

# ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

15. ÉVFOLYAM  
1. SZÁM  
2005.

MiniPal 2

PANalytical

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



törésmechanikai vizsgálatok

• 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



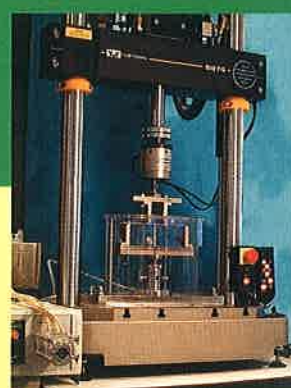
vizsgálat  
hőkamrában



csomagolások  
vizsgálata



szerkezetvizsgálat  
biaxiális terheléssel



négypontos hajlítás  
sóoldatban

Forgalmazza:

**TESTOR**

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

06 (1) 319 1 319  
06 (30)

# ANYAGVIZSGÁLOK LAPJA

## Szerkesztőség:

a kiadó **ATESTOR Kft.** címén  
Budapest XII., Meredek u. 33.

**1538 Budapest, Pf. 528.**

Telefon: 319-1-319

Telefax: 319-2284

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

Előfizetési díj a 2005. évre

(1–4. szám): 2.760,- Ft

Előfizethető közvetlenül a kiadónál  
a mellékelt, vagy az internetről letölthető  
űrlap felhasználásával.

Hirdetések felvétele és kéziratok  
leadása az ATESTOR Kft. címén.

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)

**FIGYELEM!**

**Le ne maradjon!  
Idejében fizessen elő!**

## Laptervünkről

Lapunk 15. évfolyamának első számát átnyújtva köszöntöm a tisztelt Olvasót! Szerkesztőbizottságunk és kiadónk, az Atestor Kft. munkatársai nevében is kívánom, hogy ez évi terve sikeresen megvalósuljon!

Szerkesztőbizottságunk reméli, hogy az idei laptervünkhöz is megkapjuk szakmánk művelőinek önzetlen szakírói támogatását, amit ezúton is megköszönünk.

Laptervünk szerint az első számban, a Vizsgálati módszerek rovatban a mechanikai igénybevétel okozta alakváltozás mérésének két módszerét: a moiré interferometriát, illetve a végelem-módszerrel korrigált fotótechnikát ismertetjük. Bemutatjuk a mechanikai vizsgálattal ellenőrzött végeelem-módszer szerepét a rugók optimális működési karakterisztikájának rendszer szemléltető megvalósításában.

A törésmechanikai vizsgálatok során a stabil repedésterjedés nyomon követése meghatározó jelentőségű. Ismertetünk egy, az akusztikus emissziós lokalizációra épülő repedésterjedést követő módszert, amely alkalmazható elektromosan nem vezető kompozitok törésmechanikai vizsgálatához.

Az anyagszerkezet-tulajdonság fémfizikai modellekre alapozott és ötvözetcsoportokra érvényes intelligens adatbázisok létesítésének jelentőségét szemlélteti a kúszási alakváltozás és a relaxáció közvetlen leírását tárgyaló tanulmány.

Fémek ultra-finomszemcsés szerkezetét létrehozó ún. könyöksajtózási technológia mechanikai tulajdonságjavító hatásának vizsgálati eredményeiről olvashatnak az Anyagok rovatunkban.

Napjainkban növekvő igény a nagy szilárdságú és/vagy nagy méretű fémes és nemfémes szerkezeti anyagok és elemek mechanikai vizsgálata. Ismertetjük az Instron cég által erre a célra tervezett univerzális, hidraulikus vizsgálógép családok jellemzőit.

Az ipari hulladék szelektív kezelésének és hasznosításának környezetbarát és gazdaságos megoldásához a hulladék-minták gyorsselemezése nélkülözhetetlen. A Műszeres analitika rovatunkban az energia diszperzív röntgenfluoreszcens spektrometria alkalmazhatóságáról olvashatnak.

Lapunk ez évi számainak vezértémáit az Eseménynaptár rovatunkban közölt hazai szakmai rendezvényeken elhangzó, új irányzatokat, eredményeket bemutató előadásokból választjuk. A 2. számunk vezértémájául – kapcsolódva a szakma hagyományos egri rendezvényéhez – a roncsolásmentes anyagvizsgálatot választottuk és bemutatjuk az állapotellenőrzésben, az élettartam-gazdálkodásban szerzett hazai tapasztalatokat. A 3. számunkban a nanotechnika és -technológia anyagtulajdonságokat befolyásoló eredményeinek valamint vizsgálati és minőség-ellenőrzési módszereinek a bemutatására törekszünk. Lapunk 4. számának vezértémájaként – a nemzetközi polimer konferenciára tekintettel – a szerkezeti műanyagok, kompozitok anyagtulajdonságainak fejlesztésében, alkalmazásában és vizsgálatában (többek között biomechanikai vizsgálatában) elért eredmények ismertetését választottuk.

Természetesen a vezértémák mellett változatlanul törekszünk szakterületünk eredményeinek, eseményeinek kiegyensúlyozott ismertetésére csakúgy, mint szakmánk kiválóságai életútjainak interjúszerű bemutatására.

Szakmai közösségünk munkája mind gyakrabban összefonódik az Európai Unió tagországainak szakmai közösségeivel. Ezért is, de mert lapunk eljut a környező országok szakmai közösségeihez, továbbá mert lapunk olvasható az interneten a [www.anyagvizsgaloklapja.hu](http://www.anyagvizsgaloklapja.hu) címen, szerkesztőbizottságunk kéri cikkíróinkat, hogy – a honlapunkon részletesen olvasható kéréseinknek megfelelően – az elektronikus formában is beküldött kézírataikhoz csatolják mondandójuk tézisszerű összefoglalását angol vagy német nyelven.

Ezúton köszönöm szakmai közösségünk érdeklődését! Szerkesztőbizottságunk változatlanul kéri és várja – a határainkon innen és túl dolgozó – szakértőink közös ügyünket szolgáló, önzetlen cikkírói segítségét csakúgy, mint hirdetőink, előfizetőink és nem utolsósorban az Ipar Műszaki Fejlesztéséért Alapítvány valamint kiadónk, az Atestor Kft. lapunk nyomdai és elektronikus megjelenéséhez nyújtott anyagi támogatását!

Továbbra is szerkesztjük együtt az Anyagvizsgálók Lapját!

*Lehofer Kornél*  
felelős szerkesztő

Lapunk nyomdai és elektronikus megjelenését  
az Ipar Műszaki Fejlesztéséért Alapítvány támogatja.

Köszönjük!

## VIZSGÁLATI MÓDSZEREK – TESTING METHODS – PRÜFMETHODEN

Martin STOCKMANN, Jochen NAUMANN:

Moiré interferometry – Technique and Application

Moiré interferometria – Technika és alkalmazás

Moiré Interferometrie – Technik und Anwendung

3

HEGYI Dezső:

Műszaki textília alakváltozásainak mérése fotó-eljárással

Strain measuring of a technical textile by a photographic method

Dehnungsmessung der technische Textile mit einem photographische Methode

5

TÓTH László, BALOGH Zsolt, VOITH András, RÓZSAHEGYI Péter:

Gumirugó optimalizálása

Optimising of a rubber spring

Optimalregelung einer Gummifeder

8

ROMHÁNY Gábor, CZIGÁNY Tibor:

Stabil repedésterjedés követése akusztikus emisszióval

Following stable crack propagation by an acoustic emission method

Verfolgung der stabile Rissverbreiterung mit einem akustische Emission Methode

11

LEHOFER Kornél:

A kúszási alakváltozás és a relaxáció leírása növelt hőmérsékleten

Writing up of the creep strain and relaxation at elevated temperature

Abschreibung der Kriechdehnung und Spannungsrelaxation in höheren Temperature

17

## ANYAGOK – MATERIALS – MATERIALEN

KRÁLLICS György, FODOR Árpád:

Könyöksajtolással előállított ultra-finomszemcsés alumíniumötvözet mechanikai és mikroszerkezeti tulajdonságainak a vizsgálata

Investigation of mechanical properties and micro-structure of an aluminium alloy having ultra-fine grains processed by ECAP

Prüfung der mechanische und Ultrafeinstruktur-Eigenschaften einer kniegepresst Aluminiumlegierung

21

## KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN

TÓTH Péter:

Az Instron nagy kapacitású vizsgálógépei

Instron's high capacity testing systems

Hochbelastungs-Prüfsystemen aus Instron

25

## MŰSZERES ANALITIKA – ANALYSIS WITH INSTRUMENT – INSTRUMENTELLE ANALYSE

JOÓ Katalin:

Gyorsselemezése a MiniPal2 EDXRF spektrométerrel

Rapid analysis by the MiniPal2 EDXRF spectrometer

Schnellanalyse mit dem MiniPal2 EDXRF Spektrometer

27

## BESZÁMOLÓK – ACCOUNTS – BERICHTE

BORBÁS Lajos, THAMM Frigyes:

Beszámoló a nemzetközi feszültséganalízis – anyagvizsgálat szimpóziumról

About the international symposium of stress analysis – material testing

Über die international Symposium des Spannungsanalyse – Materialprüfung

16

## SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN

Új, nemzeti és nemzetközi szabványok – New national and international Standards – Neue National- und Internationalnormen

20, 29

## MÉRFOLDKÖVEK – MILESTONE – MEILENSTEIN

Dr. THAMM Frigyes – interjú – interview – Interview

30

## ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER

32

# Moiré interferometry – Technique and Application

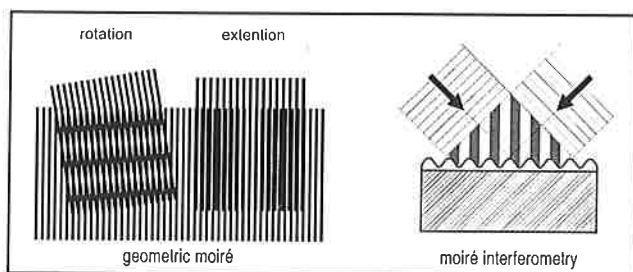
Martin Stockmann\* – Jochen Naumann\*

## Összefoglalás

**Moiré interferometria – Technika és alkalmazás.** Szerzők röviden összefoglalják a moiré interferometria alapját képező optikai interferenciakép keletkezésnek elvét (1. ábra), leírják a virtuális referenciárács jellemzőit [2. és 3. ábra, és (1) – (7) egyenletek], bemutatják a vizsgálati technikát: a segéd-rácsfelvitelét (4. ábra) és a moiré interferométer felépítését (5. ábra), majd két példával (6. és 7. ábra) szemléltetik a próbatest felületére felvitt segéd-etalonrács mint valós diffrakciós rács és a kétirányú lézertény megvilágítással létesített virtuális referenciárács között létrejövő optikai interferenciakép mérés technikai alkalmazását.

## Introduction

Moiré interferometry is a powerful in-plane displacement measurement tool for mechanical strain analysis. It is high sensitive and applicable to many research and engineering fields (see the references [1] – [3]). The difference between geometric moiré and moiré interferometry is schematically shown in Fig. 1. In the geometric moiré method two real gratings (specimen- and reference-grating) interact. The moiré fringe pattern appears as a result of geometrical superposition.



**Fig. 1.** Basic set-up of geometric moiré and moiré interferometry  
1. ábra. A geometriai moiré (elfordulással, elmozdulással) és a moiré interferometria létrejöttének elve

Moiré interferometry means, the fringe pattern appears as a result of optical interference. That is, a real existing diffraction grating on the surface of a specimen interacts with a virtual reference grating and forms moiré pattern. The reference grating is generated by two crossed light wave trains (see Fig. 1, right side). The relationship between the fringe orders and in-plane displacement components is the same as in geometric moiré, namely

$$u_x = \frac{1}{f} \cdot m \quad \text{and} \quad u_y = \frac{1}{f} \cdot n \quad (1)$$

where  $f$  is the frequency of the virtual reference grating.

## Mathematical analysis

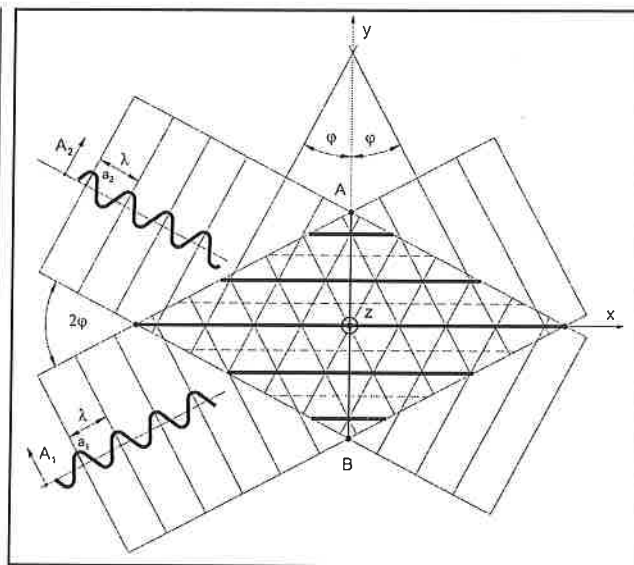
The generation of the virtual reference grating is shown in Fig. 2. Two light wave trains with the field strengths

$$A_1 = a_1 \cos 2\pi \omega t \quad \text{and} \quad A_2 = a_2 \cos 2\pi \left( \omega t + \frac{\delta}{\lambda} \right) \quad (2)$$

generate in their cross zone the new harmonic wave

$$A = A_1 + A_2 = \tilde{a} \cos 2\pi (\omega t + \phi) \quad (3)$$

\*PD Dr.-Ing. habil. Martin Stockmann és Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Naumann a Chemnitz University of Technology, Germany munkatársai.



**Fig. 2.** Generation of a virtual reference grating between A and B  
2. ábra. Virtuális rács létrehozása az A és B pontok között

with the amplitude

$$\tilde{a} = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos 2\pi \frac{\delta}{\lambda}} \quad (4)$$

and the resultant intensity

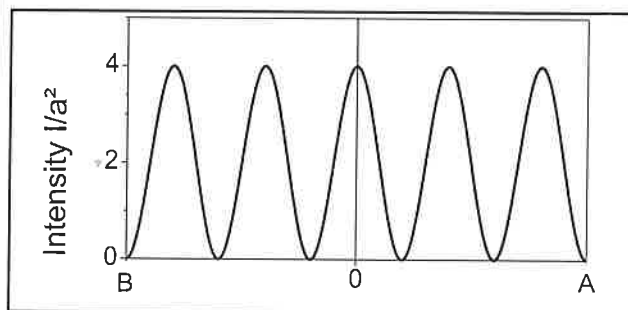
$$I = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos 2\pi \frac{\delta}{\lambda} \quad (5)$$

Assumed the waves have the same peak strength follows

$$I = 4a^2 \cos^2 \pi \frac{\delta}{\lambda} \quad (6)$$

That implies in the cross-zone between the points A and B the intensity distribution according to Fig. 3. with the frequency

$$f = \frac{2 \sin \alpha}{\lambda} \quad (7)$$



**Fig. 3.** Intensity distribution between A and B (Fig. 2)  
3. ábra. Intenzitás-eloszlás a 2. ábra szerinti A és B pont között

As an instance we use laser light with a wavelength  $\lambda = 532 \text{ nm}$  and an angle of incidence  $\varphi = 48.15^\circ$ . The frequency of virtual grating results in this case to  $f = 2800 \text{ mm}^{-1}$ .

## Grating replication and optical systems

One important condition for the realisation of moiré interferometry is the preparation of a high quality specimen grating with 1000-2000 lines/mm. The next figure shows steps in producing this grating by a

replication process. Starting point is a high precision submaster grating with a detachable line or crossline structure in form of a metallic film, prepared on the surface of glass plate. This submaster grating is provided by [4]. In the replication process (Fig. 4) the metallic film is transferred from an original photoresist or submaster grating to the specimen.

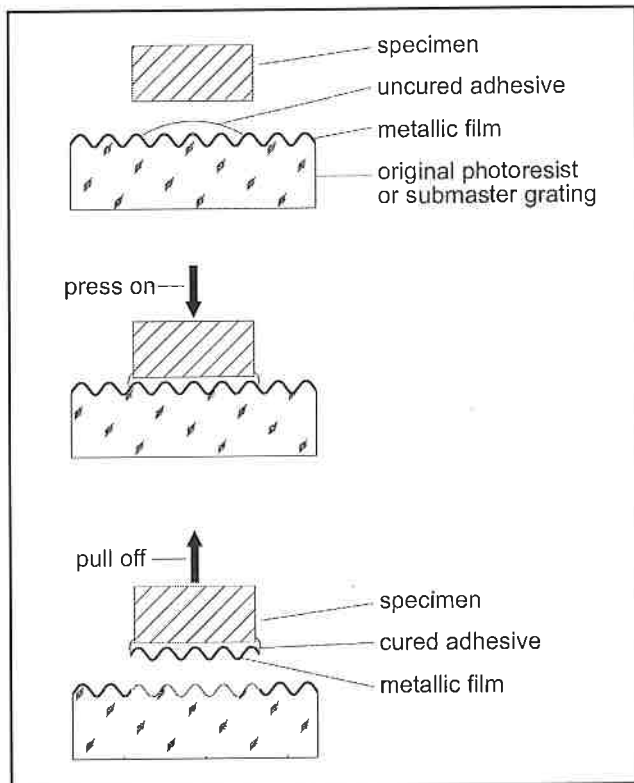


Fig. 4. Replication of specimen grating

4. ábra. A segéd-rácsra felvitele a próbatest felületére

A typical moiré interferometer system with reflection grating as beam splitter is shown in figure 5. The specimen with specimen grating is illuminated by two parallel laser beams. A CCD-camera records the moiré fringe pattern. The complete system must be isolated to vibrations.

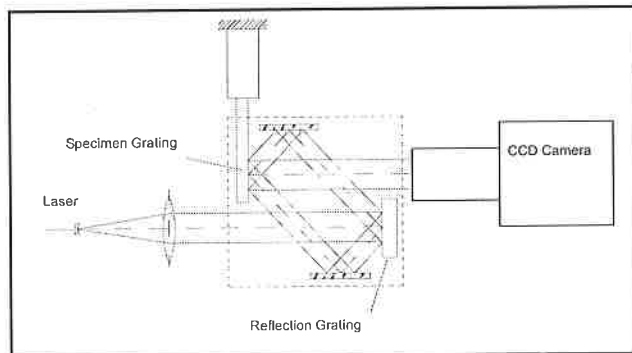


Fig. 5. Moiré interferometer

5. ábra. A moiré interferométer felépítésének vázlata

## Applications

The moiré interferometry is used in various fields. The following figures show two examples of their application at the Chemnitz University of Technology.

First example is the determination of residual stress (Fig. 6). A ring of epoxy resin is shrunk onto an aluminium disk. Comparable with the strain gage hole-drilling method are measured the displacement fields around the hole resulting from the drilling process.

The particular steps are:

- 1 replicate the specimen grid on the disc with residual stresses
- 2 drill the hole
- 3 measure the displacement field's  $u_x, u_y$
- 4 calculate the deformation state
- 5 calculate the residual stress state

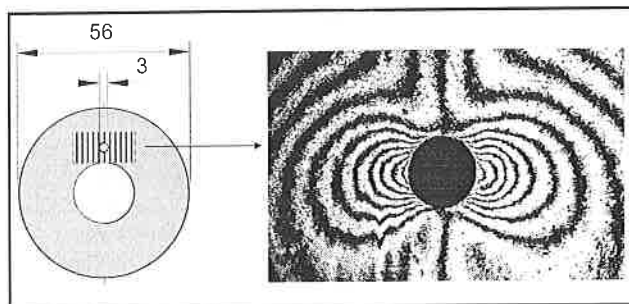


Fig. 6. Residual stress measurement, hole drilling method

6. ábra. A visszamaradó feszültségek mérése az alumíniumtárcsára zsugorított epoxigyanta gyűrűben a lyukfúrásos módszerrel

The second example is the measurement of the strain transmission from the specimen surface to the metallic foil of original strain gages (Fig. 7). The aim of this investigation is the design of strain gages with defined properties in relation to their sensitivity in longitudinal and transversal direction. More details about the experiments and numerical simulations are described in [5].

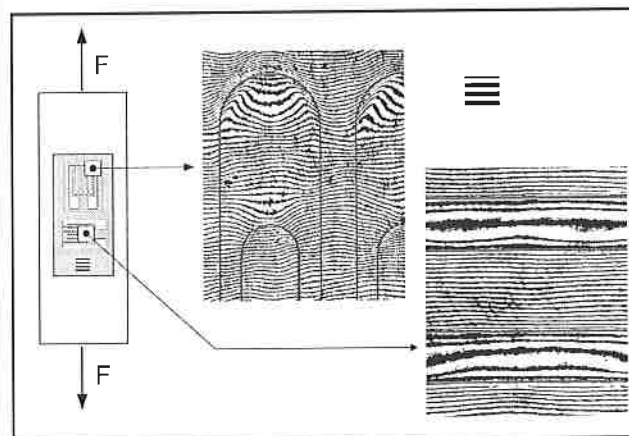


Fig. 7. Measurement of the strain transmission in original strain gages

7. ábra. A nyúlásátvitel mérése a próbatest és a felületén rögzített nyúlásmérő bélyeg között

## References

- [1] Walker, C. A.: A Historical Review of Moiré Interferometer, *Experimental Mechanics*, 282 (1994), Dec. 281-299
- [2] Post, D.; Han, B.; Ilju P.: *High Sensitivity Moiré*, Springer-Verlag New York, Inc. 1994
- [3] Han, B.: Recent Advancements of Moiré and Microscopic Moiré Interferometry for Thermal Deformation Analyses of Microelectronics Devices, *Exp. Mech.* 38(1998)4, 278-28
- [4] Photomechanics 512 Princeton Drive Vestal, NY 13850-2912, USA
- [5] Stockmann, M.: *Mikromechanische Analyse der Wirkungsmechanismen elektrischer Dehnungsmessstreifen*. Habilitation, TU Chemnitz, <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2000/0049>

# Műszaki textília alakváltozásainak mérése fotó-eljárással

Hegyi Dezső\*

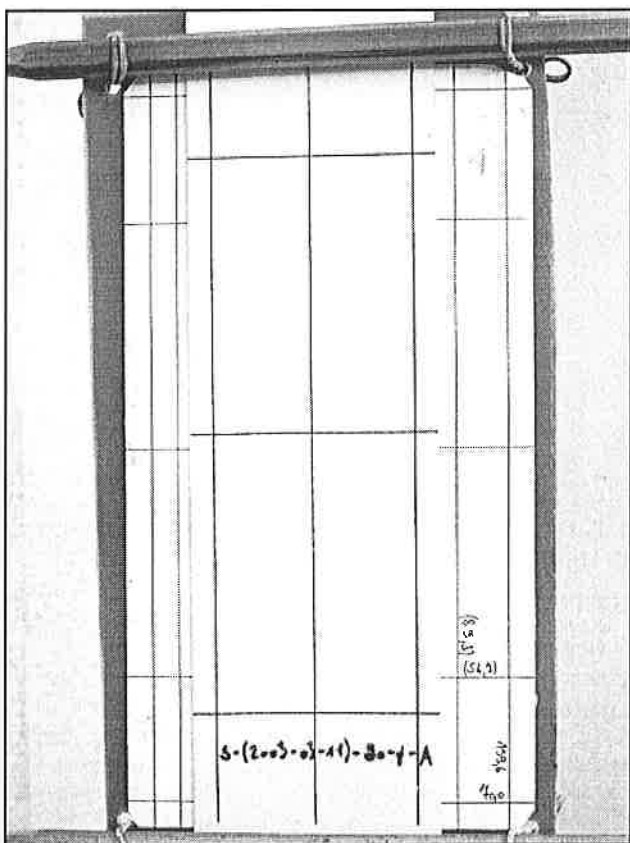
## A feladat és megoldásának elve

A sátorépítésben műszaki textíliákat használnak. Magyarországon jellemzően PVC bevonatú poliészterszál szöveteket. Ezek az anyagok viszonylag érzékenyek a mechanikai és vegyi hatásokra a legtöbb szerkezeti anyaghoz (fa, beton, acél) képest. Alakváltozásuk méréséhez a szokásos eljárások nem használhatók. A nyúlásmérő bélyegek felragasztása megváltoztatja az anyagjellemzőket. A befogó pófák távolodásának méréséből csak durván becsülhetjük az anyag tényleges fajlagos alakváltozásait a rögzítések környezetében lévő nagyobb deformációk miatt. Olyan eljárást kerestünk, amely a lehető legkisebb mértékben befolyásolja az anyag mechanikai viselkedését.

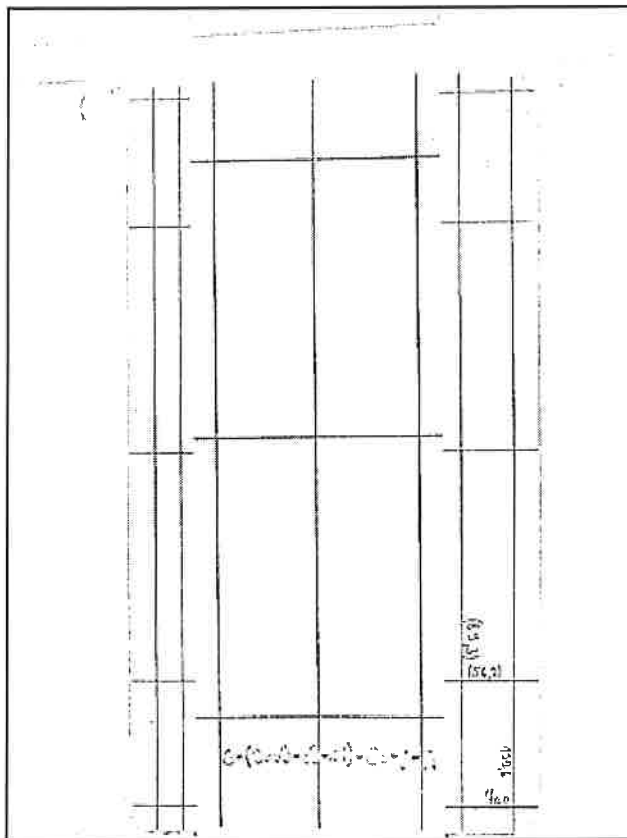
A kifejlesztett eljárás arra épít, hogy a vizsgált szövet jellemzően sík, és a vizsgálat során is sík marad. Ha a vizsgálandó szövetre vonalhalót rajzolunk és elhelyezünk mögötte egy kalibrált vonalhalózatot, ami az anyaggal egy síkban fekszik, akkor a rendszert lefotózva a hálózathoz képest vett alakváltozások mérhetővé válnak. A felrajzolt vonalhalót alkoholos filccel visszük fel az anyagra, ami elhanyagolhatóan kis mértékben befolyásolja az anyag mechanikai viselkedését.

Az alkalmazott tábla nagyon lazán van rögzítve az anyag mögé, ugyancsak elhanyagolható mértékben befolyásolhatja a megnyúlásokat. A rárajzolt vonalhalózat két oldalt kilóg a ponyvacsík mögöl, egy síkban van vele, de mégis fotózható. A vonalhalózat merőleges rendszert alkot.

Mivel tökéletesen ortogonális képet nem tudunk készíteni, a fotókat



1. ábra. A mintadarab és a keret



2. ábra. A binarizált kép

transzformálni kell ahhoz, hogy visszakapjuk a kalibrált vonalhalózat eredeti alakját. A hálózat alapját a merőleges, téglalap alakú keret adja. Ez a fotón szabálytalan négyszöggé jelenik meg, ráadásul a fényképezőgép lencséjének torzítása miatt kissé íves oldalakkal. A transzformációhoz a végeselem-módszerben szokásos parametrikus koordináta-rendszert használjuk. A keret sarokpontjaira és az oldalak egy közbúlsó pontjára illesztjük az új koordináta-rendszert, amelyben már a valós távolságokat mérhetjük le az egyes pontok között. A mintadarabon elhelyezett jelölések közötti távolságokból számíthatók a megnyúlások, a harántkontrakció és a szögtorzulás is.

A felvázolt módszer lépéseit mutatom be a következőkben.

## A mérési módszer lépései

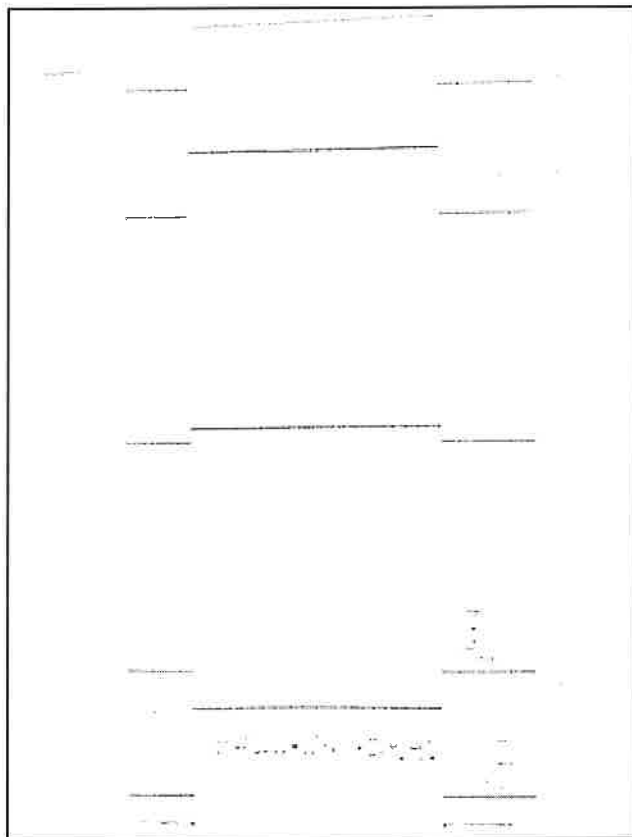
A mintáról fotó készül (1. ábra). Itt törekedni kell arra, hogy minél inkább merőleges helyzetből készüljön a kép, mert ez nagyban befolyásolja a mérés pontosságát. A fotón látható a ponyvaanyag, és körülötte a mögötte lévő merőleges keret és a kiegészítő vonalak.

A képet beolvassuk egy szoftverrel, a továbbiakban ez a program dolgozza fel az adatokat. Első lépésben a színes képből fekete és fehér képpontokból álló, úgynevezett binarizált képet készítünk (2. ábra). A képpont színe alapján eldöntjük, hogy mely képpont legyen fekete, melyik fehér.

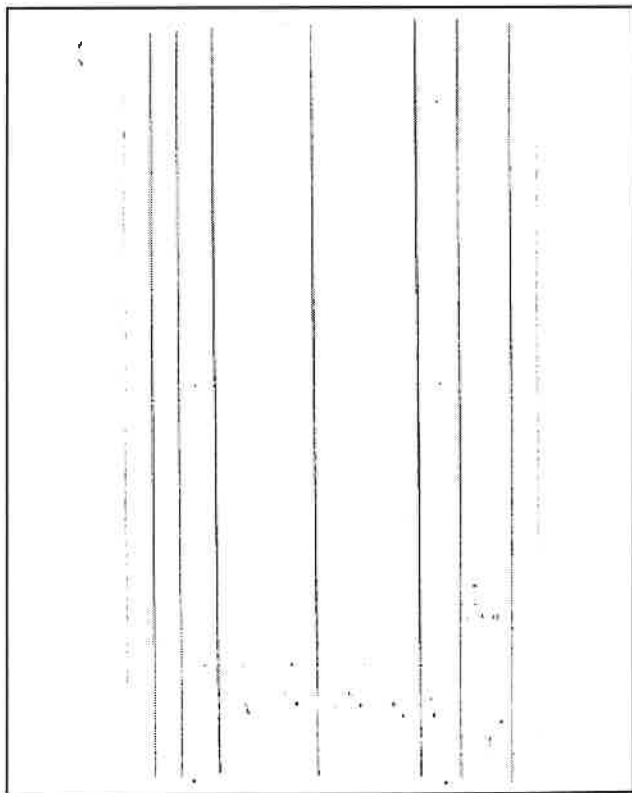
A következő lépésben azt vizsgáljuk, hogy melyik képpont tartozik függőleges vagy vízszintes vonalhoz a fekete pontok közül (3. és 4. ábra). Ehhez élkiemeléses eljárást használunk [2]. Egy szűrőt viszünk végig a képen, amely azt figyeli, hogy függőleges vagy vízszintes irány-

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

ban vannak-e pontok a vizsgált pont környezetében. Ha vannak, akkor a vizsgált képpont egy vonalhoz tartozik. Itt még csak a vonalhoz tartozást figyeljük, de az egyes vonalak képpontjai még függetlenek, nem tartoznak vonalhoz kirajzoló ponthalmazba.



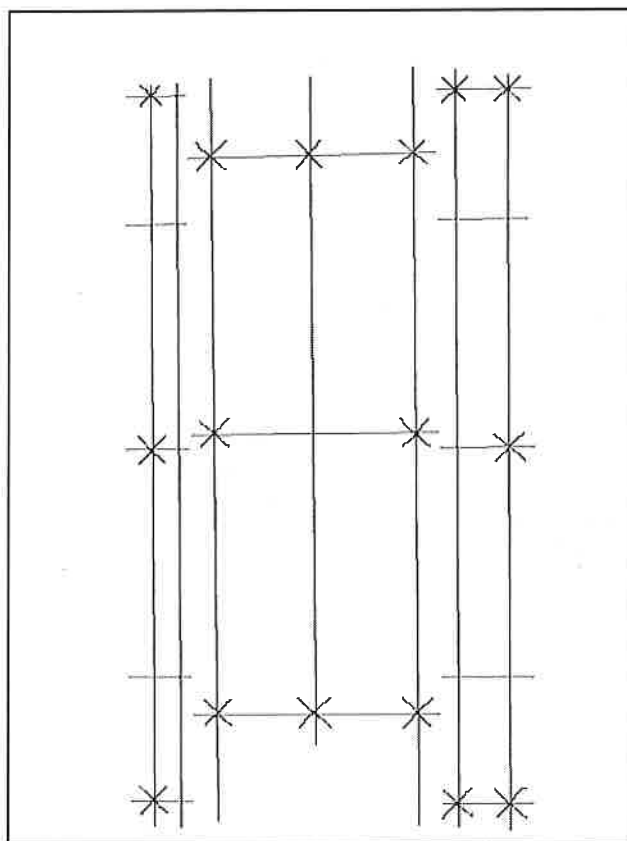
3. ábra. A vízszintes vonalak



4. ábra. A függőleges vonalak

A következő lépés keresi össze az egyes vonalakat. Az egymással érintkező pontokat egy-egy vonal halmazba rendezzük. Ezzel a képpontok (pixelek) szintjén végeztünk is a kép feldolgozásával.

Az egy-egy vonalhoz tartozó pontok halmazára a legkisebb négyzetek elve alapján hatványfüggvényt illesztünk. A függvények által kirajzolt görbék metszéspontjait fogjuk keresni. Ehhez előbb ki kell választani azokat a vonalakat, amelyek metszéspontjaira szükségünk van (5. ábra). Eddig a pontig ugyanis minden a képen található vonalat feldolgozott a program. Ezek lehetnek segédegyenesek vagy árnyékok is. Mivel a vonalaink rajzolata jól meghatározható, a szükséges vonalak összekereshetőek. Így végül megkapjuk a keresett jelölő pontokat, melyeket két csoportra bonthatunk. Az egyik csoportban a parametrikus koordináta-rendszert meghatározó pontok tartoznak, a másikba az ezen belül elhelyezkedő pontok, melyeknek a valódi elhelyezkedésére tulajdonképpen kíváncsiak vagyunk.

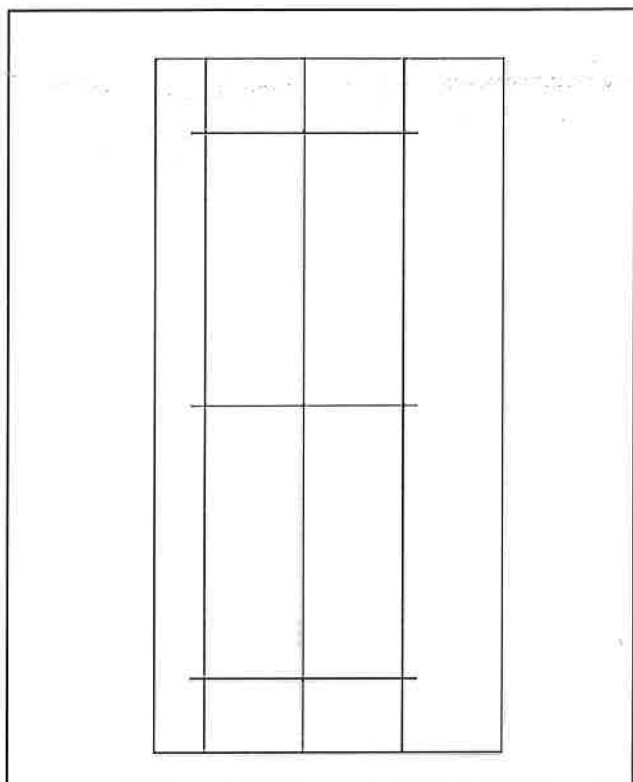


5. ábra. A keresett vonalak és metszései

A vizsgált metszéspontok egy bizonyos síkban helyezkednek el. Ez a próbatest és a rá erősített mérőábra síkja. A fényképezőgép érzékelője ezzel nincs tökéletesen azonos síkban, így a kép torzított a valósághoz képest. A torzítás megszüntetésére és a valódi méretek meghatározásához a képet vissza kell transzformálni az eredeti méretekre (6. ábra).

A transzformációra használt koordináta-rendszerünk meghatározásához négy sarokpontra és oldalanként egy-egy pontra van szükség. A szokásos nyolc pontos, négyszög alakú végelemek oldalain fekvő pontok az oldalfelezőkben helyezkednek el. Ezt nagyon pontos szerkesztéssel sem lehetne biztosítani, ezért olyan elemet alkalmazunk, melynek az oldalain fekvő pontok szabadon felvehetők oldalanként a két sarokpont közötti egyenesen. A közbelső pont segítségével másodfokú függvényeket használhatunk a transzformációhoz, a képen ívként meg-

\* M. A. Celia and W. G. Gray: An improved isoparametric transformation for finite element analysis. Int. J. Numer. Meth. Engng. 20, 1443-1459 (1987)



6. ábra. A transzformált ábra

jelenő egyeneseket (az objektív torzításából származó görbeségről van szó) ismét egyenessé tehetjük.

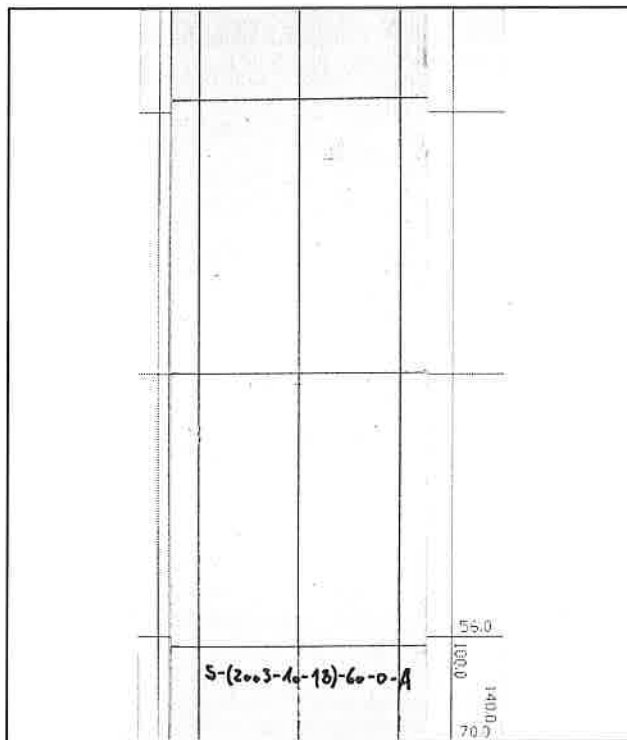
Ha ismerjük a keret valós méretét, a kereten belüli pontok valós helyzete is meghatározhatóvá válik. Ha relatív elmozdulások, megnyúlások mérését tűzzük ki célul, akkor elegendő a keret méreteinek közelítő ismerete is.

Fontos kérdés, hogy vajon mennyire pontos a bemutatott eljárás. A méréseinket 100 mm terheletlen hosszúságú anyagon végeztük. Egészen pontosan a mintadarab vizsgált hossza volt 100 mm, a befogó pófák között mért távolság 200 mm. A keret mérete 70x140 mm-es. Az alkalmazott digitális kamera 1500x2000 képpontot biztosított (átlagos turista gép). A ponyvaanyagra rajzolt vonalak vastagsága 6 képpont, a kereten lévő 3. Egy-egy mért irányban három-három távolságot mérünk (megnyúlás és harántkontrakció). A három távolság átlagának viszonylatában a második tizedes értéket még pontosan tudjuk mérni. Azaz  $0,01/100 = 0,0001$ , vagy is egy tízezreléknyi fajlagos megnyúlást tudunk pontosan mérni. A mért értékek a keret geometriájához viszonyítva értendők, azaz a hiba mértéke relatív.

A mérési hiba a ponyvaanyag határteherbírásához tartozó megnyúlásának körülbelül a százada, acélnek és betonnak körülbelül a tizede. A pontosság a jelölő vonalaknak körülbelül az ötvened része, egy képpontnak pedig a nyolcada.

Azt mondhatjuk, hogy a módszer pontossága elfogadható a ponyvaanyagok megnyúlásának méréséhez. A pontosság tovább növelhető a kalibrált keret és a transzformáció fejlesztésével, a jelölő vonalak vastagságának csökkentésével és jobb minőségű képek felhasználásával. A 0,001 mm mérése még biztosan elérhető.

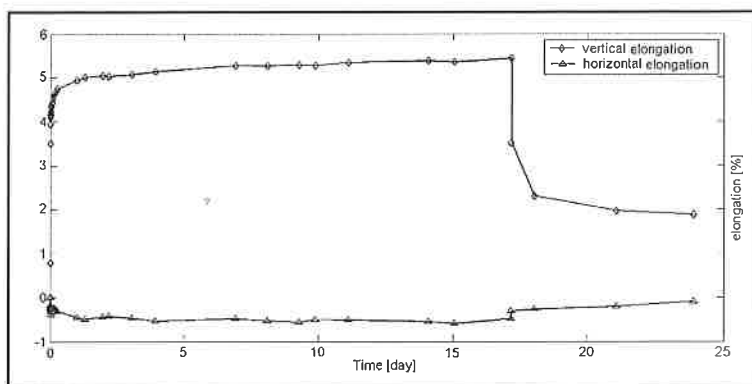
A bemutatott eljárás alkalmas jellemzően síkban bekövetkező deformációk mérésére. Különösen jó akkor, hogyha mérőeszközt nem rögzít-



7. ábra. A „kézzel” körbevágott kép

hetünk mechanikailag vagy ragasztóval a vizsgált anyagra. A mérésre használt kamera pozícióját sem kell rögzíteni. Az alkalmazott eszközök olcsók, könnyen beszerezhetők. Az eljárás lelkét adó feldolgozó szoftver elkészítése persze viszonylag munkaigényes, komoly elméleti háttérrel igényel.

Az eljárásnak volt egy „kézi” változata is. Ekkor egy képszerkesztő program segítségével a korábban bemutatott mérő keret mentén körbevágtuk a képet. Ezt a képszerkesztő programok téglalappá konvertálják (7. ábra), ami lényegében a fent bemutatott parametrikus koordináta-rendszer által elvégzett transzformációt eredményezi. A továbbiakban az egyes méretek lemérhetők a képről. Mivel mindent kézzel kell elvégezni, a módszer rendkívül időigényes. A feladatra bármely képszerkesztő program használható.



8. ábra. A mért megnyúlás-idő diagram

A módszer lehetővé teszi számunkra, hogy a ponyvaanyag lassú alakváltozásait kellő pontossággal meg tudjuk mérni. Az így elvégzett mérések eredményeként felrajzoltuk a ponyvaanyag megnyúlás-idő diagramját (8. ábra). Ez jellegében megegyezik a szakirodalomban fellelhető hasonló anyagokhoz tartozó ábrákkal. A továbbiakban elsődleges célunk megállapítani, hogy az anyag kúszása lineárisnak tekinthető vagy sem. Erre a kérdésre szakirodalom nem ad választ.

\*\* R. C. Gonzalez and R. E. Woods: Digital Image Processing, Prentice-Hall (2002)

# Gumirugó optimalizálása

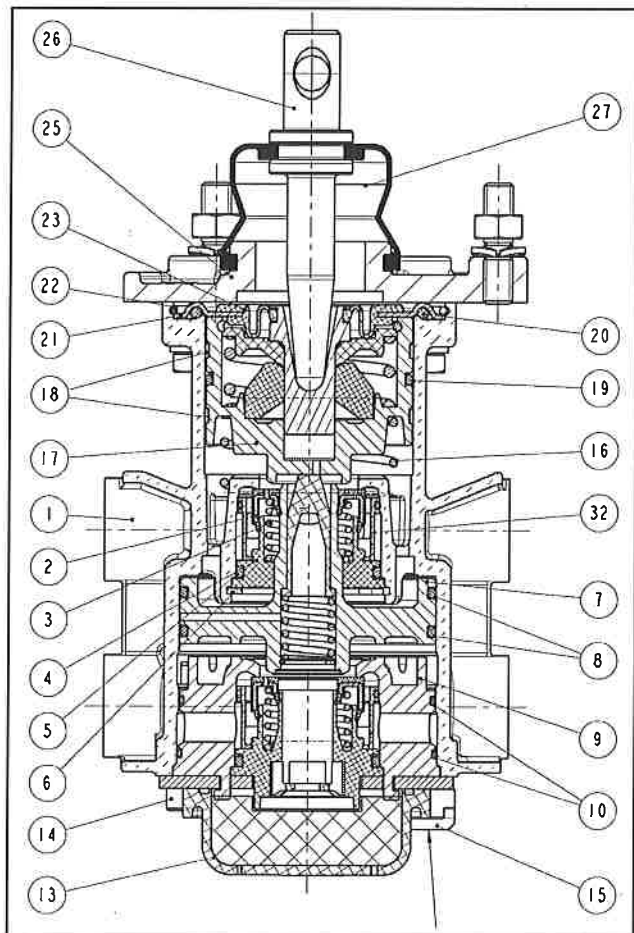
Tóth László<sup>1</sup>– Balogh Zsolt<sup>1</sup>– Voith András<sup>2</sup>– Rózsahegyi Péter<sup>1</sup>

## Bevezetés

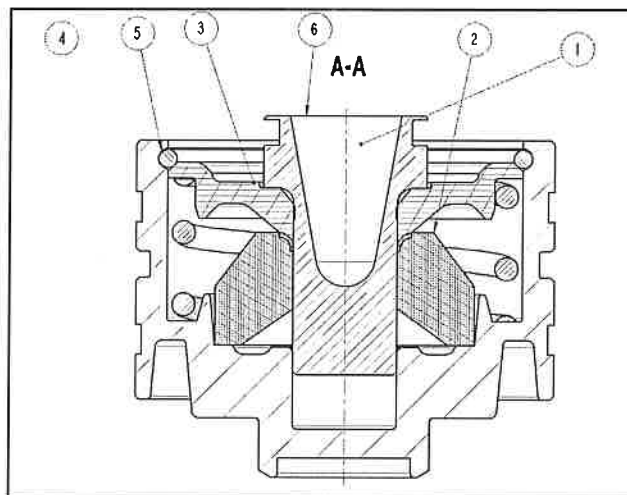
Ma már egyre több speciális probléma modellezését tudjuk nagy biztonsággal végelem-módszer segítségével megoldani. Példa rá ez a cikk is, ahol pneumatikus lábfékszelep gumirugóinak modellezése volt a feladat. Elsőként egy meglévő konstrukciót modelleztük, ahol adott geometria és mért erő-elmozdulás karakterisztika alapján meg kellett határozni a gumirugó anyagegyenletének paramétereit és a fellépő sűrűségi tényezőt inverz módszerrel. Másodszor egy fejlesztés alatt álló lábfékszelep gumirugó optimalizálása volt a cél, egy megadott erő-elmozdulás karakterisztika elérése érdekében kellett a geometriát változtatni.

## Kiindulási adatok

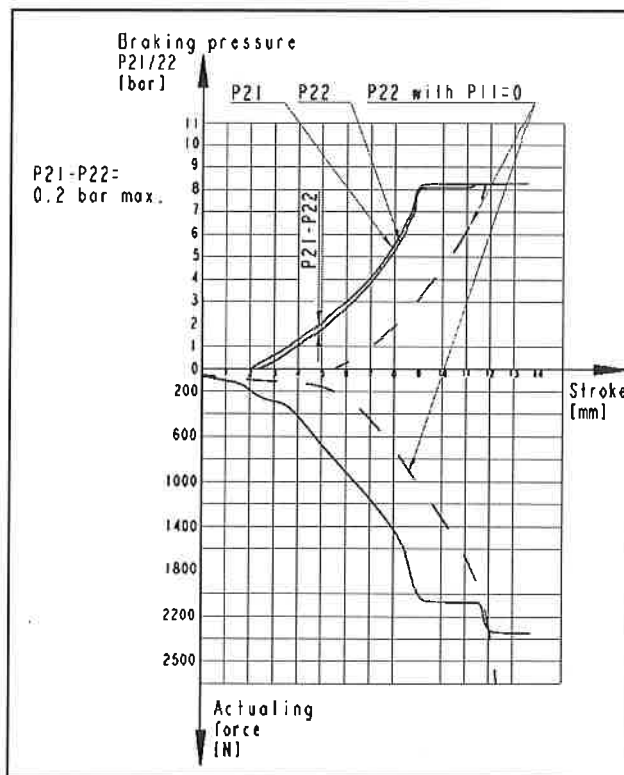
A pneumatikus fékrendszerekben a lábfékszelep a pedálemozdulással nyomást vezérel, amely nyomás a kerékfékberendezet működését. A pedálemozdulást egy rugalmas egység – acélrugó, gumirugó vagy ezek kombinációja – közvetíti a vezérlő dugattyúra. A rugó-kombináció megfelelő megválasztása biztosítja az üzemi fékezés tartományában a fékerő érzékeny szabályozását. Ugyanakkor – az ún. vészfékezés gyors végrehajtása érdekében – a kezdeti lágy karakteristika után a rugó jelleggörbéje erősen progresszív válik. A progresszivitást a vezetési szakaszokhoz és a jármű jellegéhez kell igazítani. Ezt a feladatot hagy-



1. ábra. A vizsgált lábfékszelep metszeti rajza



2. ábra. A vizsgált lábfékszelep rugótányérjának alkatrészrajza



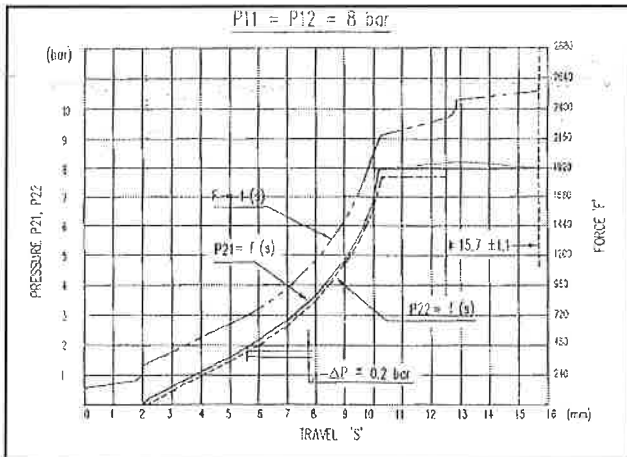
3. ábra. A vizsgált lábfékszelep erő-elmozdulás diagramja

mányosan a közelítő számítások után több lépcsős kísérlettel kellett elvégezni. A szimulációs számítás pontosabb elvégzése jelentősen le-  
rövidíti a fejlesztési időt és csökkenti a költségeket.

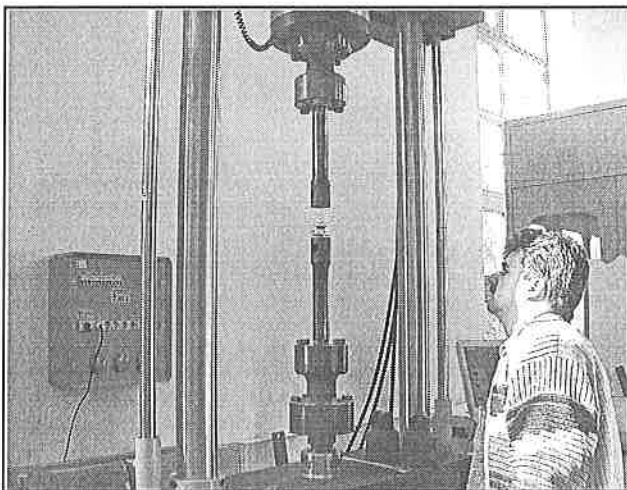
A következő ábrákon a modellezendő lábfékszelep metszeti rajzát láthatjuk (1. ábra), ahol a 17-es elem határozza meg a rugó karakterisztikát. Ezt az elemet kinagyítva láthatjuk a következő ábrán (2. ábra), ahol a dugattyúba (4) épített gumirugó (2) és acélrugó (5) feszíti elő a rugótányért (3), valamint a működés közben – a (6) közvetítésével – ezen elemek összenyomódása eredményezi a fékerő szabályozását.

Ezen adatok alapján készítettük el az első végelem-modellt, a számítások eredményét összehasonlítva a 3. ábrával, kvázi inverz mód-

<sup>1</sup>A Bay-Logi Intézet munkatársai, <sup>2</sup>a Knorr-Bremse munkatársa



4. ábra. A fejlesztendő lábfékszelep erő-elmozdulás diagramja

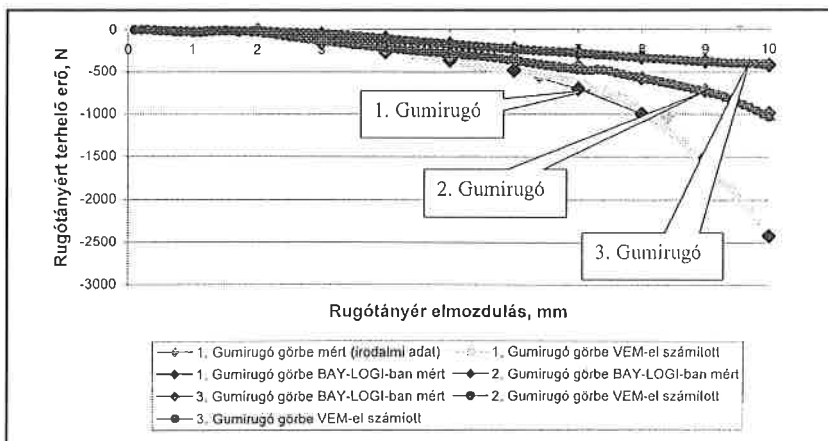


5. ábra. A gumirugó mérése a Bay-Logi-ban

szerezni határoztuk meg a gumirugó anyagegyenletét. Majd következő lépésként geometria változtatással előállítottuk a fejlesztés alatt álló lábfékszelep elvárt erő-elmozdulás diagramját (4. ábra) úgy, hogy változtattuk a rugótányér, a dugattyú gumirugóval érintkező felületét, valamint változtattuk a gumirugót és a mellette beszerelésre kerülő acélrugó paramétereit. A vizsgálatok során három különböző, már gyártásban levő gumirugót vizsgáltunk, változtatva a befogási feltételeket.

## Mérések a gumirugóval

A végeelem-számítások ellenőrzéséhez és a gumi anyagparamé-



6. ábra. A három gumirugó mért és számított erő-elmozdulás diagramja

tereinek a meghatározásához szükséges volt ellenőrző méréseket végezni három, különböző gumirugóval.

Ezeket a méréseket a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet laborjában rendelkezésre álló Instron 8500 típusú szakítógéppel végeztük. Egy, a mérés közben készült felvételt láthatunk az 5. ábrán.

A 6. ábrán látható a három gumirugó mért és számított erő-elmozdulás diagramja. Látható, hogy a görbék az anyagparaméterek illesztése után jó egyezést mutatnak. Az 1. számú gumirugóra két mérési adatsor is látható, az egyik egy irodalmi adat, a másik a Bay-Logi mérése, de e két mérés is jó egyezést mutat.

## A gumirugó optimalizálása végeelem-modell segítségével

Első lépésként felépítettünk egy kétdimenziós, tengelyszimmetrikus végeelem-modellt, amelyen kontaktfelületek segítségével nyomtuk össze a gumirugót. A kontaktgeometriákat a nyomólap és dugattyú geometriája határozta meg. A 7. ábra a kiinduló adatokból felépített végeelem modellt mutatja.

A modell segítségével meg tudtuk határozni a gumi anyagegyenletét kvázi inverz módszerrel. Az anyagegyenletnél a Mooney-Rivlin-modellt használtuk, ahol az anyagmodell paramétereit a rugalmassági modulus-  
( $E$ ) az alábbi módon határozhatjuk meg:

$$C_{10} = 0,8 \cdot E \text{ és } C_{01} = 0,2 \cdot E$$

Számítással a kiinduló gumirugó anyagparamétereire a következő értékeket kaptuk:

$$C_{10} = 0,96 \text{ (MPa)} \text{ és } C_{01} = 0,2 \text{ (MPa)}$$

A 8. ábrán három mért és két számított karakterisztika található. A gumirugó karakterisztikáját a Knorr-Bremse-nél (1), illetve a Bay-Logiban (2) mért és a végeelem-moddellel számított (3) görbe szemlélteti. Míg a teljes – a gumirugón kívül a beszerelt acélrugó feszítőerejével növelt – fékszelep karakterisztikáját a (4) jelű mért, illetve a végeelem-moddellel számított (5) görbe jellemzi. Látható a mért és a számított értékek kiváló egyezése is.

Az első futtatásból és anyagparaméter illesztésből meghatározható volt a gumirugó karakterisztikája és a teljes fékszelep karakterisztika közötti eltérés, ami egy harmadfokú függvénnyel írható le. A harmadfokú függvény lineáris összetevője egy acélrugó, mely a gumirugóval együtt kerül beépítésre a fékszelepbe.

Az acélrugó paraméteri:

rugómerevség: 5,398 N/mm,

előfeszítés: 184,5 N.

Az eddigi eredményekre alapozva meg tudunk határozni olyan geometriákat és gumirugó anyagot, amelynek karakterisztikája megfelel a fejlesztés alatt álló fékszelep karakterisztikájának.

A 9. ábrán a kiinduló és a fejlesztés alatt álló fékszelep karakterisztikáit láthatjuk. A két görbe 5 mm-es dugattyú elmozdulás értékénél metszi egymást, tehát alatta keményíteni kell, felette gyengíteni kell a fékszelep karakterisztikát a kiindulóhoz képest.

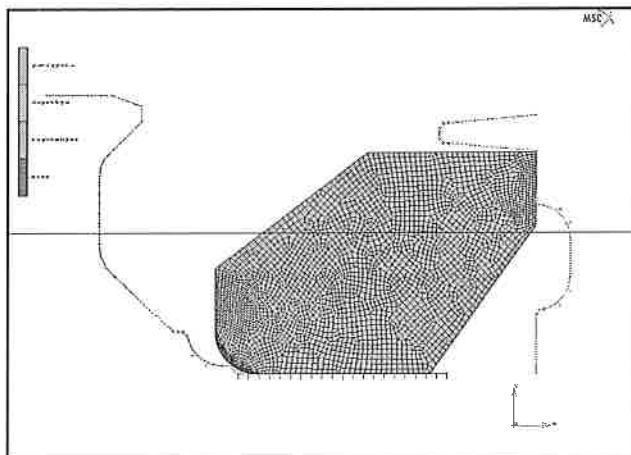
A végleges megoldást a 3. számú gumirugóval, a 13. ábrán látható geometriájú dugattyúval, valamint nagyobb előfeszítésű acélrugóval tudtuk elérni. A nyomólap geometriáján nem kellett változtatni, vagyis az új fékszelepben is a 2. ábrán látható rugótányért kell alkalmazni.

Az acélrugó szükséges paramétereit (a rugó-kiválasztó programmal ellenőrizve):

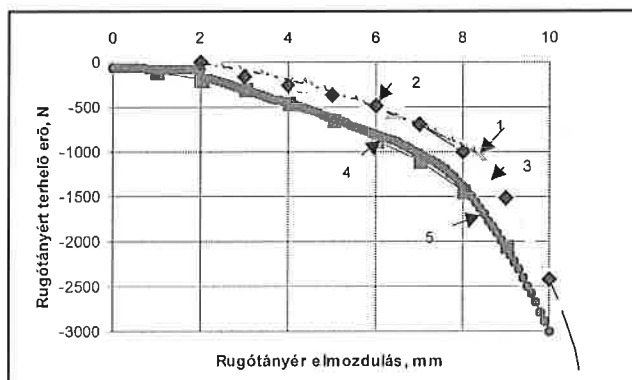
rugómerevség: 4,79 N/mm,

előfeszítés: 300 N.

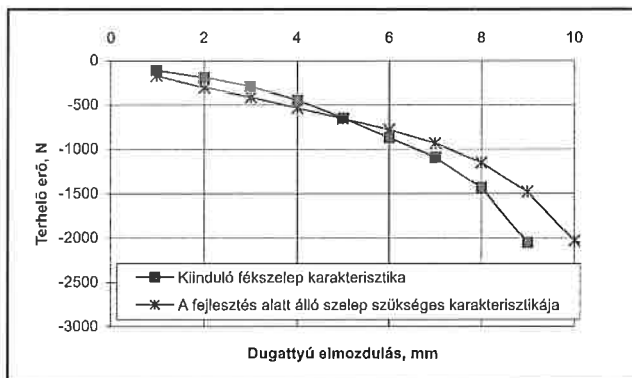
A 10. ábrán láthatjuk az elérni kívánt karakterisztikát és az optimalizált geometriával számított végeelem-modellezési eredményt. A számított karakterisztika jó egyezést mutat az elmozdulás teljes tartományán, tehát elfogadható az eredmény. A 11. ábrán az optimalizált geometriájú végeelem-modellt láthatjuk, a 12. ábrán pedig 10 mm-rel összenyomott állapotban.



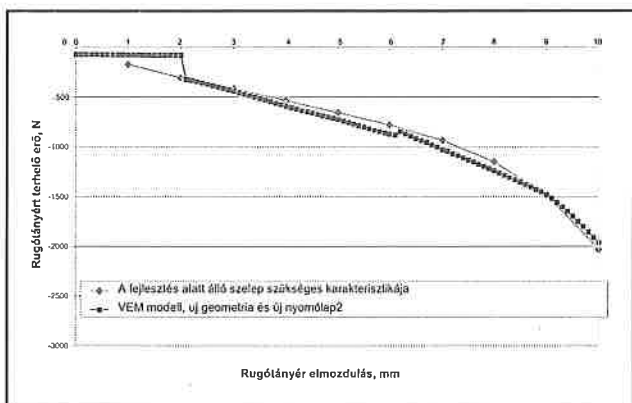
7. ábra. A kiinduló geometria alapján épített VEM modell



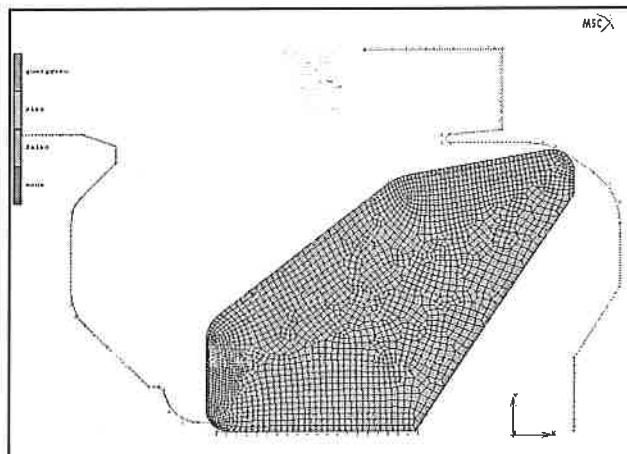
8. ábra. A kiinduló gumirugó geometria mért és modellezett eredményeinek összehasonlítása



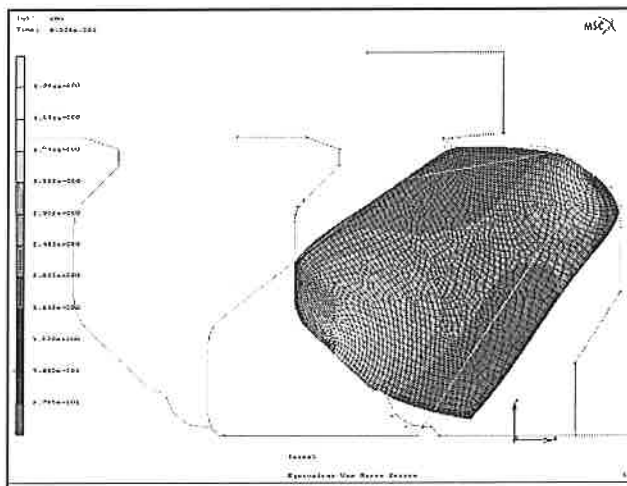
9. ábra. A kiinduló és a fejlesztés alatt álló fékszelep karakterisztikái



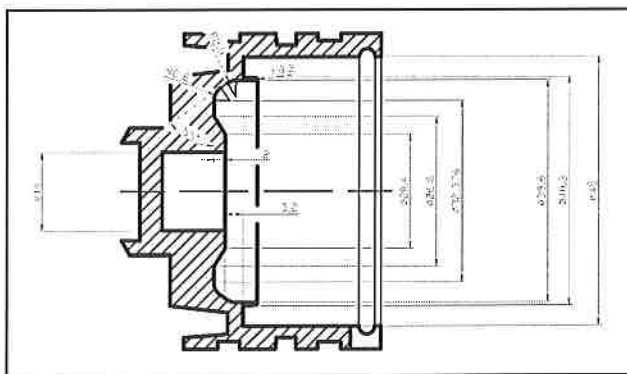
10. ábra. A fejlesztés alatt álló fékszelep szükséges karakterisztikája és az optimalizált geometriájú VEM modell karakterisztikája



11. ábra. A végleges geometriájú végeselem-modell



12. ábra. A végleges geometriájú végeselem-modell (10 mm-rel összenyomott állapotban)



13. ábra. A dugattyú gumirugóval érintkező felülete a változott méretekkkel

## Összefoglalás

Az elvégzett végeselem-modellezések és analízisek alapján megállapíthatjuk:

A végeselem-módszer alkalmazható a lábfékszelep gumirugójának mechanikai terhelés alatti viselkedésének modellezésére.

Az elvégzett végeselem-számítások és mérések segítségével meghatároztuk azt a gumirugó és befogási geometriát, amely megfelel a járműgyártó által igényelt és definiált karakterisztikának: A kívánt erő-elmozdulás görbe megvalósítható a változtatott dugattyú geometriával, valamint a 3. számú gumirugóval és keményebb acélrugó alkalmazásával.

# Stabil repedésterjedés követése akusztikus emisszióval

Romhány Gábor\* – Dr. Czigány Tibor\*

## Abstract

Following stable crack propagation by an acoustic emission method. The crack propagates in a stable way in major share of polymer composites under normal conditions. In order to characterise these kinds of materials the plastic fracture mechanics (e.g. COD or J-integral theory) must be used. For the application of plastic fracture mechanics the crack propagation have to be known. There are several methods to detect the crack propagation in metals. Unfortunately some of them can't be used for polymer composites. Our aim was to develop a new technique to follow the crack propagation in the polymer composites with the help of acoustic emission localisation. The developed method was checked with infrared thermography and put into practice in the case of flax fibre reinforced biocomposite material.

## Bevezetés

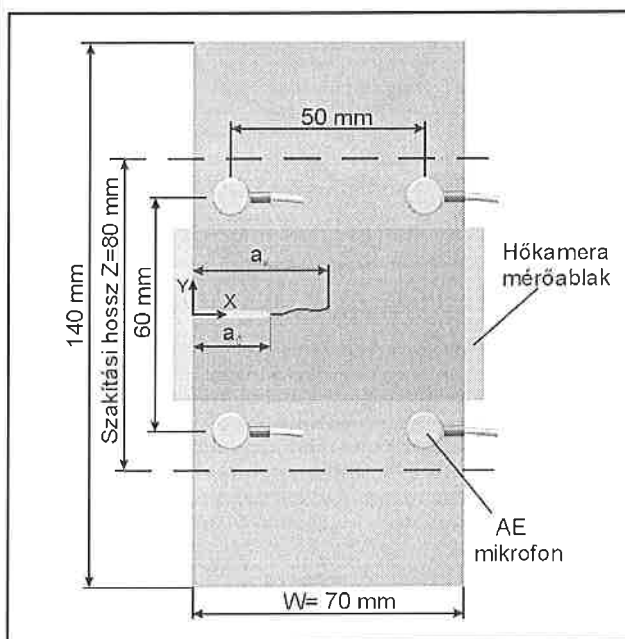
A polimerek és polimer mátrixú szálerősített kompozitok törésmechanikai vizsgálatánál a fémeknél kialakult módszereket alkalmazzák. A polimer kompozitok jelentős részében a repedés stabil módon terjed, ezért ezen esetekben a képlékeny törésmechanikát, pl. a COD vagy a J-integrál elméletet kell alkalmazni. Ehhez azonban a repedésterjedést vizsgálat közben valamilyen módszerrel mérni kell. A fémeknél több módszert is kifejlesztettek erre, pl. elektromos potenciálkülönbség módszere [1-3], akusztikus emissziós módszer, ultrahang vizsgálat, compliance módszer [4], optikai módszer [5]. Az optikai módszer erősítetlen polimerek esetén is többnyire jól alkalmazható [6]. A hosszú és végtelen szálakkal erősített polimer kompozitokban általában nem egy határfelületekkel jó definiált repedés jön létre, hanem egy károsodási zóna, amelyet a tönkremeneteli formák (szálszakadás, szálkihúzóadás, szál-mátrix elválás, mátrix deformáció, ill. mátrixtörés) hoznak létre, azaz a repedésterjedés optikailag (pl. CCD kamerával) nem mindig követhető. Célunk egy, az akusztikus emissziós (AE) lokalizációra épülő olyan repedésterjedést követő módszer kidolgozása volt, amely alkalmazható elektromosan nem vezető kompozitok esetén is, amely nem igényli a próbatestet különleges kialakítását, illetve a folyamatos terhelés megszakítását (mint pl. compliance módszer). A kidolgozott módszert lencsával erősített, keményítő alapú, hőre lágyuló mátrixú ún. biokompoziton alkalmaztuk, ugyanis az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások miatt intenzív kutatások folynak a hagyományosnak tekinthető szén- és üveg-szál erősítésű, nem lebomló polimer mátrixú kompozitok környezetbarát anyagokkal való felváltására.

## Kísérleti rész

### A vizsgált anyag és a vizsgálattechnika

A kompozit előállításához fonólen minőségű, kártolt szalag formájában előállított technikai lencsázalt (Hungaro-Len Kft., Komárom), és biológiailag lebomló, vízben nem oldódó, 80  $\mu$ m vastag termoplasztikus keményítő filmet (MaterBi LF01U, Novamont, Novara, Olaszország) használtunk. A kompozitot rétegelt felhalmozás (ún. film stacking) módszerrel készítettük el, azaz váltakozva termoplasztikus keményítő filmet, ill. lencsázalt réteget fektettünk egymásra. A szálirány az egyes lenrétegekben egymáshoz képest 90°-kal volt elforgatva, azaz a kompozitban az erősítőszálak két, egymásra merőleges irányba voltak rendezve. Ezzel a módszerrel 20, 40, ill. 60 tömeg%-os kompozit lapokat készítettünk.

A törésmechanikai vizsgálatához egy oldalon bemetszett szakító (SEN-T) próbatesteket vágunk ki a kompozit lemezekből és az erősítetlen, hőre lágyuló keményítő lemezekből. A próbatest szélességét a szabványoshoz képest megnöveltük, hogy az AE lokalizációhoz használt 4 db mikrofon megfelelően elhelyezhető legyen rajtuk. A próbatest méretei az 1. ábrán láthatók. A próbatestek befűrésztelt hornyát pengével tettük élessé. A szakítóvizsgálatokat Zwick 1474 típusú, számítógépvezérlésű, univerzális szakítógéppel, az erősítetlen keményítő esetén 5 mm/perc, a lencsával erősített keményítő esetén 1 mm/perc szakítási sebességgel szobahőmérsékleten végeztük. A szakítóvizsgálat során regisztráltuk az erőt a befogófej elmozdulásának függvényében. A különböző szálltartalmú kompozit típusokból 5-5 darab próbatestet vizsgáltunk.



1. ábra. Növelt szélességű SEN-T próbatest geometriai méretei, az AE mikrofonok elhelyezkedése és a hőkamera által lefedett ablak helyzete

Az erősítetlen mátrixból készült próbatestek vizsgálata közben a repedésterjedésről – mivel ez az anyag akusztikusan inaktív, azaz nem detektálható AE jelek a szakadási folyamat alatt – digitális kamerával felvételeket készítettünk. A felvételek közti időközönként 1 s volt. A repedésterjedést a digitális képekből határoztuk meg.

**Az akusztikus emissziós vizsgálati módszer.** A kompozit károsodási folyamata közben az AE jeleket is detektáltuk. A próbatestekre a bemetszés körül az 1. ábrán látható módon 4 db Dunegan Micro-30D típusú, szélessávú mikrofont erősítettünk fel. Ahhoz, hogy meg lehessen határozni az AE jel forrásának helyét, a mikrofonok geometriai elhelyezkedésén kívül ismerni kell az AE jelek terjedési sebességét az anyagban. Ezt a szakítóvizsgálatok előtt a nemzetközi gyakorlatban elfogadott ceruzahegy töréses módszerrel mértük ki. Bár a keresztezett szálelrendezés a hangterjedés szempontjából nem izotróp, a lokalizációhoz egy átlagos sebességértéket használtunk. A szálirányban és a szálirányhoz képest 45°-os irányban meghatározott sebességértékekből egy átlagos sebességértéket határoztunk meg. A meghatározott átlagos sebességek értékei a lencsázalt tartalom függvényében az 1. táblázatban láthatók.

\*BME, Polimertechnika Tanszék

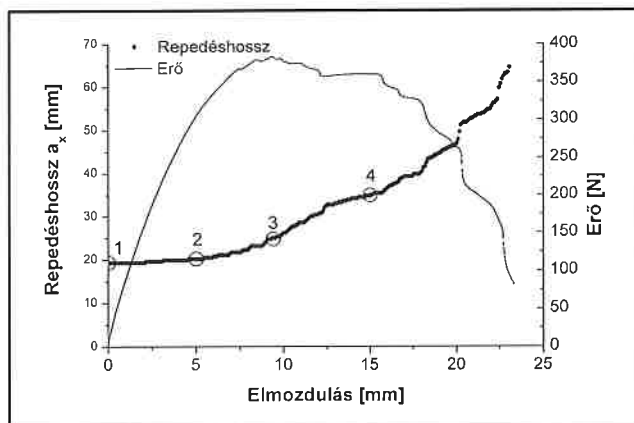
1. táblázat. Átlagos hangterjedési sebességek a keresztezett szákkal erősített biokompozitokban a lencsáz-tartalom függvényében

|                                      |      |      |      |
|--------------------------------------|------|------|------|
| Lencsáz-tartalom (tömeg %)           | 20   | 40   | 60   |
| Átlagos hangterjedési sebesség (m/s) | 1700 | 2500 | 3100 |

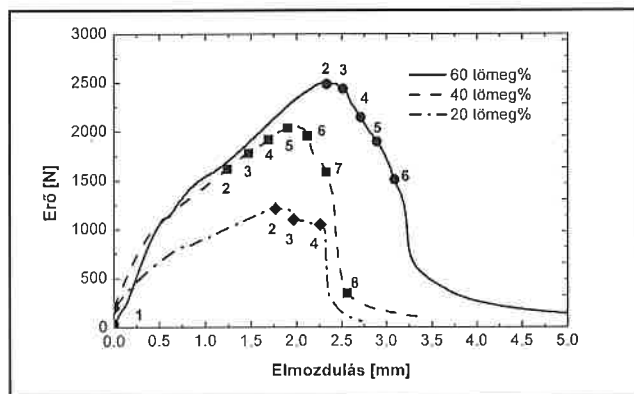
**Hőkamerás vizsgálati módszer.** Az akusztikus emissziós vizsgálat egy időben a tönkremeneteli folyamatot hőkamerával is követtük. A repedésterjedés során a károsodási zónában felszabaduló hő Compact Thermo TVS 200 típusú hőkamerával mértük, és a pillanatnyi hőképeket digitálisan rögzítettük. Az egyes felvételek készítése közötti minimális idő, 12-14 s telt el, mivel ennyi ideig tartott az adatok mentése.

## Mérési eredmények

Az erősítetlen keményítőből készült SEN-T próbatétel jellegzetes szakítógörbéje és a repedésterjedés ( $a_x$ ) a 2. ábrán látható.



2. ábra. Erősítetlen termoplasztikus keményítőből készült SEN-T próbatétel szakítógörbéje és repedésterjedés-görbéje (a számokkal jelölt pontok a károsodási folyamat során a repedéscsúcsról készített fényképek közül a 16. ábrán bemutatottak helyét jelölik)



3. ábra. Lencsáz erősítésű, termoplasztikus keményítő mátrixú biokompozitból készült SEN-T próbatétel szakítógörbéje és repedésterjedés-görbéje (a számokkal jelölt pontok a károsodási folyamat során a repedéscsúcsról készített fényképek közül a 16. ábrán bemutatottak helyét jelölik)

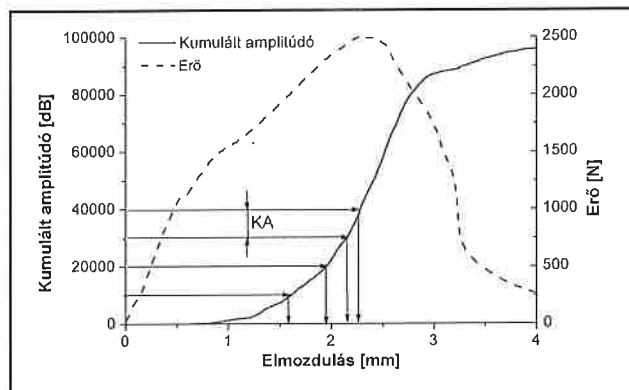
A bemetszett kompozit próbatétel szakítógörbéje és repedésterjedés-görbéje a lencsáz-tartalom függvényében a 3. ábrán látható. A számokkal jelölt pontok a hőkamerás felvételek helyeit jelölik.

## A károsodási zóna terjedésének követése akusztikus emissziós lokalizációval

Az akusztikus emissziós berendezés a vizsgálat végén egy olyan adatfájl-t ad eredményül, amelyben a lokalizált AE események bekövetkezési ideje (elapsed time), koordinátája, valamint a jel paraméterei

(amplitúdó, oszcillációk száma, eseményszélesség stb.) szerepelnek. Ebből az adathalmazból a károsodási zóna terjedésének, pillanatnyi helyzeteinek meghatározására a következő módszert dolgoztuk ki:

1. Az időben egymás után keletkező akusztikus eseményeket felbontottuk egymást nem metsző tartományokra oly módon, hogy az egyes tartományokban a kumulált amplitúdó (KA) értéke azonos legyen (4. ábra).

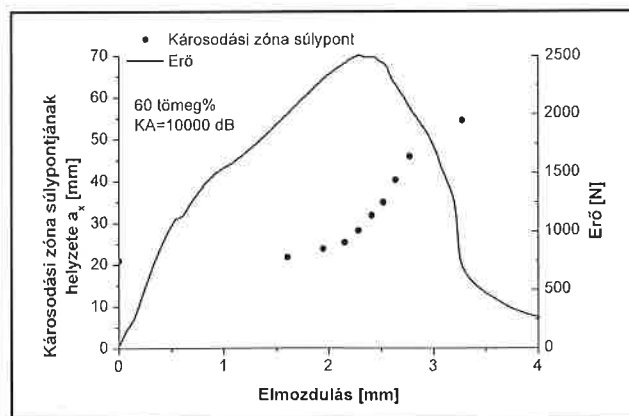


4. ábra. A vizsgálat alatt lokalizált AE események tartományokra bontása úgy, hogy az egyes tartományokban a kumulált amplitúdó (KA) értéke azonos legyen

2. Az egyes tartományokba eső eseményeknek meghatároztuk a kumulált amplitúdó eloszlását a próbatétel felülete mentén.

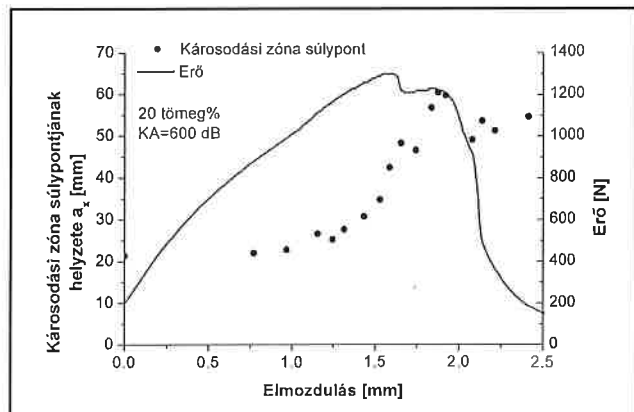
3. Ezen eloszlásmezőknek meghatároztuk a súlypontjait, amiket az adott tartomány végpontjához rendeltük. Ezt tekintjük a károsodási zóna aktuális helyzetének, illetve az aktuális effektív repedéshossznak. Mivel a károsodási zóna az 1. ábrán látható x-y koordinátarendszerben a kezdeti bemetszésből kiindulva az x tengely irányában terjed, ezért a továbbiakban a károsodási zóna helyzetén a súlypontjának x koordinátáját ( $a_x$ ) értjük.

4. A 2. és 3. lépést minden tartományra elvégezve megkapjuk a károsodási zóna súlypontjának helyzetét a terjedése során. Az 5. ábrán 60 tömeg% lencsáz tartalmú próbatételnek KA=10 000 dB érték esetén számított repedésterjedését láthatjuk. A KA értékének megválasztása azonban jelentősen befolyásolja a kapott eredményt. Például a 20 tömeg%-os próbatétel esetén, ha KA=10 000 dB-es tartományokra osztjuk fel az AE eseményeket, akkor, mivel az egész mérés során detektált AE események kumulált amplitúdója nem éri el a 10 000 dB-t, összesen 1 pontot kapunk, aminek gyakorlati haszna nincs. A KA érték meghatározásakor két szempontot kell figyelembe venni. Egyrészt lehetőleg minél kisebbnek kell lennie, hogy minél több tartomány legyen, és így a károsodási zónának minél több helyzetét lehessen meghatározni. Alulról az korlátozza KA értékét, hogy ha túl kicsi az értéke, akkor az egyes tar-

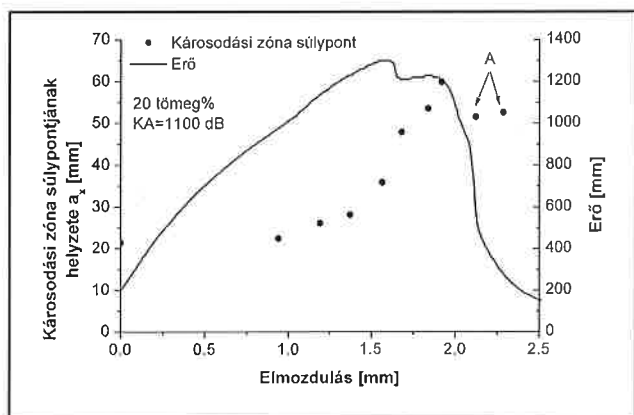


5. ábra. A károsodási zóna terjedése 60 tömeg%-os biokompozitban KA=10000 dB értékkel számolva

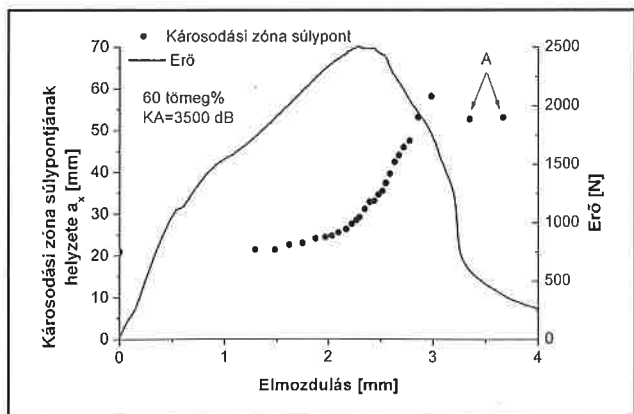
tományok túl keves AE eseményt tartalmaznak. Ilyenkor előfordulhat, hogy egy adott tartományba olyan AE események kerülnek, amelyek súlypontjának  $x$  irányú koordinátája az adott koordináta rendszerben kisebb, mint a megelőző tartomány(ok)ba eső AE események súlypontjának koordinátája, azaz úgy tűnik, mintha a károsodási zóna visszavissza ugrálna (6. ábra). Mivel a valóságos repedés hossza a szakítás folyamán monoton növekszik, ezért KA értékének alsó határát úgy kell megválasztani, hogy a számított károsodási zóna súlypontjának a repedésterjedés irányába eső koordinátája ( $a_x$ ) monoton növekedő legyen. KA legkedvezőbb értékét tehát az 1–3 lépések iterációjával lehet meghatározni. A 20 tömeg%-os próbatest esetén így KA értéke 1100 dB-re (7. ábra), míg a 60 tömeg%-os próbatest esetén 3500 dB-re adódott (8. ábra).



6. ábra. A károsodási zóna terjedése 20 tömeg%-os biokompozitban  
KA=600 dB értékkel számolva



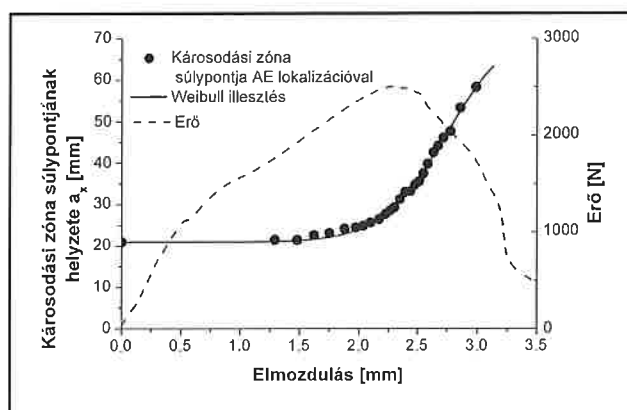
7. ábra. A károsodási zóna terjedése 20 tömeg%-os biokompozitban  
KA=1100 dB-es optimális értékkel számolva



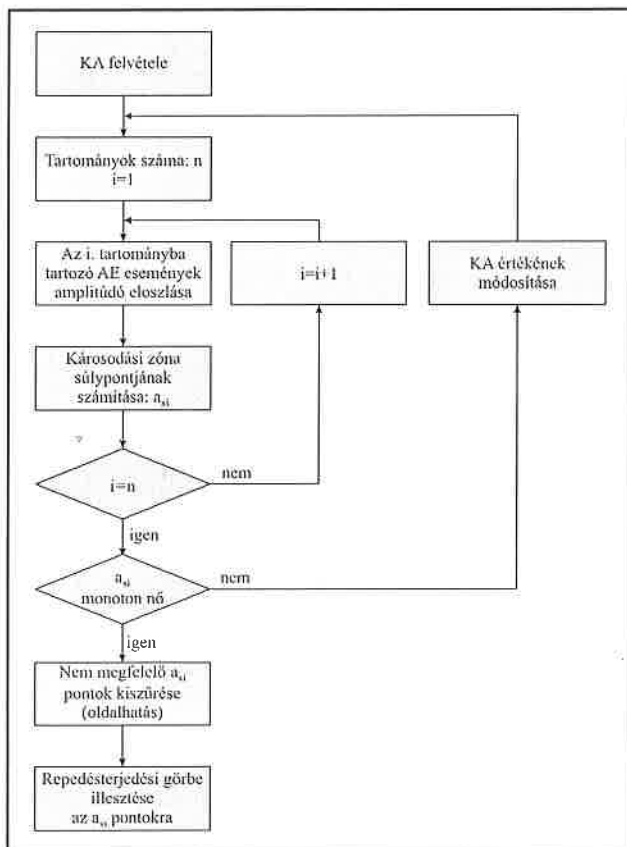
8. ábra. A károsodási zóna terjedése 60 tömeg%-os biokompozitban  
KA=3500 dB-es optimális értékkel számolva

5. A 7. és 8. ábrán az is látható, hogy a repedésterjedési folyamat végén az AE lokalizáció nem megfelelő. A károsodási zóna súlypontjának x koordinátája nem hogy nem éri el a 70 mm-t – ami azt jelentené, hogy a repedés elérte a próbatest másik szélét, azaz bekövetkezett a törés –, hanem kb. 60 mm elérése után úgy tűnik, mintha a repedés visszafelé indulna. Ezt a 7. és 8. ábrán az J jellet ellátott pontok mutatják. Ennek a jelenségnek két oka van. Egyrészt a károsodott zóna a teljes keresztmetszetnek ekkor már több mint 80%-át teszi ki, azaz az AE jelek nem tudnak megfelelően eljutni az AE érzékelőkhez. Másrészt a károsodási zóna súlypontja elviekben sem érheti el a próbatest szélét a számítási mód miatt, hiszen ehhez az kellene, hogy a súlypont környezetében keletkező jelek között legyen olyan, amelynek helye már a próbatesten túl van. Ezeket nevezhetjük oldalhatásnak.

Mindezek alapján tehát a 4. lépés elvégzése után a károsodási zóna súlypontjának mozgását reprezentáló pontthalmaz végéből el kell hagyni



9. ábra. A számított károsodási zóna súlypontokra illesztett Weinbull-féle szigmoid görge, 60 tömeg% lentartalmú kompozit esetén



**10. ábra.** A repedésterjedési görbének az ekusztikus emissziós jelek lokalizálásából történő meghatározásának folyamatábrája

az oldalhatás miatt nem megfelelő pontokat. Mivel ezek a pontok jóval az erőmaximum után, az erő rohamos csökkenésekor jelennek meg, ezért kiszűrésük gyakorlatilag nem jelent adatvesztést.

6. A megmaradt pontokra az (1) összefüggés szerint négy-paraméteres szigmoid alakú, Weibull-típusú görbét illesztettünk a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva saját készítésű programmal (9. ábra):

$$f_R(x) = A - (A - a_0) \cdot e^{-(B \cdot x)^C} \quad (1)$$

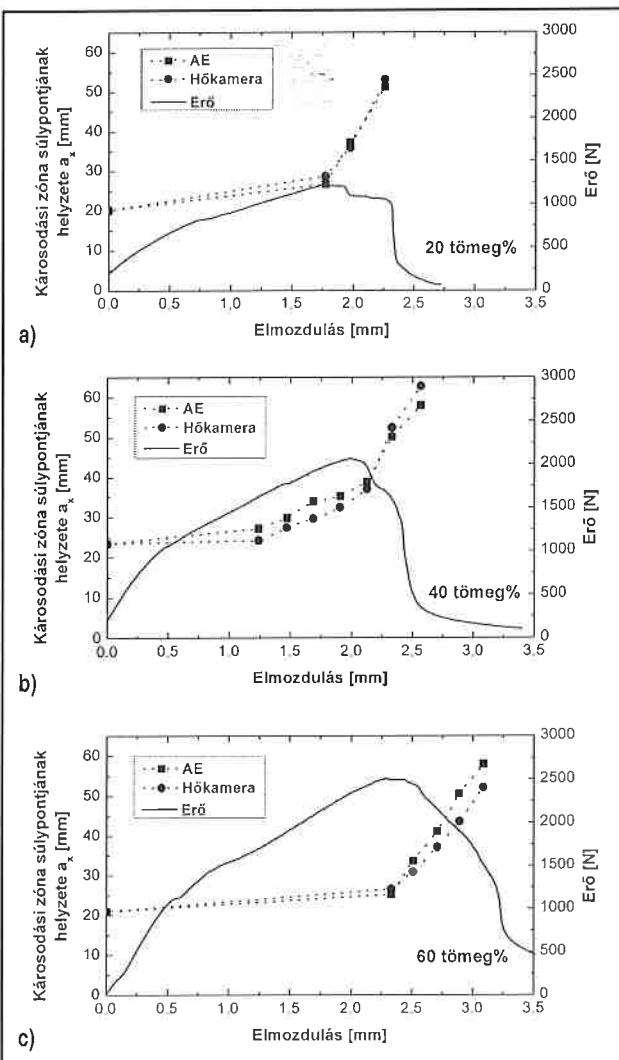
ahol az  $a_0$ ,  $A$ ,  $B$  és  $C$  paraméterek közül az  $a_0$  a kezdeti bemetszés hosszával egyezik meg. A pontokra illesztendő görbe típusának kiválasztásakor a cél az volt, hogy az a számított károsodási zóna súlypontjára minél jobban illeszkedjen. (Megjegyezzük, hogy a PP-ből készült all-composite esetén megfelelően bizonyult az egyszerű, a pontok közötti lineáris interpoláció használata).

A pontokra illesztett görbe segítségével bármely erőértékhez meghatározható a károsodási zóna pillanatnyi súlypontjának helyzete (9. ábra), amelyet a továbbiakban aktuális repedéshossznak nevezzük annak ellenére, hogy nincs jól körülhatárolható repedés, de az anyag ezen a szakaszon teljesen elvesztette teherfelvevő képességét. A repedésterjedési görbe meghatározásának lépéseit a 10. ábrán látható folyamatábra foglalja össze.

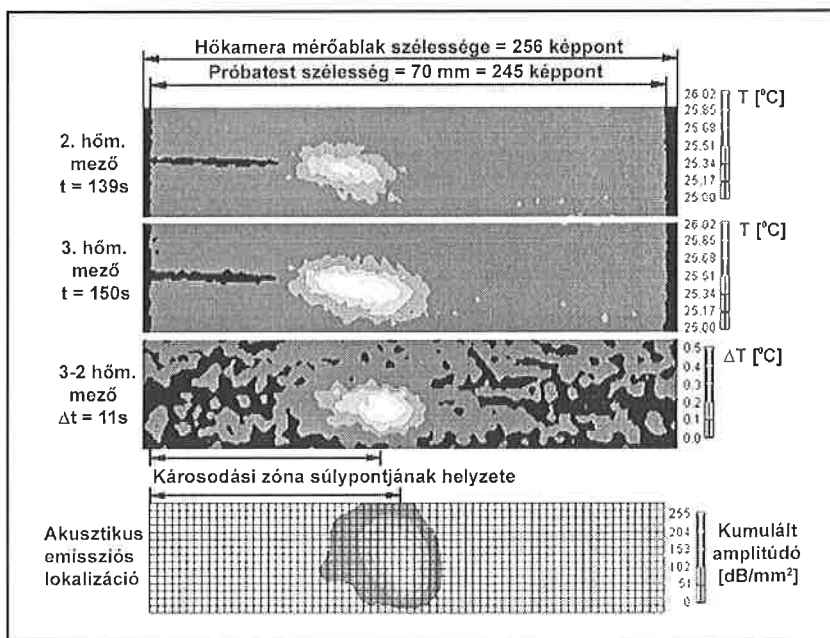
## A károsodási zónát követő akusztikus emissziós módszer alkalmazhatóságának ellenőrzése hőkamerával

A 3. ábrán az erő–elmozdulás görbéken pontok jelölik a hőkamerás felvételek helyeit. A megadott időpontban készült, egymást követő hőmérséklet-eloszlásokat kivontuk egymásból (pl. a 11. ábrán a 150 s-kor készült 3. hőmérséklet-mezőből kivontuk a 139 s-ban készültet), és így közelítőleg megkaptuk az adott időintervallumban fejlődött hő okozta hőmérséklet-eloszlást (természetesen a valóságban hőelvezetés és hőátadás is bekövetkezett). Ennek a hőmérsékletmezőnek határoztuk meg a súlypontját, és ezt összehasonlítottuk az AE mérésel ugyanezen időintervallumban keletkezett AE események kumulált amplitúdó eloszlásának súlypontjával (11. ábra).

A 12. ábrákon tájékoztató jelleggel az erő–elmozdulás görbék is láthatók. Az ábrák alapján megállapítható, hogy az AE lokalizáció nagyon jól megközelíti a hőkamerával kapott értékeket. Természetesen az eltérés okai között van, hogy bár a polimernek rossz a hővezető képes-



12. ábra. A hőkamerával, illetve AE lokalizációval meghatározott pillanatnyi károsodási zónák súlypontjainak összehasonlítása az (a) 20, (b) 40 ill. (c) 60 tömeg% lencsátartalmú biokompozit esetén



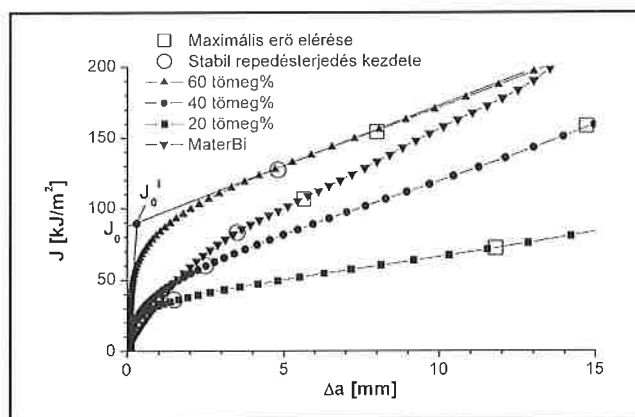
11. ábra. Repedéshelyzet meghatározása a hőkamerával készített felvételekből

sége, ennek ellenére valamennyi hő elvezetődik, illetve átadódik a környezetnek. Maguknak az érzékelőknek a geometriai mérete is bizonyos pontatlanságot okoz a lokalizációban, továbbá a lokalizáláshoz használt hangterjedési sebességnél az anyagot izotrópként kezeltük.

## A károsodási zónát követő akusztikus emissziós módszer alkalmazása a repedésterjedési ellenállás görbe meghatározásához

Stabil repedésterjedés esetén a J-integrál számításához ismerni kell az adott erőhöz tartozó repedéshosszt. A bemutatott akusztikus emissziós lokalizációt felhasználó károsodási zónát követő módszer eredményeképp pont a repedésterjedést tudjuk meghatározni az idő függvényében, így az összetartozó erő–repedéshossz értékek meghatározhatók. A J-integrál számításához használt összefüggések, illetve a SEN-T próbatest geometriáját figyelembe vevő korrekciós tényező számítási módja a [7]-ben megtalálható. A J-integrál értékeket a repedés-

növekmény ( $\Delta a$ ) függvényében ábrázolva megkapjuk az anyag J-R görbét (repedésterjedési ellenállás görbe). Az erősítetlen termoplasztikus keményítő és a keresztezett lenszállal erősített termoplasztikus keményítő mátrixú biokompozitok J-R görbéit a 13. ábra mutatja. A J-R görbe kezdeti szakaszát fémek esetén repedéstompulási egyenesnek hívják, a kompozitok esetén ezt a kezdeti károsodási zóna kialakulása szakaszának nevezhetjük. Az ezt követő állandó meredekségű szakasz a stabil repedésterjedés szakasza, kompozitok esetén a károsodási zóna terjedésének szakasza. Az ábrán O jelöli a két szakasz határát, azaz a stabil repedésterjedés kezdetét, illetve  $\square$  jelöli a maximális erő elérését. Megfigyelhető, hogy 40 tömeg% lenszállal erősítés esetén már jóval a maximális erő elérése előtt elindul a repedésterjedés. Azaz, bár a repedés elindult, de a kompozitban a szál-mátrix megfelelően tud együttműködni ahhoz, hogy az elvált, kihúzódnak vagy elszakadt szálak szerepét a többi szál vegye át. Ezzel szemben 60 tömeg% lenszállal erősítés esetén nincs meg ez a megfelelő határfelületi kapcsolat a szál és a mátrix között, ezért nem sokkal a repedés megindulása után az erő eléri maximumát, majd csökkeni kezd.



13. ábra. Erősítetlen és keresztezett lenszállal erősített termoplasztikus keményítő J- $\Delta a$  görbéi

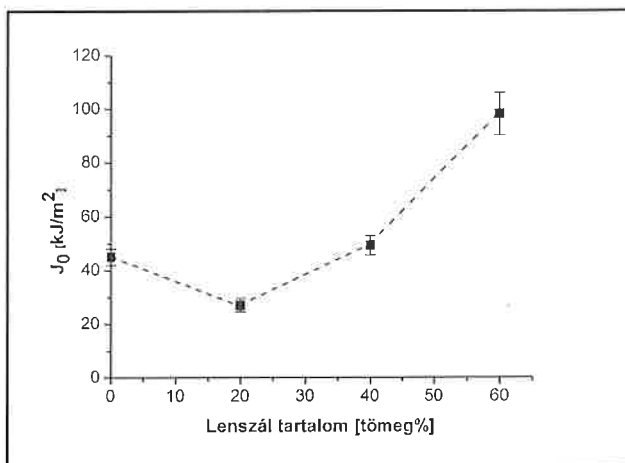
A J-R görbéből meghatározható a J-integrál kritikus értéke. Erre több módszer ismeretes. Egyik módszer szerint a kritikus J-integrál a repedéstompulási egyenes és a repedésterjedési egyenes metszéspontja ( $J_0$ ). Másik módszer szerint a repedésterjedési egyenesnek a  $\Delta a = 0$  ordinátához tartozó értéke ( $J_0$ ) a kritikus J-integrál. Mi ez utóbbit használtuk, mert ezzel egyrészt a biztonság felé térünk el, hiszen  $J_0 < J_0'$ , másrészt  $J_0$  segítségével a repedésterjedési egyenes felírható a következő összefüggéssel:

$$J = J_0 + \frac{dJ}{da} \cdot \Delta a, \quad (2)$$

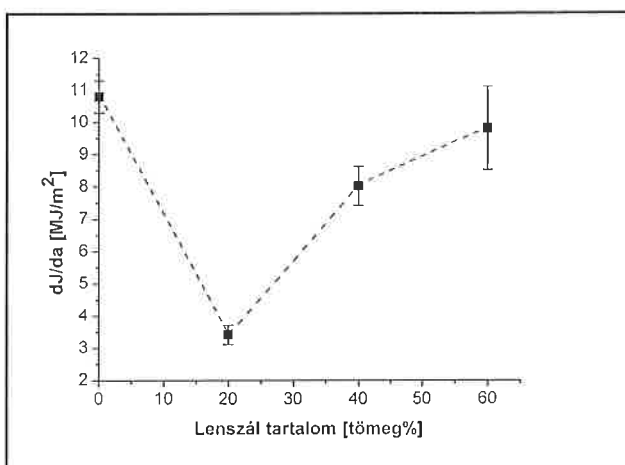
ahol  $\frac{dJ}{da}$  a repedésterjedési egyenes meredeksége a J-R görbén.

Minél nagyobb a  $dJ/da$  meredekség értéke, annál ellenállóbb az anyag a stabil repedésterjedéssel szemben.

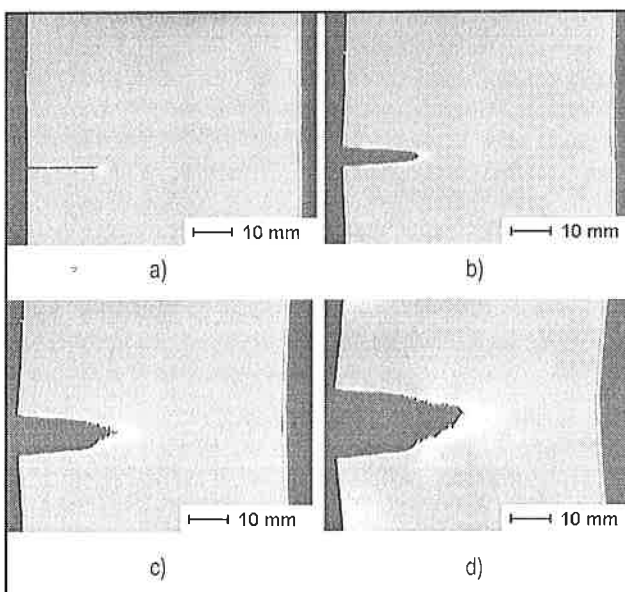
A 14. ábrán ábrázoltuk a  $J_0$  értékeket az erősítőtartalom függvényében. Megfigyelhető, hogy az erősítetlen mátrix  $J_0$  értéke kis erősítőtartalom hatására romlik. Ennek oka az lehet, hogy a lenszállak beágyazásával megszűnik a mátrix anyagfolytonossága, ezáltal ezek az üregek feszültségkoncentrátorok. Ezt a negatív hatást ilyen kevés lenszáll még nem tudja kompenzálni. 40 tömeg% lenszáll tartalomnál már nem a mátrix játsza a fő szerepet a repedés megindulásának és terjedésének megakadályozásában, hanem a nagy mennyiségű lenszáll. A mátrix szerepe ekkor már az igénybevétel átvitele erősítőszálra. Megállapítható tehát, hogy az adott anyag esetén repedés megindulás szempontjából a 40 tömeg% lentartalom egy alsó határérték, mivel ez alatt a kompozit a repedés megindulással szemben gyengébb, mint az erősítetlen termoplasztikus keményítő.



14. ábra. Erősítetlen és lenszállal erősített termoplasztikus keményítő  $J_0$  értékei a lenszáll tartalom függvényében



15. ábra. Erősítetlen és lenszállal erősített termoplasztikus keményítő  $dJ/da$  értékei a lenszáll tartalom függvényében



16. ábra. Repedés terjedés termoplasztikus keményítő mátrixban: (a) terheletlen állapot, (b) repedéstompulás 5 mm-es elmozdulásnál, (c) repedés terjedés maximális erőnél, (d) repedés terjedés 15 mm-es elmozdulásnál (a 2. ábra repedéshossz-elmozdulás görbén 1-4 pontoknak megfelelő helyzetek)

A 15. ábrán a lenszál tartalom függvényében ábrázoltuk az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenállását jellemző  $dJ/da$  értéket. Látható, hogy  $dJ/da$  érték az erősítetlen mátrixnál a legnagyobb, és ezt közelíti a 40 illetve 60 tömeg%-os erősítésű kompozit  $dJ/da$  értéke. Ez azt jelenti, hogy bár a repedés az erősítetlen mátrix esetén könnyebben megindul, mint a 40 tömeg%-nál több erősítőszálat tartalmazó biokompozitban, de a repedés terjedése már lassabb ütemű. Ennek oka az, hogy a termoplasztikus keményítőnél a repedés csúcs előtt nagy képlékeny zóna alakul ki, ami sok energiát tud felemészteni. A 16. ábrán a feszültségfővonalaknak köszönhetően jól látható ez a képlékeny zóna a repedés csúcs előtt. A 2. ábrán a betűkkel jelölt körök mutatják, hogy az adott képek a vizsgálat mely szakaszához tartoznak.

## Összefoglalás

A polimer kompozit szerkezetek jelentős részében a repedés stabil módon terjed. Ezen anyagok törésmechanikai jellemzésére a képlékeny törésmechanikai (COD vagy J-integrál elmélet) mérőszámokat kell használni. Ezek kísérleti meghatározásához tudnunk kell a stabil repedésterjedést követni. A repedésterjedés követésére fémek esetén kialakult módszerek polimer kompozitok esetében nem mindig alkalmazhatók. Célunk az akusztikus emissziós lokalizációt felhasználó repedésterjedést követő módszer kidolgozása volt, amely nem támaszt feltételeket az anyagra vonatkozóan (pl. elektromos vezetőképesség). A kidolgozott módszert hőkamerás vizsgálattal ellenőriztük, és alkalmazhatóságát egy biokompoziton mutattuk be. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kidolgozott módszer jól alkalmazható.

## Irodalomjegyzék

- [1] J. Liu, P. Bowen: DC potencial drop calibration in matrix-cladded Ti MMC specimens with a corner notch. *International Journal of Fatigue*. 25 (2003), 671-676
- [2] L. Gandossi, S. A. Summers, N. G. Taylor, R. C. Hurst, B. J. Hulm, J. D. Parker: The potential drop method for monitoring crack growth in real components subjected to combined fatigue and creep conditions: application of FE techniques for deriving calibration curves. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 78 (2001), 881-891
- [3] G. P. Gibson: Evaluation of the A.C. potential drop method to determine J-crack resistance curves for a pressure vessel steel. *Engineering Fracture Mechanics*. 32 (1989), 387-401
- [4] K. C. Kim, J. T. Kim, J. I. Suk, U. H. Sung, H. K. Kwon: Influences of the dynamic strain aging on the J-R fracture characteristics of the ferritic steels for reactor coolant piping system. *Nuclear Engineering and Design*. 228 (2004), 151-159
- [5] A. Shterenlikht, S. H. Hashemi, I. C. Howard, J. R. Yates, R. M. Andrews: A specimen for studying the resistance to ductile crack propagation in pipes. *Engineering Fracture Mechanics*. 71 (2004), 1997-2013
- [6] A. Németh, J. Marosfalvi: Crack investigation of plastics with digital video method. *Proceedings of First Conference on Mechanical Engineering*, Springer Hungarica. Vol. 1., 1998, 194-198
- [7] A. Arkhireyeva, S. Hashemi: Determination of fracture toughness of poly(ethylene terephthalate) film by essential work of fracture and J integral measurements. *Plastics, Rubber and Composites*. 30 (2001), 337-350

## BESZÁMOLÓ

# Beszámoló a nemzetközi feszültséganalízis – anyagvizsgálat szimpóziumról

A szimpóziumot a Román Feszültségvizsgáló Társaság (ARTENS) szervezte Nagyszebenben (Sibiu) 2004. október 22–24-én. A rendezvényre 55 db bejelentett előadás érkezett. A mintegy 70 résztvevő közül Bulgáriát, hazánkat és Görögországot 2-2, míg Moldáviát és Németországot egy-egy fő képviselte. A rendezvény hivatalos nyelve az angol volt. A résztvevők kézhez kapták az előadások szövegét nyomtatva és CD-lemezen egyaránt. A helybéli előadók román nyelven tartották előadásukat, a megnyitó ceremónia is román nyelven zajlott, angol nyelvű szinkrontolmácsolással. A szekcióüléseken szinkrontolmácsolás nem volt.

Az előadások három parallel szekcióban párhuzamosan zajlottak. Az előadások tematikus megoszlása (%-ban) a következő volt, mégpedig

– a mérési eljárás szerint: optikai módszerek (15,2), méréselmélet (4,34), nyúlásmérés (29,13), termoelasztikus mérések (2,17), anyagvizsgáló gépbe befogott test vizsgálata (15,22), ultrahangos eljárás (2,17), FEM számítás (19,6) és dinamikai mérések (2,17); illetve

– a mérés célja szerint: biomechanika (7,89), kompozitok vizsgálata (21,05), faszervezetek vizsgálata (2,63), anyagvizsgálat (7,9), szerkezetvizsgálat (stabilitási kérdések) (42,11), műszerfejlesztés (7,89) és törésmechanika (10,53).

Feltűnő volt, hogy a dinamikai problémák tárgyalása a rendez-

vény programjából gyakorlatilag teljesen hiányzott, valamint hiányoztak a feszültség- és nyúlásmérés egyéb, korszerű eljárásai, mint pl. a holográfia, a különböző interferometrikus eljárások, valamint nem esett szó a mikro- és nanoszerkezetek vizsgálatának különleges problematikáiról sem.

A szimpózium szervezésében részt vett – részben szponzorként – a helybéli egyetem gépészmérnöki kara, a Román Műszaki Akadémia, valamint a Román Művelődési és Kutatási Minisztérium Sibiu-i részlege. Ezen intézmények közreműködése nehézkessé tette a szimpózium szervezését, a rendezvény programját menet közben folyamatosan változtatták.

A rendezvény kulturális programjának keretében meglátogattunk egy görög-keleti kolostort, megismertük Szeben óvárosát (2007-re európai kulturális központ lesz Szeben). Idegenvezetőnk, a helyi egyetem fiatal oktatója – egyformán jól beszélt angolul és németül – ismertette a külföldi résztvevőkkel az óváros történetét, a jelenleg ott folyó helyreállítási munkák menetét és azok várható befejezését.

A rendezvény szervezőbizottsága, de a román résztvevők részéről is érzékelhető volt a külföldiekkel szemben megnyilvánuló kiemelt figyelem és udvariasság.

Borbás Lajos – Thamm Frigyes

# A kúszási alakváltozás és a relaxáció leírása növelt hőmérsékleten

Lehofer Kornél

## Abstract

**Writing up of the creep strain and relaxation at elevated temperature.** Combined the equations concerning to the creep rate (Eq. 1 by [3]) and the secondary creep rate (Eq. 9 by [5]) being valid for the precipitation hardened alloys relations are demonstrated for the creep strain (Eq. 3), the creep limit (Eq. 10 and 10/a) and the relaxation (Eq. 14 and 15).

Since the metal structure of the precipitation hardened alloys can be characterized by their yield strength measured at 20°C, therefore there such alloys having the same but different chemical composition solid solution matrix (e.g. precipitation hardened ferritic steels) form an alloy group and their many data can be together evaluated by the relations writing up the creep properties [5]. So the probable values of relation's constants (e.g. see in Table 1 and  $\varepsilon_{MG}$ ,  $\nu$  and  $c$ ) can be also determined. The intelligent database [1] stores there creep relations and their constants concerning to an alloy group and this can be used to calculate the creep and relaxation properties of an alloy falling under the alloy group (e.g. Fig. 1–3 and Table 1–3).

## Összefoglalás

Az intelligens adatbázis-képzés módszerét a legutóbbi lapszámban ismertettük [1]. Rámutattunk arra, hogy az ilyen adatbázisok alkalmazása minőségileg többet nyújtanak a szokásos, az ötvözetek kémiai összetétele szerint kezelt, ún. elsődleges adatbázisoknál. Ennek alátámasztására jelen tanulmányunkban a növelt hőmérsékleten végbemenő kúszási alakváltozás és relaxáció leírását tárgyaljuk. Az inkoherens kiválásokkal keményített ötvözetekre érvényes összefüggéseket és az ilyen anyagszerkezetű ferrites acélok csoportjára korábban már meghatározott (lásd, pl. [2]), a megújulással végbemenő kúszásra érvényes állandókat tartalmazó intelligens adatbázis felhasználásával elvégzett számításokat összevetjük a statisztikailag is értékelhető kúszás- és relaxáció-vizsgálatok eredményeivel.

## A kúszási alakváltozás leírása

Threadgill, P. L. és Wilshire, B. részletesen elemezték a kiválásokkal keményített ausztenites acélok és ötvözetek kúszási mechanizmusát a kezdeti és az állandósult tartományban (1972, [3]). Megállapították – a korábbi kutatásokkal összhangban (1956, [4]) – a mechanizmus azonosságát, ezért a kúszás sebessége leírható az állandósult tartomány sebességével, mégpedig:

$$\dot{\varepsilon} = [\nu \cdot \exp(-mt) + 1] \cdot \dot{\varepsilon}_s \quad (1)$$

ahol  $m$  a kezdeti kúszási sebesség „kimerülésére” jellemző paraméter, amely a  $T$  hőmérsékleten a  $\sigma$  terhelés függvénye, mégpedig az  $\dot{\varepsilon}_s$ -t leíró feszültségfüggvénnyel egyenesen arányos:

$$m = c \cdot \exp(B \cdot \sigma) \quad (2)$$

A  $\nu$  tényező értéke a kiválásokkal keményített ausztenites acéloknak [3]:  $\nu = 3$ . Az (1)-ből az is következik, hogy  $t = 0$  esetén a kúszás kezdeti sebessége:

$$\dot{\varepsilon}_0 = (\nu + 1) \dot{\varepsilon}_s \quad (1/a)$$

Közbevetve meg kell jegyeznünk, hogy mivel a kiválásokkal keményített ferrites acéloknak a velük azonos  $R_{p0,2/20}$  folyáshatárú, kiválásokkal keményített ausztenites acélokhöz képest az azonos ( $\sigma$ ,  $T$ )

kúszási igénybevételhez tartozó állandósult kúszási sebességük nagyságrendekkel nagyobb, ezért a ferrites acéloknak  $\nu > 3$ , de a  $\nu$  értékét a kísérleti adatokból kellett meghatároznunk, és értékére  $\nu = 11$  adódott.

Integrálva az (1)-t, a kúszási alakváltozást (valódi nyúlást) a kezdeti és az állandósult tartományban a (3) összefüggés írja le:

$$\varepsilon = \dot{\varepsilon}_s \left[ \frac{\nu}{m} (1 - \exp(-mt)) + t \right] \cong \dot{\varepsilon}_s \left[ \frac{\nu}{m} + t \right] \quad (3)$$

Korábban kimutattuk (1970, [5], 1971, [6]), hogy a megújulással végbemenő kúszás hőmérséklet-tartományában ( $T \geq 0,4 T_{melt}$  olvadáspont, K), állandó húzóterhelés mellett, a kiválások keményedés relatív állapotában lévő ötvözetek kúszási sebessége (azaz a valódi nyúlás időegységre eső változása) az állandósult kúszási szakaszban az

$$\dot{\varepsilon}_s = S \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT} + B\sigma\right) \quad (4)$$

összefüggéssel – mely alakját tekintve Dorntól származik (1956, [4]) – kielégítő pontossággal leírható. Az összefüggésben az állandó értékű  $S$  szerkezeti tényező a kiválások átlagos távolságával ( $L_0$ ) egyenesen arányos és kifejezhető a 20°C-on mért folyáshatárral [5].

Kimutattuk továbbá, hogy a kiválásokkal keményített ötvözetekre is érvényes a Monkman–Grant-féle törési kritérium (1956, [7]):

$$\dot{\varepsilon}_s \cdot t_B = \varepsilon_{MG} \quad (5)$$

amelyben  $\varepsilon_{MG}$  a feszültségtől és a hőmérséklettől független, állandó értékű nyúlásban kifejezett törést okozó károsodás. Az (5) érvényességét mind a vizsgálati tapasztalat (1961, [8]; 1974, [9] és az 1. ábra), mind a fémfizikai, például a törést okozó üregképződés képlekeny növekedési modellje (1977, [10]) szerinti, és újabban a termodinamikai megfontolások is (1997, [11]) alátámasztják.

Mindezeket felhasználva a  $t_B$  kúszási élettartamra (szakadási időre) a következő összefüggést vezettük le (1970, [5]):

$$t_B = \exp\left(A \cdot R_{p0,2/20} + \frac{Q}{RT} + K\right) \cdot \exp(-B\sigma) \quad (6)$$

A (2 és 4–6) egyenletekben szereplő tényezők a következők:

$T$  – az igénybevétel hőmérséklete (K)

$\sigma$  – a terhelő feszültség (MPa)

$R$  – a gázállandó: 8,314 (J·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>)

$Q$  – a megújulással végbemenő kúszás termikus aktiválási energiája, amely csak az ötvözet szerkezetétől és annak jellemzésére bevezetett, 20°C-on mért  $R_{p0,2/20}$  (MPa) folyáshatárától függ, mégpedig:

$$Q = Q_0 \cdot R_{p0,2/20} + Q_T, \quad (J \cdot mol^{-1}) \quad (7)$$

$B$  – az ötvözet bázisfémjére jellemző fázisátalakulás  $T_k$  és az igénybevétel  $T$  hőmérséklettől függő tényező:

$$B = \frac{B_0}{R(T_k - T)} \quad (8)$$

Az egyenletekben szereplő állandók értékeit az egyes ötvözetcsoportokra – az együttértékelhetőség előnyeit kihasználva – nagy statisztikai biztonsággal határoztuk meg. Ezek kerültek – a vonatkozó egyenletekkel együtt – az intelligens adatbázisba. Az 1. táblázat a relatív stabil állapotba hőkezelt, inkoherens kiválásokkal keményített ferrites és ausztenites acélok csoportjaira érvényes állandókat tartalmazza. Az ezekkel végzett számításoknál a  $t_B$  és általában a  $t$  élettartamra a (h) dimenzió érvényes. Továbbá, mivel az 1. táblázatban szereplő állandók értékei a korábbi, nem SI egységekben (és a kerekítve használt  $R = 1,99$  cal·mol<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup> gázállandóval) meghatározottak SI-re átszámított értékei,

ezért a táblázat állandóit használva  $R = 8,33 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  értékkel célszerű számolni.

**1. táblázat.** A kiválásokkal keményített acélcsoportok állandói  
**Table 1** Constants of the precipitation hardened ferritic and austenitic steel groups

| Az állandók                                     | Ferrites acélokra     | Auszenites acélokra |
|-------------------------------------------------|-----------------------|---------------------|
| $Q_0$ (J.mol <sup>-1</sup> .MPa <sup>-1</sup> ) | 48                    | 154                 |
| $Q_T$ (J.mol <sup>-1</sup> )                    | 241 416               | 238 229             |
| $B_0$ (J.mol <sup>-1</sup> .MPa <sup>-1</sup> ) | 67                    | 258                 |
| $T_k$ (K)                                       | 1 042                 | 1 809               |
| $A$ (MPa <sup>-1</sup> )                        | -9,2.10 <sup>-5</sup> | -10 <sup>-2</sup>   |
| $K$ (-)                                         | -24,20                | -19,70              |

Megjegyezzük, hogy mivel az ötvözetcsoporthoz érvényes állandók meghatározásához kellő számban a  $\sigma_{B/H/T}$  kúszási szilárdság (időszilárdság) adatok álltak (és állnak még ma is) rendelkezésünkre, ezért  $K$  a  $K^*$  és a törési kritériumként használt  $\varepsilon_{MG}$  értékeit tartalmazó összetett állandó, mégpedig:

$$K = \ln \varepsilon_{MG} - K^* \quad (5/a)$$

Az állandósult kúszás sebességére – az (4), (5), (5/a), (7) és (8) figyelembevételével – végül is a (9) összefüggést állapítottuk meg:

$$\dot{\varepsilon} = \exp \left( -AR_{p0,2/20} - \frac{Q}{RT} + \ln \varepsilon_{MG} + K \right) \exp(B\sigma) \quad (9)$$

Azonos anyagot ( $R_{p0,2/20}$  = állandó) a  $T$  = állandó hőmérsékleten vizsgálva az állandósult kúszás sebessége csak a húzóterhelés függvénye:

$$\dot{\varepsilon}_s = K_s \exp(B\sigma) \quad (9/a)$$

A (2) és a (9/a) összefüggést beírva a (3) közelítően egyenlő összefüggésbe, és az egyenletet  $\sigma$ -ra rendezve – figyelembe véve, hogy  $\frac{\varepsilon}{K_s} \gg \frac{v}{c}$  (mintegy két nagyságrenddel kisebb), majd a  $K_s$ -et visszaírva – megkapjuk az  $\varepsilon$  maradó nyúláshoz, az  $(\varepsilon, t, T)$  értékekhez tartozó  $\sigma_{v/T}$  kúszáshatár:

$$\sigma_{v/T} = \frac{1}{B} \ln t + \frac{1}{B} \left( \ln \varepsilon + AR_{p0,2/20} + \frac{Q}{RT} \ln \varepsilon_{MG} + K \right) \quad (10)$$

Ahhoz, hogy a (3), a (9) és a (10) összefüggésekkel ötvözetcsoporthoz érvényesen számításokat végezhessünk, ki kellett egészítenünk az intelligens adatbázist, azaz meg kellett határozni az  $\varepsilon_{MG}$  nyúlás, a  $c$  és a  $v$  tényező értékét.

Ennek egyik módja, hogy ehhez az ötvözetcsoporthoz tartozó anyagok kúszásvizsgálatokkal felvett – és az állandósult tartomány stabil kialakulását mutató –  $\varepsilon(t)$  kúszásgörbéit használhatjuk. Ezt tettük a kiválásokkal keményített ferrites acélok csoportjára érvényes, dimenzió nélküli  $v$  értékének ( $v = 11$ ), illetve a  $c$  ( $\text{h}^{-1}$ ) tényező értékének a meghatározásakor. A ferrites acélcsoportra a  $c$  értéke az alábbi tapasztalati összefüggéssel becsülhető [ $T$  (K),  $R_{p0,2/20}$  (MPa)]:

$$c = \exp \left[ (-4,6 \cdot T^{-1} + 1,07 \cdot 10^{-3}) R_{p0,2/20} + 0,031 \cdot T - 30,810 \right] \cdot (\text{h}^{-1}) \quad (11)$$

Az  $\varepsilon_{MG}$  meghatározásának statisztikailag megbízható módja a (10) összefüggés kínál lehetőséget. Ugyanis, átrendezve az egyenletet, a kúszáshatár az anyagszerkezetre jellemző  $R_{p0,2/20}$  folyáshatár lineáris függvénye [csakúgy, mint a (6)-ból a kúszási szilárdság]:

$$\sigma_{v/T} = \frac{1}{B} \left( A + \frac{Q_0}{RT} \right) R_{p0,2/20} + \frac{1}{B} \left( \ln \varepsilon + \frac{Q_T}{RT} - \ln \varepsilon_{MG} + K + \ln t \right) \quad (10/a)$$

Az [5] értekezésünkben már igazoltuk a kísérleti adatok statisztikus feldolgozásával a (10/a) érvényességét. Felhasználva az ötvözetcsoporthoz érvényes  $\sigma_{v/T} = aR_{p0,2/20} + b$  korrelációs összefüggés  $b$  állandóját és az 1. táblázatban közölt állandókat, a Monkman–Grant-törési kritérium, az  $\varepsilon_{MG}$  nyúlás várható értéke a (12) összefüggéssel meghatározható:

$$\varepsilon_{MG} = \exp \left( \ln \varepsilon + \frac{Q_T}{RT} + K - \ln t - B \cdot b \right) \quad (12)$$

Felhasználva a folyáshatár szóba jöhető tartományában kiegyensúlyozottan rendelkezésre álló, 550 °C-on mért  $\sigma_{1/10^4/550}$  kúszáshatár adatokra illesztett korreláció  $b$  állandóját (1970, [5]), meghatároztuk a relatív stabil állapotú, inkoherens kiválásokkal keményített ferrites acélokra érvényes Monkman–Grant-törési kritérium nyúlásértékét:  $\varepsilon_{MG} = 0,045$ .

Az  $\varepsilon_{MG}$  így módon meghatározott értékével – mint ötvözetcsoporthoz jellemző állandóval – és az 1. táblázatban közölt állandókkal (ún. közvetett módszer) kiszámítottuk a ferrites acélcsoportra 500, 550 és 600 °C-on érvényes, (10/a) szerinti  $\sigma_{1/10^4/T}$  kúszáshatár-folyáshatár összefüggéseket:

$$\begin{aligned} \sigma_{1/10^4/500} &= 0,249 R_{p0,2/20} + 9,4 \text{ (kp/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{1/10^4/550} &= 0,190 R_{p0,2/20} + 1,2 \text{ (kp/mm}^2\text{)} \\ \sigma_{1/10^4/600} &= 0,141 R_{p0,2/20} - 3,2 \text{ (kp/mm}^2\text{)}, \end{aligned}$$

és összevetettük a különböző minőségű acélokon mért vizsgálati adatokkal (ezeket még kp/mm<sup>2</sup>-ben közölték) [12–18]. Ezt szemlélteti az 1. ábra. Látható, hogy a mérési adatok nagy többsége a közvetett módszerrel számított egyenesek  $\pm 10$  rel.% szórási sávjain belül helyezkednek el, azaz – az elmélettel összhangban – a Monkman–Grant-törési kritérium  $\varepsilon_{MG}$  nyúlása ötvözetcsoporthoz érvényes, a hőmérséklettől és a terheléstől független, állandó érték.

Felhasználva a ferrites acélcsoportra érvényes intelligens adatbázist, azaz az  $\varepsilon_{MG} = 0,045$  értéket és az 1. táblázatban közölt állandókat, és figyelembe véve a Csepel Művek Központi Anyagvizsgáló Osztályán – a Vaskut Anyagvizsgáló Osztályával együttműködve – az 1960-as években végzett kúszásvizsgálat-sorozat (1966, [19]) feltételeit ( $R_{p0,2/20} = 383$  átlag és max. 400 ill. min. 360 MPa,  $T = 550$  átlag és max 552, ill. min 548 °C,  $\sigma = 49$  MPa,  $c = 8,26 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$  átlag és  $7,50 \cdot 10^{-4}$ , ill.  $9,53 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$  és  $v = 11$ ) a közvetett módszerrel – a (9) képlettel – számításokat végeztünk. A kúszás átlagos állandósult sebességére  $\dot{\varepsilon}_s = 2,746 \cdot 10^{-7} (\text{h}^{-1})$  értéket kaptunk (a szélsőértékekre pedig: a max.  $\dot{\varepsilon}_s = 3,72 \cdot 10^{-7}$  és a min.  $\dot{\varepsilon}_s = 2,19 \cdot 10^{-7}$ ), míg a kúszásgörbe menetére jellemző, a (3) összefüggéssel számított maradó nyúlás átlagértékeit és terjedelmét, összevetve a kísérleti adatokkal, a 2. táblázatban és a 2. ábrában foglaltuk össze.

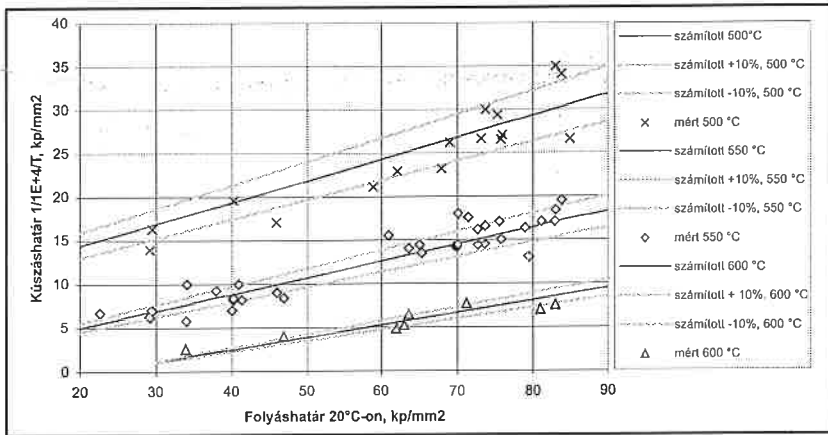
Az összevetésből kitűnik, hogy a kúszásgörbe számított menete és szórássterjedelme jól megegyezik a kúszásvizsgálat mérési adataival.

**2. táblázat.** Az 550 °C-on,  $\sigma = 49$  MPa terheléssel  $10^4$  óráig vizsgált Cr5Mo45.47 acél mért és számított  $\varepsilon(t)$  kúszásgörbéje adatainak összevetése

**Table 2** Comparing of the measured (mért) and calculated (számolt) creep strain data of  $\varepsilon(t)$  creep curve concerning to the Cr5Mo45.47 steel tested to  $10^4$  hours at 550 °C and  $\sigma = 49$  MPa

| $t$ idő, h                  | $10^2$               | $5 \cdot 10^2$       | $10^3$               | $2 \cdot 10^3$       | $4 \cdot 10^3$       | $6 \cdot 10^3$       | $8 \cdot 10^3$       | $10^4$               |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\bar{\varepsilon}$ mért    | $2,57 \cdot 10^{-4}$ | $5,30 \cdot 10^{-4}$ | $9,18 \cdot 10^{-4}$ | $1,29 \cdot 10^{-3}$ | $1,68 \cdot 10^{-3}$ | $2,39 \cdot 10^{-3}$ | $2,94 \cdot 10^{-3}$ | $3,23 \cdot 10^{-3}$ |
| $\bar{\varepsilon}$ hibája  | $4,30 \cdot 10^{-5}$ | $6,60 \cdot 10^{-5}$ | $5,43 \cdot 10^{-5}$ | $6,00 \cdot 10^{-5}$ | $5,94 \cdot 10^{-5}$ | $1,42 \cdot 10^{-4}$ | $1,51 \cdot 10^{-4}$ | $2,12 \cdot 10^{-4}$ |
| $\bar{\varepsilon}$ szórása | $1,15 \cdot 10^{-4}$ | $1,88 \cdot 10^{-4}$ | $2,87 \cdot 10^{-4}$ | $3,00 \cdot 10^{-4}$ | $2,85 \cdot 10^{-4}$ | $4,02 \cdot 10^{-4}$ | $4,27 \cdot 10^{-4}$ | $6,00 \cdot 10^{-4}$ |
| – max. $\varepsilon$        | $5,80 \cdot 10^{-4}$ | $7,80 \cdot 10^{-4}$ | $1,35 \cdot 10^{-3}$ | $1,80 \cdot 10^{-3}$ | $2,25 \cdot 10^{-3}$ | $2,85 \cdot 10^{-3}$ | $3,45 \cdot 10^{-3}$ | $4,20 \cdot 10^{-3}$ |
| – min. $\varepsilon$        | $1,00 \cdot 10^{-4}$ | $2,30 \cdot 10^{-4}$ | $3,90 \cdot 10^{-4}$ | $1,00 \cdot 10^{-3}$ | $1,20 \cdot 10^{-3}$ | $1,65 \cdot 10^{-3}$ | $1,95 \cdot 10^{-3}$ | $2,70 \cdot 10^{-3}$ |
| számolt $\bar{\varepsilon}$ | $2,65 \cdot 10^{-4}$ | $6,92 \cdot 10^{-4}$ | $8,75 \cdot 10^{-4}$ | $1,15 \cdot 10^{-3}$ | $1,70 \cdot 10^{-3}$ | $2,25 \cdot 10^{-3}$ | $2,80 \cdot 10^{-3}$ | $3,35 \cdot 10^{-3}$ |
| – max. $\varepsilon$        | $3,65 \cdot 10^{-4}$ | $9,84 \cdot 10^{-4}$ | $1,25 \cdot 10^{-3}$ | $1,63 \cdot 10^{-3}$ | $2,37 \cdot 10^{-3}$ | $3,12 \cdot 10^{-3}$ | $3,86 \cdot 10^{-3}$ | $4,60 \cdot 10^{-3}$ |
| – min. $\varepsilon$        | $2,06 \cdot 10^{-4}$ | $5,09 \cdot 10^{-4}$ | $6,42 \cdot 10^{-4}$ | $8,62 \cdot 10^{-4}$ | $1,30 \cdot 10^{-3}$ | $1,74 \cdot 10^{-3}$ | $2,17 \cdot 10^{-3}$ | $2,61 \cdot 10^{-3}$ |

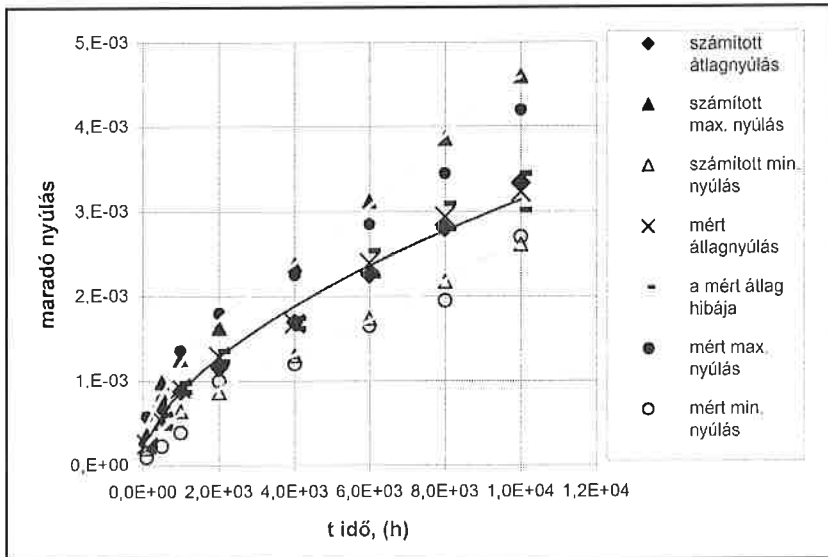
Érdemes rámutatni – tekintettel az előírt alakváltozásra méretezés esetére –, hogy a (3) egyenletből meghatározható az a  $t$  időtartam, amely alatt az adott  $(\sigma, T)$  kúszási igénybevétel mellett bekövetkezik a megengedett  $\varepsilon$  maradó nyúlás.



1. ábra. A ferrites melegsilárd acélok közvetett módszere, a (10/a) szerinti  $\sigma_{1/10^4T}$  kúszáshatár–folyáshatár összefüggéseinek egyezése a kísérleti [12–18] adatokkal.

Az  $\varepsilon_{MG} \neq f(\sigma, T)$  kísérleti bizonyítása.

Fig. 1 The measured creep limit data by [12–18] corresponding with the creep limit–yield strength relations calculated by Eq.(10/a). Experimental proof of the  $\varepsilon_{MG} \neq f(\sigma, T)$  of Monkman–Grant’s fracture criterion



2. ábra. A kúszásgörbe számított és mért lefutásának összevetése (acél: Cr5Mo45.47, T = 550°C,  $\sigma = 49$  MPa)

Fig. 2 Comparing of the measured and calculated  $\varepsilon(t)$  creep curve

3. táblázat. A német–angol relaxációs vizsgálat mért [20] és számított eredménye  
Table 3 Relaxation test’s results calculated by Eq. (14) and (15) and measured by the German–English round robin testing [20]

| t (h)               | 1      | 10     | 30     | 50     | 100    | 300    | 500    | 1000   | 1250   | 1750   | 2000   |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\sigma$ MPa        | 285,3  | 259,8  | 242,7  | 234,6  | 221,0  | 188,8  | 167,2  | 133,5  | 124,1  | 111,8  | 106,9  |
| $\sigma_{max}$      | 313,9  | 290,4  | 265,8  | 256,5  | 244,1  | 209,9  | 194,4  | 166,0  | 155,0  | 140,3  | 134,9  |
| $\sigma_{min}$      | 271,7  | 233,3  | 222,5  | 220,7  | 199,1  | 153,0  | 132,4  | 105,9  | 98,1   | 86,3   | 81,4   |
| $\bar{\sigma}$ szám | 312    | 277    | 248    | 232    | 210    | 174    | 158    | 135    | 127    | 116    | 111    |
| d $\sigma$ /dt      | -3,011 | -1,381 | -0,814 | -0,631 | -0,413 | -0,156 | -0,083 | -0,031 | -0,023 | -0,016 | -0,014 |

## A relaxáció leírása

A megújulással végbemenő kúszás hőmérsékletén, állandó értéken tartva a húzóterheléssel létrehozott, nagyrészt rugalmas alakváltozást ( $\varepsilon_p$ ), a kezdeti  $\sigma_0$  feszültség folyamatosan csökken, mivel az alakváltozás rugalmas összetevője folyamatosan maradó nyúlással ( $\varepsilon_p$ ) változik.

A t idő szerint deriválva az állandó értéken tartott nyúlásra vonatkozó

$$\varepsilon = \varepsilon_p + \varepsilon_r = \text{állandó}$$

összefüggést és a rugalmas összetevőre érvényes Hooke-törvényt:  $\sigma = E \cdot \varepsilon_r$  felírhatjuk a relaxáció differenciálegyenletét:

$$\frac{d\varepsilon_p}{dt} + \frac{1}{E} \frac{d\sigma}{dt} = 0 \quad (13)$$

ahol  $E$  az anyag rugalmassági modulusa a  $T =$  állandó hőmérsékleten.

A megújulással végbemenő kúszás hőmérséklet-tartományában a képlekeny nyúlás sebességére a (12) összefüggés érvényes. Ezt beírva (13)-ba – figyelembe véve a (2) és a (9/a) összefüggéseket is – a relaxáció differenciálegyenlete végül is a következő:

$$\frac{d\sigma}{dt} = -K_s E \cdot \left\{ \exp \left[ -ct \exp(B\sigma) + B\sigma \right] + \exp(B\sigma) \right\} \quad (14)$$

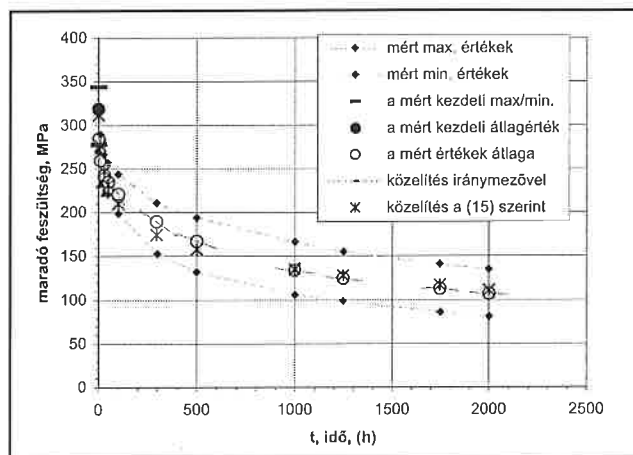
A (14) differenciálegyenlet a változók szétválasztásával, zárt alakban nem oldható meg. Közelítő megoldásokra kényszerülünk. Például a (14)-gyel kiszámíthatjuk és ábrázolhatjuk a megoldást tartalmazó iránymezőt, és a  $t = 0$ ,  $\sigma = \sigma_0$  kezdeti feltételből kiindulva grafikusán megszerkeszthetjük  $\sigma(t)$  relaxációs görbét.

Zárt alakú közelítő megoldásra juthatunk, ha a (13)-ban a képlekeny nyúlás sebességét a (1/a) szerinti kezdeti nyúlássebességgel helyettesítjük. Így – a változók szétválasztása és integrálás után – a  $\sigma(t)$  relaxációs görbe egyenletére a (15) összefüggést kapjuk:

$$\sigma = -\frac{1}{B} \ln \left\{ \exp(-B\sigma_0) + (\nu+1)BK_s E t \right\} \quad (15)$$

A (14) és a (15) összefüggések kísérleti ellenőrzéséhez a statisztikailag is értékelt német–angol közös vizsgálatok eredményeit használhattuk (1972, [20]). A nagy szilárdságú, kiválóan keményített, ferrites 1%CrMoV-acél hőkezelés után ellenőrzött mintáin kilenc angol és hat német laboratóriumban végeztek egytengelyű húzással relaxációs vizsgálatot a BS 3500, illetve a DIN 50118 szabvány előírásai szerint, összesen 34 db próbatesten, mégpedig 500°C-on egészen 2000 óráig. Az állandó értéken tartott össznyúlás átlagértéke: 0,2%, a kezdeti feszültség átlagértéke pedig 319 MPa volt. Az acél 20°C-on mért átlagos folyáshatára:  $R_{p0,2/20} = 729$  MPa, rugalmassági modulusa 500°C-on:  $E = 1,64 \cdot 10^5$  MPa. A mért [20] és a (15) összefüggéssel számított adatokat a 3. táblázatban és a 3. ábrában foglaltuk össze. Az ábrán feltüntettük a (14)-gyel számított iránymezőtől a  $t = 0$ ,  $\sigma_0 = 319$  MPa kezdeti feltételhez és a mért átlagos feszültségekhez tartozó érintőket is. A számítást az 1. táblázatban közölt, a ferrites acélcsoportra érvényes állandókkal, valamint  $\varepsilon_{MG} = 0,045$ ,  $\nu = 11$  és  $c = 10^{-6} \text{ h}^{-1}$  értékekkel végeztük.

A mért és a számított adatokat összehasonlítva megállapítható, hogy a (14)-gyel számított iránymezőtől a kezdeti feltételhez és a mért átlagértékekhez hozzárendelt d $\sigma$ /dt érintők kielégítően követik a mért relaxációs görbe átlagos menetét, továbbá, hogy ezt a kezdeti



3. ábra. A relaxáció mért [20] és számított eredményeinek összehasonlítása

Fig. 3 Comparing of the measured [20] and calculated [by Eq. (14) and (15)] relaxation results

nyúlássebesség közelítéssel meghatározott (15) összefüggés is kielégítően pontosan leírja.

## Irodalom

1. Lehofer, K.: A mechanikai tulajdonságok intelligens adatbázisai, Anyagvizsgálók Lapja 14 (2004) 4. pp. 110–113.
2. Lehofer, K.: A kifáradási élettartam meghatározása nagy hőmérsékleten, Gép XXIX. (1977) 3. pp. 100–108.
3. Threadgill, P. L., Wilshire, B.: Mechanisms of transient and steady-state creep in a  $\gamma'$ -hardened austenitic steel; in Proc. of conf. on creep strength in steel and high-temperature alloys, Sheffield, 1972., pp. 8–14.
4. Dorn, J. E.: Some fundamental experiments of high temperature creep. Proc. of a symposium held at the NPL. London. 1956. pp. 89–132.

5. Lehofer, K.: Osszefüggések a kiválasztott keményedő ötvözetek szövetszerkezete és kúszási tulajdonságai között. Kandidátusi értekezés. MTA. 1970.
6. Lehofer, K.: New method for appreciation of recovery creep properties of the precipitation hardened alloys ... Proc. 4<sup>th</sup> Conf. on Dimensioning, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971. p. 89.
7. Monkman, F. C., Grant, N. J.: Proc. ASTM, 56 (1956) pp.593–605.
8. Davies, P. W., Wilshire, B.: Structural processes in creep, London, 1961., p. 34.
9. Viswanathan, R.: Metals Technology, I. (1974) 6. p. 284.
10. Nix, W. D., Matlock, D. K., Dimelfi, R. J.: A model of creep fracture based on the plastic growth of cavities..., Acta Metallurgica, Vol 25 (1977) 5. p. 495.
11. Krasowsky, A. J., Tóth, L.: A thermodynamic analysis of the empirical power relationships for creep rate and rupture time, Metallurgical and Materials Transactions A Vol 28A (1997) pp.1–12.
12. Ergebnisse Deutscher Zeitstandversuche Langer Dauer, Hrsg.: VDEh., Düsseldorf 1969.
13. Jahn, E.: Archiv f. Eisenhüttenwesen 28 (1967) 5/6, pp. 259–267.
14. Holdt, H., Grün, P.: Archiv f. Eisenhüttenwesen 28 (1967) 5/6, pp. 269–285.
15. Krisch, A.: Archiv f. Eisenhüttenwesen 37 (1966) 4, pp. 317–324.
16. Belka, G., Melzer, B.: Neue Hütte 13 (1968) pp. 234–239.
17. Mumme, P., Belka, G.: Neue Hütte 9 (1964) pp. 736–742.
18. Krisch, A., Naumann, F. K., Keller, H., Kudielka, H.: Archiv f. Eisenhüttenwesen 41 (1970) 1, pp. 43–53.
19. Csepel Művek Központi Anyagvizsgáló Osztály 1/1966 témaszámú jelentése: Kúszás közben végbemenő anyagszerkezeti változások vizsgálata (témavezető: Lehofer, K.)
20. Hacon, J., Krause, M.: Streuung der Spannungsrelaxation eines 1%CrMoV-Schraubenbolzenstahls unter einachsiger Zugbeanspruchung. Internationale Tagung für Eigenschaften warmfester Stähle, Düsseldorf 1972., Bd. 2. S. V.1. 1–16. Hrsg.: VDEh., Düsseldorf.

## SZABVÁNYOSÍTÁS

**Új ISO-szabványok**, amelyek 2004. február 21-e és augusztus 23-a között jelentek meg. (Az ISO Bulletin alapján készült tájékoztató címfordítások.)

- ISO 18175:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. Ultrahangos impulzusvisszhang-vizsgáló rendszerek teljesítményjellemzőinek értékelése elektronikus mérőműszerek nélkül.
- ISO 13936-1-2:2004; Textilek. A fonalak elcsúszással szembeni ellenállásának meghatározása a szőtt anyagok varrásaiban. 1. rész: Rögzített varratos nyílt módszer. 2. rész: Rögzített terheléses módszer.
- ISO 34-1:2004; Vulkanizált és hőre lágyuló gumi. A szakítószilárdság meghatározása. 1. rész: Nadrág, átlós és ívelt próbatestek.
- ISO 6914-1:2004; Vulkanizált és hőre lágyuló gumi. A kopási jellemzők meghatározása a feszültségcsökkenés mérésével.
- ISO/TS 21748:2004; Irányelvek az ismételhetőséghez, a reprodukálhatósághoz és a valódiság becsléséhez a bizonytalanságbecslés mérésében.
- ISO 2575:2004; Közúti járművek. Törésvizsgálati eljárás a törésvédelmi rendszerek értékelésére a frontális ütközések szimulációjával.
- ISO 15828:2004; Közúti járművek. Ellensúlyozó frontális törésvizsgálati eljárások.
- ISO/TR 18569:2004; Gépek biztonsága. Irányelvek a gépek biztonságáról szóló szabványok értelmezéséhez és használatához.
- ISO 1209-1-2:2004; Szilárd habosított műanyagok. A hajlítási tulajdonságok meghatározása. 1. rész: Alapvető hajlítóvizsgálatok. 2. rész:

A hajlítószilárdság és a látszólagos rugalmas hajlítási modulus meghatározása.

- ISO 21207:2004; Korrózióvizsgálatok mesterséges atmoszférában. Gyorsított korrózióvizsgálatok, beleértve a korróziót elősegítő gázokat. Semleges só szórása és szárítás váltakozó hatásának vizsgálata.
- ISO 21270:2004; Felületi vegyi analízis. Röntgensugaras fotoelektron- és Auger-elektron-spektrométerek. Az intenzitási skála linearitása.
- ISO 2810:2004; Fesztékek és lakkok. Bevonatok természetes időjárásállósága. Kitérés és értékelés.
- ISO 15612:2004; Fémek anyagok hegesztési eljárásainak előírásai és minősítése. Minősítés szabványos hegesztési eljárással.
- ISO 16012:2004; Műanyagok. A vizsgálati mintadarabok lineáris méreteinek meghatározása.
- ISO 1920-7:2004; Beton vizsgálata. A megszilárdult beton roncsolásmentes vizsgálata.
- ISO 19232-1-5:2004; Roncsolásmentes vizsgálatok. A radiográfiai felvételek minősége. 1. rész: Képmínőségjelzők (huzalos). A képmínőségérték meghatározása. 2. rész: Képmínőségjelzők (lépcsős/luratos). A képmínőségérték meghatározása. 3. rész: Képmínőség-osztályok vasalapú ötvözetekhez. 4. rész: A képmínőségi értékek és táblázatok tapasztalati értékelése. 5. rész: Képmínőségjelzők (kéthuzalos). A képélettenségi értékek meghatározása.
- ISO 16664:2004; Gázok elemzése. Kalibrálószerek és gázkeverékek kezelése. Irányelvek.
- ISO 19819:2004; Fémek anyagok. Szakítópróba folyékony héliumban.

# Könyöksajtolással előállított ultra-finom-szemcsés alumíniumötvözet mechanikai és mikroszerkezeti tulajdonságainak a vizsgálata

Krállics György\* – Fodor Árpád\*\*

## Abstract

Investigation of mechanical properties and micro-structure of an aluminium alloy having ultra-fine grains processed by ECAP. The interest in bulk nanostructured materials (NSM), processed by methods of severe plastic deformation (SPD), is justified by their unique physical and mechanical properties. ECAP is one of the most widespread techniques for producing ultra-fine grained materials. The main idea of ECAP is that the metal is deformed through a process of simple shear taking place in the cross sectional area without any geometrical change of the ingot.

In the present report the results of systematic investigations of the influence of SPD on mechanical properties and microstructure of 6082 commercial Al-Mg-Si alloy billets, processed by the ECAP technique was examined by tensile-, upsetting test and TEM, X-ray diffraction peak profile analysis.

High strength and high ductility phenomenon that was found recently in materials after SPD were reached with the route C. Such unusual behaviour of materials in comparison with "classical" tendencies to lost ductility with increased strength needs to be understood therefore to be studied deeper. We revealed this phenomenon at Al 6082 after eight pass at route C. The other observed phenomenon that needs future studies was the induced anisotropy occurred through the upsetting tests of specimens after certain routes of ECAP.

## Bevezetés

Az intenzív képlékeny alakítással előállított tömbi nanoszemcsés anyagok kivételes fizikai és mechanikai jellemzőkkel rendelkeznek. Könyöksajtolás az egyik legelterjedtebb technológiai az ilyen anyagok előállítására. A könyöksajtolás mechanikai sémája szerint a fémkristályok a nyírási sík mentén tiszta nyíró igénybevétel hatására deformálódnak a munkadarab keresztmetszetének változatlansága mellett.

A cikk bemutatja a 6082-es Al-Mg-Si kereskedelmi alumínium-ötvözetű próbadarabokon könyöksajtolással megvalósított intenzív képlékeny alakítás hatását az anyag mechanikai és mikroszerkezeti tulajdonságaira felhasználva a szakító-, zömítő, a transzmissziós elektron-mikroszkópi és röntgendiffrakciós csúcspól vizsgálatok eredményeit.

A nagy szilárdság mellett jelentős mértékű képlékeny alakváltozó-képességet mértünk a C típusú alakítási út esetében. Az ilyen kivételes jelenség pontosabb megértése – összehasonlítva a hagyományos anyagviselkedéssel, ami szerint "megnövelt szilárdság alacsony képlékenységgel párosul" – további vizsgálatokat igényel. Ezt a hatást a C típusú alakítási úttal gyártott 6082-es alumíniumötvözet nyolcadik átsajtolással előállított mintáinál tapasztaltuk. A zömítőkísérletek során az úgynevezett indukált anizotrópiát figyeltünk meg a többször zömített munkadarabon, mely mechanizmusnak tisztázása is még további kísérleteket kíván.

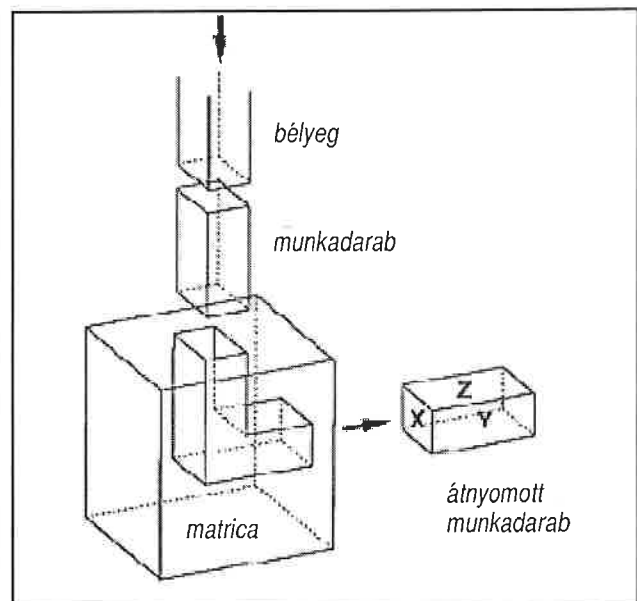
## A könyöksajtolási technológia

Az ECAP (Equal Channel Angular Pressing) [1], amelyet 1972-ben

\*Egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Anyagtudomány és Technológia Tanszék H-1111. Budapest, Bertalan L. u.7. Tel.: (1) 463 1445, e-mail: krallics@eik.bme.hu és \*\* a tanszék Ph.D. hallgatója, tel.: (1) 463 1234, e-mail: arpad.fodor@freemail.hu

Belorussziában találtak fel, egy olyan szemcseszerkezet finomító eljárást jelent, amellyel a térfogati kiterjedésű munkadarabok mechanikai tulajdonságait tudatosan, irányítottan lehet megváltoztatni. A gyártási eljárás leírásában igazi nagy áttörést az 1990-es évek hoztak, amikor is a mérnökök figyelme a nanoszemcsés anyagok vizsgálata felé fordult.

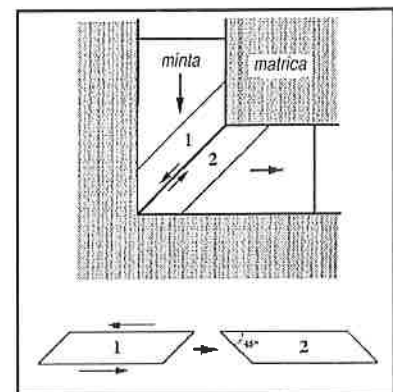
Több olyan gyártási eljárás is létezik, amelyekkel nanoszemcsé szerkezetűvé lehet alakítani anyagokat, pl. a gázkonzenzáció, őrlés golyósmalomban. Ezen eljárások legnagyobb hátránya a gyártás utáni porozitás, illetve szennyező anyagok jelenlétében rejlik, ami az intenzív képlékeny alakításokban nem fordul elő. A könyöksajtolásnak az olyan hagyományos eljárásokkal – hengerlés, sajtolás, húzás, amelyekkel szintén nagy alakváltozást, illetve szemcséfinomodást lehet elérni – szembeni előnye abban mutatkozik meg, hogy a munkadarabok keresztirányú mérete nem fog megváltozni, illetve a feszültségek elosz-



1. ábra. A könyöksajtolás sematikus bemutatása  
Fig. 1 Schematic illustration of ECAP

lása valamint az alakváltozás is közel egyenletes lesz a munkadarab teljes térfogatában. A könyöksajtolás lényegét az 1. ábra szemlélteti.

A matricában két, egymást derékszögben metsző csatorna található, amelyek keresztmetszete megegyezik és állandó. A munkarabot, az egyik csatornából a másikba egy tűske mozgásával juttatjuk. A csatornák találkozásánál

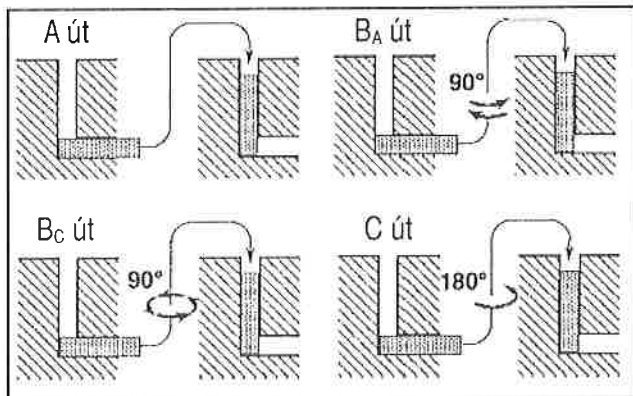


2. ábra. Az elnyíródás elve az 1-es és a 2-es elem között  
Fig. 2 The principle of shearing between elements 1 and 2

a munkadarab keresztmetszetének vékony rétegében az anyag egyszerű nyírást szenved [2].

Alakítás közben a szemcsék nemcsak finomodnak, hanem nagy szemcseesőgű határokkal fognak egymáshoz kapcsolódni. A szerszámcSATORNÁBAN kialakuló, közel hidrosztatikus feszültségállapot következtében, az anyag nem fog károsodást, törést szenvedni. A négyszög keresztmetszetű szerszámcSATORNÁ mellett gyakran használnak kör keresztmetszetű csatornát is.

A könnyűsajtolás számos előnye a munkadarabok többszöri átnyomásával, alakításával mutatkozik meg, mely lehetővé teszi a különböző struktúrák kialakítását a nyírási síkok ill. irányok módosítása által [3]. Ezeket a forgatásokat a szakirodalom alakítási utaknak nevezi, amelyeket a 3. ábrán mutatunk be.

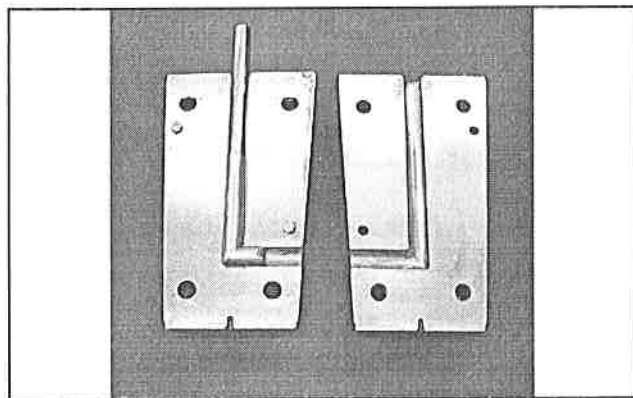


3. ábra. Az alakítási utak megvalósítása  
Fig. 3 Versions of ECAP pressings

## A mechanikai tulajdonság-változások vizsgálata

Alapvetően AlMgSi1, vagy a kereskedelmi forgalomban az Al 6082 néven kapható alumíniumötvözetet használtuk a kísérleteinkhez. A kiindulási munkadarabok 145 mm hosszú,  $\varnothing$  15 mm rudak voltak. A darabokat előzetesen hőkezeltük 420°C-on, 40 perc hőntartással. Három különböző úttal – C, B<sub>C</sub>, B<sub>A</sub> – gyártottunk le 4-szer illetve 8-szor kisajtolt munkadarabokat. Az előzetes vizsgálatok szerint, szemcsefinomodás tekintetében az A út szolgáltatja a legrosszabb eredményt, ezért ezzel az alakítási úttal nem gyártottunk darabokat. Az alakító szerszámot a 4. ábra mutatja, melynek szerszámcSATORNÁJÁBAN egy részlegesen alakított munkadarab is látható.

Sajtolás során a matricát a szorítógyűrű fogja össze. Az alakítást szobahőmérsékleten 8 mm/perc sebességgel végeztük. A sajtolás maximális erőszükséglete: 160 kN. A próbatesten zömítő-, és szakítóvizsgálatokat végeztünk, hogy meghatározzuk a sajtolás hatására kialakuló

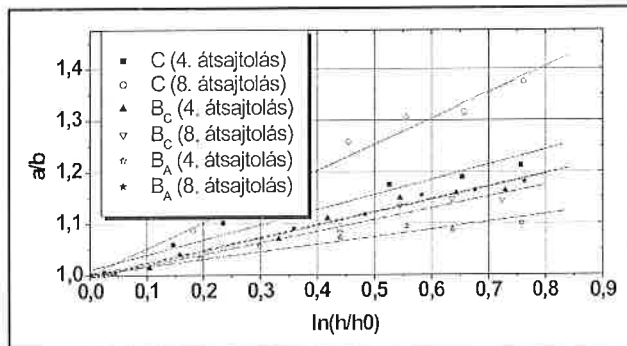


4. ábra. Az alakító szerszám  
Fig. 4 Die of ECAP

tulajdonságokat. A vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket a munkadarabok hosszanti tengelyének középső szakaszából munkáltuk ki, ahol még az alakváltozás közel egyenletesnek vehető. A vizsgálatokat alakítatlan, egyszer, négyszer, illetve nyolcszor kisajtoló darabokon végeztük el.

## Zömítővizsgálat

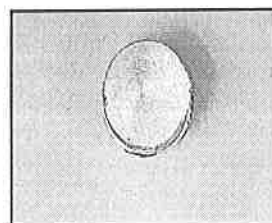
A zömítési kísérlet [5] során a próbadarabok magasságát, a kezdeti kör keresztmetszetből kialakuló ellipszis kis-, és nagytengelyeinek hosszát mértük meg. A tengelyek hányadosát, a fajlagos magasságcsökkenés logaritmusának függvényében ábrázoltuk (5. ábra).



5. ábra Az ellipszis tengelyeinek hányadosa, a fajlagos magasságcsökkenés függvényében linearizálva

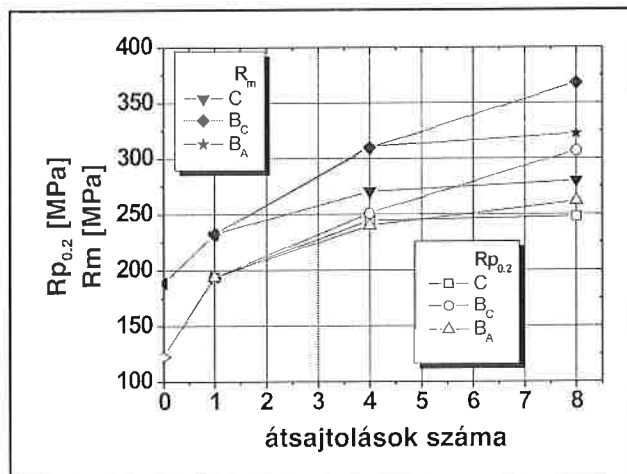
Fig. 5 Diameter ratio vs. compressive strain after via various ECAP passes

A 6. ábra mutatja, hogy a kezdeti kör alakú próbatestek keresztmetszete a zömítő kísérletek során ellipszissé deformálódtak. Az 5. ábra is azt bizonyítja, hogy az alakítási utak igenis hatással vannak az anyag anizotrópiájára. A zömített próbadarabokat úgy munkáltuk ki a munkadarabokból, hogy azok hosszanti tengelye egyazon irányba essen. A kezdeti tengelyszimmetrikus anizotrópia az alakítások során átalakul. Kísérleteinkben mindig az egy irányhoz tartozó anizotrópiás viselkedést tanulmányoztuk, ami nem nyújt teljes körű információt a próbatest többi irányához tartozó anizotrópiájáról.



6. ábra. A zömítések során kapott próbadarab keresztmetszeti képe

Fig. 6 Deformed state of workpiece after pressing



7. ábra. Szilárdsági mérőszámok függése az alakítás mértékének függvényében

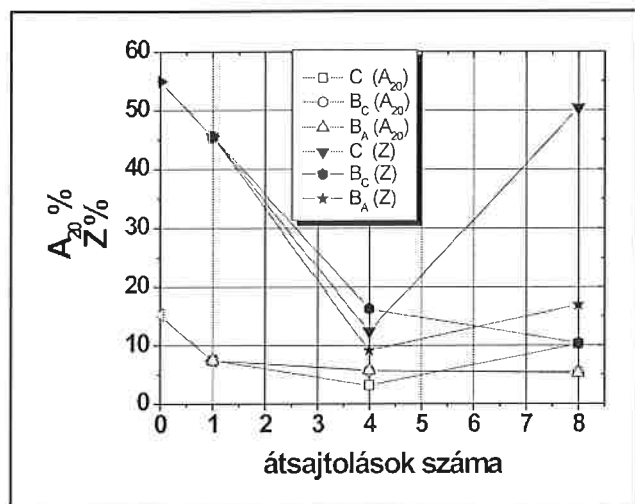
Fig. 7 Yield strength (Rp0.2) and ultimate strength (Rm) via the number of passes for different routes

# Szakítóvizsgálat

Az előzőekben már említett mintadarabokon Instron TT-DM 100 gépen végeztünk szakítóvizsgálatokat [5], és először a szakítószilárdság és a folyáshatár változását ábrázoltuk (7. ábra) a sajtolások számának függvényében. A mérési pontokat egyenesekkel kötöttük össze.

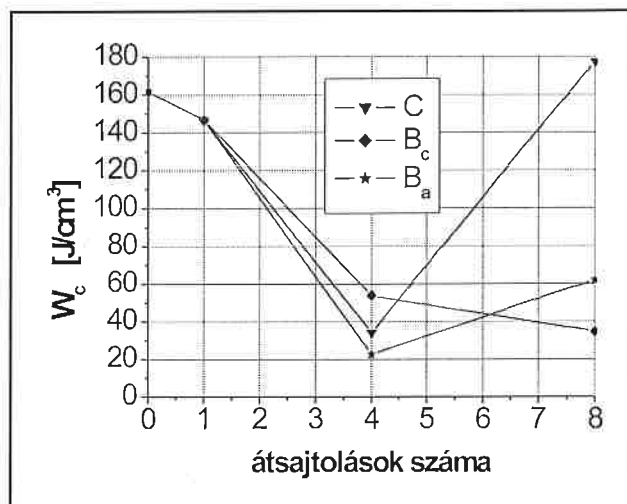
Az alkalmazott alakítási úttól függetlenül a folyáshatár ( $R_{p0,2}$ ) és a szakítószilárdság ( $R_m$ ) az átnyomások számának növekedésével emelkedik. A maximális szilárdságnövekedést az első átnyomás után mértük. A legnagyobb szilárdságnövekedést a  $B_C$  alakítási úttal lehet elérni, a legkisebb növekedést a C esetben tapasztaltuk.

A képlékenységi jellemzők alakulása (8. ábra) ellentétes volt a



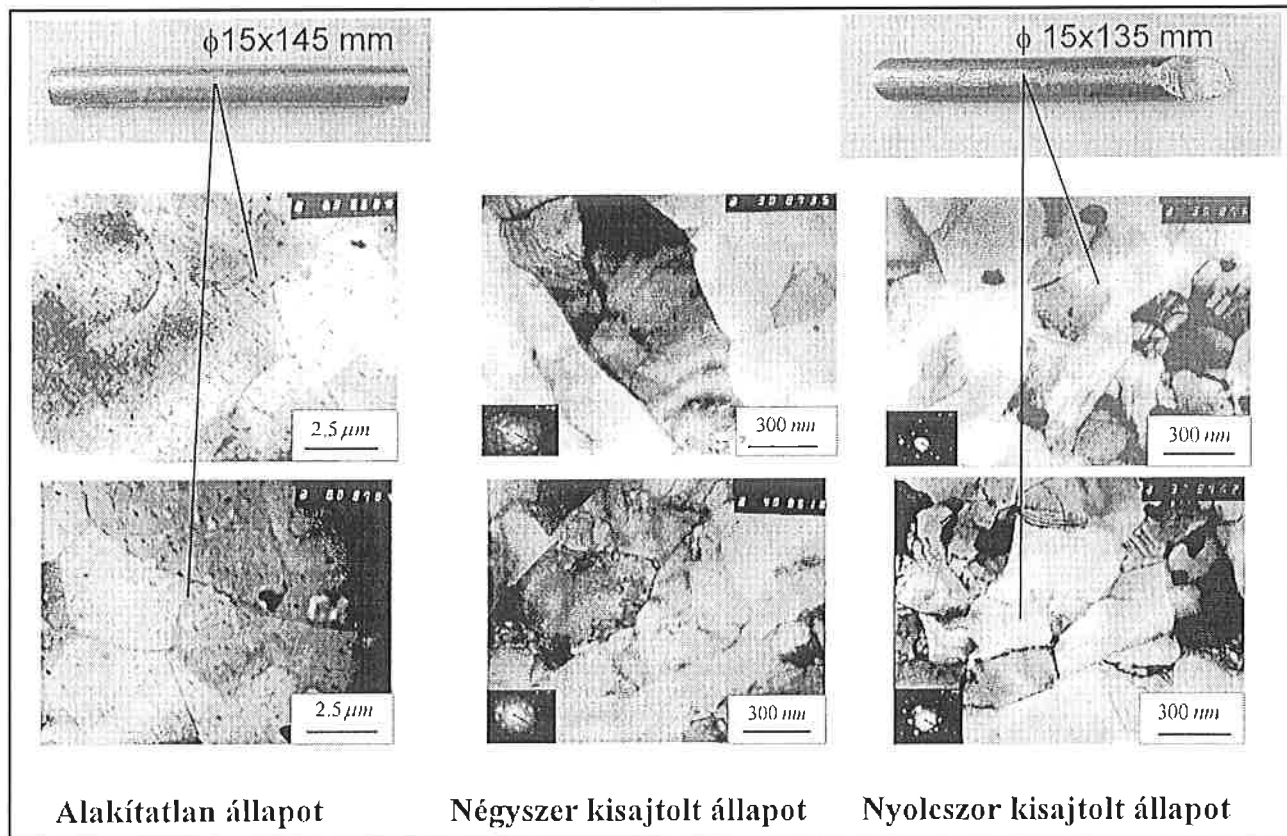
8. ábra. Képlékenységi tulajdonságok függése az alakítás mértékétől  
Fig. 8 Elongation ( $A_{20}$ ) and area reduction (Z) via the number of passes for different routes

megszokott tendenciával. A fajlagos keresztmetszet-változás jelentősen lecsökkent a negyedik átnyomásra. Nagyon érdekes, hogy két alakítási út esetében – C és  $B_A$  – a csökkenést követően emelkedés volt megfigyelhető a további átnyomások hatására. C-nél a keresztmetszet-változás közel a kezdeti értékig nőtt, míg a  $B_C$  alakítási úttal legyártott daraboknál – az eddigi ismereteinknek megfelelően – végig a csökkenés volt jellemző. Ugyanezek a megállapítások igazak a fajlagos hosszváltozásra is. A fajlagos törési munka (9. ábra) változásában kísérhető figyelemmel legjobban az anyag szívóságának változása mindegyik alakítási út esetében.



9. ábra. A fajlagos törési munka változása az alakítás mértékének függvényében

Fig. 9 Absorbed Specific Energy till fracture via the number of passes for different routes

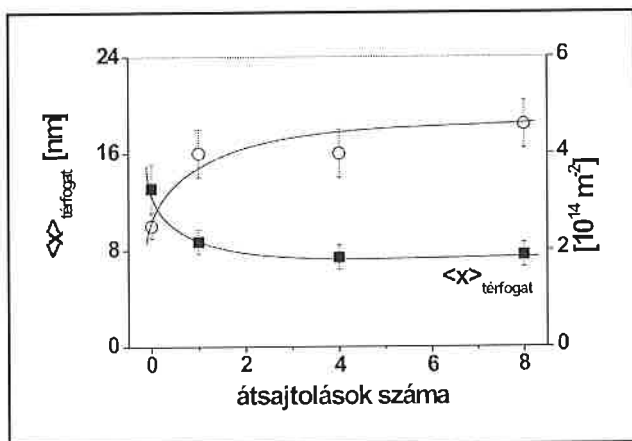


10. ábra. TEM felvételek: a felső sor a kereszt-, az alsó a hosszanti irányú metszetekről  
Fig. 10 TEM micrographs: upper row is the cross and lower row is the longitudinal sections of the specimens

## A mikroszerkezet változása

A mikroszerkezet megismerése céljából transzmissziós elektron-mikroszkopi (TEM) felvételeket készítettünk. A mikroszkópi felvételeken (10. ábra) határozottan nyomon követhető a szemcseszerkezet alakítások közbeni finomodása.

A C alakítási úttal gyártott próbatestek keresztirányú metszetein elvégzett röntgendiffrakciós vonalprofil analízis [4] kimutatta, hogy az első átnyomás után elért átlagos kristallitméret 80 nm és a diszlokáció-sűrűség  $3 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ . A röntgendiffrakciós vizsgálatok érzékenyebben kimutatják a szemcsék közötti orientáció eltéréseket, így a szubszemcsék-re jobban fókuszálva kisebb értéket adnak az átlagos szemcseméretre, mint a transzmissziós elektronmikroszkópi felvételekről meghatározott érték. A mikrostruktúra a további alakítások során szerényebb mértékben finomodott, ezzel egy időben növekedett a diszlokáció-sűrűség egészen a negyedik átsajtolásig.



11. ábra. Tértfogattal súlyozott szemcseméret és a diszlokáció-sűrűség változása az átnyomások számának függvényében

Fig. 11 The area-weighted mean crystallite size, and the dislocation density as a function of passes

A diszlokáció dimenziómentes deformációs energiaparaméter az alakítatlan, előzetes lágyításnak alávetett darabokra:  $M = 4.0 \pm 0.5$  értékre adódott, és a paraméter a nyolcadik kisajtolás után  $2.2 \pm 0.3$  értékre csökkent. Ez azt jelenti, hogy diszlokációs struktúra dipól jellege erősödött az alakítások során. Az eredményeket az 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat. A kiszámított anyagszerkezeti paraméterek változása az átsajtolások számának függvényében

Tabl. 1 Variation of the material characteristics as a function of passes

| Sajtolások száma | $\langle x \rangle_{\text{térfg}} \text{ (nm)}$ | $\rho, 10^{14} \text{ (m}^{-2}\text{)}$ | M       |
|------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------|
| Alakítatlan      | 131±15                                          | 2.3±0.3                                 | 4.0±0.5 |
| 1. átsajtolás    | 87±9                                            | 4.0±0.5                                 | 4.4±0.5 |
| 4. átsajtolás    | 74±9                                            | 3.9±0.5                                 | 2.2±0.3 |
| 8. átsajtolás    | 76±9                                            | 4.6±0.5                                 | 2.2±0.3 |

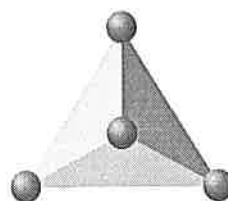
## Összefoglalás

Könyöksajtólással, különböző alakítási utakkal gyártottunk próbadarabokat. Megvizsgáltuk, milyen mértékben változtak meg a mechanikai tulajdonságok és a mikrostruktúra az átsajtolások során. A szilárdsági tulajdonságok egyértelmű növekedést tapasztaltuk. Az

anyag képlékenysége kezdetben csökkenést mutatott, majd a negyedik átnyomástól kezdődően igen jelentős mértékben növekedésnek indult a C alakítási út esetében. A hagyományos képlékeny alakítási technológiáktól eltérően, a szilárdság és a képlékenység egyidejű emelkedését lehet a könyöksajtólási eljárás segítségével megvalósítani, amely ellentmondásban áll az eddigi ismereteinkkel. A jelenség tisztázása további vizsgálatokat igényel. Elsődlegesen a mikroszerkezet megismerésére irányuló kutatásokat kell tovább bővíteni, ugyanis a különös jelenség magyarázata a szemcseszerkezet mikroszkópi szintű megváltozásaiban keresendő. A szemcseszerkezet igen nagymértékben finomodott az első átsajtolás közben, további alakításoknál a finomodás már csak kis mértékű volt, míg a negyedik lépés után megállt. A szemcséfinomodással együtt a diszlokáció-sűrűség változása is egyértelműen növekvő tendenciát mutatott egészen a negyedik átsajtolásig, majd ezt követve kisebb mértékű növekedést mértünk.

## Irodalom

- [1] V. M. Segal: 'Materials processing by simple shear', Materials Science and Engineering A197 (1995) 157-164
- [2] V. M. Segal: 'Equal channel angular extrusion: from macromechanics to structure formation', Materials Science and Engineering A271 (1999) 322-333
- [3] M. Furukawa, Z. Horita, M. Nemoto, T. G. Langdon: 'Review: Processing of metals by equal-channel angular pressing', Journal of Materials Science 36 (2001) 2835-2843
- [4] G. Ribárik, T. Ungár, J. Gubicza: 'MWP-fit: a program for multiple whole-profile fitting of diffraction peak profiles by ab initio theoretical functions', Journal of Applied Crystallography 34 (2001) 669-676
- [5] Fodor Árpád: 'Ultra-finomszemcsés alumíniumötvözet gyártása és tulajdonságainak a vizsgálata', Tudományos Diákköri Konferencia, Anyagtudományi Szekció, Budapest, 2003



## V. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálati és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás

Balatonfüred, 2005. október 9-11.

Bővebb információ és regisztráció  
a [www.oaaakk.hu](http://www.oaaakk.hu) honlapon.

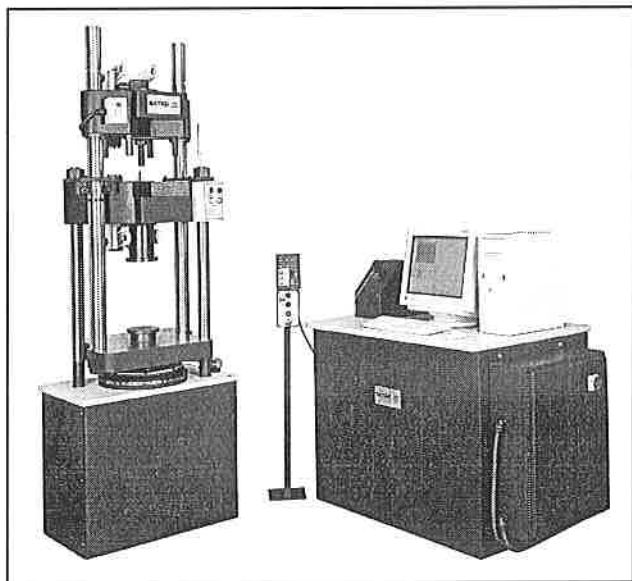
## Az Instron nagy kapacitású vizsgálógépei

Az Instron Ltd. a nagy terhelő erőt igénylő mechanikai anyag- és szerkezetvizsgálatok céljára – a Satec céggel fuzionálva – az univerzális, hidraulikus vizsgálógépek széles választékát kínálja. A gépkonstrukciók tükrözik az Instron hosszú évek alatt a hidraulika-technológiában, a nagy teljesítményű elektronikában és a szoftver-tervezés terén megszerzett tapasztalatait, és lehetővé teszik a vizsgálati igény szerinti befogók, erőmérő cellák, extenzométerek és egyéb tartozékok alkalmazását.

Ismerkedjünk meg közelebbről a gépcsaládok legfontosabb jellemzőivel.

### Az 5590 – HVL sorozatjelű gépcsalád

Ennek a gépcsaládnak – amelynek axiálisan 1500 kN kapacitású 5595-ös modelljét a közelmúltban helyezték üzembe a Pécsi Egyetem Polláck Mihály Műszaki Karán – a kapacitás-tartománya 300 – 3000 kN, azaz egy nagyságrendet fog át. A gépcsalád egyik jellemző tagját az 1. ábrán láthatjuk.



1. ábra. Az Instron 5500 digitális elektronikával vezérelt, hidraulikus befogókkal nyomóvizsgálóhoz előkészített 5592-135HVL vizsgálógép

A vizsgálógép hidraulikus munkahengere (amely felfelé irányuló erőt fejt ki) a gép szekrényes kialakítású talpazatába van szerelve. A munkahengert a szervoszelep vezérli. Az oszlopos terhelőkeret kellően merev (pl. az 5595-ös axiális merevsége > 850 kN/mm). Az oszlopok közötti távolság kényelmesen kiszolgálhatóvá teszi a vizsgálóteret, amelyet a fix keresztfej két térrészre osztja. Az alsó térrész a nyomó, míg a beállítható magasságban rögzíthető felső keresztfejjel határolt felső térrész a húzó igénybevételt igénylő vizsgálatok végzésére szolgál. Családon belüli típustól függően a vizsgálati sebesség mintegy 100 mm/min, míg a helyzetre állás sebessége mintegy 300 mm/min.

A nyúlásmérő bélyeges erőmérő cella a vizsgálórendszer alsó részébe van beépítve, és egyaránt méri a húzó- vagy a nyomóerőt, mégpedig a mérési tartomány alsó 1%-tól már a mérés garantált pontossága a névleges érték  $\pm 0,5\%$ -a. Az erőmérő cella cserélhető.

A hidraulikus tápegység, mivel a beépített HVL szivattyú zajszintje kisebb, mint 60 dB, akár a vizsgálógép közelében (munkaszaktként használva) vagy a labor valamely holterében is elhelyezhető. A szivattyú nyomása az üresjáratiról a vizsgálati igénytől függően nő, azaz

igen finoman és rugalmasan szabályozható a vizsgálat közben. A hidraulikus tápegység mindig a rendszer pillanatnyi terhelésétől függő olajnyomást állítja elő. Ezáltal elkerülhető az olaj melegedése és fokozott igénybevétele. Ez nagyban növeli az olaj élettartamát, és vízhűtéses rendszer alkalmazása sem szükséges. Ez csökkenti az üzemeltetési költséget, a szerviz ciklusidő pedig jelentősen megnövekedik (környezetvédelmi és energiatakarékossági szempontból is előnyösebb, mint a hagyományos rendszerek).

Az Instron 5500 digitális elektronika vezérli a vizsgálórendszert és gyűjti az adatokat, melyhez axiális pozíció-, terhelőerő-vezérlő és adatgyűjtő, valamint 2 db extenzométer (LVDT behajlás érzékelő is) vezérlésére és adatgyűjtésére alkalmas csatornákkal rendelkezik. Az 5500 elektronika a vizsgálat során dinamikusan kezeli valamennyi jelátalakító szignálját (erő, elmozdulás, finomnyúlás stb.). Ezen felül az adatok az 5500-as Instron digitális computer interfészen keresztül gyűjthetők, 500 Hz frekvenciával, szimultán (tehát valamennyi csatornán egyidejűleg) és szinkronizáltan, a csatornák számától függetlenül. Az elektronika, többek között ellátja a próbatest védelmét az előválasztható határterhelés túllépésével szemben; automatikusan felismeri és kalibrálja a jelátalakítókat: az erőmérő cellákat, extenzométereket stb.

Az Instron 5500 vezérlő kialakítása nagyfokú flexibilitást garantál a felhasználónak a BLUEHILL szoftvermodulok segítségével (részletesen lásd az Anyagvizsgálók Lapja 2004/4.).

Az Instron 5500 rendszer alkalmas valamennyi vizsgálati paraméter eltárolására és későbbi betöltésére. Valamennyi így tárolt vizsgálatot a rendszer számítógépes vezérlési üzemmódban, teljesen automatikusan végre tud hajtani. Vagyis, egyszerű használatot biztosít, és értékes gépidőt takarít meg.

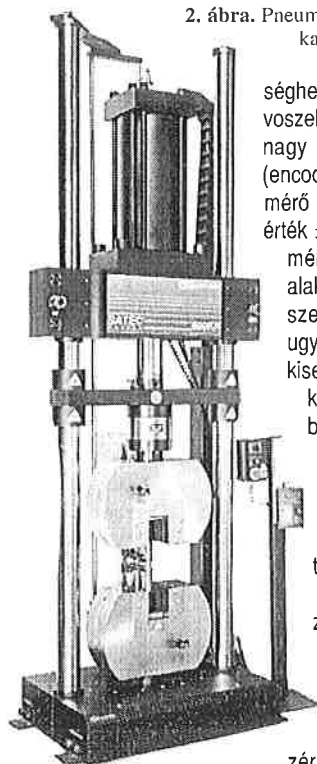
Az 5500 elektronika többfajta felhasználói interfészt kínál. Vezérelhető a rendszer manuálisan, a vezérlőpanelel (konzollal), vagy a BLUEHILL szoftverrel. Ezzel a szoftverrel a rendszer valamennyi hardveresen állítható funkciója (mint pl. jelátalakító, extenzométer vagy erőmérő cella, kalibráció, próbatest-védelem, adatgyűjtés) is elérhető és szabályozható (a beállítások lementhetők és visszatölthetők). Ez az jelenti, hogy bármilyen vizsgálat teljesen végrehajtható PC-ről (kezdve a beállítások elvégzésétől a vizsgálat definiálásán át az eredmények kiértékeléséig). Ez nagyban leegyszerűsíti a vizsgálórendszer használatát, és értékes gépidőt takarít meg.

A BLUEHILL szoftver Windows környezetű, mely az adatok importálását, exportálását, számítógépes feldolgozását nagyban megkönnyíti (akár Windows akár ASCII formátumban). Ekkor a szaktípus vezérlése is a számítógépről történik. A mért adatok statisztikai kiértékelését, tárolását, komplett jegyzőkönyv formátumú kidolgozását (szakítódiagram, mért és számított adatok, dátum, vizsgálatot végezte, vizsgálat paraméterei stb.) a szoftver automatikusan elvégzi. A jegyzőkönyv természetesen ki is nyomtatható vagy elektronikusan eltárolható (PDF, Microsoft Word, HTML). A szoftver alkalmas a vizsgálati jegyzőkönyvek e-mailen való automatikus továbbítására is. A gép a teljes vizsgálatot eltárolja a merev lemezen és az később – a próbatest befogása nélkül – a monitoron újrajátszható. A szoftver a mért alapadatokból képes további kb. 1000 mechanikai jellemző automatikus kiszámítására (pl. fajlagos nyúlás, Young-modulus, Poisson-szám, szakítószilárdság stb.).

### A KN sorozatjelű gépcsalád

Az egy terhelőterű, kétoszlopos, univerzális, hidraulikus vizsgálógép család öt tagból áll. Kapacitás-tartománya: 300 – 2000 kN. A család egy jellemző tagja a 2. ábrán látható. A hidraulikus munkahenger a felső keresztfejre van szerelve. Az Instron, léghűtéses hidraulikus tápegység

2. ábra. Pneumatikus befogókkal felszerelt, 600 kN kapacitású KN sorozatjelű vizsgálógép



séghez csatlakozó munkahengert szervo szelep vezérli. A dugattyú helyzetét itt is nagy pontosságú, optikai útérzékelő (encoder) figyeli. A terhelő erőt nyúlásmérő bélyeges erőmérő cella a kijelzett érték  $\pm 0,5\%$ -ánál kisebb hibával méri. A mérőcella cserélhető. A próbatétel alakváltozást az Instron kínálatából célszerűen kiválasztott extenzométer ugyancsak a kijelzett érték  $\pm 0,5\%$ -ánál kisebb hibával méri. A kényelmesen kiszolgálható terhelőtérben a különböző tartozékok felhasználásával célszerűen a nagy szilárdságú anyagok vizsgálhatók húzó-, nyomó-, nyíró- és hajlító-, valamint kvázi statikus ciklikus igénybevételekkel.

A vizsgálórendszert itt is az előzőekben már ismertetett Instron 5500 digitális elektronika vezérli és gyűjti az adatokat. Megjegyzés: a hidraulikus zárt hurkos vezérléshez (ciklikus igénybevétel) szükséges telepíteni a Bluehill

vagy Merlin Enhanced vezérlő programot.

## A SATEC™ gépcsalád

A vizsgálógép család három-három LX, illetve DX sorozatjelű tagjainak terhelési kapacitása 150, 300, illetve 600 kN. A sikeres fejlesztés eredményeként – az 5590 – HVL gépcsaládhoz képest kisebb kapacitás-tartományban – a gépek alapterületi igénye mintegy 60%-kal csökkent azáltal, hogy a teljes hidraulikát a gépek szekrényes talpazatába szerelték (nem szükséges külön helyet allokálni a tápegységnek). A gépcsalád nagy előnye tehát a kompakt kivitel és az, hogy nagy teljesítményük ellenére akár egy – a háztartásokban is használatos – 220 V, egyfázisú 16 A-os dugaljról működtethetőek, azaz elmondható, hogy telepítésük nem igényel átalakításokat (vízhűtés, háromfázisú hálózat stb. nem szükséges).

A merev, kétszlopos gépek közül az LX típusok egy vizsgálóterűek, míg a DX típusok két vizsgálóterűek. A próbatestre ható terhelőerőt a

nyúlásmérő bélyeges erőmérő cella közvetlenül méri. A vizsgálóter a szükséges tartozékokkal (befogók, extenzométerek stb.) célszerűen felszerelhető. Az elmondottakat a 3. ábra szemlélteti.

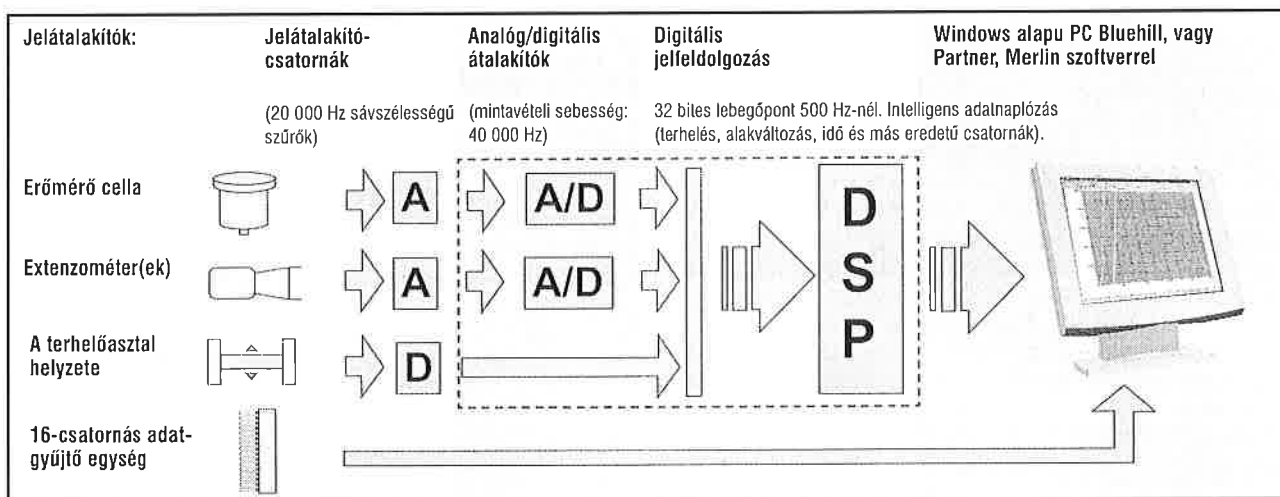
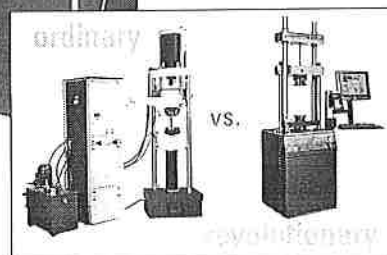
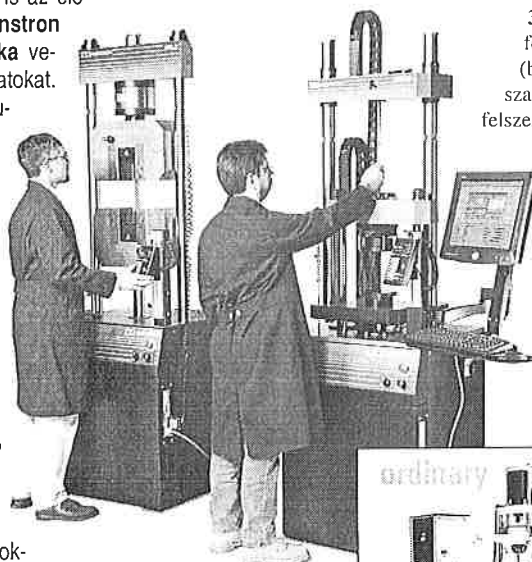
Az LX vizsgálóberendezés munkahengere mindkét irányban (húzás és nyomás) képes a névleges terhelőerő kifejtésére, és az erőmérő cella is méri a mindkét irányú terhelést. A DX család esetén a munkahenger mindig egyirányú (felfelé ható) terhelőerőt fejt ki és az erőmérő cella is mindig nyomóirányban lesz terhelve. A próbatestet – attól függően, hogy szakítani, vagy nyomó/hajlító vizsgálatnak akarjuk-e kitenni – az alsó vagy a felső vizsgálóterbe kell behelyezni.

A vizsgálógépek korszerű irányítás-technológiájának blokkvázlata pedig a 4. ábrán látható. A Windows alapú – már ismertetett – BLUEHILL, PARTNER vagy MERLIN szoftverrel futtatott PC-re van bízva a vizsgálórendszer működtetése, a jelátalakítóktól beérkező adatok kezelése és értékelése. Ugyanakkor a hagyományos vizsgálatokat a kezelő kézi vezérléssel (a vizsgálati jellemzők, pl. terhelési sebesség, közlésével) is elvégezheti.

Tóth Péter  
Atestor Kft.

3. ábra. A 300LX típusú, fémvizsgálóhoz felszerelt (balra) és a 300DX típusú, szabványos húzavizsgálóra felszerelt (jobbra) vizsgálógép.

(A keretes ábra a műszaki fejlesztés múltjához képest elért eredményét szemlélteti.)



4. ábra. A SATEC gépcsalád irányítás-technológiája

# Gyorselemzés a MiniPal2 EDXRF spektrométerrel

Joó Katalin\*

## Bevezetés

A társadalom jogos igényeinek kielégítése során ipari hulladék szükségképpen keletkezik. Az ipari, de még a kommunális hulladék is értékes, másodlagos nyersanyag- és energiaforrás, ezért szelektív kezelése ugyancsak nemzetgazdasági érdek kell (kellene), hogy legyen. Ám a hulladék szelektív kezeléséhez és hasznosításához, például a „hulladékból energiát” elv alapján hamvasztással, jelentős (mintegy 90%-os) térfogatcsökkenéssel környezetbarát hulladékká (hamuvá) alakításához, nélkülözhetetlen segédeszköz a hulladékból rendszeresen kivett jellemző minták gyorselemzése.

A hulladék-hasznosítási technológia jellemzőinek helyes megválasztása szempontjából ugyanis célszerű a beérkező hulladékok eredete és hozzávetőleges összetétel-csoportjai szerint szelektálni. Ehhez a hulladékból vett kellő számú jellemző minta gyorselemzésére van szükség.

Az ipari hulladékok feldolgozás előtti gyorselemzéséhez kiválóan alkalmas az energiadiszperzív röntgenfluoreszcens (EDXRF) spektrométer, mivel mind az elemzésre alkalmas minta előállításának, mind magának az elemzésnek az időigénye a beérkező hulladék előkezelési technológiájának időrendjébe illeszthetően elvégezhető.

A minta-előkészítést megfelelő céleszközök szolgálják, nevezetesen: a szilárd tömbökhöz vágótárcsás daraboló, korongos csiszoló-polírozó; a rideg, szemcsés vagy porszerű anyagokhoz őrlőmalom, szitator, tabletázó prés, vagy az ún. gyöngyolvasztó berendezés (folyasztószerezrel kevert pormintából). A folyadékok pedig közvetlenül a fóliával ellátott mintatartóba töltve elemezhetők.

Mindezek alátámasztására cikkünkben bemutatjuk a különböző minőségű, ismeretlen elemanyag-tartalmú hulladék-minták röntgenfluoreszcens spektruma alapján történő gyorselemzésének módszerét és használhatóságát.

## Az elemzés technikai adottságai

### A spektrométer

Az elemzéseket egy PANalytical (NL) gyártású, kompakt, asztali MiniPal2 EDXRF spektrométerrel végeztük. A spektrométer Rh anódú röntgensóval, nagy felbontású szilárdtest detektorral és tizenkét főről helyes forgótárcsás mintatartóval ellátott készülék, üzemmód szerint választható ötféle szűrővel, illetve hélium-átöblítési lehetőséggel.

A MiniPal2 készülék szoftverje a következőkre ad lehetőséget:

1. Nagy számú (min. 7 db), megfelelő minőségű standardokkal, a kalibráció felvétel után, az ismeretlen mintáról pontos kvantitatív koncentrációérték meghatározása.

2. Amennyiben nem áll rendelkezésre standard sor, az ismeretlen minta „kézi üzemmódban” kvalitatív vizsgálatnak vethető alá. Ennek során a mintában jelenlévő, és a detektor által érzékelhető elemekről kapunk információt. Minden paramétert a kezelő állít be, saját megfontolása alapján.

3. Az ismeretlen mintát az ún. standard nélküli (standardless) üzemmódban is elemezhetjük. Ebben az esetben a paraméterek csak korlátozott mértékben vannak a kezelő személyre bízva. A szoftver egyféle beállításra ad lehetőséget, amiből a gerjesztő feszültség, a szűrő, a közeg, a mérési idő a kezelő belátása szerint választható, de a csőáramot a berendezés automatikusan állítja optimálisra.

A 2. és a 3. lehetőség használható összehasonlításra, amennyiben több mintát egyforma paraméterekkel mérünk. A standard nélküli elemzés közelítő pontosságú számszerű eredményt is ad.

### A standard nélküli elemzés

Az eljárás lényege: a teljes spektrum felvétele után a kezelő kijelöli a detektálható elemek közül a kiértékelendőket. Mivel a nem detektálható

elemeket (pl. a C) a standardless szoftver nem tudja az eredmény megadásánál figyelembe venni, ezért a kezelő által a kiértékelésre kiválasztott elemek között osztja fel a teljes 100%-ot. Ezt a kapott eredmény hasznosításakor figyelembe kell venni, ám ha ismerjük a hulladék-minta anyagfajtaját (ez a szelektív hulladékgyűjtés alapja), akkor a nem detektálható elemtartalom becsült értékét is figyelembe véve a standard nélküli elemzési eredmények arányában súlyozva a hulladékkezelés szempontjából kielégítően pontosan meghatározhatjuk a hulladék-minta összetételét.

### A spektrométer tesztelése

Az ismeretlen összetételű hulladék-minták standard nélküli elemzése előtt a spektrométer megbízhatóságát teszteltük. Ehhez rendelkezésünkre állt 3 db British Chemical Standard. Ezeket használva és egy megközelítően jó, de nem teljesen optimált paramétersort alkalmazva felvettünk egy „kalibrációt”. Kiemeljük, hogy ez egy nagyon nagyvonalúan kezelt kalibráció, mivel kisszámú standarddal viszonylag rövid mérési idő alatt, nem optimált paraméterekkel vettük fel. A cél az volt, hogy ezzel a kalibrációval egy ismeretlen mintát megmérve, és azt későbbiekben még 20x visszamérve, a készüléket tudjuk jellemezni. Az adott körülmények között kapott ismételhetőségi adat mutatja a készülék megbízhatóságát. A kapott standard deviáció értékek abszolút értékben nagyon alacsonyak, fő komponensekre még a relatív SDev esetén is 1% alattiak.

A készülék tehát stabil, a továbbiak a kezelő tevékenységétől függenek.

A korábbi tapasztalataink alapján választottuk ki az elemzés jellemzőit, nevezetesen: a röntgenső gerjesztési feszültségét 30 kV-ra (tekintettel a teljes spektrum felvételére), szűrőt nem alkalmaztunk, He közegben (tekintettel a könnyű elemek detektálhatóságára), 100 s mérési idővel végeztük az elemzést, amelyekhez a szoftver 2  $\mu$ A-ban optimalizálta a csőáramot.

Az eredmények összehasonlításából látható (1.táblázat), hogy a MiniPal2 standard nélküli elemzési programjával, a hulladék-kezelés szempontjából kielégítően jó az elemzési eredménye.

1. táblázat

| A mért elemek oxidban          | applikációban 20x mérve (%) | Standardlessben mérve (%) |
|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 20,63 $\pm$ 0,05            | 19                        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,59 $\pm$ 0,08             | 5,7                       |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,46 $\pm$ 0,02             | 0,31                      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,31 $\pm$ 0,01             | 2,91                      |
| MnO                            | 0,15 $\pm$ 0                | 0,14                      |
| CaO                            | 56,12 $\pm$ 0,01            | 64,3                      |
| MgO                            | 1,85 $\pm$ 0,10             | 2                         |
| K <sub>2</sub> O               | 0,37 $\pm$ 0,02             | 0,95                      |
| SO <sub>3</sub>                | 2,44 $\pm$ 0,01             | 4,7                       |
| SrO <sub>2</sub>               | 0,10 $\pm$ 0,00             | 0,12                      |

A két oszlop közti különbségek egyrészt abból adódnak, hogy a standardless szoftver 100%-ra normál, másrészt az applikáció felvétele is csak egy első közelítésnek készült, a nemzetközi standardok mátrixa pedig különbözik az ismeretlenként visszamért magyar mintától. A két-fajta mérés más paraméterekkel dolgozik, egy azonos közöttük, a 100 s-os mérési idő.

Ezzel is hangsúlyozni kívánjuk, hogy az ismeretlen mintáról nyerhető „első blick”-ről van szó esetünkben. Megfontolás kérdése a további optimalizálás.

\*Atestor Kft.

## A hulladék-minták standard nélküli elemzése

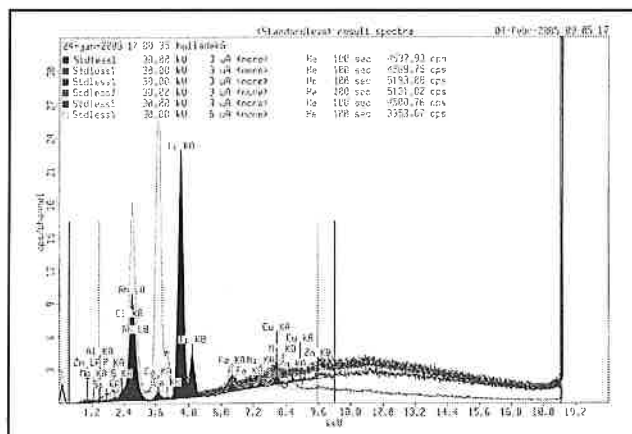
A MiniPal2 gyorsselemezési programjának eredményes tesztelését követően különböző ipari hulladék-mintákat elemeztünk. Mivel ehhez, mint láttuk, a teljes spektrum felvétele szükséges, a fenti megfontolások alapján választottuk ki a szabadon megválasztható elemzési paramétereket, amihez a szoftver optimalizálta a csőáramot (2.táblázat).

2. táblázat. Alkalmazott paraméterek

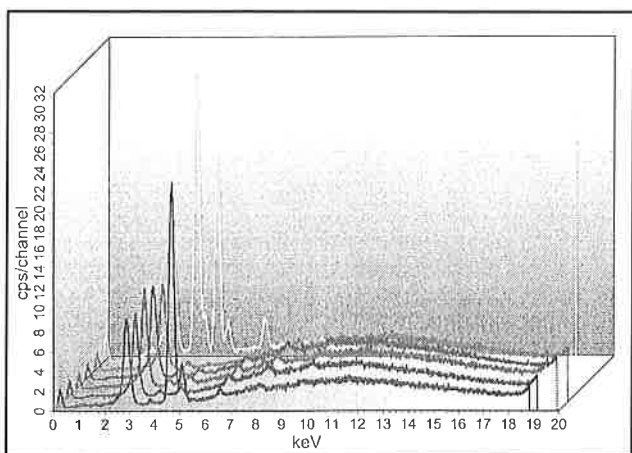
| A hulladék-minta | feszültség kV | szűrő | közeg  | idő s | áram-erősség $\mu$ A |
|------------------|---------------|-------|--------|-------|----------------------|
| Hulladék1        | 30            | nincs | hélium | 100   | 3                    |
| Hulladék2        | 30            | nincs | hélium | 100   | 3                    |
| Hulladék3        | 30            | nincs | hélium | 100   | 3                    |
| Hulladék4        | 30            | nincs | hélium | 100   | 3                    |
| Hulladék5        | 30            | nincs | hélium | 100   | 3                    |
| Hulladék6        | 30            | nincs | Hélium | 100   | 6                    |

Az mintákra felvett teljes spektrumokat együttesen a 1-4. ábrák szemléltetik. Az 1. ábra összehasonlító képet mutat a 6 különböző hulladék-mintáról. Itt egy grafikonon belül ábrázolva a mintákat, jól láthatóak az összetételbeli különbségek. A 2. ábra még szemléletesebben mutatja ugyanezt – a MiniPal szoftver által biztosított – 3D megjelenítésben. A 3. ábrán kiválasztottunk a fentiek közül 4 db hulladék-mintát, rávilágítva ezzel azok hasonlóságára. A 4. ábra ezeket mutatja 3D-ben. Az elemi összetételt számszerűen a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Mint már említettük, a jelenlévő, de nem detektálható elemeket (pl.: C, H) a standardless szoftver nem tudja az eredmény megadásánál figyelembe venni, ezért a kezelő által a kiértékelésre kiválasztott elemek között osztja fel a teljes 100%-ot. Amennyiben azonban ismerjük ezek (C, H) mennyiségét, a maradékot tudjuk súlyozni a fenti eredmények arányában.



1. ábra



2. ábra

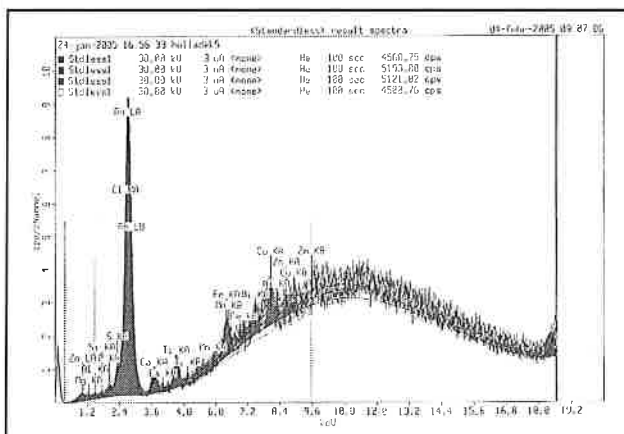
3. táblázat. Hulladék-minták elemi összetétele %-ban

| Hulladék-minta | Hulladék 1 | Hulladék 2 | Hulladék 3 | Hulladék 4 | Hulladék 5 | Hulladék 6 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Mg             | —          | —          | 25         | 16         | 18         | 6          |
| Al             | 1          | —          | —          | 7          | 7          | 3          |
| Si             | 1,8        | —          | —          | 3          | 4          | 0,5        |
| P              | 0,7        | 4          | 5,4        | 4,5        | 4,7        | 2          |
| S              | 1,8        | 6,6        | 8,7        | 5,3        | 6,2        | 2,1        |
| Cl             | 8,0        | 57         | 39         | 42         | 41         | 11         |
| Ca             | 43,2       | 13         | 9          | 8          | 5,7        | 0,94       |
| Ti             | 38,2       | 4          | 3,9        | 6          | 5,2        | 69,9       |
| Cr             | 0,2        | —          | —          | —          | —          | —          |
| Mn             | 0,2        | —          | —          | —          | 0,4        | —          |
| Fe             | 3,3        | 5,2        | 3,1        | 3,5        | 3,6        | 2,1        |
| Co             | —          | 1          | —          | —          | —          | —          |
| Ni             | 0,3        | 3,5        | 1,9        | 1,7        | 1,6        | 0,7        |
| Cu             | 0,38       | 5,3        | 2,9        | 2,3        | 2,4        | 1,2        |
| Zn             | 0,66       | —          | 0,7        | 0,7        | 0,7        | 0,4        |

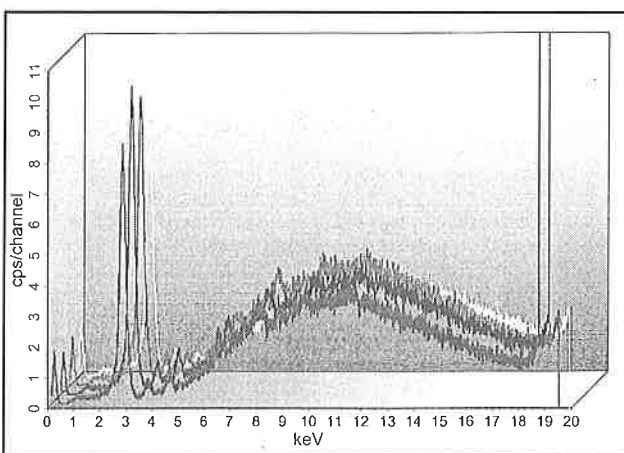
## Összefoglalás

A bemutatott eredmények is igazolják, hogy a MiniPal2 EDXRF spektrométerrel a minták teljes spektruma gyorsan megismerhető és segítségével megbízhatóan elvégezhető a hulladék-kezeléshez megelőzően szükséges hulladék-minősítés, illetve -osztályozás.

Véleményünk szerint a különféle, az ipari hulladékban előforduló jellemző hulladék-minták teljes spektrumainak rendszerbe szervezett gyűjteményének birtokában, ezen hulladékok kezelési technológiai környezetbarát módon, jól kézben tarthatók.



3. ábra



4. ábra

## Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2004/8.–12. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

### 03 Szociológia. Szolgáltatások. Vállalatszervezés és irányítás

- MSZ EN 61164:2004; Megbízhatóság-növelés. Statisztikai vizsgálati és becslési módszerek
- MSZ EN 60300-2-3-12 és -3-14: 2004; Megbízhatóság-irányítás. 2. rész: A megbízhatóság-irányítás irányelvei. 3-12. rész: Alkalmazási útmutató. Integrált logisztikai eljárás. 3-14. rész: Alkalmazási útmutató. Karbantartás és karbantartás-ellátás.

### 13 Környezet. Egészségvédelem. Biztonság

- MSZ 21420-5:2004; Hulladékok jellemzése. 5. rész: Hulladékok laboratóriumi vizsgálatának minőségbiztosítási követelményei

### 17 Metrológia és méréstechnika. Fizikai jelenségek

- MSZ HD 446.3 SI:2004; Hőelemek. 3. rész: Hosszabbító- és kompenzáló-vezetékek. Tűrések és azonosító rendszerek.
- MSZ EN 61340-4-1:2004; Elektrosztatika. 4-1. rész: Szabványos vizsgálati módszerek különleges alkalmazásokhoz. Padlóburkolatok és beépített padlók villamos ellenállása.

### 25 Gyártástechnika

- MSZ EN 287-1:2004; Hegesztők minősítése. Ömlesztőhegesztés. 1. rész: Acélok.
- MSZ EN ISO 17641-1:2004; Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálata. Hegesztett alkatrészek melegrepedés-vizsgálata. Ivhegesztési eljárások. 1. rész: Általános követelmények.
- MSZ EN ISO 17642-1:2004; Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálata. Hegesztett alkatrészek hidegrepedés-vizsgálata. Ivhegesztési eljárások. 1. rész: Általános követelmények.
- MSZ EN ISO 1463:2004; Fém- és oxidbevonatok. A bevonat vastagságának mérése. Mikroszkopos módszer.
- MSZ EN ISO 2177:2004; Fémbevonatok. A bevonat vastagságának mérése. Coulombmetriás módszer anódos oldással.
- MSZ EN ISO 14483-1-5:2004; Üveg- és porcelánzománcok. A kémiai korrózióállóság meghatározása: savakkal, szobahőmérsékleten. (1. rész), forró savakkal, semleges folyadékkal és /vagy gőzeikkel (2. rész), lúgos folyadékokkal, hatszögletű tartályban (3. rész), lúgos folyadékokkal, hengeres tartályban (4. rész), illetve zárt rendszerben (5. rész).

### 55 Termécsomagolás és -elosztás

- MSZ EN 14477:2004; Csomagolás. Hajlékony csomagolóanyag. Átlyukadással szembeni ellenállás meghatározása. Vizsgálati módszerek.

### 59 Textil- és bőripar

- MSZ EN ISO 10618:2004; Szénszál. A gyantával impregnált fonal húzási jellemzőinek meghatározása.

### 75 Kőolajipar és technológiai

- MSZ EN ISO 20763:2004; Ásványolaj és rokon termékek. Hidraulika-folyadékok kopásgátló tulajdonságainak meghatározása. Forgólápteszt szivattyús módszer.

### 77 Kohászat

- MSZ EN 10168:2004; Acéltermékek. Vizsgálati bizonylatok. Az adatok és leírások jegyzéke.

### 83 Gumi- és műanyagipar

- MSZ EN ISO 75-1-3:2004; Műanyagok. A behajlási hőmérséklet meghatározása terheléskor. 1. rész: Általános vizsgálati módszer. 2. rész: Műanyagok, keménygumi és hosszú szállal erősített kompozitok. 3. rész: Nagy szilárdságú, hőre keményedő rétegelt lemezek.
- MSZ EN ISO 295:2004; Műanyagok. Próbatetek sajtólása hőre keményedő műanyagokból.
- MSZ EN ISO 4613-2:2004; Műanyagok. Etilén/vinil-acetát (E/VAC) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 7792-2:2004; Műanyagok. Hőre lágyuló poliészter (TP) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 15103-2:2004; Műanyagok. Poli(fenilén)-éter (PPE) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.

- MSZ EN ISO 15526-2:2004; Műanyagok. Poliketon (PK) fröccs- és extrúziós anyagok. 2. rész: Próbatetek készítése és a tulajdonságok meghatározása.
- MSZ EN ISO 8256:2004; Műanyagok. Az ütte húzó szilárdság meghatározása.
- MSZ EN ISO 306:2004; Műanyagok. Hőre lágyuló műanyagok. A Vicat-féle lágyulási hőmérséklet (VST) meghatározása.
- MSZ EN ISO 14616:2004; Műanyagok. Polietilénből, etilénkopoli-merekből és keverékekből készült, hőre zsugorodó fóliák. A zsugorodási és a kontrakciós feszültség meghatározása.
- MSZ EN 302-1-7:2004; Ragasztóanyagok teherviselő faszervezetekhez. Vizsgálati módszerek. 1. rész: A kötés hosszirányú húzó-nyíró szilárdságának meghatározása. 2. rész: A rétegsztérválással szembeni ellenállás meghatározása. 3. rész: A cellulóz savas károsodása hatásának meghatározása a keresztirányú húzószilárdságra a hőmérséklet és a páratartalom ciklikus változásakor. 4. rész: A faszugorodás hatásának meghatározása a nyírószilárdságra. 6. rész: Az elfogadott préselési idő meghatározása. 7. rész: Az elfogadott élettartam meghatározása.
- MSZ EN 14869-1-2:2004; Szerkezeti ragasztóanyagok. A szerkezeti kötések nyírási viselkedésének meghatározása. 1. rész: Tompa kötésű, üreges hengerek csavaróvizsgálata. 2. rész: A vastag ragasztott elemek nyíróvizsgálata.

### 87 Festék- és színezékipar

- MSZ EN ISO 6272-1:2004; Festékek és lakkok. Gyors alakváltozási (ütésállósági) vizsgálatok. 1. rész: Ejtő súlyos vizsgálat nagy ütőfelülettel.
- MSZ EN ISO 13803:2004; Festékek és lakkok. A reflexiós homályosság meghatározása vékony festékrétegeken 20 foknál.

### 91 Építőanyagok és építés

- MSZ EN 14146:2004; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A dinamikus rugalmassági modulus meghatározása (alaprezonancia-rezgés mérésével).
- MSZ EN 14158:2004; Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A törési energia meghatározása.
- MSZ EN 14617-2:2004; Műkövek. Vizsgálati módszerek. 2. rész: A hajlítási szilárdság meghatározása (hajlító-húzó szilárdság).

### Nemzeti szabványok visszavonása

Érdemes átnézni a Szabványügyi Közlöny 2004/9. számát, mivel a faanyagok, illetve építőanyagok számos, eddig érvényben volt MSZ vizsgálati szabványát visszavonták. Felvilágosítást adnak: Kenderessy Györgyi, tel.: 456-6845, illetve Kutassy László, tel.: 456-6849.

### Új CEN-szabványok (szerkesztőségünk címfordításai)

- EN 71-1:1998/A4, A9 és A10:2004; Játékok biztonsága. 1. rész: Mechanikai és fizikai tulajdonságok.
- EN ISO 2177:2004; Fémbevonatok. A bevonat vastagságának mérése. Coulometriás módszer anódos leoldással.
- CEN/TR 14748:2004; Roncsolásmentes vizsgálat. A roncsolásmentes vizsgálatok minősítésének módszertana.
- EN 12668-1-3:2004; Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahang-vizsgálókészülék jellemzése és hitelesítése. 1. Rész: Az eszközök. 2. rész: A vizsgálófejek. 3. rész: Az egyesített készülék.
- EN 14127:2004; Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vastagság-mérés.
- CEN/TS 843-6:2004; Korszerű műszaki kerámiák. Monolitikus kerámiák. Mechanikai tulajdonságok szobahőmérsékleten. 6. rész: Fraktográfiai vizsgálatok irányelvei.
- EN 820-3:2004; Korszerű kerámiák. Monolitikus kerámiák vizsgálata. Termomechanikai tulajdonságok. 3. rész: A hősokkal szembeni ellenállás meghatározása vízhűtéssel.
- CEN/TS 1159-4:2004; Korszerű kerámiák. Kerámia kompozitok. Hőfizikai tulajdonságok. 4. rész: A hővezető képesség meghatározása.
- CEN/TS 14425-5:2004; Korszerű kerámiák. Vizsgálati módszerek a monolitikus kerámiák törési szívósságának a meghatározásához. 5. rész: Az egyik oldalán V bemetszett próbatest módszer.



## Dr. Thamm Frigyes

Lapunk Mérföldkövek rovatára időről időre bemutatja szakmánk kiválóságait. Ezúttal dr. Thamm Frigyes, a nyugalmazott, de napjainkban is önzetlenül tevékenykedő egyetemi

docenst, a kísérleti műszaki mechanika nemzetközileg is ismert és elismert művelőjét kerestük fel. Műegyetemi dolgozósobájában beszélgettünk a kutatás-fejlesztés napi eredményeiről, gondjairól, de – Borbás Lajossal közösen – ismeretségünk közös emlékeit felidézve életútjáról is faggattuk Frici bácsit.

– Bár a szakmaibeli már régen, tiszteletük jeléül, így szólítanak, de amióta ismerünk, úgy az 1960-as évek elejétől – még a Gillemot professzor vezette, a törésmechanika nemzetközileg is új témakörét áttekintő akadémiai munkabizottsági ülésekről, no meg a Gépipari Tudományos Egyesület Anyagvizsgáló Szakosztályából –, szakma iránti lelkesedés, tevékeny érdeklődés az új iránt gyakorlatilag mit sem változott, és hál' Isten, korodat meghazudtolva jársz-kelsz közöttünk. Nélküled ma sincs sem hazai, sem Duna-Adria szimpózium, amelynek kezdetől fogva egyik szervezője vagy. Egy szóval ismeretségünk óta figyelemmel kísérhettük munkásságodat, de a családi háttéréről, műszaki érdeklődésed indítékairól mit sem tudunk. Először is erről kérdezzünk.

– Gépészmérnök édesapám a Műegyetem Mezőgazdasági Gépek Tanszéken adjunktusként oktatott-dolgozott 1940-ig. Az egyik alkalommal, talán hat éves lehettem, még nem voltam iskolás, amikor édesanyámmal a tanszékre látogattunk. A tanszék egyik szakmunkása éppen egy traktormotor belsejét vizsgálta, és nekem, az érdeklődő gyerekeknek, a főteengelyt forgatva megmutatta a dugattyúk mozgását és elmagyarázta a motor működését. Ez meghatározó gépész élmény-émlékem maradt számomra.

Édesapám joggal úgy vélte, felnőttként jobban boldogulhatok, ha németül megtanulok. Ezért szüleim a budapesti Német Birodalmi Iskolába íratlak, ott szereztem kétnyelvű érettségit 1943-ban, és még ez év őszén megkezdtem tanulmányaimat a Műegyetem gépészkarán. Am 1944 végén, hogy elkerüljem a katonaságot, édesapám tanácsára, aki akkor már az MFTR-nél dolgozott, munkát vállaltam az Újpesti öbölben hadiüzemként működő hajójavító üzemben, amely a bombatámadások elől két, üzemmé, illetve szállással átalakított hajóval a Dunán Nyugatra menekült. Először Komáromban, majd Melkben, végül, az amerikai légítámadások miatt, a hegyek védelmében kanyargó folyószakaszon, Aschach fölött kötöttünk ki. A háború végén, az osztrákok eltanácsoltak minket, így Passau-ban horgonyoztunk. A sérült hajók javítása sok munkát adott. Nekem, többek között, a meglévő motor nyomatékához illeszkedő, új, háromszárnyú hajócsavart kellett terveznem. (Ez annyira bevált, hogy ezért később Pesten is felkerestek.) Végül 1946 októberében térhettünk haza, és folytathattam műegyetemi tanulmányaimat. A gépészmérnöki oklevelemet 1949-ben kaptam meg.

– És hol voltál pályakezdő?

– Rögtön a Mezőgazdasági Gépek Tanszék „elcsábított”. Pályakezdésem a földosztást követő első mezőgazdasági termelőszövetkezet-szervezési hullám időszakára esett. Akkortájt jellemző volt a géphiány. Még a tanszéket is ellátták gépjavítási teendőkkal. Mindebből engem elsősorban a károsodások, a géphibák okai, mechanizmusai érdekelték. Például, amikor meggondolatlanul hegesztéssel javították egy traktor kilyukadt, üres üzemanyag-tartályát és az – szerencsés kimenetelű balesetet okozva – felrobbant, annak a látványa fogott meg, hogy az

eredetileg téglatest alakú tartály gömb alakúra torzulva szakadt fel csakúgy, mint a világháború során, a Dunán veszteglő hajó alatt felrobant akna hatására a hajófenék, amit „hajójavítóként” megszemlélhettem.

Amikor 1950-ben a mezőgép tanszékből kivált a vasúti géptan és önálló tanszékké alakult, akkor átkértem magamat oda, majd amikor Szabó Gusztai bácsi nyugdíjba vonult, tanársegédként én vezettem de facto, – mintegy három éven át, Hajnóczy László kinevezéséig –, a tanszéket.

– Úgy tudjuk, ez idő tájt fejlesztették ki a Ganz-gyárban az első, hazai dízel-elektromos vasúti mozdonyt.

– Igen, így volt. Erről tartott előadást dr. Freimer Ferenc a Gépipari Tudományos Egyesület (GTE) rendezvényén. A GTE Gördülőanyag Szakosztálya a teljesen újszerű mozdony tervezésével kapcsolatban tanácsadásra Párkai István vezetésével munkabizottságot hívott életre, melynek munkájában való részvételre felkértek engem is. Ekkor kerültem kapcsolatba a GTE-vel. Az egyesületi rendezvényeken egyrészt kapcsolatba kerültem a szakma kiválóságaival, másrészt hasznos műszaki információkhoz jutottam, amelyeket fel tudtam használni a vasúti géptan egyetemi jegyzet frissítéséhez is.

– És mikor kerültél a Műegyetem Műszaki Mechanika Tanszékére, ahol mindmáig, nyugdíjasként is, mint tudományos tanácsadó, kutatás-fejlesztési feladatokban is részt vállalsz?

– A tanszék akkori, legendás híru vezetője – környezete és a hallgatók körében Mutyi bácsinak becézett – Muttányászky Ádám professzor úr fogadott fel tanársegédnek 1954-ben. Azóta valóban itt végzem – 1963 óta adjunktusként, 1983 óta nyugdíjazásomig docensként – oktató és kutató-fejlesztő munkámat. Mindkét tevékenység, különösen az oktatás, széles körű információgyűjtést és -feldolgozást igényel. Hiszen a mérnökképzésben a tudományos kritika és alkalmazási tapasztalatok szűrőjén átvetett új ismeretek lényegét, súlyának megfelelően kell a korábbiak értékrendjébe illeszteni hasznosításra ösztönző módon átadni. Ennek egyik eszköze az a 9 egyetemi és főiskolai jegyzet, 6 mérnöktovábbképző jegyzet, 10 tervezési segédlet és 6 könyvrészlet is, amelyeket oktatói pályám során közreadtam.

– No, meg a hazai és külföldi szaklapokban, kiadványokban publikált cikkeid. Ezek színvonalára jellemző, hogy 1966 óta napjainkig hét alkalommal nyerted el a GTE Műszaki Irodalmi Díját. Am a könyvrészletekről jut eszünkbe a Thamm-Ludvig-Huszár-Szántó: A szilárdságtan kísérleti módszerei, 1968-ban megjelent könyvetek is, amellyel nagy sikert arattatok.

– Könyvünk valóban siker volt. Az ötlet a GTE-ben 1964-ben, Huszár István elnökségével megalakított optikai feszültségvizsgáló munkabizottságban – amelynek én akkor titkára voltam – merült fel. Az optikai feszültségvizsgálat ismertetésénél felhasználhattam módszerfejlesztési és -alkalmazási eredményeimet és tapasztalataimat, többek között az 1963-ban megvédett, „A redukált feszültség megállapítása az optikai feszültségvizsgálat izokromata-vonalai alapján” című műszaki doktori értekezésemben összefoglaltakat.

Könyvünket német nyelven, Dehnungsmessverfahren címmel jelentette meg a W. Ernst kiadó Berlin-ben, 1971-ben. Ez a magyar nyelvű kiadástól tartalmában kissé eltért tekintettel a német nyelvterületen korábban már e tárgyban kiadott könyvekre.

Tényleg, ki vagy mi ösztönözt az optikai feszültségvizsgálatra?

– A kísérleti mechanika ezen módszerére még édesapám hívta fel figyelmemet. Ő ajánlotta a Mezőgazdasági Gépek Tanszék könyvtárából Gustav Mesmer: Spannungsoptik (Springer, Berlin, 1939) című könyvét,

amelyet én gondosan áttanulmányoztam. Az így nyerte ismeretekkel felvértezve javasoltam Muttonyánszky professzor úrnak, hogy építsünk a tanszéken egy vizsgálópádot. Jó – válaszolta –, de pénzünk az nincs erre. *(Közbévettük: ez a „fejlesztési elv” ma is érvényes!)* Szerencsére a „szocialista összeköttetésem” révén – például az optikát a Műszaki Üveggyárban Szimán Oszkár, a gyár fejlesztőmérnöke készítette el – megépíthettem az első optikai feszültségvizsgáló pádot. Így vált lehetővé, hogy céges megkeresésekre is, az igényes mérnöki feladatok megoldásához az optikai feszültségvizsgálat módszerét is felhasználhattam. Az így szerzett tapasztalataim, illetve az így megismert ipari igények pedig a módszer fejlesztésére ösztönöztek.

– Valóban, áttekintve a napjainkig 156 publikációt tartalmazó jegyzékedet, illetve felidézve számos hazai rendezvényen elhangzott előadásodat, meghatározó szerep jutott az optikai feszültségvizsgálatnak. Az e téren elért eredményeid közül melyeket ítéled a legjelentősebbnek?

– Eredményeim közül kiemelném a térbeli feszültségállapot meghatározásának ún. befagyasztásos módszerét, amelyet az 1960-as évek derekán elsőként alkalmaztam hazánkban. Ennek lényege: a vizsgált szerkezeti elem – általában epoxi gyantából készült – átlátszó modelljét a tényleges kivitelnek megfelelően terheljük, és a modellanyag lágyítási hőfoka fölé (100-130°C) emeljük, majd teher alatt lassan lehűtjük. A modellnek a lágy, gumi-rugalmas állapotban fellépő alakváltozása a lehűlés során rögzítődik, ami feszültségoptikai kép formájában jelenik meg. Térbeli szerkezetek vizsgálatához a modellt szeletekre vágjuk, és az egyes szeleteket a feszültségoptikai berendezésben külön-külön megvizsgáljuk ugyanúgy, mint a sík modellt.

De említhetném a hőre lágyuló műanyagokból fröccsöntött alkatrészekben a molekulaláncok rendezettségének kimutatására 1970 táján kidolgozott módszeremet. Ennek lényege: hőre lágyuló műanyagok hosszú fonalmolekulái a fröccsöntéskor lefolyó anyagáramlás hatására mintegy „kifésülődnek”. Ennek hatására a műanyag szilárdsági és rugalmas tulajdonságai anizotroppá válnak. A szilárdság az áramlás irányában megnő, arra merőleges irányban lecsökken. Az anizotropia mértéke a fröccsöntés technológiai paramétereinek függvénye, és szerencsétlen esetben az alkatrész tönkremenetelét okozhatja annak egészen váratlan helyén. Átlátszó műanyagok esetén a molekula-rendezettség átvilágításkor ugyanolyan berendezésben vizsgálható, mint a feszültségoptikai modellek. Ez segít a fröccs-szerszámok beömlő csatornáinak kedvező kialakításában, ezáltal a műanyag fröccstárgyak szilárdságának növelésében.

A szerkezeti anizotropia problémaköre vezetett műanyag kompozitok viselkedésének, esetleges tönkremenetelének vizsgálatára is. Sajnálatos módon ezen vizsgálatok kiindulási pontja igen gyakran nagyméretű szerkezetek (tartályok, silók, kupolák) tönkremenetele volt.

Az optikai feszültségvizsgálat leképezési pontossága című kandidátusi értekezésemben pedig az ezzel a módszerrel szerzett vizsgálati tapasztalataimat is összefoglaltam 1983-ban. Munkásságommal a Ph.D. minősítést is elnyerem 1994-ben.

– E sokrétű oktató-fejlesztő munkád mellett a GTE-ben az Anyagvizsgáló Szakosztály keretében, az idő közben más kísérleti műszaki mechanikai módszerekkel Feszültségvizsgáló szakcsoporttá bővült szervezetben, kezdetben titkárként, dr. Huszár István elnökkel, majd később, napjainkban is, elnökként dr. Borbás Lajos titkárral együttműködve – regionális nemzetközi kisugárzással – meghatározó szerepet vállaltál, illetve vállalsz. Eredményes szakmai közéleti munkádat ismerte el a GTE, amikor két alkalommal az Egyesületi Érem, majd a közelmúltban (1998-ban) a Pattantyús-Á. Géza-díjjal (Gépipari Tudományos Egyesület nagydíja) tüntetett ki.

A Duna-Adria Szimpózium máig eredményesen működő és bővülő regionális szakmai fóruma a kísérleti műszaki mechanikát művelőinek. Létrejött a GTE-be tömörült honi szakemberek számára a vasfűgönyön átvilágító rendszeres együttműködés lehetőségét teremtette meg. Mit tudsz az előzményekről?

– Nos, szakcsoportunk elsődleges célja, még az 1970-es években, az volt, hogy a GTE révén csatlakozzunk az IMEKO nemzetközi szervezethez, de ez akkor, politikai megfontolásokból nem sikerült. Ám a GTE támogatásával ki-ki jutottunk Nyugatra a nemzetközi szakmai rendezvényekre is. Szakcsoportunk elnöke, dr. Huszár István professzor úr részt vett 1983-ban a Német Szövetségi Köztársaságban a Gesellschaft für Spannungsanalyse rendezvényén, és ott az osztrák, dr. Rudolf Beer professzorral beszélgetve merült fel: nemzetközi szervezetet lehetne létrehozni az osztrák, a horvát és a magyar mérnökegyetek közötti együttműködésre alapozva. Az ötletet itthon, a GTE vezetősége is támogatta, és végül 1984 áprilisában Budapesten, a három nemzeti mérnökegyet képviselői megállapodást írtak alá a Duna-Adria Szimpózium (DAS) évenkénti gyakorisággal, forgószínpadszerű megszervezésére. Az elsőt, 1984 őszén a horvát mérnökegyet szervezte (az akkor még Jugoszláviához tartozó) Stubice Toplicén, a 20.-at a GTE rendezte 2003 szeptemberében, Győrben, a 21.-et pedig 2004 őszén ismét a horvátok Brijuni-ban. A szimpóziumokról rendszeresen beszámoltunk a GTE újságjában, a Gépiparban, de az utóbbi években az Anyagvizsgálók Lapjában is.

– Mindez, amiről eddig beszéltél, napról napra sok idődet és energiádat lekötötte. De hát te is családot alapítottál, gyermekeid születtek. Egy szóval, hogy tudtad összeegyeztetni a családdal és a hivatásoddal járó teendőidet, és maradt-e idő másra is, például volt-e, van-e hobbd?

– Két felnőtt leány gyermekünk van, akik mára önálló életet élnek. Örök hobbim a fényképezés, ami természetesen a szakmai felvételeken túl kiterjed mindennapjainkra is. A negatívok száma mára már több ezerre tehető, a hőskortól napjainkig, és talán azon utolsó mohikának közé tartozom, aki ma is a hagyományos filmet részesíti előnybe a digitális technikával szemben. Egyébként úgy otthon, mind a Tanszéken ma is működő fotólaboratóriumot üzemeltetek. Mindamelllett jut időm a vasúti modellezésre is – beleértve a modellek gyártását, kiegészítését is –, amely helyigényére tekintettel lassan kiszorul a lakásból.

Visszatérve szakmádhoz. Időközben érdeklődésed a műanyagok és kompozitok, és újabban a biomechanika felé is fordult. Mely feladatok megoldásában vettél részt?

A kompozitok terén is elsősorban a tönkremenetel okai izgatnak. Például az üvegszál-szövettel erősített műgyanta mátrixú kompozitokban változatlanul a réteges elválás mechanizmusa. Ennek jelentőségére példaként említhetem a legutóbbi idők egy sajnálatos sportrepülő-baleset szakértői vizsgálatát.

Idetartozóként említhetem az erősített műanyagok, vagy a faszervezetek vizsgálatához kapcsolódó több alaputatási munkámat, éppen Borbás Lajos kollégával közösen, amelyek eredményeként – megítélésem szerint – ezeknek a korszerű, a jövőben mindenképpen meghatározó szerkezeti anyagoknak a méretezéséhez igyekeztünk a tervező mérnökök számára használható segédanyagokat biztosítani.

Megemlíthető még a biomechanika területe, ahol részt vettem több darabból összeállított fog-protézisek kialakításában és rögzítésében. Itt a problémát a fog-koronát tartó kisméretű csavarok (néhány mm átmérőjűek) méretezése, és szilárdsági viselkedésének analízisa okozta.

Érdeklődéssel hallgattuk munkád legújabb eredményeiről elmondottakat. Meggyőződésünk, hogy lapunk olvasói is érdeklődve várják újabb, lapunkba megjelenő írásaidat.

Köszönjük a józú beszélgetést, és kívánjuk – lapunk olvasói, szerkesztőbizottságunk és kiadónk, az Atestor Kft. munkatársai nevében is –, hogy jó egészségedben még éveken át munkálkodj, és vegyél részt változatlan aktivitással szakmai közéletünkben!

Borbás Lajos – Lehofer Kornél

|                                                                                                                                                                                                                                              |                                 |                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
|  <b>AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt.</b><br><b>Oktatásszervezési Osztály</b><br><b>1211 Budapest, Gyepsor u. 1. Tel.: 278-0755, Fax: 278-0756</b> |                                 |                                      |
| <b>AKTUÁLIS KÉPZÉSI PROGRAMUNK 2005-BEN</b>                                                                                                                                                                                                  |                                 |                                      |
| <b>ANYAGVIZSGÁLÓ SZAKKÉPESÍTŐ ÉS MINŐSÍTŐ TANFOLYAMOK 2005-ben, OKJ 53 5401 01</b>                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| <b>Tanfolyam típusa</b>                                                                                                                                                                                                                      | <b>1. szint/ időtartam, nap</b> | <b>2. szint/ időtartam, nap</b>      |
| Ultrahangos anyagvizsgáló (UT)                                                                                                                                                                                                               | máj. 30 / 15                    | máj. 30 / 18                         |
| Mágneses anyagvizsgáló (MT)                                                                                                                                                                                                                  |                                 | márc. 7 / 10                         |
| Folyadékbehatolásos anyagvizsgáló (PT)                                                                                                                                                                                                       |                                 | márc. 7 / 8                          |
| Vizuális anyagvizsgáló (VT)                                                                                                                                                                                                                  |                                 | márc. 7 / 8                          |
| Tömörsegi anyagvizsgáló (LT1 és 2), 10 naposak                                                                                                                                                                                               |                                 |                                      |
| Rezgéselemző anyagvizsgáló (VAT1 és 2), 10 naposak                                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| Mechanikai anyagvizsgáló (1/ 13 napos és 2/ 15 napos)                                                                                                                                                                                        |                                 | Létszámfüggő                         |
| 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>BIZTONSÁGTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                               |                                 |                                      |
| Alapfokú sugárvédelmi, 2 napos                                                                                                                                                                                                               |                                 | A tanfolyamokat május 9-én indítjuk. |
| Bővíthető fokozott sugárvédelmi, 3 napos                                                                                                                                                                                                     |                                 |                                      |
| Sugárvédelmi továbbképző: alap (2 napos), ill. bővíthető (3 napos)                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| <b>MÉRÉSÜGYI KÉPZÉSEK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| A metrológia alapjai, 3 napos                                                                                                                                                                                                                |                                 | április 4.                           |
| Metrológia, 3 napos                                                                                                                                                                                                                          |                                 |                                      |
| <b>NYOMÁSTARTÓ- ÉS TARTÁLYTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                 |                                 |                                      |
| Tartályvizsgáló, 10 napos                                                                                                                                                                                                                    |                                 | A tanfolyamokat máj. 2-án indítjuk.  |
| Tartályvizsgáló "C" modul, 3 napos                                                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| Tartályvizsgáló "C" modul + "A" kiegészítő, 5 napos                                                                                                                                                                                          |                                 |                                      |
| Tartályvizsgáló újraindító, 3 napos                                                                                                                                                                                                          |                                 | máj. 3.                              |
| Nyomástartóbedény-gépész, OKJ 32 5252 04; 28 napos                                                                                                                                                                                           |                                 | Létszámfüggő                         |
| <b>MINŐSÉGIRÁNYÍTÁSI KÉPZÉSEK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                   |                                 |                                      |
| Minőségellenőrző, OKJ 51 5401 01; 10 napos                                                                                                                                                                                                   |                                 | máj. 30.                             |
| <b>JÁTSZÓSZER SZAKEMBER KÉPZÉSEK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                |                                 |                                      |
| Játszószerszám gyártó, 10 napos                                                                                                                                                                                                              |                                 |                                      |
| Játszószerszám forgalmazó és telepítő, 10 napos                                                                                                                                                                                              |                                 | Létszámfüggő                         |
| Játszószerszám fenntartó, 11 napos                                                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| Játszószerszám menedzser, 15 napos                                                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| <b>EGYÉB TANFOLYAMOK 2005-ben</b>                                                                                                                                                                                                            |                                 |                                      |
| Környezetvédelmi szakelőadó, OKJ 53 5470 03; 40 napos                                                                                                                                                                                        |                                 |                                      |
| Értékelő-gyártó, OKJ 53 5483 01; 10 napos                                                                                                                                                                                                    |                                 | Létszámfüggő                         |
| Értékelési menedzser, 10 napos                                                                                                                                                                                                               |                                 |                                      |
| <b>SPECIÁLIS KÉPZÉSEK</b> Cégek részére, kihelyezett formában (csak tájékoztató jellegű felsorolás)                                                                                                                                          |                                 |                                      |
| – Hőkezelő továbbképző                                                                                                                                                                                                                       |                                 | –                                    |
| – Autóipari mérések és minősítések vizsgálata                                                                                                                                                                                                |                                 | –                                    |
| <b>RENDEZVÉNYEK</b>                                                                                                                                                                                                                          |                                 |                                      |
| – Aktuális rendezvényeinkről az AGMI Rt. honlapján ( <a href="http://www.agmi.hu">http://www.agmi.hu</a> ) is tájékozódhat                                                                                                                   |                                 | Létszámfüggő                         |
| Képzéseinket megfelelő létszám esetén indítjuk.                                                                                                                                                                                              |                                 |                                      |
| A tanfolyamok helye: AGMI Rt. Anyagvizsgáló épület (1211 Budapest, Gyepsor u. 1.)                                                                                                                                                            |                                 |                                      |
| Szállás és étkezés: igény szerint biztosítunk                                                                                                                                                                                                |                                 |                                      |
| Szakképzési hozzájárulás: Képzéseink az OKÉV által nyilvántartásba kerültek, így a tanfolyami költségek elszámolása kérelmezhető a szakképzési hozzájárulás terhére.                                                                         |                                 |                                      |
| <b>KIHELYEZETT TANFOLYAMOK, KÉPZÉSEK, RENDEZVÉNYEK SZERVEZÉSE.</b>                                                                                                                                                                           |                                 |                                      |
| Részletes tájékoztatás: AGMI Rt. Oktatásszervezési Osztály (1751 Budapest, Pf. 114.)                                                                                                                                                         |                                 |                                      |
| Tel.: (06-1)425-0761; (06-1)278-0755 Fax: (06-1)278-0756                                                                                                                                                                                     |                                 |                                      |
| Honlap: <a href="http://www.agmi.hu">http://www.agmi.hu</a> E-mail: <a href="mailto:oktatas@agmi.hu">oktatas@agmi.hu</a>                                                                                                                     |                                 |                                      |
| Szeretettel várjuk tanfolyamainkon!                                                                                                                                                                                                          |                                 |                                      |
| Martin Erika – mb. osztályvezető                                                                                                                                                                                                             |                                 |                                      |

## Hazai rendezvények 2005-ben

IV. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Konferencia és Kiállítás, Eger, április 12–15. Szervezi a Marovisz (l. a 113. old.). Részletek a [www.marovisz.hu](http://www.marovisz.hu) honlapon olvashatók.

8. Polymers for Advanced Technologies nemzetközi szimpózium, Budapest, szeptember 13–16. Kiemelt témák: biodegradális polimer, nanokompozitok, intelligens anyagok, nagy teljesítményű kompozitok, a legújabb módszertani fejlesztések és vizsgálati technikák. Bővebb információ és előregisztráció a [www.bme.hu/pal2005](http://www.bme.hu/pal2005) honlapon.

V. Országos Anyagtudományi, Anyagvizsgálói és Anyaginformatikai Konferencia és Kiállítás, Balatonfüred, október 9–11. Szekciók: Az új évezred anyagai és technológiái; Korszerű anyagkutatási és -vizsgáló módszerek; Modellézés és anyaginformatika; Innovatív termékek és technológiák. Tájékoztatót ad a konferencia lítkarsága: [likarsag@oaaakk.hu](mailto:likarsag@oaaakk.hu); [www.oaaakk.hu](http://www.oaaakk.hu). Dunaferr Rt. Innovációs Menedzsment OAAAKK5, 2401 Dunaújváros Pf. 110., tel.: (25) 584-329.

## Nemzetközi rendezvények 2005-ben

Workshop zur Anwendung der Impuls-Thermografie (zerstörungsfreie Strukturuntersuchungen von Beton- und Mauerwerk), április 21., a Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung BAM és a Technische Universität Berlin szervezésében. Tájékoztató a <http://www.dgzfp.de/?tab=lagungen> honlapon.

8<sup>th</sup> Int. Conf. on NDT and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of Cultural and Environmental Heritage – Art '05, Lecce, Olaszország, május 15–19. Tájékoztatót ad: Concello Parisi, AIPnD., CP 30059 – RM 47, I 00100 Rome, Italy. Tel./Fax: +39 06 3200 438; e-mail: [ci.ppi@tin.it](mailto:ci.ppi@tin.it).

8<sup>th</sup> International Conference of the Slovenian Society for Non-Destructive Testing, szeptember 1–3., Portoroz, Szlovénia. Téma: az NDT módszerek alkalmazása napjainkban.



## 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 ORSZAK BT. a 2005 tavaszi időszakban roncsolásmentes anyagvizsgáló (RmAv) tanfolyamokat szervez az eljárások széles skáláján, és egyszerre nyújtja mind az 50/1999. (IX.10.) GM. rendelethez előírt OKJ-s bizonyítványt, mind az EU-ban elismert MSZ EN 473 szabvány szerinti tanúsítványt.

Az RmAv tanfolyamok alapozó tárgyait – anyagvizsgáló, anyag- és gyártásmérlet – előzetesen kell elsajátítani az alapozó tanfolyamokon, illetve a menességet adó szakirányú felsőfokú végzettséget, vagy az érvényes anyagvizsgáló képesítést a bizonyítvány fénymásolatával igazolni kell.

Tanfolyamaink hallgatói nyomtatott jegyzeteket, az érvényes szabványok listáját, valamint ebédet kapnak a szorgalmi időszakban. Kérésre szállást is biztosítunk félpanzióval (kétágyas, fürdőszobás szoba, reggeli, vacsora).

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

Leheltséget 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 el!

Célunk, hogy tanfolyamaink hallgatói jól elsajátítsák az adott eljárás elméletét és gyakorlati fortélyait. Ennek érdekében tanfolyamainkon 3. vagy 2. szintű képesítéssel és nagy gyakorlati rendelkezéssel előadók oktatnak, a gyakorlati foglalkozások MSZ EN ISO/IEC 17025 szerint akkreditált vizsgálati laboratóriumokban folynak. A tanfolyamok legeredményesebb hallgatóit hasznos anyagvizsgáló eszközökkel tartalmazó csomaggal ajándékozzuk meg.

### AZ Rm ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMAINK PROGRAMJA

A tanfolyam- és vizsgaköltség a szakképzési hozzájárulás terhére elszámolható!

Rezgéselemző VAT-2, az SKF Rt.-vel közösen ápr. 11-21., gyakorlati vizsga: ápr. 21.

Vizuális VT-2: márc. 7-9., gyakorlati vizsga: márc. 10.

PED-tanfolyam + vizsga: ápr. 18.

Ultrahangos UT-2 (Krautkrämer, Sonatest, Panametrics): márc. 16-25., gyakorlati vizsga: márc. 25.

Akusztikus emissziós AET-2 újraindító: ápr. 4-16., vizsga ápr. 15-16.

Legalább 6 fő jelentkezése esetén induló tanfolyamok: Szinkronelemző SPT-1, SPT-2 (acél, színesfény); Akusztikus emissziós AET-1, AET-2 és Orvénvárosi ET-1, ET2 szakokon.

Vállalatok, társaságok részére kihelyezett tanfolyamokat, speciális igényeket kielégítő képzési formákat is szervezünk – nemcsak anyagvizsgálóknak! – hanem: tartályvizsgáló, nyomástartó berendezést vizsgáló, minőségellenőrző, minőségbiztosítási felülvizsgáló és tanúsító, kiegészítő, könnyűgép- és nehézgép-kezelő szakokon.

Tanfolyamainkat évről-évre azonos időszakban szervezzük, kurzusaink már 5-6 jelentkezéssel esetén is elindulnak, ezért velünk évekre előre tervezhet!

Küldjön egy névjegykártyát, és kérje részletes ismertetőt füzülettel!

Forduljon hozzánk bizalommal!

  
 Szűcs Pál

  
 Dénes Gáborné

Tájékoztatót ad: Prof. Dr. Janez Grum, Faculty of Mechanical Engineering, Askerceva 6, 1000 Ljubljana, Slovenia. Tel: +386 1 4771 203; Fax: +386 1 4771 225; E-mail: [janez.grum@is.uni-lj.si](mailto:janez.grum@is.uni-lj.si)

32th Leeds-Lyon symposium on tribology, Lyon, Franciaország, 2005. szeptember 6–9. Vezérgondolat: tribológia és a fenntartható környezet. Vezérlémák: tribológia az extrém mechanika, illetve kémiai környezetben; a szigorú kibocsátási előírások és biokompatibilitási követelményeknek megfelelő kenő- és adalékanyagok. Jelentkezés előadónak az előadás-kivonatlat legkésőbb 2005. február 28-ig, cím: Mrs Anne-Marie Collin, Laboratoire de Mécanique des Contacts et des Solides, UMR CNRS INSA 5514, Bâtiment J, d'Alambert, INSA de Lyon, 20, avenue Albert Einstein, 69621 Villeurbanne cedex, France; e-mail: [leeds-lyon@insa-lyon.fr](mailto:leeds-lyon@insa-lyon.fr).

Querschnittseminar des FA Ultraschall Schweißnahtprüfung im Licht neuer Anforderungen, Essen (im Rahmen der QTI), szeptember 14. Tájékoztató a <http://www.dgzfp.de/?tab=lagungen> honlapon.

Thermographie-Kolloquium 2005, IKP Universität Stuttgart, Thermographie-Arbeitsgruppen, szeptember 22., Tájékoztató a <http://www.dgzfp.de/?page=lagungen/thermo2005> honlapon.

22. Danubia-Adria Symposium – kísérleti mechanika, szeptember utolsó hetében, az olaszországi Pármában. Tájékoztatót adnak a szervezőbizottság magyar tagjai: dr. Thamm Frigyes: [thamm@mm.bme.hu](mailto:thamm@mm.bme.hu), vagy dr. Borbás Lajos: [borbas@kgp.bme.hu](mailto:borbas@kgp.bme.hu).

NDT in Progress, Prága, október 10–12, szervezi a Cndt, EFNDT. Tájékoztató a <http://www.cndt.eu> honlapon.

## Előzetes 2006-ra

FATIPPEC 2006 – International Congress for Paint Scientists & Engineers, Budapest, 2006. június 12-14. Rendezi a Magyar Kémikusok Egyesülete (MKE) és a Lengyel Vegyész-mérnökök Egyesülete (SITPChem - Polish Association of Chemical Engineers). Fő témakörök: Alapanyagok (közlőanyagok, 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 FATIPPEC: János Bognár (H) & Jozef Koziel (PL).

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



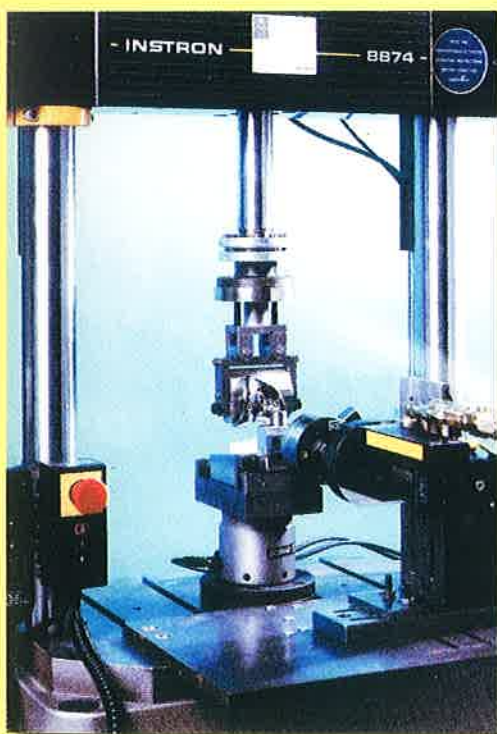
Az új, 8870 szervohidraulikus vizsgálórendszere



Gépeivel szakszerűen végezhet  
biomechanikai vizsgálatokat  
in vivo feltételeket szimuláló  
környezetben

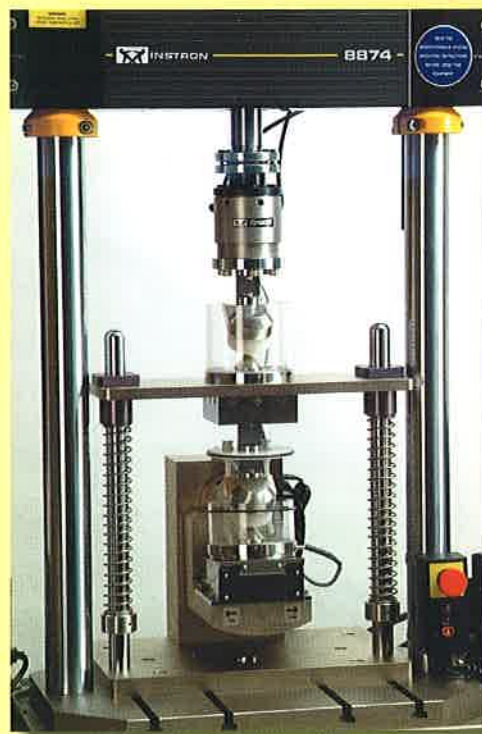
esély a teljes életre

bőrszövet vizsgálata  
sóoldatban



térdprotézis  
vizsgálata  
háromtengelyű  
igénybevétellel

két vizsgálóhelyes  
kopásvizsgálat  
csípőprotézisen



Forgalmazza: **TESTOR**

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

06 (1)  
06 (30)

319 1 319



# 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.



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 Vegyészmérnökök 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).