

Öntött poliamid 6 kompozitok vizsgálata és anyagfejlesztése mezőgazdasági gép alkalmazásokhoz

Andó Mátyás, SZIE-GÉK, Gépipari Technológiai Intézet (GÉTI), Ando.Matyas@gek.szie.hu

Kalácska Gábor, SZIE-GÉK, Gépipari Technológiai Intézet (GÉTI)

Czigány Tibor, BME-GEK, Polimertechnika Tanszék (PT)

Sárosi Gyula, Quattroplast Kft.

ÖSSZEFOGLALÓ

Megjelent a piaci ígén arra, hogy a műanyagipar olyan speciális félkész termékeket alakítson ki, melyek jobban megfelelnek a mezőgazdasági követelményeknek. A félkész termékeket öntési eljárással lehet gazdaságosan elkészíteni, ezért döntöttünk a poliamid 6 fejlesztése mellett. Tapasztalatunk szerint a javított tribológiai tulajdonságot, MoS₂ adalékolásával érdemes fokozni. Az antisztatikus szén nanocsövek 1% alatti adalékolásával is elérhető, miközben azonban a mechanikai tulajdonságok romlanak. Égégátolt típus kifejlesztéséhez a montmorillonit adalékanyag használata lehetséges, ekkor fokozott követelmény a diszperz rendszer kialakulása.

1. BEVEZETÉS

A mezőgazdasági munkák gyakran járnak szélsőséges körülményekkel, melynek hatásait az alkalmazott anyagoknak ki kell bírniuk. Meghatározó jelenség az abrázációs koptató hatás, ahol a kopásállóság növelése egyértelműen a gépszerkezet élettartamának növelését jelenti (pl. tároló burkolatok, surrantók). Antisztatikus és/vagy égégátolt műanyagok használata elengedhetetlen a robbanásveszélyes helyeken (gabonasilók, műtrágyakezelés berendezései). Ezeknek a feltételeknek már részben megfelelnek a mai műszaki műanyagok egyik fajtája az öntött poliamid 6. A világviszonylatban egyedülálló gyártástechnológiával készül Magyarországon a magnézium katalizálású poliamid 6. Jelenlegi anyagfejlesztés célja olyan altípusok előállításának adalékolással, melyek jobban és gazdaságosabban használhatóak a mezőgazdaságban.

A műanyag gépalkatrészek használata agrotechnikai és környezetvédelmi szempontból is jelentős. A mezőgazdasági gépek tömegcsökkentésénél, az öntömeg megtervezésénél fontos eszköz a polimer gépelemek alkalmazása, mert a talajtömörödöttség, talaj-vízháztartás szempontjából a gépi tömeg kritikus, úgymint hajtóanyag-felhasználás és károsanyag-kibocsátás szempontjából is.

2. ALAPANYAG A POLIAMID 6

A poliamid 6 (PA6) olyan műszaki műanyag, melynek igen jó mechanikai és tribológiai tulajdonságai vannak, és már széles körben használják a műszaki élet több területén is. A termék alapanyaga kaprolaktám (C₆H₁₁NO), mely kereskedelmi forgalomban kapható. Németországban 1938 körül készítettek először kaprolaktámból PA6-ot. Ez polikondenzációs folyamatot jelent, mely során víz keletkezik melléktermékként [Kalácska 2007]. Nátrium katalizálású PA6-ot csak később állítottak elő, ráadásul nem váltotta be a hozzá fűzött reményeket, mert szálgyártásra alkalmatlan volt. Ennek ellenére öntött tömbök gyártására kiválóan alkalmas [Macskási 1996]. Magnézium katalizálású PA6 gyártástechnológiáját magyar kutatók dolgozták ki az 1990-es években. Az ilyen jellegű katalizátoros eljárásoknál a gyűrűfelnylásos polimerizáció vízmentes közegben percek alatt végbemegy, jelentősen gyorsítva a gyártási folyamatot a hagyományos polikondenzációs technológiához képest. A magnézium katalizálású gyártástechnológiával készült PA6 (Magyarországon kereskedelmi

forgalomban kapható, DOCAMID 6G-H) húzószilárdsága 85 MPa, ütészállósága pedig 8 kJ/m² felett van.

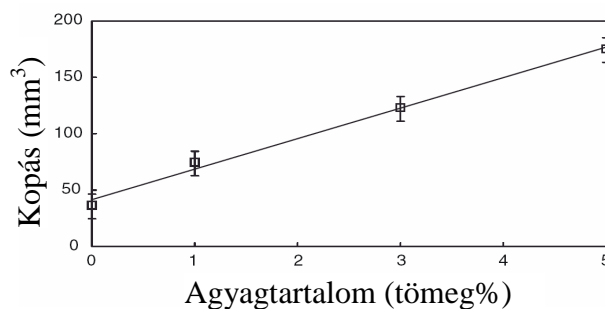
3. TULAJDONSÁGFEJLESZTÉSEK

3.1 Tribológiai tulajdonság javítása

A mezőgazdasági gépek jellemző tribológiai igénybevétele az abráziós kopás. Régóta ismeretes, hogy a műanyagok szívósságuk illetve beágyazó képességük miatt ilyen rendszerekben előnyös szerkezeti anyagok, ugyanis a kopás és a súrlódás mérséklésével az élettartamat és a hatásfokot növelik. Jelenleg a műanyagipar a következő adalékanyagokkal kísérletezik (használja), hogy tribológiai szempontból jobb alapanyagot állítsanak elő. A grafitot és a molibdén-diszulfidot (MoS₂) régóta használják kenőanyagként. Ezek az anyagok a szilárd kenőanyagok körébe tartoznak és használatuk a járműtechnikában és a műanyagipar területén is elfogadottak. Xu [2007] kísérletei során MoS₂-ot és grafitot kevert poliamidba, és megállapította, hogy a MoS₂ jobban csökkentette a kopást, mint a grafit. Mérései rávilágítottak arra is, hogy a túl sok ilyen jellegű adalékanyag ellentétes hatást is kiválthat, vagyis nőhet a kopás mértéke. Grafit adalékolásánál azonban figyelembe kell venni azt is, hogy növeli a PA6 kristályossági fokát [Rusu 2007]. Azonban ezeknek a szilárd kenőanyagoknak a használata a mechanikai tulajdonságokban negatívan jelentkeznek, vagyis csökkentik a szívósságot, és a szilárdságot is [Jaklewicz 2004].

A PTFE-t (teflon) szintén sokszor használják, amikor tribológiai tulajdonságok javításáról van szó. A PTFE már önmagában számtalan jó tulajdonsággal rendelkezik [Czvikovszky 2003]. Kitűnő a hőállósága, mert kristályossága eléri a 95%-ot és nagy a molekulatömege. Vegyszerállósága, siklási és tapadásgátló tulajdonsága miatt előszeretettel alkalmazzák csapágybetét anyagnak is. A PTFE és acél között fellépő súrlódási tényező 0,06-0,1 között van száraz körülmények között is. Ezen előnyös tulajdonságok miatt a kereskedelmi forgalomban számtalan olyan termék van, amelyben a PTFE, mint adalékanyag van jelen.

Srinath (2007) PA6-hoz montmorillonitot (agyagásvány) adalékolta és vizsgálta abrázió körülmények között a tribológiai tulajdonságokat. A kopás mértéke az agyagtartalom növekedésével növekedett (1. ábra), míg a súrlódási tényező kismértékben csökkent. Eredményei alapján kijelenthető, hogy a montmorillonit adalékolású poliamid tribológiai alkalmazása nem célszerű (mezőgazdasági környezetben), azonban égésgátolt poliamidok fejlesztésénél potenciális adalékanyag.



1. ábra. Montmorillonit adalékanyag hatása a kopásra

Molibdén-diszulfid adalékolás esetén a súrlódási tényező maximális értéke 43%-kal csökkent a natúr PA6-hoz képest, azonban emellett 30%-os szilárdságcsökkenéssel is járt. Ebben az esetben lehetőség látszik arra, hogy a súrlódási tényező értékét a MoS₂ tartalommal tág határok között változtassuk. PTFE adalékolása esetén a mechanikai tulajdonságok rosszabbak lettek, mint MoS₂ adagolása esetén, miközben súrlódási tényező nem változott jelentősebb

mértékben. Ezért a továbbiakban ebben a fejlesztési folyamatban nem érdemes a PTFE porral foglalkozni.

3.2 Antisztatikus tulajdonság létrehozása

A mezőgazdasági alkalmazások egy részénél követelmény, hogy a felhasznált anyagok antisztatikus tulajdonságúak legyenek, mert így elkerülhető a porrobbanás, és tisztíthatóság szempontjából is előnyös tulajdonság. A műanyagiparban számtalan adalékanyagot használnak arra a célra, hogy az alapmátrix vezetőképességét növeljék, ilyen anyagok [Kalácska 2007]: korom, grafit, szénszál, porok, pelyhek, lemezkék, szálak, fémbevonatú grafit, üvegszálak, fémbevonatú üveggyöngyök. Az ilyen anyagok használata esetén azonban csak akkor érünk el tulajdonságváltozást, ha egy bizonyos koncentrációnál több adalékanyagot használunk, mert ekkor folytonos szerkezetet tudnak kialakítani az anyagban. A feltöltődés elkerülésének másik módja, hogy a felületre (külső) antisztatikumokat visznek fel, de ekkor csak időszakos védelemről beszélhetünk. Belső antisztatikum használata esetén az alapmátrixhoz keverik az adalékot, az ilyen anyagok sokkal tartósabb védelmet nyújtanak a feltöltődés ellen.

Novák [2004] különböző fajtájú grafitport kevert epoxi gyantába és poliuretánba. Mérései alapján megállapította hogy a grafit és az alapmátrix fajtájától függetlenül a jobb vezetőképesség és ezzel az antisztatikusság is 22%-nál nagyobb grafit tartalom esetén lehetséges. A közölt eredményeiből látszik, hogy a 22%-os határ egy durván kijelölt határ, de kijelenthető, hogy a vizsgált tulajdonság 20-30%-os grafit tartalom esetében változik meg jelentősen, és 30% felett már biztosan antisztatikus anyagot kapunk. A finomabb grafitpor használatával minden esetben jobb eredmény született, tehát ennek használata előnyösebb. A grafitpor bekeverésével folyamatosan csökken az ütőmunka értéke, ezért is érdekesebb a finomabb fajta grafitport használni, mert kevesebbet kell adagolnunk ugyanazon hatás elérése érdekében. (A KS 15 és a KS 6 grafitpor csak szemcsefinomságban különböztek, a jelekben a számok a jellemző szemcsenagyságra utalnak μm -ben.) Ráadásul a KS 6 típusú grafitpor eleve kevésbé csökkenti az ütőmunkaértéket.

A habosított (expandált) grafit gyártástechnológiájának kidolgozása és fejlesztése a közelmúltban megtörtént, akkor is antisztatikus és elektromos tulajdonság befolyásolására ajánlották [Li 2005]. Ez a fajta grafit jobb tulajdonságokat biztosít a nagy sűrűségű polietilénnek, mint a kezeletlen grafit [Zheng 2004]. A habosított grafit a bekeverés során a viszkozitást is növeli, ami segíti az öntés során az eloszlást. Antisztatikus tulajdonság elérése érdekében a kormot is felhasználják. A korom használata kevésbé csökkenti például az EP fólia szakítószilárdságát, mint a grafit [Novák 2004]. Egyes kutatók szerint [Wang 2003] a korom jobb hatással van az antisztatikus tulajdonságokra, mint a grafit. Akár 1% korommal is el lehet érni antisztatikus tulajdonságot poliészterek esetén. Ez azonban a hasonlítás alapját képező grafit fajtájától is függ.

Korábbi években számtalan próbálkozás irányult arra, hogy az egyéb szénszármazékok mellett a szén nanocsöveket is felhasználják elektromos tulajdonságot javító adalékanyagként. A szén nanocsöveknek kicsi az ellenállásuk, vagyis jól vezetik az áramot, ezért számtalan esetben sikerült vezetőképes kompozitot kialakítani a szén nanocsövek adalékolásával. A kutatások jelenleg a minél kevesebb adalékanyag bekeverését kívánják elérni, úgy hogy az anyag vezetőképes maradjon. Bai (2003) vizsgálatánál, a 0,5 %-os kritikus szén nanocső adalékolás esetén az elektromos vezetőképesség már biztosítható, amit a saját mérései is igazoltak. A szén nanocsövek kitűnő elektromos tulajdonságai miatt a Gabriel-Chemie vállalat már kifejlesztett maximum 30% szén nanocsövet-, vagy fulleréneket tartalmazó mesterkeveréket. Ezeknek előnyük, hogy az elektromos tulajdonságok pontos beállítása mellett nagy a hőállóságuk, és jól diszpergálható rendszert képeznek. A megfelelő mesterkeverékek poliamidokhoz is kaphatóak (Pásztor 2006).

A hagyományos grafit, illetve korom adalékolásánál a szén nanocsövek sokkal hatékonyabban antisztatikussá teszik az öntött PA6-ot. Kevesebb, mint 1% elegendő belőle, hogy $10^9 \Omega$ -nál kisebb felületi ellenállással rendelkeznek a kísérleti minták. Ezek az eredmények, már megfelelőek alkalmazástechnikai szempontból. Ebben az esetben a minél kevesebb adalékanyag felhasználása jelenti a célt. A kísérleti eredményeket az 1. táblázat foglalja össze.

Minták kódja	Szén nanocső tartalom (%)	Grafit tartalom (%)	Felületi ellenállás ($10^9 \Omega$)
I	0,05%	1,00%	87,00
II	0,05%	1,00%	0,07
III	0,05%	1,00%	0,09
IV	0,05%	1,00%	0,7
V	0,05%	2,00%	3,60

1. táblázat. Kísérleti minták antisztatikus tulajdonsága

3.3 Égésálló tulajdonság kialakítása

A műanyagok égésállóságának a mezőgazdaságban fokozott jelentősége van. A mezőgazdaságban jelenlévő vegyszerek (permetezőszerek, műtrágyák) és könnyen gyújtható anyagok (széna) fokozott figyelmet igényel, és ezért a kevésbé éghető műanyagoknak fontos szerepük van. Korábban sok fajta halogén tartalmú adalékkal javították a műanyagok égésállóságát. A jelenlegi társadalmi viszonyokban a halogén adalékokkal szemben ellenérzés van, ezért a különböző termékek közül versenyhátrányban van az, melyben ilyen anyagok találhatóak. A következő adalékokat elterjedten használják égésállóság javítására [Pál 2006]: krómozott vegyületek, brómozott vegyületek, kristályvizet tartalmazó anyagok, alumínium-hidroxid, magnézium-hidroxid, koksos felhabosodó védőréteget képező anyagok.

Az égésálló egyik új anyaga a montmorillonit. A montmorillonit egy agyagásvány, melyet úgy módosítanak, hogy az agyagrétegek közötti távolságot megnövelik annyira, hogy a polimer már be tud hatolni az egyes rétegek közé is. Ha tovább növeljük a távolságot, akkor megszűnik az egyes rétegek közötti kapcsolat, és a rétegek homogén módon eloszlanak az alapmátrixban.

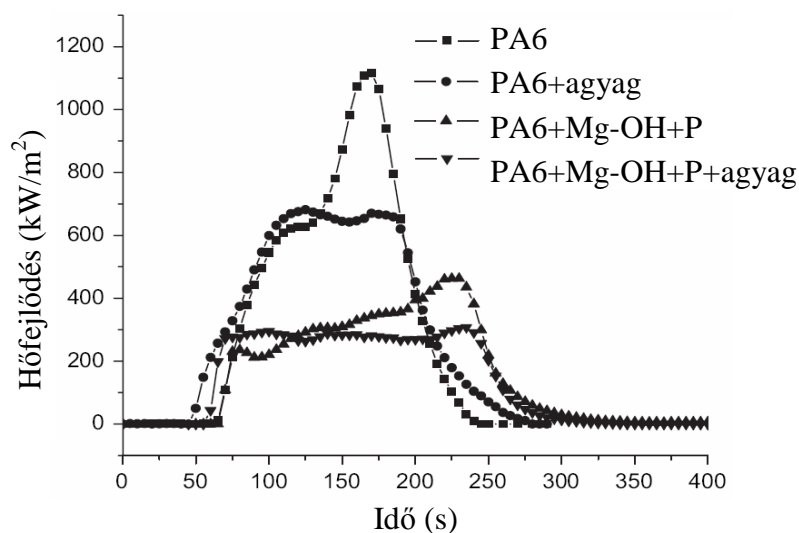
A montmorillonit hatására az égés során tapasztalható hőfejlődés jelentősen megváltozik. A natúr PA6 esetében a hőfejlődés meredeken emelkedik egy viszonylag magas értékre. Akár egy százalék montmorillonit hatására a csúcserték jelentősen csökken, ennek köszönhetően az égés időben elhúzódik. Tehát több idő marad az oltásra, de ennél lényegesebb, hogy az intenzitás csökkentésével a terjedés sebessége csökken. Montmorillonit másik hatása, hogy a felfutó szakaszt egy kicsivel előrébb tolja, vagyis a kezdeti szakasz meredekebb, mint a natúr anyagnál. További adalékolás esetében a korábban említett két hatás fokozódik, vagyis az intenzitás tovább csökken jelentős mértékben, a korai felfutás meredeksége kicsivel tovább növekszik 2. ábra. Ezen hatások mellett a montmorillonit jelentősen csökkenti a kompozit nyúlását, az alapanyagéhoz képest akár több mint egy nagyságrenddel [Cadek 2004]. (Más adalékanyagok is hatással vannak a hőfejlődésre, mint például a magnézium-hidroxid vagy a foszfor).

A szén nanocsőből előállított kompozitnak is változhatnak az éghetőségi tulajdonságai. A szén nanocsővek hővezetési tényezője 6600 W/mK is lehet, ez az érték a legnagyobb a jelenleg ismert anyagok között (Du 2007). 5% szén nanocső adalékolás esetén, az EP alapmátrix hővezetési tényezője akár 60%-kal növekedhet (Thostenson 2006). A hővezetés nagyságát a széntartalom mellett a kapcsoló anyagok lényegesen befolyásolják, általában jelentősen csökkentik, ez magyarázza azt, hogy a kompozit hővezetése lényegesen kisebb, mint ami a szén nanocsővek hővezetéséből adódna (Du 2007). Kashiwagi (2002) polipropilén (PP) alapmátrixba kevert többfalú szén nanocsövet, és megállapította, hogy jelentősen csökkenti a hőfejlődést, és legalább olyan hatékony, mint a montmorillonit nanokompozitok.

1 és 2% montmorillonit adalékolású mintákat vizsgáltuk, és megállapításunk szerint a diszperz rendszer létrehozása befolyásolja az égésgátlás hatékonyságát. 1% montmorillonit adalékolása esetén, ahol a diszperz rendszer könnyen létrehozható, a oxigén index 22%-ról 24%-ra változott. Két százalékos adalékolás esetén, ahol a diszpergálás nehezebben elérhető az oxigénindex csak 23%-ra növekedett. Ezek a növekedések, bár kimutathatók, de a mezőgazdasági felhasználáshoz még nem elegendők. Azonban a montmorillonit hatására a kísérleti minták jobban forgácsolhatóak, ami előnyös ezeknél a félkész termékeknél.

3.4 Mechanikai tulajdonságok változtatása

Mint a műszaki élet számos területén, így a mezőgazdasági gépek esetében is fontos, hogy megfelelő anyagokat használjunk, melyek a terheléseket képesek elviselni. A nagyobb szilárdságú anyagok segítik elérni a súlycsökkenést, mert kisebb keresztmetszetű gépelemek is elegendőek lehetnek. A műanyagok használatánál elsősorban a súlycsökkenést a kisebb sűrűség eredményezi, de a keresztmetszetet ebben az esetben is a szilárdság határozza meg. Ezért a műanyagipari fejlesztéseknél a szén nanocső hamar megjelent, mint adalékanyag. A korai szimulációk alapján kimutatták, hogy ennek a szén módosulatnak igen jó mechanikai



2. ábra. Hőfejlődés változása különböző adalékanyagok hatására tulajdonságaik vannak. Például a rugalmassági (Young) modulusa elérheti az 1-2 TPa-t, szakítószilárdsága pedig a 200 GPa-t (Lu 1997, Wong 1997), bár Cadek 2004-ben már „csak” 1 TPa-t és 60 GPa-t említ. Yu munkatársaival a Washingtoni Egyetemen egyfalú szén nanocső kötegeket vizsgáltak és megállapításuk szerint a szén nanocsővek szakítószilárdsága 30-50 GPa (Yu 2000). Ezzel a méréssel bizonyították, hogy a szimulációkkal kapott eredmények megközelítik a valóságot, és így megállják a helyüket.

A mechanikai tulajdonságok mellett, kompozit képzési szempontból lényeges tulajdonság, hogy a szén nanocsövek igen nagy fajlagos felülettel rendelkeznek ($1000 \text{ m}^2/\text{g}$), ezért elvileg könnyebben kapcsolódhatnak az alapmátrixhoz. Azonban a hagyományosan használt szálakhoz képest igen rövidek, csupán néhány μm hosszúak. További probléma, hogy a szén nanocsöveknek nagy az aggregációs hajlama, így az alapmátrixban csoportokba ágyazódnak be, ennek hatására nem érvényesülnek kiváló tulajdonságaik ráadásul még feszültséggyűjtő helyeket is képeznek. Az előzőekből adódik, hogy az ilyen jellegű kompozitoknál elsődleges cél az, hogy csökkentsük az aggregációs hajlamot és elérjük a tökéletesebb diszpergálást. Továbbá olyan adhéziós kapcsolatot hozunk létre az alapanyaggal, ami biztosítja a szén nanocsövek tulajdonságainak megjelenését a kompozit anyagban. Megfelelő körülmények között ennek hatására a kompozit húzószilárdsága 3600 MPa és rugalmassági modulusa 80 GPa is lehet (Du 2007). A diszperz rendszerek létrehozását a kémiai adalékokon kívül segíteni lehet mechanikus-, mágneses-, vagy ultrahangos keveréssel.

A közelmúltban sok olyan publikáció jelent meg, melyek a szén nanocsöves kompozitok mechanikai tulajdonságait kutatják. Általános eredményként elmondható, hogy más jellemzőkkel bírnak a random illetve az irányított szén nanocsöves kompozitok (irányított elrendezés: kitüntetett irányba állnak a szén nanocsövek, ebben az irányban lényegesen nagyobb terhelést visel el a kompozit - anizotróp). A random elosztatási rendszer eredményeként 100 MPa húzószilárdságnál és 6 GPa rugalmassági modulusnál többet elérni nem tudtak. Míg irányított nanokompozitoknál sikerült olyan vizsgálatokat is elvégezni, amikor a húzószilárdság elérte a 3600 MPa -t (Li 2000 – PVC alapon) vagy a rugalmassági modulus a 80 GPa -t (Dalton 2003 – PVA alapon). További lényeges tulajdonság, hogy a random típusú kompozitoknál a szén nanocsövek adalékolása csupán pár százalék lehet, mert nagyobb adalékolás esetén a mechanikai tulajdonságok annyira leromlanak, hogy a natúr mátrixét sem éri el. Irányított kompozitoknál ez a probléma nem jelentkezik, így ott az adalékolás az 50%-ot is meghaladhatja.

A mechanikai tulajdonságok értékeléséhez fajlagos számokat képeztünk a mérési eredményekből, mely a következőt jelenti: a kísérleti minták mérési eredményeit osztottuk az alapminta megfelelő tulajdonságával. Ez azt jelenti például, hogy az adott minta húzószilárdságának értékét osztottuk a kompozit minta húzószilárdságának értékével. A képzett értékek a következők: fajlagos húzószilárdság, fajlagos szakadási nyúlás és fajlagos ütőmunka érték. A minták jellemző összetételét és mechanikai tulajdonságait a 2. táblázat tartalmazza.

Minták kódja	Szén nanocső tartalom (%)	Grafit tartalom (%)	Fajlagos húzószilárdság	Fajlagos szakadási nyúlás	Fajlagos ütőmunka
A	0,03%	-	78%	11%	103%
B	0,03%	1,00%	87%	47%	102%
C	0,05%	1,00%	75%	9%	83%
D	0,05%	1,00%	91%	12%	86%
E	0,05%	1,00%	118%	25%	102%
F	0,05%	1,00%	70%	9%	117%
G	0,05%	2,00%	95%	11%	92%

2. táblázat. Kísérleti minták jellemző tulajdonságai

Látható, hogy a szén nanocsövek kis mértékű adalékolása, is jelentősen csökkentheti a mechanikai tulajdonságokat. A szakadási nyúlás értéke minden esetben 50% alá csökkent. A húzószilárdság esetében egy kivételtől eltekintve szintén csökkentek az értékek. A fajlagos

ütőmunkára van a legkisebb hatása a szén nanocsöveknek. Ebben az esetben a minták többségénél 10%-nál kisebb eltérés tapasztalható.

Ezek az eredmények nincsenek szemben a szakirodalmi adatokkal, ugyanis kitüntetett irányú adalékolás nélkül más kutatók is a csökkenést tapasztalták. Ebben az anyagfejlesztés esetében az irányított adalékolás nem jöhet szóba, ugyanis a félkész öntött termékekből a felhasználók alakítják ki a végleges gépelemet, azaz a terhelés iránya előzetesen nem ismert. További vizsgálatok azért elengedhetetlenül szükségesek, ugyanis a mechanikai tulajdonságok csökkenése mellett például az elektromos tulajdonságok jelentősen jobbak lettek, így továbbra is piacképes műszaki műanyag állítható elő szén nanocsövek segítségével.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A mezőgazdasági alkalmazások a műanyagokkal szemben fokozott igényeket támasztanak. Ilyenek az antisztatikus tulajdonság, az égésgátlás, a jobb tipológiai vagy mechanikai tulajdonságok. A műanyagipar már előállít számtalan ilyen terméket. A poliamid fejlesztés azért indokolt, mert a mezőgazdaságban a műanyag alkatrész pótlások jelentős része ebből a termékből történik. A tribológiai tulajdonságok javításához a MoS₂ adalékolása esetén a mechanikai tulajdonságok jobbak, mint PTFE adalékolás esetében. Antisztatikus tulajdonságok eléréséhez, a szén nanocsövek jól használhatók, ugyanis 1%-nál kevesebb adalékanyag is elegendő a megfelelő tulajdonság kialakulásához. A szén nanocsövek azonban a mechanikai tulajdonságokra nem hatnak pozitívan. Égésgátolt poliamid kialakításánál a montmorillonit adalékanyagként használható, de csak jó eloszlás esetében. Összességében kijelenthető, hogy a magnézium katalizálású öntött poliamid 6 továbbfejleszhető mezőgazdasági alkalmazásokra.

5. IRODALOM

Bai J. B., Allaoui A. (2003): Effect of the length and the aggregate size of MWNTs on the improvement efficiency of the mechanical and electrical properties. *Composites: Part A*, 34 (8) 689-694.

Biró L. (2003): Újszerű szén nanocső architektúrák. *Magyar Tudomány*, XLVIII (9) 1122-1129

Cadek M., Coleman J. N., Ryan K. P., Nicolosi V., Brister G., Fonseca A., Nagy J. B., Kostak K., Béguin F., Blau W. J. (2004): Reinforcement of polymers with carbon nanotubes: The role of nanotube surface area. *Nano Letters*, 4 (2) 353-356

Chow W. S., and Mohd Ishak Z. A. (2007): Mechanical, morphological and rheological properties of polyamide 6/organo-montmorillonite nanocomposites. *eXPRESS Polymer Letters*, 1 (2) 77-83

Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J. (2003): A polimertechnika alapjai. Budapest : Műegyetemi Kiadó.

Dalton A. B., Collins S., Munoz E., Razal J. M., Ebron V. H., Ferraris J. P., Coleman J. N., Kim B. G., Baughman R. H. (2003): Super-tough carbon nanotube fibers. *Nature* 423 703.

Du J. H., Bai J., Cheng H. M. (2007): The present status and key problems of carbon nanotube based polymer composites. *eXPRESS Polymer Letters*, 1 (5) 253-273

- Jaklewicz M., Litak A., and Ostoja-Starzewski M. (2004): Friction and scratch resistance of polyamide 6 modified with ionomeric ethylene/methacrylic acid copolymer. *Journal of Applied Polymer Science*, 91 (6) 3866-3870
- Jang B. N., Wilkie C. A. (2005): The effect of clay on the thermal degradation of polyamide 6 in polyamide 6/clay nanocomposites. *Polymer*, 46 (10) 3264-3274
- Kalácska G. (szerk.) (2007): Műszaki polimerek és kompozitok a gépészmérnöki gyakorlatban. Gödöllő : 3C-Grafika Kft.
- Kashiwagi T., Grulke E., Hilding J., Harris R., Awad W., Douglas J. F. (2002): Thermal degradation and flammability properties of poly(prorylene)/carbon nanotube composites. *Macromolecular Rapid Communications*, 23 (13) 761–765
- Kürti J. (2007): Szén nanocsövek. *Fizikai Szemle*, LVII. (3) 106
- Li J. H., Feng L. L., Jia Z. X. (2005): Preparation of expanded graphite with 160 µm mesh of fine flake graphite. *Materials Letters*, 60 (6) 746-749
- Lu J. P. (1997): Elastic properties of carbon nanotubes and nanoropes. *Physical Review Letters*, 79 (7) 1971-1975
- Macskási L. (1996): Műanyagok előállításának kémiai és műveleti alapjai. Budapest: Abigél Bt.
- Novák I., Krupa I. (2004): Electro-conductive resins filled with graphite for casting applications. *European Polymer Journal*, 40 (7) 1417-1422
- Pál K-né. (2006): Műanyagok éghetőségének csökkentése töltőanyaggal. *Műanyagipari Szemle*, 3 (6) 33-41
- Pásztor M., Orbán S. (2006): Fénystabilizálás, színezés, antisztatizálás, antibakteriális adalékok. *Műanyagipari Szemle*, 3 (2) 13-19
- Piddubnyi V. K., Zin' I. M., Lavryshyn B. M., Bilyi L. M., Kolodii Ya. I., Ratushna M. B. (2005): Effect of carbon-containing conducting fillers on the properties of epoxy coatings. *Materials Science*, 41 (2) 265-270
- Rusu G., Rusu E. (2007): In situ nylon 6/graphite composites. Physico-mechanical properties. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 9 (7) 2102-2109
- Srinath G., Gnanamoorthy R. (2007): Effect of organoclay addition on the two-body abrasive wear characteristics of polyamide 6 nanocomposites. *Journal of Materials Science*, 42 (19) 8326-8333
- Thostenson E., Chou T-W. (2006): Processing-structure-multi-functional property relationship in carbon nanotube/epoxy composites. *Carbon*, 44 (14) 3022–3029

Wang S. P., Gong W. H., Zeng J. (2002): Synthesis of antistatic composite based on reaction flame retarding unsaturated polyester resin. *Journal of Wuhan University of Technology – Materials Science Edition*, 17 (4) 86-88

Wong E. W., Sheehan P. E., Lieber C. M. (1997): Nanobeam mechanics: elasticity, strenght, and toughness of nanorods and nanotubes. *Science*, 277 (5334) 1971-1975

Xu H. Y., Feng Z. Z., Chen J. M., Zhou H. D. (2007): Tribological behavior of the polyamide composite coating filled with different fillers under dry sliding. *Journal of Applied Polymer Science*, 104 (4) 2554-2560

Yu M. F., Files B. S., Arepalli S., Rouff R. S. (2000): Tensile loading of ropes of single wall carbon nanotubes and their mechanical properties. *Physical Review Letters*, 84 (24) 5552-5555

Zheng W., Lu X. H., Wong S. C. (2004): Electrical and mechanical properties of expanded graphite-reinforced high-density polyethylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 91 (5) 2781-2788