus kiválasztás után a gyártócégeket is felkínálja a program. Az adatbankot előfizetéssel lehet igénybe venni.

Kunststoff Berater 4. sz. 2006. p. 44.

O. S.