

## Új anyagkombinációk az autóiparban

Az autóipar érdeklődése a műanyagok iránt töretlen: a teljes karosszéria műanyagosítása azonban még a kísérletek szintjén van. A gépkocsi tömegét habok alkalmazásával is csökkenteni lehet. Az epoxigyanta alapú szerkezeti habok statikus és ciklikus terhelés esetében is javítják a merevséget és a szilárdságot, valamint energiaelnyelő tulajdonságokat is mutatnak.

*Tárgyszavak: hosszú szálás műanyagkompozit (LFT); autóipar; szerkezeti hab; epoxi; PP; műszaki műanyagok; szimuláció.*

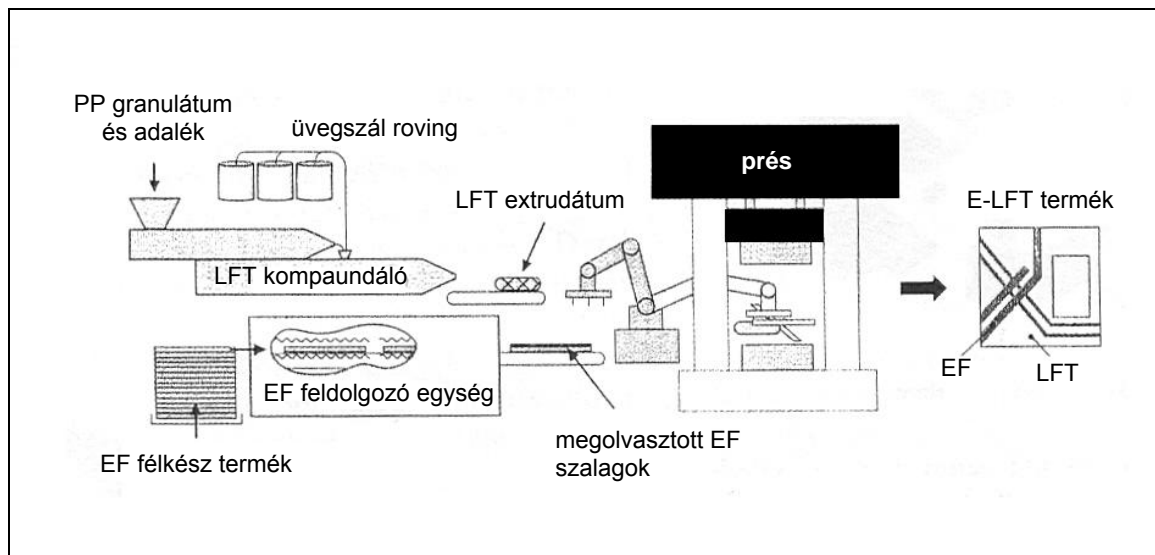
### Műanyag karosszériák

A hosszú szálakkal erősített hőre lágyuló műanyagok (LFT) a viszonylag nem drága mátrixpolimerek és az egyszerű feldolgozhatóság miatt lehetőséget kínálnak arra, hogy a szálerősítésű szerkezeteket a nagy sorozatú gyártásba is gazdaságosan bevezessék. Annak ellenére, hogy kis sűrűségük miatt a kompozitok hatékonyan alkalmazhatók lennének könnyűszerkezetes konstrukciókban, eddig a fémekkel többnyire nem versenyképes mechanikai tulajdonságaik nem tették lehetővé az olyan nagy szerkezeti egységek elkészítését, mint a karosszériák. Ha azonban az LFT hagyományos feldolgozását kiegészítik *folyamatos szállal erősített hőre lágyuló műanyagok* alkalmazásával, előrébb lehet jutni ezen a területen is (ún. E-LFT szerkezetek).

*A technológia tulajdonképpen az LFT hagyományos feldolgozására épül, de lehetővé teszi további szerkezeti elemek (pl. fémek) integrálását a végtermékbe. A végtelen szállal erősített hőre lágyuló szerkezeti elemek terhelés szerinti beépítésével kitűnő 3D teherhordó struktúrákat lehet kialakítani. A módszer elvét az 1. ábra mutatja. Az egy lépésben készülő termékek integrált végtelen szálal elemeket tartalmazó LFT alkatrészek, de vannak szövetbehelyezéssel készült lokális erősítések is.*

#### *E-LFT szerkezetek alkalmazásai*

Az egyik első alkalmazás a „*smart fortwo*” gépkocsi *csomagtartóteteje*, amely üvegszállal erősített polipropilénből készült (PPGF30 és PPGF60 UD – az első az LFT, a második az EF típus). A korábbi típushoz képest ezzel a megoldással a merevséget 20%-kal tudták növelni változatlan tömeggel és 10%-kal kisebb költséggel. A tetőt modulszerű felépítése, a követelményeket teljesítő jellemzői miatt a *Cabrio* és a *Coupé* típusokba is be tudják építeni. A 2006-ban indult gyártás során már több száz ezer csomagtartófedél készült ezzel a technológiával.



1. ábra A végtelen szálakat (EF elemeket) tartalmazó hosszú szálalag hőre lágyuló műanyagból (LFT) készülő E-LFT szerkezetek automatizált gyártása

Másik alkalmazásként említhető egy *hátsó üléstámla*, amely kettő/egy arányban osztott és tartalmazza a középső biztonsági ülést és a gyermekülést rögzítő pontokat is. A tervezés során rendkívül részletes szimulációs munkát végeztek, majd az ütközési teszteket 60 km/h fölötti sebességgel, és 45 g-nél (gravitációs gyorsulás) nagyobb lassulással végezték el. A statikus terhelésnél 20 kN erővel húzták a biztonsági öveket és a rögzítésnek ezt a húzóerőt legalább 10 s-on át ki kellett bírnia. A prototípusok átmentek a kemény próbán. Az eredetileg 30 alkatrészből álló terméket sikerült úgy átalakítani, hogy csak 5 alkatrészből álljon, és a fémből készült szerkezethez képest 20–30%-kal csökkent az üléstámla tömege.

### Új karosszériakonceptió

Függetlenül attól, hogy mi lesz a jövő új meghajtása, egy biztos: minél könnyebb a mozgatott szerkezet, annál kevesebb energiát kell felhasználni a mozgatására. Ha a gépkocsik tömegét a jelenlegi átlagos 1300 kg-ról sikerülne 800 kg-ra csökkenteni, már a mai benzinmotorok mellett is 100 km-ként 0,5–2 l benzint lehetne megtakarítani. Tekintettel arra, hogy eddig az E-LFT elemekkel nagyon jó tapasztalatokat szereztek, és a szerkezetek numerikusan jól jellemezhetők, felmerült annak a lehetősége, hogy teljes teherhordó karosszériát próbáljanak meg ilyen technológiával előállítani. Ehhez az kell, hogy a technológia minden előnyét teljesen ki lehessen használni. Ha ez sikerül, gazdaságilag és műszakilag is sikeres fémkiváltásról lehet beszélni. A gazdaságosságot biztosítaná az olcsó kiindulási anyag, az egylépcsős gyártástechnológia, a nagyfokú automatizáltság és a szükséges alkatrészek számának drasztikus csökkentése. A gazdaságosságot javítaná a funkcionális elemek integrálása is.

A koncepció ellenőrzésére egy olyan kisautót terveztek, amelynek orrrésze fémből készül, de a karosszéria többi része E-LFT technológiával. A megfelelő merevség biztosítására a padlót kétrétegűnek tervezték. A mai szimulációs programok lehetővé teszik a delamináció és a tönkremenetel előrejelzését is, ami jelentősen segíti a tervezést. Az utaskabin számos PP-GF (üvegszálalás polipropilén) E-LFT héjelemet tartalmaz. Az alkatrészek méretét, számát a prés mérete, záróereje és a feldolgozó berendezések anyagátbocsátó képessége határozta meg. A modulokat úgy alakították ki, hogy legyen hely a pedáloknak, a klímának, a vezérlésnek, az elektronikának és a további biztonsági berendezéseknek (pl. légzsák). Bizonyos funkciók közvetlenül integrálhatók, a burkoló és kiszolgáló elemek pedig az összeszerelés során helyezhetők el. A kényelmet szolgálja az alkalmazott anyagok jó vibrációelnyelő képessége. Az első verzióban mind az első, mind a hátsó vázrészt acélból készítik. A héjelemekkel elérhető tömegcsökkentés óriási, a *prototípus-gépkocsi tömege mindössze 642 kg*.

### *Tervezést támogató számítások*

Statikus torziós és hajlítási merevségi vizsgálatokat, szimulált ütközési tesztet (2 emberi test figyelembevételével) és frekvenciaanalízist végeztek. A 60 °C-ra számított torziós merevség (9200 Nm/fok) 10%-kal haladta meg az előírtat és a hajlítási merevség (6000 N/mm) is jóval nagyobb volt az előírt értéknél (3900 N/mm). A szimulált ütközésben 60g lassulást és 50–55 km/h sebességet tételeztek fel. A számított feszültségeloszlás egyenletes, a terhelést a folytonos szálalattartalmazó elemek veszik fel.

Az egyes építőelemeket majdnem teljesen készre préselik, az inzerteket beépítik, hogy a később felszerelendő elemeket hozzájuk tudják kapcsolni, beleértve az orr- és a farszerkezetek fémből készült rögzítőelemeit. A nem bontható rögzítéshez forrasztás és ragasztás kombinációját használják. Az összekapcsolandó elemeket először letisztítják, majd előkezelik, és végül következik az elemek rögzítése, legvégül az orr- és far-elemek felszerelése.

A kísérlet bebizonyította, hogy megfelelő technológiával és a folyamatos, valamint hosszú vágott szálalattartalmazó kombinációjával olyan tömegműanyagokból is készíthetők karosszériaelemek, mint a PP. A koncepció számos további alkalmazásra is kiterjeszhető, pl. a motortérre olyan hőálló műanyagok alkalmazásával, mint a PA6, a PA66 vagy a PBT. Számításba jönnek ennél is nagyobb értékű műanyagmátrixok vagy fémműanyag hibridek. A nagyfokú integráció tovább javítja a gazdaságosságot. Sikeresen kidolgozni olyan sorozatban is alkalmazható, automatizált rögzítési technológiákat, amelyeket nagy darabokra is jól lehet használni, de amelyek elég rugalmasak ahhoz, hogy többféle konstrukcióhoz módosíthatók legyenek. Ami a felületminőséget illeti, már ma is előállíthatók elfogadható minőségű szabad, látható felületek, de *úgynevezett „A” minőségű felület egyelőre nem érhető el*.

### **Szerkezeti habok epoxigyantából**

A járművek könnyítésének a szálerősítéses műanyagok alkalmazásán kívül egyéb lehetőségei is vannak. Magának a könnyítésnek a szükségességét senki nem vitatja,

hiszen nőnek az üzemanyagárak, és pl. az EU-ban törvényi szabályozók is előírják a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését. Ugyanakkor a szerkezet könnyítése nem mehet sem az utasok, sem a gyalogosok biztonságának a rovására. A tömegcsökkentés egyik lehetősége a szerves alapanyagokból (főként műanyagokból) készült szerkezeti habok alkalmazása. Nőni fog a szerkezeti ragasztók szerepe is, mert a modern szerkezeti anyagok egy része nem, vagy csak bizonyos feltételek mellett hegeszthető. A szerkezeti habok alkalmazása a moduláris építkezést is elősegíti, mert lokálisan növelhetik a merevséget vagy a szilárdságot anélkül, hogy változtatni kellene az eredeti alakon.

A **Henkel Terocore** nevű *epoxigyanta alapú szerkezeti habjai* statikus és ciklikus terhelés esetében is javítják a merevséget és a szilárdságot, valamint energiaelnyelő tulajdonságokat is mutatnak. A habok finom, zárt pórusokat tartalmaznak és izotróp tulajdonságokat mutatnak. A karosszériaépítésben már ma is számos betét készül ezekből az anyagokból. A habokat gyakran kombinálják erősítő elemekkel, pl. üvegszálalás poliamiddal. A hőre lágyuló komponenst fröccsöntéssel állítják elő, a szerkezeti habot pedig extrúzióval vagy egy második fröccsöntési lépéssel viszik fel rá. Léteznek fémhordozóra felvitt, de hordozómentes megoldások is, pl. üregbe bevitt habok vagy profilok. Nagy felületű lemezek merevítésére használnak úgynevezett „foltokat” is, olyan szerkezeti habpaplanokat, amelyek hátoldalára üvegszálfátylat visznek fel. A karosszériaszerezés során a nyers habelemeket a hordozóval együtt bejuttatják a karosszériába és ott csipeszekkel vagy acél esetében pl. hegesztéssel rögzítik, majd az elemek az egész gyártási folyamaton végigmennek, beleértve a katódos lakkozást. A végleges felhabosodásra is ekkor, a melegítés során kerül sor, ekkor veszik fel végső alakjukat. A *Terocore* epoxigyantahab jól tapad a fémhez és a lakkhoz (de pl. poliamidhoz) is, ezért korrózióvédő bevonatként is alkalmazható. A kétkomponensű habtermékek a szerelősoron vagy pl. javítás során is jól használhatók.

### *Tipikus alkalmazások*

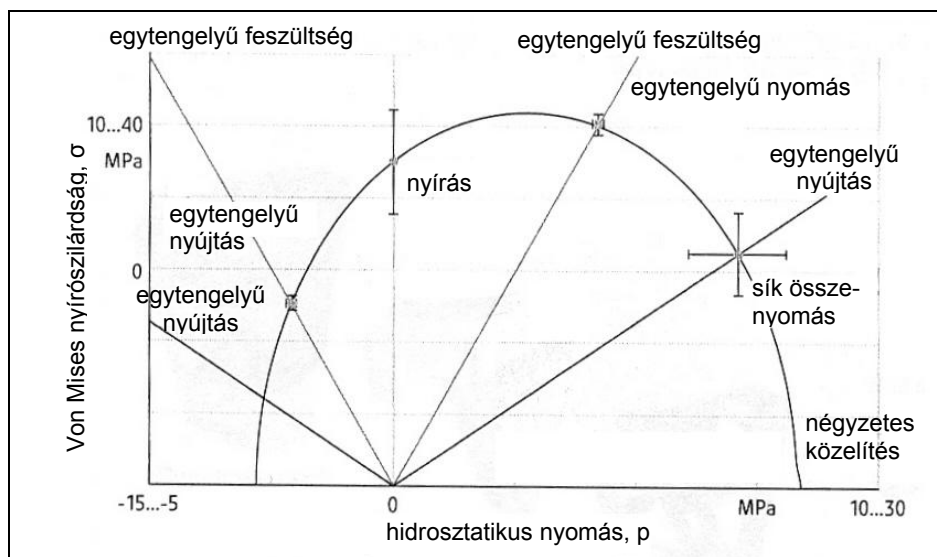
Szívesen használják az epoxigyanta szerkezeti habokat zárt profilok és nagy lemezfelületek (pl. ajtók) merevségének és energiaelnyelő képességének növelésére. Használják még tartóbakok (pl. motortartó), oszlopok, profilsomópontok (pl. az A-oszlop és a tetőkeret találkozása), valamint keretszerkezetek (pl. tetőkeret) merevítésére – vagyis szinte a karosszéria összes pontján. Ütközések során (legyen szó oldalelemről, motorháztetőről vagy a tetőről) a szerkezeti hab növeli az energiaelnyelést és hozzájárulhat a gyalogosok védelméhez is.

A *Terocore* anyagok különféle minőségben kaphatók. Minden alkalmazáshoz a megfelelő típust kell kiválasztani. A legnagyobb szilárdságú típus ( $0,5 \text{ g/cm}^3$  habsűrűségű) nyomószilárdsága 25 MPa, szakadási nyúlása pedig 30% körüli, rugalmassági modulusa 1,5 GPa

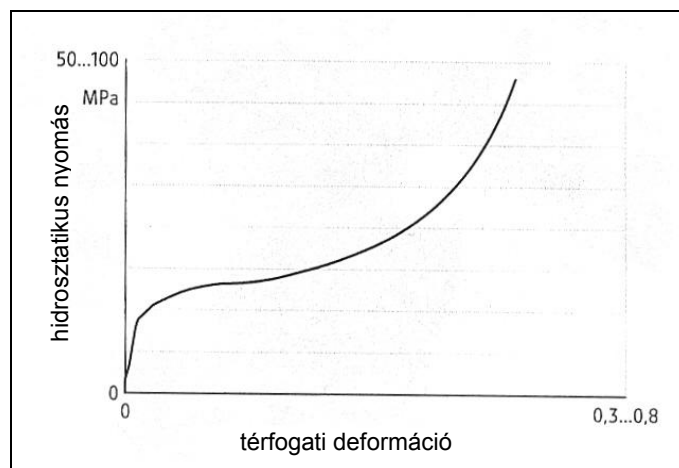
### *Tervezés és modellezés*

A mai gyártástervezésben nagyon fontos szerepet játszanak a végeelem (FEM) programok, ezért *hátrányban vannak mindazok az anyagok, amelyekre nem áll rendelkezésre*

kezésre megfelelő adat vagy matematikai modell, ezért a Henkel teljes mérnöki támogatást nyújt anyagaihoz. Ez kiterjed a CAD-támogatásra, a prototípusgyártásra, a fejlesztési know-how-ra, a virtuális termékfejlesztésre és optimalizálásra FEM modellek segítségével. Ahhoz, hogy a számításokat el lehessen végezni, és az eredmények valóban visszatükrözzék a komplex termékek viselkedését, jó mérési adatoknak kell rendelkezésre állniuk statikus, rezgő és ütősszerű igénybevételek mellett, még hozzá lehetőleg széles hőmérséklet-tartományban. A haboknál mindezek a jellemzők a sűrűségtől is függenek, ami tovább növeli a vizsgálandó paraméterek számát. Szemben a fémekből történő tervezéssel, a polimerekkel kapcsolatos know-how néha csak részben áll a gyártók rendelkezésére. Az acéltól és az alumíniumtól eltérően a műanyagok (a *Terocore* termékek is) feszültségi állapottól függő szilárdságot mutatnak, ezért egytengelyű nyújtási vizsgálatokat, egytengelyű nyomóvizsgálatokat (henger és lap alakú próbatesteken), valamint nyíróvizsgálatokat kell végezni (az utóbbiakat rendszerint ragasztott próbatesteken), végül hidrosztatikus nyomóvizsgálatokat folyékony közegben. A hidrosztatikus nyomás különböző értékeihez tartozó ún. *Von Mises feszültséget* ábrázolva a tervezéshez használható diagramot kapnak (2. ábra). A számításoknál alkalmazhatók az olyan anyagmodellek, amelyek szerint a folyási határt meghaladó feszültségek esetén az anyag közel ideális plasztikus viselkedést mutat. A *Terocore* anyagok sajátos viselkedést mutatnak hidrosztatikus feszültség hatására (ld. a 3. ábrát): a növekvő deformációval egyre nő a nyomás. A buborékokban bezárt gázok egy idő után teljesen komprimálódnak, a nyomószilárdság a tiszta epoxigyantáéhoz közelít. Erre az esetre külön, a felhasználó által definiált anyagösszefüggést kellett kidolgozni, más esetekben azonban használhatók a már ismert anyagösszefüggések.



2. ábra Egy szerkezeti hab tipikus szilárdsági diagramja (tipikus intervallum van feltüntetve, az ezen belüli elhelyezkedés a terméktől és a sűrűségtől függ)



3. ábra Az epoxigyanta alapú szerkezeti hab viselkedése hidrosztatikus nyomás hatására (a görbe a tipikus viselkedést mutatja, a konkrét számértékek a sűrűségtől függnek)

### *Virtuális optimalizálás*

Manapság a végeelem modelleket nemcsak arra használják, hogy megjósolják, miként fog viselkedni egy alkatrész a gépkocsiban, hanem arra is, hogy optimalizálják a terméket még mielőtt gyártásba vinnék. Lineáris modellek alkalmazhatósága esetén (ami gyakran fennáll a karosszériaelemek tervezésekor) gyakran alkalmazzák az *ún. topológiai optimalizálást*, vagyis a tervezett térfogatot megpróbálják „szellősebbé” tenni anélkül, hogy a szilárdság csökkenne (ez az elv jól ismert az I-profil vagy az üres cső/rúd esetében). Törési folyamatokban (ütközési szimuláció) a topológiai optimalizálás csak a kezdeti merevség optimalizálására alkalmas, utána végre kell hajtani a teljes nem lineáris modellezést a nagy deformációknál. Ez több számítást igényel, de ugyancsak jól használható a végleges geometria meghatározásához.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
www.polygon-consulting.ini.hu

Berlin, M.; Rüegg, A.: Karosserie aus Kunststoff = Kunststoffe, 99. k. 7. sz. 2009. p. 66–69.  
Welters, T.: Leichter, steifer, fester = Kunststoffe, 99. k. 11. sz. 2009. p. 104–107.