

Elektromos vezető monokompozitok vizsgálata  
Hajagos Sz., Zink B., Kovács J. G.

Accepted for publication in Polimerek  
Published in 2025

DOI:

HAJAGOS SZABOLCS<sup>1</sup>, ZINK BÉLA<sup>1,2</sup>, KOVÁCS JÓZSEF GÁBOR<sup>1,2</sup>

# ELEKTROMOS VEZETŐ MONOKOMPOZITOK VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE MONO-COMPOSITES

Munkánk célja vezetőképes polimer kompozit fejlesztése volt korom, illetve grafit töltőanyag felhasználásával. A kompozitokat belső keverőn állítottuk elő, majd hidraulikus prés segítségével próbatesteket készítettünk. Vizsgáltuk a feldolgozhatóságot, az elektromos vezetőképeséget, a keménységet, illetve a dinamikus mechanikai tulajdonságot.

Our work aimed to develop an electrically conductive polymer composite using carbon black and graphite as fillers. The composites were prepared using an internal mixer and then shaped into test specimens with a hydraulic press. We examined processability, electrical conductivity, hardness, and dynamic mechanical properties.

### 1. BEVEZETÉS

Az elmúlt évek energiaválsága miatt megnőtt az érdeklődés az alternatív energiaforrások iránt. A jól ismert energiaforrások mellett az alternatív megoldások kerültek előtérbe. Kiemelkednek az üzemanyagcellák, amelyek a kémiai energiát elektromos energiává alakítják. Jelentős előnyük az alacsony károsanyag-kibocsátás, a nagy energiasűrűség és a mozgó alkatrészek hiánya. Az üzemanyagcellák sokféle területen használhatók, akár helyhez kötött, akár mobil alkalmazásokban, így alkalmasak különböző elektronikai berendezések és járművek energiaellátására is. Az üzemanyagcellák legszélesebb körben használt típusa a protoncserélő membrános üzemanyagcella (PEMFC – proton-exchange membrane fuel cell). A PEMFC három fő egységből áll, nevezetesen a bipoláris lemezből (BP – bipolar plate), a gázdifúziós rétegből és a membránelektrod-együttesből (MEA – membrane electrode assembly) [1, 2].

A bipoláris lemez funkciói közé tartozik az üzemanyag elosztása, a keletkező elektromos áram, víz és hő elvezetése, valamint a MEA és a teljes cella mechanikai megtámasztása. Ez az alkatrész az üzemanyagcella tömegének körülbelül 50-80%-át és költségének körülbelül 40-60%-át teszi ki [3, 4]. A követelmények alapján a BP-nek kiváló hő- és elektromos vezetőnek, könnyűnek és olcsónak kell lennie, valamint jó mechanikai tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Egyéb követelményeknek is meg kell felelnie, mint például az elektromos korrózióállóság, a kis hidrogénáteresztő képesség és hőtágulási együttható. A BP készülhet fémből, grafitból vagy polimer kompozitból. A fémből készült BP előnyei a jó mechanikai és a kiváló vezetőképeségi tulajdonságok, de hátránya a nagy sűrűség, az ár és a rossz korrózióállóság. A grafitból

készült lemezek előnye a kiváló vezetőképeség és az kis sűrűség, hátrányuk a nagyfokú ridegség, ami könnyen meghibásodáshoz vezethet. A polimer kompozitból készült BP lemezek előnye a kisebb sűrűség, a könnyebb megmunkálás és a korrózióállóság. Ugyanakkor hátrányuk a gyengébb mechanikai tulajdonságok és a kisebb vezetőképeség. A vezetőképeség növelésére a leggyakrabban használt töltőanyagok a grafit (G – graphite), a grafén, a korom (CB – carbon black), a szén nanocsövek (CNT – carbon nano tube) és a fémporok [4-6].

A perkolációs elmélet átfogóan leírja a polimer mátrixú kompozitok vezetési mechanizmusát [7, 8]. A modell figyelembe veszi a vezetésben részt vevő polimerláncok közötti részecskék eloszlását és a polimer molekulák anizotróp szerkezetét is. Az elmélet szerint az elektromos vezetés során a polimerláncok pólusai gyenge intramolekuláris kötést hoznak létre a szomszédos adalékanyagokkal, így lehetővé válik a polarítások úgynevezett diffúzió vándorlása a láncokon és a szennyeződések keresztül. Ezek alapján a perkoláció akkor következik be, ha a köztes összekötő, töltésátvivő részecskék segítségével olyan átfogó és összefüggő polimerlánc rendszer alakul ki, amelyen a töltés-difúzió lehetséges. Az elektromos vezetőképeség szempontjából a jelenség egyfajta térhálósodásként is szemléltethető, ahol

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

<sup>2</sup> MTA-BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

a láncok közötti adalékanyagok a hálózat keresztkötéseinek tekinthetők [4, 9].

Számos kutatás foglalkozott már hőre lágyuló és hőre keményedő mátrix anyagokból készült, vezető polimer kompozitok előállításával és vizsgálatával. Zheng és munkatársai [10] vezető polimer kompozitokat hoztak létre poli(metil-metakrilát) mátrix és grafit töltőanyag felhasználásával. Kétféle grafitot használtak, természetes és expandált grafitot, majd meghatározták mind-egyik minta perkolációs küszöbértékét és vezetőképességét. Eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az expandált grafit alkalmasabb vezetőképes polimer kompozitok előállítására, mivel ebben az esetben a perkolációs küszöbérték alacsonyabb, a vezetőképesség pedig magasabb volt, mint a természetes grafit esetében. Hu és társai [11] több kísérletet is végeztek elektromosan vezető kompozitokkal. Egyik munkájukban grafitot és többfalú szén nanocsöveket (MWCNT – multi-walled carbon nano tube) keverték poli(vinilidén-fluorid) (PVDF – polyvinylidene fluoride) mátrixban. A legnagyobb síkbeli vezetőképességet ( $161,57 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) 5 m/m% MWCNT és 35 m/m% grafit tartalom mellett érték el. Másik munkájukban [12] szintén PVDF mátrixot használtak, de grafitot és kormot adtak hozzá szinergikus, szegregált szerkezetű vezetőhálózatot hozva létre. A 6 m/m% CB és 34 m/m% grafit felhasználásával  $177,87 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  síkbeli vezetőképességet értek el. Későbbi munkájukban [13] 3 dimenziós vezetőhálózatot hoztak létre és ezt epoxi mátrixhoz társították, így  $212,64 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$  síkbeli vezetőképességű mintát kaptak.

Santiago és munkatársai [14] kutatásaik során különböző hőre lágyuló polimer mátrixú anyagok bipoláris lemezként való alkalmazhatóságát vizsgálták. A politejsavat kizárták, mert az üzemanyagcella üzemi hőmérsékletén lebomlik. Eredményeik alapján a poliamid 6 és a termoplasztikus poliuretán keménysége csökkenne hosszabb használat során. A polikarbonát, az akrilnitril-butadién-sztirol és a klórozott polietilén mátrixú anyagokat találták a legmegfelelőbbnek. Több kutatást végeztek a polipropilén (PP) felhasználásával [15-18], mivel alacsony költséggel, a legtöbb savval szembeni jó kémiai ellenállással, a környezeti igénybevételekkel szembeni jó ellenállással, kiváló fáradásállósággal, nagyon kis sűrűséggel és kiváló feldolgozási tulajdonságokkal rendelkezik, valamint a PEMFC üzemi hőmérsékletén is megőrzi mechanikai tulajdonságait.

## 2. FELHASZNÁLT ANYAGOK ÉS BERENDEZÉSEK

### 2.1. FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK

Mátrix anyagként Tipplen H145F polipropilént használtunk (MOL Petrolkémiai Kft., Tiszaújváros). A műszaki adatlap [19] szerint az ajánlott feldolgozási hőmérséklet 190 és 235 °C között van. Töltőanyagként kétféle grafitot és egyféle kormot használtunk. Valamennyi töltőanyagot az Imerys Graphite & Carbon S.A. (Bodio, Svájc) forgalmazta. A TIMREX® BNB 90 expandált, a TIMREX® KS5-75TT izometrikus szemcseformával rendelkező szintetikus grafit. A korom töltőanyag az ENSACO 250G volt. A felhasznált töltőanyagok tulajdonságait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: Az alkalmazott GTR szemcseméret eloszlása

	Grafit		Korom
	BNB 90	KS5-75TT	ENSACO 250G
Megjegyzés	expandált	szintetikus	
Részecskeméret [ $\mu\text{m}$ ]	105	88	0,035
Fajlagos felület (Brunauer-Emmett-Teller módszer szerinti) [ $\text{m}^2\cdot\text{g}^{-1}$ ]	28	4,4	65
Látszólagos sűrűség [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	0,03	0,44	0,17

### 2.2. MINTAKÉSZÍTÉS

A perkolációs küszöbérték meghatározásához különböző tömegarányú keverékeket állítottunk elő 0-100 m/m% töltőanyag tartalom között, 10 m/m%-os lépésenként. Minden keverék esetében a maximális töltőanyag tartalmat a feldolgozhatóság határozta meg (2. táblázat).

2. táblázat: Az elkészült kompozitok összetétele

	Grafit		Korom
	BNB 90	KS5-75TT	ENSACO 250G
Töltőanyag tartalom [m/m%]	10, 20, 30, 40, 50, 60 és 70	10, 20, 30, 40, 50, 60 és 70	10, 20, 30, 40 és 50

A komponenseket Brabender PlastiCorder belsőkeverőn 195 °C-on 5 percig 50 fordulat/perc fordulatszámra kevertük. A keverés során fellépő nyomatékokat rögzítettük. A kész keverékekből 2 mm vastag lemezeket préseltünk 200 °C-on és 90,5 kN erővel egy Teach-Line Platen Press 200E hidraulikus prés segítségével.

### 2.3. ELEKTROMOS VEZETŐKÉPESSÉG MÉRÉSE

Az elektromos vezetőképességet négyponos ellenállásméréssel határoztuk meg. Ez a módszer a négy, egymástól 20 mm távolságra elhelyezett tű segítségével méri a minta ellenállását. Az áramot a külső tűkön keresztül vezetjük be, a feszültséget pedig a belső tűkön keresztül mértük. Ezután a minta elektromos ellenállását Ohm törvénye alapján számítottuk ki. Esetünkben a minták vastagsága lényegesen kisebb volt, mint a tűk távolsága, ezért a fajlagos ellenállás kiszámításához az (1) egyenletben szereplő összefüggést használtuk [24]:

$$\rho = \frac{\pi \cdot w}{\ln 2} \cdot \frac{U}{I}, \quad (1)$$

ahol  $\rho$  a fajlagos ellenállás [ $\Omega\cdot\text{cm}$ ],  $w$  a minta vastagsága [ $\text{cm}$ ],  $U$  a feszültség [ $\text{V}$ ] és  $I$  az áramerősség [ $\text{A}$ ].

A fajlagos ellenállás reciprokát véve megkapjuk a minta fajlagos vezetőképességét, amely a (2) összefüggésben látható [24]:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}, \quad (2)$$

ahol  $\sigma$  a fajlagos vezetőképesség [ $S \cdot cm^{-1}$ ].

## 2.4. MORFOLÓGIA

A töltőanyag diszperziójának ellenőrzésére a mintákat pásztázó elektronmikroszkóppal (JEOL JSM 6380LA – Jeol Ltd., Tokió, Japán) vizsgáltuk 10 kV-os gyorsítófeszültségen. A minták felületét arannyal vontuk be, hogy a vizsgálatokhoz nagyobb vezetőképességet érjünk el.

## 2.5. DINAMIKUS MECHANIKAI ANALIZÁTOR

A kompozitok dinamikus terhelés alatti viskoelasztikus tulajdonságainak vizsgálatához dinamikus mechanikai analízist (DMA) végeztünk. Ehhez egy TA Q800-as készüléket (TA Instruments Inc., New Castle, USA) használtunk. A 10x60x2 mm-es próbatesteket hárompontos hajlításnak vetettük alá, az alkalmazott hőmérséklettartomány pedig  $-50\text{ °C}$  és  $+55\text{ °C}$  között volt.

## 2.6. KEMÉNYSÉG

A próbatestek keménységének vizsgálatára egy H04.3150 típusú keménységmérő készüléket (Zwick GmbH & Co. KG, Ulm, Németország) használtunk Shore D skálán. A behatoló egy acélkúp  $30^\circ$ -os nyílásszöggel és lekerekített csúccsal.

# 3. EREDMÉNYEK

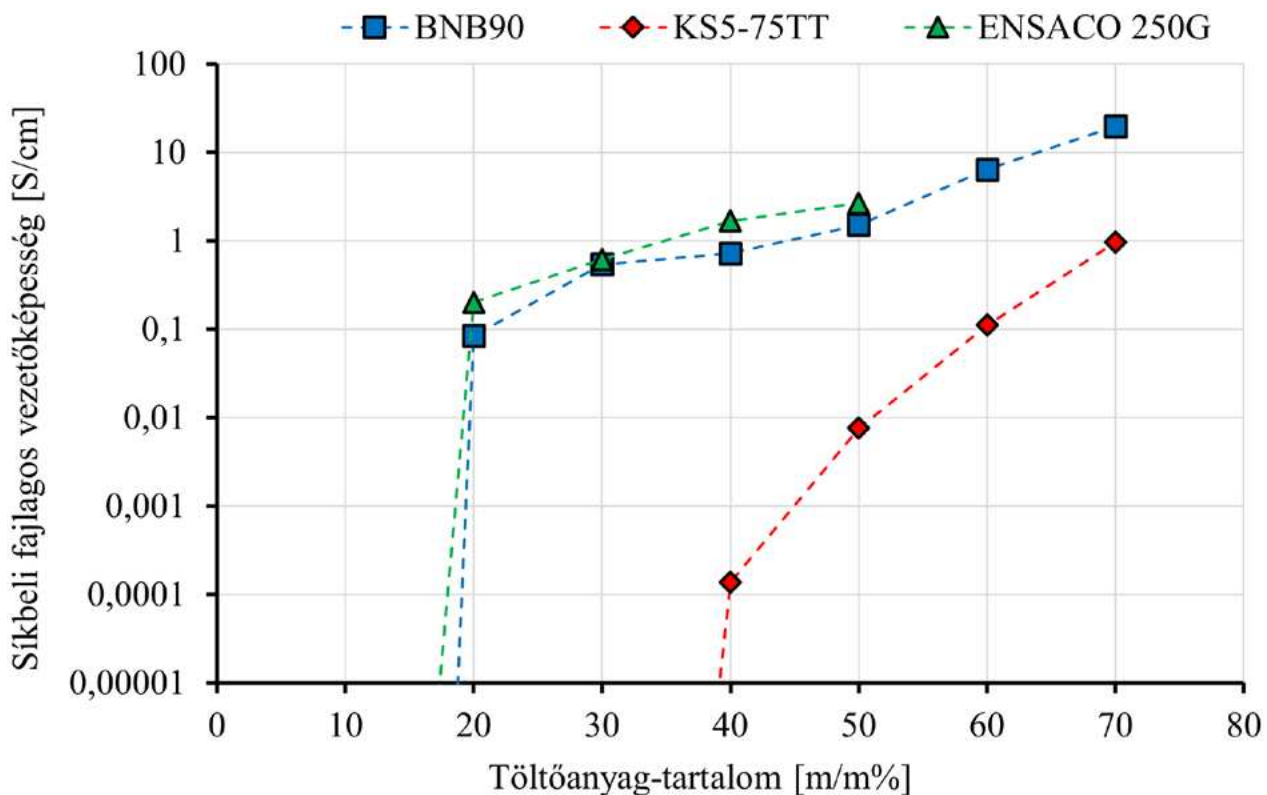
## 3.1. ELEKTROMOS VEZETŐKÉPESSÉG

Az elektromos vezetőképesség eredményei (1. ábra) azt mutatják, hogy az ENSACO 250G korom és az expandált BNB90 grafit kompozitok hasonló perkolációs küszöbértékkel rendelkeznek 10-20 m/m%, míg a KS5-75TT grafit esetében 30-40 m/m% között. Az eltérő fajlagos felület és a látszólagos sűrűség magyarázhatják a grafit kompozitok közötti különbségeket. Az expandált BNB90 grafit fajlagos felülete hatszor nagyobb, mint a KS5-75TT grafité, a látszólagos sűrűsége pedig 6%-a a KS5-75TT grafiténak. A nagyobb fajlagos felülettel és szemcsemérettel rendelkező grafit nagyobb mértékben növeli az elektromos vezetőképességet, mint a kisebb fajlagos felületű és szemcseméretű grafit. Ez tükröződik mind a kisebb perkolációs küszöbértékben, mind a nagyobb elektromos vezetőképességben.

## 3.2. MORFOLÓGIA

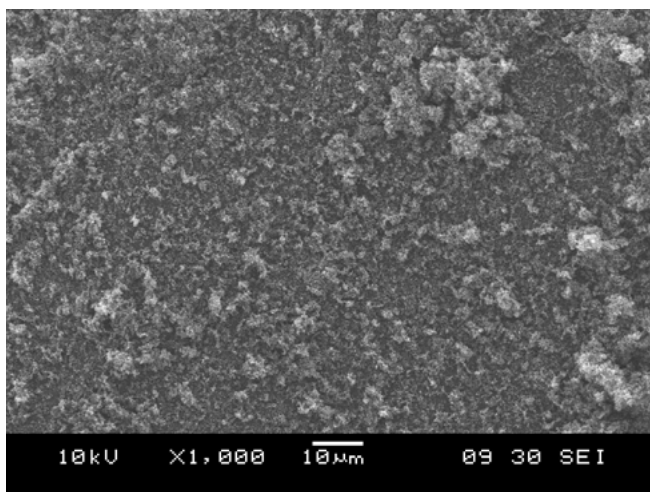
A morfológiai vizsgálatok célja volt, hogy betekintést nyerjünk a töltőanyagok szerkezetébe, méretébe és diszperziójába a mátrix anyagban.

Az első vizsgálatokat a töltőanyagokon végeztük el. A 2. ábra alapján megállapítható, hogy az általunk vizsgált tartományban a grafit töltőanyagoknak a jellemző szemcsemérete a 40-50  $\mu m$ -es

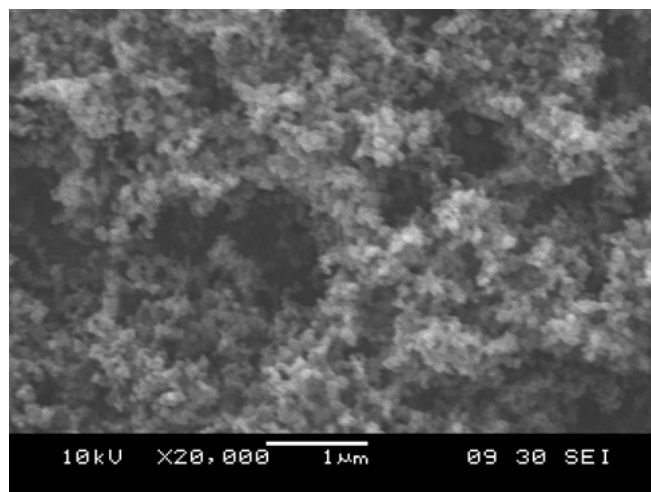


△ 1. ábra: Síkbeli fajlagos vezetőképességi eredmények

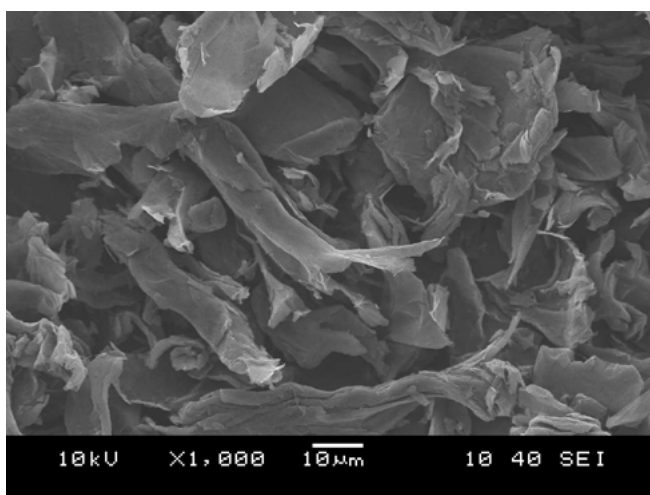
a)



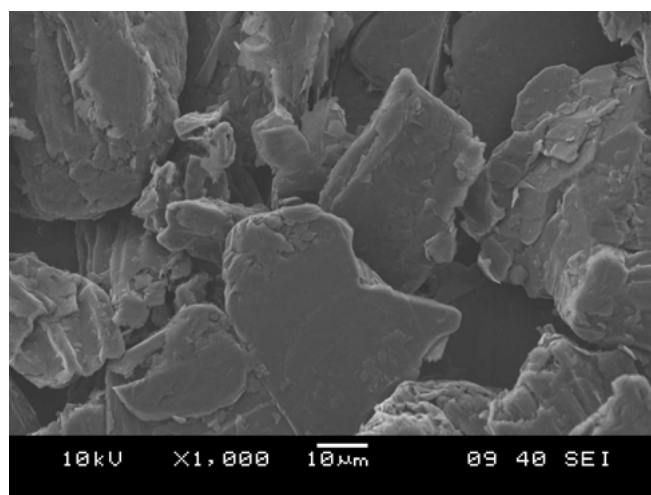
b)



c)



d)



△ 2. ábra: A pásztázó elektronmikroszkópos felvételek az ENSACO koromról (a, b), a BNB-ről (c) és KS5-75TT grafitról (d)

mérettartományba esik, míg a koromnak a 3 nagyságrenddel kisebb, 50-100 nm-es tartományba. Látható továbbá, hogy a grafit pelyhes szerkezetű, a korom pedig gömb alakú.

Ezután a kompozitokat vizsgáltuk meg, mindegyik esetben a perkolációs küszöbérték felett (3. ábra). Az ábrán megfigyelhető, hogy a töltőanyagok egyenletesen eloszlottak a mátrixban, így a keverés sikeresnek tekinthető, mivel a töltőanyagok nem képeztek aggregátumokat.

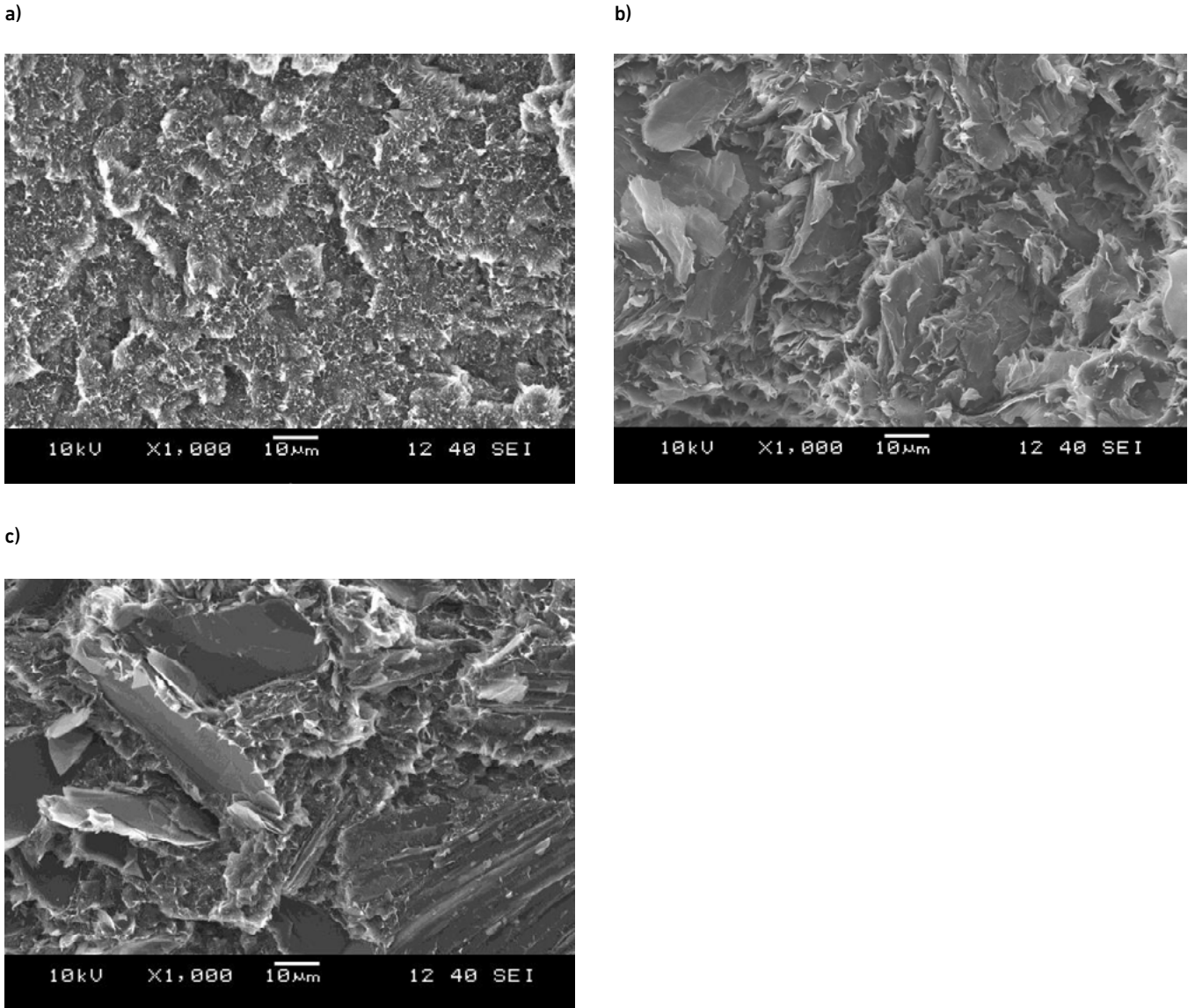
### 3.3. GYÁRTHATÓSÁG

A keverés közbeni nyomatékgörbékét rögzítettük és vizsgáltuk. A homogenizáláshoz szükséges nyomatékigény utalhat a keverék folyóképességére, minél nagyobb a nyomatékigény, annál kisebb a folyóképesség. Ez a jelenség azonban a vizsgált töltőanyagok közül csak a koromnál jelentkezett, amint azt a 4. ábra mutatja. A grafit töltőanyagok mennyiségüktől függetlenül egyformán jól feldolgozhatók, a nyomatékigényben a töltőanyag tartalom

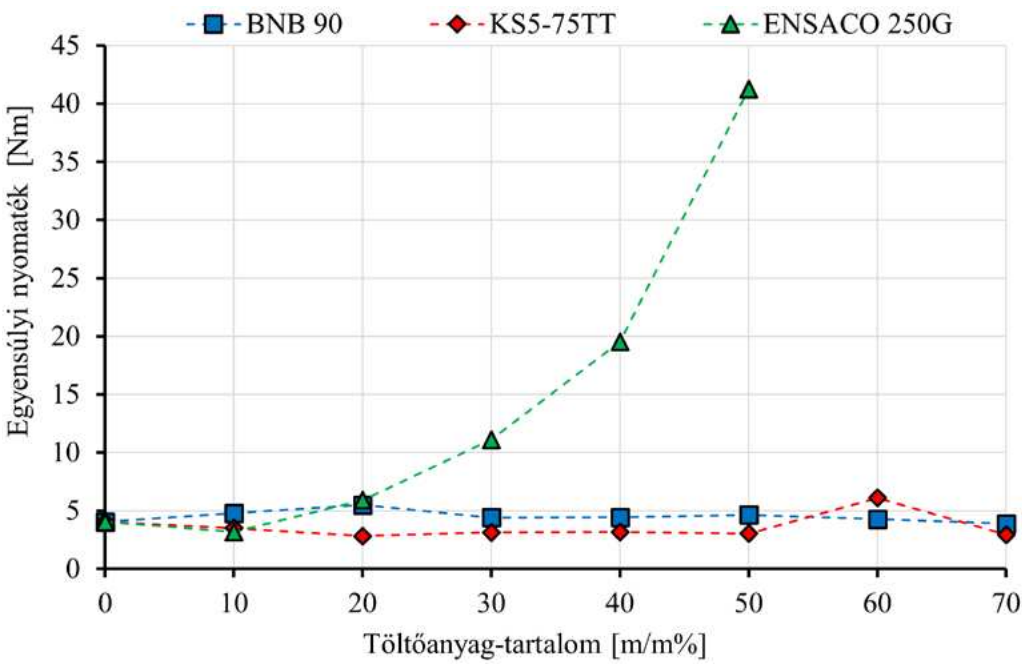
függvényében csak csekély eltérések tapasztalhatók, ez a grafit jó kenési tulajdonságával magyarázható.

### 3.4. DMA

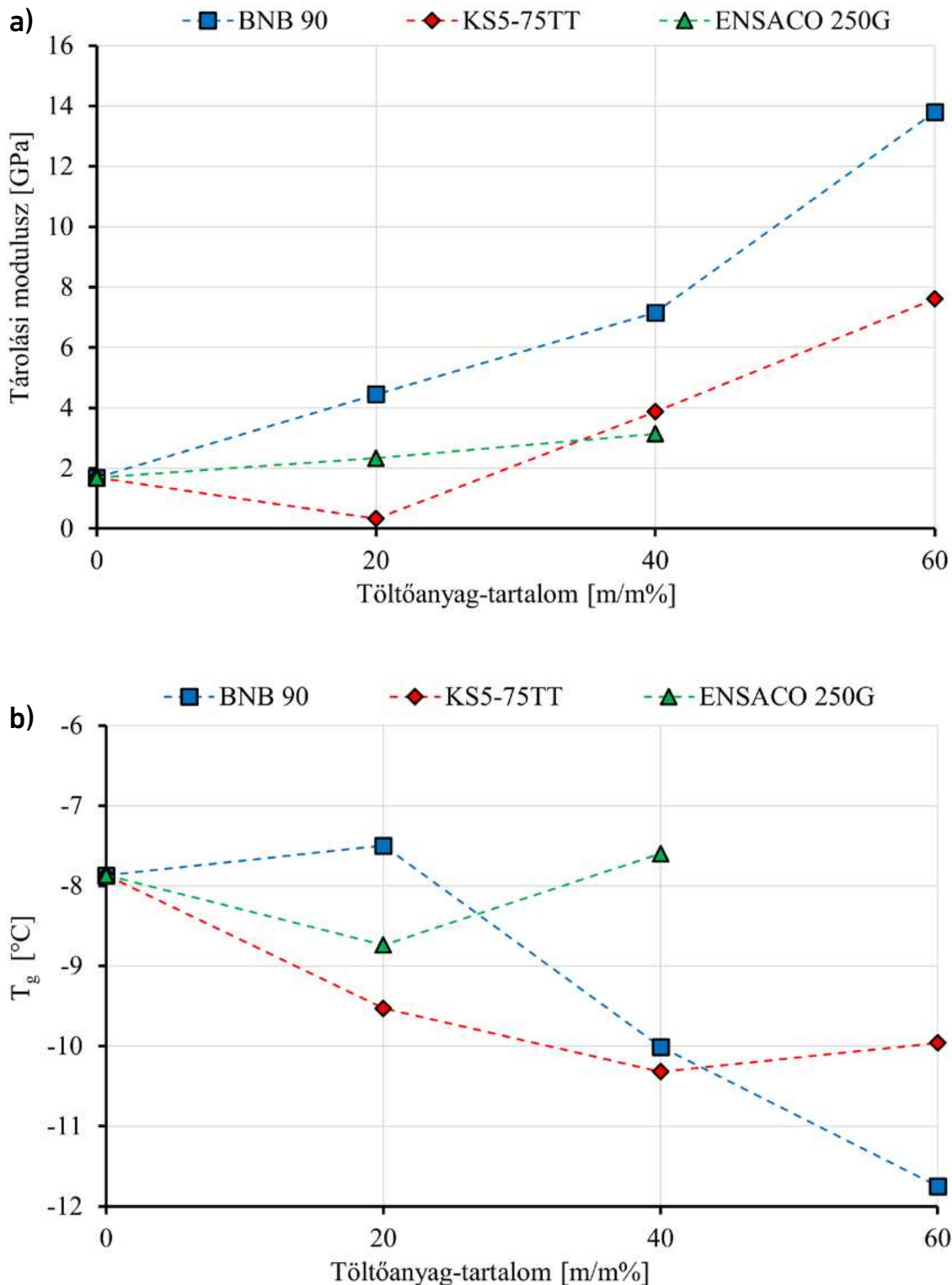
A kompozit lemezek DMA vizsgálatokat végeztünk és az eredményeket a TA Universal Analysis szoftverrel értékeltük. A tárolási modulusz értékeket a töltőanyag függvényében az 5/a. ábra mutatja. Az eredményekből megállapítható, hogy míg a korom esetében a töltőanyag tartalom nem befolyásolja jelentősen a tárolási modulusz értékét, addig a grafitoknál igen. A különbség a töltőanyagok szerkezetének köszönhető. A grafit lemezes szerkezete jobban merevíti az anyagot, mint a korom gömb alakú részecskéi. A grafit lemezes szerkezete miatt a részecskék a gyártás során orientálódhatnak és merőlegesek lesznek a hajlítási irányra. A szemcsék mérettartománya is eltérő, a grafit szemcsék mikro-, a koromszemcsék pedig nanoméretűek. Hasonló mondható el az üvegesedési átmeneti hőmérsékletéről,



△ 3. ábra: SEM felvételek a 20 m/m% ENSACO 250G (a), a 30 m/m% BNB90 (b) és a 40 m/m% KS5-75TT (c) töltőanyaggal készült kompozit lemezekről



◁ 4. ábra: A különböző töltőanyagok egyensúlyi nyomatékértékei a töltőanyag tartalom függvényében



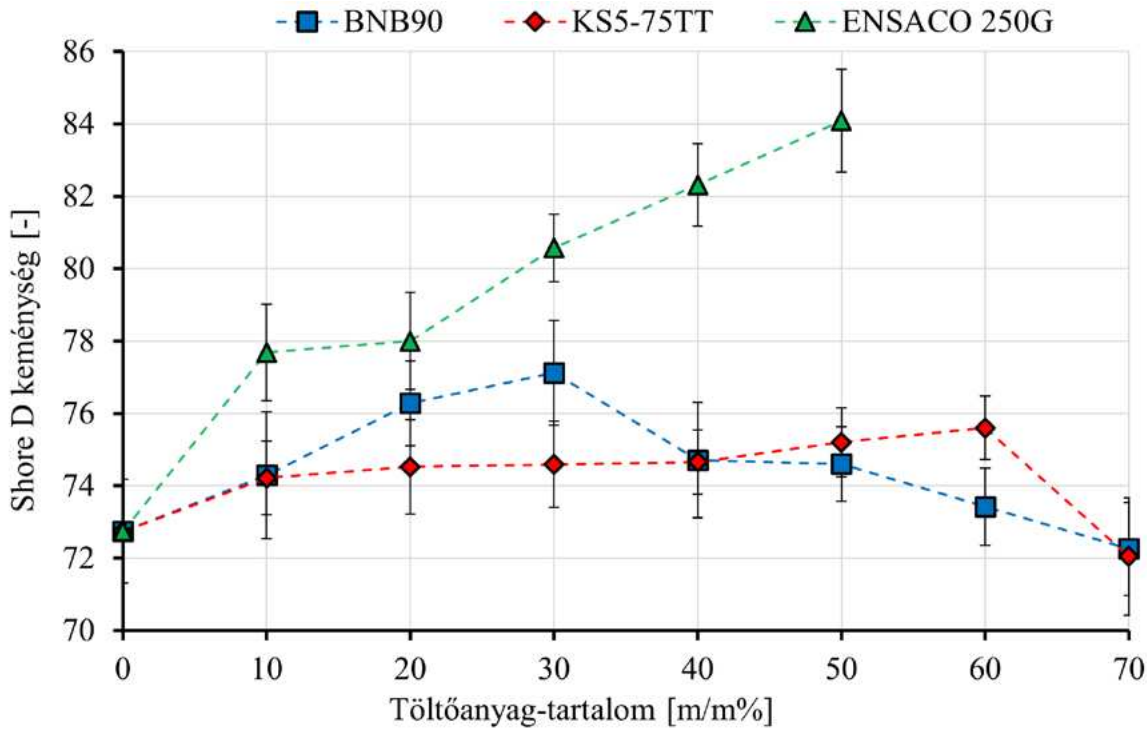
△ 5. ábra: Tárolási modulusz (a) és  $T_g$  hőmérséklet (b) a BNB grafit, a KS5-75TT grafit és az ENSACO korom töltőanyag tartalmától függően

a korom nem befolyásolja jelentősen, míg a grafitok csökkentik (5/b. ábra).

### 3.5. KEMÉNYSÉG

A minták keménységét Shore D skálán mértük, az eredmények a 6. ábrán láthatók. A PP referencia lemez átlagos keménységértéke

72,7 volt. A kezdeti keménységről minden grafit esetében a töltőanyag tartalom emelése 30-60 m/m%-ig szignifikánsan növelte a keménységet. A csúcserték az expandált BNB90 grafitnál 30%-nál, a KS5-75TT esetében 60%-nál mérhető. Nagyobb töltőanyag tartalomnál viszont már szignifikáns csökkenés figyelhető meg, ami akár a mátrix anyag keménységi értékével megegyező keménységhez vezet. A korom esetében a keménység a töltőanyag tartalom növelésével monoton nő, a maximum értéke 84 Shore D.



△ 6. ábra: Shore D keménység értékek a töltőanyag tartalom függvényében

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A munkánk célja a vezetőképés polimer kompozitokhoz használható töltőanyagok feldolgozási, morfológiai és fizikai tulajdonságainak meghatározása volt. Korom és különböző típusú grafit töltőanyagok felhasználásával vezetőképés monokompozitokat állítottunk elő PP mátrix anyagot felhasználva. Belső keverővel és hidraulikus préssel előállított mintákon elektromos vezetőképesség méréseket, mikroszkópos, feldolgozhatósági és dinamikus mechanikai vizsgálatokat végeztünk. Az anyagfejlesztés során törekedtünk arra, hogy minden kompozit esetében minél kevesebb töltőanyag tartalommal érjük el a perkolációs küszöböt. Ezek közül a BNB típusú expandált grafit kiemelkedő volt az elektromos vezetőképességében és a mechanikai tulajdonságaiban. Alacsony perkolációs küszöb mellett a legnagyobb fajlagos vezetőképesség értéket (közel  $20 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) az expandált BNB90 grafit mintán mértük. Feldolgozhatósága is az egyik legjobb volt a vizsgált töltőanyagok közül, minden esetben a keverés egyensúlyi nyomatéka 4-5 Nm volt. Az ENSACO 250G korom a vizsgált töltőanyag tartalom tartományban jó vezetőképességi értékeket (közel  $3 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) eredményezett, azonban a feldolgozhatóság szempontjából ez a legkedvezőtlenebb töltőanyag a vizsgált töltőanyagok közül, mert a töltőanyag tartalom növekedésével exponenciálisan nőtt a keverés nyomatékigénye. A KS5-75TT típusú grafit mintáknál mértük a legkisebb elektromos vezetőképességi értékeket (közel  $1 \text{ S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). A BNB90 grafit töltőanyagokhoz hasonlóan ez is könnyen feldolgozható. Ez a legolcsóbb, de a legrosszabbul vezető anyag a többi vizsgált töltőanyaghoz képest. Az eredmények alapján a BNB90 expandált grafit és az ENSACO 250G korom töltőanyagokból érdemes hibrid kompozitokat előállítani bipoláris lemezek készítéséhez.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a KDP-IKT-2023-900-11-00000957/0000003 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg és a Bólyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült. Az RRF-2.3.1-21-2022-00009 azonosítószámú, Megújuló Energia Nemzeti Laboratórium megnevezésű projekt a Széchenyi Terv Plusz program keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképeségi Eszközének támogatásával valósul meg.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Kirubakaran A., Jain S., Nema R. K.: A review on fuel cell technologies and power electronic interface. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2430-2440 (2009).
- [2] EG and G Technical Services Inc.: *Fuel Cell Handbook*. U.S. Department of Energy, Washington DC (2004).
- [3] San F. G. B., Tekin G.: A review of thermoplastic composites for bipolar plate applications. *International Journal of Energy Research*, 37, 283-309 (2013).
- [4] Planes E., Flandin L., Alberola N.: Polymer Composites Bipolar Plates for PEMFCs. *Energy Procedia*, 20, 311-323 (2012).
- [5] Saki Z., Azizi H., Ghasemi I., Alavi A.: Morphology development to achieve electrical conductive blends based on polylactic acid/polyolefin elastomer/graphene nanoplates. *Express Polymer Letters*, 15, 912-928 (2021).
- [6] Silva A. P. B., Giroto C. C., Montanheiro T. L. A., Farias M. A., Montagna L. S., Tada D. B., Cristovan F. H., Lemes A. P.:

- Evaluation of the use of carbon nanotubes recovered from a biodegradation process in the production of new biodegradable polymer nanocomposites. *Express Polymer Letters*, 17, 218-235 (2023).
- [ 7 ] Taherian R., Hadianfard M. J., Golikand A. N.: A new equation for predicting electrical conductivity of carbon-filled polymer composites used for bipolar plates of fuel cells. *Journal of Applied Polymer Science*, 128, 1497-1509 (2013).
- [ 8 ] Radzuan N. A. M., Sulong A. B., Sahari J.: A review of electrical conductivity models for conductive polymer composite. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 9262-9273 (2017).
- [ 9 ] Dweiri R., Sahari J.: Electrical properties of carbon-based polypropylene composites for bipolar plates in polymer electrolyte membrane fuel cells (PEMFC). *Journal of Power Sources*, 171, 424-432 (2007).
- [ 10 ] Zheng W., Wong S.-C.: Electrical conductivity and dielectric properties of PMMA/expanded graphite composites. *Composites Science and Technology*, 63, 225-235 (2003).
- [ 11 ] Hu B., Chang F.-L., Xiang L.-Y., He G.-J., Cao X.-W., Yin X.-C.: High-performance polyvinylidene fluoride/graphite/multi-walled carbon nanotubes composite bipolar plate for PEMFC with segregated conductive networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 25666-25676 (2021).
- [ 12 ] Hu B., Chen L., Guo C., He G., Cao X., Yin X.: Constructing three-dimensional conductive network in composite bipolar plates by sacrificial materials for improvement of proton exchange membrane fuel cell performance. *Journal of Power Sources*, 552, 232261 (2022).
- [ 13 ] Hu B., He G., Chang F., Yang H., Cao X., Yin X.: Low filler and highly conductive composite bipolar plates with synergistic segregated structure for enhanced proton exchange membrane fuel cell performance. *Energy*, 251, 123982 (2022).
- [ 14 ] Santiago O., Raso M. A., Navarro E., Leo T. J.: Selection of thermoplastic polymers for use as bipolar plates in direct methanol fuel cell application. *Materials and Design*, 183, 108148 (2019).
- [ 15 ] Witpathomwong S., Okhawilai M., Jubsilp C., Karagiannidis P., Rimdusit S.: Highly filled graphite/graphene/carbon nanotube in polybenzoxazine composites for bipolar plate in PEMFC. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45, 30898-30910 (2020).
- [ 16 ] Lee J. H., Janga Y. K., Hong C. E., Kim N. H., Li P., Lee H. K.: Effect of carbon fillers on properties of polymer composite bipolar plates of fuel cells. *Journal of Power Sources*, 193, 523-529 (2009).
- [ 17 ] Villmow T., Pötschke P., Pegel S., Häussler L., Kretzschmar B.: Influence of twin-screw extrusion conditions on the dispersion of multi-walled carbon nanotubes in a poly(lactic acid) matrix. *Polymer*, 49, 35000-35009 (2008).
- [ 18 ] Arai T., Tominaga Y., Asai S., Sumita M.: A study on correlation between physical properties and interfacial characteristics in highly loaded graphite-polymer composites. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 43, 2568-2577, (2005).
- [ 19 ] [https://www.molgroupchemicals.com/userfiles/products/68/68\\_tds\\_en.pdf](https://www.molgroupchemicals.com/userfiles/products/68/68_tds_en.pdf) (2025.03.10.)
- [ 20 ] <https://www.imerys.com/public/2022-03/Conductive-and-Extra-Conductive-Carbon-Blacks-for-Polymers.pdf> (2025.03.10.)
- [ 21 ] <https://www.imerys.com/public/2022-03/Specialty-Carbons-for-Advanced-Lead-Acid-Batteries.pdf> (2025.03.10.)
- [ 22 ] <https://www.imerys.com/public/2023-05/imerys-business-documentation-specialty-carbons-for-bipolar-plates-of-fuel-cells-web-april-2023.pdf> (2025.03.10.)
- [ 23 ] Spahr M. E., Gilardi R., Bonacchi D.: Carbon Black for Electrically Conductive Polymer Applications. in 'Fillers for Polymer Applications.' (ed.: Rothon R.) Springer, Berlin, 375-400 (2017).
- [ 24 ] Mironov V. S., Kim J. K., Park M.: Comparison of electrical conductivity data obtained by four-electrode and four-point probe methods for graphite-based polymer composites. *Polymer Testing*, 26, 547-555 (2007).

A POLIMEREK szakmai folyóiratot a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya hazai, lektorált tudományos folyóiratnak fogadja el, a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT) is magyar nyelvű, lektorált folyóiratként van nyilvántartva.

**Ezt jelzi Lektorált tudományos közlemények rovatunk, amelyben az egyetemektől és tudományos kutatóintézetektől kapott tudományos cikkeket a nemzetközi elvárásoknak megfelelően, a Tudományos Szerkesztőbizottságunk (egyetemi tanárok, MTA doktorok) lektorálása után közöljük.**

A tudományos cikkeknel külön jelölve van a rovatcímében, hogy *Lektorált tudományos közlemény*, ezek felépítése megfelel a szigorú nemzetközi normáknak, a magyar mellett angol nyelvű absztrakt foglalja össze az eredményeket, a cikk bevezetése tartalmazza a tudomány jelenlegi állását megfelelően alátámasztva hivatkozásokkal. A következő részben modern eszközökkel és módszerekkel elért eredményeket mutatják be a szerzők, az összefoglalás pedig rendszerezi a cikk eredményeit. A cikkek végén a köszönetnyilvánítás és az egyetemes irodalmi hivatkozás szerepel. Mindezek alapján valószínűleg meg, hogy a POLIMEREK az MTMT-ben lektoráltként szerepel mind a PhD, mind az MTA doktori eljárásokban – elismert és elfogadott folyóiratként.