

## Határfelületek többkomponensű társított rendszerekben

A társított rendszerek témaköre már régóta sokak által művelt kutatási és fejlesztési terület. Az alábbi cikkben a témakör avatott hazai kutatásvezetője foglalja össze az elmúlt évek kutatási eredményeit elsősorban a heterogén rendszerek határfelületeire vonatkozóan, és egyben a további kutatási célokat is megfogalmazza. A feldolgozás alaposágára utal, hogy a szerző cikkhez 124 irodalmi hivatkozást csatolt.

*Tárgyszavak: kompozit; szálerősítés; kapcsolóanyagok; tenzidek; szilánok; írezőanyagok; határfelület; határfázis; határréteg; agglomeráció; töltőanyagok; szénnanocsövek.*

### A társított rendszerek jelentősége

A polimeralapú társított rendszerek (keverékek, ötvözetek, töltött és erősített műanyagok, nagy teljesítőképességű kompozitok) mindenütt körülvesznek bennünket a háztartási eszközöktől a csúcstechnológiáig. Tekintettel arra, hogy az esetek többségében ezek a rendszerek egymással termodinamikai értelemben inkompatibilis (nem elegyedő) fázisokból állnak, a fázisok határán kölcsönhatások lépnek fel, amelyek a fázisok szerkezete mellett alapvetően befolyásolják a társított rendszer jellemzőit. *A határfelület és/vagy a kiterjedtebb határfázis tulajdonságainak megismerése és módosítása igen nagy jelentőségű az új, nagyobb teljesítményű rendszerek fejlesztése szempontjából is.*

Tekintettel a határfelületek fontosságára az 1980-as évektől több konferenciasorozatot is szenteltek a velük kapcsolatos problémák megvitatására, bemutatására és megoldására. Az érdeklődés eleinte inkább a hadiipar számára különösen érdekes nagy teljesítményű szálerősítésű kompozitokra koncentrált, *manapság azonban a kutatók egyre inkább a nanokompozitok, a bioanyagok és a természetes szálakkal erősített kompozitok felé fordulnak.*

### Miért fontos a határfelület?

A társított rendszerekben levő határfelületekkel kapcsolatos véleményekben szélsőséges nézetek is jelentkeznek: egyesek túlhangsúlyozzák és azt állítják, hogy mindent eldöntő szerepük van, mások pedig indokolatlanul alábecsülik fontosságukat azzal, hogy eleve feltételezik a megfelelő jellemzőket (pl. a jól tapadó, de rugalmas határfelület/határfázist a szálerősítésű kompozitokban). Tény, hogy a különböző rendszerekben vagy a különböző alkalmazásokban eltérő fontosságúak a határfelületi kölcsönhatások,

rendkívül sokféle rendszer képzelhető el, és igen sokat meg is valósítottak. Ha lehet, még ennél is nagyobb a felületi kölcsönhatásokat befolyásoló (pl. tapadásjavító) módszerek száma, amelyeket sokszor egyedileg kell kialakítani és optimalizálni minden egyes rendszerre – bár kétségtelenül vannak általánosítható tapasztalatok is.

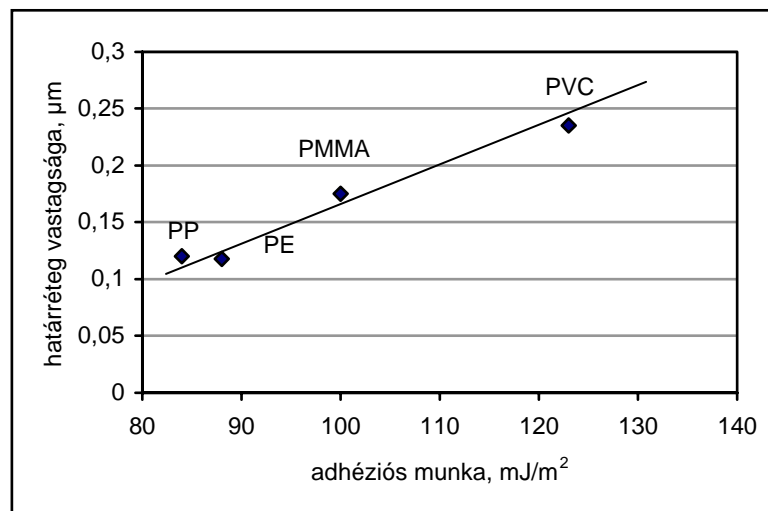
*A heterogén rendszerekben közös, hogy jellemzőiket ugyanazok a tulajdonságok határozzák meg: a fázisok jellemzői, az összetétel, a (geometriai) szerkezet és a határfelületi kölcsönhatások.* Az első közelítésben kétdimenziós határfelület a valóságban mindig egy véges vastagságú határfázissá bővül, amelyben a tömbanyagok tulajdonságaihoz képest eltérő anyagrészek találhatók. Ennek oka a polimeradszorpció töltött és erősített rendszerek esetében, vagy az interdiffúzió, esetleg a határfelületi reakciók előfordulása polimerkeverékek esetében. Hőre keményedő mátrixokban a helyzetet tovább bonyolítja az írezőanyagok jelenléte, reakciói a mátrixgyantával és a gyantakomponensek szelektív adszorpciója a felületen. A határfázisok vastagságának és összetételének jellemzése nem egyszerű feladat, szerencsére azonban számos spektroszkópiai és egyéb módszer áll rendelkezésre (pl. különböző felületérzékeny infravörös és fotoelektron-spektroszkópiai módszerek). A spektroszkópiai módszerek azonban nem elegendők a gyenge (másodlagos, van der Waals típusú) kölcsönhatások detektálásához és erősségük meghatározásához.

### **Határfelület – határfázis – határréteg**

A határfázis hatásának erőssége a kompozit tulajdonságaira attól függ, hogy milyen mennyiségben van jelen és jellemzői mennyire térnek el a tömbanyagok tulajdonságaitól. Ez utóbbit a határfázis kialakulásának mechanizmusa és a komponensek egymáshoz viszonyított jellemzői döntik el. Különösen nehéz megjósolni a határfelület jellemzőit, ha az kémiai reakciók révén alakul ki (pl. szilános tapadásközvetítők), mert ilyenkor tekintetbe kell venni a kialakuló határréteg vastagságát (amely a tapadásközvetítő mennyiségétől és az előállítás körülményeitől függ) és funkcionalitását (amely az alkalmazott szilántípus függvénye). Valamivel egyszerűbb a helyzet, ha a határréteg fiziko-kémiai (adszorpció) erők eredményeként alakul ki. Itt jó korreláció található az adhézió erőssége és a határréteg vastagsága között (*1. ábra*). A rétegvastagság mellett fontos paraméter az is, hogy a polimer mekkora hányada fordul elő a határfázisban – mert ennek jellemzői eltérnek a tömbanyagétól. Ez függ a töltő- vagy erősítőanyag fajlagos felületétől, pl. a nanokompozitok különleges tulajdonságai éppen ezzel magyarázhatók.

A határfázisok tulajdonságai közvetlenül nehezen vizsgálhatók, ezért inkább (egymásnak gyakran ellentmondó) elméletek alapján próbálnak meg következtetéseket levonni a határfázisokra vonatkozóan (pl. hogy annak sűrűsége, modulusa, üvegesedési hőmérséklete, kristályossága stb. nagyobb vagy kisebb-e a tömbanyagénál). Egyes modellekben a határfázist homogén, a tömbanyagokétól eltérő tulajdonságokkal ruházzák fel a kompozit jellemzőinek számítása során, más modellekben viszont a határfelülettől való távolság függvényében fokozatosan változó tulajdonságokat tételeznek fel. *A határfázis lényegesen kisebb hatással van pl. a kompozitok modulusára, mint a nagy deformációval járó jellemzőkre (pl. szilárdság, szakadási nyúlás).* A határréteg

vastagsága függ attól a módszertől is, amellyel meghatározzák. *Általános tapasztalat, hogy minél nagyobb deformációval járó vizsgálatról van szó, annál nagyobb a meghatározott határréteg vastagsága.*



1. ábra A határréteg vastagsága a határfelületi kölcsönhatás erősségének függvényében CaCO<sub>3</sub>-tal töltött polimerek esetében

### A határréteg módosítása

Le kell szögezni, hogy ezen a területen általános megoldás nincs, minden eset egyedi megfontolást igényel. Elsőként el kell dönteni, hogy mi a módosítás célja. Ha a töltőanyag agglomerációját szeretnénk csökkenteni, célszerű *nem reaktív kezelést* alkalmazni, mivel az mérsékli a kölcsönhatásokat a részecskék között. Szálerősítésű műanyagokban célszerű viszont *kémiai kötést* kialakítani a szál és a mátrix között, hogy megfelelő legyen a feszültségátadás a fázisok között. Ez a stratégia azonban csak akkor lehet sikeres, ha a kapcsolóanyagok kémiáját az adott határfelülethez és a mátrixhoz igazítják. A szilánok pl. nem univerzális csodaszerek, nem lehet őket minden töltőanyag és minden mátrix esetében sikerrel alkalmazni. Réteges szilikátok és CaCO<sub>3</sub> töltőanyag esetében inkább felületaktív anyagokkal oldható meg a hidrofil felület organofillé alakítása, amelynek során azonban optimalizálni kell a felületaktív anyag mennyiségét. Ionos felületaktív anyag esetében a tenzid töltését aszerint választják meg, hogy milyen jellegű felülethez kívánják kötni őket (anionos tenzidek a CaCO<sub>3</sub>, kationos tenzidek a réteges szilikátok esetében).

Az alábbiakban a határfázis jelentőségét a következő kompozit csoportokban mutatjuk be:

- szálerősítésű kompozitok (üvegszálás, szénszálás, aramidszálás, természetes szálás),
- szemcsés töltőanyagot tartalmazó kompozitok és blendék,

- nanokompozitok,
- biokompozitok.

## Szálerősítésű kompozitok

A szálerősítésű kompozitok működésének alapelve az, hogy a terhet a nagy szilárdságú szálak hordozzák, a mátrix feladata pedig a feszültség elosztása a szálak között. Ez csak akkor lehetséges, ha a határfelületen tökéletes tapadás alakul ki. Ami viszont a véges vastagságú határfázist illeti, arra már nem igaz a „minél erősebb, annál jobb” jelszó, hiszen egy rendkívül merev határfázis rontja pl. a rendszer ütésállóságát, delaminációs hajlamát, fáradásállóságát. Itt tehát különbséget kell tenni magára a határfelületre és a határfázisra vonatkozó követelmények között. A határfázis optimalizálása a kialakulására vonatkozó korlátozott ismeretek miatt ma is inkább művészet, mint tudomány.

A probléma azzal kezdődik, hogy a szálak felületére nem csak tapadásközvetítő adalékok kerülnek. A feldolgozás során bekövetkező szálszakadások elkerülésére a szálak felületét *írezőanyagokkal (sizing)* kezelik, amelyek összetételét a gyártók többnyire nem közlik, de a tapadásközvetítőn kívül számos egyéb adalékot is tartalmaznak. A gyártási adatok titkossága miatt kevés szisztematikus vizsgálat született arra nézve, hogy az írezőszer összetételének és mennyiségének milyen hatása van a kompozitok jellemzőire. *A feszültségátadáshoz szükséges szilárd kapcsolat a szál határfelületén akkor alakulhat ki, ha kémiai kötés van a szál és a mátrix között.* Ezt többnyire ún. *kapcsolóanyagok* segítségével érik el. A szilánalapú kapcsolóanyagok működéséről üvegszálak esetében elég sok ismeret gyűlt össze, de jóval kevesebbet tudunk a szénszálakon, aramidyszálakon vagy egyéb szerves erősítőszálakon (pl. PE-szálak) alkalmazott kapcsolóanyagokról és azok működési mechanizmusáról. Különösen nehéz a „híd” szerepét eljátszani akkor, ha a mátrixban, mint pl. a poliolefinekben nincsenek reaktív csoportok. Ilyenkor rendszerint a mátrixot kell vagy *in situ* módosítani, vagy eleve funkciós csoportot tartalmazó kopolimereket, adalékokat kell alkalmazni. Ennek hiányában a szálát borító írező anyagréteg és a mátrixpolimer interdiffúziója eredményezhet az egyszerű adhéziónál erősebb kötést. A kapcsolóanyag mennyiségét külön optimalizálni szükséges – ami az írező kezelések titkossága miatt nem mindig egyszerű feladat. Az egy feladatra vagy mátrixra optimalizált szálbevonat ugyanis egyáltalán nem szükségképpen optimális egy másik rendszer esetében. A tapasztalat azt mutatja, hogy a kompozitokban a nagyon merev bevonatot képző szilánokat leszámítva, a kapcsolóanyag mennyiségét növelve a határfelületi nyírószilárdság (IFSS) egy adott koncentrációnál maximumot ér el, majd további koncentrációnövelésnél csökkenni kezd.

*A határfázis szerkezete és összetétele meglehetősen bonyolult.* A polifunkciós sziloxánok rendszerint a szálfelülettel és egymással is reagálnak, és egy monomolekulárisnál általában lényegesen vastagabb réteg alakul ki, amelybe interdiffúzió útján még a mátrixpolimer molekulái is bejutnak, és el is reagálhatnak a kapcsolóanyag erre tervezett csoportjaival. A dolgot tovább bonyolítja, hogy (többek között a szelektív adszorpció miatt) a szál közvetlen közelében a hőre keményedő mátrixok térhálósági

foka általában nem éri el az optimumot, ami gyengíti a határréteget. Rugalmas (elasztomer) határréteg kialakítását többen javasolták a feszültség csökkentésére és az ütésállóság javítására, a gyakorlatban azonban ez a megoldás nem terjedt el.

A *szénszálas kompozitok* iránti érdeklődés valamelyest megcsappant az utóbbi időben, ami számos tényezőnek tulajdonítható: a szénszálak ára nem csökkent a várt mértékben, a repülőgépipar válságperióduson ment át, és néhány balesetben kimutatható volt a kompozit alkatrészek meghibásodása. Ennek ellenére a fejlesztéseket tovább folytatják. A szálak tulajdonságjavítása plazmakezeléssel ugyancsak folyamatosan fejlődik, az ipari alkalmazás azonban nem jellemző.

A szénszálakkal szemben a *természetes szálak iránti érdeklődés jelentősen nőtt*. Ezeknek vannak előnyei (kis sűrűség, jó fajlagos szilárdság, megújuló erőforrás, biológiai degradálhatóság) de kétségtelen hátrányai is (standardizálhatóság hiánya, nedvszívás, gyenge hőállóság, kihajlás). A természetes szálak hidrophil jellege miatt a műanyagokhoz való tapadásuk az esetek többségében nem túl jó, ezért érthető, hogy *sok cikk foglalkozik a határfelületi adhézió javításának lehetőségeivel*. Sokféle kémiai eljárással próbálták a szálakat, poláris csoportok bevitelével pedig a mátrixot módosítani (a poliolefineket pl. maleinsavanhidrid ráójtásával). A közeljövőben a nehézségek ellenére *nagy növekedés várható a természetes szállal erősített kompozitok felhasználásában*.

## **Töltött polimerek és ötvözetek**

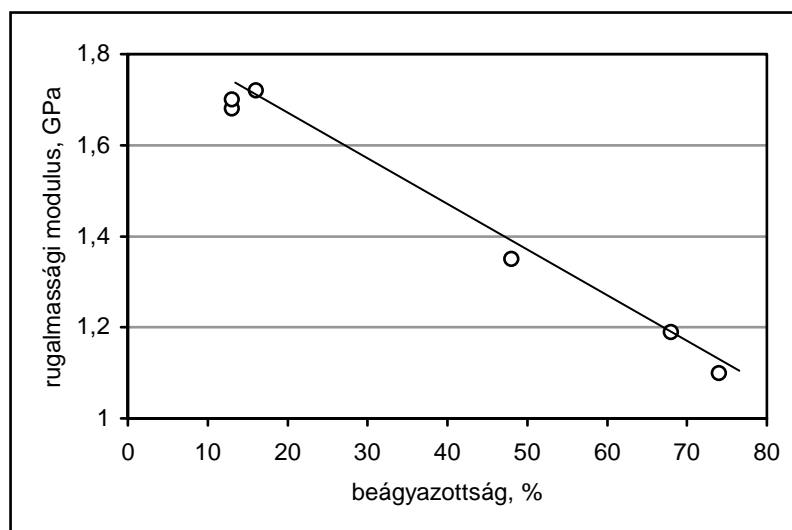
Mind a töltött polimerek, mind pedig az ötvözetek eléggé érett anyagcsoportoknak tekinthetők, egy időben a kutatás élvonalába tartoztak, de még ma is szép számmal jelennek meg publikációk velük kapcsolatban. A visszaeső érdeklődés semmiképpen nem jelenti azonban, hogy minden probléma megoldott lenne. *Ezen a téren is a legtöbb megoldatlan kérdés a kölcsönhatásokhoz kapcsolódik*. A részecskék közti kölcsönhatás (az aggregáció és az agglomeráció) nagyon fontos a feldolgozhatóság, de a végtermék tulajdonságai szempontjából is, a töltőanyag-mátrix kölcsönhatás pedig a mikro- és makromechanikai viselkedésre van jelentős hatással. Az aggregáció sajnos nehezen és pontatlanul mérhető, és csak általános összefüggések ismertek vele kapcsolatban (annál erősebb az agglomerációs hajlam, minél kisebb az átlagos szemcseméret és minél nagyobb a töltőanyag-tartalom).

*A töltőanyagok felületmódosítása reaktív kapcsolóanyagokkal (elsősorban szilánokkal és titanátokkal) ma is „divatos” téma, de kevés az olyan szisztematikus munka, ahol a felületkezelő anyagok kémiai összetételét és mennyiségét megfelelően optimalizálnák*. A szilánokat néha alkalmazzák olyan töltőanyagokhoz is, amelyekben nincsenek aktív hidroxilcsoportok (pl.  $\text{CaCO}_3$ , talkum) vagy olyan mátrixokban, amelyekben nincs reaktív csoport – és itt is érnek el bizonyos tulajdonságjavulásokat, de ez inkább a nedvesíthetőség és a reológiai viszonyok kedvezőbbé válásának tudható be. Más esetekben azonban teljesen felesleges ezeket a viszonylag drága vegyszereket alkalmazni, különösen, ha a cél pusztán annyi, hogy a felületi energia csökkentésével csökkentsük az agglomerációs hajlamot – ez ugyanis egyszerű *tenzidek alkalmazásával* (pl. hosszú

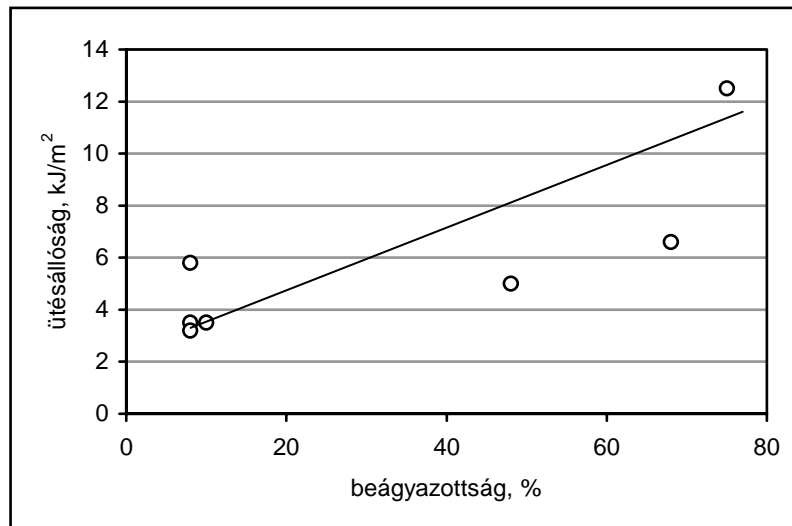
szénláncú zsírsavakkal) is elérhető. A tenzid optimális minőségének és mennyiségének megválasztásához azonban tapasztalatra és kísérletezésre van szükség.

További tanulmányok lennének még szükségesek a töltőanyag szemcsék körüli *mikrodeformációs viszonyok* megismerésére. A határfelületi elválás mellett jelentős szerepe lehet a nyíró deformációnak és a repedezésnek, és a jelenlegi modellek nem alkalmasak annak eldöntésére, hogy ezek milyen körülmények között, mekkora súllyal fordulnak elő. *A határfelületi elválás nem csak negatív jelenség: erősen töltött fóliák-ból ennek segítségével készítenek (nyújtással) porózus („lélegző”), de folyadékot át nem eresztő fóliákat.* Mivel itt a kontrollált határfelületi elválás kritikus, a jelenség megértése és szabályozása fontos kutatási területté vált.

A természetes (megújuló) forrásokból származó *töltőanyagokkal* (pl. *faliszt*) kapcsolatos problémák elég hasonlóak ahhoz, mint amelyekről a természetes szálakkal kapcsolatban szó esett. Külön figyelmet érdemelnek a *többféle töltőanyagot és a töltőanyagot és elasztomert tartalmazó töltött műanyagok*. Annak ellenére, hogy az 1970-es évektől ez az anyagcsoport igen fontossá vált (töltött és elasztomerrel módosított PP-ből készítettek gépkocsikhoz ütközőket), nem alakult ki általános modell a szerkezet-tulajdonság előrejelzéssel kapcsolatban. Annyi ismertté vált, hogy *alapvetően két diszperziós típus fordul elő: vagy a töltőanyag és az elasztomer egymástól függetlenül diszpergálódik a mátrixban, vagy a töltőanyag az elasztomerbe ágyazódik és együtt diszpergálódnak a mátrixban. Azt is sikerült kideríteni, hogy a két diszperziós típus előfordulása az adhéziós és a nyíróerők arányának függvénye.* A valóságban mindig mindkét beágyazódási típus előfordul, a kérdés a kettő aránya. *PP/CaCO<sub>3</sub>/elasztomer rendszerek esetében a rendszer merevsége (modulusa) majdnem lineárisan csökken az elasztomerbe beágyazott töltőanyag mennyiségével (2. ábra) – ugyanakkor az ütészállóság javul (3. ábra).* Ebből is látszik, hogy milyen *nehéz egyszerre nagy merevséget és ütészállóságot elérni az ilyen rendszerekben.*



2. ábra PP/EPDM/CaCO<sub>3</sub> kompozitok merevsége (modulusa) az elasztomerbe beágyazott töltőanyag szemcsék arányának függvényében



3. ábra PP/EPDM/CaCO<sub>3</sub> kompozitok ütésállósága az elasztomerbe beágyazott töltőanyag szemcsék arányának függvényében

A töltött műanyagok mellett a polimerötvözeteket is régóta intenzíven kutatják, ahol ugyancsak számos kérdés vár tisztázásra. A különböző elméletek birtokában az elegyíthetőség többé-kevésbé megjósolható, számos szimulációt végeztek az elegyíthetőség és a fázisszerkezet modellezésére. A polimerötvözetekkel foglalkozó publikációk nagyrészt két, csekély átfedést mutató csoportba sorolhatók: vagy az elméleti háttérrel és a tudományos jellemzéssel foglalkoznak, vagy a polimerötvözetek és keverékek gyakorlati előállításával és tulajdonságaival, ezért *egyelőre alig áll rendelkezésre olyan modell, amely az elegyíthetőségből közvetlenül lehetővé tenné a keverék tulajdonságainak megjóslását.*

A szénhidrátalapú polimerekre (elsősorban módosított keményítőkre) épülő keverékek régóta elérték a gyártási „érettséget”, de az utóbbi időben a poliolefinekkel történő „házasítás” helyett inkább a poliészterekkel való kombináció lehetőségeit vizsgálják, mert féltik, hogy az előbbieknél degradációja során keletkező finom poliolefinpor károsítja a talajt és a vizek élővilágát.

## Nanokompozitok

A nanotechnológia divatkifejezéssé vált az elmúlt években, és olyan területekre is alkalmazzák, amelyek már igen régen ismert és kutatott területeknek számítottak (pl. az elasztomerek erősítése korommal és kvarc aerogélekkel). Polimer nanokompozitok alatt olyan rendszereket értünk, ahol a diszpergált részecskéknek legalább egy mérete a szubmikronos tartományba esik. A nagy fajlagos felület azzal jár, hogy különösen erős kölcsönhatás alakulhat ki a töltőanyag és a polimer között (de sajnos a töltőanyag-

részecskék között is). A felület önmagában még nem határozza meg a kompozit tulajdonságait, megfelelő diszperziófokot és polimer-töltőanyag kölcsönhatást kell elérni. Éppen emiatt gyakran előfordul, hogy a kapcsolóanyagok vagy felületkezelő szerek nem elég gondos megválasztása miatt a kialakuló kompozitok nem mutatnak olyan előnyös tulajdonságokat, mint amilyeneket várnak tőlük.

A nanotöltőanyagok közül a nanoporok (pl. precipitált kréta, korom és kvarc) mindhárom térirányban kielégítik a „nano” kritériumot – ezeknél legnehezebb az agglomeráció megakadályozása és a szemcsék egyenletes eloszlata a polimermátrixban. Minél nagyobb a felület és minél kisebbek a nyíróerők a bedolgozás során, az agglomeráció valószínűsége annál nagyobb. Az aggregációs hajlam és erősség nehezen definiálható, és csak korlátozott mértékben jellemezhető kísérletileg, következményei azonban nyilvánvalók: a túl nagy mechanikai feszültségnek kitett aggregátumok összetörnek, és ettől akár az egész kompozit is tönkremehet. Tekintettel arra, hogy a feldolgozás során a nyíróerők csak korlátozott mértékben változtathatók, többet várhatunk a felületkezeléstől (a részecskék közti kölcsönhatás gyengítésétől). *A felületi ojtás az egyik leggyakrabban alkalmazott technika a kvarcrészecskék esetében, de ez korom vagy  $\text{CaCO}_3$  bekeverésekor nem alkalmazható.* Bármelyik technikát választjuk is, az aggregáció mértéke legfeljebb csökkenthető, de nem szüntethető meg, ezért az előre elkészített részecskék diszpergálásával nagyon ritkán lehet olyan nanokompozitot készíteni, amely a tőle elvárható tulajdonságokat mutatná.

*Az előre elkészített részecskék diszpergálásához képest alternatívát jelent a töltőanyag-részecskék in situ előállítása polimerizáció során vagy a polimer feldolgozása közben a kolloid-gél technológia valamilyen változatával.* Ezekben az ún. szerveszervetlen hibrid rendszerekben sokkal homogénebb az eloszlás, mint a mechanikus módszerekkel eloszlott részecskék esetében, de az aggregáció még itt sem zárható ki teljesen. Általában szilánok hidrolízisével készülnek a töltőanyag szemcsék, amelyek mérete tipikusan 500 és 10 nm között változik, az alkalmazott körülményektől függően. A létrejövő kvarc szemcsék beépülhetnek a láncokba, térhálót képezhetnek, speciális felületi funkciók csoportokkal lehetnek ellátva stb. A fenti technológia speciális esete a poliédes oligomer sziliszesszioxánok (POSS) létrehozása és töltőanyagként való alkalmazása. Ezeket az ugyancsak felületi funkciókkal ellátható vegyületeket nem csak a műanyagipar hasznosíthatja, és nagyüzemileg is előállíthatók. A módszer kiterjeszhető más (ón, titán stb. tartalmú) vegyületekre is.

Sokat foglalkoztak az utóbbi években az ún. szénnanocsövekkel is, amelyeknek átmérője nanométeres nagyságrendű, hosszuk viszont mikrométeres vagy akár milliméteres is lehet. A szénnanocsövek rendkívül érdekes mechanikai és elektromos tulajdonságokkal rendelkeznek. Igen nagy a modulusuk, ugyanakkor hajlékonyak, tehát elvben ideális erősítőanyagok lehetnének kis koncentrációban is, ha megoldható lenne párhuzamos orientációjuk és biztosítható lenne a mátrixhoz való jó tapadás – egyelőre azonban sajnos egyik feltétel sem teljesül. A szénnanocsövek rendszerint összetekeredett kötegekben képződnek, nehéz őket szétválasztani és orientálni, a határfelületi kötések kialakítása pedig a szénszálakhoz hasonlóan nehéz. A jelenleg szénnano-

csövekkel készült kompozitok drágák, tulajdonságaik nem felelnek meg az elvárásoknak, és még sok fejlesztési munkára lesz szükség, amíg eljutnak az ipari alkalmazásig.

Az ipari alkalmazáshoz legközelebb a réteges szilikát töltőanyagok jutottak, amelyeknek csak vastagsága esik a nanométeres nagyságrendbe, az is csak akkor, ha a rétegeket sikerül szétválasztani (exfoliált kompozitok). A leggyakrabban használt montmorillonit és hektorit szilikátrétegeinek felületi töltése negatív, amelyet hidratált fémionok tartanak össze. Ahhoz, hogy a rétegek szerves környezetben szétváljanak, kationos tenzidek alkalmazására van szükség. Az ioncsere után megnő a rétegek közti távolság, ami megkönnyíti monomer vagy polimer molekulák behatolását. Az előbbit az *in situ* polimerizációval, az utóbbit az ömledékmódszerekkel előállított nanokompozitok esetében használják. Teljes mértékben exfoliált kompozitokat igen nehéz előállítani, gyakran különböző mértékben duzzasztott (interkalált) és részben exfoliált (taktoid) szerkezetek keverednek a teljesen exfoliált lemezekkel. Ez többnyire megmutatkozik a kapott kompozitoknak az ideálist el nem érő jellemzőiben is. A különböző szerkezetek arányának becslése nem könnyű feladat sem a röntgendiffrakciós felvételek, sem a transzmissziós elektronmikroszkópiás felvételek felhasználásával.

## **Biológiai eredetű és biomimetikus polimerek**

A természetben megújuló anyagokból előállított polimerekről már esett szó a természetes szálak, a faliszt és a módosított keményítőalapú polimerkeverékek kapcsán, a továbbiakban röviden a szervezetbe beépített polimerekről kell szólni, ill. a határfelületek szerepéről. Az implantátumokban (élő szervezetbe beültetett anyagokban) vagy pl. a szövetépítésben használt támasztóanyagokban a határfelületek legalább olyan fontosak – ha nem fontosabbak –, mint a kompozitokban. Az élő szervezetbe helyezett polimeranyagok kapcsolatba kerülnek a testnedvekkel és az élő sejtekkel, és felületüket úgy kell megtervezni, hogy ne csak funkcióikat lássák el megfelelően (pl. ízületi protézisekben), hanem arra is ügyelni kell, hogy ne váltsanak ki immunreakciókat, gyulladást, kidobódást, szövetelhalást stb. A szövetnövesztéskor a sikeres letapadáshoz molekuláris felismerésre is szükség van. Mindehhez a szervezetbe bevitt polimerek felületét fizikai és kémiai módszerekkel módosítani szükséges, sőt adott esetben biológiailag aktív proteinekkel vagy peptidekkel kell beborítani.

## **Merre tovább?**

A tudományos érdeklődésen túl természetesen a kutatások célja a gyakorlati alkalmazás, a jobb paraméterekkel rendelkező anyagok olcsóbb előállítása, a létező technológiák hatásfokának javítása és új technológiák létrehozása. A gazdasági és műszaki előrejelzések alapján a társított anyagok számos területén két számjegyű növekedés várható a következő években – még ha a tényadatok nem is mindig az optimista várakozások szerint alakulnak. Számos területen (pl. nanoszilikátok, szénnanocsövek) az alap kutatás előreszaladt a műszaki alkalmazásokhoz képest, és a gyártás szintjén

még nem sikerült megtalálni azokat az előállítási és ellenőrzési technológiákat, amelyek lehetővé tennék a megbízható minőség folyamatos reprodukálását.

Új anyagkombinációk és új technológiák kifejlesztésének kulcsfaktora a határfelületi hatások még alaposabb ismerete, mert ez teremti meg a heterogén rendszerek felületi módosításának lehetőségeit.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
[www.polygon-consulting.ini.hu](http://www.polygon-consulting.ini.hu)

Pukánszky, B.: Interface and interphases in multicomponent materials: past, present and future. = European Polymer Journal, 41. k. 4. sz. 2005. p. 645–662.

Móczó, J.; Fekete, E.; Pukánszky, B.: Acid-base interactions and interphase formation in particulate filled polymers. = J. Adhesion, 2002. 78. k. p. 861–875.

Molnár, Sz.; Pukánszky, B.; Hammer, C. O.; Maurer, F. H. J.: Impact fracture study of multicomponent polyethylene composites. = Polymer, 2000. 41. k. p. 1529–1539.

---

---

### Ajtómodul hosszú üvegszálas PP-ből

A németországi **Brose** cég 30% hosszú üvegszállal erősített PP-ből fröccsöntött ajtómodult mutatott be a frankfurti *IAA kiállításon*. Az ajtómodulba beépítették az ablakemelőt, a hangszórót, a belső fogantyút, a kábelrögzítőket és egy tárolóelemet. Az ablakemelőt 30% üvegszálat tartalmazó poliamidból gyártották. A műanyagok alkalmazása révén 20%-kal (400 g-mal) lett könnyebb az ajtómodul acélból készített elődjéhez viszonyítva; a tömör beépítés pedig előállítási költségeit is csökkentette. A modul gyártását 2006-ban kezdi meg egy autóiipari beszállító az USA-ban.

European Plastics News, 32. k. 9. sz. 2005. okt. p. 10.

P. K-né