

Végtelen erősítőszálakat tartalmazó hőre lágyuló műanyag kompozitok (TPC)

A végtelen szállal erősített hőre lágyuló kompozitok alkalmazásán alapuló hibrid fröccsöntési módszerek az autógyártásnál hamarosan életbe lépő alacsony szén-dioxid-kibocsátási előírások által megkövetelt tömegcsökkentési igények következtében robbanásszerűen növekedhetnek. A hibrid fröccsöntés alkalmazásával komplex alakú, nagy szilárdságú és kis tömegű alkatrészek gyárthatók pl. a járművek és a mobil elektronikai termékek számára.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hibrid fröccsöntés; hőformázás; autóipar; kompozitok; PA; PAEK; PEEK; PET; PP; PE-HD; PPS; PEI.

A végtelen erősítőszálakat tartalmazó hőre lágyuló műanyagokra épülő hibrid fröccsöntési módszerek kiléphetnek a technikai kuriózumok kategóriájából, és rohamos fejlődésnek indulhatnak az autógyártásban a tömegcsökkentés és a hamarosan életbe lépő alacsony szén-dioxid-kibocsátási előírások által megkövetelt igények következtében. Ezeknél a módszereknél a hosszú, párhuzamos üveg-, szén- vagy más erősítőszálakat tartalmazó hőre lágyuló műanyag szalagokból készülő, illetve az ilyen, „végtelen” hosszúságú szálakból készített szöveteket beágyazó lemezekből kivágott és/vagy hőformázott előgyártmányokat készítenek. Az előgyártmányt a fröccsöntő szerszámba helyezik, majd a szerszám összezárása után ráfröccsöntik a hasonló kémiai összetételű, és ezért vele összeépülő, rövid erősítőszálakat tartalmazó polimert, ezáltal kialakítva az alkatrész funkciójának ellátásához szükséges bonyolultabb formát.

Termoplasztikus kompozitok (TPC) az autógyártásban

Az autóiparban ökölszabályként elfogadott nézet, hogy *gépkocsinként minden 50 kg tömegcsökkentés 1%-kal csökkenti a jármű üzemanyag-fogyasztását*, ezáltal hozzájárul a szén-dioxid-emisszió csökkentéséhez. Környezetvédelmi szempontokból bármilyen kis tömegcsökkentés számít: a Jaguar Land Rover szerint alkatrészenként 10 g tömegcsökkentés egy gépkocsimodell-sorozat teljes élettartama során 850 t szén-dioxid-kibocsátás csökkenést eredményez.

Az autóipar azonban nehezen fogad el új technológiákat, bármilyen innovatívak és előnyösek lennének is azok hosszú távon, különösen, ha azok drágák. Ugyanakkor a végtelen szállal erősített kompozitokon alapuló hibrid fröccsöntés alkalmazhatósága nem csak az autógyártásra korlátozódik, jó esélyei vannak a szórakoztató elektronika, a sportszerek és a repülőgépgyártás terén is.

A hőre lágyuló, végtelen szállal erősített kompozitok (TPC) feldolgozási technológiai elsősorban a megfelelően nagy K+F kapacitásokkal rendelkező műanyag alapanyagokat gyártókhöz és feldolgozó-gyártókhöz köthetők. A PuPont cég például *Vizilon TPC* márkanéven forgalmaz ilyen anyagokat. A DuPont az elsők között, még az 1990-es években kezdte meg e téren a fejlesztéseket, de húsz évvel ezelőtt eladta *Tepex* üzletágát az egyik magát önállósító vezetőjének, aki megalapította a Bond Laminates céget, amelyet később a Lanxess cég vásárolt fel. A *Vizilon* anyagok a DuPont visszatérését jelzik e területre. Ezek a termékek szőtt üvegszál szövettel erősített poliamid 66/6 kompozitlemezek, amelyekből stancolással vagy hőformázással alakíthatók ki az előgyártmányok, rájuk azután speciális, általában rövid üvegszálakat tartalmazó PA6 vagy PA66 anyagokat lehet ráfröccsönteni. Fontolgtják hasonló, párhuzamos üvegszálakat tartalmazó (UD) szalagok gyártását is, mivel ezek olcsóbbak. Ugyanakkor a szalagok nehezen tarthatók a helyükön a fröccsöntő szerszámban, ha csak nem készítenek belőlük (plusz technológiai lépés során) előgyártmányt.

A *Vizilon* kompozitokból készített termékek nem csupán a tömeget csökkentik, hanem ütközés esetén növelik az ilyen alkatrészek energiaelnyelő képességét is, amely meghaladja a fémekét. A *Vizilon TPC* próbatest 5,4-szer nagyobb energiaelnyelést mutatott a hasonló kiképzésű rövid üvegszálalás termékhez képest. A nagy alkatrészek közül a gépkocsik padlótálcáit célozzák meg, ahol nagy merevség és kis tömeg szükséges. A különböző alkatrészekhez jelenleg használt fém alkatrészek kiváltása, különösen a biztonsággal kapcsolatos területeken nagyon időigényes feladat, meg kell győzni az autógyárakat a tervezés, a gyártás, az összeszerelhetőség és még számos más szempont megfelelőségéről. *Az ár különösen fontos tényező, ezért koncentrál a DuPont az üvegszálakra a drágább szénszálalás megoldások helyett.* A TPC anyagok alkalmazásához az anyag és a feldolgozási technológia adottságait kihasználó terméktervezésre is szükség van. Ehhez a DuPont is felhasználja a végeselemes számítási módszereket és kísérleti gyártóközpontot állított fel a fejlesztések, a prototípusgyártás és a demonstráció támogatására.

A tényleges hajtóerőt a szén-dioxid-kibocsátás visszaszorítását megkövetelő hatósági előírások hamarosan bekövetkező életbe lépése jelenti, ugyanis *Európában 2021-ben egy autógyártó CO₂ kibocsátása flottaszinten nem haladhatja meg a 95 g/km értéket, amely 40%-kal kevesebb, mint a 2007-es 158,7 g/km szint.* Várható, hogy ha valamelyik jelentős autógyár megkezdi a TPC alkatrészek tömeges alkalmazását, a többiek gyorsan követni fogják, ez pedig ki fogja váltani a technológia robbanásszerű elterjedését.

Néhány éve a PSA Peugeot Citroën és a DuPont közös projektben egy oldalsó ütközőrudat fejlesztett ki *Vizilon TPC-ből*, amely 40%-kal volt könnyebb, mint az ultranagy szilárdságú acél alkatrész, miközben nagyobb energiaelnyelést tanúsított, mint akár a fém, akár a rövid üvegszálakkal erősített műanyag változatok, és jó teljesítményét megőrizte a -40 °C és $+90\text{ °C}$ közötti hőmérséklet-tartományban. A brit Nifco UK is a *Vizilon TPC* anyagból készítette el a kormányzat által támogatott Jaguar Land Rover ALIVE6 projekt során a gépkocsi olajteknőjét (*1. ábra*), amely a vizsgálatok szerint az összes követelményt kielégíti és 1 kg tömegmegtakarítást eredményez.



1. ábra A DuPont cég *Vizilon TPC* anyagából a Nifco cég tervei alapján legyártott olajtálca prototípusa

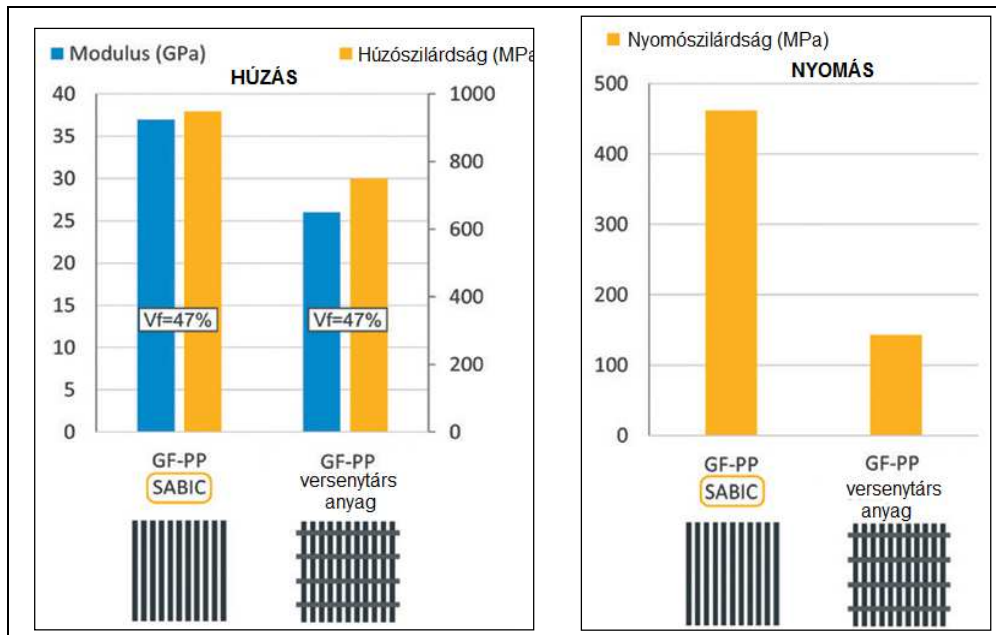


2. ábra A Bentley Continental és a Porsche Panamera gépkocsik *Tepex TPC* előgyártmánnyal előállított fékpedálja

Már sorozatgyártásban van egy TPC alkatrész, igaz, hogy csak luxusautóknál, mint amilyen a *Porsche Panamera NF* és a *Bentley Continental GT* (Volkswagen csoport), mégpedig egy fékpedál (2. ábra). A BOGE Elastmetall és Lanxess High Performance Materials üzletág a közös fejlesztésével elkészült alkatrész elnyerte az SPE (Műanyag Mérnökök Egyesülete) autóiipari díját a járművek beltéri egységeinek kategóriájában, mivel csak a felét nyomja az acélból készült pedál tömegének. Az egy lépéses gyártás költséghatékony, és a pedál több tengely szerinti szálelrendezésű *Tepex* előgyártmánya révén kielégíti a nagy mechanikai igénybevételre vonatkozó követelményeket. A *Tepex Dynalite* félkész termék hőre lágyuló mátrixanyaggal, amelyet több üvegszál szövetréteggel erősítenek meg. A fékpedálba a hosszirányú elrendezésű szálerősítés mellett arra ± 45 fokos irányultságú szőtt belső szálrétegeket is beépítenek, amelyek a torziós erőket veszik fel, míg a külső hosszirányú rétegek a húzó és a hajlító erőket nyelik el. Az egy lépéses, hibrid technológiában a Lanxess cég 60% rövid üvegszálat tartalmazó *Durethan BKV 60 H2.0* poliamid 6 anyagát fröccsöntik rá az előgyártmányra.

A SABIC cég egy, a TPC területen már működő kisebb cég, a holland FRT Tapes felvásárlásával (jelenlegi neve: SABIC FRT) lépett be a hőre lágyuló, végtelen száalakkal erősített műanyag kompozitok üzletágába. A SABIC FRT elsősorban párhuzamosan elhelyezkedő (UD) üveg- és szénzáalakkal erősített hőre lágyuló műanyag szalagokra fókuszál, amelyeket többféle alkalmazásokra (pl. az építőipar, járműipar számára) kínál. A tavalyi frankfurti Motor Show kiállításon az *UDMax* márkanévű szalagokkal a haszonjárművek alkatrészeit célozták meg; egy kamion padló- és oldal-fallemezt, illetve belső elválasztó lemezeket mutattak be. A SABIC UD szalagjaihoz többféle erősítőszálat és hőre lágyuló műanyag mátrixot alkalmaz. Az elsők között szerepelt az *UDMax GPP 45-70* család, amely üvegszál-erősítésű polipropilén. Az UD szalag előgyártmányok alkalmazása különösen az olyan, végleges formájukat a ráfröccsöntés után elnyerő alkatrészeknél előnyös, ahol a terhelés nagy része jól meg-

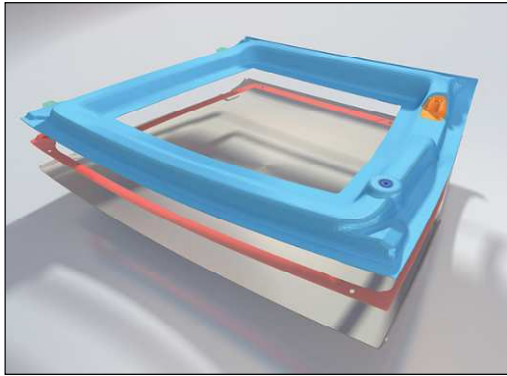
határozható, adott irányban lép fel. Ilyen esetekben a párhuzamos szálak jobb mechanikai jellemzőket biztosítanak, mint a hullámos szálakat tartalmazó szövetek (3. ábra). A többirányú terheléseknek kitett, minimalizált tömegű alkatrészekben az UD szálak optimális elrendezése a fő terhelés irányába mutató szálak mellett az azokkal ± 45 fokos szöget bezáró szálakkal érhető el, ami előnyösebb, mint a szövetek 90 fokos szöget bezáró szálrendezése. A SABIC vizsgálatai szerint az azonos merevséget mutató alkatrészek közül az UD szalaggal készítek 26%-kal könnyebbek.



3. ábra Az üvegszálás polipropilén UD szalagok és a szöveterősítésű TPC-k mechanikai tulajdonságainak összehasonlítása (forrás: SABIC)

A DSM cég is kifejlesztett saját poliamidjain alapuló, 50–65 % (m/m) üveg- és szénszál-erősítésű UD szalagokat (*EcoPaXX PA 410*, *PA4T-bázisú ForTii*, *Akulon PA66*). A szalagok szélessége 6–600 mm. A poliamidbázisú UD szalagokon alapuló hibrid fröccstermékek nagyon sokféle, jelenleg fémből készített terméket képesek kiváltani.

A K2016 kiállításon mind az Engel, mind pedig a KraussMaffei cég bemutatott poliamid 6 bázisú, gyanta transzferöntéssel előállított, végtelen szállal erősített rendszereket is, ahol az erősítőszövetet tartalmazó, összezárt szerszámba befecskendezett kaprolaktám a meleg szerszámüregben polimerizálódott. A KraussMaffei bemutatóján a Dieffenbacher cég által készített előgyártmányok felhasználásával egy Roding Roadster R1 sportkocsi tetőkeretét állították elő (4. ábra). A Dieffenbacher cég berendezéseivel egy lépésben lehet többféle erősítőszálás előgyártmányt készíteni, amelyeket egy robot helyez be a fröccsszerszámba, anélkül, hogy külön rögzítő eljárásra lenne szükség. A bonyolult alakú előgyártmányok egyszerűbb részgyártmányokra bontása csökkenti a gyártási folyamat komplexitását.



4. ábra A KrausMaffei szerszámban polimerizálódó PA6 mátrixú gyantájából transzferöntéssel készülő TPC tetőhéjkeret a *Roading Roadster R1* sportkocsihoz



5. ábra A Covestro TPC anyagából készült könnyű notebook számítógépház

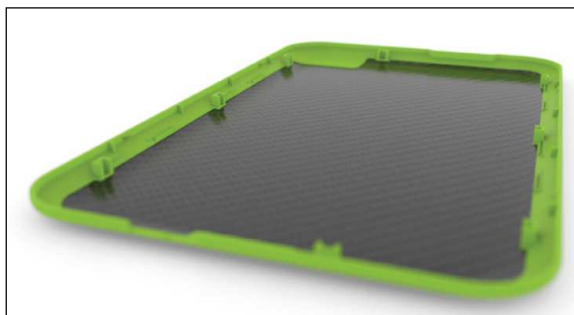
TPC-k a repülőgépgyártásban és az elektronikus eszközökben

A Vitrex cég rendelkezik a poli(aril-éter-keton) (PAEK) piac oroszlánrészével; ezeket a polimereket hosszú szálakkal erősített kompozitként a repülőgépgyártásban alkalmazzák. Az ilyen kompozitok a tömegcsökkentés mellett a gyártási időt is csökkentik. Az újabban piacra dobott PAEK alapú *Vitrex AE 250* kompozitcsalád, amely rendkívül jó teherviselő képességekkel rendelkezik, is ezt a célt szolgálja. Felhasználásával a repülőgép primer és szekunder szerkezetében alkalmazott konzolokat, rögzítőelemeket és burkolatokat készítenek a kabintól (pl. ülések) az üzemanyag-tartályokon át a motorokig terjedően. E kompozitok alkalmazása mellett, hogy a fémekhez képest mintegy 60% tömegcsökkentést tesz lehetővé, csökkenti a gyártási időt, és csökkenti a költségeket is a hibrid fröccsöntés komplex alakadási lehetőségeit kihasználó termékkialakítás révén. A hibrid fröccsöntés során a „végtelen” szálakkal erősített előgyártmányokra rövid szálakkal erősített Vitrex PEEK polimereket fröccsöntenek rá. Az ilyen alkatrészek 60%-kal könnyebbek, mint a repülőgépgyártásban széleskörűen alkalmazott króm/nikkel/molibdén ötvözetű szívós *AISI 4130* acélból készültek, és szignifikánsan könnyebbek a könnyűfém alkatrészekhez képest is, mint amilyenek a *TA6V* titán, a *7075-T6* alumínium vagy a *ZK60A* magnézium alkatrészek. *A Vitrex kompozitok szilárdsága is kiváló, fajlagos szilárdságuk az AISI 4130 acél ötszöröse.*

A szórakoztató elektronika, különösen a hordozható készülékek alkotják a TPC anyagok felhasználásának másik nagy potenciális piacát. A felhasználók ugyanis egyre vékonyabb és könnyebb mobil eszközöket (és TV-ket) igényelnek, amelyek emellett erősek, dekoratívak és környezetbarát jellegűek is. A fémek és a rövid szállal erősített kompozitok e téren már nagyjából elérték alkalmazhatóságuk határait, ezért a gyártók egyre inkább a TPC anyagok felé fordulnak (5. ábra). A Coventro cég TPC anyagai

rendkívül jó szilárdság/tömeg arányú készülékházak gyártását teszik lehetővé, amelyek emellett elérik az UL-94 szerinti V-0 éghetőségi fokozatot is. Ezek a kompozitok szénszál-erősítésű UD szalagokon alapulnak, amelyekből több réteget fektetnek egymásra, majd kistancolják és laminálják őket, miáltal rendkívül szilárd és merev, zsugorodás- és vetemedésmentes lemezek állíthatók elő. A rétegek száma, irányultsága és sorrendje az alkalmazás szerint optimalizálható. Felületük esztétikus, a szénszálak miatt jó hővezetők, kocogtatásra fémszerű hangot adnak.

A gépgyártók közül az Engel cég korábban főleg autóiipari TPC projektjeit futtatta, újabban a Covestrohoz hasonlóan lehetőséget lát a notebook, tablet és okostelefon készülékházak piacán is, ahol ki tudja használni ezen innovatív kompozitok kis tömegét és nagy stabilitását. A K2016 kiállításon az Engel a Bond-Laminates és a Leonard Kurz cégekkel együttműködve mutatta be hibrid fröccsöntéssel, szerszámon belüli címkézés (IML) módszerével készülő, robusztus, mégis szofisztikáltan dekoratív, nagyon vékony falú készülékházakat előállítani képes technológiáját (6. ábra). A nagymértékben automatizált gyártócella több korábban kifejlesztett technológiát kombinált a *Tepex* előgyártmányok és az IML fóliák felhasználásával: az Engel *Organomelt* eljárását az előgyártmányok formálására és funkcionálisítására a fröccsöntés során, az Engel *Variomelt* eljárását a felületi minőség szabályozására a *Variotherm* szerszámhőmérséklet szabályozása révén, és az IML technikát a felület megjelenése és funkcionális finiselésé céljából, közvetlenül a fröccsszerszámban. A gyártócella központi egysége egy Engel 500V/130 fröccsgép volt, egy tekerescből-tekerescbe működő IML egységgel kiegészítve. Ennek munkáját a darabok mozgatásában egy Engel *Easix* 6-tengelyes robot, az előgyártmányok előmelegítésében pedig egy szintén Engel gyártmányú infravörös fűtésű kemence támogatta. A robot és az előhőkezelő kemence vezérlését integrálták a fröccsgépet vezérlő számítógépbe. Az Engel öt különböző méretű kemencét fejlesztett ki, amelyek közül a legnagyobb 1110x1610 mm felület besugárzására alkalmas, tehát akár komplett gépkocsiajtókat vagy más karosszéria elemeket is képes kezelni.



6. ábra A Bond-Laminates TPC anyagából az Engel cég hibrid fröccsöntő technológiájával készített ultravékony falú könnyű készülékház



7. ábra A KraussMaffei *FiberForm* eljárásával készített TPC tartókonzol gépkocsik szórakoztató elektronikájához

A KraussMaffei, amely évekkel ezelőtt vezette be *FiberForm* eljárását, és azóta is folytatta ennek fejlesztését, olyan gyártócellát mutatott be a K2016 kiállításon, amely már majdnem elérte végleges, tömegtermelésre alkalmas formáját, és amely gépkocsik szórakoztató elektronikai központjának tartószerkezetét gyártja (7. ábra). Ebben az eljárásban az előgyártmányt először felmelegítik, a fröccsszerszámban előformázzák, majd ráfröccsöntik a rövid szálakkal erősített hőre lágyuló műanyagot. Az eljárás kritikus szakasza az előmelegítés, mivel a túl magas hőmérséklet a polimermátrix degradációjához vezet. Ezért az előmelegítés vezérlését beépítették az MC6 típusú fröccsgép vezérlésébe. Ezáltal nemcsak gyors, túlhevítés nélküli felfűtés válik lehetségessé, de a gyártási adatok gyűjtése során lehetséges az aktuális felfűtési görbe ellenőrzése és tárolása is. A bemutatott gyártócella közös Z tengelyükön összekapcsolt két KraussMaffei LRX-250 robotot tartalmazott, ami lehetővé tette, hogy egyidejűleg végezzék a félkész termék előmelegítését és a kész darab kiemelését. A gyártócella kifejlesztésében részt vett a Lanxess és a Bond-Laminates cég, illetve a szerzőgyártó Christian Karl Siebenwurst.

Az alapanyagokat és műanyag-feldolgozó gépeket gyártó nagy cégek mellett azonban kis önálló vállalatok is gyártanak TPC anyagokat, mint amilyen a PlastiComp, amely termékportfóliójában sokféle, üveg- és szénzál-erősítésű szalagot kínál. Ezeket elsősorban olaj- és gázvezetékek csöveihez, illetve hibrid fröccstermékek szelektív erősítésére ajánlják. Az ilyen termékek tömeges elterjedésének fő akadályja a magas ár, ugyanakkor az árcsökkenést a kis volumenek akadályozzák.

Tavaly a TenCate cég *Cetex TC1225* márkanéven vezette be PAEK alapú, végtelen szénzállal erősített UD szalagjait, laminátjait és prepregjeit, amelyek alacsonyabb hőmérsékleten formázhatók, mint a hasonló PEEK bázisú termékek. Fő alkalmazási területként a repülőgépek utasterét jelölték meg. A cég a PEEK mellett termékeihez sok más hőre lágyuló polimermátrix anyagot is használ, mint amilyen a PE-HD, a PP, a PET és a PA6, illetve a poli(éter-imid) (PEI) és a poli(fenilén-szulfid) (PPS).

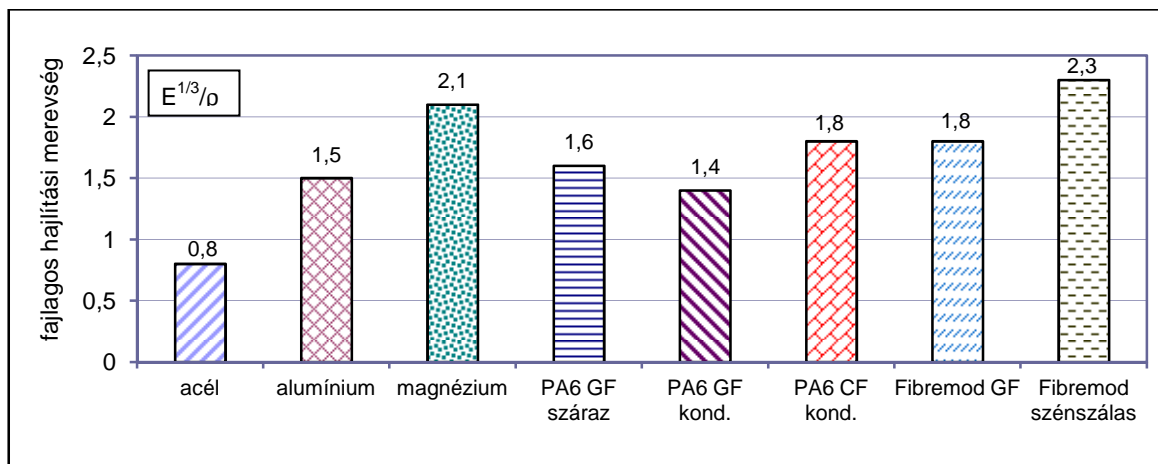
Az aacheni műanyag-feldolgozó kutatóintézet (IKV) is a K2016 kiállításon mutatta be Industry 4.0 műanyag-feldolgozó gyártócelláját, amellyel végtelen szálakkal erősített habosított hőre lágyuló műanyag hibrid terméket, egy kerékpárnyerget állítottak elő. A rendszer lehetővé teszi a teljes folyamat visszakereshető dokumentálását a megrendeléstől a gyártási adatokon át a termék minőség-ellenőrzési információkig terjedően. Az eljárásban a sportkerékpárok minden egyes ülését a vevő igényei szerint a szükséges helyeken és a kívánt mértékig lehetett megerősíteni. A hosszú üvegszállal erősített polipropilénből fröccsöntött nyerget a szükséges helyeken, mind az alsó, mind pedig a felső felületén UD laminátokkal erősítették.

A gépgyártó Arburg gyártócellájának központi eleme is a *szálerősítésű laminátok integrálásán alapul* a saját *ProFoam* technológiájukkal.

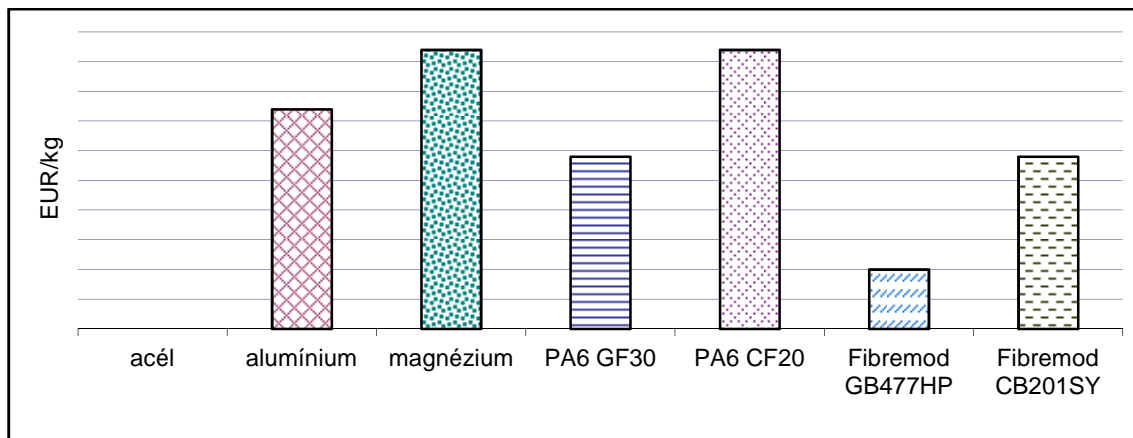
Rövid szállal erősített kompozitok

Az új fejlesztések egy része a rövid szállal erősített alapanyagokra irányult. A Borealis a múlt év elején dobta piacra új *Fibermod* termékcsaládját, amely rövid szénzállal erősített polipropilén fröccstípusokat tartalmaz, és amelyet elsősorban az

autógyártás tömegcsökkentő tendenciáinak kiszolgálására szántak (8. ábra). Különösen az elektromos meghajtású gépkocsik alkatrészeiben lehet nagy szerepük, ahol 10% tömegcsökkentés 5%-kal csökkentheti az akkumulátorok (a jármű össztömegének mintegy 25%-a) mennyiségét, vagy pedig ennyivel növelheti meg a jármű hatótávolságát. Ezeknek az anyagoknak az ára magasabb ugyan, mint az acélé, azonban a *Fibermod*-nál a legkisebb ez az árkülönbség (9. ábra). E típusoknál 0,5–1 mm hosszú szénszálakat alkalmaznak, amelyek a hosszú szénszálal anyagok gyártásánál keletkező hulladékból származik, ezért olcsó és környezetkímélő megoldást biztosít. A jelenleg elérhető öt típus száltartalma 6–40%. A megcélzott alkatrészek magukba foglalják a vezérműlánc-beállítást, szivattyú- és fényszóró-burkolatokat, olajtálcát, sebességváltó-alkatrészeket, tetőablakkereteket, ülésvázakat, könyöklőket és a csomagterajtók szerkezeti elemeit.



8. ábra A *Fibermod* polipropilén kompozitok hajlítási merevsége más szerkezeti anyagokhoz képest



9. ábra A különböző szerkezeti anyagok fajlagos anyagköltség-növekedése az acélhoz képest

Összeállította: Dr. Füzes László

Mapleston P.: Thermoplastic composites set for automotive breakthrough = Injection World. www.injectionworld.com, 1. sz. 2017. p.18–28.