



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Gépészmérnöki Kar**

Polimertechnika Tanszék

Írta:

**Mészáros László**

okleveles gépészmérnök

## **POLIMER MÁTRIXÚ NANOKOMPOZITOK FEJLESZTÉSE**

című témakörből,  
amellyel a PhD fokozat elnyerésére pályázik

**BUDAPEST**

**2010**

A doktori disszertáció bírálata és a védésről készült jegyzőkönyv a  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Gépészmérnöki Karának Dékáni Hivatalában megtekinthetőek

## 1. Bevezetés

A műszaki életben használatos polimer kompozitok fejlődésének új lendületet adtak a XX. század végén felfedezett nanorészecskék. Ezeknek a részecskéknek legalább az egyik mérete a nanométeres nagyságrendbe esik. Közéjük tartoznak a nanoméretű szabálytalan alakú részecskéken kívül a nanométeres átmérőjű, mikrométeres hosszúságú szálak, illetve a pár nanométer vastag, de ehhez képest nagy szélességgel és hosszúsággal rendelkező lemezek is. Az utóbbi két típus kiválóan alkalmas polimerok erősítésére, hiszen a rendkívül nagy felület-térfogat aránynak köszönhetően igen erős kapcsolat jöhet létre a mátrix és az erősítőanyag között.

A nanorészecskéknek igen sok típusa létezik. Alkalmazznak különböző fém-oxidokat, amelyek közül a legjellegzetesebbek a  $\text{TiO}_2$ , illetve az  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Ezekon kívül ide tartoznak az úgynevezett fullerének, illetve a rétegszilikátoknak nevezett lemezes szerkezetű agyagásványok is. Ez utóbbiakat már több mint 50 éve alkalmazzák a polimertechnikában, az oldószerállóság, vagy például a mechanikai jellemzők módosítása céljából. Mindezek ellenére csak 1976-ban írták le a rétegszilikátokkal erősített polimer rendszerek szerkezetét, amihez egy úgynevezett *in situ* polimerizációval előállított poliamid 6 (PA6) mátrixú nanokompozit szolgált alapul. Egy évtized múlva a Toyota hasonló módon előállított nanokompozitokkal jelentkezett, így ezek az anyagok már autóiipari alkalmazásban is felhasználásra kerültek. Azóta már számos műszaki területen (pl.: elektronika, gépészeti alkalmazások, orvostechika) használják ezeket a társított rendszereket, amelyeknek szinte megszámlálhatatlan fajtája létezik. Csaknem az összes ismert polimer mátrixot kipróbálták, és ehhez a rétegszilikátok típusainak széles körét alkalmazták.

A felsorolt nanorészecskék közül különleges jelentőségük van a fulleréneknek. A szén ezen allotróp módosulata új utakat nyitott a polimertechnika területén is. Különösen a szén nanocsövek kerültek a figyelem középpontjába. Ezek jellegzetesen igen kis, általában 20-100 nm átmérőjű, egy- vagy többfalú, akár mikrométeres hosszúságú, zárt, csőszerű képződmények. A túlnyomórészt zárt hatszögekből felépülő rendszer igen merev, ezért húzó mechanikai tulajdonságai kedvezőek. A nanocsövek húzó rugalmassági modulusa 1000 GPa-ra, míg a húzószilárdság egyfalú nanocsövek esetén 50-500, a többfalú nanocsövek esetén 10-60 GPa körüli értékre tehető. Ez az érték sokszorosan meghaladja a legnagyobb tömegben alkalmazott hagyományos szerkezeti anyagok, illetve kompozit erősítőanyagok húzószilárdság értékeit.

A polimer mátrixú nanokompozitok előállításánál az egyik legnagyobb gond a nanorészecskék aggregálódási hajlama. Ha aggregátumok maradnak a rendszerben, akkor a nanorészecskék nem tudják kifejteni erősítő hatásukat, sőt sokszor a mechanikai tulajdonságokat előnytelenül befolyásolják, hiszen ekkor kevesebb részecske vesz részt az erősítésben, másrészt a nagy aggregátumok hibahelyként viselkedhetnek, és a tönkremenetel esetén sokszor ezek a repedések kiindulópontjai. A nanorészecskék megfelelő elosztatására már számos módszer létezik, azonban ezek rendszerint bonyolultak, és fokozott körültekintést igényelnek. A nanorészecskék felületkezelésével, az előállítási módszerek tökéletesítésével igen kedvező tulajdonságokkal rendelkező anyagokat lehet előállítani.

A szálerősítésű kompozitok mechanikai tulajdonságai tovább növelhetők a mátrix nanorészecskékkel történő módosításával. A szénszál/epoxi/nanocső hibrid rendszerek ma már a mindennapi életben is jelen vannak, elsősorban a sportszergyártók alkalmazzák. A BMC svájci kerékpár gyártó cég több kompozitvázás termékénél is hibrid rendszert alkalmaz. A kereskedelmi forgalomban kaphatók nanocsöveket tartalmazó mátrixú golfütők (pl. Grafalloy Prototype Comp NT sorozat) és teniszütők (pl. Babolat NS Tour és Drive sorozat) is.

A nanorészecskék mellett azonban a hagyományos erősítőanyagok is jelentős fejlődést mutattak az elmúlt évtizedekben. Az egyre tökéletesebb technológiákat alkalmazva egyre nagyobb teljesítményű szálakat állítanak elő, illetve újabb erősítőanyagok jelentek meg a piacon, amelyeknek talán legígéretesebb tagja a folytonos technológiával előállított bazaltszál. A bazaltszál hasonló mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, mint az üvegszál, viszont jobb a hő- és vegyszerállósága, illetve előállítása is egyszerűbb. Megfelelő minőségű alapanyag esetén egy tisztítási és őrlési eljárás után az anyag szálgyártásra alkalmas. A folytonos bazaltszál ára egyelőre még valamivel magasabb, mint az üvegszálé, viszont éppen az egyszerűbb technológia, valamint a természetben előforduló olcsó, nagy mennyiségben rendelkezésre álló alapanyag következtében a jövőben a bazaltszál az üvegszál méltó vetélytársa lehet a kompozit alkalmazások területén.

A polimer nanokompozitok technikája az anyagtudomány nagyon szerteágazó, és ezért sok lehetőséget magában rejtő ága. Valószínűsíthető, hogy ez a kompozit család a XXI. század kiemelkedően fontos műszaki anyagává válik. Kutatásom céljából ezért új típusú nanokompozitok kifejlesztését tűztem ki, beleértve a bazaltszállal erősített nanorészecske tartalmú hibridkompozitok létrehozását és vizsgálatát is.

## 2. A témához tartozó szakirodalom rövid elemzése, az értekezés célja

Az irodalmi áttekintésben először bemutattam a szálfarmájú erősítőanyagokra jellemző felület-térfogat arány változását az átmérő, illetve a hosszúság függvényében, amely során rámutattam, hogy nemcsak a hosszú szálak, hanem a vékony (korongot közelítő alakú), lemezes anyagok is alkalmasak polimerek erősítésére. Ezek után bemutattam néhány lemezes, illetve szálás szerkezetű nanoméretű erősítőanyagot, amelyek közül részletesen a montmorillonittal, valamint a szén nanocsővel foglalkoztam. A kutatásaimhoz ezeket az erősítőanyagokat használtam fel, mivel mind fizikai, mind mechanikai tulajdonságaik eleget tesznek a kompozit erősítőanyag alapvető követelményeinek: nagy fajlagos felülettel, kiváló szilárdsággal, illetve húzó rugalmassági modulussal rendelkeznek.

A nanorészecskék polimer kompozitokban erősítőanyagként történő alkalmazása során a legfőbb problémák a részecskék közötti erős vonzóerő következtében fellépő nehéz eloszthatóság és az aggregálódási hajlam. Ezek kiküszöbölése érdekében fontos a megfelelő anyagpárosítás, a részecskék felületkezelése, vagy organofilizálása, valamint a nanokompozit előállításának módjának megválasztása. A kísérleteimhez egy, az ipari gyakorlatban jól bevált műszaki műanyagot, a poliamid 6-ot választottam. A nanokompozitok előállításának három módszere: az ömledékes eljárás, az *in situ* polimerizáció, illetve az oldószeres eljárás közül az ömledékes eljárást és azon belül az extrudálást választottam célszerű technológiai megvalósíthatósága miatt. Számos kutató igazolta, hogy a nanorészecskék már igen kis mennyiségben is jelentősen módosíthatják a mátrix tulajdonságait, így az általam előállított anyagoknál 1 m% nanorészecskét adagoltam.

A szakirodalom feldolgozása során kiderült, hogy a feldolgozási paraméterek jelentősen befolyásolhatják a nanokompozitok mechanikai tulajdonságait. A legjobb nanorészecske eloszlást a polimer ömledékben ébresztett nagy nyíróerők esetén érték el, azaz magas fordulatszámú extrúzió, illetve különböző nyíróelemek alkalmazása esetén. Az extrudálási hőmérséklet hatását azonban mindezidáig részletesen még nem vizsgálták.

A szén nanocsöveknél hasonló aggregálódási problémákkal találkoztak a kutatók, mint a rétegszilikátok alkalmazása esetében. A megfelelő diszperzió eléréséhez a nagy nyíróerő alkalmazása itt is célravezető lehet, és figyelembe kell venni, hogy a többfalú szén nanocsövek könnyebben eloszthatóak. Ez a többfalú szén nanocsövek

nagyobb sűrűségével (azonos bekevert tömeg esetén kisebb darabszám), illetve a kisebb felület/térfogat arányával magyarázható, hiszen így fajlagosan nagyobb nyíróerő jut egy nanocsőre. Ezek alapján a montmorilloniton kívül a többfalú szén nanocsövek alkalmazása mellett döntöttem.

A nanocsövek PA6 kompozitokban történő alkalmazása során még nem teljesen tisztázott azok hatása a PA6 kristályos szerkezetére. Egyes kutatók a kristályos részarány csökkenését, míg mások a kristályos részarány növekedését tapasztalták. A kérdés tisztázása tehát további kutatást igényel.

Mint az már korábban kiderült, a nanorészecskék felületkezelése alapvetően befolyásolja a kialakuló erősítőanyag-mátrix kapcsolatot. Ennek egyik módja lehet az elektronbesugárzás alkalmazása is, amely *in situ* polimerizációt indíthat el. Az elektronsugárzás során jó esély van arra, hogy az ojtott kopolimer oldallánc elsődrendű kötással kapcsolódjon az ásványi részecske felületéhez. Ez a szokásos eljárásokkal szemben erősebb kötőerőt biztosíthat a mátrix és az erősítőanyag között.

Az üvegszál erősítésű, nanorészecske tartalmú hibridkompozitok előállítására már vannak példák a szakirodalomban, viszont a bazaltszál alkalmazása hibridrendszerekben egyelőre kevésbé kutatott terület. Az üvegszálal hibridnanokompozitok esetén jelentkező kedvező mechanikai tulajdonságok bazaltszál alkalmazása esetén is jelentkezhetnek.

Az irodalom áttekintése alapján a céloom olyan új nanokompozit előállítási technológia kifejlesztése, amellyel a nanorészecskék jobb diszperzióját lehet elérni. Ezt az előállítási paraméterek optimalálásával, az alkalmazott nanorészecskék esetleges felületi módosításával szeretném elérni. További céloom hagyományos szálerősítéssel és nanorészecske erősítéssel rendelkező hibrid nanokompozitok létrehozása is. A hibridizációtól a nanorészecskék még kedvezőbb eloszlását, szinergikus hatásokat, és ezáltal a határjellemzők javulását várom. Az előállított kompozitokat mechanikai, és morfológiai tulajdonságaik alapján minősítem.

### 3. Alkalmazott módszerek, mérési eljárások, felhasznált anyagok

A kísérletekhez alkalmazott rétegszilikát a Süd Chemie AG által gyártott Nanofil 9 típusú, kvatener ammóniumsóval kezelt montmorillonit volt (továbbiakban MMT). Az MMT további módosításához a Merck által gyártott 2-hidroxi-etil-metakrilátot (HEMA) alkalmaztam, amelynek elektronsugárással történő polimerizálhatóságát előkísérlettel igazoltam.

Mátrixanyagként a Schulman AG által gyártott Schulamid 6 MV 13 F típusú poliamidot alkalmaztam (továbbiakban PA6). A szálerősítéshez az ukrán Kamenny Vek Ltd. által gyártott BCS 13.6.KV02 típusú bazaltszálat használtam fel. A szálak folytonos szálhúzás technológiával gyártott, vágott szálak voltak (névleges átmérő: 13  $\mu\text{m}$ , átlagos hosszúság: 6 mm).

A nanocső erősítéshez a BAYER cég által gyártott Baytubes<sup>®</sup> C 150 P típusú többfalú szén nanocsöveket (MWCNT) alkalmaztam. A nanocsövek a gyártó szerint semmilyen felületkezeléssel nem voltak ellátva. A nanocsövek átlagos átmérője 13-16 nm, a hosszúságuk pedig 1-10  $\mu\text{m}$  volt.

A nanorészecskék elektronsugárással történő felületkezelését egy, az Energy Science Inc. (ESI) (Woburn, MA, USA) által gyártott 175 keV-os Electrocurtain típusú elektrongyorsító berendezéssel hajtottam végre. Az elektronsugárzás paraméterei a következők voltak: gyorsító feszültség  $U = 175 \text{ kV}$ , elektron-áram  $I = 6 \text{ mA}$ , katódhűtés  $P = 350 \text{ W}$ , az anyag átfutási sebessége az elektronsugár alatt:  $v = 0,5 \text{ m/másodperc}$ . A kezelést a monomerek teljes konverziója céljából, és a túlhevülés elkerülése érdekében négy dóziszrészben adtam. A paramétereiből számított összdózis értéke  $D = 150 \text{ kGy}$ .

Feldolgozás előtt a PA6 tartalmú anyagokat Heraeus UT-20 típusú szárítószekrényben szárítottam, az anyag adatlapjának megfelelően 80°C-on, 4 órán keresztül.

A kísérletek első fázisában anyagaimat 50 ml-es Brabender Plasti-Corder 814600 típusú belső keverő segítségével állítottam elő. A keverést 220°C-on 20 fordulat/perc keverési sebesség mellett végeztem. Az erősítőanyagot a polimer ömledékállapotba jutása után adagoltam.

A sajtolást Collin P 200 E típusú laboratóriumi présrel végeztem. A préselés során a hőmérsékletet 230°C-ig emeltem, a nyomás 150 bar volt. Öt percig tartottam az anyagokat ilyen körülmények között, majd vízhűtéssel lehűtöttem. A préseléshez

160x100x1 mm nagyságú préskereteket használtam. A lemezből az EN ISO 527-1 szabványnak megfelelően vágtam ki szabványos szakító próbatesteket.

Az extrudálást Brabender Plasti-Corder PL2100 típusú ikercsigás extruderen végeztem, a fordulatszám minden esetben 10 fordulat/perc volt. A csigák átmérője 25 mm, az l/d viszony 20.

A fröccsöntést Arburg Allrounder 320 C 600-250 típusú fröccsöntőgéppel végeztem. A fröccsöntéssel előállított 4x10 mm-es keresztmetszetű próbatestek megfelelnek az MSZ EN ISO 527-2 szabványnak. A fröccsöntés minden anyag esetében azonos paraméterek mellett történt.

Az MFI méréseket CEAST Modular Melt Flow 7027.000 típusú kapilláris plasztométerrel végeztem, az MSZ EN ISO 1133 szabványnak megfelelően, a következő paraméterek mellett: a kapilláris hossza  $L = 8$  mm, a kapilláris sugara:  $r = 1$  mm, a dugattyú átmérője:  $d = 9$  mm, a terhelő tömeg:  $m = 2,16$  kg voltak.

A mátrixanyagként alkalmazott PA6 fizikai tulajdonságai nagyban függenek az anyag hőmérsékletétől és nedvességtartalmától, ezért a mintákat az egyes vizsgálatok előtt legalább 48 órán keresztül, MEMMERT HCP 153 típusú klímakamrában 25°C-on 50% relatív páratartalom mellett kondicionáltam.

Az MMT rétegtávolságának meghatározására, valamint a PA6 kristályszerkezetében létrejövő változások feltárására Philips típusú röntgendiffrakciós (XRD) berendezést használtam, PW 1730 típusú generátorral felszerelve. A pásztázási tartomány:  $2\Theta = 1-42^\circ$ , a hullámhossz  $\lambda = 1.54186 \text{ \AA}$  volt.

A húzóvizsgálatokat Zwick Z020 típusú számítógép vezérelt szakítógéppel végeztem az MSZ EN ISO 527-1:1999 szabvány szerint. A befogási hossz a préselt próbatesteknél 30 mm, a fröccsöntött mintáknál 110 mm volt. Az erő-elmozdulás görbéből húzószilárdságot ( $\sigma_M$ ), szakadási nyúlást ( $\epsilon_B$ ) határoztam meg. A szakadási nyúlást a keresztfej elmozdulás alapján számoltam. A húzó rugalmassági modulus (E) pontos meghatározása érdekében videoextenzométert alkalmaztam. A húzó rugalmassági modulus a feszültség-deformáció görbe kezdeti szakaszának legmeredekebb szakaszára illesztett egyenes meredekségéből számítottam. A ciklikus húzóvizsgálatnál erővezérlést alkalmaztam, a terhelés ráadásának, illetve levételének sebessége 100 N/s volt. A terhelést ciklusonként 100 N-nal növeltem. Az egyes ciklusok között 30 s pihentetést állítottam be. Ennél a vizsgálatnál anyagonként egy próbatestet használtam fel.



A hárompontos hajlítóvizsgálatokat Zwick Z020 típusú univerzális számítógép-vezérlésű terhelőgépen végeztem, az MSZ EN ISO 178 szabványnak megfelelően. A próbatest alátámasztási távolsága 64 mm, a hajlítás sebessége 2 mm/perc volt. Mivel a hajlítás során a próbatestek nem törtek el a szabványban megadott határlehajlásig (ez 4 mm vastag próbatest esetén 6 mm), ezért a határlehajláshoz tartozó feszültségértékeket, azaz a határhajlító feszültséget számoltam ki minden esetben. A hajlító rugalmassági modulus meghatározásánál is - a szakításnál leírtakhoz hasonlóan - a hajlítógörbe kezdeti, szakaszát vettem alapul.

A PA6 kristályos csúcsainak, és kristályos részarányának meghatározását Perkin-Elmer DSC-2 berendezéssel végeztem. A fűtési sebesség 10°C/perc volt, a méréseket inert atmoszférában 30 ml/perc áramlási sebességű N<sub>2</sub> jelenlétében végeztem. A kristályos csúcsok meghatározásánál öt párhuzamos mérés eredményeinek az átlagát vettem figyelembe. A kristályosság számításánál a 100%-ban kristályos PA6 átlagos olvadáshőjét 188 J/g-nak vettem.

Az anyagok töretfelületeinek morfológiai felépítésének és szerkezetének tanulmányozásához egy JEOL JSM-6380 LA típusú pásztázó elektronmikroszkópot alkalmaztam. A vizsgált minták a szakításhoz alkalmazott próbatestek töretfelületei voltak. Ezekre minden esetben elektromosan vezető aranyréteget gőzöltem rá, és egy elektromosan vezető ragasztócsík segítségével rögzítettem őket egy fém mintatartóra, a minta töltődésének elkerülése végett. Meg kell jegyezni, hogy az aranyozás miatt a nanorészecskék mérete nagyobbak tűnik, hiszen a vizsgálandó felületre több tíz nm vastag aranyréteg került.

A transzmissziós elektronmikroszkópiát egy LEO 912 Omega típusú berendezéssel végeztem el. A vizsgálandó minták elkészítése Leica Ultracut microtome berendezéssel történt.

## 4. Új tudományos eredmények – tézisek

### 1. tézis [7]

Kimutattam, hogy az 1 m% montmorillonit (MMT) tartalmú poliamid 6 (PA6) mátrixú nanokompozitok esetén az extrudálási hőmérséklet jelentősen befolyásolja az anyagok mechanikai és kristályos tulajdonságait és emellett rámutattam, hogy az MMT jelenléte kompenzálja a magas hőmérsékletű extrúziós keverés által okozott mátrix degradációt is. Bebizonyítottam, hogy ezen nanokompozitok esetén, az extrudálási hőmérséklet növelésével a  $\gamma$ -kristályos fázis olvadási hőmérséklete 1,6°C-kal növekszik, amelynek oka a kristályok nagyobb lamellavastagsága.

### 2. tézis [1,2,6]

Új típusú felületkezelési eljárást fejlesztettem ki MMT módosítására, amely során 2-hidroxi-etil-metakrilát (HEMA) monomert vittem az MMT rétegei közé (HMMT), majd az ömledék keverés során a HEMA *in situ* polimerizációja zajlott le, amely kedvezően hatott a mechanikai tulajdonságokra. Belsőkeverővel, majd préseléssel előállított mintáknál 1 m% HMMT-t adva a PA6-hoz 38%-kal növelte annak húzószilárdságát, és 127%-kal a húzó rugalmassági modulusát.

### 3. tézis [17]

Bebizonyítottam, hogy az extrudálással előállított rövidszál tartalmú hibrid kompozitok esetén nemcsak a szálak látszólagos viszkozitásnövelő hatása miatt lesz kedvezőbb a nanorészecskék eloszlása, hanem a szálak egymáshoz képest történő elmozdulása révén még erősebb nyíróerők ébrednek az ömledékben, amelyek az aggregátumokat felbontják, így még nagyobb erősítő hatás érhető el.

### 4. tézis [11]

Extrudálással állítottam elő a PA6 mátrixra vonatkoztatva 1 m% HMMT, illetve 1 m% többfalú szén nanocső (MWCNT) tartalmú, 30 m% bazaltszál tartalmú hibridkompozitokat. Kimutattam, hogy rövid bazaltszál és nanorészecskék együttes alkalmazásával kedvező mechanikai tulajdonságokkal rendelkező hibrid-nanokompozitokat lehet létrehozni. A húzószilárdság, a határlehajláshoz tartozó feszültség és a hajlító rugalmassági modulus tekintetében a vágott bazaltszál és a nano-

erősítőanyagok okozta együttes tulajdonságnövekedés meghaladta a szálerősítés és a nano-adalék külön-külön észlelhető hatásának összegét, tehát pozitív hibrid hatást értem el.

### **5. tézis [16]**

Ciklikus vizsgálatok segítségével bebizonyítottam, hogy a PA6 30 m% bazaltszállal (BF) történő erősítésekor csökken a maradó alakváltozás a ciklusszám függvényében a mátrixhoz képest. Amennyiben HMMT, illetve MWCNT is van a rendszerben, akkor magasabb ciklusszámnál, és alacsonyabb maradó deformáció értéknél következik be a tönkremenetel. Bevezettem a maradó alakváltozási érzékenység fogalmát, ami a feszültségterhelés függvényében mért maradó alakváltozási görbének a kezdeti meredeksége:  $J_m$  [1/GPa]. Kimutattam, hogy a BF tartalmú PA6 kompozitok kevésbé érzékenyek a maradó alakváltozásra, mint a tiszta PA6, vagy ennek MMT-vel, illetve MWCNT-vel erősített társai.

## 5. Saját közlemények jegyzéke

- [1] **Mészáros L.**, Czvikovszky T.: Az elektronkezelés hatása a PA6 mátrixú nanokompozitok szerkezetére és tulajdonságaira, *Anyagvizsgálók Lapja* 15 (2005) 121-125.
- [2] **Mészáros L.**, Czvikovszky T.: The impact of electron treatment on the strength properties of PA 6 matrix nanocomposites, 12th European Conference on Composite Materials (ECCM 12). Biarritz, France, 2006.08.29-2006.09.01. p. 5.
- [3] **Mészáros L.**, Košťáková E., Pokorný P., Romhány G.: Nanotubes' separation by means of ultrasound for nanocomposite materials' production, 13th International Conference: Structure and Structural Mechanics of Textiles, Liberec, Czech Republic, 2006.11.27-2006.11.29. p. 6.
- [4] Szabéni G., **Mészáros L.**, Romhány G.: Többfalú szén nanocsővel erősített epoxi mátrixú nanokompozit előállítás, mechanikai tulajdonságainak elemzése, *Anyagvizsgálók Lapja* 17 (2007) 20-26.
- [5] Szabéni G., **Mészáros L.**, Romhány G.: Többfalú szén nanocső/szénszövet erősítésű hibrid nanokompozit előállítás, mechanikai tulajdonságainak elemzése, *Műanyag és Gumi* 44 (2007) 312-315.
- [6] **Mészáros L.**, Czvikovszky T.: Polyamide-6 nanocomposites with electron-beam treated clay, *Radiation Physics and Chemistry*, IF=0,934, 76 (2007) 1329-1332.
- [7] **Mészáros L.**, Ronkay F., Oláh L.: Influence of extrusion temperature on thermal properties of polyamide 6/MMT nanocomposites, *Plastics, Rubber and Composites*, IF=0,443, 37 (2008) 219-222.
- [8] Molnár K., Košťáková E., **Mészáros L.**: Electrospinning of PVA/carbon nanotube composite nanofibers: the effect of processing parameters, *Materials Science Forum* 589 (2008) 221-226.
- [9] Káta B., **Mészáros L.**, Bárány T.: Polietilén társítása újrahasznosított gumiőrleménnyel és rétegszilikáttal, *Építőanyag* 60 (2008) 8-11.
- [10] **Mészáros L.**, Tábi T., Kovács J. G., Bárány T.: The effect of EVA content on the processing parameters and the mechanical properties of LDPE/ground tyre rubber blends. *Polymer Engineering and Science*, IF=1,245, 48 (2008) 868-874.

- [11] Balogh G., Deák T., **Mészáros L.**: Production and examination of montmorillonite and basaltfibre reinforced hybridcomposite, *Gépészet 2008 Proceedings of Sixth Conference on Mechanical Engineering*, Budapest, Hungary, 2008.05.29-2008.05.30. p. 8.
- [12] Molnár K., **Mészáros L.**, Vas L. M.: Processing of oriented nanofibers by electrospinning method, *Gépészet 2008 Proceedings of Sixth Conference on Mechanical Engineering*, Budapest, Hungary, 2008.05.29-2008.05.30. p. 7.
- [13] Košťáková E., **Mészáros L.**, Gregr J.: Composite nanofibers produced by modified needleless electrospinning, *Materials Letters*, IF<sub>2008</sub>=1,748, 63 (2009) 2419-2422.
- [14] Molnár K., **Mészáros L.**, Vas L. M.: The Effect of Electron Beam Irradiation on PA6/Epoxy Nanofibrous Laminates, *Nanofibers for the 3rd Millenium*, Prague, Czech Republic, 2009.03.11-2009.03.12. p. 6.
- [15] **Mészáros L.**, Molnár K., Vas L. M.:The effect of the orientation on the mechanical properties of electrospun nanofibers, *AUTEX 2009 World Textile Conference*, Izmir, Turkey, 2009.05.26-2009.05.28. p. 6.
- [16] **Mészáros L.**, Czigany T., Manero O., Vas L. M., Czvikovszky T.: Elastic recovery at PA-6 matrix nanocomposites, *International Conference on Polymers and Advanced Materials*, Huatulco, Mexico, 2009.11.22.-2009.11.29. p. 1.
- [17] Gali I. M., **Mészáros L.**: The effect of basalt fibre co-reinforcement on the dispersion of nanoparticles in PA6 matrix composites, *Gépészet 2010 Proceedings of Seventh Conference on Mechanical Engineering*, Budapest, Hungary, 2010.05.25.-2010.05.26. (benyújtva)