

KÖRNYEZETBARÁT NANOKOMPOZITOK ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA[⊗]

PREPARATION AND STUDY OF ENVIRONMENTAL FRIENDLY NANOCOMPOSITES

LAKATOS Csilla¹, MILÓ László², KECZÁNNÉ ÜVEGES Andrea³

^{1,2}egyetemi hallgató, ³főiskolai docens
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4.

¹csilla.lakatos1@gmail.com, ²milolaszlo.1@gmail.com, ³auveges@eng.unideb.hu

Kivonat: Napjaink egyik legdinamikusabban fejlődő tudományága a nanotechnológia, mely által létrehozott termékek az élet számos területén jelen vannak, és nagy jelentőséggel bírnak. Munkánk során különböző nanokompozitokat szintetizáltunk, majd vizsgáltuk azok mechanikai tulajdonságait, az anyagok vízfelvételét és a nanorészecskék diszpergáltságának mértékét. Az irodalomból ismert, hogy a nanotitanát fotokatalitikus tulajdonsága révén képes a vele érintkező baktériumokat elpusztítani és a szerves vegyületeket semlegesíteni. Célunk, hogy a nanokompozitok előállításához használt nanotitanát antibakteriális hatását kihasználva, öntisztuló ipari padlót hozzunk létre. Ezen padlók nagy előnye, hogy a tisztántartásukhoz szükséges vegyszer mennyisége minimális, ezzel is csökkentve a szennyvíztisztító telepek terhelését.

Kulcsszava: környezetbarát, padlóbevonat, polimerizáció, vízfelvétel, mechanikai tulajdonság

Abstract: The nanotechnology is one of the most dynamically developing area of science nowadays and it has many significant products that affect our common life. During our work we synthesized nanocomposites and studied their mechanical properties, hydration and the rate of nanosized particles' dispersion in them. It is well known that nano titanate particles can destroy bacteria and neutralize organic compounds due to their photocatalytic nature. Our main goal is to create aseptic and self-cleaning industrial floors by utilize the antibacterial feature of the said particle. The main benefit of such a floor is that it needs only a minimal amount of chemical for cleaning so it can lower the strain of the sewage works.

Keywords: environmental friendly, floor coating, polymerization, water uptake, mechanical property

1. BEVEZETÉS

Napjaink környezetpolitikai célja, a termelő tevékenység károsító hatásainak a lehető legkisebb szintre történő redukálása. Ennek egyik lehetséges eszköze új környezetbarát technológiák kidolgozása, bevezetése. A polimerizációs technikák közül a kék fény hatására lejátszódó tömbpolimerizáció ebből a szempontból kedvezőnek tekinthető, hiszen más polimerizációs eljárásokkal szemben kevesebb az anyag és energiaigénye, valamint nincs melléktermék képződés [1, 2, 3]. Amennyiben ezt a polimerizációs eljárást ötvözzük a nanotechnológia által nyújtott lehetőségekkel további kedvező hatásokat érhetünk el azáltal, hogy sokkal előnyösebb fizikai tulajdonságú anyagokat tudunk előállítani. Az irodalomból ismert, hogy bizonyos nanorészecskék antibakteriális hatással is rendelkeznek és antiszeptikus hatásukat különböző polimer anyagokba beágyazva nanokompozit formában is bizonyítottan kifejtik [4]. Ezen kedvező tulajdonságokat figyelembe véve, munkánk fő célja egy megfelelő mechanikai tulajdonságokkal rendelkező, antiszeptikus padlóbevonat készítése. Amennyiben ilyen módon előállított padlóbevonatok kerülnének alkalmazásra a közcélú helységekben (kórházak, rendelőintézetek, oktatási intézmények, recepciók, mosdók), úgy jelentős mértékben

[⊗] Szaklektorált cikk. Leadva: 201E. hhhhhh NN., Elfogadva: 200E. hhhhhh NN.
Reviewed paper. Submitted: NN. HH., 201E. Accepted: NN. HH., 201E.
Lektorálta: CCCCCC KKKKK / Reviewed by KKKKK CCCCCC

lehetne csökkenteni a padlók tisztításához szükséges vegyszer mennyiségét, ezzel csökkentve a szennyvíztisztító telepek terhelését, a környezetterhelés mértékét.

Az iparban leginkább elterjedt önterülő padlók nagy előnye, hogy az esztétikus felületük mellett rendkívül kedvező mechanikai, fizikai tulajdonságokkal is rendelkeznek. Ezen padlók alapanyaga általában kétkomponensű epoxigyanta, amely hátrányként is jelentkezik alkalmazása során, hiszen elkészítésükhöz és terhelhetőségükhöz szükséges várakozási idő több napot is igényben vesz. A leggyakrabban használt parkettalakkok összetevői különböző típusú uretán- és poliészter akrilátok [5, 6]. Az általunk összeállított kompozitok összetételüket tekintve alifás uretán diakrilátot [7, 8], amin módosított poliészter tetraakrilátot [8, 9], trietilénlikol-divinil-étert [10], illetve titán-dioxid nanorészecskét tartalmaznak. A fotopolimerizációs technikának köszönhetően ezen bevonatok kötési ideje csupán néhány percet vesz igénybe, így a felület a polimerizáció után máris terhelhetővé válik. Munkánk során vizsgáltuk a nanokompozitokból és a referenciának tekinthető kopolimerből készített próbatestek mechanikai tulajdonságait, valamint a próbatestek vízfelvételét. A kompozitokból készített próbatestek törési felületéről pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételeket készítettünk, a nanorészecskék diszpergáltságának tanulmányozásához.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Mechanikai vizsgálat

Kutatásunk első lépéseként a kompozitok mechanikai tulajdonságait vizsgáltuk meg, hiszen fontos, hogy az előállított padlóbevonat megfelelő tulajdonságokkal rendelkezzen, az ne legyen túlságosan rideg, sem túlságosan rugalmas. Munkánk során előállítottunk egy, a vizsgálataink során referenciaként szolgáló kopolimert, és több, különbözőképpen összeállított nanokompozitot is. A kopolimer Ebecryl[®] 4858 (Eb[®] 4858, alifás uretán diakrilát), Ebecryl[®] 80 (Eb[®] 80, amin módosított poliészter tetraakrilát), DVE-3 (trietilénlikol-divinil-éter) márkanévű monomereket, fotoiniciátort (kámforkinon) és katalizátort (etil-4-(dimetilamino)-benzoát) tartalmaz. A nanokompozitok előállításához mindezek mellett titanát nanorészecskéket használtunk.

Feltételezéseink szerint a nanokompozitok mechanikai tulajdonságaira hatással van az, hogy a nanorészecskéket melyik monomerben diszpergáljuk a teljes mátrix összeállítása előtt, illetve a nanorészecskék előkezelésének módja is. Ezen feltételezések igazolására hoztuk létre és vizsgáltuk meg a négyféleképpen előállított nanokompozitot, és a referenciaként értelmezhető kopolimert. Az anyagok pontos összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

Összetételek					
	<i>Kopolimer</i>	<i>Nano-kompozit 1.*</i>	<i>Nano-kompozit 2.*</i>	<i>Nano-kompozit 3.**</i>	<i>Nano-kompozit 4.**</i>
Eb [®] 80 (m/m%)	40	38	38	38	38
Eb [®] 4858 (m/m%)	40	38	38	38	38
DVE-3 (m/m%)	16	18	18	18	18
Iniciátor (m/m%)	2	2	2	2	2
Katalizátor (m/m%)	2	2	2	2	2
Titanát-nanorészecske (vákuum szárított) (m/m%)	0	2	0	2	0
Titanát-nanorészecske (16 h, 80-100 °C szárított) (m/m%)	0	0	2	0	2

1. Táblázat: A kopolimer és a nanokompozitok összetétele (a *-gal jelölt nanokompozitok esetében a nanorészecske diszpergálását az Eb[®] 80 márkanévű monomerben valósítottuk meg; míg a **-gal jelölt nanokompozitok esetében a diszpergálás a DVE-3 márkanévű monomerben történt)

Mivel a vizsgálatainkhoz használt titanát nanorészecskék nedves állapotban álltak rendelkezésünkre, ezért a mátrixanyagba való bekeverésüket előkezelés előzte meg. Előkezelésüket kétféle módon valósítottuk meg: egyik részüket szobahőmérsékleten, vákuumban, 5 napon keresztül; másik részüket szárítószekrényben 80-100 °C közötti hőmérsékleten, 16 órán keresztül szárítottuk. Az így előkezelt titanát nanorészecskék, mátrixban történő diszpergálását ultrahangos fürdővel segítettük elő, melyet 5 órán keresztül alkalmaztunk [11].

Feltételezéseink szerint a nanorészecskék diszpergálhatóságát a monomerek kémiai tulajdonsága és viszkozitása együttesen befolyásolja, ezért az eloszlást nem a monomerek elegyében (mátrix anyagban), hanem adott monomerben (közepes viszkozitású Eb[®] 80 (*nanokompozit 1. és 2.* és az alacsony viszkozitású DVE-3 (*nanokompozit 3. és 4.*)) valósítottuk meg.

A hajlítószilárdsági vizsgálatokhoz négyzet alapú hasáb próbatesteket készítettünk teflon próbatest készítőben. A próbatestek keresztmetszete 2x2 mm, hosszuk 20 mm. A minták száma mintatípusonként 8 darab (n=8). A minták fotopolimerizációja Dentacolor XS, Heraeus Kulzer, Germany ($\lambda_{\max}=435$ nm) fotopolimerizációs kályhában történt, 360 sec reakcióidő alatt.

A polimerizációt követően a hajlítószilárdsági vizsgálat megkezdéséig a próbatesteket 24 órán keresztül szobahőmérsékleten tartottuk. A méréseket INSTRON 5544, USA mechanikai tesztelő berendezésben végeztük. Az alátámasztások távolsága 18 mm, a keresztfej sebesség 1 mm/sec. A mért adatok kiértékelése MSZ EN ISO 178 szabvány szerint történt.

2.2. Vízfelvétel vizsgálat

Az irodalomból jól ismert, hogy a titanát nanorészecskék antiszeptikus jelleggel bírnak, melyet a katalitikus tulajdonságuk révén fejtenek ki. Fujishima és Honda már 1972-ben beszámolt arról, hogy UV-fény hatására a titán-dioxid fotokatalízis révén, képes a vizet hidrogénné és oxigénné bontani [12]. Az irodalomból ismert az is, hogy a titanát nanorészecske kedvező vízfelvételi tulajdonságokkal rendelkezik, és fotokatalitikus tulajdonságukat víz jelenlétében képesek kifejteni. Ezek alapján úgy döntöttünk, hogy megvizsgáljuk az általunk előállított nanokompozit vízfelvételének mértékét. Vizsgálatunk során azt feltételeztük, hogy az alkalmazott nanotitanát fotokatalitikus hatása révén a kopolimer által felvett víz egy részét hidrogénné és oxigénné bontja, így szabad gyökök keletkeznek. A szabad gyökök pedig köztudottan roncsolják a sejtfalakat, s ezt kihasználva feltételezéseink szerint öntisztuló padlót hozhatunk létre. Vizsgálataink elvégzését azért is fontosnak tartottuk, hogy számszerűsíteni tudjuk a nanokompozitok által felvett víz mennyiségét. Erre azért van szükség, mert az előállított kompozit gyakorlati alkalmazását padlóbevonatként határoztuk meg. A padlóbevonatok anyagától pedig általánosan elvárható, hogy ne rendelkezzen túl nagy vízfelvevő képességgel, hiszen úgy rövid idő alatt szerkezetromlás következne be az anyagban és használhatatlanná válna.

A vízfelvétellel kapcsolatos vizsgálatainkat három különböző mintasorozaton végeztük el. A mérések során referenciaként szolgáló kopolimerből, és a mechanikai vizsgálatok eredményei alapján kiválasztott *nanokompozit 4*-ből készítettünk próbatesteket. Mivel vizsgálatunk elvégzésekor nem volt információnk arra vonatkozóan, hogy az elkészült próbatesteken belül, milyen a nanorészecskék eloszlása és térbeli elhelyezkedése, így a nanokompozitból két sorozatot készítettünk, melyek közül az egyik sorozat tagjait minden irányból alaposan megcsiszoltunk, ezáltal biztosítva, hogy a nanorészecskék a felszínre kerüljenek.

A vízfelvétellel kapcsolatos vizsgálat elvégzéséhez henger alakú próbatesteket készítettünk teflon próbatest készítőben. A minták fotopolimerizációja Dentacolor XS, Heraeus Kulzer, Germany ($\lambda_{\max}=435$ nm) fotopolimerizációs kályhában történt. A próbatestek elkészítéséhez szükséges polimerizációs idő 360 sec volt. A próbatestek magassága 3 mm, átmérője 6 mm. A minták száma sorozatonként 8 db volt (n=8 db). Az így elkészített próbatestek tömegeit lemértük, majd desztillált vízben, lezárt üvegekben tartottuk. A tömegváltozást 30 napon keresztül követtük figyelemmel. A vízfelvétel mértékét meghatározott időközönként végzett tömegméréssel állapítottuk meg. A tömegméréshez a próbatesteket a desztillált vízből kivettük, felületükről a vizet óvatosan, papírvatta segítségével leittattuk. Az így kapott adatok segítségével a vízfelvétel mértékét az alábbi képlettel (1) tömegszázalékban határoztuk meg [13].

$$V_f(m/m\%) = \frac{m_m - m_k}{m_k} * 100, \quad (1)$$

ahol:

- $V_f(m/m\%)$ – a vízfelvétel mértéke tömegszázalékban kifejezve;
 m_m – a vízfelvétel során mért tömeg;
 m_k – a kezdeti tömeg.

2.3. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat (SEM)

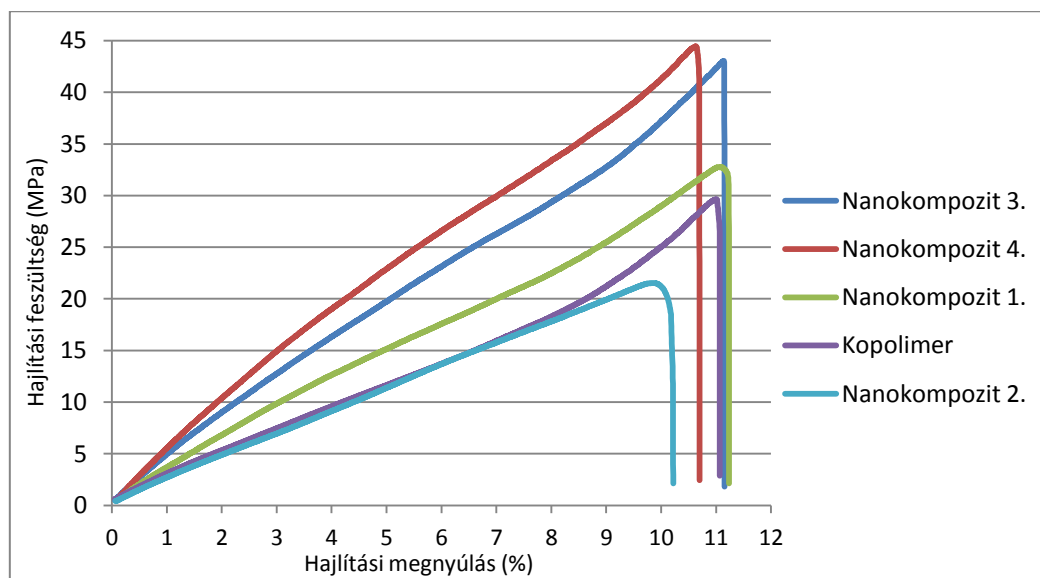
A nanokompozitokból készített próbatestek mechanikai vizsgálatok során keletkezett törési felületéről pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatot végeztünk a titanát nanorészecskék diszpergáltságának vizsgálatára.

Vizsgálatainkat a *nanokompozit 1.* és *nanokompozit 3.* anyagok esetén végeztük el. Azért esett a választásunk erre a két anyagra, mert a mechanikai vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy azok a nanokompozitok, melyekben vákuum szárított nanorészecskét használtunk kedvezőbb mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Vizsgálatunk célja volt igazolni, hogy a vizsgálataink során elért legjobb hajlítószilárdsági érték (*nanokompozit 3.*) a nanorészecskék nagyobb fokú diszpergáltságával magyarázható.

3. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

3.1. Mechanikai vizsgálatok eredményei

A mechanikai vizsgálatok elvégzése során minden egyes kompozit esetében kiválasztottuk a szoftver segítségével elkészített „jellemző görbét”, melyeket egy közös diagramban foglaltunk össze (1. ábra).



1. ábra: A mechanikai vizsgálat során kapott "jellemző görbék"

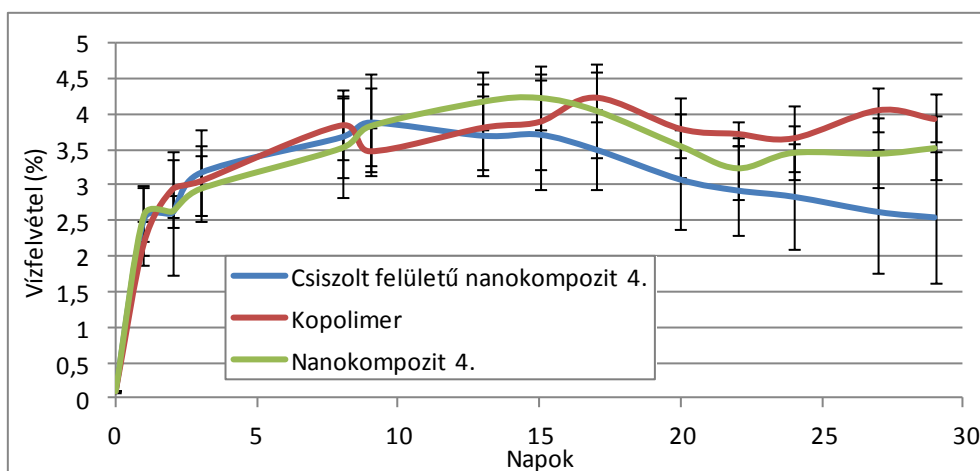
Jól látható, hogy a kopolimer hajlítószilárdsági értéke a *nanokompozit 2.* kivételével, minden esetben kisebb értéket mutat, mint a nanokompozitok. Tehát elmondhatjuk, hogy a mátrixba kevert titanát nanorészecskék kifejtik erősítő hatásukat a polimerre nézve, amennyiben azok eloszlása és diszpergálása megfelelően történik. A diagramon is jól látható, hogy a legnagyobb hajlítási feszültség értékkel a *nanokompozit 3.* és *4.* rendelkezik. A *nanokompozit 3.* és *4.* minták előkészítése abban megegyezik, hogy mindkettő esetében a diszpergálás a DVE-3 monomerben történt. Elmondható,

hogy ezen monomerben történő diszpergálás esetén a nanorészecske szárításának módja, nincs hatással a mechanikai tulajdonságokra. Ugyanez nem mondható el abban az esetben, ha a nanorészecskék diszpergálása az Eb[®] 80 nevű monomerben történik. A hajlítási feszültséggel szembeni ellenállást tekintve elmondható, hogy a nagyobb viszkozitású monomerben történő diszpergálás esetében fontos szerepet játszik a nanorészecske szárításának módja (*nanokompozit 1. és 2.*).

A mechanikai vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy az anyag mechanikai tulajdonságaira nagy hatással van az, hogy az előkezelt nanorészecskék, melyik monomerben vannak diszpergálva. Ezzel együttesen megállapítható az is, hogy amennyiben a diszpergálás a DVE-3 monomerben történik, úgy a nanorészecskék általunk alkalmazott előkezelésének módja nem bír nagy jelentőséggel az anyag mechanikai tulajdonságaira nézve.

3.2. Vízfelvétel vizsgálat

Az irodalomból vett képlet (1) alapján számított eredményeket az alábbi diagramon szemléltetjük (2. ábra).

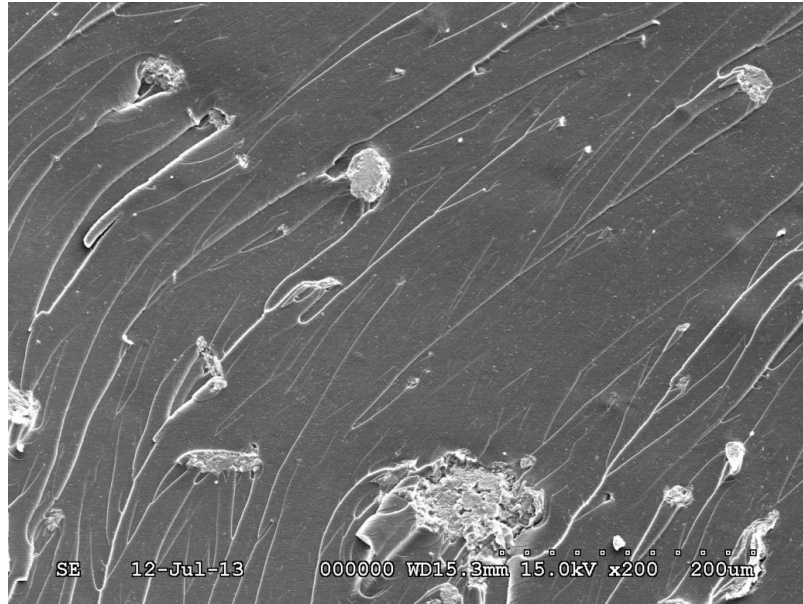


2. ábra: A vízfelvétel mértéke a különböző összetételek esetén

A kapott eredmények számunkra kielégítőek, hiszen láthatjuk, hogy az anyagokra jellemző vízfelvételi görbék a kezdeti szakaszban meredeken emelkednek, majd ez a növekedés lelassul, és az idő teltével a nanokompozitok esetében lassú csökkenés figyelhető meg. Gyakorlati példán keresztül elmondhatjuk, hogy egy általános felmosás esetén az anyagaink ugyan rövid idő alatt nagyobb mennyiségű vizet képesek megkötni, - ami szükséges is a nanorészecskék fotokatalitikus hatásának kifejtéséhez,- de nem növeli meg az anyagok vízfelvétele mértékét olyannyira, hogy az, az anyagok vízzel való telítődését okozza. Elmondható az is, hogy a nanorészecskék vízfelvétele nem befolyásolja kedvezőtlenül az anyag vízfelvétele, mivel nem tartja folyamatosan magas szinten azt. A diagramon jól látható, hogy a nanokompozitokkal szemben a kopolimer vízfelvétele a 17. naptól kezdődően folyamatosan magasabb értékkel rendelkezik. A gyakorlatban ez arra enged következtetni, hogy a nanokompozitok, mint padlóbevonatok kedvezőbb „vízháztartással” rendelkeznek, mint a nanorészecskék nem tartalmazó társaik.

3.3. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálat

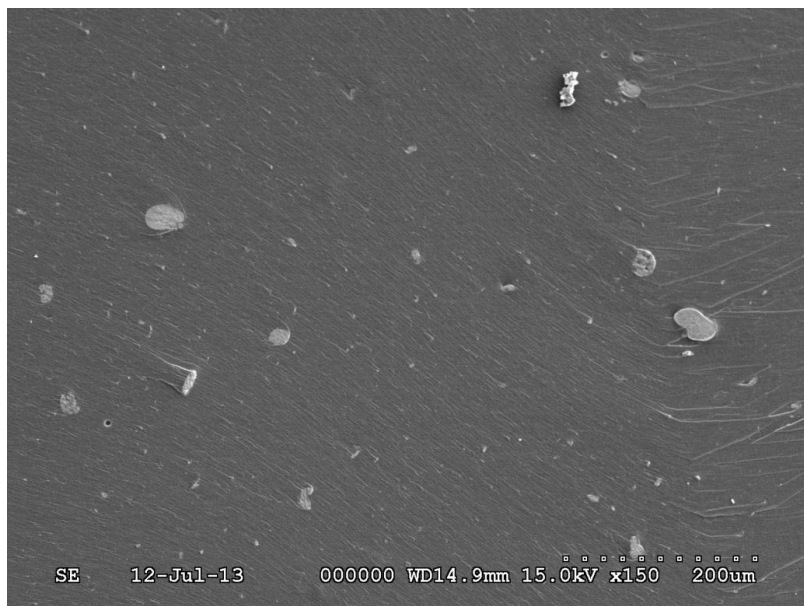
A nanokompozitok törési felületének tanulmányozására kiválasztottunk 1-1 SEM-felvételt, melyeket a 3. és 4. ábrán mutatunk be.



3. ábra: A nanokompozit 1. törési felületéről készített SEM felvétel

A *nanokompozit 1.* törési felületéről készített felvétel alapján elmondható, hogy a nanorészecskék kis mértékben diszpergálódtak. Megfigyelhetünk a különböző méretű (20-100 μm) nagy aggregátumok mellett kisebb részecskéket is (< 20 μm). Az aggregátumok széléitől 1-1 „csóvaszerű” alakot is lehet látni, mely a későbbiekben repedések kiindulópontjaivá válhatnak (3. ábra).

A *nanokompozit 3.* törési felületéről készült SEM felvétel látható a 4. ábrán. Elmondható róla, hogy a törési felület homogénebb képet mutat, bár még ebben az esetben is megfigyelhetőek aggregátumok, de ezek közül a legnagyobbak is csak 40 mikrométeresek.



4. ábra: A nanokompozit 3. törési felületéről készített SEM felvétel

A 4. ábrán is megfigyelhetünk a nagy aggregátumok mellett kisebb részecskéket, valamint a 3. ábrán is tapasztalható „csóvaképződést” is. A 3. ábrához viszonyítva azonban a „csóvaképződések” ebben az esetben már kevésbé hangsúlyosak s csak a legnagyobb aggregátumok mellett figyelhetőek meg. Az apró részecskék nagyobb mennyisége arra enged következtetni, hogy ebben az esetben a diszpergálás megvalósítása jobban sikerült. S ezt a mechanikai vizsgálatok során tapasztalt nagyobb hajlítoszilárdsági érték is alátámasztja.

Tapasztalataink alapján elmondható, hogy a nanokompozitok hajlítoszilárdság értékeire hatással van az, hogy először melyik monomerben oszlatjuk el a titanát nanorészecskéket, s így milyen fokú diszpergáltságot érünk el. Összességében megállapítható, hogy a diszpergálás technikája még javításra szorul, hiszen a nanorészecskék egyenletes eloszlását nem sikerült megvalósítani.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során titanát nanocsövekkel módosított polimer kompozitokat állítottunk elő. Vizsgáltuk azok mechanikai tulajdonságait, vízfelvevő képességét, valamint a próbatestek törési felületéről pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket készítettünk.

Kutatásunk célja volt megismerni, hogy az anyagok tulajdonságait milyen mértékben befolyásolja az elkészítésük módja. Azt tapasztaltuk, hogy a titanát nanorészecskék diszpergálása a kis viszkozitású DVE-3 monomerben nagyobb mértékben valósult meg, szemben az Eb[®] 80 márkanevű anyaggal. A hatékonyabb diszpergálás kedvező hatása egyértelműen megmutatkozott a mechanikai vizsgálatok eredményeiben is. Megfigyeltük azt is, hogy a nanorészecskék szárításának módja csak a nagyobb viszkozitású monomerben történő diszpergálás esetén van hatással a hajlítoszilárdsági értékekre. A mechanikai vizsgálatok eredményei alapján kiválasztott nanokompoziton végzett vízfelvétel vizsgálat eredményei láttán elmondhatjuk, hogy a nanokompozitok vízfelvétele nem olyan jelentős, hogy az negatív irányba befolyásolná a gyanta szerkezetét, tehát nem kell tartanunk a padló víztől történő felhólyagosodásától. Kutatásunk során a nanorészecskék diszpergálási hatékonyságának vizsgálatára a mechanikai vizsgálatok során eltört próbatestek felületéről pásztázó elektronmikroszkópos felvételeket készítettünk. SEM felvétel készült a *nanokompozit 1.* és a *nanokompozit 3.* jelölésű anyagról. A két nanokompozit előkészítése csupán annyiban különbözik egymástól, hogy a vákuum-szártott nanotitanát különböző monomerekben volt diszpergálva. A felvételek alátámasztják a mechanikai vizsgálatok során tapasztaltakat, vagyis azt, hogy a diszpergálás nagyobb mértékben valósult meg a kisebb viszkozitású monomerben (*nanokompozit 3.*). Ebben az esetben ugyanis a SEM felvételeken is jól látható, hogy az aggregátumok méretüket tekintve kisebbek valamint, hogy a *nanokompozit 1.* törési felületéről készített felvételhez képest több, apró részecske is megfigyelhető.

Összességében megállapítható, hogy a nanokompozitok előállításánál nagy jelentőséggel bír a nanorészecskék előkezelésének módja, illetve az, hogy melyik monomerben kerülnek diszpergálásra.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KOVÁCS ORSOLYA**, Új lineáris, ojtásos és csillag polimerek szintézise kvázielő atomátadásos gyökös polimerizációval, Ph.D. értekezés, Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Kémia Doktori Iskola, Szintetikus kémia, anyagtudomány, biomolekuláris kémia program, Budapest, 2007.
- [2] **CZVIKOVSZKY TIBOR, NAGY PÉTER, GAÁL JÁNOS**, A polimertechnika alapjai, kiadta a Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ, 2007.
- [3] **ZSUGA MIKLÓS**, Makromolekuláris kémia, Egyetemi jegyzet, Debrecen, 2003.
- [4] **GRABOPLAST**, Silver Knight termékismertető (2013.08.26.)
- [5] **SABZI, M.; MIRABEDINI, S. M.; ZOHURIAAN-MEHR, J.; ATAI, M.**, Surface modification of TiO₂ nano-particles with silane coupling agent and investigation of its effect on the properties of polyurethane composite coating, *Progress in Organic Coatings*, 65, 222–228 (2009).
- [6] **DECKER, CH.; KELLER, L.; ZAHOUILY, K.; BENFARHI, S.**, Synthesis of nanocomposite polymers by UV-radiation curing, *Polymer*, 46, 6640–6648 (2005).

- [7] **INNOVADEX:** Ebecryl® 4858 (2013.08.26.),
<http://www.innovadex.com/Inks/Detail/2414/133656/EBECRYL-4858>
- [8] **CYTEC:** Radcure™ Energy Curable Resins, Product Guide, Coating and Inks (2013.08.26.), www.cytec.com
- [9] **INNOVADEX:** Ebecryl® 80 (2013.08.26.),
<http://www.innovadex.com/Inks/Detail/2414/208509/EBECRYL-80>
- [10] Triethyleneglycol divinyl ether (2013.08.26.),
<http://scitoys.com/scichem/jqp020/3033992.html>
- [11] **KELLER, L.; DECKER, C.; ZAHOUILY, K.; BENFARHI, S.; LE MEINS, J. M.; MIEHE-BRENDLE, J.,** Synthesis of polymer nanocomposites by UV-curing of organoclay-acrylic resins, *Polymer*, 45, 7437–7447 (2004).
- [12] **FUJISHIMA, A.; HONDA, K.:** Electrochemical photocatalysis of water at a semiconductor electrode, *Nature*, 238, 37–38 (1972).
- [13] **ELENA JUBETE, CHRISTOPHER M. LIAUW, NORMAN S. ALLEN,** Water uptake and tensile properties of carboxylated styrene butadiene rubber based water born paints: Models for water uptake prediction, *Progress in Organic Coatings* 59, 126-133. (2007)