

# ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

MINIPAL 4



15. évfolyam  
4. szám  
2005.



PANalytical

The Analytical X-ray Company

Gépeivel szakszerűen elvégezheti az általános és speciális követelményeket is kielégítő mechanikai vizsgálatokat



- a tengelyirányú erő – 8871 és 8872 modell –
- a tengelyirányú erő és a csavaró nyomaték – 8874 modell – működtetésével különböző hőmérsékleten, normál és korróziós környezetben.

Ezt szolgálják

- a Dynacell, dinamikusan kiegyensúlyozott erőmérőcellák
- a befogók széles választéka
- a speciális tartozékok
- a FastTrack 8800 vezérlő elektronika és értékelő szoftverei

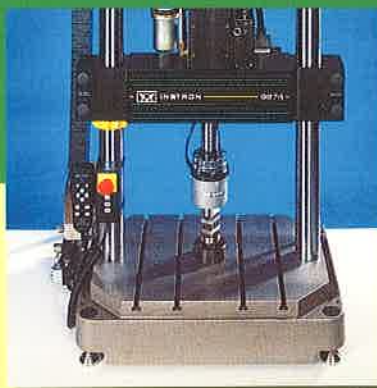
törésmechanikai vizsgálatok



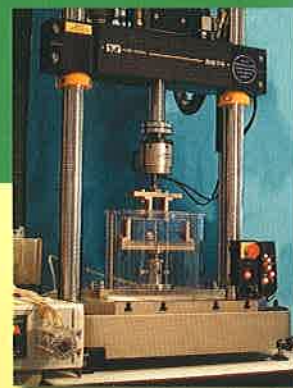
vizsgálat  
hőkamrában



csomagolások  
vizsgálata



szerkezetvizsgálat  
biaxiális terheléssel



négypontos hajlítás  
sóoldatban

Forgalmazza:

 **TESTOR**

[www.testor.hu](http://www.testor.hu)

• 06 (1) 319 1 319  
06 (30)

## ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

### Szerkesztőség:

a kiadó **ATESTOR Kft.** címén  
1016 Budapest I., Aladár u. 19.

**1538 Budapest, Pf. 528.**

Telefon: 319-1-319

Telefax: 319-2284

E-mail: [info@anyagvizsgaloklapja.hu](mailto:info@anyagvizsgaloklapja.hu)

[info@atestor.hu](mailto:info@atestor.hu)

Internet: [www.atestor.hu](http://www.atestor.hu)

Lapunk az interneten is olvasható:

[www.anyagvizsgaloklapja.hu](http://www.anyagvizsgaloklapja.hu)

Felelős szerkesztő:

**dr. Lehofer Kornél**

A szerkesztőbizottság tagjai:

**dr. Borbás Lajos**

**Eur. Ing. Fücsök Ferenc**

**dr. Havas István**

**dr. Koczor Zoltán**

**dr. Pólos László**

**dr. Tóth László**

Kiadja:

**ATESTOR Kft.**

Felelős kiadó:

**Szappanos György**

ügyvezető igazgató

Nyomda:

**PRINT-HOUSE KFT**

Felelős vezető: Fodor Imre

Előkészítés:

**PC-Print Bt.**

Tel.: 205-6399, 204-3688

E-mail: [pcprint@chello.hu](mailto:pcprint@chello.hu)

ISSN 1215-8410

## Formazárás – Formabontás

Lapunk ez évi 4. számával lezárul 15. évfolyama. Rendhagyó módon egy beszélgetéssel indítjuk ezt a lapszámunkat, mert hangsúlyozni szeretnénk az Európai Unió 5. Kutatási keretprogramja által támogatott FITNET (Fitness-for-Service Network – Üzemelésre Alkalmasság Hálózat) program egyedülálló jelentőségét, és mert fel szeretnénk hívni az állapotellenőrzés felelősség teljes vizsgálati és értékelési munkáját végző szakmai közösségünk figyelmét e programban foglaltakra.

A FITNET program keretében 16 ország, mintegy hatvan szakértője – köztük a miskolctapolcai Bay-Logi intézetből is – arra vállalkozott, hogy korunk műszaki tudományos módszereivel felülvizsgálja a fémszerkezetek biztonságos működésének megítélésére jelenleg – nemzeti szabványokban, iparági irányelvekben leírva – létező, törésmechanikai elveken alapuló értékelési eljárásokat, és az alapvető károsodási folyamatok: a törés, fáradás, kúszás és korrózió gyűjtőfogalmak, mint modul címek szerint rendezve közreadja azt, elősegítve egy egységes eljárási rend honosodását és nem utolsósorban egy európai szabvány (CEN) kidolgozását.

A szakterületünkön folyó hazai kutatás-fejlesztés súlypontja jelenleg a polimer és kerámia alapú kompozitok témakörben van. Ezért Anyagok rovatunkban e területnek a hazai eredményeiről adunk egy válogatott áttekintést.

Jegyzetünk címe viszont arra utal, – amelyről előző lapszámunk jegyzetében már hírt adtunk –, hogy 2006 januárjától, lapunk 16. évfolyamának negyedévenként megjelenő számait a szakmánk iránt érdeklődők csak lapunk [www.anyagvizsgaloklapja.hu](http://www.anyagvizsgaloklapja.hu) honlapján olvashatják, mégpedig díjmentesen! Lapunk 2003 őszétől működő honlapjának e célból történő frissítése folyamatban van. Rövidesen meggyőződhetnek a kedvező változásokról!

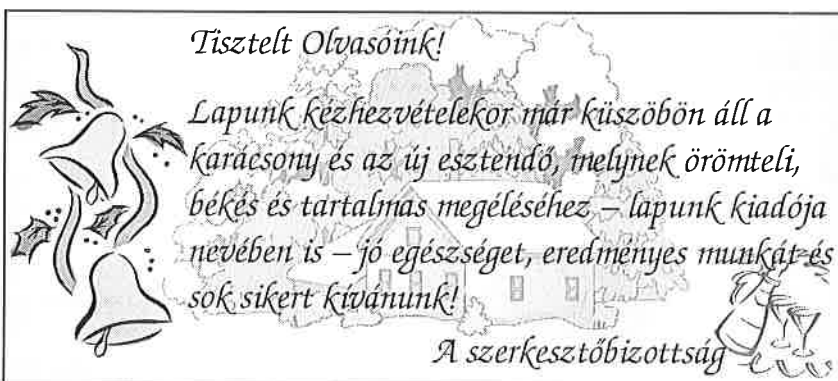
Az Anyagvizsgálók Lapja elektronikus változatában is lektorált cikkeket fogunk rovatokba szerkesztve (lényegében a honlapunkon most is olvasható nyomtatott változatnak megfelelően, azaz rovatcímes és számozott, a lap web-címével ellátott oldalakba tördelve, pdf formában) közölni, és továbbra is nívós szaklapként fog megjelenni (ISSN nyilvántartási számmal) kielégítve a referálható szaklapokkal szemben támasztott követelményeket.

Ám nem mondunk le teljesen lapunk nyomtatott megjelenéséről sem, merthogy minden évben a négy elektronikus lapszámunkban publikált, és olvasóink véleménye, illetve szerkesztőbizottságunk döntése nyomán, a legértékesebbnek ítélt cikkek **Válogatás a ... évfolyamból** alcímmel egy nyomtatott füzetet is megjelentetünk, bírva kiadónk, az Atestor Kft., és remélve hirdetőink támogatását.

A közelgő évvége alkalmából ezúton köszönöm meg szakmai közösségünk érdeklődését és támogatását! Szerkesztőbizottságunk változatlanul kéri és várja – a határainkon innen és túl tevékenykedő – szakértőink önzetlen cikkírói segítségét csakúgy, mint kiadónk, az Atestor Kft. lapunk nyomdai és elektronikus megjelenéséhez nyújtott anyagi támogatást!

*Szerkesszük együtt, elektronikusan is, az Anyagvizsgálók Lapját!*

Lehofer Kornél  
felelős szerkesztő



**ÁLLAPOTELLENŐRZÉS – CONDITION CONTROL – ZUSTANDSKONTROLLE***LEHOFER Kornél:**Módszerek a szerkezetek üzemalkalmasságának megítélésére – Beszámoló a 3. FITNET szemináriumról**Methods for fitness-for-service assessment – Accounts about the 3<sup>rd</sup> FITNET's seminar**Methoden für Beurteilung von Betriebsgeeignetheit – Berichte über 3. FITNET-Seminar* ..... 103**ANYAGOK – MATERIALS – MATERIALEN***KRÁLLICS György, FODOR Árpád:**A 17-4 PH martenzites korrózióálló acél fázisátalakulásának vizsgálata dilatométerrel**Investigation of phase transformation of the 17-4 PH martensitic stainless steel by dilatometer**Phase-Transformationsprüfung der martensitischen rostfreie Stahl 17-4 PH mit Dilatometer* ..... 107*FÉNYI Balázs, HEGMAN Norbert, WÉBER Ferenc, ARATÓ Péter, BALÁZSI Csaba:**Karbon polimorfok elektromos hatása a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kerámiákban**Electric effect of the carbon polymorphous inside the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ceramics**Elektrische Wirkung der Karbon-polymorphen innerhalb der Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Keramik* ..... 110*BÁRÁNY Tamás, IZER András, CZIGÁNY Tibor:**A konszolidáltság mértékének hatása az önerősítéses kompozitok mechanikai tulajdonságaira**Effect of the measure of consolidation for the mechanical properties of self-reinforcing composites**Konsolidierungswirkung für mechanische Eigenschaften der selbstgestärkte Kompositen* ..... 113*KOCSIS Zoltán, CZIGÁNY Tibor:**Farost-erősítésű polimer kompozitok fejlesztése**Development of the wood fibre-polypropylene composites**Entwickelungen der holzfaserverstärkte Polypropylän-Kompositen* ..... 116*SIMON Zoltán László, VAS László Mihály:**Vákuuminjektálásos eljárással készült réteges szerkezetű kompozitok hajlító tulajdonságainak elemzése**Analysing of the flexural properties of composites having a laminar structure and made by a vacuum injection method**Analyse der Bendingeigenschaften des geschichtete Kompositen hergestellte mit Vakuuminjektion* ..... 119*MÉSZÁROS László, CZVIKOVSKY Tibor:**Az elektronkezelés hatása a PA6 mátrixú nanokompozitok szerkezetére és tulajdonságaira**Effect of the electron irradiation for the structure and properties of the nano-composites having PA6 matrix**Elektron-Einstrahlungswirkung für Strukturen und Eigenschaften der Nano-Kompositen mit PA6 Matrix* ..... 121**KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN***JOÓ Katalin:**MiniPal 4, a legújabb fejlesztésű EDXRF spektrométer**MiniPal 4 is a newest developing EDXRF spectrometer**MiniPal 4 ist ein neueste entwickelte EDXRF spektrometer* ..... 126**MŰSZERES ANALITIKA – ANALYSIS WITH INSTRUMENT – INSTRUMENTELLE ANALYSIS***MARGITAI Zita, BRAUN Mihály:**Falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározása turbidimetriás módszerrel**Determination the quantity of dust settled on the leaves by turbidimetric method**Bestimmung die Menge der Staub hat gesetzt on Blätter mit turbimetriche Methode* ..... 127**SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN***Hazai és nemzetközi szabványok**New national and international Standards**Neue National- und Internationalnormen* ..... 129**SZEMLE – REVIEW – RUNDSCHAU** ..... 130**BESZÁMOLÓK – ACCOUNTS – BERICHTE***BORBÁS Lajos:**XXII. DAS – beszámoló a kísérleti mechanika nemzetközi konferenciáról**22<sup>nd</sup> DAS – Account about the international conference of experimental mechanics**XXII. DAS – Berichte über der international Konferenz für experimental Mechanik* ..... 131**ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER** ..... 132

## Beszámoló a 3. FITNET szemináriumról

# Módszerek a szerkezetek üzemelésre alkalmasságának megítélésére

### Előzmények

Kiemelt társadalmi igény, hogy a civilizált közösségek számára nélkülözhetetlen termékeket előállító és szolgáltatásokat nyújtó, de potenciálisan veszélyes technológiai (például: olajfinomító, energiatermelő) rendszereket kiszolgáló különböző fémszerkezetek, például nyomástartó edények és csővezetékek, reaktortartályok, üzemben tartása biztonságos és környezetbarát legyen, mégpedig gazdaságosan.

A különböző fémszerkezetekben anyagfolytonossági hibák (mint például repedések és hegesztési hibák) mind gyártáskor mind pedig üzemelés közben is keletkezhetnek. Ezek egy része biztonságunk szempontjából kifejezetten veszélyes is lehet. Akár egyetlen alkatrész meghibásodása is emberi életet fenyegethet és veszélyeztetheti a környezetet. Ezzel ellentétben bizonyos hibák a szerkezetben megűrhetők egész élettartamuk során anélkül, hogy veszélyes meghibásodást okoznának. Az ilyen hibák kijavítása gazdaságilag sem kifizetődő és javításuk újabb hibák kialakulásához is vezethet.

Szerkezetek üzemelésre alkalmasságának (fitness-for-service – FFS) értékelésére kialakult, törésmechanikai elveken nyugvó módszerek lehetővé teszik – a korszerű roncsolásmentes vizsgálati és mérési módszerekkel kimutatott – anyagfolytonossági hibák veszélyességének a megítélését és a megfelelő döntés meghozatalát a szerkezetek további üzemeltetéséről, javításáról, cseréjéről, vagy selejtezéséről. Bár napjainkban több ilyen értékelési eljárás is létezik (például: API579, BS7910), szükség van egységes európai eljárási rend és nem utolsósorban egy európai szabvány (CEN) kidolgozására.

Ennek az igénynek a kielégítésére szerveződött egy európai hálózat, a FITNET (Fitness-for-Service Network – Üzemelésre Alkalmasság Hálózat), amely 2002 februárjában kezdte meg tevékenységét. Munkájukat részben az Európai Unió 5. Kutatási keretprogramja finanszírozza, és a németországi GKSS kutatóintézet koordinálja M. Koçak vezetésével. Európa 16 országából valamint Japánból, az Egyesült Államokból és Dél-Koreából egyetemi, kutatóintézeti és ipari szakértők – összesen mintegy hatvanan – vesznek részt a hálózat munkájában és járulnak hozzá korábban kidolgozott eljárásaikkal, ipari tapasztalataikkal és az azokat kiegészítő kutatásaik újabb eredményeivel az egységes eljárási rend kidolgozásához.

#### A FITNET projekt munkaprogramja:

- a jelenleg létező értékelési eljárások felülvizsgálata a törés, fáradás, kúszás és korrózió gyűjtőfogalmak, mint modul címek szerint rendezve, illetve az üzemelésre alkalmassággal összefüggő kiegészítő kutatások koordinálása;
- esettanulmányok és oktatóanyagok készítése;
- nyilvános szemináriumok és oktató workshop-ok megtartása;
- kapcsolat létesítése a CEN-nel a szabványosítás kérdésében.

A programban szereplő feladatokat négy munkacsoport dolgozza ki, mégpedig:

- WG 1: Fracture – Törés; koordinátor: S. Webster (Corus, UK);
- WG 2: Fatigue – Fáradás; koordinátor: J. J. Janosch (Cartepillar, Franciaország);
- WG 3: Creep – Kúszás; koordinátor: R. A. Ainsworth (British Energy, UK);
- WG 4: Corrosion – Korrózió; koordinátor: R. Koers (Shell, Hollandia).

Az EU új tagállamai közül Csehország, Lengyelország, Szlovénia és Magyarország is részt vesz a FITNET munkájában. Hazánkból a Bay Zoltán Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet (Bay-Logi) csatlakozott ehhez a szakmai hálózathoz elsősorban a Szerkezet-integrációs Osztály munkatársainak közreműködésével.

**A 3. FITNET szeminárium és poszter konferencia** – Miskolc-Tapolca, 2005. október 19–21. – megszervezését a Bay-Logi vállalta annak ellenére, hogy ez nem szerepelt a munka- és költségtervében. Ám a helyszín kiválasztásában döntő szempont volt, hogy megkönnyítse a közép- és kelet-európai térségből származó mérnökök és kutatók részvételét a szemináriumon.

A szeminárium első és második napján a FITNET EU5 projekt által összefoglalt és alkalmazásra javasolt **törési, kifáradási, kúszási és korróziós károsodások értékelési eljárásait** mutatták be a projektben résztvevő neves szakértők előadásaikban. A harmadik napon a résztvevők laboratóriumi foglalkozás keretében ismerhették meg az alkalmazott mérési módszereket, és mintapéldákon elsajátíthatták a gyakorlatban a bemutatott értékelési eljárásokat. A szemináriumon a szakterület fiatal kutatói poszter előadás formájában bemutathatták és megvitathatták eredményeiket a meghívott előadókkal.

Az elhangzottak alapján összefoglaljuk az egyes modulokra foglalt értékelési eljárások lényegét, mégpedig a 2005. szeptemberi állapotnak megfelelően, hiszen a program szakértői még nem véglegesítették minden részletében ezeket.

### Az üzemelésre alkalmasság megítélésének módszerei

Szerkezetek üzemelésre alkalmasságának értékelésére kidolgozott módszerek – a program értelmezése szerint – a hegesztéssel vagy a nélkül gyártott fémszerkezetekre vagy egyes elemekre vonatkoznak, amelyekben ismert helyzetű, valós (roncsolásmentes módszerekkel kimutatott) vagy feltételezett alakú és méretű anyagfolytonossági hibák vannak, és amely szerkezeteket meghatározott igénybevételnek kitéve üzemeltetnek.

Az értékelési módszerek tükrözik korunk kísérletekkel és ipari tapasztalatokkal alátámasztott műszaki tudományos elveit, és alkalmasak az egységes szemléletű gyakorlatot elősegítő szabványok kidolgozására. A módszerek felhasználhatók a fémszerkezetek tervezéséhez – anyagválasztás, ellenőrzés a feltételezett hibákkal –, gyártásuk során a nem kívánt hibákat lehetőleg elkerülő technológiák megválasztásához, a minőségbiztosítási követelmények kidolgozásához és teljesülésük ellenőrzéséhez, és nem utolsósorban üzemelésre alkalmasságuk megítéléséhez az első üzembe helyezéskor és – a kockázat alapú karbantartás részeként – az időszakos állapotellenőrzés észleléseinek értékeléséhez a biztonságos és környezetbarát üzemvitel társadalmi igényeit szem előtt tartva.

A fémszerkezetek várható élettartamát az igénybevételüktől függő anyagszerkezeti károsodások időben változó folyamatai határozzák meg alapvetően. Szerkezetek üzemelésre alkalmasságának értékelő módszereit (a továbbiakban: FFS módszerek) ezeknek a károsodási folyamatoknak alapvető sajátosságaik alapján, négy, ún. modulban tárgyalja a program, mégpedig: törés, fáradás, kúszás és korrózió megnevezéssel. Ezek mindegyike bemenő információként kezeli

- a károsodás mechanizmusát, megjelenési formáit;
- az elemzés tárgyát képező szerkezet geometriáját, méreteit;
- az üzemvitel feltételeit, az ún. elsődleges igénybevétel történetét lehetőleg feszültség-elemzéssel (a geometria, pl. bemetszés, hatására is kiterjedően) alátámasztva; de az ún. másodlagos igénybevételt is, külön tekintettel a gyártásból, a szerelésből (pl. hegesztés) eredő és visszamaradó feszültségekre; továbbá az üzemvitel, a technológia korrózióra hajlamosító feltételeit;

- a valós (roncsolásmentes módszerekkel kimutatott) és a feltételezett anyagihiányok jellemzőit: hely, típus [repedés(szerű), térfogat], alak, méret és a főfeszültséghez képesti irányítottág;
- az értékeléshez szükséges anyagtulajdonságokat, beleértve a környezeti hatásokkal szembeni, pl. korrózióállóság, anyagjellemzőket, illetve a szerkezet felületi kikészítésére (pl. érdesség) és védelmére (pl. bevonat) vonatkozó információkat is.

Mindezek meghatározására is részletes, alapvetően ismert, de jól rendszerezett módszertani útmutatást tartalmaz a dokumentum-tervezet.

Az egyes modulokon belül az üzemelésre alkalmasság megítélésére különböző, de egymásra épülő értékelési eljárásokat (szinteket) ajánlanak az értékeléshez szükséges bemenő adatok minőségétől és mennyiségétől függően. De, ha a viszonylag kevés információra alapozott eljárási szinten nyert konzervatívabb eredmény alapján a szerkezet üzemelésre alkalmas, akkor a magasabb szintű, kevésbé konzervatív eredményt adó eljárás szerint is az. Fordítva viszont ez nem igaz, azaz ha az alacsonyabb szintű eljárás szerint a szerkezet üzemelésre nem alkalmas, akkor, a részletesebb vizsgálatra alapozott bemenő adatokkal dolgozó, magasabb szintű eljárás szerint ugyan az a szerkezet üzemelésre alkalmas lehet. Ez lehetőséget ad a kockázat alapú karbantartási rendszert alkalmazóknak arra, hogy az értékelés alá vont szerkezet biztonsági kockázatának ismeretében döntést hozzanak a magasabb szintű értékelés alkalmazásáról, amelyhez viszont csak nagyobb idő- és költségigényű vizsgálatokkal nyerhetők az értékeléshez szükséges bemenő adatok.

Természetesen a valóság esetenként átlépi az osztályba sorolásunk szempontjait. Ezért az egyes modulok FFS módszereinek használata előtt alapvető jelentőségű az anyagihiányok keletkezési okainak a meghatározása anyagvizsgálati módszerekkel – az igénybevétel és a környezeti hatások figyelembevételével, pl. a repedés anyagfáradás vagy interkristallin korrózió következménye-e. A modulok közötti átjárhatóság ezen alapul, és az egyes értékelési módszerek folyamatábrái ezekre az elágazásokra fel is hívják figyelmünket. Sőt a dokumentum-tervezet részletesen tárgyalja az alternatív megközelítés és a specifikus alkalmazások módszereit is, csakúgy, mint az értékelés jegyzőkönyvzését.

A modulokban között értékelési eljárások a szerkezetek anyagát tekintve az ötvözetlen és ötvözött szerkezeti acélok teljes körére, valamint a szerkezeti alumíniumötvözetekre érvényesek [mellőzve hőkezelési állapotokra, anyagszerkezetükre való egyértelmű utalást, amely mechanikai jellemzőiket és elsősorban növelt hőmérsékletű üzemben – élettartamukat is alapvetően befolyásolják(!) – a szerkesztő], beleértve a hegesztésükhöz használt anyagokat, figyelembe véve a hegesztéssel járó, az alapanyagtól eltérő tulajdonságokat is. Ez utóbbira bevezették a varratanyag (w) és az alapanyag (B) folyáshatárának viszonyát:  $M = \sigma_{yt} / \sigma_{yB}$ , és ha  $M < 0,9$  vagy  $M > 1,1$  akkor módosul az értékelés (ún. Mismatch eljárás). Viszont a modulok nem alkalmasak a szerkezetek képlékeny összeomlása feltételeinek a meghatározására.

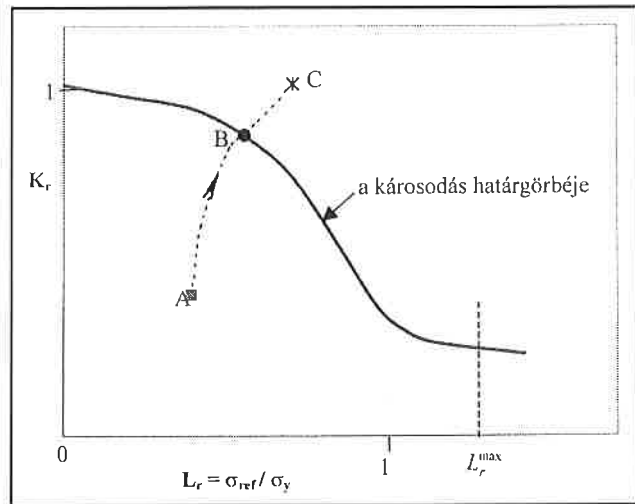
## A Fracture – Törés modul jellemzői

A modul kvázi statikusan terhelte, repedésszerű anyagfolytonossági hibá(ka)t (a továbbiakban, ha nem nevezzük meg, akkor repedést) tartalmazó fémszerkezetek üzemelésre alkalmasságának megítélésére szolgál. Ezek a szerkezetek környezeti atmoszférában és hőmérsékleten vagy attól mérsékeltlen eltérő hőmérsékleten üzemelnek (azaz a szerkezet anyagának kúszása elhanyagolható).

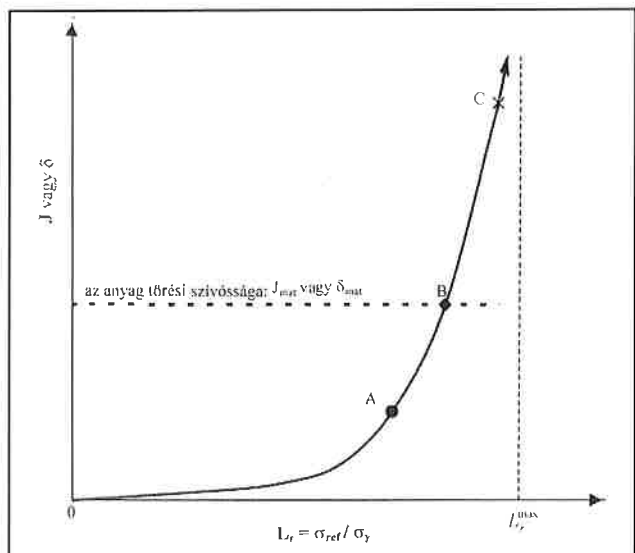
Alapelve, hogy a szerkezet törése azáltal fog bekövetkezni, hogy a kvázi statikus terhelés hatására a repedés növekedésnek indul, mivel a repedés csúcának környezetére jellemző törésmechanikai paraméterek ( $K$ , feszültségintenzitási tényező, vagy a  $J$ -integrál, a  $\delta$  repedés-csúcs kinyílása) értékei meghaladják a szerkezet anyagára jellemző kritikus értéket. A javasolt módszerekkel a meglévő, ismert alakú, méretű repedés kritikus méretre növekedésének feltételei is meghatározhatók.

A javasolt módszerek a rugalmas-képlékeny törésmechanika két egyenértékű megoldásra vezető eljárásán alapszanak, nevezetesen:

- a károsodás-értékelő diagram (failure assessment diagram) – a FAD eljárás, amely egy dimenzió nélküli károsodási határgörbe, és amely a repedés-csúcs terhelésére és az anyag repedéssel szembeni ellenállására jellemző, lineárisan rugalmas feszültségintenzitási tényezők hányadosának, a  $K_r = K_I / K_{IC}$  értékének változása a repedt szerkezet képlékenységre jellemző, a referencia feszültség és a folyáshatár viszonyozás, az  $L_r = \sigma_{ref} / \sigma_y$  függvényében (1. ábra); illetve
- a repedés hajtóerejét elemző (crack driving force) – CDF eljárás, amely ugyancsak az  $L_r$  paraméter függvényében vizsgálja a repedés-csúcs igénybevételére jellemző törésmechanikai paraméter (a  $J$ -integrál, vagy a  $\delta$  ill. CTOD repedés-csúcs kinyílása – crack tip opening displacement) értékét (2. ábra).



1. ábra. A FAD eljárás hibaértékelési elve; a szerkezet állapota A) üzemelésre alkalmas, B) határeset, C) üzemelésre nem alkalmas



2. ábra. A CDF eljárás hibaértékelési elve; a szerkezet állapota A) üzemelésre alkalmas, B) határeset, C) üzemelésre nem alkalmas

Mindkét eljárás szerint: amíg a repedt keresztmetszet üzemi pontja a repedés-csúcs növekvő terhelése ellenére a károsodási határgörbe (1. ábra), illetve az anyag repedéssel szembeni ellenállására jellemző  $J_{mat}$  vagy  $\delta_{mat}$  értékek alatt (2. ábra) marad, addig a szerkezet üzemelésre alkalmas állapotban van.

Az értékelő program megkülönbözteti az alsó és felső folyáshatárral, a Lüders-vonalak megjelenésével jellemzett ötvözetlen szerkezeti acélokat, valamint a hegesztett kötésben lévő repedések értékelésénél a

heganyag és az átmeneti zóna alapanyagától eltérő mechanikai tulajdonságát.

**A Fatigue – Fáradás modul jellemzői**

A modul ciklikusan változó vagy ingadozó igénybevétellel terhelt, anyagfolytonossági hibá(ka)t tartalmazó vagy nem tartalmazó, hegesztéssel vagy a nélkül gyártott fémszerkezetek üzemelésre alkalmasságának megítélésére szolgál. Ezek a szerkezetek környezeti atmoszférában és hőmérsékleten vagy attól mérsékelten eltérő hőmérsékleten üzemelnek (azaz a szerkezet anyagának kúszása elhanyagolható).

A modul két alapvető feladat megoldására összpontosít:

a) A szerkezet nem tartalmaz roncsolásmentes módszerekkel kimutatható anyagfolytonossági hibákat, de az elemzés célja meghatározni a szerkezet kritikus keresztmetszeteiben a fáradás okozta lineáris károsodás-halmozódás mértékét (*D*), mégpedig a Palmgren–Miner-elv szerint:

$$D = \sum_{i=1}^{i=k} \frac{n_i}{N_i} \tag{1}$$

ahol *k* a terhelési spektrum-blokkok száma a szerkezet szükséges élettartama alatt, *N<sub>i</sub>* az *i*-edik terhelési spektrum-blokkhoz tartozó, ciklusszámban kifejezett élettartam, amely terhelési blokk a szerkezet szükséges élettartama alatt *n<sub>i</sub>* ciklusszámmal fordul elő.

Ehhez a vizsgált keresztmetszetekre vonatkozóan meg kell határozni a fárasztó igénybevételnek megfelelő kifáradási élettartam Wöhler-görbéket. A terhelés összetettségétől függően ehhez három elemző programot dolgoztak ki, mégpedig:

- 1. programút: fáradáselemzés a névleges feszültségekkel;
- 2. programút: fáradáselemzés a feszültséggyűjtő bemetszések figyelembevételével;
- 3. programút: fáradáselemzés a helyi, nem-lineáris feszültség-alakváltozás alapján, azaz kicsiklusú fáradás a Manson–Coffin-össze-függéssel értékelve.

E programok kidolgozásánál két tervezési filozófiát vettek figyelembe:

- A tervezett élettartam alatt az igen nagyszámú igénybevételi ciklus után sincs figyelemre méltó károsodás-halmozódás, azaz a kifáradási határ megállapításának esete.
- Az üzemi fárasztó igénybevétel feszültség- és igénybevételi ciklusszám-tartományában károsodás-halmozódással kell számolni.

b) Valós vagy feltételezett anyagfolytonossági hibák vannak a szerkezetben, és az elemzés célja meghatározni vagy a repedés(szerű) hiba kritikus méretre növekedésének lehetőségét (4. programút), vagy a térfogatszerű hiba viselkedését meghatározva végül is a szerkezet várható kifáradási élettartamát.

Ha a repedés(szerű) hiba nem a hegesztési kötésben van, akkor a program a repedésterjedés sebességét a (2) alakú Forman–Metttu-féle összefüggéssel számolja [IIW doc. XIII-1539-96] és a NAGRO szoftvert [IIW doc. XIII-1819-00] használja.

$$\frac{da}{dN} = C \left[ \left( \frac{1-f}{1-R} \right) \Delta K \right]^m \frac{\left( 1 - \frac{\Delta K_{th}}{\Delta K} \right)^p}{\left( 1 - \frac{K_{max}}{K_c} \right)^q} \tag{2}$$

ahol *C*, *n*, *p* és *q* anyagállandók, *f* a kinyílás és a maximális feszültség-intenzitási tényezők hányadosa, *R* a feszültséghányados (aszimmetria tényező) és  $\Delta K_{th}$  a feszültségintenzitási tényező küszöbértéke.

Ha az (2) összefüggés nem használható, illetve a repedés a hegesztett kötésben van, akkor a Paris-féle összefüggéssel számolnak:

$$\frac{da}{dN} = A \Delta K^m \tag{3}$$

ahol *A* és *m* állandók az anyagtól, a környezeti és alkalmazási feltételektől függően, beleértve, hogy a repedés a hegesztett kötésben van és

visszamaradó feszültségek is terhelik. Az eljárás a BS7910 szabványt követi.

Ha a repedéscsúcsra számított  $\Delta K$  értéke alatta van a küszöbértéknek, akkor a repedésterjedés elhanyagolható. A (3) differenciálegyenletet integrálva meghatározható a valós vagy feltételezett repedés modul szerint kritikus méretűvé növekedéséhez tartozó, ciklusszámban kifejezett élettartam.

A térfogati hibákat (pórusokat, nagyobb salakzárványokat) az 5. programút vagy a 4. szerint kezeli és konzervatív eredményt ad; vagy azt vizsgálja, hogy az adott méretű és alakú hibával a szerkezet a fárasztó igénybevétel alatt az instabil töréssel szemben még ellenálló marad-e.

A Fáradás modul speciális programja az ismétlődő gördülő terhelés okozta felületi (kontakt) fáradás értékelését tárgyalja.

**A Creep – Kúszás modul jellemzői**

A modul kúszó-fárasztó igénybevétellel terhelt, valós vagy vélt anyagfolytonossági hibá(ka)t tartalmazó vagy nem tartalmazó, hegesztéssel vagy a nélkül gyártott és növelt hőmérsékleten üzemelő fémszerkezetek üzemelésre alkalmasságának megítélésére szolgál. Ehhez egy átfogó értékelő programot használ, amely az igénybevételre, a hibákra, az anyagtulajdonságokra és a szerkezet számított viselkedésre vonatkozó bemenő információkkal – a kúszás-fáradás károsodási mechanizmusra alapozva – a valós vagy vélt hibáknak kritikus méretre növekedését elemzi a szerkezet tervezett élettartamát figyelembe véve. Ez az átfogó értékelő program könnyen átvihető más típusú feladatok megoldására is, mint

- adott üzemi élettartamot eredményező egyenértékű terhelések meghatározása;
- az első üzembe helyezéskor már meglévő méretű hiba növekedése az adott üzemi feltételek és élettartam alatt eléri-e vagy már meghaladja a még elfogadható legnagyobb méretet;
- a szerkezet alakjának (geometriájának), terhelésének és anyaga tulajdonságainak kombinációja úgy, hogy a meglévő repedés csúcsának viselkedése csak elhanyagolhatóan befolyásolja a szerkezet élettartamát.

Az átfogó értékelő program egyaránt alkalmazható a növelt hőmérsékletű üzemre tervezett szerkezet első üzembe helyezési és időszakosan felülvizsgált állapotai üzemelésre alkalmasságának megítélésére. Az időszakos állapotellenőrzéskor észlelt hibákhoz keletkezésük okának (kúszáseredetű-e) és becsült üzemidejének közlése értékes információ. A program folyamatos károsodás-halmozódással és repedésnövekedéssel számol, az igénybevétel-történetnek és jövőben várható menetének elemzése alapján figyelembe veszi a fáradás, illetve a kúszás dominanciáját is.

Az átfogó értékelő program abból indul ki, hogy az eredetileg makroszkóposan hibátlan szerkezetben a kúszó-fárasztó igénybevétel hatására a kristályhatárok mentén üregképződéssel és ezek egyesülésével végbemenő anyagszerkezeti károsodás eredményeként meghatározott *t<sub>i</sub>* inkubációs időtartam alatt kialakul, rendszerint a szerkezet felületén, a főfeszültségre merőlegesen – már roncsolásmentes vizsgálatokkal is biztonságosan kimutatható – *a<sub>0</sub>* mélységű és *2c<sub>0</sub>* hosszúságú, közelítően fél ellipszis alakú repedés; (illetve már eleve, például gyártásból eredően létezik repedés a szerkezetben). Eitől kezdve a szerkezet élettartama a repedésterjedés törésmechanikai modelljeivel becsülhető.

A rugalmas-képlékeny törést okozó repedésterjedés leírásához az NSW-, a Nikbin–Smith–Webster-modellt (1986) alkalmazzák (lásd, pl. az Anyagvizsgálók Lapja 2002/4. számában a Czoboly at al. cikkét, pp. 103-110.; és a hozzászólást, pp. 110-113.). A modell szerint az *a + da* repedésnövekedés úgy megy végbe, hogy a repedés csúcsát terhelő igénybevétel okozta, kezdetben kvázi rugalmas alakváltozás hatására (már az *a<sub>0</sub>* mélységű repedés tövében is) ébredő feszültségcsúcs és feszültség mező egy, a repedés terjedési irányába elnyújtott ellipszoid anyagtérfogatra összpontosuló kúszási képlékeny alakváltozással és az egyidejű megújulással folyamatosan lebomlik és átrendeződik az egy-

tengelyüként kezelhető  $\sigma_{ref}$  referencia feszültségre, miközben (a kritériumhatárok menti üregképződéssel és egyesüléssel járó) kúszási károsodás helyileg kimeríti az anyag alakváltozó képességét. Az ehhez tartozó  $\varepsilon_f$  alakváltozás a helyi törés kritériuma. Ebben a repedés csúcsa előtti zónában – a modell szerint – az alakváltozás sebessége a Norton-féle hatványfüggvényt követi:

$$\dot{\varepsilon} = C\sigma^n \quad (4)$$

Ez esetben a  $\sigma = \sigma_{ref}$ , amely a repedés terjedésével az (5) egyenlet szerint változik:

$$\sigma_{ref} = \frac{\sigma_{ref0}}{\left(1 - \frac{a}{\nu}\right)} \quad (5)$$

A (4) egyenletben  $C$  és  $n$  az anyagra jellemző állandók az igénybevétel állandónak feltételezett hőmérsékletén. Az (5) egyenletben  $a$  (felületi repedés esetén) a repedés mélysége és  $\nu$  a repedt szelvény eredeti vastagsága; míg a nulla indexű referencia feszültség, a már roncsolásmentes módszerekkel is kimutatható méretű repedéshez (pl., az említett felületi,  $a_0$  mélységű repedéshez) tartozik, és – definíció szerint – az értéke az anyag folyáshatárával (a modul jelölésével:  $\sigma_f$ ) arányos, mégpedig a tényleges ( $F$ ) és a maradék keresztmetszét általános folyását okozó ( $F_L(\sigma_f)$ ) terhelés hányadosával, azaz:

$$\sigma_{ref0} = \frac{F}{F_L(\sigma_f)} \cdot \sigma_f \quad (6)$$

A repedésterjedés sebessége pedig a (7) összefüggés szerint értékelhető:

$$\frac{da}{dt} = \frac{3}{\varepsilon_f} (C^*)^q \quad (7)$$

amelyben a  $C^*$  törésmechanikai paraméter – a J-integrál kúszási egyenértékűje – jellemzi a rugalmas-képlékeny anyagban terjedő repedés csúcánál kialakuló zóna feszültség- és alakváltozás-mezőit. A  $C^*$  paraméter útvonalfüggetlen integráljának végeelem-módszerrel történő meghatározása helyett kielégítően pontos a (8) összefüggés használata:

$$C^* = \frac{K_I^2}{\sigma_{ref}} \cdot \dot{\varepsilon} \quad (MPa \cdot m \cdot h^{-1}) \quad (8)$$

amelyben  $K_I$  a repedés mélypontján átmenő szelvényben a feszültségintenzitási tényező és  $\dot{\varepsilon}$  a referencia feszültséghez tartozó kúszás-sebesség az adott  $t$  időpontban.

Továbbá összefüggés állapítható meg a (7) egyenlet  $q$  és a Norton-típusú (4) jelű feszültségfüggvény  $n$  kitevői között, mégpedig:  $q = n/(n+1)$ ;

Mivel a repedésterjedés időtartamának jelentős részét képezi a (7) egyenlettel leírt, ún. II. szakasz, ezért valamely, a beépítéskor makroszkóposan ép szerkezeti elem töréséig tartó  $t_R$  élettartamának becsléséhez ez az összefüggés felhasználható. Ha azt figyelembe vesszük, hogy a  $C^*$  nemlineáris törésmechanikai paramétert leíró (8) egyenletben szereplő tulajdonságok mindegyike függ a repedés méretétől, de a kúszássebesség az időtől is függ, akkor belátható, hogy a (7) differenciálegyenlet nem oldható meg a változók szétválasztásával, de numerikusan mindig megoldható az  $a_0 \leq a \leq \nu$  és a  $t_i \leq t \leq t_R$  értékhatárok között és a szerkezet teljes várható  $t_R$  élettartama kielégítően pontosan becsülhető.

Az átfogó értékelő program, a hegesztett kötés jellemző zónáinak eltérő anyagszerkezetéből eredő mechanikai tulajdonságaira, valamint a visszamaradt feszültségre vonatkozó kiegészítő információk figyelembe vételével kezeli a hegesztett kötésben lévő repedéseket.

A modul már tartalmazza az idén bevezetett, a Fracture modulnál már tárgyalt FAD módszernek a növelt hőmérsékletre kiterjesztett változatát a TDFAD (time dependent failure assessment diagram) eljárást. A kiterjesztéshez szükséges volt bevezetni az időtől függő kúszási szívósság törésmechanikai fogalmát.

A szerkezet repedt keresztmetszetét jellemző, dimenzió nélküli paraméterek:

$K_r = K_{Iid} / K_{mat}^c$  és  $L_r = \sigma_{ref} / \sigma_{0,2}^c$  ahol  $K_{mat}^c$  a szerkezet anyagának kúszási szívósságát jellemző, a  $K_{Iid}$  feszültségintenzitási paraméternek megfelelő anyagtulajdonság; a  $\sigma_{ref}$  a (6) szerint értelmezett referencia feszültség, míg a  $\sigma_{0,2}^c$  a 0,2%-os képlékeny nyúláshoz tartozó feszültség az anyag átlagos, az értékelés időpontjához tartozó izokon feszültség-nyúlás diagramja szerint értelmezve az adott üzemi hőmérsékleten. A  $K_{mat}^c$  anyagjellemző értéke a szabványos kúszási repedésterjedési vizsgálatokkal határozható meg a  $\Delta a$  repedésnövekmény függvényében.

A TDFAD diagram  $K_r$  ( $L_r$ ) károsodási határgörbéjét a következő összefüggés írja le az  $L_r \leq L_r^{max}$  tartományban ( $L_r^{max} = \sigma_R / \sigma_{0,2}^c$ ;  $\sigma_R$  az adott időponthoz és hőmérsékletre tartozó törési feszültség):

$$K_r = \left[ \frac{E\varepsilon_{ref}}{L_r\sigma_{0,2}^c} + \frac{L_r^3\sigma_{0,2}^c}{2E\varepsilon_{ref}} \right]^{-1/2} \quad (9)$$

amelyben  $E$  a Young-modulus és  $\varepsilon_{ref}$  a teljes nyúlás az adott időponthoz és hőmérsékletre tartozó izokon feszültség-nyúlás diagram szerint a  $\sigma_{ref} = L_r \cdot \sigma_{0,2}^c$  feszültségnél.

## A Corrosion damage – Korrosziós károsodás modul jellemzői

A modul feszültségkorróziót, korrosziós fáradást és helyi falvékonyodást okozó üzemi körülmények között üzemben tartott, hegesztéssel vagy a nélkül gyártott fémszerkezetek üzemelésre alkalmasságának megítélésére szolgál az időszakos állapotellenőrzésekkel kimutatott korrosziós károsodások értékelésére alapozva. Az ajánlott eljárások illeszkednek a szerkezet épségének (integritásának) vizsgálati rendjébe.

A feszültségkorróziós és a korrosziós fáradási repedés értékelése előtt célszerű meggyőződni arról, hogy vajon az észlelt repedésnél, repedés(szerű) hibánál meghatározó-e a szubkritikus növekedés. Ha igen, akkor azt szükséges vizsgálni, hogy a szerkezet tervezett élettartama vagy két állapotellenőrzés közötti időtartam alatt a repedésnövekedés nem vezet-e a megengedetnél nagyobb méretre. Ehhez a lineárisan rugalmas törésmechanika jellemzőit használhatják, a feszültségkorróziós repedés értékeléséhez a  $K$  feszültségintenzitási tényezőt, míg ennek megváltozást, a  $\Delta K$  értéket a korrosziós fáradási repedés értékeléséhez és a Paris-féle (formailag a (3) képlet szerinti) összefüggést. Ám ezzel az egyszerű összefüggéssel a feszültségkorróziós repedésterjedés nem minden esetben írható le, különösen a küszöbérték környezetében lehet a számítottnál gyorsabb a növekedés. Az előre-peszt vizsgálatokkal meghatározott  $K_{ISCC}$  sem bizonyult valódi anyagjellemzőnek. Küszöbértékként való használata ezért korlátozott. Egy szóval a Törés, illetve a Kifáradás modulok módszereinek alkalmazása korrosziós viszonyok között nagy jártasságot, körültekintő elemzést igényel, beleértve az igénybevétel történet elemzését, mivel előfordulhat, hogy a korrosziós károsodás a hosszabb üzemidő tört része (órák, napok) alatt is bekövetkezhet az üzemvitel átmeneti, nem tervezett zavarai miatt!

**A helyi falvékonyodással járó károsodások értékelése.** Lényeges az értékeléshez annak megállapítása, hogy a helyi falvékonyodást vajon korrózió, erózió, kavitáció vagy egyéb mechanikus hatás okozta-e. Ez a szükséges intézkedések megtételét alapvetően meghatározza. Ám a helyi falvékonyodások esetleges törésre vezető hatása már a hiba környezetében végeelem-módszerrel elvégzett feszültség- és alakváltozás-elemzéssel és a törésmechanika módszereivel jól megítélhető a szerkezet igénybevételeinek és a hibák geometriáinak az ismeretében. A modul a csővezetékre és a nyomástartó edényekre ad iránymutatást.

A témával kapcsolatban visszautalunk a Bay-Logi vezető munkatársainak lapunk 2003/1. számában „Végelem-módszer alkalmazása csővezetékben lévő korrosziós hibák veszélyességének értékelésére” címen publikált tanulmányukra.

Lehofer Kornél



# A 17-4 PH martenzites korrózióálló acél fázisátalakulásának vizsgálata dilatométerrel

Krállics György\* – Fodor Árpád\*\*

## Abstract

Investigation of phase transformation of the 17-4 PH martensitic stainless steel by dilatometer. The grain size is in very close relation with the mechanical properties. The ultimate tensile strength alters with the inverse ratio to the square root of grain size by the Hall-Petch relationship. It can reach relatively remarkable increase in strength with establishing fine grains. The main goal of this present report is to determine which cause the biggest increasing of hardness between the grain refinement and the segregations by precipitation hardening in the 17-4 PH martensitic stainless steel. In order to determine easily the start and finish of the austenitic and martensitic phase transformations we applied dilatometer to our investigation

## Bevezetés

A szemcseméret nagysága szoros összefüggésben áll az anyag mechanikai tulajdonságaival. A Hall-Petch-egyenlet szerint az anyag folyáshatára a szemcseátmérő négyzetgyökével fordítottan arányos. Ennek értelmében, viszonylag nagymértékű szilárdságnövekedést lehet elérni kis szemcseméret létrehozásával. A cikk alapvető célja megvizsgálni, hogy a 17-4 PH kiválóan keményíthető martenzites korrózióálló acélban a szemcsefinomítás milyen mértékű keménységnövekedést okoz a kiválások szilárdságnövelő hatásával szemben. Kísérleteinkhez dilatométert használtunk, amellyel jól meghatározható az ausztenites, és martenzites fázisátalakulások kezdete és vége.

## A vizsgált acél

A 17-4 PH martenzites korrózióálló acél jelölésében az első szám a króm, a második a nikkelt mennyiségre utal, a PH (Precipitation-Hardening) rövidítés az anyag kiválóan keményíthetőségét jelenti. Igen jó a korrózióval szembeni ellenállása. A kis széntartalom a króm-karbid kialakulását akadályozza, és így az acél interkristallin korróziós hajlama csökken. Fő felhasználási területe eléggé széles, pl. repülőgépek sugárhajtóművei, gázturbinák, nukleáris reaktorok, vegyszeti berendezések gyártásához használják fel. Vegyi összetételét az 1. táblázat mutatja:

1. táblázat 17-4 PH martenzites korrózióálló acél vegyi összetétele, m/m%

Table 1 Chemical composition of 17-4 PH martensitic precipitation-hardening stainless steel, m/m%

|       |           |
|-------|-----------|
| C     | max. 0,07 |
| Cr    | 15,0-17,5 |
| Cu    | 3-5       |
| Mn    | max. 1    |
| Ni    | 3-5       |
| Nb    | 0,15-0,45 |
| Nb+Ta | 0,15-0,45 |
| P     | max. 0,04 |
| Si    | max. 1    |
| S     | max. 0,03 |

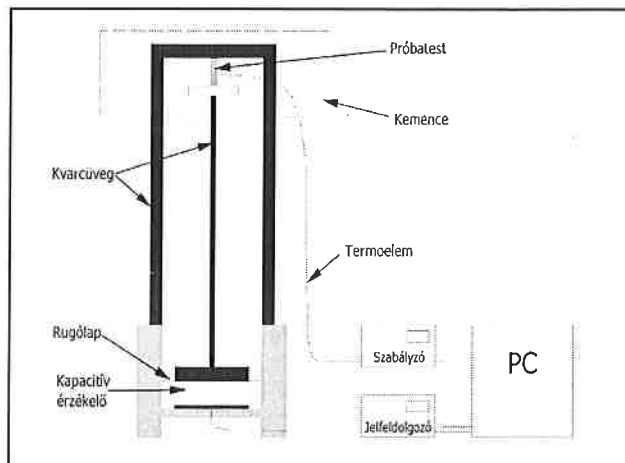
\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, H-1111. Budapest, Bertalan L u.7. \*egyetemi docens, tel: (1) 463 1445, e-mail: krallics@eik.bme.hu;

\*\*Ph.D. hallgató, tel: (1) 463 2842, e-mail: fodor@eik.bme.hu

## Dilatométeres vizsgálat

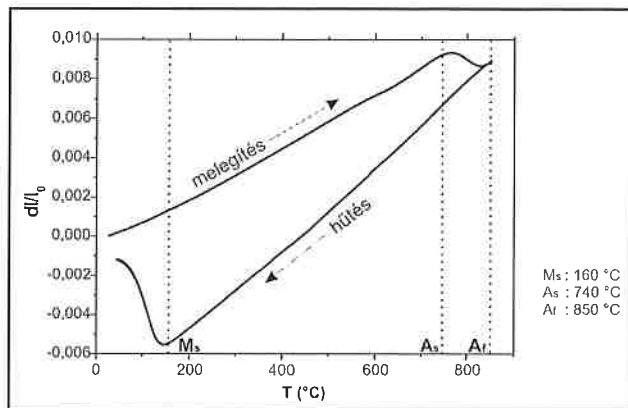
Dilatométerrel nagyon pontosan mérhető a próbateteknek a hőmérséklet hatására bekövetkező hosszváltozása: növekedése ill. csökkenése.

A vizsgálandó próbatetek 2x2x10 mm nagyságúak voltak. Ezek nagyobbik oldalára Cr-Al termoelem volt ponthegeesztve. A mintatartó asztalt üvegburába vette körül, amelyben a vizsgálat megkezdése előtt ún. másodlagos vákuum ( $\approx 3.5 \cdot 10^{-8}$  bar) lett létrehozva, hogy hevítés-kor megakadályozzuk a próbatetek oxidációját. A hőt a kemencében elhelyezett két darab, egyenként 500 wattos izzó sugárral közvetítette. A próbatetek hőmérsékletét termoelemmel, hosszváltozásukat, pedig kapacitív érzékelővel mértük meg, amelyek egy PC-vel voltak összekötve. A mérendő mennyiségek regisztrálását az idő függvényében egy számítógépes program végezte el. A hőmérsékletnek a hőkezelési programnak megfelelő szabályzását egy külön szabályzóegység végezte (1. ábra).



1. ábra. A dilatométeres mérés elvi vázlata  
Fig. 1 Schematic illustration of the dilatometrical measurement

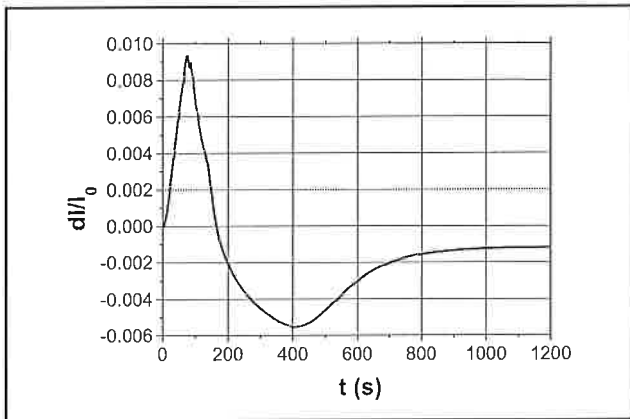
Az acél kiindulási martenzites szövetszerkezete melegítés hatására az  $A_s$  (austenite start) hőmérsékletet elérve ausztenit kezd átalakulni (allotrop átalakulás). Eddig a hőmérsékletig a próbatest hossza a lineáris hőtágulás miatt növekszik. Ez az átalakulás diffúzióval és új kristálycsírák kialakulásával jár. Az ausztenit szövetelem rácsparamétere na-



2. ábra. A próbatest hosszúsági méretének változása a hőmérséklet függvényében

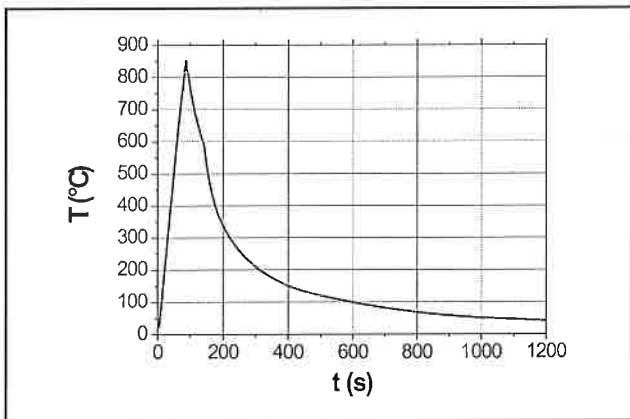
Fig. 2 Linear dimension as a function of temperature

gyobb, mint a martenzit , ennek ellenére a térfogat nem növekszik, hanem csökken, amely a felületen középpontos k b s rács nagyobb térkitöltési tényezőjével magyarázható.  $A_1$  (austenite finish) h mrs klett l kezdődően az acél szövetszerkezete tisztán ausztenites. Ebből az állapotból hűtés hatására zsugorodás észlelhető a próbatesten, majd az  $M_s$  (martensite start) h mrs kletet elérve megkezdődik a martenzit kialakulása szintén allotróp átalakulással, amely fajtérfogat növekedéssel jár. A következő diagramokon jól nyomon követhetők a jellegzetes átalakulási pontok (2.–4.  bra).



3.  bra. A próbatest hosszúsági méretének változása az idő függvényében

Fig. 3 Linear dimension as a function of time



4.  bra. A próbatest h mrs klet nek változása az idő függvényében

Fig. 4 Temperature as a function of time

### A szemcseméret minimalizálása

Ahhoz, hogy a lehető legkisebb szemcseméretet tudjuk elérni, sz k-séges, hogy az  $A_1$  h mrs kletet elérve azonnal elkezdj k hűteni a próbatestet, ugyanis ebben a pillanatban legkisebbek a szemcsék, illetve a szövetszerkezet 100%-ban ausztenites. A hőntartási időt növelve az ausztenit szemcsék eldurvulnak.

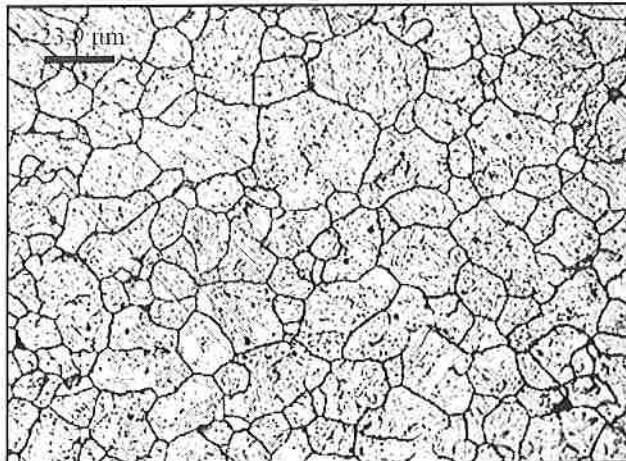
A kísérletek megkezdése előtt normál állapotba hoztuk a pr bates-  
teket a következő módon:

1. Hevítés 1050 C-ra 10 C/s sebességgel.
2. Hőntartás 1050 C-on 2 órán keresztül.
3. Azonnali hűtés szobah mrs kletre.

A hevítési sebességet kellően lass ra választva elérhető, hogy a próbatestek teljes t rfogatukban közel azonos mértékben melegedjenek fel. A normalizáláshoz szükséges igen hosszú hőntartási idő biztosítja a diff z ios folyamatok teljes végbemenetelét.

A következőkben megm rt k az átlagos szemcsenagyságot, amihez el kellett készíteni a csiszolatot a fénymikroszkópos vizsgálathoz. A csiszolatk sz t s utolsó lépésében elektrokémiai maratást alkalmaztunk a lehető legsimább felület elérése érdekében. Az így kapott csiszolatot Leica MZ6 típusú fénymikroszkóppal vizsgáltuk.

Az 5.  br n látható, hogy a szövetszerkezet közel homogén, jól látható a martenzit t s szerkezete és a kiválások is. Az átlagos szemcseméretre  $d_{\text{átlagos}} = 17 \mu\text{m}$  adódott.



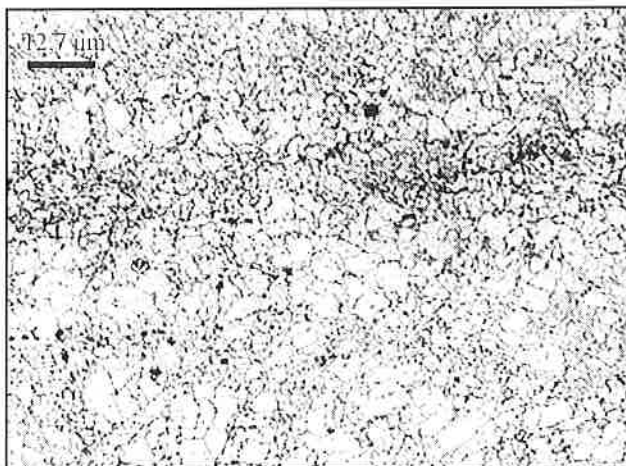
5.  bra. Normál állapotú szövetszerkezet fénymikroszkópos képe  
Fig. 5 Optical micrographs of normal state material

Az anyag normál állapotba hozása után, a szemcseméret minimaliz l shoz a következő hőkezelési lépéseket alkalmaztuk:

1. Hevítés 900 C-ra 10 C/s sebességgel.
2. Azonnali hűtés szobah mrs kletre.

Mivel az acél kiv l sosan keményedő, ezért hevítés közben, 400 C felett igen jelentős a r zszemcs k kiválása.

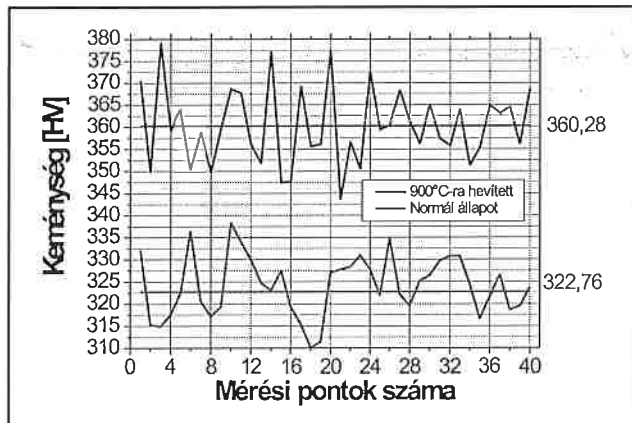
A próbatestet először fénymikroszkóppal vizsgáltam a megfelelő felület előkészítés után. A felvételén látható, hogy az alkalmazott h keze-  
léssel igen kis méretű szemcséket tudunk létrehozni, valamint a sz vet-  
szerkezet erősen inhomogén, és jól látszanak a kiválások is. Ebben az állapotban a mikroszkóp felbontása nem volt elég az átlagos szemcseméret meghatározásához (6.  bra).



6.  bra. Szemcs finomított anyag fénymikroszkópos képe  
Fig. 6 Optical micrographs of grain refined material

A normál, illetve a szemcs finomított állapotú próbatesteken Vickers-kem nyseget mértünk Mitutoyo MVK H3 (0,05 kg – 2 kg) típusú mikro-kem nysegm r vel, az előbbi próbatesten 3 N-os, az utóbbin 20 N-os terheléssel. A két k l nbz  állapotú acél kem nysegv ltoz s t a 7.  bra szemlélteti.

Normál állapotban az acél átlagos kem nysege:  $HV_{0,3} = 323$ . A v rt-  
nak megfelelően, az előbbitől eltérően, a másik állapotban levő anyagra  
jóval nagyobb  $HV_2 = 360$  kem nyseget mértünk. Fontos eldönteni, hogy  
a nagyobb kem nyseget vajon a szemcseméret finomodása, vagy a  
kiválások okozzák-e. A Hall–Petch-egyenletből számolható szilárd-  
s gn veked st nem tudtuk kiszámolni a szemcsenagyság pontos  
meghatározása nélkül,  gy csak következtethetünk annak nagys g ra.



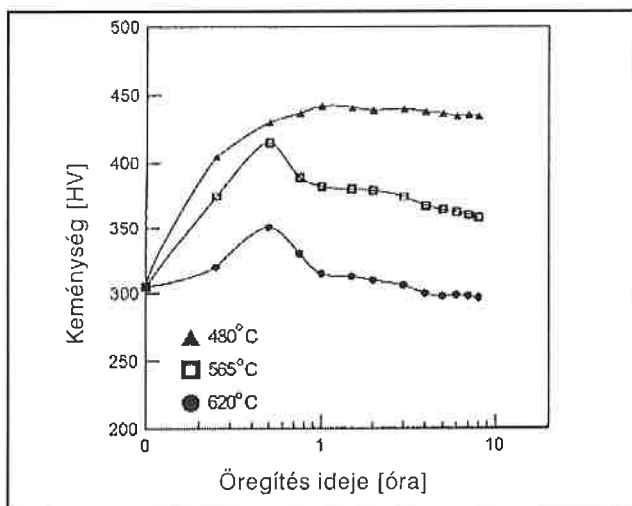
7. ábra. A normál, illetve a szemcsefinomított állapotú acél HV keménységének változása  
Fig. 7 Vickers hardness changing on the normal state and grain refined steel

### A réz kiválások hatása

Az acél keménysége az öregítés időtartama és hőmérséklete függvényében a 8. ábrán látható diagram szerint változik. 620°C-on a keménység gyorsan növekszik majd 0,5 óra után csökkenni kezd. Ha az öregítés időtartama két óra, akkor az acél keménysége már a kiindulási értéknek megfelelő.

Annak érdekében, hogy vizsgálhassuk a szemcsefinomítás keménységnövelő hatását a rézkiválás hatását ki kellett küszöbölnünk, mégpedig az öregítő hőkezelés pontos elvégzésével:

1. Hevítés 620°C-ra 10°C/s sebességgel
2. Hőntartás 2 órán keresztül

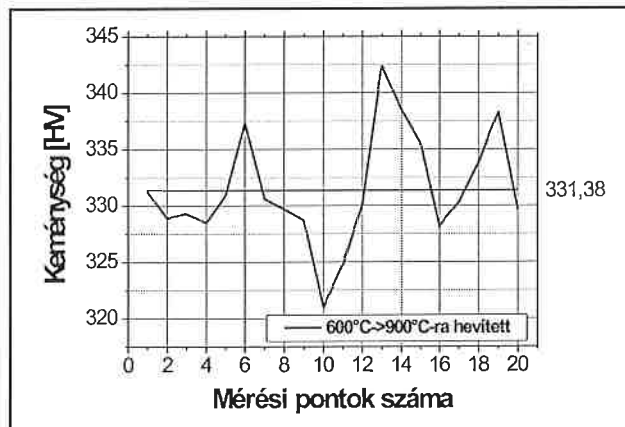


8. ábra. Keménységváltozás az öregítési idő függvényében különböző hőmérsékleten  
Fig. 8 Hardness via the aging time on different temperatures

3. Hevítés 900°C-ra 10°C/s sebességgel

4. Azonnali hűtés szobahőmérsékletre

620°C-on a 2 órás hőntartás – a 8. ábra szerint – bőven elég ahhoz, hogy a rézkiválások durvulása révén az acél keménysége a normál állapottal azonos legyen. Az ezt követő 900°C-ra melegítés és gyors hűtés szintén nagyon kis szemcseméretet eredményez:  $d_{\text{átlagos}} = 17 \mu\text{m}$ . Az így módon hőkezelt acél átlagos Vickers-keménysége:  $HV_1 = 331$  (9. ábra).



9. ábra. Az öregített acélon mért HVI Vickers-keménység változása  
Fig. 9 Vickers hardness of HVI changing on the aged material

### Következtetés

Az acél 9. ábráról leolvasható átlagos Vickers-keménységét összevetve a 7. ábra szerint a normál állapotban mérttel elmondható, hogy a szemcsefinomítás által okozott keménységnövekedés:  $331-323 = 8 \text{ HV}$ . A Cu kiválások okozta keménységnövekedés:  $360-331 = 29 \text{ HV}$ , azaz mintegy 3,6-szorosa az előbbinek. Ez azt jelenti, hogy – a fizikai megfontolásokkal alátámasztott általános tapasztalattal összhangban – kiválásos keményítéssel jelentősebb szilárdságnövekedést tudunk elérni, mint szemcsefinomítással.

### Köszönetnyilvánítás

A cikk egy franciaországi szakmai gyakorlat alapján készült, amelyet a nantes-i Rotary klub szervezett. Köszönetet mondunk Guy Saindrenan professzornak és Frédéric Christien adjunktusnak, hogy lehetőséget biztosítottak kísérleteink elvégzéséhez a jól felszerelt laboratóriumukban (Laboratoire Génie des Matériaux d'École Polytechnique de l'Université de Nantes).

### Irodalom

- Frédéric Christien: Fragilite intergranulare de l'acier 17-4 PH en cours de vieillissement, Thèse de doctorat, 2001
- Guy David: Les aciers inoxydables, Lavoisier, 1990
- C. N. Hsiao, C. S. Chioub, J. R. Yang: Aging reactions in a 17-4 PH stainless steel, Materials Chemistry and Physics 74 (2002) 134–142

# Karbon polimorfok elektromos hatása a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kerámiákban

Fényi Balázs<sup>1</sup>– Hegman Norbert<sup>1</sup>– Wéber Ferenc<sup>2</sup>– Arató Péter<sup>2</sup>– Balácsi Csaba<sup>2</sup>

## Abstract

Electric effect of the carbon polymorphous inside the Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ceramics. In our work a phase sensitive "lock-in" measuring system was adopted to obtain the impedance spectrum of a different carbon added Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ceramics. In this system the electric properties can vary from insulator to conductor with the type and concentration of carbon additives. As answer to voltage bias of the signal generator current signal was detected separated in two components as in-phase and quadrature (respect to excitation voltage phase), from which the complex impedance was calculated up to 100 kHz in our investigation. To verify the suitability of the impedance measurements a well-known ceramic ionic conductor was simulated by a series of two parallel RC circuits, taking its parameters from the literature. Previously four point resistance measurements were carried out to calculate the DC conductivity of different carbon added samples without the influence of undesired contact resistances.

## Bevezetés

Az AC (váltakozó áramú) impedancia spektroszkópia információt ad a kompozit anyagokban a szemcse és szemcsehatár valamint más erősítőfázisok és adalékanyagok vezetési tulajdonságairól. A kompozitokat jellemző komplex impedanciát impedancia spektroszkópiával határozhatjuk meg. Ebben az esetben, AC váltakozó áram segítségével egy adott frekvencia tartományt pásztázunk végig és a kompozitok abszolút impedanciáját mérjük.

Munkánkban fázisérzékeny „lock in” mérőrendszert adoptáltunk, abból a célból, hogy a különböző karbon polimorfokkal adalékolt Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kerámiák impedancia spektrumát meghatározzuk. Méréseink azt mutatják, hogy a karbon adalékok típusa és koncentrációja szerint a Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kompozitok elektromos tulajdonságát a szigetelőtől a vezetőig lehet változtatni. A kompozitok impedancia spektrumát szinuszos gerjesztésre adott fázisban és 90 fokban eltolt fázisban lévő válaszuk alapján határoztuk meg a 100 Hz – 100 kHz frekvencia tartományban. Az impedancia mérések alkalmazhatóságát egy jól ismert ionvezetési kerámia anyag szakirodalomban közölt mért paramétereit alapján modelleztük sorba kapcsolt párhuzamos RC körök segítségével. Ezt megelőzően négyponos ellenállásméréseket is végeztünk a kompozitok egy részén, hogy kiszámítsuk a különböző karbonnal adalékolt minták DC (egyenáramú) vezetőképességét a nem kívánatos kontaktellenállások kiküszöbölésével.

## A kompozitok elkészítése

A vizsgálatokhoz készített kompozitok porkeverékeinek összetételét és a preparálási eljárás paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

Az alap porkeverékhez erősítő anyagként szénnanocsöveket (CNT) adagoltunk 1, 3, 5 tömegszázalék (m/m) arányban [1-4]. Továbbá összehasonlítás céljából grafit és korom tartalmú kompozitokat is készítettünk, a CNT-t tartalmazó mintákhoz hasonló bekeverési arányokkal. A porke-

verékeket az erősítő adalékkal együtt bolygómalomban, etanolban öröltük három órán keresztül. A keverékeket kiszárítottuk és szítáltuk. A szinterelés előtti nyers mintákat 220 MPa száraznyomás alkalmazásával, hidegpréssel készítettük el.

### 1. táblázat.

A szinterelt minták kiinduló összetétele és preparációs körülményei

Table 1

Starting compositions and preparation conditions of sintering

| Sorozat | Kiinduló porkeverék, m/m       |     |                                |                               | Erősítő adalék, m/m | Szinterelés 1700°C-on |                   |
|---------|--------------------------------|-----|--------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
|         | Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | AlN | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                     | hőntartási idővel, h  | nyomás alatt, MPa |
| 672     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | –                   | –                     | 2                 |
| 740     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | –                   | –                     | 2                 |
| 728     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 10 korom            | –                     | 2                 |
| 729     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 1 korom             | –                     | 2                 |
| 730     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 10 grafit           | –                     | 2                 |
| 731     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 1 grafit            | –                     | 2                 |
| 734     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 1 CNT               | -/3h                  | 2/20              |
| 735     | 87                             | 4   | 4                              | 5                             | 1 CNT               | –                     | 2                 |
| 736     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 5 CNT               | –                     | 2                 |
| 750     | 87                             | 4   | 4                              | 5                             | 5 CNT               | –                     | 2                 |
| 751     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 5 korom             | –                     | 2                 |
| 752     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 5 grafit            | –                     | 2                 |
| 766     | 90                             | 0   | 4                              | 6                             | 3 CNT               | 3h                    | 20                |

A kétlépcsős szinterelést, meleg izosztikus présben (HIP), 1700°C-os hőmérsékleten, nagy tisztaságú nitrogén gázban, bornitrid porba ágyazva végeztük el. A felfűtés sebessége nem lépte túl a 25°C/min értéket. A gáznyomást és a hőntartási időt szintén változtattuk. A szinterelt minták végső mérete: 3,5 x 5 x 50 mm. Szinterelés után a kerámia teljes felületét és éleit gyémánt tárcsával csiszoltuk le.

## Kontaktusok preparálása

A minták elektromos kontaktusainak (4 darab minden minta esetén) elkészítéséhez kímáskoltuk a megfelelő kontakthelyeket és vékony aranyréteget gőzöltünk fel vákuum kamrában. Az aranyrétegre ezüst-szemcse-tartalmú vezető ragasztót vittünk fel, melyre száradás után lágyforrasztásos technikával rögzítettük az elektromos vezetékeket.

## Méréstechnika

### DC (egyenáramú) mérés

A DC vezetőképesség meghatározásához négyponos ellenállásmérést alkalmaztunk 10 MΩ méréshatárú, nagy impedanciájú multiméter (Agilent34970A) segítségével. A kerámiákhoz készített elektromos kontaktusok nagy ellenállással bírnak, ellenben a négyponos módszer esetében a kontaktus ellenállása nem befolyásolja az eredményt. A két szélső kontaktuson keresztül haladt át az áramgenerátor árama, míg a két belső kontaktusról a mintán eső feszültségjelet mértük. A minta ellenállását az Ohm-törvény alapján határoztuk meg. A magasabb impedanciájú minták, DC mérése nem volt lehetséges a mérőrendszer túlterhelése végett. Ezen minták impedanciáját AC módszer alapján, a gerjesztés frekvenciájának növelésével tudtuk megmérni.

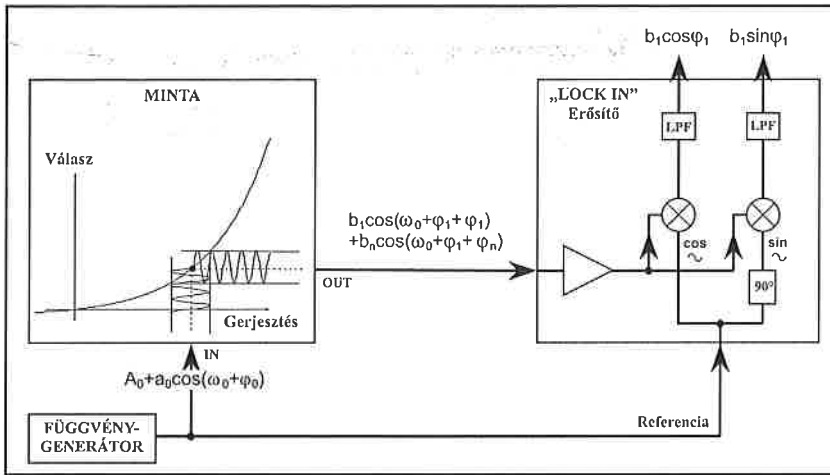
### AC (váltakozó áramú) mérés

Ahhoz, hogy meghatározzuk a mintáinknak egy külső gerjesztéshez viszonyított komplex válaszát, fázisérzékeny detektálást használtunk. A komplex válasz azt jelenti, hogy a válaszjelnek van egy „in-phase” és egy „quadrature” komponense a gerjesztett jel fázisára vonatkozóan. A mérés alapelve az 1. ábrán látható.

<sup>1</sup> Kerámia- és Szilikátmérnöki Tanszék, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc Egyetemváros,

<sup>2</sup> Kerámiák és Kompozitok Osztály, Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, 1121 Budapest, Konkoly-Thege út 29-33,

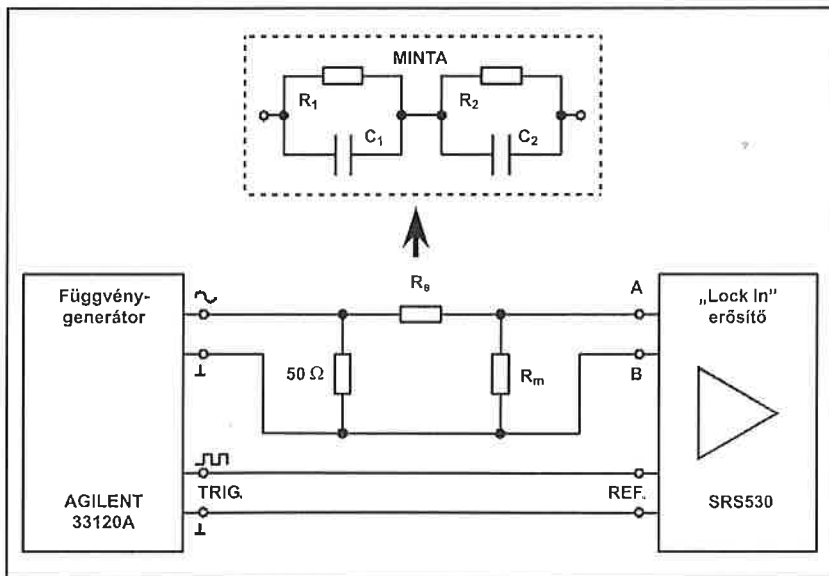
Email: Fényi Balázs, PhD hallgató: kohfenyi@uni-miskolc.hu; Dr. Hegman Norbert, egyetemi docens: femheno@gold.uni-miskolc.hu; Wéber Ferenc, mérnök: weber@mfa.kfki.hu; Dr. Arató Péter, tudományos tanácsadó: arato@mfa.kfki.hu; Dr. Balácsi Csaba, tudományos főmunkatárs: balacsi@mfa.kfki.hu



1. ábra. Fázisérzékeny jeldetektálás alapelve  
Figure 1 The basic concept of phase sensitive detection

A függvénygenerátor szinuszos jelet adott mind a minta, mind a fázisérzékeny detektor (referencia jelbemenet) számára. A minta választát a mért alap harmonikus jel amplitúdójában és fázistolódásában mértük. Ha a minta válasza nem-lineáris jellegű, akkor a felharmónikus hullámok is megjelennek a válaszeljelen, melyek az általunk használt „lock-in” technikával mindenképp kiestek, ezért csak a gerjesztés alapharmonikus komponensét erősítettük fel a következő lépésekben. Detektálásakor a lock in erősítő a referencia jelből két egymáshoz 90° fázistolású jelet hoz létre, amelyekkel megszorozza a mérendő jelet. A berendezés egy egyenfeszültségű (DC) jelet és egy 2f frekvenciájú komponenszt szolgáltatott, amelyek közül csak a DC jelek jelennek meg a detektor kimeneten az aluláteresztő (LPF) szűrők alkalmazása miatt. A két DC szint a minta jelének vektor komponenseinek tekinthető abban a koordináta rendszerben, amelyet a referencia jel és annak „quadrature” állása határozza meg [5].

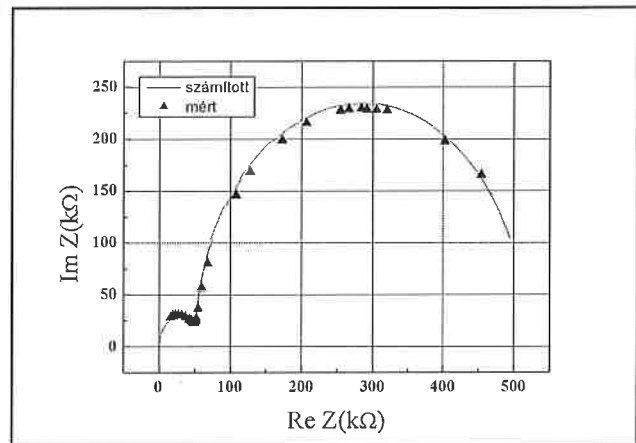
A méréseket egy a 2. ábrán látható elektromos kapcsolás alapján végeztük el. A függvénygenerátor (Agilent33120A) feszültség-kimenete egy soros R<sub>s</sub> (a minta) és R<sub>m</sub> (mérő) ellenállásokhoz csatlakoztattuk. Mintáink ellenállásához képest, az R<sub>m</sub> mérőellenállást legalább két nagyságrenddel kisebbnek választottuk, hogy az R<sub>m</sub> ellenálláson eső feszültség ne befolyásolja a mérést. Amennyiben az R<sub>s</sub> a frekvencia függvényében rohamosan csökken és a rajta eső feszültség megközelíti a mérőellenálláson eső feszültséget, úgy ezt korrekcióba lehet



2. ábra. A komplex impedancia mérés kapcsolási rajza  
Figure 2 Layout of complex impedance measurement

venne a kiértékelésnél. A körben folyó áram detektálásához az ismert R<sub>m</sub> ellenálláson lévő feszültség jelet a „lock in” detektorral mértük. A „lock in” erősítő referencia jelet a függvénygenerátor „trigger” csatornájáról vettük, azonos fázissal, mint amilyen a jelcsatorna rendelkezik. Így a mintán átfolyó áram amplitúdóját és fázisát detektáltuk a mintán eső feszültségjelhez képest. A mintán átfolyó áram komponenseinek mérése után az Ohm-törvény alapján értékeltünk. Méréseink frekvencia-tartománya 100 Hz és 100 kHz között volt, amit a „lock in” detektor működési tartománya határolt be.

Az AC impedancia mérések megbízhatóságának igazolása végett, két, sorba kapcsolt RC kör impedanciáját mértük ki és egyeztetettük a kapcsolás számítási eredményével. A kapcsolás az ionvezetéses szemcsés rendszer vezetési mechanizmusát modellezi (2. ábra), és a próba-



3. ábra. A modell minta impedancia diagrammja  
Figure 3 Impedance plot of modell sample

mérésekhez használt paramétereket a szakirodalomból vettük [6]. A modell áramkör két sorosan kötött párhuzamos R<sub>1</sub>-C<sub>1</sub> és R<sub>2</sub>-C<sub>2</sub> elemeket tartalmaz különböző rezonancia frekvenciáknál, amelyek a szemcsék és a szemcsehatárok vezetését modellezzik. A mi esetünkben a paraméterek a következők voltak: R<sub>1</sub> = 465 kΩ, R<sub>2</sub> = 51 kΩ, C<sub>1</sub> = 1000 pF, C<sub>2</sub> = 47 pF. A modell komplex impedanciáját a frekvencia függvényében a következő analitikai képlet segítségével számoltuk:

$$\text{Re}(Z) = \frac{R_1}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} + \frac{R_2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_2^2} \quad (1)$$

$$\text{Im}(Z) = \omega \cdot \left( \frac{R_1^2 C_1}{1 + \omega^2 C_1^2 R_1^2} + \frac{R_2^2 C_2}{1 + \omega^2 C_2^2 R_2^2} \right) \quad (2)$$

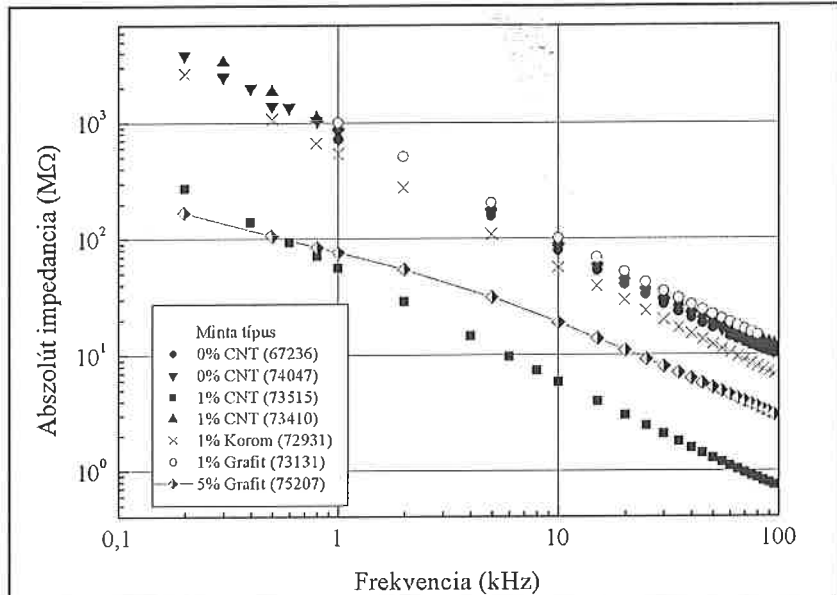
A minta modell számított (lásd 1. és 2. egyenlet) és mért, valós és imaginárius impedancia komponenseit a 3. ábra mutatja. A mérési eredmény kielégítően bizonyította, hogy a mérési elrendezés és kiértékelés valójában a kívánt komplex impedancia értékeket szolgáltatta. Az impedancia grafikon a 3. ábrán két félkört mutat, amelyek megegyeznek a két eltérő RC tag (szemcse és szemcsehatár) viselkedésével, a két maximum az imaginárius komponensekben különböző frekvenciákon jelenik meg a különböző RC paraméterek következtében. Ha a két

RC elemnek többé-kevésbé ugyanolyan értékei vannak, akkor a két félkör erősen átfedi egymást, ilyenkor az egyes vezetési mechanizmusok összemosódnak. A szemcsés anyagoknak elektromos vezető tulajdonságaik vannak, amelyeket a szemcse térfogata és a szemcsehatár effektusok szabályoznak. Általában az alacsony frekvenciájú félkör mutatja a szemcsehatár vezetési mechanizmust, ami nagyon érzékeny a különböző hibákra és az adalékok miatt a szemcsehatár mentén megjelenő új fázisokra [6,7].

**Eredmények**

A 2. táblázatban bemutatott minták DC mérési alapján jellegzetes villamos vezető tulajdonságot mutatnak. Az AC vezetőképesség vizsgálatokat elvégezve ezeken a mintákon a DC mérés eredményével egyező frekvencia független vezetőképességet tapasztaltunk az általunk mérhető 100 Hz – 100 kHz frekvenciatartományban. Már a 3  $m/m$  CNT tartalmú kompozitok (a 2. táblázat ezeket nem tartalmazza) is perkolatív (szivárgó) villamos vezető tulajdonságúak (hasonlóan, mint a 5  $m/m$  CNT tartalmú minták), vagyis a szigetelő háttérmátrixban a jól vezető szénnanocsövek érintkezése, csoportosulása miatt az anyag szerkezeténél fogva vezetővé válik.

A minták másik része szigetelőként jellemezhető a vezető adalékanyagok ellenére (pl. 0  $m/m$  CNT – referencia alapanyag, 1  $m/m$  CNT, 1  $m/m$  korom, 1  $m/m$  és 5  $m/m$  grafit), ugyanis a vezető részecskéken keresztül egyetlen áramút sem záródik, a perkolációs küszöböt nem ériük el. A magas DC ellenállású minták impedancia görbéi a 4. ábrán láthatóak. A komplex impedancia képzetes részét a valós részek függvényében ábráztuk. A képzetes rész, amely a minta kapacitív tulajdonságát reprezentálja, dominánsabb a mért frekvencia tartományban, ami azt jelenti, hogy a minták dielektromos szigetelőként működnek a kontaktfelületek és a belső vezető felületek közötti kapacitív ellenállást formálva. Az 5. ábra az abszolút impedanciát mutatja a frekvencia függvényében. Az 5  $m/m$  grafit kivételével valamennyi görbe meredeksége -1 a log-log ábrázolásban, ami azt jelenti, hogy az impedancia  $1/\omega$ -val függ

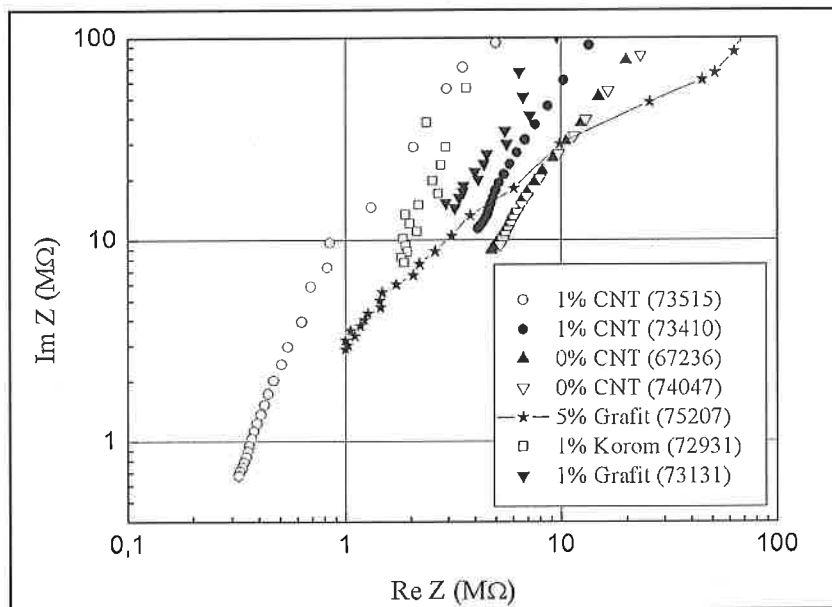


5. ábra. Különböző karbon adalékolt Si3N4 kerámiák abszolút impedanciája a frekvencia függvényében

Figure 5 Absolute impedance versus frequency of different carbon added Si3N4 ceramics

2. táblázat. A vezető kompozitok DC vezetőképességei  
Table 2 DC conductivity of conductor type composites

| Erősítő fázis | Fajlagos vezetőképesség (S/m) | Mintaszám |
|---------------|-------------------------------|-----------|
| 5% CNT        | 4,32                          | 73606     |
| 5% CNT        | 5,58                          | 73603     |
| 5% CNT        | 12                            | 73625     |
| 5% CNT        | 6,9                           | 73635     |
| 5% CNT        | 7,19                          | 73600     |
| 5% CNT        | 9,36                          | 75006     |
| 5% CNT        | 130                           | 75030     |
| 5% korom      | 884                           | 75103     |
| 10% korom     | 1657                          | 72833     |
| 10% grafit    | 0,82                          | 73031     |



4. ábra. Különböző karbon adalékolt Si3N4 kerámiák impedancia diagramja 100 kHz frekvenciájig

Figure 4 Impedance plot of different carbon added Si3N4 ceramics up to 100 kHz frequency

a frekvenciától. Ez egy tipikusan kapacitív impedancia tulajdonság ( $R_c = -i/c\omega$ ). A frekvencia növelésével a szigetelő minták magas DC impedanciája csökken a kapacitív impedancia sántóló hatása miatt. Az így mérhető impedancia frekvenciafüggésből az következik, hogy a dielektromos állapot nem változik a mért frekvencia tartományban.

Ahogy az 5. ábrán megfigyelhető az 5  $m/m$  grafitot tartalmazó minta kivétel mutat az impedancia jellemzőkre vonatkozóan. Feltételezhetően ez a koncentráció közel van a perkolációs küszöbhez, mivel a frekvenciafüggés gyengül a vizsgált tartományban. Azonos karbon adalékolású és koncentrációjú minták elektromos tulajdonságai további változást mutatnak a minta porozitása és a szinterelési technológia részletei alapján.

**Következtetések**

A Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> alapú kompozitok elektromos tulajdonságait a karbon adalékolás drasztikusan változtatja. A karbon adalékolás különböző típusa-

nak és koncentrációjának (0 – 5  $m/m$  CNT, 0 – 10  $m/m$  grafit vagy 0 – 10  $m/m$  korom) függvényében szigetelő és alacsony ellenállású vezető anyagokat kapunk. Az alacsony ellenállású DC vezetőképességet mutató minták konstans AC vezetőképességet mutatnak egészen a 100 kHz-es frekvenciáig. A jó szigetelő minták impedanciája csak magasabb frekvencián mérhető. Ezek a minták tipikus kapacitív jelleget mutatnak, a minta, mint dielektrikum diszperziót nem mutatott, konstans dielektrikumként viselkedett. A karbon adalékolás főként az elektromos tulajdonságokat befolyásolja, úgymint a szigetelő – vezető átmenet, de egyéb paraméterek, mint a porozitás és morfológia erősen módosítják a hozzáadott karbon adaléktípusok aktuális tulajdonság módosító hatását. További magasabb frekvencia tartományban végzendő AC impedancia mérésekkel és kiegészítő dielektromos vizsgálatok alapján több információt kaphatunk a karbon erősítésű szilícium-nitrid elektromos tulajdonságainak mélyebb megértéséhez.

## Felhasznált irodalom

[1] Z. Kónya, I. Vesselényi, K. Niesz, A. Kukovecz, A. Demortier, A. Fonseca, J. Delhalle, Z. Mekhalif, J. B. Nagy, A. A. Koós, Z. Osváth, A. Kocsonya, L. P. Biró, I. Kiricsi, Large scale production of short

functionalized carbon nanotubes, Chem. Phys. Lett. **360** (2002) 429-435.

- [2] Cs. Balázs, Z. Kónya, F. Wéber, L. P. Biró, P. Arató, Preparation and characterization of carbon nanotube reinforced silicon nitride composites, Mat. Sci. Eng. C **23/6-8** (2003) 1133-1137.
- [3] Cs. Balázs, F. Wéber, Zs. Kövér, Z. Kónya, I. Kiricsi, L. P. Biró, P. Arató, Development of Preparation Processes for CNT/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Composites, Key Engineering Materials, **290** (2005) 135-141.
- [4] Cs. Balázs, Z. Shen, Z. Kónya, Zs. Kasztovszky, F. Wéber, Z. Vértesy, L. P. Biró, I. Kiricsi, P. Arató, Processing of carbon nanotube reinforced silicon nitride composites by spark plasma sintering, Composite Science and Technology, **65** (2005) 727-733.
- [5] Model SR530 Lock-in Amplifier, User Manual, Stanford Research Systems, 1997.
- [6] A. Tschöpe, E. Sommer, R. Birringer, Grain size-dependent electrical conductivity of polycrystalline cerium oxide ceramic composites. Solid State Ionics, **139** (2001) 255-265.
- [7] F.C. Fonseca and R. Muccillo, Impedance spectroscopy analysis of percolation in (yttria-stabilized zirconia)-yttria. Solid State Ionics **166** (2004) 157-165.

# A konzolidáltság mértékének hatása az önerősítéses kompozitok mechanikai tulajdonságaira

Bárány Tamás\* – Izer András\* – Czigány Tibor\*

## Bevezetés

Napjainkban az anyagfejlesztés egyik kulcskérdése a termék újrafelhasználhatósága az életciklusa végén. Az autópárhuzamban a kérdés fontosságát jellemzi az az európai uniós irányelv (2000/53/EC EU – End-of-Life Vehicle [ELV]) [1], amely szerint 2015-re a járműipari alkatrészek 95%-a újrafelhasználható kell legyen. Mindez számos problémát vet fel, hiszen ha azt figyelembe vesszük, hogy egy autó tervezett élettartama 10 év, akkor már ebben az évben gyártott autókban is meg kellene felelni ezen irányzat előírásainak. Jelenleg azonban az e célra alkalmazott polimer kompozitok – amelyekben főként üvegszál erősítést alkalmaznak – nem teljesítik e követelményt. A világban az elmúlt tíz évben jelentős kutatások kezdődtek meg olyan anyagok kifejlesztésére, amelyek alkalmasak lehetnek az üvegszál erősítésű polimer kompozitok kiváltására. Cél az, hogy legalább azonos tulajdonságok biztosítása mellett, az újrahasznosítás kérdése egyszerűen megoldható legyen. Egyik lehetőség a természetes szálak alkalmazása, azonban ebben az esetben is meg kell oldani a szál és a mátrix szétválasztását, illetve a mechanikai tulajdonságai messze elmaradnak az üvegszál erősítésű kompozitokéval szemben [2]. A második lehetséges alternatíva az önerősítéses polimer kompozitok kifejlesztése, amelyeknél mind a mátrix, mind a nagy szilárdságú erősítőszál azonos típusú polimerből áll. E típusú kompozitok előnyei, hogy az újrahasznosítás egyszerűen megoldható, kiváló a mechanikai tulajdonságaik, illetve akár 50%-os tömegcsökkenés is elérhető az üvegszál erősítésű (GF) kompozitokhoz képest, amely közvetve hozzájárul a környezetünk védelméhez (a kisebb tömeg miatt kevesebb az üzemanyag felhasználása). Az önerősítéses kompozitok fejlesztése két irányban indult meg, az egyik a kompaktálós eljárás, míg a másik a koextrudációs technika.

A kompaktálós eljárást Ward, Hine és társai fejlesztették ki [3-6]. E technika lényege, hogy a terhelés alatt (constrained fiber) lévő polimer

szál felülete és magja másképp viselkedik, ezáltal a hőmérséklet emelkedésével először a felület, majd fokozatosan a keresztmetszet egyre nagyobb hányada olvad meg a szál közepe fele. A kutatás kulcskérdése, hogy mekkora az a hőmérséklet, amelynél a szál olyan mértékben megolvad, hogy a megolvadt rész már képes lesz egy összefüggő mátrixot alkotni a lehetséges maximális szálartalom megtartása mellett. Kutatás eredményeképpen kiváló kompozitot tudtak kifejleszteni, amelyben a szálartalom több mint 70% [6]. Először az ultra nagy molekulásúlyú poli-etilénnel (UHMWPE) próbálkoztak, azonban később áttértek a polipropilénre (PP), illetve minden olyan szál esetében kipróbálták, amelyből szál képezhető [6]. Önerősítéses PP kompozit lemezek már kereskedelemben is kaphatóak Curv® márkanéven [7]. Az eljárás előnye a teljesen homogén, folytonos mátrix és a nagyon könnyű újrahasonosítás, hátránya, hogy előállításához precíz technológiai háttérre van szükség, mivel a feldolgozás hőmérséklet-tartománya csupán néhány °C.

A koextrudációs eljárást Peijs és társai fejlesztették ki polipropilénra [8]. A kompozit mátrixát az alacsonyabb olvadáspontú random PP kopolimer, amíg az erősítőanyagát a PP homopolimer alkotja. Az eljárás lényege, hogy a mátrix anyagát ráextrudálják az erősítőanyag magra, majd jelentős nyújtással kialakítják a szál nagy szilárdságát. Hasonló előnyökkel jellemezhető, mint az előzőekben bemutatott kompozit, továbbá, ebben az esetben a feldolgozás hőmérséklet-tartománya már kb. 20–25°C. E technológiával gyártott kompozit lemezekben 80%-nál is nagyobb szálartalom érhető el. E típusú kompozit a kereskedelemben a Pure® márkanéven [9] kapható.

Mindkét eljárás a szálak egyesítését, kompozitá kompaktálását préseléssel végzi. A préselés közben alkalmazott nyomás, hőmérséklet és hőtartási idő jelentősen befolyásolja a kompozit konzolidáltságát, azaz más szavakkal, hogy milyen mértékben nedvesítette, fogja körbe a mátrix az erősítőszálakat, mennyire alkot a mátrix folytonos, összefüggő „közeget”. Természetesen mind a három, előbb említett technológiai paraméter növelése növeli a konzolidáltság fokát.

Összegzőként elmondható, hogy mindkét módszer kiváló alternatív

\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

va az üvegszál erősítésű PP kompozitok helyett olyan esetekben, amikor az alakadáshoz valamelyik melegeformázásos technológiát alkalmaznak. Egyetlen egy hátrányuk, amely valószínűleg az elterjedésüket jelenleg is gátolja, hogy árúknak nem versenyképes az üvegszál erősítésű PP kompozitokéval. Magasabb árát okozhatja a kompaktálásos eljárás esetében a precízebb technológiai környezet, míg a koextrudálásos technika esetében az eggyel több technológiai lépés (koextrudált szálak előállítás). E tényező kiküszöbölésére a Tanszékünkön kutatásokat kezdünk olyan önerősítéses kompozit előállítására, amely teljes mértékben a kereskedelemben kapható alapanyagokra épül, ezáltal árban is versenyképessé válik a PP-GF kompozitokkal. E tanulmány célja bemutatni azt, hogy milyen mértékben befolyásolja a konszolidáltság foka az önerősítéses kompozitok mechanikai tulajdonságait.

**Felhasznált anyagok**

Az önerősítéses kompozit erősítőanyagául a Slovnaft által gyártott PP szálakat alkalmaztuk (olvasdaspontja 171°C, átlagos átmérő 40,2±1,8 mm, átlagos szilárdság 465±32 MPa). Az erősítőszálakból kártolt és tűnemezelt paplant készítettünk. A kompozit mátrix anyagául 100 µm vastagságú Borealis által gyártott béta-polipropilén [10-11] fóliát alkalmaztunk.

Az önerősítéses kompozit lapokat „film-stacking” módszerrel (a mátrix fóliát és az erősítő réteget váltakozva, rétegesen elrendezve) préseléssel készítettük különböző préselési hőmérséklettel és hőtartási idővel, de állandó préselési nyomás mellett.

**Vizsgálati módszerek**

A szakítóvizsgálatokat Zwick Z020 típusú univerzális szakítógépen végeztük el szabvány szerinti 1B piskóta próbatesteken 5 mm/perc vizsgálati sebességgel, szobahőmérsékleten [12]. A rugalmassági modulus meghatározásához videoextenzométert használtunk.

A dinamikus ejtősúlyos vizsgálatot Ceast Fractovis 6785 típusú, számítógéppel vezérelt berendezésen végeztük, szobahőmérsékleten a következő beállításokkal: 229,05 J; a dárda átmérője 20 mm; tömege 23,357 kg, indítási magasság 1 m [13].

**Eredmények**

Az önerősítéses kompozitok előállításából adódóan a préselési hőmérséklet, a nyomás és a hőtartási idő függvényében a kompozit lapok konszolidáltsága erősen változik. E típusú kompozitok feldolgozási tartományát a mátrix és az erősítőanyag olvasdaspontja határozza meg. E tartomány akár 25°C is lehet, azonban még ez sem éri el a mátrix anyag hagyományos feldolgozásoknál (pl. extrudálás, fröccsöntés) beállított hőmérsékletet. Ezért ebben a tartományban a hőmérséklet jelentősen befolyásolja az anyag viszkozitását, amely jelen esetben értelmezhető úgy, hogy a mátrix milyen mértékben tud bejutni az erősítőszálak közé, jelentősen befolyásolva az anyag konszolidáltságát. Hasonlóan a hőmérséklethez, a hosszabb hőtartási idő is (elméletben hosszabb idő áll rendelkezésre a mátrixnak a szálak nedvesítésére) és a préselési nyomás is növeli a kompozit konszolidáltságát. E tényezőt természetesen még számos más tényező is befolyásolja (mátrix/erősítőanyag hányada, az erősítőstruktúra vastagsága és tömörsége, a mátrix anyag folyóképessége).

A másik tényező, amit figyelembe kell venni, hogy az erősen orientált szálak nagy szilárdságát a nagy orientáció biztosítja. A hőmérséklet növekedésével a molekulaláncok relaxációja megy végbe, amelynek a sebessége a hőmérséklet növekedésével exponenciálisan nő. A relaxációval párhuzamosan az orientáció csökken, ezáltal a szilárdság is. E jelenséget is számításba kell venni a technológiai jellemzők megfelelő meghatározásánál, beállításánál.

Az 1. táblázat a különböző hőmérsékleten és hőtartási idővel legyártott kompozit lapok tulajdonságait: a rugalmassági modulus ( $E_1$ ), a szakítószilárdságot ( $\sigma_1$ ), és a perforációs energiát ( $E_p$ ) mutatja be. A

táblázat tartalmazza a mátrix (M) és a kereskedelemben kapható kétfajta önerősítéses kompozit lap hasonló vizsgálatokkal meghatározott mechanikai tulajdonságait is.

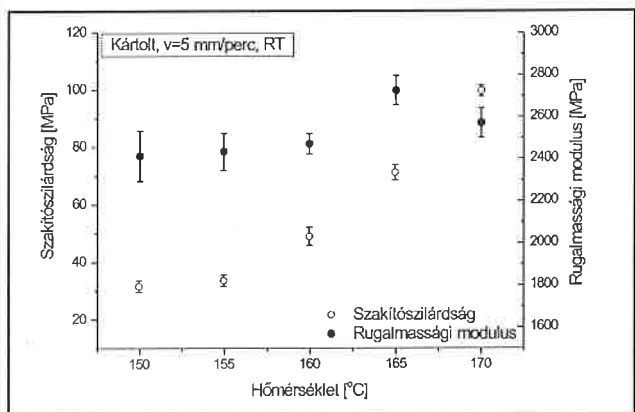
1. táblázat. A rugalmassági modulus, a szakítószilárdság, és a perforációs energia értékei

| Kód               | Préselési hőmérséklet (°C) | Hőtartási idő (perc) | Névtleges szálltartalom (%) | $E_1$ (MPa)  | $\sigma_1$ (MPa) | $E_p$ (J/mm) |
|-------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|--------------|------------------|--------------|
| M                 | 170                        | 2                    | -                           | 1810,0±120,7 | 32,8±1,9*        | 16,6±3,3     |
| C1                | 150                        | 2                    | 50,1                        | 2412,4±118,7 | 31,6±2,0         | 27,7±3,4     |
| C2                | 155                        | 2                    | 49,9                        | 2432,1±88,3  | 33,5±2,0         | 24,4±4,0     |
| C3                | 160                        | 2                    | 49,3                        | 2469,8±276,0 | 48,9±3,2         | 24,8±1,7     |
| C4                | 165                        | 2                    | 49,6                        | 2723,4±57,5  | 71,2±2,6         | 21,0±1,8     |
| C5                | 170                        | 2                    | 49,8                        | 2570,9±69,8  | 99,7±5,8         | 18,2±2,5     |
| C6                | 160                        | 10                   | 49,9                        | 2642,6±83,6  | 49,2±6,1         | 25,1±1,4     |
| C7                | 160                        | 20                   | 49,6                        | 2644,0±22,5  | 54,4±0,6         | 26,0±3,3     |
| Pure <sup>®</sup> |                            |                      | >80                         | 6139,7±199,3 | 199,3±3,9        | 36,1±2,9     |
| Curv <sup>®</sup> |                            |                      | >70                         | 2947,2±71,1  | 117,1±0,9        | 18,1±0,2     |

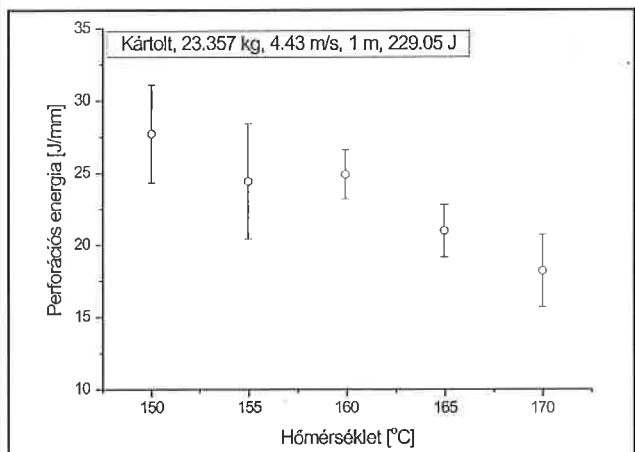
\* folyási feszültség

Az 1. ábra a szakítószilárdság, illetve a rugalmassági modulus változását mutatja be a préselési hőmérséklet függvényében. A szakítóvizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy mindkét tulajdonság értéke növekszik a növekvő feldolgozási hőmérséklettel (a vizsgált hőmérséklet-tartományban: 150 – 170°C), bár az  $E_1$  kisebb mértékben, mint a  $\sigma_1$ . Azonos préselési nyomás és hőtartási idő mellett a növekvő préselési hőmérséklet jelentősen befolyásolja az előállított kompozit lapok konszolidáltságát. Jobb konszolidáltság főleg a szakítószilárdságot növeli, amíg a rugalmassági modulus kevésbé.

Az ejtősúlyos vizsgálatok alapján meghatároztuk mindegyik kompozit lemezre a perforációs energia értékét ( $E_p$ ), amelyeket az 1. táblázat



1. ábra. A szakítószilárdság és a rugalmassági modulus a préselési hőmérséklet függvényében

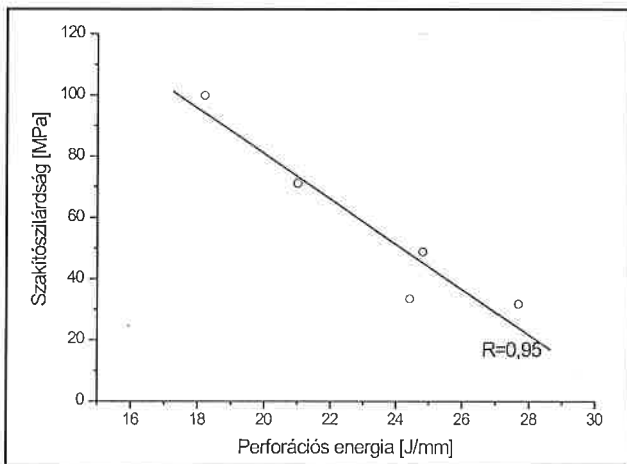


2. ábra. A perforációs energia a préselési hőmérséklet függvényében



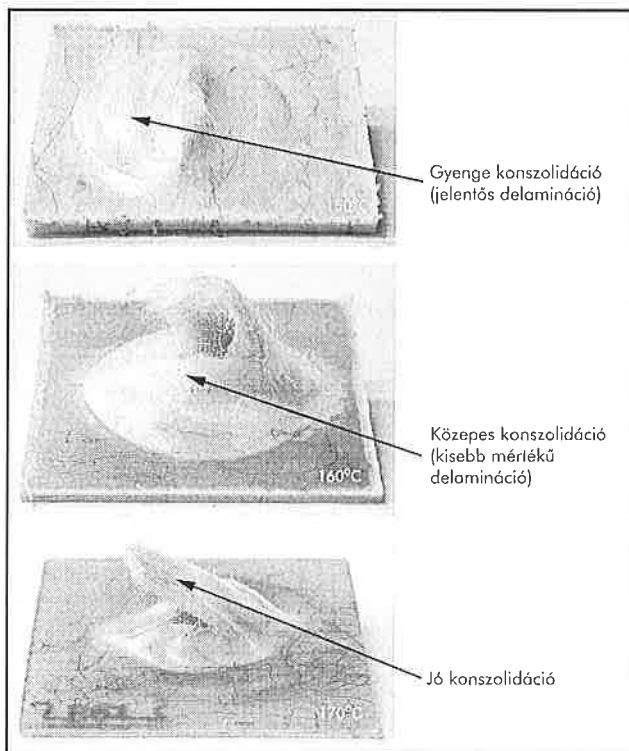
tartalmaz. A 2. ábra a  $E_p$  változását mutatja be a hőmérséklet függvényében. Megfigyelhető, hogy ez a jellemző a hőmérséklet, azaz a konszolidáció fokának növekedésével csökkenő tendenciát mutat ellentétben a szakítóvizsgálati eredményekkel.

**Összefoglalva**, a konszolidáltság fokának növekedésével a síkbeli (in-plane) mechanikai tulajdonságok (az  $E_1$  kisebb mértékben, a  $\sigma_1$  karakterisztikusabban) növekednek, de a síkra merőleges igénybevétellel szembeni ellenállás, a perforációs energia csökken. Mivel a  $\sigma_1$  és a  $E_1$  is jól jellemzi a konszolidáltságot a kompozitnak, így elvárható a jó korrelációs kapcsolat a perforációs energiával, amelyet a 3. ábra mutat be.



3. ábra. A szakítószilárdság és a perforációs energia közötti kapcsolat

Megjegyzendő, hogy az egyik tulajdonságot csak a másik rovására tudjuk növelni, tehát a konszolidáltság fok meghatározza az önerősítéses kompozit alkalmazási területét. Olyan alkalmazásoknál, amikor inkább síkra merőleges igénybevétel a jellemző (pl. járművek alsó burkoló lemeze esetén jellemző igénybevétel a köfelverődés), és nem fontos a síkbeli szilárdsági jellemzők, akkor alkalmasabb lehet a gyengébben konszolidált lemez is.



4. ábra. A különböző hőmérsékleten (150, 160 és 170°C-on) gyártott lemezek tipikus tönkremenetele ejtősúlyos vizsgálat során

A hőtartási idő hatását szintén vizsgáltuk. Megfigyelhető, hogy a hosszabb hőtartási idő (vö. 1. táblázat) nem befolyásolja jelentősen egyik vizsgált tulajdonság értékét sem ( $E_1$ ,  $s_1$ ,  $E_p$ ).

Összehasonlítva az általunk fejlesztett kompozit lemezek meghatározott jellemzőket a kereskedelemben kapható lemezek meghatározottakkal, megállapítható, hogy a szöveterősítésű Curv® kompozit jellemzőit megközelítettük. Ha azt is figyelembe vesszük, hogy a szövet erősítés mindig erősebb struktúra, mint a kártolt, illetve a Curv® esetében a szálltartalom több mint 70%, akkor az általunk elért eredmények nagyon biztatóak. Másrészt azonban a Pure® kompozit minden tekintetben jelentősen felülmúl minden más típusú önerősítéses polipropilén kompozitot, viszont nagyon drága, különösen az általunk kifejlesztetthez képest.

### Tönkrementeli formák vizsgálata

A részben konszolidált rendszerek a terhelés hatására minden esetben delaminációval mennek tönkre. A delamináció mértéke a konszolidációs fok növekedésével csökken, amely jól megfigyelhető a 150, 160 és 170°C-on gyártott lemezekből kivágott ejtősúlyos próbatesteken (4. ábra). A 170°C-on gyártott lemezből kivágott próbatesten jól látszik, hogy csak csekély mértékű delamináció következett be, a szál és a mátrix jobb adhéziója figyelhető meg.

### Összefoglalás

E tanulmány célja az önerősítéses kompozitok kifejlesztésén túl a konszolidáltság fok hatásának vizsgálata a mechanikai tulajdonságokra. A kompozit mátrix anyagául béta-polipropilén fólia, erősítőanyagául kártolt és tűnemezt, nagy szilárdságú polipropilén szál szolgált. A feldolgozhatóságot a közöttük lévő olvadáspont különbség biztosította (kb. 20°C). A kompozit lapokat „film-stacking” módszerrel, préseléssel állítottuk elő különböző hőmérsékleten és hőtartási idővel. A kompozit lemezeket statikus mechanikai és dinamikus ejtősúlyos vizsgálatokat végeztünk. A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a magasabb feldolgozási hőmérséklet hatására a szakítószilárdság és a rugalmassági modulus nő, míg a perforációs energia csökken, amely a kompozit konszolidáltság fokának növekedésére vezethető vissza. A szakítószilárdság és a perforációs energia között jó korrelációt tapasztaltunk.

### Köszönetnyilvánítás

A cikkben közölt kutatási eredmények megszületését a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatta.

### Irodalomjegyzék

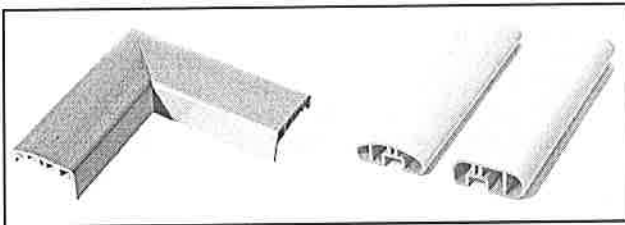
- [1] Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of-life vehicles, (2000)
- [2] Wambua-P., Ivens J., Verpoest I.: Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? Composites Science and Technology 63 (2003), 1259-1264
- [3] Ward I. M.: Developments in oriented polymers, 1970–2004, Plastics, Rubbers and Composites 33 (2004), 189-194
- [4] Ward I. M., Hine P. J.: The science and technology of hot compaction, Polymer 45 (2004), 1413-1427
- [5] Hine P. J., Ward I. M., Teckoe J.: The hot compaction of woven polypropylene tapes, Journal of Materials Science 33 (1998), 2725-2733
- [6] Hine P. J., Ward I. M.: High Stiffness and high impact strength polymer composites by hot compaction of oriented fibers and tapes, in Mechanical Properties of Polymers based on Nanostructure and Morphology (eds.: F. J. Baltá-Calleja and G. H. Michler), Chapter 16, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, (2005), pp. 683-727
- [7] www.curvonline.com
- [8] Peijs T.: Composites for recyclability, Materials Today 6 (2003), 30-35
- [9] www.lankhorst-indutech.nl
- [10] Offenlegungsschrift DE 10237803A1 (Inventor: Karger-Kocsis J.) to Institut für Verbundwerkstoffe GmbH
- [11] Varga J., Ehrenstein, G. W. in „Polypropylene: An A-Z Reference”, (Ed.: Karger-Kocsis J.), Kluwer, Dordrecht, (1999), pp.51-59
- [12] DIN EN ISO 527: Bestimmung der Zugeigenschaften, Deutsches Institut für Normung, (1996)
- [13] Liu T. M., Baker W. E.: Instrumented dart impact evaluation of linear low density polyethylene at controlled impact energy, Polymer Engineering and Science 31 (1991), 753-763

# Farost-erősítésű polimer kompozitok fejlesztése

Kocsis Zoltán\* – Czigány Tibor\*\*

## Bevezetés

A farost alkalmazása polimer kompozitokban nagy múltra tekint vissza. Napjainkban azonban ismét fellendült gyártása és alkalmazása, amelyet a farost, mint olcsó erősítőanyag újralfelfedezése, illetve az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások váltottak ki. A felhalmozódó hulladék jelentős részét műanyagok alkotják, amelyek kis sűrűségük miatt a hulladéktérfogat ugrásszerű növekedését okozzák. A polimerek újrahasznosítása jelentősen csökkenti a hulladékmennyiséget, és ennél fogva az általuk okozott környezeti terhelést. A törekvések célja ezért elsősorban olyan anyagok kifejlesztése, amelyek jelentősebb minőségromlás nélkül újrahasznosíthatók [1], illetve olyan polimer kompozitok előállítására, amelyekben a hagyományos erősítő- és töltőanyagok helyett megújuló alapanyagokat használnak [2]. A hagyományos szálerősítésekkel összevetve a cellulóz alapú szálak sűrűsége jóval kisebb, ezért ilyen szálakat alkalmazva figyelemre méltó tömegcsökkenés érhető el, amelynek előnyeit elsősorban az autóipar és a bútortipar használja ki (1. ábra [3]).



1. ábra. Extrudált profilok farost töltéssel

Az ilyen fajta polimerek feldolgozásának alapvető technológiái a fröccsöntés és az extrudálás, ahol a nagyfokú töltöttség miatt a feldolgozás-technológia extrém gépteljesítményt kíván. Fröccsöntés esetében nem ritka az 1800 bar fröccsnyomás. A manapság alkalmazott feldolgozógépek teljesítménye már lehetővé teszi, hogy ezekkel a technológiákkal akár 80 tömegszázalékos (m%) töltöttségű kompozitokat állítsanak elő nagy pontossággal.

Farost alkalmazásával az eddig használt erősítőanyagokkal összehasonlítható mértékű a mechanikai tulajdonságok javulása is. A gyakorlati élet szempontjából talán az egyik legfontosabb tulajdonság a hajlítási rugalmassági modulus, amelynek tulajdonságjavulása esetenként több mint 100% [4]. A szakítószilárdság növelése az erősítőszálak megfelelő felületkezelésével lehetséges, hiszen a mátrix és a szálak tapadása eltérő polaritásuk miatt természetes állapotukban csekély mértékű [5]. A szál-mátrix határfelületi adhézió tapadásközvetítő adalékok segítségével javítható [6]. A nagyobb mértékű tapadás során érvényesül a mátrix és az erősítőanyag kölcsönös egymásra hatása, amely a mechanikai tulajdonságok javulásában mutatkozik meg.

A természetes szálakkal erősített polimer kompozitok nedvességfelvétele jelentős lehet a szálak abszorpciója miatt. Ennek kiküszöbölése felületkezelő adalékokkal csak részben oldható meg [7]. A nedvességfelvétel hatására a termékek méretei és mechanikai tulajdonságai megváltoznak, ami az illesztések szempontjából rendkívül kedvezőtlen jelenség. A rosttartalom növekedésével egyenes arányban növekszik a felvett nedvesség mértéke, aminek 60–70 m% erősítőanyag-tartalom esetén már figyelemre méltó hatása van az említett tulajdonságokra.

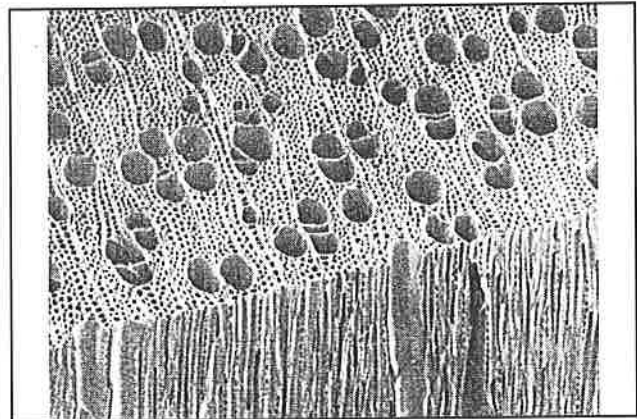
A rostok nedvességtartalma a feldolgozási folyamatok szempontjából szintén problémák forrása lehet. A fröccsöntés illetve extrudálás során a kapillárisok nedvességtartalma a feldolgozási hőmérsékleten gőzzé alakul, amely inhomogenitásokat okoz a kompozitok szerkezetében, és így csökkenti a mechanikai tulajdonságokat. A nem kívánt nedvességtartalmat feldolgozás előtt szárítással kell eltávolítani.

A cikk célja, hogy a különböző mértékű farost-tartalom mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatásait elemezze fröccsöntéssel előállított próbatesteken.

## Felhasznált anyagok

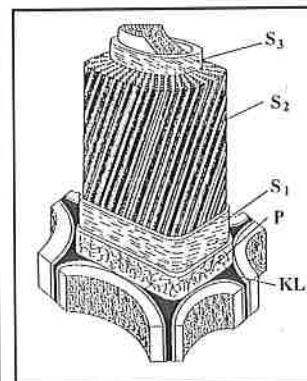
Mátrixanyagként polipropilén homopolimert (H-116, TVK) használnak, amely a kiváló folyási tulajdonságának köszönhetően (MFI = 25 g/10 perc) jól feldolgozható extrudálással és fröccsöntéssel.

A szálerősítésnek használt farostot bükkfából nyertük. A bükk hazánk jellemző lombosfa-fajtája. A lombosfák fatestének felépítése a sejtek típusát, méretét, előfordulási arányát tekintve jóval változatosabb, mint a másik nagy csoportot alkotó fenyőké. A lombosfákat alapvetően a vízszállításban szerepet játszó edények (trachea), valamint a szilárdítást végző farostok előfordulása különbözteti meg a fenyőktől. A fenyőkhöz képest több faparenchimat, azaz vékony falú raktározósejtet és kevesebb tracheidát, azaz szilárdítósejtet tartalmaznak. A lombosfák mikroszkopikus szerkezetét szemlélteti a 2. ábra [8].



2. ábra. Lombosfa mikroszkopikus szerkezete

Az ipari nyersanyagot adó fatest nem más, mint egy bonyolult sejtfalrendszer. A sejtfal vázát a szerveződés alapegységei, a kristályos karakterű cellulóz láncmolekulák vagy cellulóz makromolekulák adják. A sejtfal rétegződését a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A sejtfal rétegződése

A középlemez (KL) a sejtek közötti ragasztóréteg, amely pektinből és ligninből áll, vastagsága 0,2–2,0 μm. Az elsődleges (primer) sejtfal (P) a fejlődés első szakaszában kialakuló, vékony (0,1 μm), hemicellulóz és pektin tartalmú réteg. A másodlagos (szekunder) sejtfal (S) a sejtfal belső, megvastagodott része, amelynek további részei a külső (S<sub>1</sub>), a középső (S<sub>2</sub>) és a belső réteg (S<sub>3</sub>) [8].

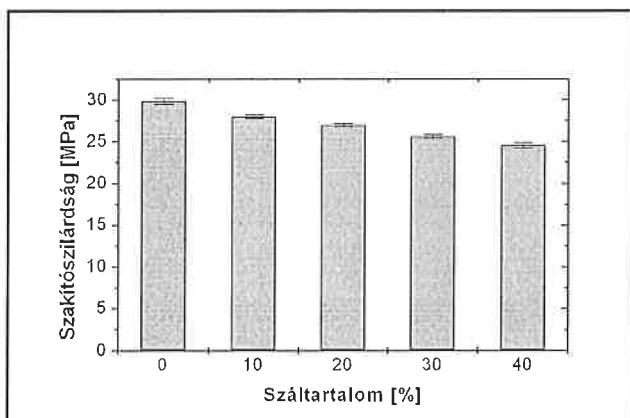
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék:  
\* PhD hallgató; \*\*akadémiai doktor, tanszékvezető

A felhasznált fűrészüzemi ipari hulladék nagy mennyiségben tartalmazott falisztet, ezért a szálak különválasztásához 1 mm lyukméretű szitát használtunk. Az átlagos szálhosszúság ekkor 2-3 mm közötti értéket mutatott.

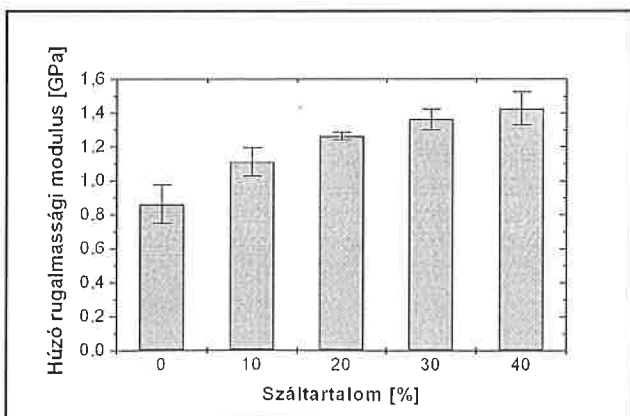
A szítálás után a szálakat 24 órán keresztül 105°C-on szárítottuk, hogy azok így megszabaduljanak a nem kívánatos nedvességtartalomtól. Az ilyen módon előkészített szálak felhasználásával a mátrixon kívül négyféle keveréket készítettünk 10-20-30-40 m% száltartalommal. A keverékeket Brabender Plasticorder PL2100 típusú ikercsigás extruderrel állítottuk elő 15 ford./perc sebességgel és 170-180-180-190°C zónahőmérsékletek mellett. A keverékek nem tartalmaztak felületkezelő adalékot. Az előállított keverékekből Arburg 420 C Advance 1000-250 típusú fröccsöntőgéppel készítettünk szabványos próbatesteket. A zónahőmérsékletek 170-180-185-190-195°C voltak, a fröccsnyomás küszöbértéke 1000 bar, az utónyomás 500 bar, a szerszám hőmérséklete 40°C volt. Az egyes anyagcsoportokból minden méréshez öt próbatestet használtunk. Szabványos szakító-, hárompontos hajlító- és Charpy-ütővizsgálatokat végeztünk.

### Szakítóvizsgálatok

A vizsgálatokat Zwick Z005 típusú szakítógépen végeztük szoba-hőmérsékleten. A szakítási sebesség 20 mm/perc volt. A mérések során erőt és elmozdulást regisztráltunk, amiből szakítószilárdságot és húzó rugalmassági moduluszt számoltunk. A mérések eredményeit a 4. és 5. ábra szemlélteti.

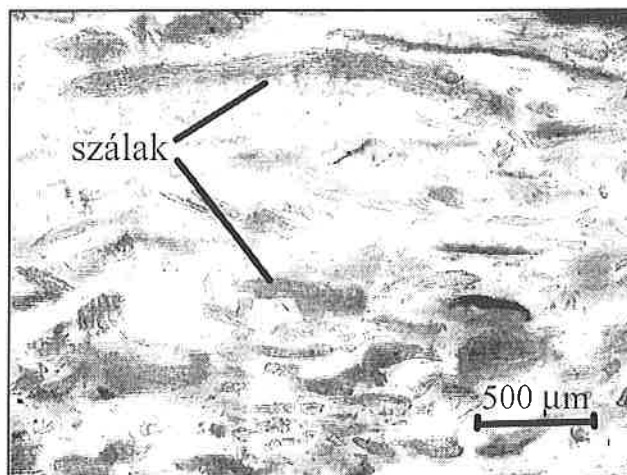


4. ábra. Szakítószilárdság a száltartalom függvényében



5. ábra. Húzó rugalmassági modulus a száltartalom függvényében

A vizsgálatok eredményeiből megállapítottuk, hogy a felületkezeletlen szálak hozzáadása gyengíti az anyag szakítószilárdságát, ami feltehetően a szálrövidülés és szál-mátrix határfelület nem megfelelő tapadásából következik [9]. A szálak rövidülése jól látható a fröccsöntött minta csiszolatáról készített mikroszkópos képen (6. ábra).

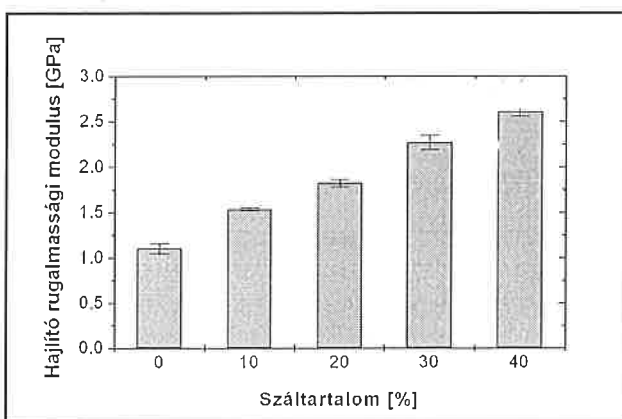


6. ábra. Szálhosszúság a próbatestben

A szakítószilárdság 15%-os csökkenésével szemben a húzó rugalmassági modulus értéke a mátrixhoz viszonyítva – az irodalmi adatokkal [10] összhangban – több mint 60%-os növekedést mutatott 40% száltartalom esetén.

### Hárompontos hajlítóvizsgálatok

A kompozitok hajlítási rugalmassági modulusát hárompontos hajlítóvizsgálatokkal elemeztük az ASTM D 790-90 számú szabvány szerint. A vizsgálati sebesség 10 mm/perc volt. A méréseket határléghajlásig folytattuk, ahol a lehajlás az alátámasztási távolság 10%-a, vagyis 6,4 mm volt. A 7. ábrán láthatók a rugalmassági modulus mért értékei.



7. ábra. Hajlító rugalmassági modulus a száltartalom függvényében

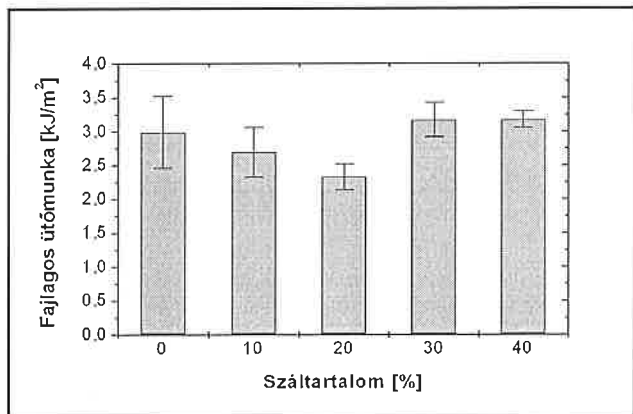
Megállapítható, hogy a fő tendencia hasonló a húzási rugalmassági modulus esetében mértekkel, azzal a kiegészítéssel, hogy a hajlítási rugalmassági modulus a tiszta mátrixhoz viszonyítva több mint 100%-os javulást mutat 40%-os száltartalom esetén. A szálak orientációja minden valószínűség szerint nagyban hozzájárul ehhez a tényhez.

### Charpy-ütővizsgálatok

A dinamikus anyagjellemzők közül a kompozitok fajlagos ütőmunka értékeit Charpy-féle ütővizsgálatokkal határoztuk meg az ISO 179 számú szabvány szerint. A mérések során 15 J energiájú kalapácsot, illetve hornyolt próbatesteket használtunk.

A 8. ábra alapján, amely a fajlagos ütőmunka értékeit szemlélteti a száltartalom függvényében, kimondható, hogy a száltartalomnak nincs szignifikáns tulajdonságcsökkentő hatása az anyag dinamikus tulajdonságaira, hiszen a 40%-os töltöttségű keverék tulajdonságai közel azonosak a mátrixéval. Megállapítható emellett, hogy a modulus értékeinek növekedésével az anyag szívóssága 40 m% rosttartalomnál nem csök-

kent, a mátrixéval közel azonos értéken maradt, ami jól mutatja a rosttartalom jótékony hatását.



8. ábra. Fajlagos ütőmunka a szálartalom függvényében

## Mikroszkópos vizsgálatok

A mechanikai vizsgálatok során keletkezett töretfelületeket pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokkal elemeztük. A mikroszkópos felvételek alapján néhány előzetes feltételezésünk igazolódott.

A 9.a.)-c.) ábrák jól szemléltetik a határfelületi adhézió hiányát a szálak és a mátrix között. Az adhézió hiányában a szál és mátrix nem képes jó hatásfokú együttműködésre, amely a szakítóvizsgálatok során megállapított szilárdsági tulajdonságok csökkenéséhez vezet. A 9.d.) ábrán megtalálható néhány, a kompozitokra jellemző tönkremeneteli forma, mint például a szálikihúzóadás, szálszakadás illetve mátrixdeformáció. Az ábrák jól mutatják a szálátmérők jelentős szórását is.

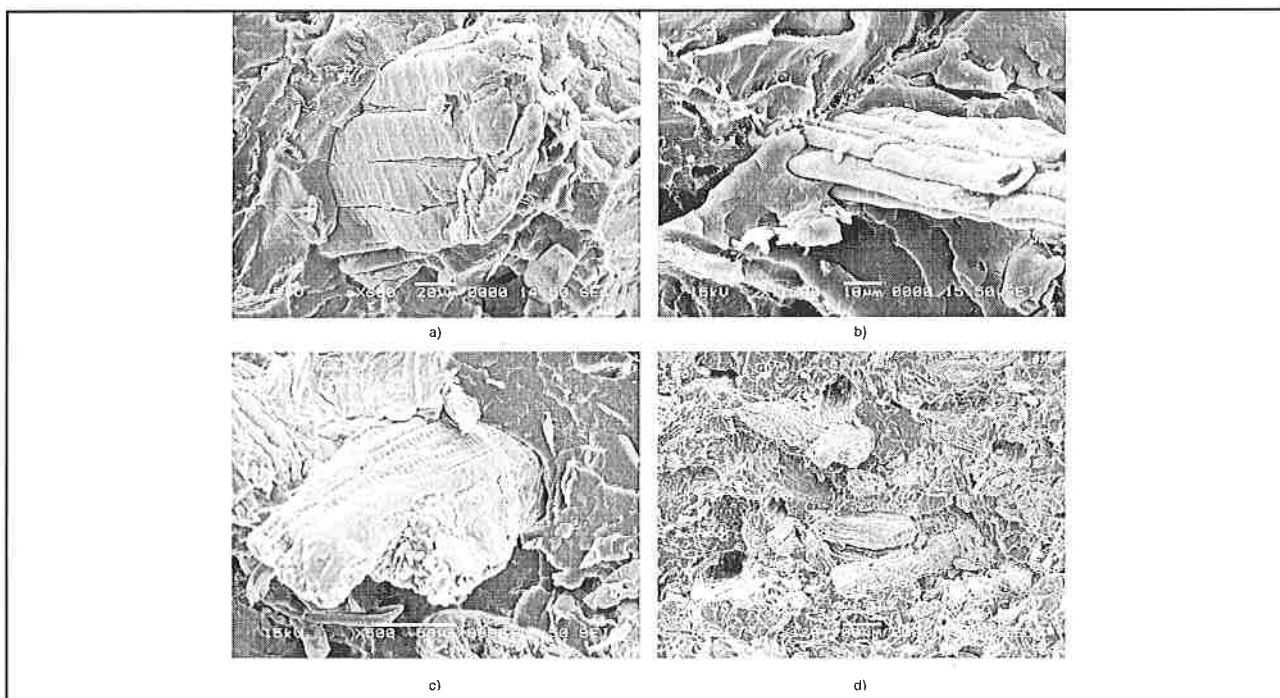
## Összefoglalás

Farost-erősítésű polipropilén mátrixú polimer kompozitokat vizsgáltunk. A szálartalom hatását elemeztük 10, 20, 30 és 40% töltöttség mellett szakító-, hajlító- és Charpy-féle ütővizsgálatokkal. Megállapítottuk,

hogy a húzási és hajlítási rugalmassági modulus jelentősen növekedett a szálartalommal, viszont a szakítószilárdság csökkent. Kimutattuk, hogy a szálartalom pozitívan befolyásolja a fajlagos ütőmunka értékeit. A határfelületi adhézió hiányát pásztázó elektronmikroszkópos felvételekkel szemléltettük. Felületkezelő, tapadásközvetítő adalékok alkalmazásával minden valószínűség szerint javítható a határfelületi adhézió.

## Irodalomjegyzék

- [1] *Peltola P.*: Green Composites, Polymer composites and the environment, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, 2004.
- [2] *Bledzki A. K., Letman M., Viksne A., Rence L.*: A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre-PP composites. *Composites: Part A* (2004) 1-9
- [3] <http://www.fasalex.com> (2005. október 6.)
- [4] *Yuan X., Jayaraman K., Bhattacharyya D.*: Effects of plasma treatment in enhancing the performance of woodfibre-polypropylene composites. *Composites: Part A* 35 (2003) 1363-1374
- [5] *Czvikovszky T.*: A fa és a műanyagok társított (kompozit) rendszereinek kémiája és technológiája, MTA Doktori értekezés, 1987.
- [6] *Bledzki A. K., Faruk O.*: Creep and impact properties of wood fibre-polypropylene composites: influence of temperature and moisture content. *Composite Science and Technology* 64 (2004) 693-700
- [7] *Espert A., Vilaplana F., Karlsson S.*: Comparison of water absorption in natural cellulosic fibres from wood and one-year crops in polypropylene composites and its influence on their mechanical properties *Composites: Part A* 35 (2004), 1267-1276
- [8] *Molnár S.*: Faipari Kézikönyv, Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 2000.
- [9] *Lee S.Y., Yang H.S., Kim H.J., Jeong C.S., Lim B.S., Lee N.J.*: Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites, *Composite Structures* 65 (2004), 459-469
- [10] *Ichazo M.N., Albano C., González J., Perera R., Candal M.V.*: Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. *Composite Structures* 54 (2001) 207-214



9. ábra. SEM felvételek a farosttal töltött PP próbatestek töretfelületeiről, a.)-c.) határfelületi adhézió hiánya; d.) kompozitok tönkremeneteli formái

# Vákuuminjektálásos eljárással készült réteges szerkezetű kompozitok hajlító tulajdonságainak elemzése

Simon Zoltán László\* – Dr. Vas László Mihály\*

A szálerősített polimerek egyre nagyobb teret nyernek a mindennapi használatú tárgyaink körében. Régen még csak az űrtechnikában, illetve a hadiiparban alkalmazták ezt az anyagot, de ma már bárki számára hozzáférhető. Anyagvizsgálati szempontból fontos, hogy mechanikai tulajdonságaikat és terhelésre adott válaszaikat megértsük, tanulmányozzuk [1].

Cikkünkben, réteges szerkezetű polimer kompozit minták hajlító igénybevétellel szembeni viselkedését tanulmányoztuk. A próbatesteket vákuuminjektálásos eljárással készítettük, majd azokon hárompontos hajlítóvizsgálatokat végeztünk. A szabvány szerint számolt hajlító tulajdonságokat az alátámasztási távolság – vastagság viszonyában elemeztük. Munkánkban bemutatjuk azt az általunk kidolgozott módszert, mellyel a hajlító tulajdonságok változása az egész, lehetséges mérési értéktartományára kiterjeszhető.

## Próbatestek gyártása

A tanulmány egyik célja az volt, hogy reprodukálhatóan jó minőségű próbatestek előállítására alkalmas technológiát dolgozzunk ki. A korábban alkalmazott kézi laminálásos és préseléses próbatest előállítási eljárások helyett az ún. gyanta infúziós technológiákat választottuk ki. Ezen módszerek közül is a vákuuminjektálásos eljárás bizonyult megfelelőnek, melynek lényege, hogy vákuum segítségével szívjuk be a szerszámüregbe előre behelyezett erősítőanyagba a kis viszkozitású hőre keményedő mátrixanyagot.

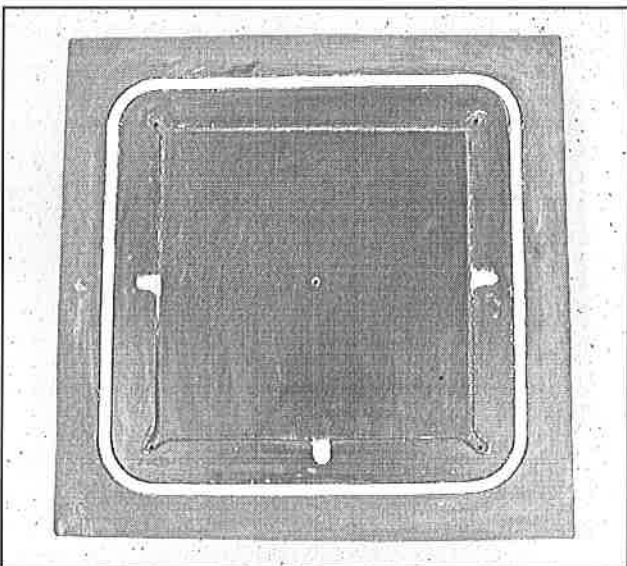
Első lépésként a gyártási eljáráshoz alkalmas szerszámot terveztünk, majd készítettünk el. A vákuuminjektálásos technológia sajátossága, hogy egy- vagy kétoldali merev szerszámmal is működőképes. A termék mindkét oldalán megfelelő felületi minőség és az állandó vastagság érdekében a kétoldali merev szerszámozás mellett döntöttünk.

A terméket, melyekből későbbiekben próbatesteket munkáltunk ki, egy 300x300x4 mm méretű síklapként definiáltuk. Ahhoz, hogy az impregnálási folyamatot figyelemmel tudjuk kísérni, egy átlátszó szerszám-

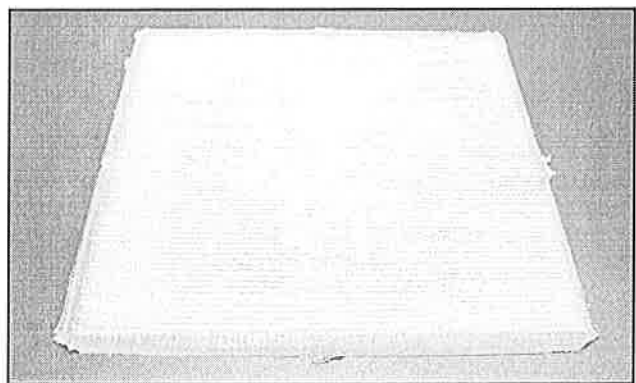
félre volt szükség. Ehhez egy 20 mm vastagságú sík üveglapot használtunk. Ez a vastagság szükséges volt ahhoz, hogy a szerszámfél megfelelő merevségű legyen, azaz a vákuum ne okozza a szerszám behajlását. A szerszámüreggel rendelkező oldalt kézi laminálásos technológiával állítottuk elő, üvegszál erősítésű poliészter mátrixanyagból. Az így elkészített szerszámban (1. ábra) előre kialakítottunk különböző beömlési illetve elszívási pontokat, melyek a négy sarokponton, a három oldal felezőjénél és a formaüreg közepén helyezkedtek el.

Erősítőanyagként kereskedelmi forgalomban kapható (Saint-Gobain Vetrotex gyártmányú), 300 g/m<sup>2</sup> felületi tömegű, vászonkötésű üveg-szövetet alkalmaztunk. Mátrixanyagként, az ugyancsak kereskedelmi forgalomban kapható telítetlen poliészter gyantát (UCB gyártmányú) és metil-etil-ke-ton-peroxid térhálósítót használtunk.

A formaleválasztóval kezelt szerszámfelek közé 12 réteg, előre kiszabott erősítőanyagot fektettünk, ügyelve arra, hogy azok lánc- illetve vetülékirányai minden rétegben ugyanolyan irányban álljanak. A kisméretű szerszám zárását kézi szorítókkal (oldalanként két-két darab) oldottuk meg. Ezt követően, a négy sarokponti beömlőnyílásra és a formaüreg közepén lévő elszívási pontra (a többi nyílást tömítve) csatlakoztattuk a szükséges szerelvényeket. Majd a beömlési pontokat lezárva, a szerszámból vákuumpumpa segítségével kiszivattyúztuk a levegőt, így győződve meg annak teljes zárásáról. Utolsó lépésként a beömlő vezetékeket megnyitva a szerszámba engedték az előre beinicializált poliészter mátrixanyagot. Az erősítőanyag átimpregnálódását követően a beömlési és elszívási pontokat légmentesen lezártuk, majd a térhálósodás után a terméket (2. ábra) eltávolítottuk.



1. ábra. A formaüreggel rendelkező szerszámfél



2. ábra. A vákuuminjektálásos eljárással készült kompozit lemez

Az így elkészült lapokat 50°C-on 6 órán keresztül utótérhálósítottuk, biztosítva a folyamat teljes végbemenetelét. A gyártási eljárás minőségére jellemző mérőszámoknak a próbalapok vastagságát és száltartalmát tekintettük. Minden esetben elmondható volt, hogy nagyon kis mértékű szórással (< 5 %) az egyes lapok jellemzői állandóak voltak. A próbalapok jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza. A minták száltartalmát kiegészítő módszerrel határoztuk meg. A valós vastagságok (h, mm) eltérése a névlegestől (4 mm) a mátrixanyag zsugorodása miatt lépett fel.

1. táblázat. Az injektált lapok jellemzői

|                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| Erősítőrétegek száma     | 12                           |
| Vastagság                | 3,8 ± 0,1 mm                 |
| Sűrűség                  | 1,6 ± 0,06 g/cm <sup>3</sup> |
| Száltartalom (térfogati) | 35,8 ± 2 %                   |

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 9.

A 15 mm szélességű (b, mm), különböző hosszúságú (l, mm) próbatesteket egymánbevonatú fűrészsel munkáltuk ki.

### A hajlítóvizsgálat és eredményei

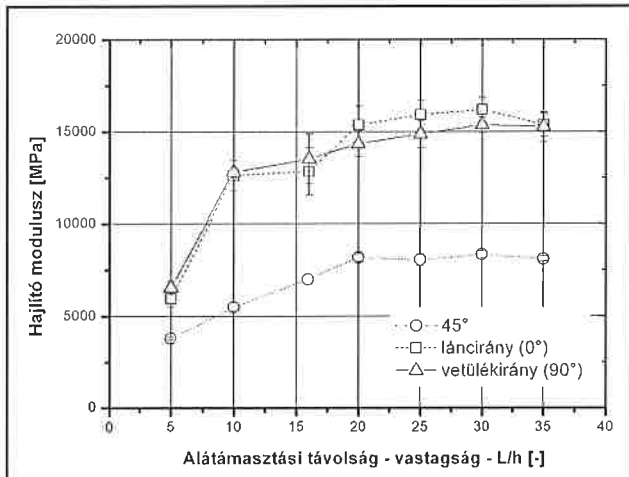
Az MSZ EN ISO 14125 szabvány előírásait szem előtt tartva hajtottuk végre a hajlítóvizsgálatokat, különböző alátámasztási távolság – vastagság arányoknál (L/h). A méréseket Zwick Z020 típusú, számítógép vezérelt szakítógépen végeztük. A hárompontos hajlító feltét alsó támaszainak lekerekítési sugara 2 mm, a nyomófej lekerekítési sugara 5 mm volt. A méréseket 2 mm/min állandó terhelési sebességgel, szoba-hőmérsékleten hajtottuk végre. A vizsgálat során a szakítógép szoftverének segítségével folytonosan regisztráltuk az összetartozó lehajlás: f, (mm) és nyomóerő: F, (N) értékpárokat.

A mérési sorozatot három kitüntetett irányban hajtottuk végre: lánc-, vetülék- ill. 45°-os irányban. Az egyes irányokban végzett mérések alátámasztási távolság – vastagság arányát (L/h) 5 és 35 között változtattuk. Minden egyes beállításnál 5-5 jó mérést hajtottunk végre.

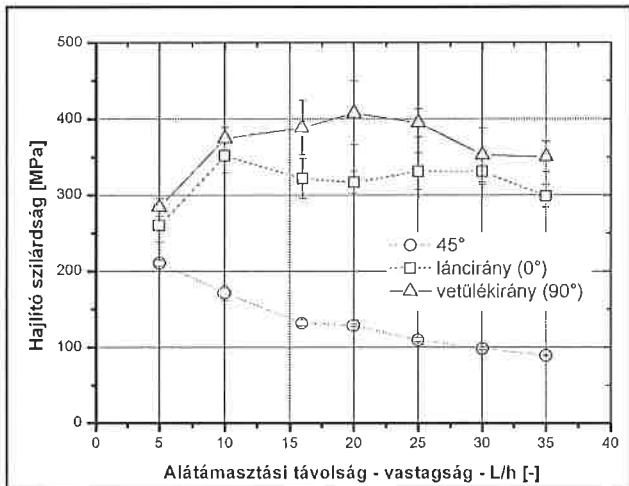
#### Mérési eredmények

A rögzített erő-lehajlás görbékből a klasszikus rúdelmélet segítségével számítottuk a kompozit próbatestek hajlító mechanikai tulajdonságait [2, 3]. Nagy L/h viszonyok esetében, illetve a 45°-ban kivágott próbatesteknél, amennyiben szükséges volt, nagy lehajlásnál ( $f > 0,1L$ ) a szabvány szerint ajánlott módszerrel korrigáltuk az eredményeket. A hajlító rugalmassági modulus alakulását az alátámasztási távolság – vastagság arány függvényében a 3. ábra szemlélteti.

Az ábrából egyértelműen az következik, hogy növekvő próbatest-



3. ábra A hajlító modulus az L/h függvényében

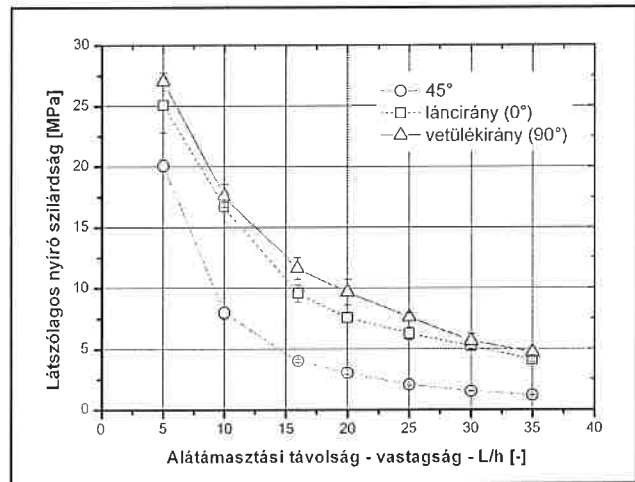


4. ábra. A hajlítószilárdság az L/h függvényében

méréssel (növekvő L/h-val) a rugalmassági modulus egy véges érték felé monoton növekedve tart [4].

A számított hajlítószilárdság értékeinek változását a 4. ábra mutatja. A vizsgált esetekben a száldomináns irányokban (lánc- ill. vetülékirány) a szabvány szerint számolt hajlítószilárdság értéke a kezdeti szakasz (L/h < 20) leszámítva lényegében egy átlagérték körül ingadozik, illetve enyhe csökkenést mutat. Az L/h = 30 és 35 értékeknél a csökkenés annak tudható be, hogy a szabvány által ajánlott korrekciós módszerek nem megfelelően kompenzálják a túlzottan nagy lehajlásoknál fellépő torzító hatásokat. A 45°-ban kivágott próbatestek esetében a szilárdság folytonosan csökkenő jellegűt ölt.

A látszólagos rétegekzi nyírószilárdság változása az 5. ábrán követhető nyomon. Minden vizsgált irányban a görbe azonos jelleggel – más anyagoknál is tapasztalt módon [5] – folytonosan csökken.



5. ábra. A látszólagos nyírószilárdság az L/h függvényében

A hajlítóvizsgálatok eredményei egyértelműen mutatják, hogy a vákuuminjektálási eljárással készült, réteges szerkezetű kompozit próbatestek mechanikai tulajdonságai nagymértékben függenek az alátámasztási távolság – vastagság viszonytól, azaz a próbatestek geometriai méretétől.

#### A modulus eredmények kiterjesztése

A mérési eredményeket alapul véve, a próbatest méretei és hajlító tulajdonságai közötti kapcsolat analitikus úton is leírható, ezáltal az eredmények az L/h = x támaszköz – vastagság arány teljes lehetséges értéktartományára kiterjeszhetők ( $0 < x < \infty$ ).

Módszerünk lényegét a láncirányban végzett mérésekből számolt hajlító rugalmassági modulus értékekre mutatjuk be. A klasszikus rúdelmélet szerint:

$$E_b = \frac{1}{4b} \cdot \left(\frac{L}{h}\right)^3 \frac{\Delta F}{\Delta f} = \frac{1}{4b} x^3 g(x)$$

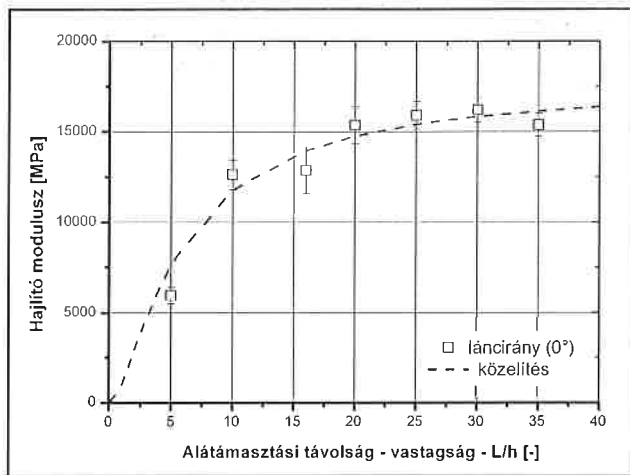
A képlet parametrizálása után jól látható, hogy feladatunk a g(x) függvény meghatározása volt. A mérési eredményeket és az aszimptotikus terhelési viszonyokat figyelembe véve a keresett függvénynek monoton növekedőnek, a szélső értékeknél (L/h = 0 ill. L/h = ∞) pedig végesnek kell lennie. Egy korábbi, unidirekcionális szénszál erősítésű epoxi mátrixú kompozit minták hajlítóvizsgálatával foglalkozó tanulmányban [5] bemutatott eredmények szerint a modulus változásának leírására alkalmas függvény:

$$g(x) = \left[ \frac{1 + a_1 x}{b_0 + b_1 x + b_2 x^2} \right]^3$$

A keresett paramétereket ( $a_1, b_0, b_1, b_2$ ) a mérési eredményekhez legjobban illeszkedő esetre iterálással határoztuk meg:

$$a_1 = 0,2, \quad b_0 = 0,0179 \left[ \frac{N}{mm} \right]^3, \quad b_1 = 0,0129 \left[ \frac{N}{mm} \right]^3, \quad b_2 = 0,0019 \left[ \frac{N}{mm} \right]^3$$

A 6. ábra szemlélteti a mért hajlító rugalmassági modulus lehetséges alakulását.



6. ábra. A lánccirányban mért modulus értékek kiterjesztése

Az illesztett összefüggés segítségével megbecsülhető az  $x = L/h \rightarrow \infty$  esetre érvényes, aszimptotikus hajlító rugalmassági modulus értéke:

$$E_{B\infty} = \frac{1}{4b} \cdot \left( \frac{a_1}{b_2} \right)^3 = 18690 \text{ MPa}$$

## Összefoglalás

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a kidolgozott gyártástechnológiával reprodukálhatóan megfelelő minőségű laminált kompozit próbatetek állíthatók elő. A vizsgált esetben a szabvány szerint számolt és korrigált hajlítószilárdság és hajlító rugalmassági modulus értékek jelentős változást mutatnak a támaszköz – próbatest vastagság viszony függvényében. A hajlító modulus változása jól leírható az illesztett törtfüggvénnyel, amivel a modulus aszimptotikus értéke is megbecsülhető.

## Köszönetnyilvánítás

A cikkben közölt eredmények az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA T049069) támogatásával és az Európai Unió társfinanszírozásával, az Európa Terv keretében (GVOP 3.1.1 – KOMPOZIT MÉRLEG) valósult meg.

## Irodalom

- [1] Hodgkinson, J.M. (edited by): *Mechanical Testing of Advanced Fiber Composites*. Woodhead Publishing Ltd., Cambridge (UK), 2000.
- [2] Kedward, K.T.: On the Short Beam Test Method. *Fibre Science and Technology* Vol. 5. (1972) 85-95.
- [3] Christiansen, A.W., Lilley, J., and Shortall, J.B.: A Three Point Bend Test for Fibre-reinforced Composites. *Fibre Science and Technology* Vol. 7. (1974) 1-13.
- [4] Jones, R.M.: Apparent Flexural Modulus and Strength of Multimodulus Materials. *J. Composite Materials*, Vol. 10. (Oct. 1976) 342-354.
- [5] Rácz Zs., Vas L.M.: Relationship Between Flexural Strength and Size Effects in Unidirectional Carbon/Epoxy, Composite Interfaces, Vol. 12, 325-339 (2005)

# Az elektronkezelés hatása a PA6 mátrixú nanokompozitok szerkezetére és tulajdonságaira

Mészáros László\* – Czvikovszky Tibor\*

## Bevezetés

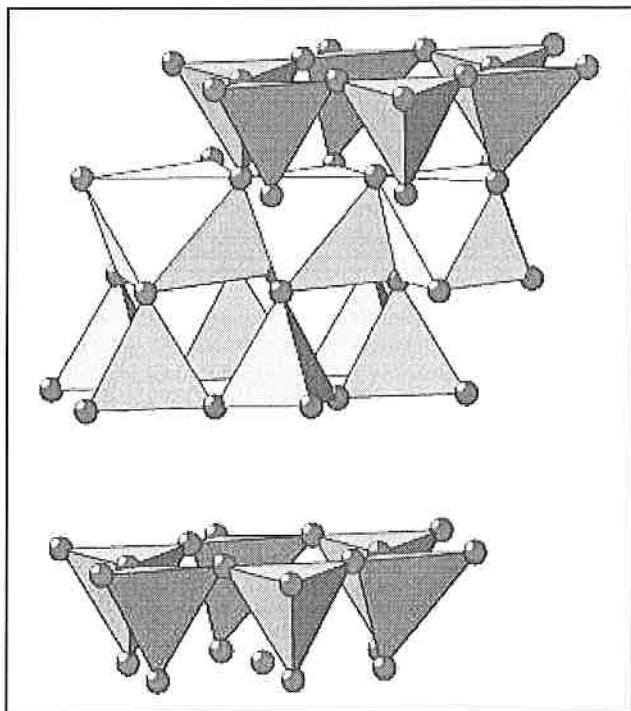
Az utóbbi évtizedekben a polimer kompozitok alkalmazása robbanásszerűen megnövekedett az ipar szinte minden ágában. Az erősítőanyagok túlnyomórészt szál jellegűek, hiszen ebben az esetben igen nagy felületen érintkeznek a mátrixszál, amely az anyagok közötti erős adhéziós kapcsolatot segíti elő. A szálforma a mechanikai tulajdonságok irányfüggővé válását eredményezi, tehát igen előnyösen anizotrop kompozit anyagokat állíthatunk elő. Az előny abból adódik, hogy általában az alkatrészek terhelése maga is anizotrop, vagyis kitételeit irányban (irányokban) érvényesül. A polimer kompozitokban a felület-térfogat arányt úgy is lehet növelni, ha apró részecskéként juttatjuk az erősítőanyagot a mátrixba. A részecske-erősítésű kompozitok is régóta ismeretesek. Ezek általában szívósabbak, hőállóbbak, ütésállóbbak a szálerősítésű társaiknál. A részecskék diszperz eloszlásúak, és az alakjuk általában amorf, ez okozza az izotrop tulajdonságaikat [1, 2]. A felület-térfogat arány szélsőséges esete, ha lapos korongokat alkalmazunk. Ha az erősítőanyag vastagsága 1-2 nm, átmérője 100-500 nm tartományba esik, akkor igen nagy lesz ez az arány. Az ilyen erősítőanyaggal előállított rendszereket nanokompozitoknak nevezzük. Ezek a rendszerek egyesítik a szál- és a mikrorészecske-erősítésű kompozitok előnyös tulajdonságait. Ha a "nanolemezek" az igénybevétel irányába rendezettek, a kompozit szakítási és hajlítási tulajdonságai kedvezőek, és a diszperz-eloszlásnak köszönhetően javulnak az energiaelnyelési tulajdonságok. Mindemellett a nanokompozitok sűrűsége általában kisebb, mint a szálerősítésű társaiké. A különleges szerkezet következtében a gázzáró tulajdonságok is számottevő javulást mutatnak. További jelentős előny, hogy ezek az anyagok általában jól fröccsönthetőek,

hőformázhatóak, sőt a fóliagyártásban is alkalmazhatók. A nanokompozitok a kereskedelemben is megjelentek, főbb alkalmazási területük az autóipar, és az élelmiszer-csomagolás [3, 4].

Az erősítőanyagként alkalmazott ásványzililikátok közül a montmorillonit alkalmazása kiemelkedő, olcsósága és viszonylag egyszerű feldolgozhatósága miatt [4]. A montmorillonit több-kevesebb mértékben minden agyagban előfordul. Számos talajnak, főképp a trópusi bentonitoknak amorf külsejű alkotórésze. Fiatal vulkáni hamuk kémiai lebomlásából keletkezik. Magyarországi előfordulási helyei: Tétény, Fertőrákos. A kedvező lemezes szerkezetet igen erős ionos kötések tartják össze. A rétegek között különböző mennyiségű víz és más anyagok adszorbeálhatnak. Lány, zsíros tapintású, de nem plasztikus anyagok, amelyek a víztől felduzzadnak. A lemezek szabályos alumíniumszilikát alapstruktúrájuk mellett tartalmazhatnak: Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> és H<sup>+</sup> kationokat is. Tipikus a hármas rétegződésű rács: két tetraéderekből felépített rács-sík közé egy oktaéderez rács-sík épül (1. ábra).

A tetraéderek közepén Si, az oktaéderek közepén Al atomok helyezkednek el. A lamellák összességében erős negatív töltéssel rendelkeznek, amelyet a rétegek között elhelyezkedő kationok kompenzálnak. Mivel az így kialakuló ionos kötés erős, a rétegtávolság mindössze 0,98 nm. Az ionos kötésnek köszönhetően a jó duzzasztathatóságot. A nátrium iont tartalmazó montmorillonit a kompozitgyártás szempontjából a legkedvezőbb, mert a nátrium könnyebben eltávolítható, mint a többi kation [3, 6, 7]. Ahhoz, hogy a montmorillonit részecskéket alkalmazni tudjuk, el kell különíteni egymástól a lamellákat. Ennek első lépése a rétegek közötti kationok eltávolítása, azaz felületkezelést kell végezni. A felületkezelés során a lemezek egymástól 2-3 nm távolságra távolodnak, a felületkezelő szertől függően. Ez a távolság már elegendő ahhoz, hogy a lamellák közé polimer, illetve annak monomerjei beférjenek. A felületkezelő szer szerepe a lamellák eltávolításán kívül az, hogy a montmorillonit

\*BME Polimertechnika Tanszék



1. ábra. A montmorillonit lemezek szerkezete [5]

részecskéket organofilizálja, azaz a szerves szilikátot összeférhetővé, nedvesíthetővé tegye szerves anyagokkal. A felületkezelő anyag tehát mintegy híd képez a polimer, és az erősítőanyag között. A terhelés átadása is ezen keresztül történik, tehát az adhéziós kapcsolat erőssége rendkívül fontos szerepet játszik a polimer kompozit mechanikai tulajdonságaiban [3, 4, 8].

Nanokompozitot többféle módszerrel lehet előállítani. Az egyik eljárás az *oldószeres technológia*. Ehhez olyan poláris oldószereket használnak, amelyek nemcsak a polimert oldják, de a rétegszilikátot is megfelelő mértékben duzzasztják. A kompozit mátrixaként szolgáló polimert oldott állapotban juttatjuk a lemezek közé, majd az oldószeret elpárologtatjuk. Az eljárás során igen kedvező tulajdonságú kompozit anyagok állíthatók elő, különösen a mechanikai tulajdonságok tekintetében.

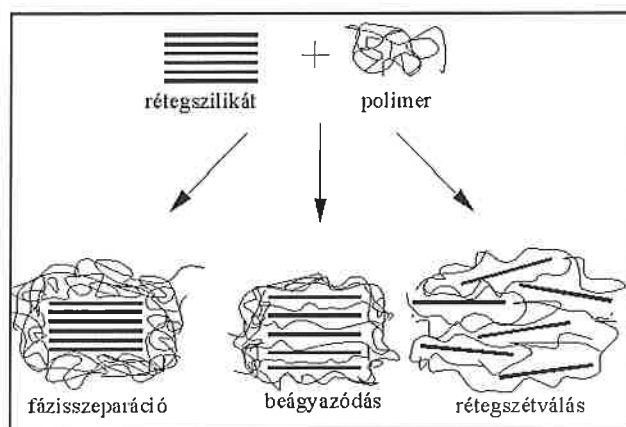
Egy másik módszer az úgynevezett *ömlédekes eljárás*. Lényege, hogy hőre lágyuló polimert ömlédekes állapotban, nagy nyíróerő biztosítása mellett keverjük össze az agyagásvánnyal. A nagy nyíróerőt jellemzően kétszágas extruderrel biztosítják. Az eljárás előnye az egyszerűségében rejlik, ezért ez a legelterjedtebb.

A harmadik eljárás az úgynevezett *in situ polimerizáció*, azaz a polimerizáció helyben, a lamellák között történik. A felületkezelte szilikátot folyékony monomerben duzzasztják, a monomer a rétegek közé diffundál, és iniciálás hatására polimerizálódik [3, 8]. A szakirodalom azt tanúsítja, hogy egyre többen próbálkoznak nanokompozitok *in situ* polimerizációval történő előállításával. Az eljárás igen körülményes, hiszen a polimerizáció nemcsak jelentős hőfejlődéssel jár, hanem rendkívüli körülményeket is igényel. Egyes esetekben az eljárás maga is igen összetett lehet: szigorú szabályozást alkalmaznak a temperálásához, a maradék monomerek, oligomerek eltávolítása különleges eljárásokat igényelhet. A polimerizáció esetleges inhibíciója miatt a reprodukálhatóság is nehezen valósítható meg [1, 9, 10].

Új utat nyitott az elektronsugárással iniciált polimerizáció a nanokompozitok előállításának területén is, hiszen így a polimerizáció alacsony hőmérsékleten is végrehajtható, nincs szükség különböző kiegészítő berendezésekre alkalmazására, és a reprodukálhatóság is jóval egyszerűbb. A sugárkezelte monomerekben a legfontosabb reakciók a polimerizáció, a térhálósodás, a lánchasadás, a kis molekulájú gáz alakú termékek keletkezése és a telítettség eltűnése, illetve keletkezése, a monomer illetve polimer típusától és a körülményektől függően. A po-

limer molekulák nagy méretének következtében már kisszámú reakció (kis dózis) is nagy hatást gyakorol a fizikai tulajdonságokra: a térhálósodás esetén a molekulasúly nő, és végeredményben oldhatatlan és megolvaszthatatlan, egyetlen óriásmolekulát alkotó terméket kapunk, míg a lánchasadás következménye a molekulasúly csökkenése [11-18]. Elektronsugárással főleg térhálós polimereket állítanak elő, ezzel szemben a mi célunk hőre lágyuló nanokompozit létrehozása. Az ellentét úgy kerülhet feloldásra, hogy az elektronkezelés során csak annyi monomert polimerizálunk, amennyit a rétegszilikát felülete képes adszorbeálni, majd az így kapott kompozitot megőrölve, ömlédekes keveréssel, extruder segítségével juttatjuk az alapmátrixba. Elektronsugárással segítségével már állítottak elő nanokompozitokat. Sharif és munkatársai [19] természetes gumiba keverték felületkezelte montmorillonitot, és azután elektronsugárással vetették alá. Az eredmények kedvező szilárdsági tulajdonságokat mutattak: a szakítószilárdság 50%-kal növekedett meg a természetes gumiéhoz képest, mindössze 3% erősítőanyag mellett. A szakadási nyúlás pedig nem csökkent jelentős mértékben.

A különböző eljárások során előállított nanokompozitok szerkezetük szerint három fő csoportba sorolhatók (2. ábra). Ezek a csoportok azonban nem választhatók el egymástól kategorikusan, általában különböző arányban mindhárom szerkezeti forma előfordul egy anyagban.



2. ábra. A nanokompozitok lehetséges szerkezetei [20]

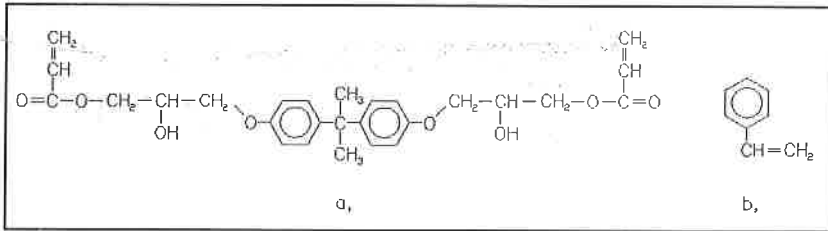
Ha a polimer valamilyen oknál fogva nem tud a lemezek közé ágyazódni, fázisszeperáció jön létre. Tulajdonképpen mikrokompozitot kapunk, az ehhez tartozó tulajdonságokkal, ami a sikertelen felületkezelés, vagy a hibás előállítási technológia következménye lehet. Beágyazódás, azaz interkalációs szerkezet jön létre, ha a lemezek közötti vonzóerőt nem tudjuk teljes mértékben megszüntetni, de egy-egy polimerlánc a rétegek közé ékelődik. Szilárdsági jellemzőik a mikrokompozitok szerkezeténél jobbak. Ideális esetben a szilikát rétegek teljesen szétválnak, a polimer-agyagrészecske kapcsolat teljessé válik, a mechanikai, a gázcáró és hőstabilitási tulajdonságok jelentős mértékben javulnak [3-4, 9].

Az elektronkezeléssel helyben (*in situ*) polimerizációval a rétegszétválás módszerére igen esélyesnek minősíthető, ezért alapos szakirodalmi kutatást végeztünk a számunkra fontos hőre lágyuló polimerek esetleg így készült montmorillonitos kompozitjai tárgyában. A PA-agyagásvány kompozit elektronkezelésére utaló nyomot azonban nem találtunk. Ezért célul tűztük ki egy ilyen típusú kompozit előállítását, és mechanikai tulajdonságainak vizsgálatát.

## Alkalmazott anyagok és technológiák

Az elektronkezelésnél használt monomer kiválasztásánál több tényezőt is figyelembe kellett venni. Az egyik, hogy a monomer szobahőmérsékleten könnyen feldolgozható, folyékony halmazállapotú, stabil anyag legyen, és elektronsugárással hatására polimerizálódjon. Másik követelmény, hogy az előállított polimer jó adhéziós kapcsolatot tudjon létrehozni a PA-6 mátrixszal, valamint nem utolsósorban, a monomer a szilikátrétegek közé könnyen be tudjon jutni. Előkísérleteinkben stírol monomert és dián-epoxi-akrilát oligomert hasonlítottunk össze (3. ábra).





3. ábra. Molekulák szerkezete [21, 22] – a, dián-epoxi-akrilát; b, sztírol

Kémcsövekben 5 g mennyiségű monomert illetve oligomert kevertünk 1 g rétegszilkáthoz. A kémcsöveket lezártuk, és enyhe összerázást követően 24 óráig állni hagytuk. Ezt követően az ülepedés mértékéből következtetni lehetett arra, hogy az alkalmazott anyag milyen mértékben volt képes a rétegek közé hatolni, az agyagásványt duzzasztani. Az eredmények azt mutatták, hogy a sztírol alig duzzasztotta a montmorillonitot, míg dián-epoxi-akriláttal kedvezőbb eredményt értünk el. A dián-epoxi-akrilát, mint a 3. ábrán látható, viszonylag nagy molekulájú, és ezáltal nagyobb viszkozitású anyag. Ahhoz, hogy ez az oligomer a szilikátrétegek közé hatoljon, valamilyen eljárással a rétegek érdemes fellazítani. Az előduzzasztási kísérleteket acetonnal is elvégeztük, és arra a következtetésre jutottunk, hogy az aceton jól duzzasztja a montmorillonitot, ugyanakkor a dián-epoxi-akrilátnak is jó oldószere. Tehát, ha a keverési műveletet acetonos epoxi-akrilát oldatban hajtjuk végre, akkor kedvezőbb eredményeket kaphatunk. Így a lemezek távolabb kerülhetnek egymástól, ezáltal az epoxi-akrilát molekulák könnyebben kerülhetnek a montmorillonit rétegek közé. Legkedvezőbb eredményt az 1:1:1 tömegarányú epoxi-akrilát, aceton, montmorillonit keverékkel értünk el.

A besugárzásra kerülő keverék előállításához 120 g montmorillonitot, 120 g acetont, és 120 g dián-epoxi-akrilátot használtunk fel. A montmorillonitot 6 órán keresztül szárítógépben tartottuk, a rétegek közötti víz eltávolítása végett. A kihűlt anyagot egy üvegedényben fokozatosan a már előre összekevert akrilát-aceton oldathoz kevertük. Az így kapott anyagot 12 órán keresztül állni hagytuk, légmentesen lezárt üvegedényben. Az előállított keveréket 150 µm vastagságban vittük fel üveglapokra, amelyekre előbb csekély mennyiségű Formula Five típusú formaleválasztót vittünk fel, majd 10 percig szabadlevegőn hagytuk, hogy az aceton eltávozhasson. Így a réteg vastagsága 125 µm alá csökkent, amely már a 175 keV-os elektronsugár behatolási vastagsága alatt van, így a rendszer elektronkezelésre alkalmas.

Az elektronkezelést az Energy Science Inc. (ESI) által gyártott 175 keV-os Electrocurrain berendezéssel hajtottuk végre. A besugárzás paraméterei: gyorsító feszültség U = 170 kV, elektron-áram I = 8 mA, katód-fűtés P = 350 W, illetve az anyag átfutási sebessége az elektronsugár alatt: v = 10 m/min. A paramétereiből számolható az anyagot ért dózis mértéke, amely D = 100 kGy [23].

A besugárzást N<sub>2</sub> atmoszférában hajtottuk végre, szobahőmérsékleten. A kapott kompozitot az üveglapról eltávolítottuk, majd a további felhasználáshoz nagyfordulatszámú őrlőberendezésben finomra őrlöttük. A kompozitot Brabender típusú, kétcsigás extruder segítségével állítottuk elő, 4 1/min fordulatszám mellett. Tiszta PA-6 hoz különböző mennyiségű kezelt nanoszilikát erősítőanyagot kevertünk. Az anyagokból 0,5, 1, illetve 3,0 m/m% montmorillonit tartalmú kompozitokat hoztunk létre, fajtánként 2 kg-ot. Az előállított anyagból a granulálást követően, fröccsöntéssel szabványos próbatesteket állítottunk elő. A vizsgálatok előtt az anyagokat egy légmentesen zárható üvegedényben, beállított 50%-os páratartalom mellett, minimum 24 óráig tartottuk. A méréseket ezt követően hajtottuk végre.

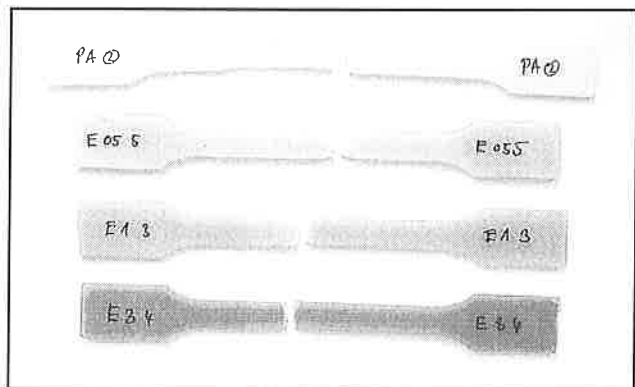
A hárompontos hajlítást Zwick Z050 típusú számítógép-vezérelésű univerzális szakítógéppel végeztük, az ISO 178 szabvány szerint. A hajlítás sebessége 5 mm/perc, a két alátámasztás távolsága 64 mm volt. A szakítóvizsgálatot szintén ezzel a Zwick vizsgálógéppel végeztük, az MSZ EN ISO 527-1 szabvány szerint. A szakítás sebessége 50 mm/perc, a befogási hossz 80 mm.

A Charpy-féle ütési jellemzők meghatározását műszerezett Ceast

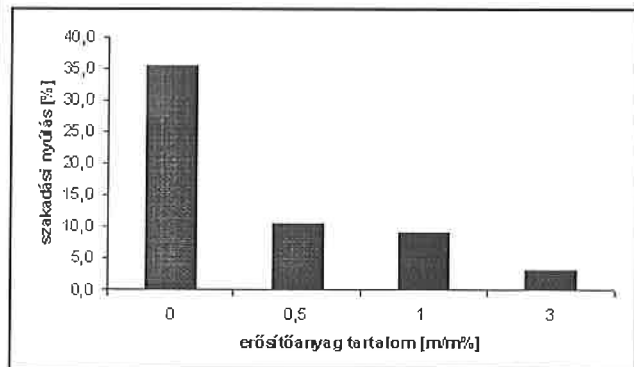
Resil Impactor Junior típusú ütőművel végeztük. A próbatestek méretei 80x10x4 mm, ami megegyezik a hajlítóvizsgáltnál használt próbatestek méreteivel, viszont a próbatesteken 2,5 mm-es bemetszést ejtettünk. Előzetes mérések alapján 2,192 kg tömegű kalapácsot választottunk, l = 0,374 m hosszú rúddal. A kalapács indítási szöge 90°-os volt, ennek megfelelően az ütközési energia 8,04 J, az ütközés sebessége 2,71 m/s. A próbatest megtámasztási pontjainak távolsága 40 mm.

### Vizsgálati eredmények

A próbatestek a szakítóvizsgálat utáni állapotban láthatóak a 4. ábrán. A próbatestekben az erősítőanyag mennyisége felülről lefelé nő, sorrendben: 0; 0,5; 1; illetve 3%.



4. ábra. Próbatestek szakítás után



5. ábra. Szakadási nyúlás az erősítőanyag tartalom függvényében

Az 5. ábrán jól megfigyelhető, hogy a szakadási nyúlás a részecsketartalom függvényében jelentős mértékben csökken. Kis erősítőanyag tartalomnál a szakadási nyúlás mértéke még így is megfelelő képlékeny alakváltozási képességre utal.

Ha a szakítószilárdságot ábrázoljuk a részecsketartalom függvényében (6. ábra), megfigyelhetjük, hogy az nem változik jelentős mértékben az alapmátrixhoz viszonyítva, kis részecsketartalomnál mintegy 5% javulás mutatható ki.

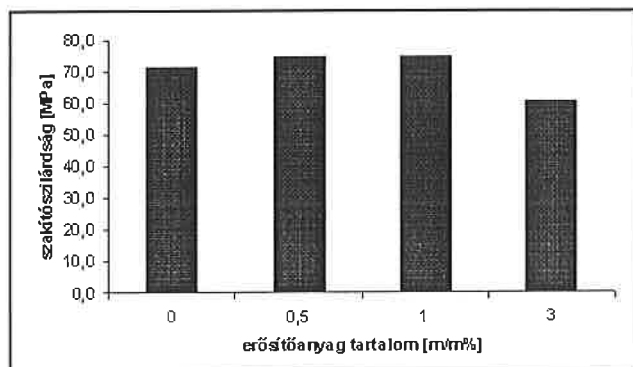
A 3% erősítőanyagot tartalmazó anyag esetében jelentékeny visszaesés figyelhető meg, a részecskék már olyan nagyszámú hibahelyet jelentettek, hogy az anyag ridegen tört, még mielőtt elérte volna a folyáshatárt.

A részecsketartalom növelésével párhuzamosan a húzó rugalmassági modulus is növekszik (7. ábra), mint ahogy az a részecsketartalomnál várható is. Megfigyelhető, hogy kis részecsketartalomnál is jelentős ez a növekedés.

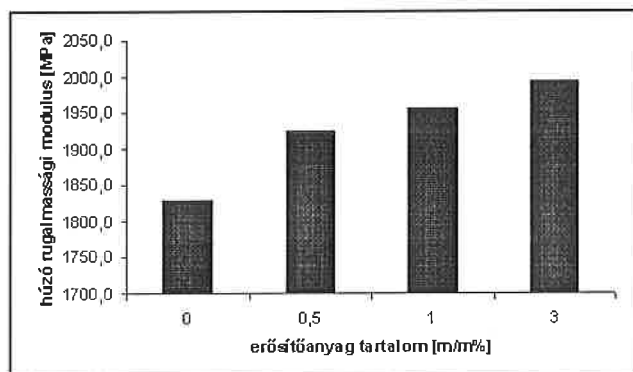
A hárompontos hajlító vizsgálatok során az eredmények kedvezőbben alakultak, mint a szakítás esetében. A határhajlászhoz tar-

tozó feszültség (8. ábra) a részecsketartalom növelésének hatására nőtt. Az 1%-os esetben a változás mértéke 9%, a 3%-os esetben pedig meghaladja a 10%-ot.

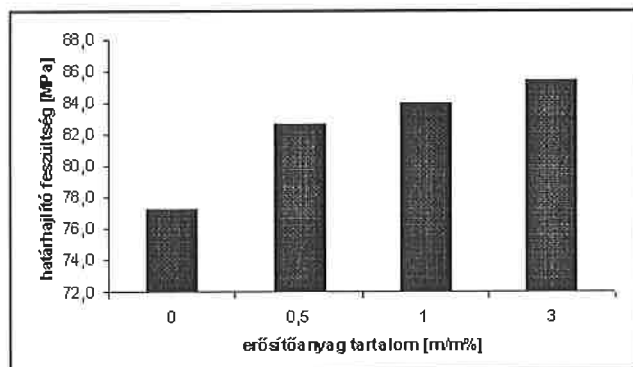
A hajlító rugalmassági modulus tekintetében az eredmények igen kedvezően alakultak (9. ábra). A 3%-os részecsketartalom esetén a



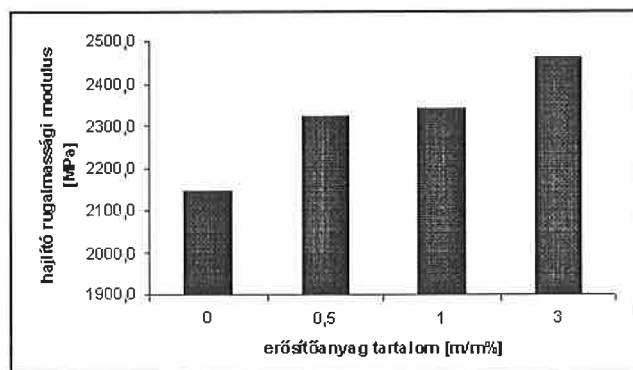
6. ábra. Szakítószilárdság az erősítőanyag tartalom függvényében



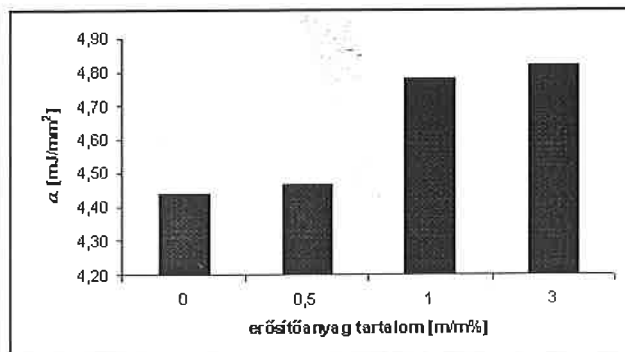
7. ábra. Húzó rugalmassági modulus az erősítőanyag tartalom függvényében



8. ábra. Határhajlító feszültség az erősítőanyag tartalom függvényében



9. ábra. Hajlító rugalmassági modulus az erősítőanyag tartalom függvényében



10. ábra. A fajlagos ütőszilárdság az erősítőanyag tartalom függvényében

javulás mértéke 15%. Ez a változás el is várható, annak tükrében, hogy mennyivel csökkent az anyag képlékeny alakváltozási képessége, amelyre főleg a szakadási nyúlás csökkenése utal.

A repedésterjedéssel szembeni ellenálló képesség, azaz a feszültség intenzitási tényező,  $K(Q)$ , az erősítőanyag tartalomtól függetlenül szűk értékhatárok között, gyakorlatilag állandó maradt:  $K(Q) = 3,1 - 3,2 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ .

A Charpy-féle fajlagos ütőszilárdság enyhe növekedését figyelhetjük meg a rétegszilikát tartalom növekedésével, (10. ábra), azaz az anyagok energiaelnyelő képessége kissé nőtt.

## Gazdaságossági elemzés

A kifejlesztett kompozitok alkalmazhatóságának vizsgálata céljából érdemes egy fajlagos ár / tulajdonság hányadoson alapuló gazdaságossági elemzés elvégzése is. Az elemzés természetesen csak tájékoztató jellegű lehet, hiszen az alapanyagok ára rendkívül nagy szórást mutat (1. táblázat). A kompozitok előállításának költségeinél nem vettük figyelembe azoknak a műveleteknek a költségeit, amelyek a viszonyítási alapként figyelembe vett üvegszál erősítésű PA6 mátrixú kompozitnál is fellelnek, ilyen például az extrúzió vagy a fröccsöntés.

1. táblázat. Különböző anyagok beszerzési árai (becsült adatok)

| anyag              | ~ Ft/kg |
|--------------------|---------|
| PA 6               | 400     |
| üvegszál           | 440     |
| montmorillonit     | 100     |
| dián-epoxi-akrilát | 2000    |
| acelon             | 500     |

Az alapmátrix kilónkénti ára: 400 Ft/kg az általunk készített kompozitnál, ami körülbelül megegyezik az üvegszál erősítés esetén alkalmazott PA 6 árával.

Egyéb kezelési költségek: Az elektron besugárzás ára: ~ 2 Ft/kg·kGy, így az elektronsugaras eljárással (acetonnal, dián-epoxi-akrilát, montmorillonit 1:1:1 arányú felhasználásával) felületkezelt montmorillonit (MMT) ára: 2800 Ft/kg

Az üvegszállal erősített PA 6 kompozitokban rendszerint 30% erősítőanyag van, ezért összehasonlítási alapként is ezt a kompozitot tekintettük.

A számítások eredményeit a 2. táblázatban foglaltuk össze.

2. táblázat. Különböző anyagok fajlagos ár/tulajdonság értékei

| anyag      | ár<br>Ft/kg | ár/ $R_m$<br>Ft/kg*MPa | ár/ $\sigma_h$<br>Ft/kg*MPa | ár/ $E_h$<br>Ft/kg*MPa | ár/ $\alpha$<br>Ft*m²/kg*kJ |
|------------|-------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| PA 6       | 400,0       | 5,59                   | 5,17                        | 0,187                  | 90,09                       |
| 0,5%MMT    | 412,0       | 5,50                   | 4,99                        | 0,178                  | 92,38                       |
| 1%MMT      | 424,0       | 5,66                   | 5,05                        | 0,181                  | 88,70                       |
| 3%MMT      | 472,0       | 7,84                   | 5,52                        | 0,192                  | 97,93                       |
| PA 6 GF 30 | 412,0       | 4,12                   | 3,58                        | 0,081                  | 51,50                       |

A 2. táblázatot alaposabban megvizsgálva láthatjuk, hogy az erősítőanyag jelenléte nem befolyásolta jelentős mértékben a kompozit árát. Ennek két oka van, az egyik, hogy az üvegszál erősítés esetén, az alapanyagok ára nagyon közel áll egymáshoz. Montmorillonit alkalmazása esetén olyan kicsi a kompozitban a részaránya (0,5-1,0 %), hogy az a kompozit árát nem befolyásolja jelentősen. Látható továbbá, hogy szinte minden erősített esetben kisebb a fajlagos ár/tulajdonság hányados, mint az alaplátrixé. Kivételt ez alól a 3%-os erősítőanyag tartalmú kompozit képez.

Az összes ár/tulajdonság hányados az üvegszál erősítésű anyagnál a legelőnyösebb, ezen túlmenően kiemelkedő értékeket mutat a 0,5% agyagásvány erősítőanyagot tartalmazó kompozit. Azonban azt is figyelembe kell venni, hogy az ömledékes, illetve az elektronkezeléses eljárás esetén a kis erősítőanyag arányának köszönhetően a sűrűség alig változik, míg 30% üvegszál jelenlétének 1,3-szoros sűrűsége növekedés tapasztalható. Ilyen irányú vizsgálatok ugyan nem történtek, de mind a gázzáró képesség, mind az energia elnyelő tulajdonságok tekintetében kedvezőbb eredmény várható a nanokompozitok esetében, mint szál-erősítés esetén. Összességében az eredmények azt mutatják, hogy elektronkezeléses eljárással továbbiakban is érdemes foglalkozni, a technológia fejlesztésével a műszaki mutatók és a fajlagos árak még kedvezőbben alakulhatnak.

## Összefoglalás

Elektronkezeléssel iniciált *in situ* polimerizációval dián-epoxi-akrilátot próbáltunk beépíteni montmorillonit rétegszilikátba, hogy így PA mátrixú nanokompozitot állítsunk elő. Az epoxi-akriláttal kezelt anyagot örlés után, extruder segítségével PA6 mátrixba vittük, majd próbatesteket fröccsöntöttünk. A szilárdsági vizsgálatokat 50%-os relatív páratartalom mellett végeztük el. A szakítószilárdság a 0,5 % montmorillonit tartalmú anyagnál 70 MPa-ról 75 MPa-ra nőtt, a húzó rugalmassági modulus 10%-kal növekedett, valamint az anyag üve hajlító tulajdonsága is kedvezően, enyhén javult. Bár a szilárdsági jellemzők nem minden esetben alakultak a várakozásoknak megfelelően, összességében elmondható, hogy elektronsugárzás alkalmazása járható útja lehet a nanokompozitok előállításának. Az eljárás továbbfejlesztésével, megfelelő anyagok kiválasztásával és a kezelés optimalizálásával jó esélyt látunk kedvező tulajdonságú, műszaki műanyagként alkalmazható nanokompozitok létrehozására.

## Irodalom

[1] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.  
 [2] Artinger I., Csikós G., Krállics Gy., Németh Á., Palotás B., Fémek és kerámiák technológiája, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.  
 [3] Lehoczki L., Nanokompozitok előállítása, szerkezete, éghetősége és alkalmazása, BME-OMIKK- Műanyagok alkalmazása, 2002/5, 25-33.  
 [4] Lehoczki L., Nanokompozitok I., Műanyag és Gumi, 2000. 37. évf. 8. szám, 257-260.  
 [5] S. Morlat-Therias, B. Mailhot, J. Gardette, C. Silva, B. Haidar, A. Vidal, Photooxidation of ethylene-propylene-diene/montmorillonite nanocomposites, Polymer Degradation and Stability 90, 2005, 78-85.

[6] Mauritz B., Vendl A., Asványtan II. kötet, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, 1942.  
 [7] E., Agyagásványok, Akadémiai kiadó, Budapest, 1973.  
 [8] X. A. Fu, S. Qutubuddin, Swelling behaviour of organoclays in styrene and exfoliation in nanocomposites, Journal of Colloid and Interface Science 283, 2005, 373-379.  
 [9] J. Jordan, K. I. Jacob, R. Tannenbaum, M. A. Sharaf, I. Jasiuk, Experimental trends in polymer nanocomposites - a review, Materials Science and Engineering 393, 2005, 1-11.  
 [10] P. Uthirakumar, M. K. Song, C. Nah, Y. S. Lee, Préparation and characterization of exfoliated polystyrene/clay nanocomposites using a cationic radical initiator-MMT hybrid, European Polymer Journal 41, 2005, 211-217.  
 [11] Dobó J., Gyakorlati sugárgémia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.  
 [12] R. J. Woods, A. K. Pikaev, Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing, Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1994  
 [13] A. J. Berejka, C. Eberle, Electron Beam Curing of Composites in North America, 12th International Meeting on Radiation Processing, Avignon, France, 2001.  
 [14] L. Fengmei, B. Jianwen, C. Xiangbao, B. Huaying, W. Huiliang, The Influence Factor of EB Curing Epoxi Matrix, 12th International Meeting on Radiation Processing, Avignon, France, 2001.  
 [15] C. Sanders, V. Lopata, W. Kremers, Electron Curing of Composite Structures for Space Applications, Executive summary, 1997.  
 [16] Czajlik I., Takács E., Czvikovszky T., Reactive Oligomers: The Key Compounds of The Next Years Radiation Chemical Technology, Radiat. Phys. Chem., 35, 64, 1990.  
 [17] Czajlik I., Takács E., Alpár T., Czvikovszky T., Advanced Materials Made by Radiation Processing, Radiat. Phys. Chem., 31, 639, 1988.  
 [18] J. J. Janke, R. E. Norris, K. Yarborough, S. J. Havens, V. J. Lopata, Critical Parameters for Electron Beam Curing of Cationic Epoxies and Property Comparison of Electron Beam Cured Cationic Epoxies Versus Thermal Cured Resins and Composites, EB curing Composites Workshop, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1996.  
 [19] J. Sharif, W. M. Z. W. Yunus, K. Z. H. M. Dahlan, M. H. Ahmad, Preparation and properties of radiation crosslinked natural rubber/clay nanocomposites, Polymer Testing, XX, 2004, 1-7.  
 [20] S. S. Ray, M. Bousmina, Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world, Progress in Materials Science 50, 2005, 962-1079.  
 [21] Czvikovszky T., Helyes L., Madai Gy., Energiatakarékos papírbevonási technikák UV-sugárzással és elektronkezeléssel, Papíripar, 6, 1983.  
 [22] V. P. Privalko, V. F. Shumsky, E. G. Privalko, V. M. Karaman, R. Walter, K. Friedrich, M. Q. Zhang, M. Z. Rong, Viscoelasticity and flow behaviour of irradiation grafted nano-inorganic particle filled polypropylene composites in the melt state, Journal of Materials Processing Technology 137, 2003, 208-213.  
 [23] Electrocurtain gépkönyv, Energy Science, Inc., Massachusetts, USA, 1988.

## MiniPal 4, a legújabb fejlesztésű EDXRF spektrométer

A mottó szerint: "Nem gyakran fordul elő, hogy a legkényelmesebb megoldás egyben a legjobb is" – de a MiniPal 4 készülékben a két tulajdonság párosul.

### A MiniPal 4 főbb jellemzői

Ismeretes, hogy a röntgenspektrometria különböző anyag típusok elemi összetételének meghatározására alkalmas technika. Más atomspektrometriai módszerrel összehasonlítva előnye a gyors, minimális előkészítéssel járó közvetlen mérés, amely széles dinamikus tartományon belül alkalmazható a periódusos rendszer legnagyobb részére. Az elérhető legalacsonyabb kimutatási határértékekre is pontos, reprodukálható mérési eredményez. A rendszer stabilitását tükrözi, hogy a kalibrációk hónapokig, illetve évekig is használhatók.

A PANalytical (korábbi nevén: Philips Analytical), folytatva fejlesztési sikereit a kompakt, energiadiszperzív röntgenspektrométer kategóriában, a nyár folyamán a MiniPal 4 típusjelű készülékkel rukkolt elő. Ez a formatervezett, korszerű felépítésű készülék (lásd a címdoldalon) az elérhető legjobb fizikai paraméterekkel rendelkezik. Emellett biztonságos, megbízható és könnyen üzemeltethető.

A MiniPal készülékkel mérhető tartomány a nátrium és urán közti elemeket öleli fel. A kis rendszámú elemek detektálhatóságának javításához hélium mérőközeget alkalmazhatunk, lehetővé téve ezzel különböző mintatípusok mérését (folyadék, paszta, laza és préselt por, szilárd tömb, film), amelyek közül több típus (laza por, folyadék) vákuumban nem lenne mérhető.

A készülék csőgerjesztésű. A röntgenszó kis teljesítményű, anódja Rh, Cr, illetve kivánságra más anyagú, és 4–30 kV feszültséggel, 1–1000  $\mu$ A árammal üzemeltethető. A két paraméter megfelelő párosításával érhető el a cső max. 9 W teljesítmény. Ez az érték azért is praktikus, mert vele a cső élettartama gyakorlatilag korlátlan, megfelelő használat esetén 20 év garántált. A kis teljesítmény miatt nincs szükség a röntgenszó hűtésére.

A gerjesztés optimalizálása érdekében hat, különböző minőségű szűrőt épített be a gyártó, amelyek, előválasztás szerint, a szoftver által pozícionálhatók. A gerjesztési és detektálási hatások – a rendkívül rövid optikai úthosszakkal és a szupervékony fóliák alkalmazásával – maximális értékű.

Az új fejlesztésű Si drift detektor valóban nagy felbontású (tipikusan 145 eV, de garantáltan kisebb, mint 160 eV @ 5,9 keV), a fizikailag elérhető legalacsonyabb értéket közelíti, és ez pillanatnyilag a piacon kapható legalacsonyabb érték. Hűtését 2 lépcsős Peltier elemmel oldották meg, kizárva ezzel a folyékony nitrogén szükségességét.

Az új, szilícium drift detektorral – az eddigiekhez képest – nagyobb beütésszám (maximálisan 90 000 cps) jobb felbontással mérhető. Ilyen jellemzőkkel a mérőrendszer alacsonyabb detektálási határérték elérésére képes a teljes analitikai tartományban.

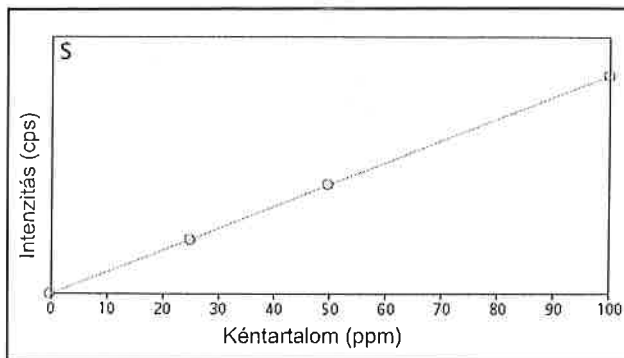
A rendszer alapkiépítésben tartalmaz egy, a szoftver által vezérelhető, 12 férőhelyes mintatartót. Ez módot ad arra, hogy az előre bekészített 12 azonos, vagy különböző mintát a kiválasztott analitikai szoftverrel automatikusan mérjük, azaz a berendezés automatikusan üzemeltethető. További előny a forgó mintatartó rendszer, amely lehetővé teszi az inhomogenitásból eredő hibák csökkentését (pl. pormintánál). A legújabb verziójú MiniPal szoftver alkalmazásával pedig egy sor további lehetőséget kap a felhasználó, pl. a minták egymáshoz való hasonlítása terén, tehát az új szoftver a korábbihoz képest növeli a mérőrendszer sokoldalú használhatóságát.

Mindezen fizikai tartalom mellett a berendezés tömege mindössze 28 kg, kis helyigényű, könnyen szállítható. Alkalmazható a laboratóriumban vagy a technológiai sorba telepítve, illetve terepen. A készülék nem esik az atomtörvény hatálya alá, tehát semmi akadálya sincs a készülék szabad áthelyezésnek és használatnak.

Az új szoftver használata, a készülék működtetése nem igényel szakképzett kezelőszemélyt, ugyanakkor a rendszergazdaként bejelentkező szakember a mérőrendszer adta lehetőségeket teljesen kihasználhatja.

### Széles körű alkalmazhatóság

A MEASURE gomb megnyomásával a MiniPal 4 a minta roncsolásmentesen, elemanalízisét végez. Az XRF technika egyik lehetősége a minőségi felvétel készítése, mely a MiniPal 4 esetén a nátrium és az urán közötti elemtartományban szimultán. Adott elemre elvégzett kalibráció felvétele után további lehetőség, hogy 100% koncentrációtól a ppm szintekig terjedően mennyiségi információt szolgáltasson. Ennek eredményeképpen a MiniPal 4 rendkívül változatos ipari és környezetvédelmi feladatok ellátására alkalmas, többek között az ásványbányászat, a petrokémia, a műanyag-, a

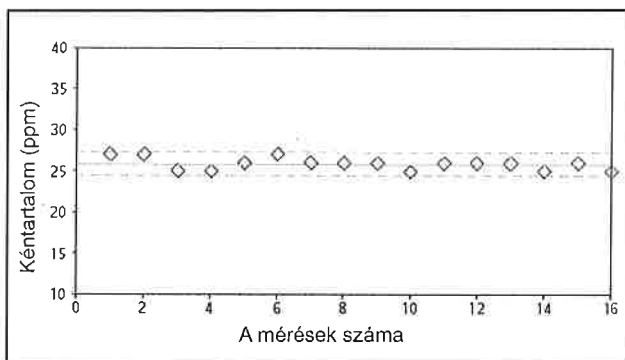


1. ábra. Kénelemzés kalibrációja ásványolajhoz

szilikát-, az élelmiszer-, a gyógyszer-, vagy a kozmetikaipar alapanyagainak és termékeinek, illetve a környezeti minták elemzésével. Ideális a használata minden műveleti területen, a bejövő és az újrahasznosított anyagok ellenőrzésétől a technológiai soron a minőség-ellenőrzésig, vagy az ismeretlen minta azonosításáig, korrelálva az ipari szabványokkal (RoHS, WEEE, ELV és mások).

A MiniPal 4 pontos és reprodukálható eredményeket szolgáltat a teljes analitikai tartományban. Eredményt a főkomponensekből és egészen alsó ppm tartományok detektálásából is nyerhetünk.

Például, ásványolajban a kén detektálási határa 1 ppm alatti, amint ez a 300 s mérési idővel felvett kalibrációs diagramból is kiolvasható (1. ábra). Az alacsony,  $0 \leq S \leq 100$  ppm tartományban a kénelemzés szórása  $\pm 0,11$  ppm. Ugyanakkor az ismételtetés, a mérőrendszer stabilitása kiváló. A 2. ábra tanúsága szerint, a négy nap alatt 16-szor megismételt kénelemzés 26 ppm átlagértéke körüli teljes szórás  $\pm 1,5$  ppm.



2. ábra. A kénelemzés ismételtetése négy nap alatt elvégzett mérések alapján

A rendszer pontosságára jellemző példát mutat az 1. táblázat, amelyben egy kenőolaj matrixban különböző, de 1 % (m/m)-nél kisebb koncentrációkban előforduló adalék- és szennyező elemek elemzési szórásait foglaltuk össze.

1. táblázat. Az elemzés pontossága kenőolajban

| Elem | Konc. tartomány %(m/m) | Elemzési szórás %(m/m) |
|------|------------------------|------------------------|
| Ba   | 0 – 0,175              | 0,0018                 |
| Ca   | 0 – 0,403              | 0,0073                 |
| Cu   | 0 – 0,040              | 0,0004                 |
| Mg   | 0 – 0,141              | 0,0067                 |
| P    | 0 – 0,201              | 0,0045                 |
| S    | 0 – 1,002              | 0,0103                 |
| Zn   | 0 – 0,202              | 0,0024                 |

A bemutatott példák is igazolják, hogy mint minden PANalytical rendszer, a MiniPal 4 is felülmúlja a releváns nemzetközi szabványok, mint az ASTM, az ISO, az EN és az ezekre alapozott MSZ vagy DIN szabványok elvárásait.

Joó Katalin  
Atestor Kft.

# Falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározása turbidimetriás módszerrel

Margitai Zita\* – Braun Mihály\*

## Bevezetés

A városok levegője jelentős mennyiségű port tartalmaz (pl. Budapesten minden km<sup>2</sup>-re évente átlagosan 130 t por ülepedik le) [1]. A porral szennyezett területeken a fák igen fontos környezetvédelmi szerepet töltenek be, mert a faleveleken mind az ülepedő, mind a szálló por képes csapdázódni. Egy kifejlett utcai fa 60-80 %-kal csökkentheti a levegő portartalmát, ezért fás területeken érezhetően tisztább a levegő. A fák porszűrésének higiéniai szempontból is nagy a jelentősége. A szállópor ugyanis toxikus és allergén komponenseket is tartalmaz (nehézfémeket, benzpirént, kórokozó baktériumokat, pollent stb.). A fák és cserjék porszűrésének mértéke függ a fajuktól, fejlettségi állapotuktól, a levelek morfológiájától és felületétől. A szél a fák koronájában lelassul, és a por lerakódik. A por egy részét egy erősebb eső lemossa, és ez a lefolyó csapadékkal a talajba, illetve a csatornába kerül. A tisztára mosott levél ismét képes a por megkötésére. A levelekben felhalmozódott elemek az őszi avarral a nagyvárosi környezetből rendszeresen eltávolíthatók, így meggátolható, illetve csökkenthető a toxikus elemek feldúsulása a parkok, zöldterületek talajában [2].

A falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározásához ismert felületű mintáról kell eltávolítani és összegyűjteni a lerakódott anyagot. Bizonyos esetekben a levél felületéről nagy nyomású gázzal (sűrített levegő, argon) fújják le a megapadt anyagokat, és a gázáram útjában elhelyezett szűrőn gyűjtik össze az elemzésre kerülő mintát. Szerves oldószerek (acetone, etanol stb.) is használhatók a por lemosásához. Bár ezek a módszerek felszabadítják a levél felületét borító viaszban erősen megapadt szemcséket is, hátrányuk, hogy a növényi színanyagokat kioldják, és a sejteket erőteljesen roncsolják. A szűrésnél fontos a megfelelő (oldószereknek ellenálló) membrán használata. A desztillált vizes lemosás az előbbieknél olcsóbb és környezetkímélőbb megoldás, ultrahangos rázatással kombinálva a felületre tapadt szemcsék jelentős részét eltávolítja. A lemosásos technikáknál szűréssel, ülepítéssel, centrifugálással, vagy bepárlással nyerik vissza az elemzésre kerülő port.

A falevelekre tapadt por mennyiségének mérésére alapozva ki lehet dolgozni egy olcsó és gyors biomonitoring rendszert, mellyel a vegetációs időszakban vizsgálható a városok portterhelése. Biomonitoring vizsgálatoknál a meghatározások bizonytalansága nagy, ezért csak akkor számíthatunk reprezentatív eredményre, ha megfelelően nagyszámú mintát dolgozunk fel. A por begyűjtésére használt technikák mindegyike időigényes és költséges.

Tanulmányunkban egy egyszerű, olcsó és gyors turbidimetriás módszerre teszünk javaslatot, mellyel kidolgozható és optimálható a falevelek vizsgálatán alapuló, környezeti állapotot mérő rendszer.

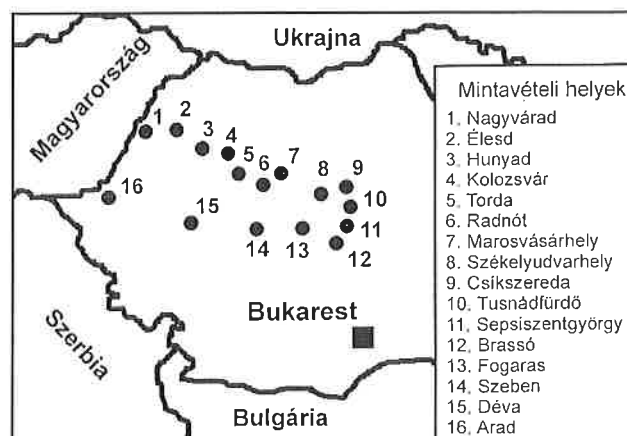
## Anyag és módszer

### Mintavétel

A vizsgálathoz 16 romániai települést választottunk mintavételi helynek (1. ábra). Három hársfajról (*Tilia tomentosa*, *T. platyphyllos* és *T. cordata*) gyűjtöttünk mintákat 2004. augusztus 20.–23. között. Minden városban 10 fáról vettünk mintát. A fákról 150-200 cm magasságban szedtünk 25-30 db levelet. Az egy fáról gyűjtött minta teljes felülete 10-12 dm<sup>2</sup> közé esett. A levelek felületét szkennelrel határoztuk meg. A port desztillált vízzel mostuk le (mechanikus rázatással). Az így kapott szuszpenziót 150 µm-es műanyag szitán szűrjük, majd bepároltuk és meghatároztuk a maradék tömegét [3].

### Turbidimetriás mérések

A német nyelvű irodalomban a szórt fény és a zavarosság mérését egyformán nefelometriának nevezik, az angolszász irodalomban különbséget tesznek a nefelometria (vagy tindallometria) és a turbidimetria kö-



1. ábra. Mintavételi helyek

zött. Nefelometriánál a folyadékba bizonyos szögben beeső primer fény-sugár nyomán fellépő szórt fény intenzitását méri, turbidimetriánál pedig az oldaton áthaladt fény intenzitásának csökkenését. Míg a nefelometriás mérésekhez speciális készülékek szükségesek, addig a turbidimetriás mérések a közönséges spektrofotométerekkel is elvégezhetők [4].

Méréseinkhez *Avantes gyártmányú, száloptikás spektrofotométert használtunk*. A készülék felépítése jelentősen eltér a hagyományos spektrofotométerekétől. A rendelkezésre álló fényforrásokból, optikai kábelekből, spektrométerekből és szondákból a célnak megfelelő mérőrendszer állítható össze.

Az AvaSpec-2048 spektrofotométer 75 mm-es fókusztávolságú szimmetrikus Czerny–Turner-típusú polikromátorral készült. A fény optikai kábelben keresztül jut a spektrométerbe. A belépőrés 10 és 500 µm között választható, és 14 féle optikai rács rendelhető. Az általunk használt készülék felbontása 0,2-0,3 nm (belépőrés 25 µm, rács 1200 vonal/mm). A rács által felbontott fény egy 2048 pixelből álló CCD detektorra kerül (a pixelek mérete 14x56 µm). A spektrumokat 300-700 nm között vettük fel, 400 ms integrálási idővel.

Deuterium-halogen kombinált fényforrást alkalmaztunk (AvaLight-DHS). A fényforrásból a fény optikai szálon keresztül jut a mérőszondába. A fény áthalad az oldaton, majd egy fehér lapról reflektálódik, újra keresztülhalad a mintán és a száloptikán át a spektrofotométerbe kerül. Eltérés a hagyományos technikától az, hogy nem használunk küvetát, a szonda belemerül a mintaoldatba. A mérés folyamatos keverés mellett, főzőpohárban, lombikban is elvégezhető. A mintán polikromatikus és nem monokromatikus fény halad keresztül. A fényút a szonda alján lévő reflektáló felület és a száloptika vége közötti távolság kétszerese.

### Statisztikai elemzés

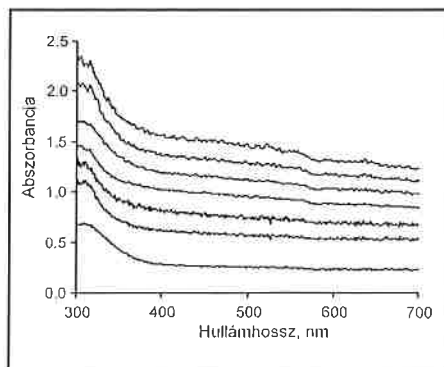
A statisztikai számításokhoz SPSS/PC+ programcsomagot használtunk. A főkomponens analízishez (*Principal Component Analysis*) a számításokat korrelációs mátrixból végeztük. Az egynél nagyobb sajátértékű főkomponenseket vettük figyelembe. Varimax rotációt alkalmaztunk.

## Eredmények és értékelésük

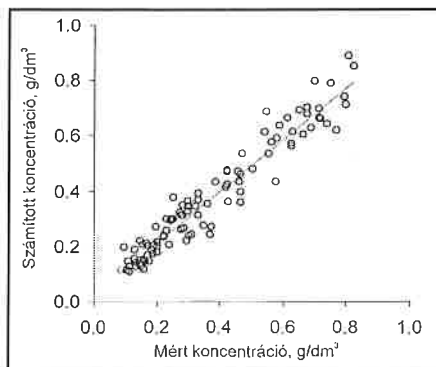
Miközben a fény a különböző méretű szemcséket tartalmazó szuszpenzió halad át, intenzitása a szemcsék fényszórása miatt csökken. Ez látszólagos abszorbanciaként jelentkezik. Összetételüktől függően a szuszpenziót alkotó szemcséknek is lehet saját fényelnyelésük.

A spektrumok több tényező hatását foglalják magukba. Főkomponens analízissel a nagyszámú, egymással korreláló változót kevesebb, egymástól független változóvá transzformáljuk. Összesen 160 minta spektrumát vettük fel. A spektrofotométer a 200–740 nm közötti tarto-

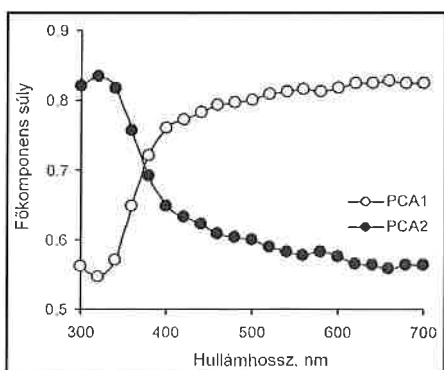
\* Debreceni Egyetem, Szervellen és Analitikai Kémiai Tanszék 4010 Debrecen, Pf. 21.



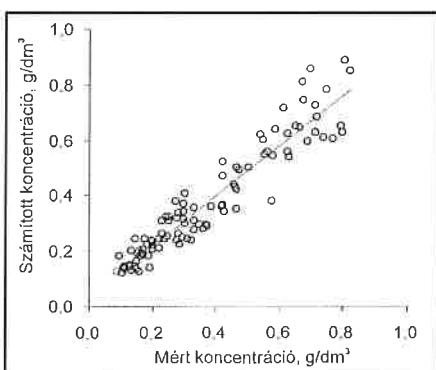
2. ábra. A falevelekről lemosott port tartalmazó szuszpenziók spektruma



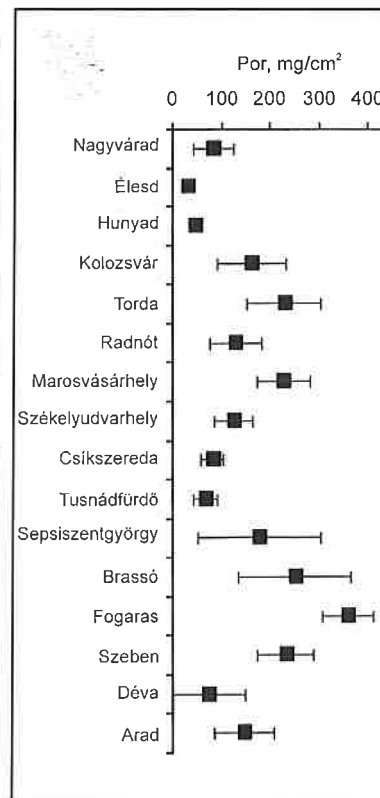
4. ábra. A 380-700 nm közötti abszorbanciák alapján illesztett modell



3. ábra. Főkomponens súlyok a hullámhossz függvényében



5. ábra. A 300-360 nm közötti abszorbanciák alapján illesztett modell



6. ábra. A falevelekre tapadt por mennyisége erdélyi városokban

mányban 2048 adatot rögzített. Ez kezelhetetlenül nagy adatállomány, ezért csak a 300–700 nm között, 20 nm-ként kiolvasott turbiditás (abszorbancia) adatokat kezeltük változóként. A 200–300 nm között a nagyobb koncentrációjú minták abszorbanciája 2 fölé volt, ezért ezt a tartományt nem használtuk. A spektrumok jelentős hasonlóságot mutattak (2. ábra). Ezt jelzi, hogy az első főkomponens a variancia 98,1%-át foglalta magába. A második főkomponensben szereplő változók (hullámhosszak) kisebb jelentőségűek, a variancia 1,6%-át magyarázzák.

A főkomponens-súlyokat a hullámhossz függvényében ábrázolva láthatjuk (3. ábra), hogy az első főkomponensbe a 380–700 nm közötti hullámhosszak kerültek, a másodikba pedig a 300–380 nm közöttiek. Feltételezzük, hogy az első főkomponensben a szuszpenziót alkotó szemcsék fényszórása, a második főkomponensben pedig a szemcsék fényelnyelése jelenik meg háttérváltozóként.

A falevelekről lemosott port tartalmazó szuszpenziók koncentrációját bepárlással határoztuk meg. A por koncentrációja 0,1-1 g/dm<sup>3</sup> között változott (a levelek szennyezettségétől függően). Az első főkomponens szorosabban korrelált ( $r = 0,730$ ) a szuszpenzióban lévő por mennyiségével, mint a második főkomponens ( $r = 0,616$ ). Eszerint a spektrum 380–700 nm közötti tartománya alapján jobb mennyiségi összefüggés várható a koncentráció és a turbiditás között, mint a 300–360 nm közötti spektrum részlet alapján.

A egyes hullámhosszakon mért látszólagos abszorbancia és a szuszpenzió koncentrációja között többváltozós lineáris regressziós kapcsolatot kerestünk. A következő modellt használtuk:

$$C = a_1\lambda_1 + a_2\lambda_2 + \dots + a_i\lambda_i + B$$

ahol  $C$  a szuszpenzió koncentrációja (g/dm<sup>3</sup>),  $\lambda$ , az adott hullámhosszon mért turbiditása (látszólagos abszorbanciája). Az  $a_i$  együtthatókat és  $B$  konstansokat meghatároztuk a 300–360 nm valamint a 380–700 nm közötti spektrumrészlet alapján (1. és 2. táblázat). A 380–700 nm közötti abszorbanciák alapján illesztett egyenes regressziós egyenese 0,965, a 300–360 nm közötti adatok esetében pedig 0,950 volt. A főkomponens analízis eredményeivel összhangban a 380–700 nm között jobb összefüggést találtunk a koncentráció és az abszorbancia között (4. és 5. ábra). Ennek a jelentősége az, hogy a spektrum látható tartományát hasznosító készülékek és fényforrások egyszerűbbek (kisebb költséggel beszerezhetők) és terepi körülmények között is használhatók.

A meghatározásokhoz nem szükséges standardot használni. Elegendő, ha a vizsgált minták közül kiválasztunk néhány, a koncentráció tartományt reprezentáló szuszpenziót, és bepárlással meghatározzuk a por pontos mennyiségét. Ezek alapján a regressziós egyenest illeszthetjük.

A falevelek felületére tapadt por mennyiségét felületegységre vonatkoztatva határozzuk meg. A vizsgált városok közül Kolozsvár, Torda, Marosvásárhely, Brassó, Fogaras és Szeben esetében tapasztaltunk jelentős (200-400 mg/cm<sup>2</sup>) szennyezettséget (6. ábra).

## Összefoglalás

A falevelekre rakódott por mennyiségének meghatározására dolgoztunk ki turbidimetriás módszert. A levelek felületére tapadt port mechanikus ráztatással, vízzel mostuk le. Az így kapott szuszpenziók spektruma alapján szoros korrelációt mutatunk ki a látszólagos abszorbancia (turbiditás) és a szuszpenzió koncentrációja között. A spektrumból az abszorbancia koncentrációja sokváltozós regresszióval meghatározható. A gyors, egyszerű és terepi munkára is alkalmas technika lehetővé teszi a széles körű biomonitoring vizsgálatokat.

## Irodalom

- Bernatzky, A.: Le rôle des arbres dans la ville (in L'Écosystème urbain, Colloque Internat. Organisé par l'agglomération de Bruxelles, 14 et 15 septembre 1974), Bruxelles.79-84.
- Kovács M.: A nagyvárosok környezete Gondolat Kiadó, Budapest, 1985, 1-86
- Margitai Z., Braun M.: Magyar Kémiai Folyóirat, 2005, 111: 38-41.
- Crawley, G., Counil, M., Di Benedetto, D.: Powder Technology, 1997, 91: 197-208.

1. táblázat. Az illesztett egyenes egyenesei. ( $r = 0,965$ )

| $\lambda$ (nm) | $a_i$  |
|----------------|--------|
| 380            | 0.045  |
| 400            | 1.254  |
| 440            | -1.205 |
| 460            | -0.172 |
| 500            | -0.332 |
| 520            | -0.761 |
| 540            | 1.457  |
| 560            | -1.869 |
| 580            | -0.139 |
| 600            | 1.787  |
| 620            | -0.714 |
| 640            | -0.267 |
| 660            | 0.574  |
| 680            | 0.801  |
| 700            | 0.042  |
| B              | 0.005  |

2. táblázat. Az illesztett egyenes egyenesei. ( $r = 0,950$ )

| $\lambda$ (nm) | $a_i$  |
|----------------|--------|
| 300            | 0.296  |
| 320            | -0.225 |
| 340            | -0.348 |
| 360            | 0.606  |
| B              | 0.000  |

## Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2005/7.-10. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

### 01 Általános előírások. Terminológia.

– MSZ EN 1330-7:2005; Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalom-meghatározások. 7. rész: A mágnesezhető poros vizsgálatban használt fogalmak.

### 03 Szolgáltatások. Vállalatszervezés, irányítás, minőség.

– MSZ EN 60300-3-1:2005; Megbízhatóság-irányítás. 3-1. rész: Alkalmazási útmutató. A megbízhatóság elemzési módszere. Módszertani útmutató.

– MSZ EN 60300-3-2:2005; Megbízhatóság-irányítás. 3-2. rész: Alkalmazási útmutató. Megbízhatósági adatok gyűjtése üzemi feltételek mellett.

### 13 Környezet. Egészségvédelem. Biztonság

– MSZ EN 14211:2005; A környezeti levegő minősége. A nitrogén-dioxid és a nitrogén-monoxid koncentrációjának mérése szabványos kemilumineszcenciás módszerrel.

– MSZ EN 14212:2005; A környezeti levegő minősége. A kén-dioxid koncentrációjának mérése szabványos ultraibolya-fluoreszcenciás módszerrel.

– MSZ EN 14625:2005; A környezeti levegő minősége. Az ózon koncentrációjának mérése szabványos ultraibolya-fotometriás módszerrel

– MSZ EN 14626:2005; A környezeti levegő minősége. A szén-monoxid koncentrációjának mérése szabványos nem-diszperzív, infravörös-spektrometriás módszerrel.

### 19 Vizsgálati módszerek

– MSZ EN 13925-3:2005; Roncsolásmentes vizsgálat. Röntgendiffrakciós polikristályos és amorf anyag esetén. 3. rész: Berendezések.

### 23 Általános rendeltetésű hidraulikus és pneumatikus rendszerek és egységek

– MSZ EN ISO 2505:2005; Hőre lágyuló műanyag csövek. Hosszváltozás. Vizsgálati módszer és paraméterek.

### 25 Gyártástechnika

– MSZ EN ISO 17641-2:2005; Fémekek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Hegesztett alkatrészek melegrepedés-vizsgálata. Ívhegesztési eljárások. 2. rész: Akadályozott zsugorodású próbatest vizsgálata.

– MSZ EN ISO 17642-2-3:2005; Fémekek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Hegesztett alkatrészek hidegrepedés-vizsgálata. Ívhegesztési eljárások. 2. rész: Akadályozott zsugorodású próbatest vizsgálata. 3. rész: Külső terhelésű próbatest vizsgálata.

– MSZ EN 14728:2005; Hiányosságok a hőre lágyuló műanyag varratokban. Osztályozás.

### 59 Textil- és bőrripar

– MSZ EN ISO 13426-2:2005; Geotextíliák és rokontermékek. A belső szerkezeti kötések szilárdsága. 2. rész: Geokompozitok.

– MSZ EN ISO 9163:2005; Üvegszövetek. Előfonatok. Próbadarabok előállítására és az impregnált előfonatok szakítószilárdságának meghatározása.

### 77 Kohászat

– MSZ EN 10328:2005; Vas és acél. Az elfogadott kéregvastagság meghatározása felületi edzés után.

– MSZ EN ISO 7539-7:2005; Fémekek és ötvözetek korróziója. Feszültségkorróziós vizsgálat. 7. rész: Vizsgálat kis alakváltozási sebességgel.

### 83 Gumi- és műanyagipar

– MSZ EN ISO 1133:2005; Műanyagok. Hőre lágyuló műanyagok tömegre (MFR) és térfogatra (MVR) vonatkoztatott folyási mutatószámának meghatározása.

– MSZ EN 14447:2005; Szálerősítésű műanyagok. Üveghálóval erősített, hőre lágyuló műanyag (GMT). A folyóképeség és a megkeményedés meghatározása.

– MSZ EN 14598-1-3:2005; Erősített, hőre keményedő műanyag kom-

paundok. SMC- és BMC-kompaundok műszaki követelménye. 1. rész: Megnevezés. 2. rész: Vizsgálati módszerek és általános követelmények. 3. rész: Specifikus követelmények.

– MSZ EN 14292:2005; Ragasztóanyagok. Faragászó anyagok. A statikus ellenállás meghatározása növekvő hőmérséklet mellett.

– MSZ EN ISO 9311:2005; Ragasztóanyagok hőre lágyuló műanyag csővezetékrendszerekhez. 3. rész: A belső nyomással szembeni ellenállás meghatározásának vizsgálati módszerei.

– MSZ EN ISO 11339:2005; Ragasztóanyagok. A rugalmastól rugalmashoz kötött együttesek T-lefejtési vizsgálata.

– MSZ EN ISO 11343:2005; Ragasztóanyagok. A nagy erősségű ragasztott kötések szétválással szembeni dinamikus ellenállásának meghatározása ütessel. Ütve hasító módszer.

### 87 Festék- és színezékipar

– MSZ EN ISO 9514:2005; Festékek és lakkok. A sokkomponensű bevonatrendszerek felhasználhatósági időtartamának meghatározása. A minták készítése és kondicionálása, vizsgálati irányelvek.

– MSZ EN ISO 16805:2005; Festékek és lakkok kötőanyagai. Az üvegesedési hőmérséklet meghatározása.

### 91 Építőanyagok és építés

– MSZ EN 1052-5:2005; Falazatok vizsgálati módszerei. 5. rész: A kötési szilárdság meghatározása hajlító-húzó módszerrel.

– MSZ EN 196-1-3:2005; Cementvizsgálati módszerek. 1. rész: A szilárdság meghatározása. 2. rész: A cement kémiai elemzése. 3. rész: A kötési idő és a térfogat-állandóság meghatározása.

– MSZ EN 14580:2005; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A statikus rugalmassági modulus meghatározása.

– MSZ EN 14617:2005; Műkövek. Vizsgálati módszerek. A testsűrűség és a vízfelvétel (1. rész), a kopásállóság (4. rész), a fagyállóság (5. rész), a hőlékésállóság (6. rész), az ütésállóság (9. rész), a kémiai ellenállás (10. rész), a lineáris hőtágulási együttható (11. rész), a mérettartósság (12. rész), a fajlagos elektromos ellenállás (13. rész), a nyomószilárdság (15. rész), és a vékony kőlapok méreteinek, geometriai jellemzőinek és felületminőségének (16. rész) meghatározása.

– MSZ EN 14651:2005; Fémszálalás beton vizsgálati módszere. A hajlító-húzó szilárdság mérése (arányossági határ (POP), maradó hajlító-húzó szilárdság).

## Új CEN-szabványok (szerkesztőségünk címfordításai)

– ISO/TR 17641-3:2005; Hegesztett fémkötések roncsolásos vizsgálata. Hegesztett alkatrészek melegrepedés-vizsgálata. Ívhegesztési eljárások. 3. rész: Külső terhelésű próbatest vizsgálata.

– EN 1892:2005; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai növelt hőmérsékleten inert atmoszférában. A húzási tulajdonságok meghatározása.

– EN 1893:2005; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai növelt hőmérsékleten levegőben atmoszférikus nyomáson. A húzási tulajdonságok meghatározása.

– EN 12289:2005; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai környezeti hőmérsékleten. Síkbeli nyírási tulajdonságok meghatározása.

– EN 1894:2005; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai növelt hőmérsékleten inert atmoszférában. A nyírási szilárdság meghatározása bemetszett próbatest nyomó terhelésével.

– EN 12290:2005; Korszerű műszaki kerámiák. Kerámia kompozitok mechanikai tulajdonságai növelt hőmérsékleten inert atmoszférában. A tulajdonságok meghatározása nyomással.

– EN 843-3-4:2005; Korszerű műszaki kerámiák. Monolitikkerámiák mechanikai tulajdonságai szobahőmérsékleten. 3. rész: A szubkritikus repedés növekedési jellemzőinek meghatározása állandó terhelési sebességgel végzett hajlítóvizsgálattal. 4. rész: A Vickers-, Knopp- és Rockwell-féle felszíni keménység.

Folytatás a 130. oldalon

## A SZÉN A 21. SZÁZAD ANYAGA LESZ

Erről ír a The Japan Journal 2005. áprilisi számában közölt cikkében – a Nobel-díjas Harold Kroto mondására hivatkozva – Endo Morinobu professzor. És valóban, ha meggondoljuk a szén különböző módosulatainak a tudomány és a technika fejlődésében évszázadok óta betöltött szerepét: a 16. században, a jó minőségű grafitból készült első ceruza íráskultúránkra gyakorolt hatásától az Edison szénzásal izzólámpáján át az 1960-as években az űrkorszak nyitányként az űrjárművekhez már használatba vett szénzásal erősítésű polimer kompozitokig, akkor igazat kell adnunk a jóslásnak. Már csak azért is, mivel napjainkban a változatos szerkezetű és tulajdonságú nanoszén képződmények: a fullerének, a szén nanoszálak és nanocsövek ígéretes alkalmazási lehetőségeket kínálnak többek között az energetika, az űrkutatás a biotechnológia, a sport, a környezetvédelem és nem utolsósorban az informatika technológia területén.

A szén nanocsövek (CNT) széles körű alkalmazhatósága tulajdonságaiban rejlik. Ugyanis a szén általában törekeny, de a hexagonális szerkezetű CNT szilárd és hajlékony, kiváló a hő- és villamos vezetőképessége, kémiai stabil. Szerkezetének irányítottságát kihasználva elkészített egyrétegű nanocső vagy villamosan vezető vagy félvezető, azaz tranzistor készíthető belőle, éppen úgy, mint a célirányosan mikroötöltött szilíciumból, csak éppen annál nagyobb fajlagos sűrűségűt, azaz nagyobb sebességgel működőt!

Napjaink kutatása arra irányul, hogy egyrészt nagy tömegben, gazdaságosan és egyenletes minőségben előállíthatók legyenek ezek a csövecskék. A vákuumban villamos kisüléssel vagy lézeres porlasztással történő előállítás mellett az ún. kémiai páraakondenzációs eljárás fejlesztése ígéretes. Megállapították, hogy szénhidrogének (metán, benzol) 1000°C-os termikus bomlásának eredményeként, a hidrogénárammal katalizátorként áramoltatott vaspor jelenlétében, a korábbinál nagyobb mennyiségben keletkezik CNT, amelynek mérete az influenza vírusénak 1/20-a, átmérője 10 – 100 nm, és egy-, két- vagy többretegű a csövecskék fala.

Másrészt, a kutatások célja a CNT alkalmazásának kiterjesztése. Az első jelentős siker a tölthető lítiumion elemek élettartamának jelentős növeléséhez fűződik. A korábbi megoldású elemekben a lítiumion-tartalmú anyagot grafitrétegek között tárolták, amelyben a garfitlemezek azért károsodtak, mert az elem kisütése, illetve töltése közben a lemezek ismételtlen összehúzódtak, illetve kitágultak. Ezért átlagosan 30–40-szer lehetett tölteni ezeket az elemeket. Ám a grafitlemezeket többretegű falú nanocsövekre cserélve az elemek átlagos tölthetősége 700-ra emelkedett. Japánban, napjainkban 900 millió darabot gyártanak évente

ezebből az elemekből. Így például a mobiltelefonokban csak ötvenként kell elemet cserélni!

A CNT kedvező mechanikai jellemzőit műanyag kompozitként hasznosítva, például autóalkatrészek (csillapítók, lökhárítók) gyártásához azért is beváltak, mert a CNT villamosan vezetővé teszi a műanyagot és ezért – a más erősítésű kompozitokkal ellentétben – az alkatrészek, az acélelemekhez általánosan alkalmazott elektrosztatikus eljárással is jól festhetőkké váltak. A közeljövőben gyártani kezdik az autók szélvédő üvegét CNT-vel erősített tiszta gyantából. Általában az autók tömegének csökkentésével nemcsak az üzemanyag-fogyasztásuk, hanem a károsanyag-kibocsátásuk is csökken. Ezt segítheti a hibrid hajtású autók elterjedéséhez kapcsolódó kutatások is, amelyek a hatékonyabb energiátárolású akkumulátorok kifejlesztésére irányulnak felhasználva a rétegezett falú CNT kedvező tulajdonságait csökkentve az ólom- és más nehézfém-felhasználást.

A Shinsu Egyetem, szerző által vezetett villamosmérnöki tanszéke, magáncégekkal együttműködve, CNT-vel erősített gyantából miniatűr gépelemeket (órákhoz, robotokhoz), például 0,2 mm átmérőjű fogaskereket készített.

A közeljövőben jelentős eredmények várhatók a CNT elektronikai alkalmazása terén végzett kutatásoktól is, elsősorban a szilícium-bázisúnál nagyobb tranzistor-sűrűségű elektronikai elemek, vagy az üveghozóra rétegezt, elektronforrásként fényt kibocsátó ernyők, színszűrők gyártásától.

## NEDVESSÉGRE ÉRZÉKENY MÁGNES

A Tokiói Egyetem munkatársai új, nedvességre érzékeny anyagot fejlesztettek ki, olvashatjuk a kutatás vezetőjével, Ohkoshi Shin-ichi docenssel készített riportban, a The Japan Journal 2005. áprilisi számában.

Az új, nano-pórusos mágnesezhető anyagnak, például a  $\text{Co}[\text{Cr}^{\text{III}}(\text{CN})_6]_{2/3} \cdot 4,8\text{H}_2\text{O}$  anyagnak – 756 A/m (10 Oe) erősségű külső mágneses térben vizsgálva – a mágneses telítettsége a környezet nedvességtartalmától függő hőmérsékleten határozottan megváltozik azáltal, hogy a pórusain keresztül az anyag rácsszerkezetébe hatoló nedvesség hidat képez a Co atomokkal és megváltoztatja azoknak a mágneses spinjét, és a Co és Cr atomok közötti kölcsönhatás révén az anyag paramágnesesről ferromágnesesre változik. A példaként említett anyagnál, ez a változás, ha a környezet relatív nedvességtartama, RH = 80%, akkor 27 K hőmérsékleten, míg ha RH = 3%, akkor 22 K-en következnek be és egyidejűleg az anyag színe rózsaszínről bíborra változik. A változás reverzibilis. A kutatók azt remélik, hogy találnak olyan anyagot, amelynél ez a jelenség környezeti hőmérsékleteken is végbe megy, és így egy új mágneses nedvesség-érzékelőt fejleszhetnek ki.

Folytatás a 129. oldalról

- CWA 15261-1-3:2005; Fémek anyagok mechanikai tulajdonságainak mérési bizonytalanságai. 1. rész: A kisciklusú fárasztó vizsgálat bizonytalanságainak értékelése. 2. rész: A szakítóvizsgálat bizonytalanságainak értékelése. 3. rész: A kúszásvizsgálat bizonytalanságainak értékelése.
- EN ISO/TS 21432:2005; Roncsolásmentes vizsgálat. Elfogadott vizsgálati módszerek a maradó feszültség meghatározására neutron-diffrakcióval.
- EN ISO 21968:2005; Fémek vagy nemfémek alapanyagon lévő nemmágnesezhető bevonatok. A bevonat vastagságának mérése. Fázis-érzékeny örvényáramos módszer.
- EN 14784-1-2:2005; Roncsolásmentes vizsgálat. Ipari számítógépesített radiográfia tárolás, foszforos képkalkáló lemezzel. 1. rész: A rendszerek osztályozása. 2. rész: Fémek anyagok röntgen- és gamma-sugaras vizsgálatának általános elvei.
- CEN/TS 15053:2005; Roncsolásmentes vizsgálat. Ajánlások a különféle folytonossági hiányok vizsgálatához.
- EN 14721:2005; Fémzásal beton vizsgálati módszere. A száltartalom mérése a friss és a megszilárdult betonban.

– EN ISO 12737:2005; Fémek. A törési szívósság meghatározása sik alakváltozáskor.

**Új ISO-szabványok**, amelyek 2005. január 4-e és 2005. június 21-e között jelentek meg. (Az ISO Bulletin alapján készül tájékoztató címfordítások.)

- ISO/TR 22971:2005; Mérési módszerek és eredmények pontossága (valódiság és precizitás). Gyakorlati útmutató az ISO 5725-2:1994 alkalmazásához a tervezésben, a bevezetésben és a statisztikai elemzések laboratóriumok közötti eredményeinek megismételhetőségében és reprodukálhatóságában.
- ISO/TS 18173:2005; Roncsolásmentes vizsgálatok. Általános szakki-fejezések és meghatározások.
- ISO 10019:2005; Irányelvek a minőségirányítási rendszer tanácsadóinak kiválasztásához és szolgáltatásai igénybevételéhez.
- ISO 1268-10-11:2005; Szálerősítésű műanyagok. Vizsgálati lemezek készítésének módszerei. BMC és más hosszú szálak, öntött összetevők fröccsöntése. 10. rész: Általános elvek, és a többcélú vizsgálati próbadarabok fröccsöntése. 11. rész: Kis lemezek.
- ISO 9712:2005; Roncsolásmentes vizsgálatok. A személyzet minősítése és tanúsítása.



## XXII. DAS – beszámoló a kísérleti mechanika nemzetközi konferenciáról

A kísérleti mechanikát művelők éves konferenciáját, a *Danubia-Adria-Szimpoziomot* immár 22. alkalommal az idén Olaszországban, a Parma melletti *Monticelli Terme* füdöhelyen rendezték meg szeptember 28. és október 1. között. A nagyszámú résztvevő (mindösszesen 161 fő) közül néhányan ezért a kisváros környékén kényszerültek szállást keresni. *Hazánkat* a Szervezőbizottságban az idén ebben az esztendőben – a részvétel anyagi vonzata miatt – csak egymagam tudtam képviselni.

**A konferencia a munkáját** – a hagyományoknak megfelelően – egymást követő szekciókban végezte. Az idén a 143 bejelentettből 138 (!) előadás, 12 szekcióba sorolva hangzott el, lehetővé téve minden résztvevő számára a konferencia teljes programjának követését.

Az előadás-kiválasztás hagyományos rendjét a Szervezőbizottság megváltoztatta. A tavaszi ülésén hozott határozata szerint valamennyi beérkezett anyagot poszter előadásként fogadta el, azzal a megjegyzéssel, hogy a szerzők munkájuk lényegét 3 percben, maximum 2 db power point diával szóban is bemutatathatják, majd ezt követően a poszter teremben, az 1 óra időtartamra kifüggesztett anyagot az érdeklődők részletesen megvitathatják. Ugyanakkor a korábbi évek gyakorlatától eltérve szóbeli előadásokra nem a jelentkezők munkáiból válogatott a Bizottság, hanem próbaként, a szakma elismert reprezentánsai kérte fel átfogó előadások tartására. A szóbeli előadások időtartama 20 percben volt limitálva.

A rendezvényre a 140 szakmai résztvevőt 21 fő kísérte el. A szakmai résztvevők száma országonként a következő volt: Ausztria 15, Cseh Köztársaság 44, Horvátország 12, Japán 1, Lengyelország 21, Németország 5, Magyarország 10, Olaszország 12, Románia 8 és Szlovák Köztársaság 1.

A bejelentett előadások szakterületek szerinti megoszlása a következő volt:

- Kísérleti eljárások: **32**, ezen belül: optikai módszerek és roncsolásmentes eljárások: 18; mérések, érzékelők és szimulációk: 14;
- Biomechanika: **29**, ezen belül: lágy részek és fogak: 14; csontok és ízületek: 15;
- Anyagok: **39**, ezen belül: nemfém anyagok és kompozitok: 19; fémek: 20;
- Szerkezetek, rendszerek és elemek: **43**, ezen belül: gépészmérnöki alkotások: 23; építőmérnöki alkotások: 20.

Magyarország 9 előadással képviseltette magát a rendezvényen, amelyek közül egy plenáris előadás volt. A szám annál is inkább figyelemreméltó, mivel a házigazdák részéről az idén mindössze 12 szakember vett részt (leszámítva a szervezőket), mindösszesen 16 előadással (beleértve a rendezőket is). A magyar szakemberek által bemutatottak színvonala és megjelenése minden tekintetben kiállta a velük szemben támasztott követelményeket.

A résztvevők munkahely szerinti megoszlásában az utóbbi évek európai tendenciája érvényesült, azaz a megjelentek túlnyomó többsége egyetemi, főiskolai környezetben dolgozik és csak néhány ipari szakembertől hallhattunk előadást.

A Szervezőbizottság két alkalommal, a konferencia előtt és közben, ülésezett a konferencia aktuális kérdéseinek, valamint a jövőbeni teendőket megvitatására. Ezek között a legjelentősebb rendezvény-sorozat *Alapszabályának (Statútum)* áttekintése és aktualizálása volt azért, mert a rendezvénysorozat alapítása óta (1983) a működésére vonatkozó szabályok – az 1994-ben tett kisebb változtatástól eltekintve – lényegében nem változtak, pedig 1994-et és különösen az EU bővítését követően drámai változások álltak elő, amelyek túlléptek a Statútumban foglaltakon (pl. a részvételi díj és a szállásköltségek a lehető legalacsonyabbak legyenek, az alapító egyesületek – hazánkban a GTE – hathatósan támogassák a résztvevőket, a Szervezőbizottság tagjai számára a részvétel díjmentes, előadások kiválasztásának rendje és a felduzzadt létszám). Döntést hozni ebben a rendkívüli, a további

működésre kiható kérdésben a Bizottság a helyszínen nem tudott. A napirendi pont előterjesztőjeként *albizottság* létrehozását kezdeményeztem (mindösszesen 5 fő, 1-1 fő az alapítók részéről, azaz osztrák, horvát, magyar, valamint 2 fő Olaszország képviselőjében), amely a Szervezőbizottság következő ülésére (2006 májusában) javaslatot készített a statútum megváltoztatására figyelemmel az alapítás óta bekövetkezett változásokra, a szakmaterület egyéb meghatározó résztvevőivel (pl. IMEKO) időközben kialakított együttműködési formákra.

**Szakmailag értékelve a konferenciát** megállapítható, hogy teljesen *újszerűnek mondható*, máshol még nem publikált munkát *nem ismertettek*. Azonban először tűnt fel az ún. *Digital Image Correlation* módszer a kísérleti eljárások között, amely az igen kis deformációk ( $\mu\text{m}$  nagyságrend, vagy kisebb) optikai úton történő meghatározását teszi lehetővé. Bár az ezzel kapcsolatos első hivatkozás 1985-re datálható, mindez ideig az eljárás gyakorlati alkalmazásáról nem lehetett az irodalomban olvasni, illetve az akkori technikai adottságok az eljárás tényleges alkalmazását kellő biztonsággal még nem tették lehetővé. Számos előadás tárgyalt egy-egy, mindeddig megoldatlan téma tisztázására irányuló kérdést, akár elméleti, akár gyakorlati megközelítésben. Számos rendkívül alaposan kimunkált, igen magas technikai szinten kidolgozott vizsgálatot láthattunk különösen az optikai eljárások, valamint az anyagtudományok kérdésterületén, amelyhez a technikai berendezések *hazánkban* jelenleg teljes kiépítésükben nem állnak rendelkezésre. Az átfogó, plenáris előadások az adott szakterület jelenlegi helyzetének figyelemre méltó áttekintését adták, amely elsősorban fiatal kutatók számára jelentősen megkönnyíti az eligazodást választott szakterületükön. A bemutatott munkák alapján elmondható, hogy a számítási és mérési eljárások egyensúlya napjainkra kialakult, mindkét szakterület elfoglalta egy adott probléma megoldásában a számára leginkább megfelelő helyet.

A korábbi konferenciák szakmai anyagához viszonyítva még inkább jelentős részarányt képviseltek a tisztán anyagvizsgálati kérdéseket érintő előadások, *mikro*-, időnként *nano-szintű* feladatok megoldására irányuló igényekkel. Mindezek elsősorban a tönkremeneteli folyamatok lefolyásának vizsgálatára, minél pontosabb leírására irányult, így a megbízhatóság növelése érdekében kifejtett erőfeszítések kérdéskörébe sorolhatók.


A kifejezetten nyúlás- és feszültségmérési kísérleti eljárások részaránya az összes dolgozat mintegy harmadát tette ki; egynegyed részarányt képviseltek a különféle biomechanikai (kísérleti) témák, míg a fennmaradó, hozzávetőleg negyven százalék a különféle anyagtudományi kérdésekkel kapcsolatos, jelentősen vizsgálatokon alapuló kutatások témakörébe sorolhatjuk.

A rendezvényhez az idén kiállítás, műszer bemutató nem társult.

A **kulturális program**, a régió kultúrájával, szokásaival, ipari adottságaival való megismerkedés hagyományosan része a konferenciáknak. Ám ez az idén megtörni látszik, ami ismételten a rendezvénysorozat életében bekövetkezett változásokra vezethető vissza. Bár a közeli Pármába szervezett kirándulás vezetett, de ennek körülményei, szervezetsége messze elmaradt a korábban megszokott szintől, viszont külön kulturális programot nem szerveztek a szakmai résztvevők számára, de előzetese az ún. „hölgyprogramról” sem gondoskodtak, csak az idén nagyobb számban jelenlévő kísérők elégedetlensége nyomán (hiszen a részvételi díjat a kísérőktől is hiánytalanul beszedték) kezdtek – elkerülve a nagyobb botrányt – ad hoc szervezésbe a helyi szervezők. Ez a közjáték is mutatja a működési szabályok sürgős felülvizsgálatának az igényét.

A 23. DAS rendezvény helyszíne: *Zilina* közelében *Podbanske*, (Szlovák Köztársaság), időpontja 2006. szeptember 29. – október 2.

Dr. Borbás Lajos  
a GTE alelnöke, a Szervezőbizottság magyar tagja

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
|  <b>AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt.</b><br>Oktatásszervezési Osztály<br>1211 Budapest, Gyepsor u. 1. Tel.: 278-0755, Fax: 278-0756                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |
| AKTUÁLIS KÉPZÉSI PROGRAMUNK 2005-BEN<br>ANYAGVIZSGÁLÓ SZAKKÉPESÍTŐ ÉS MINÓSÍTÓ TANFOLYAMOK 2005-ben,<br>OKJ 53 5401 01                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |
| <b>Tanfolyam típusa</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |
| Tömörégi anyagvizsgáló (LT1 és 2), 10 naposak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Létszámfüggő |
| Rezgéselemző anyagvizsgáló (VAT1 és 2), 10 naposak                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |
| Mechanikai anyagvizsgáló (1/13 napos és 2/15 napos),                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |
| Metallográfiai anyagvizsgáló (1 és 2/15 naposak)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |
| <b>EUROPÁI HEGESZTÉS FELÜGYELŐ (EWIP) KÉPZÉSEK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |
| Európai hegesztés felügyelő mérnök (EWI-E), 33 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Létszámfüggő |
| Európai hegesztés felügyelő – technológus (EWI-T), 33 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |
| Európai hegesztés felügyelő - specialista (EWI-S), 21 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |
| Európai kiemelt hegesztés - felügyelő (EWI-P), 15 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |
| <b>NYOMÁSTARTÓ- ÉS TARTÁLYTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |
| Nyomástartóedény-gépész, OKJ 32 5252 04; 28 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Létszámfüggő |
| <b>JÁTSZÓSZER SZAKEMBER KÉPZÉSEK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |
| Játszószert gyártó, 10 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Létszámfüggő |
| Játszószert forgalmazó és telepítő, 10 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |
| Játszószert fennlátó, 11 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |
| Játszószert menedzser, 15 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |
| <b>EGYEB TANFOLYAMOK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              |
| Környezetvédelmi szakelőadó, OKJ 53 5470 03; 40 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Létszámfüggő |
| Emelőgép-ügyintéző, OKJ 53 5483 01; 10 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |
| Értékesítési menedzser, 10 napos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |
| <b>SPECIÁLIS KÉPZÉSEK</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |
| Cégek részére, kihelyezett formában (csak tájékoztató jellegű felsorolás)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |              |
| – Hőkezelő továbbképző                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |
| – Autóipari mérések és minősítési vizsgálat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |              |
| <b>RENDEZVÉNYEK</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |
| – Aktuális rendezvényeinkről az AGMI Rt. honlapján (http://www.agmi.hu) is tájékozódhat                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |
| Létszámfüggő                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |
| Képzéseinket megfelelő létszám esetén indítjuk.<br><b>A tanfolyamok helye:</b> AGMI Rt. Anyagvizsgáló épület (1211 Budapest, Gyepsor u. 1.)<br>Szállás és étkezés: igény szerint biztosítunk<br>Szakképzési hozzájárulás: Képzéseink az OKÉV által nyilvántartásba kerültek, így a tanfolyami költségek elszámolása kérelmezhető a szakképzési hozzájárulás terhére.<br><b>KIHELYEZETT TANFOLYAMOK, KÉPZÉSEK, RENDEZVÉNYEK SZERVEZÉSE.</b><br>Részletes tájékoztatás: AGMI Rt. Oktatásszervezési Osztály (1751 Budapest, Pf. 114.)<br>Tel.: (06-1)425-0761, (06-1)278-0755 Fax: (06-1)278-0756<br>Honlap: http://www.agmi.hu E-mail: oklatas@agmi.hu<br>Szeretettel várjuk tanfolyamainkon!<br>Martin Erika – mb. osztályvezető |              |

## Hazai rendezvények 2006-ban

**Vektor konferenciák**, április 4–6. és október 17–19.; Balatonfüred, Hotel Uni. *Tervezett témák:* Újdonságok a korrózióvédelemben. Katódos védelem (tartályok külső és belső oldali fényvédővel, lapaszalatok csövezetékekkel). Vizsgáldokadás területén alkalmazható bevonatok (acél és beton védelem talajban, ivó- és szennyvízben). Részletek a [www.vektor.hu](http://www.vektor.hu) honlapon.

## Nemzetközi rendezvények 2006-ban

**Fachtagung Bauwerksdiagnose – Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen** (im Rahmen der baulec), Berlin, február 23–24., a DGZIP és a BAM szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a [www.bauwerksdiagnose2006.de/](http://www.bauwerksdiagnose2006.de/) honlapon.

**4. Fachtagung ZIF im Eisenbahnwesen**, Wittenberge, Németország, március 21–23., a DGZIP szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a [www.dgzif.de](http://www.dgzif.de) honlapon.

**4. Fachseminar Dichtheitsprüfung und Lecksuche in der Industrie: Neue Methoden und Geräte**, Dortmund, Németország, március 28–29., a DGZIF szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a [www.dgzif.de](http://www.dgzif.de) honlapon.

**FATIPEC 2006 – International Congress for Paint Scientists & Engineers**, Budapest, 2006. június 12–14. *Rendezi a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) és a Lengyel Vegyészmérnökök Egyesülete (SITPChem - Polish Association of Chemical Engineers).* **Fő témakörök:** Alapanyagok (kötőanyagok, pigmentek, adalékok, oldószer). Alkalmazott technológiák, mérések, vizsgálati módszerek. Környezetvédelem, marketing, trendek, törvényi előírások. Részletes tájékoztatás folyamatosan olvasható a [www.fatippec2006.hu](http://www.fatippec2006.hu) honlapon. *Congress Secretariat:* H-1027 Budapest, Fő u. 68. Tel.: +36 1 201 68 83 Fax: +36 1 201 80 56 e-mail: [mail@fatippec2006.hu](mailto:mail@fatippec2006.hu). *Presidents of FATIPEC:* János Bogárné (H) & Jozef Koziel (PL).

**Workshop Advanced testing of fresh cementitious materials**, Sluttgart, Németország, augusztus 3–4., a DGZIP, az Universtlät Stuttgart, a RILEM és a DFG szervezésében; Részletes tájékoztatás olvasható a [www.cement-testing2006.de](http://www.cement-testing2006.de) honlapon.

**9th European Conference on NDT (ECNDT)**, 2006. szeptember 25–29., Berlin. Tájékoztató: DGZIP, Max-Planck-Str 6, 12489 Berlin, Germany. Tel: +30 678 07 120; Fax: +30 678 07 129; E-mail: [info@dgzif.de](mailto:info@dgzif.de); website: <http://www.ecndt2006.info/>

**23. Danubia-Adria Symposium – kísérleti mechanika**, szeptember 29. – október 2., Podbanske (Zilina közelében) Szlovák Köztársaság. Tájékoztatót adnak a szervezőbizottság magyar tagjai: dr. Thamm Frigyes: [thamm@mm.bme.hu](mailto:thamm@mm.bme.hu), vagy dr. Borbás Lajos: [borbas@kge.bme.hu](mailto:borbas@kge.bme.hu).



## OKTATÁS ÉS RENDEZVÉNY SZERVEZŐ, ADATSZOLGÁLTATÓ ÉS KIADVÁNYGONDOZÓ BT.

Kamarai azonosító: 345597; Regisztrációs szám: 07-0290-02  
 1752 Budapest, Pf.101 • Tel.: 402-4098 • Fax: 402-4099  
 Mobil: 06-20-958-2659 • E-mail: [orszak@axelero.hu](mailto:orszak@axelero.hu)

Az ÉMI-TÜV Bayern Kft. által MS 00124-056 számon MSZ EN ISO 9001:2001 szerint tanúsított képző intézmény.

Az ORSZÁK BT. a 2006 tavaszi időszakban roncsolásmentes anyagvizsgáló (RmAv) tanfolyamokat szervez az eljárások széles skáláján, és egyszerre nyújtja mind az 50/1999. (IX.10.) GM. rendeletben előírt OKJ-s bizonyítványt, mind az EU-ban elismert MSZ EN 473 szabvány szerinti tanúsítványt.

Az RmAv tanfolyamok alapozó tárgyait – anyagvizsgálat, anyag- és gyártásismeret – előzetesen kell elsajátítani az alapozó tanfolyamokon, illetve a mentességet adó szakirányú felsőfokú végzettséget, vagy az érvényes anyagvizsgáló képesítést a bizonyítványt nyújtó másolatával igazolni kell. Tanfolyamaink hallgatói nyomtatott jegyzeteket, az érvényes szabványok listáját, valamint ebédet kapnak a szorgalmi időszakban. Kérésre szállást is biztosítunk félpanzióval (kélgyás, fürdőszobás szoba, reggeli, vacsora).

*Segítséget adunk az MSZ EN 473:2001 szabvány szerinti csoportosításban a termék szektorok (c, f, w, wp, l...) és a belőlük felépülő ipari szektorok megválasztásához, tájékoztatunk az 1. és 2. szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanfolyamra való jelentkezés feltételeiről (alapozó tanfolyam, orvosi alkalmasság, alapképzés, gyakorlati idő, felmentések). Kívánságra jelentkezési lapot és a tanfolyamok részletes programját elküldjük faxon vagy e-mailben.*

Lehetőség adunk a 9/2001. (IV. 5.) GM rendelet (27-97/EC direktíva) 6. melléklet 3.1.3 pontja szerinti kiegészítő szakképzés megszerzésére. Ezek az ún. PED-tanfolyamok az MPV-tanfolyamok második hetében végezhetőek! Célnk, hogy tanfolyamaink hallgatói jól elsajátítsák az adott eljárás elméletét és gyakorlati fortélyait. Ennek érdekében tanfolyamainkon 3. vagy 2. szintű képesítéssel és nagy gyakorlattal rendelkező előadók oktatnak, a gyakorlati foglalkozások MSZ EN ISO/IEC 17025 szerint akkreditált vizsgáló laboratóriumokban folynak. A tanfolyamok legeredményesebb hallgatóit hasznos anyagvizsgáló alkalmazókat tartalmazó csomaggal ajándékozunk meg.

## AZ Rm ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMAINK PROGRAMJA

A tanfolyam- és vizsgaköltség a szakképzési hozzájárulás terhére elszámolható!

**Alapozó tanfolyam az 1. szinthez:** 2006. jan. 16-17., ill. 2006. jan. 16-17.

**Alapozó tanfolyam a 2. szinthez:** 2006. febr. 21-22., ill. 2006. febr. 27-28.

**Mágnesezhető poros (MT-1):** 2006. jan. 18-20.

**Folyadékbehatolásos (PT-1):** 2006. jan. 23-25., gyakorlati vizsga: febr. 3.

**Vizuális (VT-1):** 2006. jan. 30. – febr. 1., gyakorlati vizsga: febr. 2.

**Ultrahangos (UT-1):** (Kraulkrämer, Sonatest, Panametrics): 2006. febr. 6-22., gyakorlati vizsga: febr. 23., elméleti vizsga: febr. 24.

**Tömörésgvizsgáló (LT1):** 2006. febr. 20. – márc. 1., vizsga: márc. 2-3.

**Tömörésgvizsgáló kondicionáló tanfolyam:** 2006. febr. 14-16.

**Mágnesezhető poros (MT-2):** 2006. márc. 1-3., gyakorlati vizsga: márc. 16.

**Folyadékbehatolásos (PT-2):** 2006. márc. 6-8., gyakorlati vizsga: márc. 17.

**Vizuális (VT-2):** 2006. márc. 10-14., gyakorlati vizsga: márc. 16.

**PED tanfolyam + vizsga:** 2006. jan. 27., márc. 9. és ápr. 20.

**Ultrahangos (UT-2),** (Kraulkrämer, Sonatest, Panametrics): 2006. márc. 20-29., gyakorlati vizsga: márc. 30., elméleti vizsga: márc. 31.

**Rezgéselemző (VAT-2):** 2006. ápr. 18-26., gyakorlati vizsga: ápr. 27., elméleti vizsga: ápr. 28.

**Akusztikus emissziós AET-2 újraminősítő tanfolyam:** 2006. ápr. 4-16., vizsga: ápr. 13-14.

**Kondicionáló tanfolyamok:** RT2 + bővített sugárvédelmi tanfolyam: 2006. jan. 9-13. (jelentkezés: dec. 9. – A 16/2000. (VI.8.) Eü.M. rendelet szerinti bővített sugárvédelmi tanfolyam és vizsga magában is teljesíthető)

*A kondicionáló tanfolyamokat a 2000-ben 2. fokozatú vizsgát tett, illetve az RT2-t az 1999-ben 2. fokozatot, vagy továbbképző tanfolyamot végzett kollégáknak ajánljuk.* A foglalkozásokon felrészítjük a szakma alapjait, ismertetjük az elmúlt években megjelent szabványokat, (MSZ EN, MSZ EN ISO...) és az új vizsgálati eljárásokat, vizsgálóanyagokat. Bemutatjuk az elmúlt években megjelent modern vizsgálóeszközöket, ellenőrzőeszközöket (az RT2-nél foglalkozunk a lágy sugárral, a sugárforrás kalibrálásával, a módszer mérési pontosságának becsülésével; az új képző és képerősítő eljárásokkal), gyakoroljuk a filmértékelést és a jegyzőkönyvezést az MSZ EN 473:2001 szabvány B és D melléklete szerint.) Segítséget nyújtunk a tanúsítvány meghosszabbításához. **A tanfolyamok helyszíne:** Dunaföldvár, Hídő Panzió (panzió, kélgyás, zuhanyzófülkés elhelyezés).

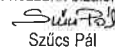
**Legalább 6 fő jelentkezése esetén induló tanfolyamok:** szinképelemző (SPT-1, SPT-2) acél, szineslém; akusztikus emissziós (AET-1, AET-2) és örvényáramos (ET-1, ET-2) anyagvizsgáló.

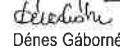
**Keresse fel honlapunkat: [www.orszak.hu](http://www.orszak.hu)**

Vállalatok, társaságok részére kihelyezett tanfolyamokat, speciális igényeket kielégítő képzési formákat is szervezünk – nemcsak anyagvizsgálóknak – hanem: tartályvizsgáló, nyomástartó berendezést vizsgáló, minőségellenőrző, minőségbiztosítási felülvizsgáló és tanúsító, kigépező, könnyűgépező, nehézsúlyú gépező szakokon. Tanfolyamainkat évről-évre azonos időszakban szervezzük, kurzusaink már 5-6 jelentkező esetén is elindulnak, ezért velünk évekre előre tervezhet!

Küldjön egy névjegykártyát, és kérje részletes ismertető füzetünket!

Forduljon hozzánk bizalommal!

  
Szűcs Pál

  
Dénes Gáborné

Az  **INSTRON**

új, 8870 szervohidraulikus vizsgálórendszere

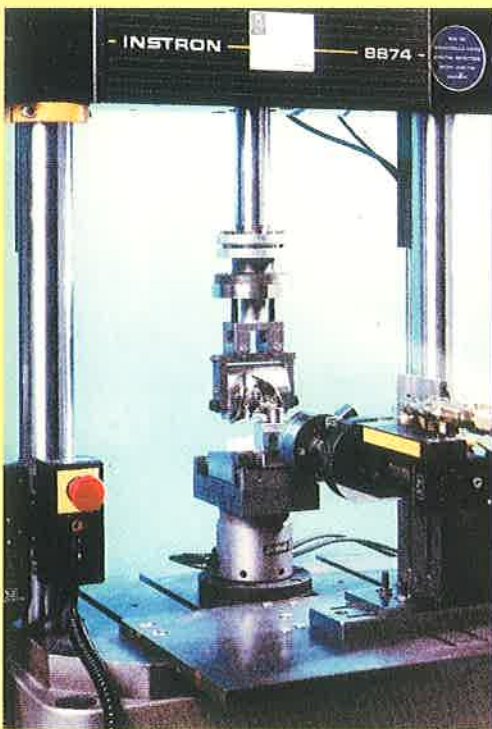


Gépeivel szakszerűen végezhet  
biomechanikai vizsgálatokat  
in vivo feltételeket szimuláló  
környezetben

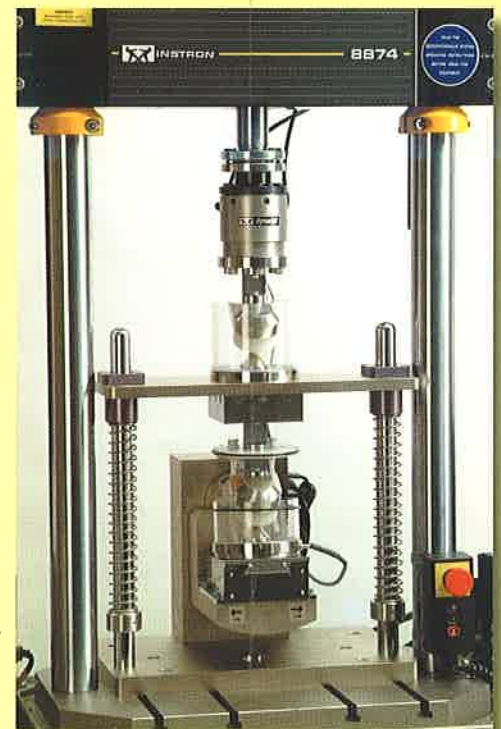
esély a teljes életre



bőrszövet vizsgálata  
sóoldatban



térdprotézis  
vizsgálata  
háromtengelyű  
igénybevétellel



két vizsgálóhelyes  
kopásvizsgálat  
csípőprotézisen

Forgalmazza:  **TESTOR**

[www.testor.hu](http://www.testor.hu)

06 (1) 319 1 319  
06 (30)



**Polymers  
for  
Advanced  
Technologies**

13-16 September 2005 Budapest, Hungary

# Konferencia felhívás

2005. szeptember 13–16-án hazánkban kerül megrendezésre a 8. Polymers for Advanced Technologies nemzetközi konferencia. A rendezvény célja bemutatni a legfrissebb kutatási eredményeket az új anyagok és technológiák fejlesztése területén. Így külön szekció foglalkozik többek között a biodegradábilis polimerekkel a nanokompozitokkal, az intelligens anyagokkal, a nagy teljesítményű kompozitokkal, a legújabb módszertani fejlesztésekkel és vizsgálati technikákkal.

Bővebb információ és előregisztráció a [www.bme.hu/pat2005](http://www.bme.hu/pat2005) honlapon.



## **FATIPEC 2006**

**June 12–14, BUDAPEST – HUNGARY**

FEDERATION D'ASSOCIATIONS DE TECHNICIENS DES INDUSTRIES DES PEINTURES, VERNIS, EMAUX ET ENCRE D'IMPRIMERIE DE L'EUROPE CONTINENTALE–FONDÉ EN 1950

**INTERNATIONAL CONGRESS for PAINT SCIENTISTS & ENGINEERS**

*Rendezi a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) és a Lengyel Vegyész-mérnökök Egyesülete (SITPChem-Polish Association of Chemical Engineers).*

*Fő témakörök:* Alapanyagok (kötőanyagok, pigmentek, adalékok, oldószerek).  
Alkalmazott technológiák, mérések, vizsgálati módszerek.  
Környezetvédelem, marketing, trendek, törvényi előírások.

*Részletes tájékoztatás folyamatosan olvasható a [www.fatippec2006.hu](http://www.fatippec2006.hu) honlapon.*

*Congress Secretariat:* H-1027 Budapest, Fő u. 68.

*Tel.:* +36 1 201 68 83 *Fax:* +36 1 201 80 56 *e-mail:* [mail@fatippec2006.hu](mailto:mail@fatippec2006.hu).

*Presidents of FATIPEC:* János Bognár (H) & Jozef Koziel (PL).