



Budapest University of Technology and Economics

---

*Renner Károly*

# **Mikromechanikai deformációs folyamatok polimer kompozitokban**

Ph.D. Értekezés Tézisei

Témavezető:  
Pukánszky Béla

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,  
Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék  
Műanyag- és Gumiipari Laboratórium  
Magyar Tudományos Akadémia, Kémiai Kutatóközpont,  
Anyag- és Környezatkémiai Intézet



2010



---

## 1. Bevezetés

A műanyagok az elmúlt évtizedek során észrevétlenül mindennapi életünk részévé váltak. A felhasználások száma folyamatosan növekszik, és manapság egy új termék tervezése szinte elképzelhetetlen műanyag alkatrész nélkül. A felhasználási területek bővülésével a alapanyaggal szemben támasztott követelmények is növekedtek. Gyakran szokták említeni az űrtechnikát, mint az egyik legspeciálisabb alkalmazást, de hasonlóan szigorú elvárásokat támasztanak az emberi implantátumokkal szemben, mint például a csípőprotézis. Mivel az ismert polimerek száma véges, mindez elképzelhetetlen lenne a módosításuk nélkül. Polimer módosítása többféle módon lehetséges. Kopolimerizáció, ojtás vagy más polimer analóg reakciók legtöbbször komplikáltak, és gazdaságosan sem kivitelezhetőek ipari alkalmazások számára. Egy másik lehetőség módosításra további komponens hozzáadása a mátrix polimerhez. A módosító anyag típusától függően a heterogén polimerek többféleképpen lehet osztályozni. A következőkben három csoportot különböztetünk meg: polimer keverékek<sup>1</sup>, töltőanyagot tartalmazó polimerek<sup>2</sup> és erősítőanyagot tartalmazó kompozitok<sup>3</sup>. Jellemzően ezeket a módosított polimereket szerkezeti anyagokként alkalmazzák. Műanyag termékeket gyakran töltőanyaggal módosítanak a nagyobb merevség érdekében, rövid illetve hosszú szálat alkalmaznak, ha nagyobb szilárdság elérése a cél.

A Műanyag- és Gumiipari Laboratórium és az MTA KK Anyag- és Környezetkémiai Intézet Alkalmazott Polimer Fizika-Kémiai Osztályával együttműködve hosszú ideje foglalkozik heterogén polimer rendszerek kutatá-

---

<sup>1</sup> Paul, D. R., Bucknall, C. B.: Polymer Blends, Wiley, New York, 2000.

<sup>2</sup> Rothon, R. N.: Particulate-Filled Polymer Composites. Rapra Technology, Shrewsbury, 2003.

<sup>3</sup> Pilato, L. A., Michno, M. J.: Advanced Composite Materials, Springer-Verlag, Heidelberg, 1994.

sával és fejlesztésével. Töltőanyag tartalmú polimerek rendszerek tanulmányozásának eredményeképpen széleskörű ismereteket szereztek a kompozitok tulajdonságait meghatározó tényezőkről, és modelleket állítottak fel, melyek az említett anyagokban lejátszódó különböző jelenségeket írják le. Számos publikáció illetve ipari együttműködés alátámasztja az ezen a területen elért eredmények jelentőségét. A fejlesztett anyagok és a felmerülő problémák folyamatosan változtak az évek során. A töltőanyag tartalmú polimerekkel végzett munka tapasztalatai segítséget jelentettek a keverékek, többkomponensű anyagok, szénszál erősítésű rendszerek és rétegszilikát nanokompozitok fejlesztése során. A mechanikai tulajdonságok összetételfüggésének meghatározását a határfelületi kölcsönhatások tanulmányozása, majd a kompozitokban lejátszódó mikromechanikai deformációs folyamatok részletes elemzése követte. Ez az értekezés a folyamat következő lépése, mely új kérdésekre fókuszál a témában.

Töltő- vagy erősítőanyag polimerbe való bekeverése heterogén szerkezetet eredményez. Mivel ezek legtöbbször szerkezeti anyagok, ezért terhelés alatti viselkedésük fontos a felhasználás szempontjából. Külső terhelés hatására a heterogenitások környezetében feszültségkoncentráció alakul ki, melynek mértéke függ a társítóanyag szemcséinek alakjától, a komponensek rugalmas jellemzőinek relatív nagyságától és a komponensek kölcsönhatásától<sup>4,5</sup>. A heterogén feszültségeloszlás és a kialakuló feszültségmaximumok befolyásolják az anyag deformációs viselkedését és tönkremenetelét, ezáltal a kompozit makroszkopikus tulajdonságait.

A nanokompozitokra úgy tekintenek, mint jövők szerkezeti anyagai. Poliamid nanokompozitok bizonyultak a legsikeresebbnek a poli-

---

<sup>4</sup> J. N. Goodier, *J. Appl. Mech.*, **55**, 39 (1933).

<sup>5</sup> T. Kowalewski, A. Galeski and M. Kryszewski, in *Polymer Blends. Processing, Morphology and Properties*, Plenum, New York, 1984.

mer/rétegszilikátok között. A szilikát felületének módosítása  $\omega$ -aminosavval egyrészt segíti az exfoliációt, másrészt pedig erős kötést alakít ki a mátrixszal<sup>6</sup>. Az ilyen kompozitok tulajdonságai jobbak lehetnek a mátrix polimerénél, nagyobb szilárdság illetve merevség érhető el<sup>7</sup>. A PA nanokompozitok kitűnő tulajdonságait teljes illetve majdnem teljes exfoliációval magyarázzák, amit röntgen diffrakciós és transzmissziós elektronmikroszkópos vizsgálatok támasztanak alá<sup>8</sup>. A feltételezett nagymértékű exfoliáció ellenére az irodalomban széles tartományban változó merevség és szilárdság értékeket találunk még nagyon hasonló összetételű kompozitok esetén is<sup>8,9</sup>. Az eltérő tulajdonságok eltérő szerkezetre vagy határfelületi kölcsönhatásra utalnak, mivel ezek határozzák meg nagyrészt a kompozit tulajdonságait.

Természetes szállal erősített kompozitokat nagy mennyiségben használnak fel, az ilyen anyagok előállítása manapság már kiforrott technológia<sup>10</sup>. Az intenzív kutatás folytatódik ezen a területen, hogy javítsák a kompozitok tulajdonságait és jobb, olcsóbb anyagokat állítsanak elő<sup>11</sup>. Sok próbálkozás történt természetes szállal erősített kompozitok tulajdonságainak javítására. Számos publikáció található a fa típusának kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatásáról<sup>12</sup>, de még most sem tisztázott, hogy puhafa vagy keményfa esetén érhető el nagyobb erősítés. Valamivel tisztább képet kapunk arról, hogyan változnak a kompozit tulajdonságai az alkalmazott szálak jellemzőinek függvényében<sup>13</sup>. Az erősítés mértéken növekszik a töltőanyag anizotropiájának

<sup>6</sup> Kojima, Y., Usuki, A., Kawasumi, M., et. al.: *J Mater Res* **8**, 1185-1189 (1993)

<sup>7</sup> Reichert, P., Kressler, J., Thomann, R., et. al.: *Acta Polymerica* **49**, 116-123 (1998)

<sup>8</sup> Fomes, T. D., Yoon, P. J., Hunter, D. L., et al.: *Polymer* **43**, 5915-5933 (2002)

<sup>9</sup> Reichert, P., Nitz, H., Klinke, S., Brandsch, R., et. Al.: *Macromol Mater Eng* **275**, 8-17 (2000)

<sup>10</sup> Markarian, J.: *Plast Additives Comp* **4**, 18-21 (2002)

<sup>11</sup> Bledzki, A. K., Letman, M., Viksne, A., Rence, L.: *Composites* **A36**, 789-797 (2005)

<sup>12</sup> Neagu, R. C., Gamstedt, E. K., Berthold, F.: *J Compos Mater* **40**, 663-699 (2000)

<sup>13</sup> Coutinho, F. M. B., Costa, T. H. S., Suarez, J. C. M., Melo, D. P.: *Polym Test* **19**, 625-633 (2000)

növekedésével, de a határfelületi kölcsönhatás jelentősége csökken a töltőanyag alaki tényezőjének növekedésével. Miközben a faliszt jellemzői és az adhézió a kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatását széles körben vizsgálták<sup>14</sup>, lényegesen kevesebb figyelmet fordítottak a mátrix jellemzőinek befolyására.

Ahogy az előzőekben bemutattuk, a különböző polimerek mechanikai tulajdonságait számos publikációban vizsgálták. Ennek ellenére csak nagyon kevés foglalkozik ezek közül a mikromechanikai deformációs folyamatokkal pedig a domináló folyamat fogja meghatározni a kompozit makroszkopikus tulajdonságait. A dolgozat célja ezen folyamatok megismerése, a folyamatokat meghatározó tényezők feltárása és irányelv kidolgozása kedvezőbb mechanikai tulajdonságú és nagyobb szilárdságú kompozitok előállításához. A laboratóriumunk hosszú ideje foglalkozik heterogén polimer rendszerekkel és a korábbi tapasztalatok nagymértékben hozzájárulnak a folyamatok meghatározásához és magyarázatához. A Tézis fő célja a mikromechanikai deformációs folyamatok és befolyásoló tényezők vizsgálata.

## **2. Anyagok és módszerek**

Többfajta töltőanyaggal készítettünk PP kompozitokat széles összetétel tartományban. A kompeneseket belső keverőben homogenizáltuk majd lapot préseltünk belőlük. A mechanikai tulajdonságokat szakító vizsgálatok segítségével jellemeztük. A mátrix és a töltőanyag kölcsönhatását a vizsgált rendszertől függően eltérő módszerekkel módosítottuk. A határfelületi kölcsönhatás erősségét modell számítások segítségével becsültük. Mikromechanikai deformációs folyamatokat akusztikus emisszió (AE) és térfogati deformáció (VOLS) határoztuk meg. Az eltérő töltőanyagok szemcse-

---

<sup>14</sup> Zhang, C., Li, K., Simonsen, J.: *Polym Eng Sci* **46**, 108-113 (2006)

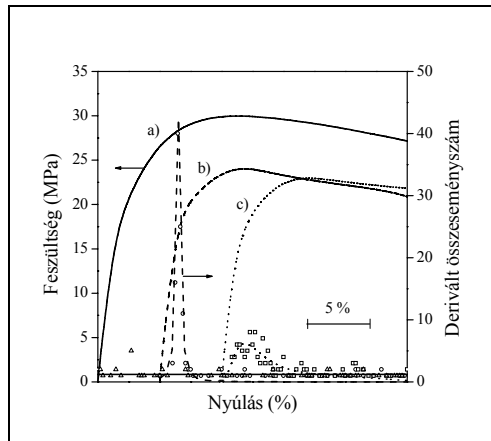
méret eloszlását fényszórásos módszerrel, szemcsejellemezőit valamint a lejátszódott tönkremeneteli folyamat jellemzésére pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) módszert alkalmaztunk.

### 3. Eredmények

A kutatás első fázisában szemese töltőanyagot tartalmazó polimereket vizsgáltunk. Modell kompozitokat készítettünk szűk szemcseméret eloszlású PMMA töltőanyag és PP segítségével és kereskedelmi  $\text{CaCO}_3$  polipropilén kompozitjaival hasonlítottuk össze. PP/PMMA

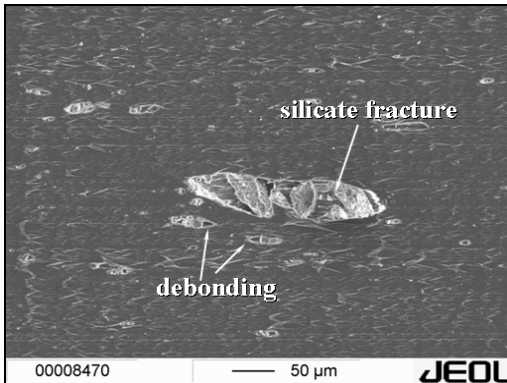
kompozitok nyújtása során mért akusztikus emissziós jelek lehetővé tették a határfelületek elválásához szükséges deformáció illetve feszültség értékek meghatározását. A jelek száma és intenzitása lényegesen különbözött a mátrixéhoz képest, ami

lehetővé tette az eltérő deformációs folyamatok elkülönítését. Kis töltőanyag tartalomnál az elválás aránylag kis feszültségnél játszódik le, ami lényegesen eltér a folyási feszültségtől. Nagy töltőanyag tartalomnál elválás és nyírási folyás párhuzamosan játszódik le. A mikromechanikai deformációs folyamatok nem különíthetők el ilyen könnyen a széles szemcseméret eloszlással rendelkező  $\text{CaCO}_3$ -ból készült kompozitokban. Különböző méretű szemcsék elválása széles deformáció tartományban játszódik le, mivel az elválási feszültség függ a szemcsemérettől.



**1. ábra** Elválási feszültség meghatározása PP (a), PP/PMMA (b), and PP/ $\text{CaCO}_3$  (c) kompozitok esetén. Töltőanyag tartalom: 10 térfogat%.

Poliamid és felületkezelt illetve kezeletlen rétegszilikátból készítettünk nanokompozitokat. A vizsgálat célja az összetétel és adhézió hatásának vizsgálata volt a kompozit szerkezetére és tulajdonságaira. Akusztikus emissziós és térfogati deformációs méréseket mikroszkópos vizsgálatokkal kiegészítve a lehető legtöbb



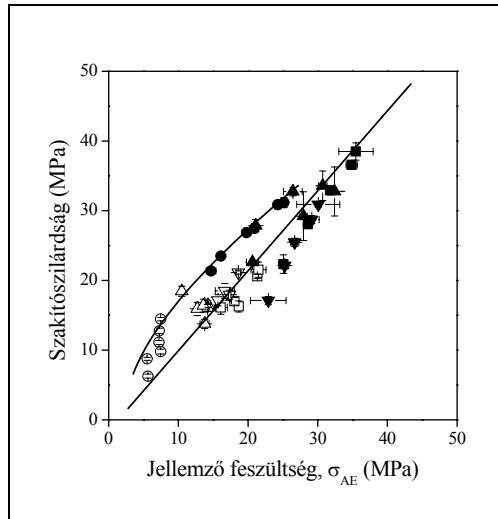
**2. ábra** Mikromechanikai deformációs folyamatok mechanizmusa PA nanokompozitban

információt szeretnénk volna megtudni a lejátszódó deformációs mechanizmusokról. Az eredmények alapján a kompozitok szerkezete lényegesen bonyolultabb, mint azt a legtöbbször állítják. Különböző szerkezeti egységek találhatók bennük:

egyedi szilikát lemezeken túl különböző mértékben interkalált taktoidok és nagyobb szemcsék egyaránt felfedezhetők. Ennek megfelelően a mátrix és a kompozit deformációs mechanizmusa eltérő. Akusztikus emisszió kavitáció hatására játszódik le az előbbi, míg a hang keletkezés a nagyobb szerkezeti egységekhez köthető az utóbbi esetében. A legtöbb akusztikus esemény a szemcsék töréséhez köthető. A mátrix és a szilikát adhéziója erős, elválás csak ritkán játszódik le, és a térfogatnövekedés a szemcsék törésének következménye. Az organofilizálás során alkalmazott kezelőszer típusa és mennyisége fontos szerepet játszik a deformációs folyamatok és tulajdonság meghatározásában, mivel befolyásolja mind a mátrix-töltőanyag, mind a szilikát lemezek kölcsönhatását.

PP/faliszt kompozitok vizsgálata igazolta, hogy számos folyamat játszódik le deformációjuk során. A mátrixra a nyírási folyás jellemző, határfelületi elválás és száلكihúzóds gyenge határfelületi adhézió esetén lép fel, míg száltördelődés a domináló kapcsolóanyag alkalmazása esetén. A kompozit szilárdságának növelése csak a töltőanyag saját szilárdságának növelésével lehetséges. Feltételeztük, hogy egy mód a szilárdság növelésére a töltőanyag szemcseméretének csökkentése. Eltérő szemcseméretű töltőanyagot tartalmazó PP/faliszt kompozitok vizsgálata igazolta, hogy a mikromechanikai deformációs folyamatok gyökeresen megváltoznak a szemcseméret csökkenésével. Kevesebb elválás, száلكihúzóds és száltördelődés történik a kisebb szemcseméretű falisztet tartalmazó kompozitokban. Az kompozit szilárdsága ennek ellenére csak kismértékben változott, aminek oka a kis töltőanyag kisebb alak tényezője. Ez azt mutatja, hogy az orientáció és orientáció eloszlás szintén befolyásolja az erősítést. A kompozit szilárdságának növelése csak a szemcseméret, alak tényező és a fa saját szilárdságának optimalizálásával lehetséges.

és folyamatok gyökeresen megváltoznak a szemcseméret csökkenésével. Kevesebb elválás, száلكihúzóds és száltördelődés történik a kisebb szemcseméretű falisztet tartalmazó kompozitokban. Az kompozit szilárdsága ennek ellenére csak kismértékben változott, aminek oka a kis töltőanyag kisebb alak tényezője. Ez azt mutatja, hogy az orientáció és orientáció eloszlás szintén befolyásolja az erősítést. A kompozit szilárdságának növelése csak a szemcseméret, alak tényező és a fa saját szilárdságának optimalizálásával lehetséges.



**3. ábra** Az akusztikus emisszióval meghatározott jellemző feszültség ( $\sigma_{AE}$ ) és PP/faliszt kompozitok szilárdsága közötti összefüggés

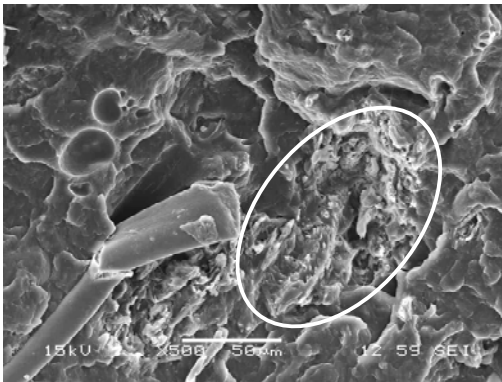
szilárdsága ennek ellenére csak kismértékben változott, aminek oka a kis töltőanyag kisebb alak tényezője. Ez azt mutatja, hogy az orientáció és orientáció eloszlás szintén befolyásolja az erősítést. A kompozit szilárdságának növelése csak a szemcseméret, alak tényező és a fa saját szilárdságának optimalizálásával lehetséges.

Következésképpen részletesebben vizsgáltuk az erősítő hatást befolyásoló tényezőket. PP/lignocellulóz kompozitokat készítettünk négy különböző töltőanyagból. Az eredmények igazolták, hogy a kompozit tulajdonságai erősen



függnek a határfelületi kölcsönhatástól és a töltőanyag szemcsejellemzőitől. Kapcsolóanyag alkalmazása szükséges elfogadható tulajdonságú kompozitok készítéséhez, ha a töltőanyag szemcsemérete nagy és kicsi az alaki tényezője. Az adhézió hatása kisebb, ha az alaki tényező nagyobb. Nagy alaki tényező és kis szál átmérő jobb erősítő hatást eredményez. Tönkremeneteli térképet állítottunk össze, hogy a szemcseszerkezeti jellemzők és az adhézió hatását a domináló deformációs folyamatra jobban nyomon követhessük.

A faliszt töltőanyag jellemzői és a határfelületi kölcsönhatás kompozit tulajdonságaira gyakorolt hatásának intenzív vizsgálata mellett lényegesen kevesebb figyelmet fordítanak a mátrix tulajdonságaira. Ennek megfelelően a következőkben azt vizsgáltuk, a mátrix tulajdonságai hogyan befolyásolják a deformációs és tönkremeneteli folyamatokat PP/természetes szál kompozitokban. Három különböző PP mátrixú (homopolimer, random és blokk kopolimer) polimerből készült kompozitokat vizsgáltunk, és igazoltuk, hogy a domináló mikromechanikai deformációs folyamat a mátrix tulajdonságaitól függően változik. A feszültség-nyúlás diagram segítségével meghatározott folyási feszültség eltérő folyamatokat takarhat. Határfelületek elválása a domináló folyamat, ha a komponensek közötti adhézió gyenge. Mátrix folyás és/vagy a töltőanyag szemcse törése a meghatározó, ha az adhéziót kapcsolóanyag segítségével növeljük. A domináló deformációs folyamat a komponensek tulajdonságai (mátrix jellemzői, szemcse szilárdság és geomet-



**4. ábra** Erős adhézió és nagy folyási feszültség esetén töltőanyag szemcse törése a domináló

en a következőkben azt vizsgáltuk, a mátrix tulajdonságai hogyan befolyásolják a deformációs és tönkremeneteli folyamatokat PP/természetes szál kompozitokban. Három különböző PP mátrixú (homopolimer, random és blokk kopolimer) polimerből készült kompozitokat vizsgáltunk, és igazoltuk, hogy a domináló mikromechanikai deformációs folyamat a mátrix tulajdonságaitól függően változik. A feszültség-nyúlás diagram segítségével meghatározott folyási feszültség eltérő folyamatokat takarhat. Határfelületek elválása a domináló folyamat, ha a komponensek közötti adhézió gyenge. Mátrix folyás és/vagy a töltőanyag szemcse törése a meghatározó, ha az adhéziót kapcsolóanyag segítségével növeljük. A domináló deformációs folyamat a komponensek tulajdonságai (mátrix jellemzői, szemcse szilárdság és geomet-

en a következőkben azt vizsgáltuk, a mátrix tulajdonságai hogyan befolyásolják a deformációs és tönkremeneteli folyamatokat PP/természetes szál kompozitokban. Három különböző PP mátrixú (homopolimer, random és blokk kopolimer) polimerből készült kompozitokat vizsgáltunk, és igazoltuk, hogy a domináló mikromechanikai deformációs folyamat a mátrix tulajdonságaitól függően változik. A feszültség-nyúlás diagram segítségével meghatározott folyási feszültség eltérő folyamatokat takarhat. Határfelületek elválása a domináló folyamat, ha a komponensek közötti adhézió gyenge. Mátrix folyás és/vagy a töltőanyag szemcse törése a meghatározó, ha az adhéziót kapcsolóanyag segítségével növeljük. A domináló deformációs folyamat a komponensek tulajdonságai (mátrix jellemzői, szemcse szilárdság és geomet-

---

ria) és az adhézió határozzák meg. Határfelületi kölcsönhatás, a mátrix folyási feszültsége és az erősítőanyag saját szilárdsága egyaránt a kompozit szilárdságának korlátzó tényezője lehet. A kompozit tulajdonságai a mikromechanikai deformációs folyamatoktól függenek, de függetlenek a deformáció mechanizmusától.

A munka során különböző módszereket és modelleket alkalmaztunk a határfelületi kölcsönhatás és az erősítés mértékének jellemzésére. A dolgozat utolsó fejezetében egy megközelítést mutatunk be, amivel kvantitatív módon jellemezhető az adhézió erőssége kompozitokban, ha az adhéziót nem másodrendű kölcsönhatás hozza létre. A megközelítés alapja egy modell, ami a elválásához szükséges feszültséget a határfelületi adhézió függvényeként adja meg. Az elválási feszültséget akusztikus emisszió segítségével határoztuk meg. A deformáció mechanizmusát SEM felvételek segítségével igazoltuk, és a megközelítést ismert határfelületi adhéziójú kompozitokon ellenőriztük. Az eredmények alapján kapcsolóanyag alkalmazása esetén PP/CaCO<sub>3</sub> kompozitokban a határfelületi kölcsönhatás egy nagyságrenddel nagyobb, mint kapcsolóanyag nélkül. Különböző felületkezelés hatására PP/üveggyöngy kompozitokban az adhézió egy nagyságrenden belül változott. Következésképpen a határfelületi kölcsönhatás kvantitatív meghatározása lehetővé teszi a legtöbb felületkezelési módszer tervezését és optimalizálását töltőanyagot és rövid szál erősítést tartalmazó kompozitokban.

## 4. Új tudományos eredmények

1. Modell és kereskedelmi töltőanyagot tartalmazó PP kompozitok mikromechanikai deformációs folyamatainak elemzésével bizonyítottuk, hogy az elválási feszültség meghatározható akusztikus emissziós mérés segítségével. Rámutattunk, hogy az elválás a töltőanyag szemcseméret eloszlásától függő deformációs tartományban játszódik le. A szomszédos részecskék kölcsönható (átlapoló) feszültségmezője befolyásolja a deformációt, és még nagy szemcsék is aggregálódhatnak vagy asszociálódhatnak nagy töltőanyag tartalom esetén. [1]
2. PA6/rétegszilikát kompozitok vizsgálatával kimutattuk, hogy több különböző szerkezeti egység található bennük, az egyedi lemezeken túl különböző mértékben interkalált taktoidok és nagyobb szemcsék. Akusztikus emisszió és térfogati deformáció segítségével bizonyítottuk, hogy a mikromechanikai deformációs folyamatokat nagyobb szerkezeti egységek taktoidok illetve nem exfoliálódott részecskék indítják meg, és a domináló deformációs folyamat jellemzően a szemcsék törése. [2]
3. Különböző szemcseméretű falisztet tartalmazó PP kompozitok mikromechanikai deformációs folyamatainak vizsgálatával kimutattuk, hogy a deformáció változik a szemcseméret csökkenésével. Kevesebb határfelületi elválás és száltördelés játszódik le a kisebb szemcseméretű falisztből készült kompozitokban, de ez csak kismértékben befolyásolja a kompozit szilárdságát. A kompozit szilárdságának további növelése a szemcseméret, alaki tényező, és a saját szilárdság optimalizálásával lehetséges. [3]
4. A kompozit tulajdonságai a mikromechanikai deformációs folyamatoktól függenek, de függetlenek a deformáció mechanizmusától. Szoros össze-

---

függést mutattunk ki az AE segítségével meghatározott jellemző feszültség és a kompozit szilárdsága között. [4]

5. Igazoltuk, hogy az elérhető erősítő hatást a határfelületi kölcsönhatás, a mátrix folyási feszültsége és az erősítőanyag saját szilárdsága egyaránt korlátozhatja. Bizonyítottuk továbbá, hogy erős adhézió esetén a domináló deformációs folyamat változik a mátrix folyási feszültségének változásával, folyás következik be, ha a töltőanyag szemcsék szilárdsága nagyobb, mint a folyási feszültség, de nagyobb folyási feszültségű mátrixok esetén a szemcsék törése válik dominálóvá. [5]
6. Módszert dolgoztunk ki az határfelületi kölcsönhatás erősségének kvantitatív meghatározására olyan esetekben, amikor nem másodrendű kölcsönhatások lépnek fel. Először mutattuk meg, hogy funkcionizált polimer alkalmazása esetén PP/CaCO<sub>3</sub> kompozitokban az adhézió erőssége egy nagyságrenddel nagyobb, mint a kapcsolóanyag nélkül. [6]

## 5. Publikációk

### 5.1 A dolgozat alapját képező közlemények

1. Renner, K., Yang, M-S., Móczó J., Choi, H-J., Pukánszky, B.: Analysis of the debonding process in polypropylene model composites, *Eur. Polym. J.* **41**, 2520-2529 (2005) IF: 1,765 I:8
2. Renner, K., Henning, S., Móczó, J., Yang, M-S., Choi, H-J., Pukánszky, B: Micromechanical deformation processes in PA/layered silicate nanocomposites: correlation of structure and properties, *Polym. Eng. Sci.* **47**, 1235-1245 (2007) IF: 1,272 I:-
3. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B: Deformation and failure of PP composites reinforced with lignocellulosic fibers: Effect of inherent strength of the particles, *Compos. Sci. Technol.* **69**, 1653-1659 (2009) IF: 2,533 I:-

4. Renner, K., Kenyó, Cs., Móczó, J., Pukánszky, B: Micromechanical deformation processes in PP/wood composites: particle characteristics, adhesion, mechanisms, *Composites Part A* (beküldve)
5. Renner, K., Móczó, J., Suba, P., Pukánszky, B: Micromechanical deformations in PP/Lignocellulosic filler composites: effect of matrix properties *Compos Sci Technol* (közlésre elfogadva) IF: 2,533
6. Renner, K., Móczó, J., Vörös, G., Pukánszky, B: Quantitative determination of interfacial adhesion in composites with strong bonding *Macromol Rapid Comm* (beküldve)
7. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B: Micromechanical Deformations in Particulate filled Polymers: The Effect of Adhesion, *Conference proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on Composite Materials*, (2009)
8. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok akusztikus emissziós vizsgálata poliamid nanokompozitokban, *Műanyag Gumi*, **42**, 443-448 (2005)

## 5.2 Egyéb publikációk

1. Dányádi, L., Renner, K., Szabó, Z., Nagy, G., Móczó, J., Pukánszky, B: Wood flour filled PP composites: adhesion, deformation, failure. *Polym. Advan. Technol.* **17**, 967-974 (2006) IF: 1,406 I:13
2. Dányádi, L., Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B: Wood flour filled PP composites: interfacial adhesion and micromechanical deformations, *Polym. Eng. Sci.* **47**, 1246-1255 (2007) IF: 1,272 I:4
3. Dominkovics, Z., Renner, K., Pukánszky, B. Jr., Pukánszky, B.: Quantitative characterization of the structure of PP/layered silicate nanocomposites at various length scales, *Macromol. Symposia*: 267, 52-56 (2008)
4. Jerabek, M., Major, Z., Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B: Particle filled polypropylene composites - micromechanical deformations and interfacial failure, *Polymer* (beküldve)

5. Sudár, A.; Renner, K.; Móczó, J.; Pukánszky, B.: PP/üveggyöngy kompozitok: deformációs jellemzők és határfelületi kölcsönhatások, *Műanyag Gumi* **44**, 305-310 (2007)
6. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok társított polimerekben, *Magyar Kémiai folyóirat*
7. Gábor, Á., Faludi, G., Imre, B., Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok politejsav alapú biokompozitokban, *Műanyag és Gumi* **46**, 445-448 (2009)
8. Renner, K.: Heterogén polimer rendszerek akusztikus emissziós vizsgálata, *Műanyagipari szemle*, (2006)
9. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikropórusos filmek alapanyagának fejlesztése, *Műanyag és Gumiipari Évkönyv*, 11-14 (2005 )

### 5.3 Konferencia előadások

1. Pozsgay, A., Móczó, J., Renner, K., Pukánszky, B.: Deformation mechanism of layered silicate polyamide nanocomposites: effect of interfacial interactions, *NanoPol04*, Smolenice, 2004 december 13-14.
2. Renner, K., Yang, M-S., Móczó J., Choi, H-J., Pukánszky, B.: Debonding in PP model composites containing particles of uniform size. Eurofillers 2005, Brugges, 2005. május 9-12.
3. Renner, K., Móczó J., Choi, H-J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok kontrollált szemcseméretű töltőanyagot tartalmazó PP modell kompozitokban. MTA *Természetes Polimerek és Műanyag Munkabizottsági Ülés*, Budapest, 2005. április. 26.
4. Renner, K., Móczó J., Choi, H-J., Pukánszky, B.: A határfelületek elválásának vizsgálata polipropilén modell kompozitokban. MTA *Kutatóközponti Tudományos Napok*, Budapest, 2005. június. 1.
5. Renner, K., Móczó J., Hennig, S., Pukánszky, B.: Particulate morphology and exfoliation in PA6/Layered silicate nanocomposites; effect on micromechanical deformation processes. *Polymeric Materials 2005*, Halle, 2005. június. 1.

6. Renner, K., Yang, M-S., Móczó J., Choi, H-J., Pukánszky, B.: Határfelületek elválásának vizsgálata polipropilén modell kompozitokban. Doktoráns Konferencia 2006, Budapest 2006. február 7.
7. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikormechanikai deformációs folyamatok poliamid nanokompozitokban. MTA KK *Anyag- és Környezet-kémiai Intézet szemináriuma*, Budapest, 2006. április 11.
8. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok poliamid rétegszilikát nanokompozitokban. *IX. Doktori Iskola*, Tahi, 2006. április 24-25.
9. Móczó, J., Dányádi, L., Renner, K., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok faliszt töltőanyagot tartalmazó polimer kompozitokban. MTA *Kutatóközponti Tudományos Napok*, Budapest, 2006. május 18.
10. Klébert, Sz., Dányádi, L., Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Wood flour reinforced PP composites, *International Scientific Advisory Board*, MTA KK AKI, Budapest, 2006. június 7-8.
11. Renner, K., Százdi, L., Móczó, J., Pukánszky, B.: Structure and deformation of layered silicate polymer nanocomposites. *Advanced Polymeric Materials*, Bratislava, 2006. június 11-15.
12. Renner, K., Dányádi, L., Móczó, J., Pukánszky, B.: Wood flour filled polypropylene composites: interfacial interactions and micromechanical deformations. *Advanced Polymeric Materials*, Bratislava, 2006. június 11-15.
13. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Micromechanical deformation processes in PP-based composites. *8th Austrian Polymer Meeting 2006 „The Chain of Knowledge –From Catalyst to Application“*, Linz, 2006. szeptember 20-22.
14. Dányádi, L., Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációk faliszt erősítésű PP kompozitokban, MTA *Természetes Polimerek Munkabizottsága*, Budapest, 2006. november 3.
15. Fekete, E., Kovács, J., Móczó, J., Renner, K., Pukánszky, B.: Surface characterization of coated and uncoated fillers, *Eurofillers 2007*, Zalakaros, 2007. augusztus 26-30.
16. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Effect of component properties and adhesion on the deformation behavior of heterogeneous polymers, *Eurofillers 2007*, Zalakaros, 2007. augusztus 26-30.
17. Xiao, H., Liu, H., Yi, W., Pukánszky, B., Móczó, J., Renner, K.:

- 
- Investigation of nanoparticles modification and mechanical properties of polypropylene/nanoparticles composites, *Eurofillers 2007*, Zalakaros, 2007. augusztus 26-30.
18. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Comparison of the micromechanical deformations of wood and wood flour filled composites, *Eurofillers 2007*, Zalakaros, 2007. augusztus 26-30.
  19. Renner, K., Móczó, J., Kabe, K., Pukánszky, B.: Micromechanical deformation processes in particulate filled elastomers, *Eurofillers 2007*, Zalakaros, 2007. augusztus 26-30.
  20. Fekete, E., Móczó, J., Kovács, J., Renner, K., Pukánszky, B.: Surface characterization of coated and uncoated fillers, *Eurofiller' 2007 Conference*, Zalakaros, 2007. augusztus 26-30.
  21. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Micromechanical deformation processes in wood flour filled PP composites, *3<sup>rd</sup> China-Europe Symposium Processing and Properties of Reinforced Polymers*, Budapest, 2007. június 11-15.
  22. Renner Károly, Móczó János, Pukánszky Béla: Heterogén polimer rendszerek mikromechanikai deformációs folyamatainak vizsgálata, *VII. Téli iskola*, Balatonfüred, 2007. január 27.
  23. Renner, K., Yang, M-S., Móczó J., Choi, H-J., Pukánszky, B.: Mikromechanikai deformációs folyamatok faliszt töltőanyagot tartalmazó PP kompozitokban. *Doktoráns Konferencia 2007*, Budapest 2007. február 7.
  24. Sudár András, Dányádi Livia, Renner Károly, Móczó János, Pukánszky Béla: Faliszt erősítésű PP kompozitok, *MTA Műanyag és Természetes Polimerek Munkabizottsági ülés*, 2007. április 12.
  25. Renner Károly, Móczó János, Pukánszky Béla: Mikromechanikai deformációs folyamatok heterogén polimer rendszerekben, *Matematikai és Természettudományi Kuratórium Fiatal kutatók meghallgatása*, 2007. június 06.
  26. Móczó J., Sudár A., Renner K., Dányádi L., Pukánszky B.: A komponens-tulajdonságok és az adhézió hatása heterogén polimer rendszerek deformációs folyamataira, *MTA Anyagtudományi Nap*, 2007. máj. 11
  27. Renner K., Móczó J., Pukánszky B.: Szerkezet-tulajdonság összefüggések faliszt töltőanyagot tartalmazó PP kompozitokban *Doktoráns Konferencia 2008*, Budapest 2008. február 8.



- 
28. Renner K., Móczó J., Pukánszky B.: Micromechanical deformation processes in polypropylene composites *Austrian Slovenien Polymer Meeting 2008*, Graz, Ausztria, 2008. március 26-28.
  29. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Szerkezet-tulajdonság összefüggések faliszt töltőanyagot tartalmazó PP kompozitokban *XI. Doktori Iskola, Mátrafüred*, 2008. április 21-22. (meghívott előadás)
  30. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Deformation and failure of natural fiber reinforced composites; effect of particle characteristics and adhesion, *7<sup>th</sup> Global WPC and Natural Fibre Composites Congress and Exhibition*, Kassel, Németország, 2008. június 18-19.
  31. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Debonding in particulate filled polymers: effect of specific surface area and adhesion, *Polymeric Materials P2008*, Halle, Németország, 2008. szeptember 24-26.
  32. Renner K., Móczó J., Pukánszky B.: Határfelületek elválása töltött polimer rendszerek-ben; a fajlagos felület és az adhézió hatása. *MTA KK AKI Szeminárium 2008*, Budapest 2008. október 30.
  33. Móczó J., Renner K., Pukánszky B.: Kompozitok mikromechanikai deformációs folyamatainak vizsgálata akusztikus emisszióval. *MTA Anyagtudományi és Technológiai Komplex Bizottság, Anyagtudományi Nap*, Budapest, 2009. május 15.
  34. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Micromechanical Deformation Processes in Polymer Composites: Measurement and Practical Consequences, *Advances in Polymer Science and Technology (APST) 1*, Linz, Ausztria, 2009. július 8-10.
  35. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Wood Flour Reinforced Thermoplastics: Structure, Micromechanical Deformations, Properties, *Eurofillers 2009*, Alessandira, Olaszország, 2009. július 21-25.
  36. Móczó, J., Kenyó, Cs., Renner, K., Pukánszky, B.: PVC/natural fiber reinforced composites: interfacial interactions and micromechanical deformations, *Eurofillers 2009*, Alessandira, Olaszország, 2009. július 21-25.
  37. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Deformation and failure of PP/wood composites, effect of inherent strength of wood, *Eurofillers 2009*, Alessandira, Olaszország, 2009. július 21-25. (poszter díj)
  38. Renner, K., Móczó, J., Pukánszky, B.: Természetes szálak szilárdságának hatása kompozitok deformációs folyamataira, *MTA Kutatóközponti Tudományos Napok*, Budapest, 2009. november 24-26. (Fiatal kutatói díj)