

# Dinamikus neutron- és gammaradiográfia alkalmazása ipari fejlesztésekben

Dr. Balaskó Márton\*

Megfigyelhető, hogy napjainkban az egyre szélesebb körben terjedő fejlett technológiai módszerek igénylik és alkalmazzák a különleges információkat szolgáltató roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárásokat. Ezek segítségével az adott tárgy szerkezete, illetve a benne működés közben lejátszódó jelenségek úgy vizsgálhatók, hogy a tárgyat a további felhasználás, működés szempontjából nem éri károsodás. Ezen vizsgálatok közé tartozik a neutron- és gammaradiográfia is. A radiográfiai módszer alapja, hogy a sugárzás útjába helyezzük a vizsgálandó tárgyat, és a mögé helyezett megfelelő érzékelő felhasználásával láthatóvá tesszük a vizsgált tárgy radiográfiai árnyképét. A radiográfia egyik széles körben ismert alkalmazása a repülőtéri csomagátvilágítás, ahol röntgensugarakkal ellenőrzik az utasok poggyászait. A röntgen- és gammaradiográfiaát évtizedek óta használják nálunk is az iparban, pl. a minősített hegesztések ellenőrzésére. A neutronradiográfia (NR) főként a fejlett reaktorteknológiával rendelkező országokban (USA, Anglia, Franciaország, Németország, Japán és Oroszország) terjedt el. Elsősorban a nukleáris fűtőelemek előállítási technológiájában nélkülözhetetlen minősítési eszköz, de jelentős mértékben használják az űrkutatásban, a speciális haditechnikai gyártmányok, valamint a polgári és katonai repülés minőségbiztosítási rendszereiben.

Ismeretes, hogy a neutronsugárzás az atommagon szóródik, míg a gammasugárzás az atomok elektronjaival lép kölcsönhatásba. A kétféle sugárzás esetében a szórási folyamatok igen eltérő jellegűek a különböző kölcsönhatások következtében. A neutronsugárzás a technikai gyakorlatban felhasználásra kerülő fémek nagy részén igen csekély veszte-

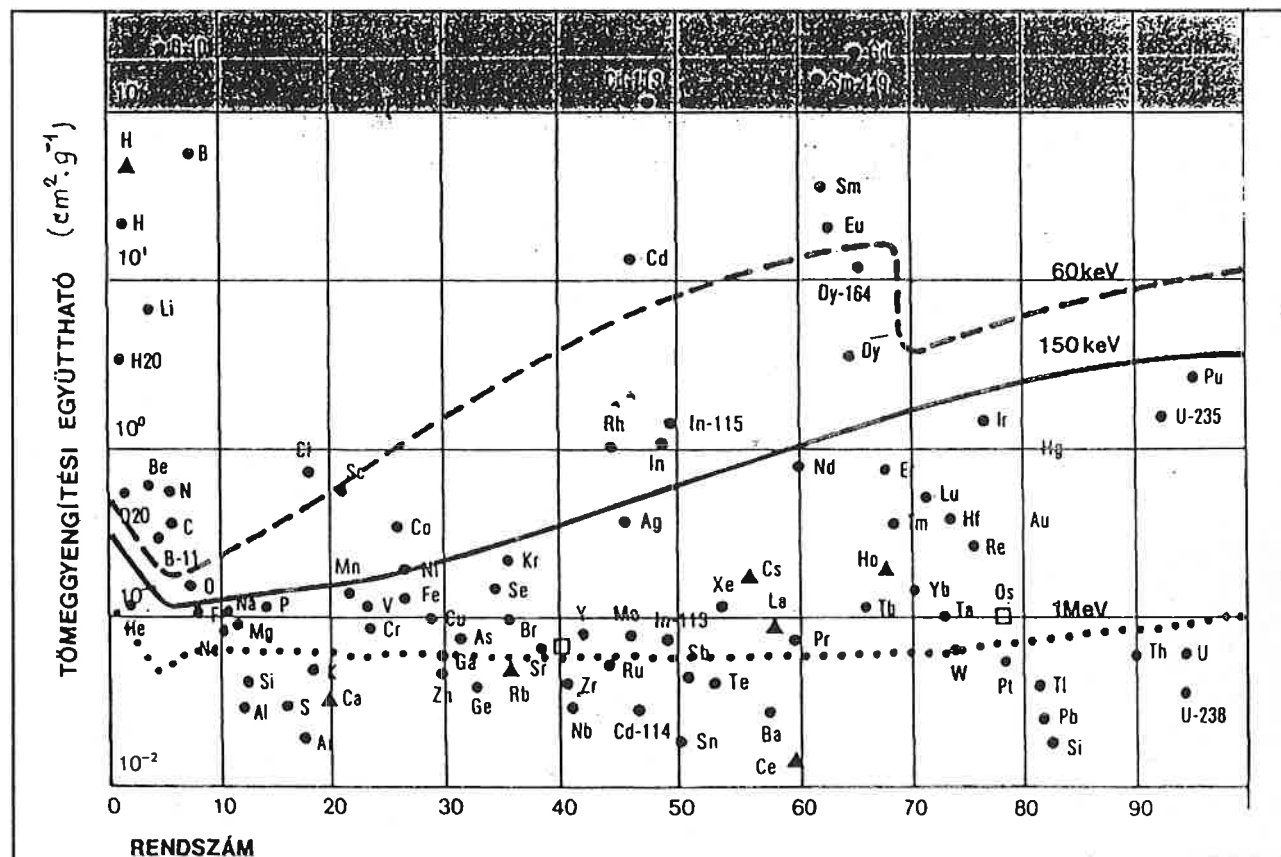
séggel halad át, míg a hidrogéntartalmú anyagok (víz, ammónia, olaj, műanyagok), erősen csökkentik intenzitását és így lehetőség nyílik azok láthatóvá tételére. A gammasugárzás alig lép kölcsönhatásba a kis rendszámú atomokkal, így a könnyű elemeket tartalmazó anyagokban áthaladva alig veszít intenzitásából, ugyanakkor a nagyobb rendszámú elemekből és azok ötvözeteiből álló fémalkatrészekről már jól értékelhető képet szolgáltat. Ezt támasztja alá az 1. ábra, amelyen látható az anyagok és a különböző sugárzások kölcsönhatására jellemző tömeggyengítési együttható változása a rendszám függvényében: a 60 keV és 150 keV-es röntgen, valamint az 1 MeV-es gammasugárzásokkal szembeni csillapítások növekvő jellegűt mutatnak az atomszámmal, míg a semleges töltésű neutronokra semmiféle egyértelmű összefüggést nem lehet megállapítani, amint azt az ábrán látható diszkért pontok mutatják.

## A vizsgálati rendszer

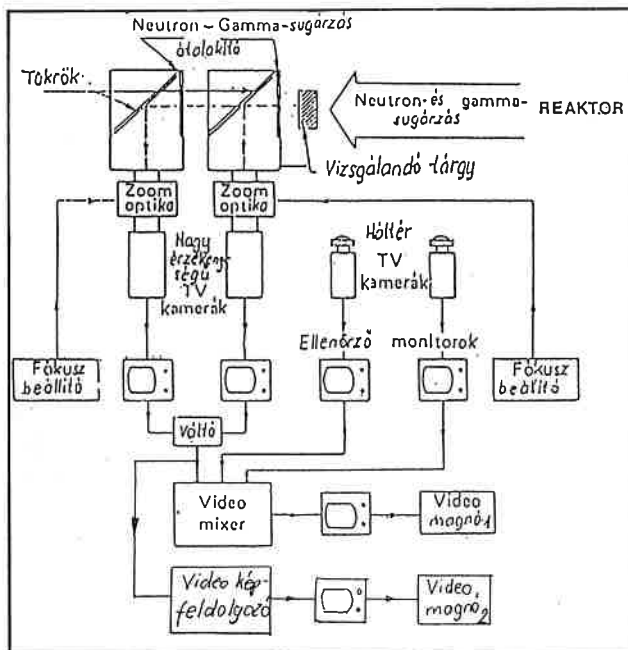
A kétféle sugárzás komplementer tulajdonságait használtuk fel a dinamikus neutron- és gammaradiográfiai mérési eljárás kidolgozásánál, a mérőhely kiépítésénél és a vizsgált jelenségek körének kiterjesztésénél. Méréseink során megfigyelhetővé válnak a zárt edényrendszerben szélsőséges üzemi hőmérséklet és nyomás körülmények között lejátszódó termodinamikai folyamatok, valamint a folyadékok által takart fémalkatrészek mozgása is.

A KFKI 4.4 MW-os kutatóreaktorának egyik termikus csatornája mellett fejlesztettük ki és helyeztük üzembe a mérőhelyünket. Az összeállítás leglényegesebb részének, a képfelvételi rendszernek a vázlata a 2. ábrán látható.

\* KFKI-AEKI-NRL



1. ábra A röntgen-, gamma- és neutronsugárzás tömeggyengítési együtthatóinak változása az elemek rendszámának függvényében



2. ábra. A képfelvételi rendszer

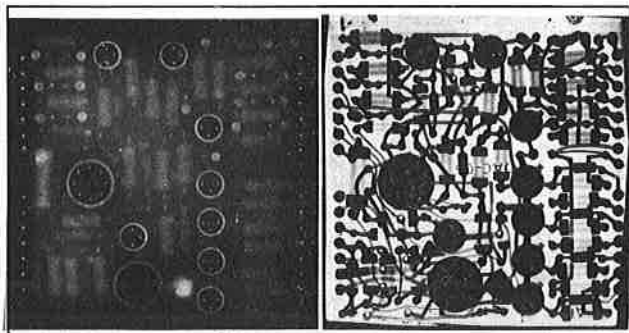
A reaktorban egyidejűleg keletkező neutron- és gammasugarak áthalolnak a vizsgálati tárgyon, amelynek a sugárzások által keltett árnyképei megjelennek a sugárzás-fény átalakító lemezekon, és az azokon keletkező kis intenzitású fény tükrökön és optikákon keresztül a nagy érzékenységű tv-kamerákba jut. Nélkülözhetetlenül fontos a működő vizsgálati tárgy üzemi jellemzőinek ismerete is, ezeket a paramétereket mérő műszerek adatait az egyik háttéri kamera állandóan nyomon követi, míg a másik vizuálisan figyeli a sugárnyékolt helyen történő eseményeket. Ezt követően egy videomixer segítségével összeállítjuk a megfelelő információtartalmú képet, amelyet a későbbi kiértékelési lehetőség biztosítása céljából videomagnetőfonnal rögzítünk.

A KFKI AEKI rekonstruált 10 MW-os kutatóreaktoránál már lehetőségünk van a radiográfiai képek kvantitatív kiértékelésére egy QUANTEL SAPHIRE típusú képfeldolgozó felhasználásával, amely lehetővé teszi a képek kiszínezését, valamint számos képmanipuláció elvégzését, mint átlagolás, integrálás, élkimelés, különbségképzés... A kész eredmények itt is videomagnóval kerülnek rögzítésre. Ezeket a hasznos komplementer radiográfiai felvételeket szolgáltató mérési elrendezést a világon elsőként építettük ki.

## Alkalmazási példák

A mérőhelyen a kutatás-fejlesztési tevékenység mellett számos ipari alkalmazási megbízatást teljesítettünk. A módszer alkalmas az ismeretlen belső felépítésű tárgyakban lévő alkatrészek elhelyezkedésének feltárására.

A 3/a. ábrán egy műgyantával kiöntött hibrid áramkör neutronradiográfiai képe látható. A fehér folt okozója lehet legbuborék, de lehet



3. ábra. Egy digitál-analóg konverter  
a) neutron- és b) röntgenradiogramja

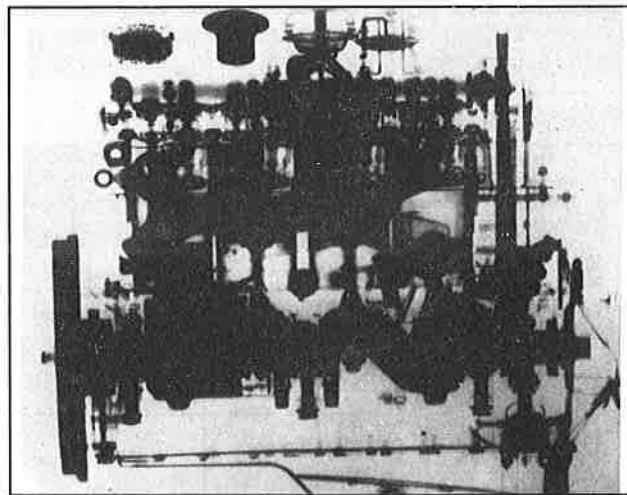
valamilyen neutronokra transzparens anyagból készült alkatrészs is. A 3/b. ábrán ennek az áramkörnek a röntgenradiográfiai képét látjuk, és ez alapján megállapítható, hogy a folt okozója egy alumíniumfóliából készült kondenzátor volt, tehát a gyantakitöltési technológia jó.

A képfelvételi technikánk lehetővé teszi dinamikus jelenségek tanulmányozását is, amint azt a 4. ábrán láthatjuk. Egy keverőbetétes mosdócsaptelepen áthaladó kavitációs buborékokat lehet látni. Az 5. ábrán egy működő autómotorban áramló kenőanyag képe figyelhető meg.

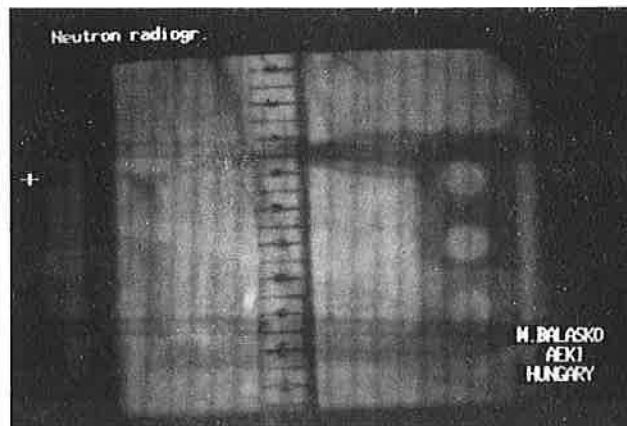
A korszerű kompresszoros hűtőgépeket előállító gyárakban most cserélik le az ózonréteg védelmében az R-12-es hűtőközeget R-134a-ra. Ez az új anyag hasonló kalorimetriai tulajdonságokkal rendelkezik, de a



4. ábra. Keverőbetétes csaptelepben mozgó buborékok (+)

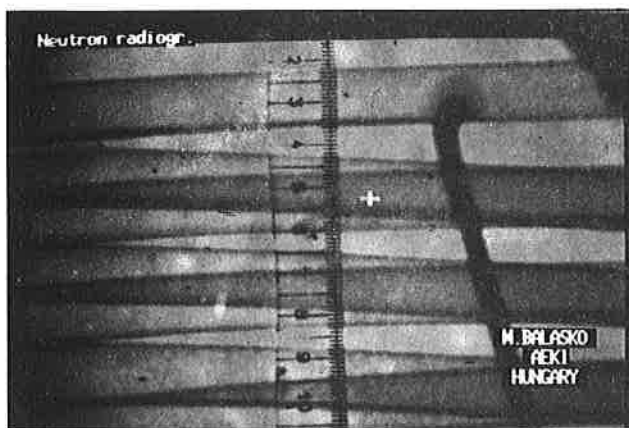


5. ábra. A kenőolaj útja egy működő autómotorban



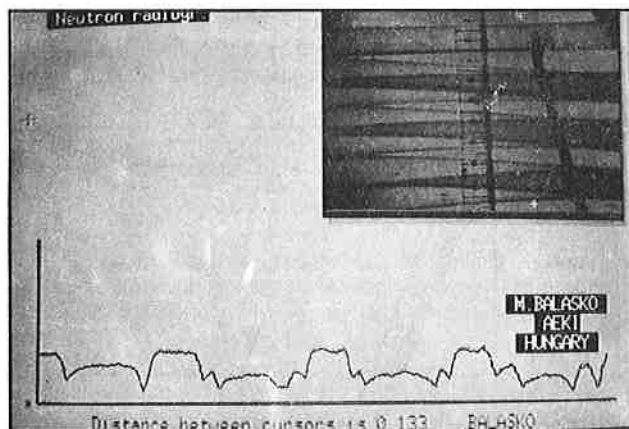
6. ábra. Az R-134a gázzal működő kompresszoros hűtőgép elpárolgatójában szegregálódott kenőanyag elhelyezkedése

kenőolaj oldóképessége kisebb. Az R-12-vel működő gépek neutronradiográfiai felvételein az elpárolgatót homogénean tölti ki a kenőanyag és a folyékony hűtőközeg keveréke, míg a 6. ábra tanúsága szerint, az R-134a alkalmazása esetén a kenőanyag a felszínen szegregálódik, akadályozva az optimális párolgási viszonyok kialakulását. A kép kvantitatív feldolgozásával az inhomogenitás mértéke, és megfelelő modellezése esetén, az összetételi arányok is mérhetővé tehetők az elpárolgató minden pontjában.



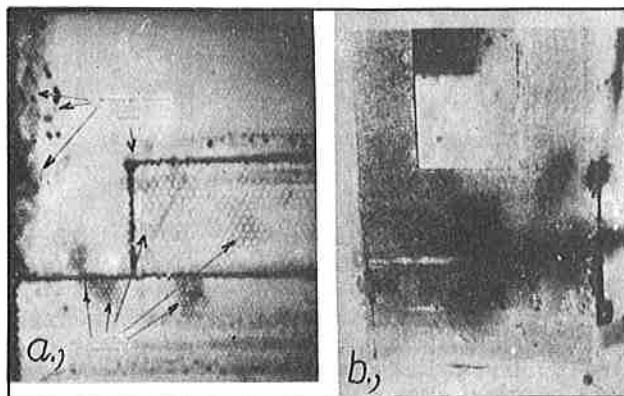
7. ábra. Abszorpciós hűtőgép elnyelető rendszerében egyenetlenül lefolyó hűtőközeg

A módszer segítségével tanulmányozhatóak a kétfázisú rendszerek, mint amilyenek a hőcsövek vagy az abszorpciós hűtőgépek aggregátjai. A 7. ábrán az utóbbi készülékcsalád egy elnyelető elemének neutronradiográfiai képe látható, amint a szegény oldat közlekedik lefelé a csőrendszeren. Az egyes csőszakaszok tisztasága eltérő, amely jól megfigyelhető a felvételen.



8. ábra. Ammónia-csoztlás a 7. ábra metszeti képén két kurzorpont között. A csőfalak helyét a minimum értékek jelzik.

A 8. ábrán ennek az elemnek a képen látható két kurzorpont által kijelölt metszeti képe figyelhető meg, amelyen az ammónia szállításban résztvevő csőfalak jól megkülönböztethető minimum értékekkel rendelkeznek. A különböző üzemi körülmények hatására létrejövő transzport változások így kimutathatóvá válnak. Például a címoldali, kiszínezett neutronradiogramokon jól megfigyelhető a dőlésszög hatása a hűtőközeg áramlására. Mintegy 3 fokos dőlésnél már dugulás lép fel (felső ábra).



9. ábra. Repülőgép törzspanel korróziójának kimutatása a) neutronradiográfiai felvétellel, és b) kiszerelés és feltárás után

A módszer alkalmas a korróziós folyamatok tanulmányozására is, amint az a 9. ábrán látható. Az a-jelű ábrán egy repülőgép törzspaneljének neutronradiográfiai képe látható, ahol a nyilak mutatják a korróziós területeket. A b-jelű ábra a kiszerelet törzspanel vizuális képe, fotója. Jól látszik a korreláció a két felvétel között.

## Főbb alkalmazási területek

A vizsgálati technikát elsősorban a nagyértékű, magas technológiai felkészültséget igénylő eszközök alkatrészeinek fejlesztésére és tesztelésére használják, az űrutatásban, a repüléstechnikában, a nukleáris iparban, valamint a különböző katonai alkalmazások területén. Példaként megemlíthjük, hogy Franciaországban az ARIAN rakéta 500 db alkatrészét kell átvizsgálni beépítés előtt neutronradiográfiaival.

Újabban a nem túl magas egyedi értékű, de tömeggyártásban készülő termékek vizsgálata is mind szélesebb körűvé válik. Előnyös a prototípus készülékek rejtélyes hibáinak feltárására használni, mert egészen új irányt adhat a fejlesztéseknek.

Végezetül felsoroljuk a neutronradiográfiai mérőhely főbb alkalmazási területeit:

1. Reaktortechnológiai és radioaktív elemek vizsgálata, pl. hasadóanyag eloszlásának meghatározása fűtőelemekben, szabályzó rudak homogenitásának és idegenanyag-tartalmának vizsgálata, fűtőelemek szerkezeti felépítésének ellenőrzése.
2. Ismeretlen belső szerkezetű tárgyak megfigyelése.
3. Detonátorok, lőszerkezetek belső kialakításának, töltöttségi fokának ellenőrzése.
4. Műanyagok ellenőrzése anyaghibák (pl. légzárványok) szempontjából.
5. Fémekben előforduló zárványok vizsgálata (pl. bór, hidrogén).
6. Folyadékszint vizsgálata fémcsövekben és csőrendszerekben.
7. Elektronikus felvitt Cd-réteg homogenitásának ellenőrzése.
8. Elektromos eszközök, alkatrészek vizsgálata.
9. Folyadék áramlási tulajdonságainak megfigyelése fémcsövekben.
10. Belső égésű motorok szerkezeti elemeinek vizsgálata működés közben.
11. Szénhidrogén-kutatás (pl. szénhidrát-tartalmú közetek vizsgálata).
12. Orvosi, illetve folyadékáramláson alapuló műszerek prototípusainak fejlesztése.
13. Biológiai kutatásoknál.
14. Mezőgazdasági kísérleteknél.

942 035 136

**Helyreigazítás.** Lapunk 1994/1. számában a KE-TECH BT. hirdetésében sajtóhiba volt. Elnézést kérünk!

**A cég címe helyesen:**  
**Postacím:** 1462 Budapest, Pf. 552  
**Tel./fax:** 217-1034  
**Iroda:** 1091 Budapest, Üllői út 45.



# Színesfémek elektromos vezetőképességének pontos mérése örvényáramos módszerrel

Neumaier P.\* – Haskó F.\*\*

## Bevezetés

Az elektromos vezetőképesség egyik azon paramétereknek, amely a színesfémek tulajdonságait jól jellemzi. A vezetőképesség jól követi a színesfémek fizikai és finomszerkezeti tulajdonságait, mint pl. keménység, szakítószilárdság, kristályszerkezet.

Ahhoz azonban, hogy a vezetőképesség megfelelően gyorsan és pontosan mérhető legyen, olyan műszer szükséges, amelynek a szondája nem érzékeny a távolságváltozásokra, illetve nem kívánja a vizsgálandó munkadarab (pl. festett tárgyak esetében) érintését.

Ez a cél az örvényáramos rétegvastagságvizsgáló műszereknél szerzett tapasztalatok és a korszerű mikroprocesszor-technika felhasználásával elérhető. A továbbiakban bemutatunk egy olyan műszert, valamint a műszer elvi és gyakorlati működését, néhány alkalmazástechnikai példán keresztül, amely a fenti feladatokat teljesíti.

## Az elektromos vezetőképesség

Az anyag fajlagos elektromos ellenállása ( $\rho$ ) egy olyan  $A$  keresztmetszetű és  $L$  hosszúságú homogén test elektromos ellenállása, amely kielégíti az alábbi összefüggést:

$$\rho = R \cdot A/L$$

ahol  $R$  az  $A$  keresztmetszetű ( $m^2$ ) és  $L$  hosszúságú ( $m$ ) test ohmos ellenállása. Dimenziója:  $\Omega \cdot m$  (ohmméter)

A fajlagos ellenállás a hőmérséklet lineáris függvénye és pedig a

$$\rho_T = \rho_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

egyenlet szerint, ahol  $\rho_{20}$  a fajlagos ellenállás  $20^\circ C$ -on,  $\alpha$  a hőmérséklettel együttváltozó, és  $\Delta T$  a  $20$  foktól való hőmérsékleteltérés. A hőmérséklet emelésével tehát a fajlagos ellenállás nő.

A fajlagos elektromos vezetés:

$$\sigma = 1/\rho$$

A  $\sigma$  dimenziója S/m (siemens per méter), és értékét MS/m, vagy % IACS (International Annealed Copper Standard) egységben adják meg, ahol  $100\% \text{ IACS} = 58 \text{ MS/m}$

A fajlagos vezetés hőmérséklet függése:

$$\sigma_T = \frac{\sigma_{20}}{1 + \alpha \cdot \Delta T}$$

A fajlagos vezetés és a hőmérséklet közötti összefüggés tehát nem lineáris. A fenti összefüggések korlátait az [1] taglalja.

## Az örvényáramos mérés elve

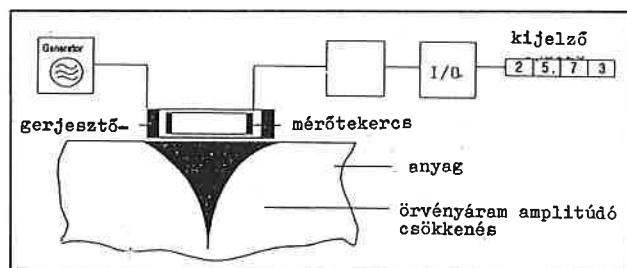
Az elektromos vezetés abszolút értéke meghatározható feszültségáram méréssel. Ha egy munkadarab vezetését a helyszínen meg kell mérni, akkor elsősorban az örvényáramos mérés jöhet szóba, mert ez érintésmentes és gyors mérést tesz lehetővé. Ebben az esetben összehasonlítói mérésről van szó, amennyiben a munkadarabon mért értéket összehasonlítjuk egy etalonon mért értékkel. Az 1. ábra egy ilyen műszer elvi felépítését mutatja.

A mérőszonda gerjesztő tekercsét meghatározott frekvenciájú váltó-feszültséggel táplálják. A gerjesztő tekercs mágneses mezeje a vizsgált tárgyban örvényáramot gerjeszt, amelynek erőssége és mélysége a tárgy anyagának vezetőképességétől függ [2]. Az örvényáram által gerjesztett mágneses tér szuperponálódik a gerjesztő tekercs által gerjesztett mágneses térre, és ez a tér a mérőtekercsben feszültséget indukál.

A frekvencia meghatározza az örvényáram behatolási mélységét ( $\delta$ ) is:

$$\delta = k \frac{503}{\sqrt{f \cdot \sigma}}$$

ahol  $k$  anyagfüggő állandó ( $<1$ ),  $f$  a frekvencia Hz-ben és  $\sigma$  a fajlagos vezetés MS/m-ben.

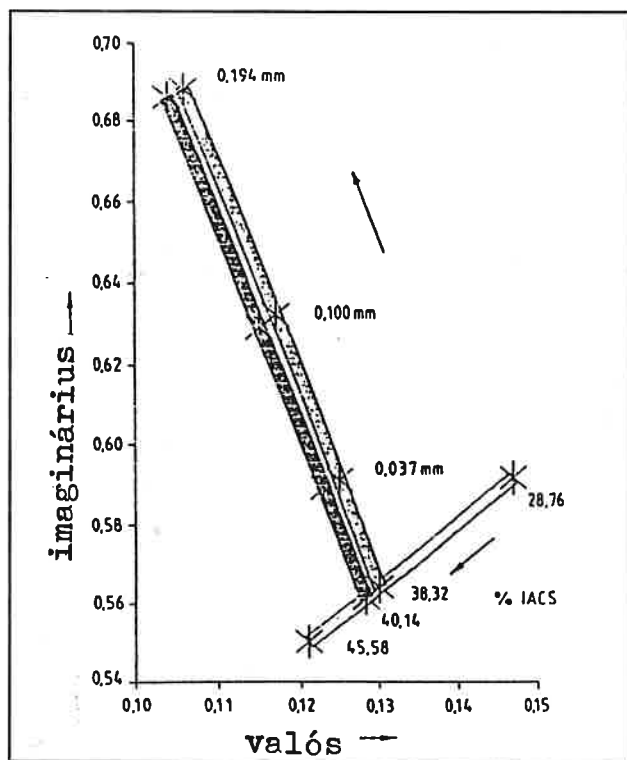


1. ábra. Örvényáramos vezetőképesség-mérő műszer elvi felépítése

A gyakorlatban a következő zavaró tényezőkkel kell számolni:

- szondatávolság
- a mérőfelület nagysága
- felületi görbület nagysága
- a mérendő tárgy vastagsága

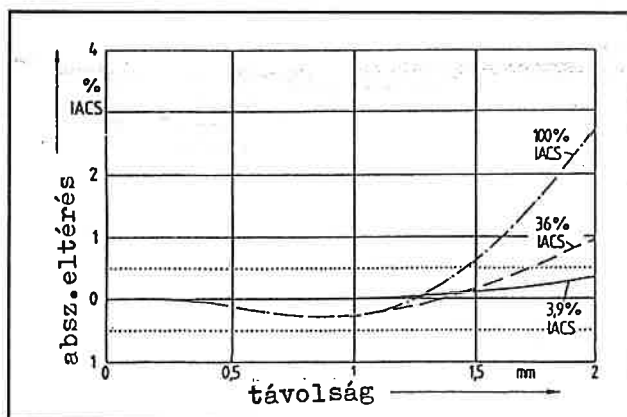
Az utóbbi három tényező hatása megfelelő kalibrálással kiküszöbölhető. A szondatávolság hatása megfelelő jelfeldolgozással hatástalanítható. Ha a szondatávolság hatását a komplex síkon ábrázoljuk (2. ábra) látható, hogy  $0,037 \text{ mm}$  távolság hatása a mérővektorra hatszor akkora, mint  $2\% \text{ IACS}$  változás. A távolságkompenzációnak tehát hatékonyan kell lenni ahhoz, hogy a távolság a mérést ne zavarja. A szondafelület-távolság hatása jól kompenzálható. Ezt a 3. ábra mutatja. Látható, hogy  $1-1,2 \text{ mm}$  távolság még nem hat hátrányosan a mérés pontosságára.



2. ábra. Mérőjelváltozás vezetőképesség- és rétegvastagságmérésnél

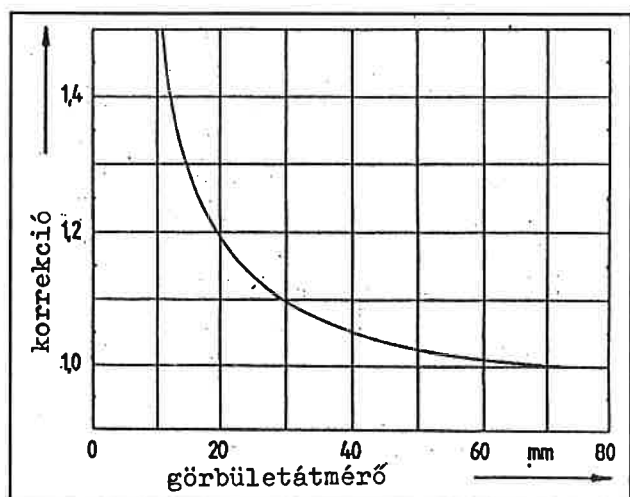
\* H. Fischer GmbH, Sindelfingen

\*\* Nivelco Kft., Budapest



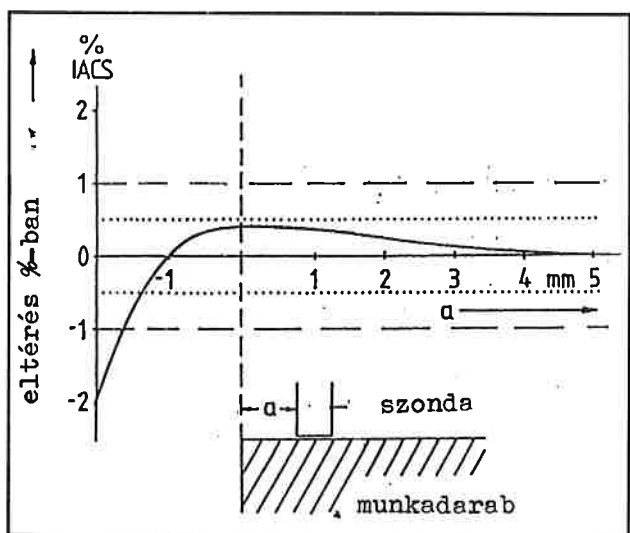
3. ábra. Szondatávolság hatása a mérésre

A felületi görbület hatását a 4. ábra mutatja. Minél kisebb a görbületi sugár, annál nagyobb az okozott hiba. Ez a hiba azonban, mint említettük, megfelelő kalibrációval kiküszöbölhető.



4. ábra. Felületi görbület hatása a mérésre

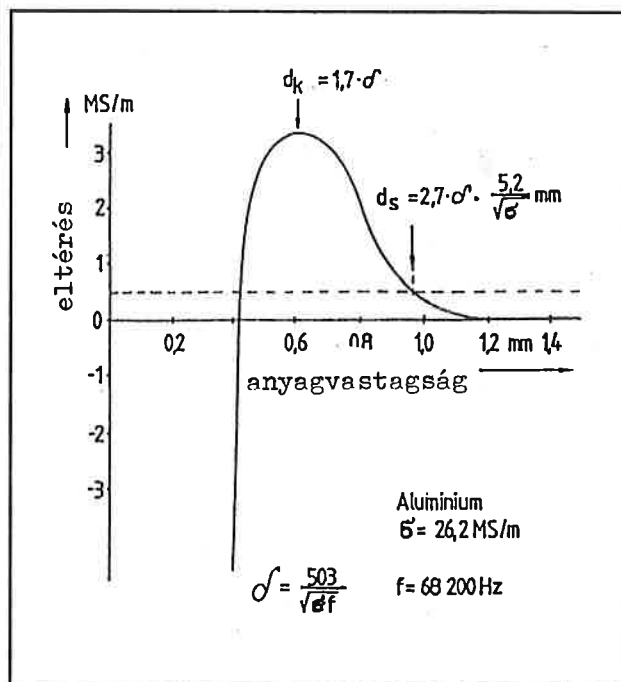
A mérendő tárgy nagysága elsősorban az éltetés miatt lehet zavaró. A szonda él távolság csökkenésével ui., amint az a 5. ábrán látható, a mérési hiba nő. Ezért a szonda középpontja a tárgy szélétől legalább egy szondaátmérőnyi távolságra legyen. Az eddigiekből következik, hogy egy kb. 20 mm átmérőjű tárgyon még megfelelő megbízhatósággal lehet mérni.



5. ábra. Az éltávolság hatása a mérésre

A tárgy vastagsága is hat a mérés pontosságára (6. ábra). A mérőfrekvencia növelésével a behatolási mélység csökken és ezért nagyobb frekvencián vékonyabb anyagok mérhetők.

A hőmérséklet hatása egy pontú kalibrálással kompenzálható.



6. ábra. Anyagvastagság hatása a mérésre

## A műszer

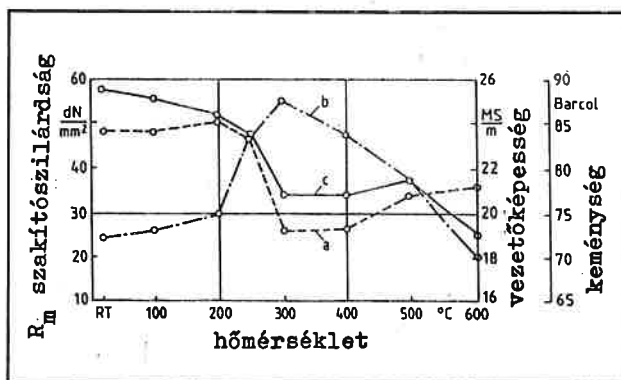
A SIGMASCOPE SMP1 68 kHz és az SMP2 300 kHz frekvencián működő kéziműszer cserélhető szondával. A mikroprocesszoros vezérlés lehetővé teszi a többpontos kalibrálást és a digitális kijelzést. A mérés megbízhatósága jobb, mint  $\pm 0,5\%$ . A hét tároló összesen 3500 adat tárolását teszi lehetővé.

Az alacsonyabb frekvenciájú kivitellel 25 MS/m vezetőképességű, min. 1 mm falvastagságú alumínium vizsgálható, a nagyobb frekvenciájú műszer min. 0,25 mm falvastagságú alkalmazható. A műszer PC-hez csatlakoztatható a beépített RS-232 interface segítségével.

## Alkalmazási példák

### Mechanikai tulajdonságok vizsgálata

A vezetőképesség sok esetben a mechanikai tulajdonságok indikátora lehet. Így a mérést gyakran alkalmazza a repülőgépipar extrudált alumíniumötvözetek ellenőrzésére. Helytelen hőkezelés, vagy üzemi-



7. ábra. Összefüggés egy alumíniumötvözet elektromos vezetőképessége (a), keménysége (b) és húzószilárdsága (c) között.

# KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK

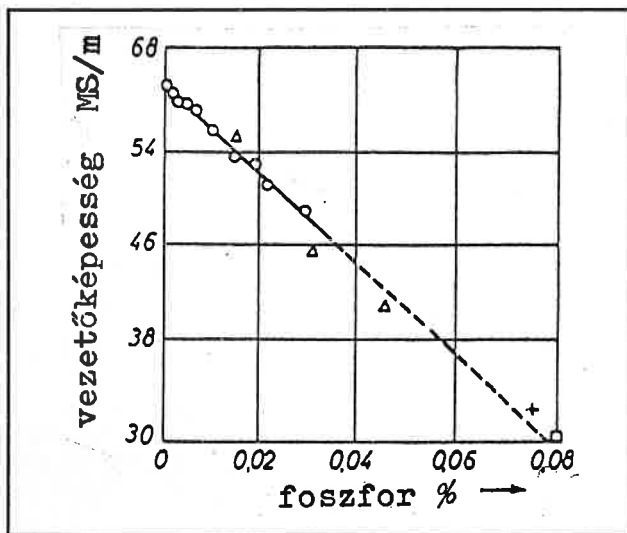
beni túlmelegedés súlyos szilárdságcsökkenéshez vezethet. Ezért a mérések tekintetében nagyon szigorúak az előírások [3-6].

A 7. ábra a húzószilárdság, keménység és vezetőképesség közötti összefüggést mutatja. Az ábra bizonyítja, hogy a vezetőképesség-mérés gyors következtetést tesz lehetővé a hőkezelés hibája, vagy a túlmelegedés következtében előállt szilárdságcsökkenés tekintetében. A biztonság érdekében keménységmérést is végeznek [7].

A példában megemlített ötvözet esetében a szilárdságcsökkenés kritikus szakaszában a vezetőképesség 3-4 MS/m-el változik. Az Al-Li-ötvözeteknél a változás még kisebb. Így a vezetőképesség-méréshez nagy érzékenységű, nagy feloldó képességű műszer szükséges.

## Ötvözetek hatása a vezetőképességre

Elektromos vezetékknél a nagy vezetőképesség követelmény. A vezetőképességet a gyártás során a rézöntvénybe került szennyeződések csökkentik [8]. A foszfortartalom pl. a vezetőképesség lineárisan csökken (8. ábra). A vezetőképesség-mérés megfelelő mintavétellel gyors ellenőrzést tesz lehetővé.



8. ábra. Foszfortartalom hatása a réz vezetőképességére

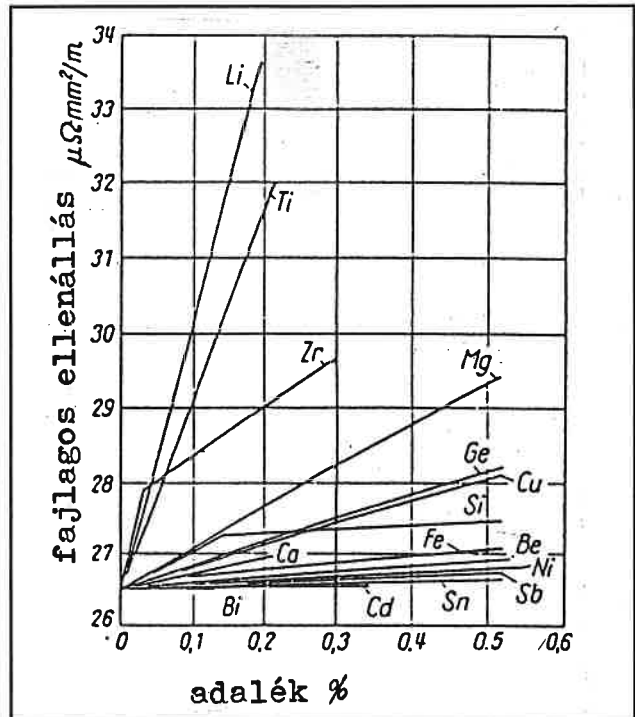
Alumínium esetében az adalék elemek, amelyek feladata bizonyos mechanikai tulajdonságok elérése, a vezetőképességet jelentősen csökkentik. Különösen nagy a Li és Ti hatása (9. ábra).

A szövetszerkezeti változásokat is jól mutatja a vezetőképesség. Minél nagyobbak a kristályitok, annál nagyobb a vezetőképesség. Öntött alumínium szövetszerkezetének finomítására Sr-t, v. Ti-t szokás adagolni. A finomabb szerkezet kb. 1 MS/m vezetőképesség-csökkenést okozhat. A megbízható ellenőrzéshez tehát nagy feloldó képességű műszer szükséges. A kítűnő távolságkompenzáció következtében nem zavaró az öntvény felületi durvasága sem.

Az alumínium anodizálásánál (eloxálás) is fontos szerepe lehet a vezetőképesség-mérésnek. Ha egy tételbe különböző vezetőképességű anyagok kerülnek, nagyon egyenlőtlen lesz a fürdőben az árameloszlás, minek következtében nagyok lesznek a minőségi ingadozások az oxidrétegben.

## Anyagválogatás

Ha a vezetőképesség pontos ismerete nem szükséges, csupán annak változásait kell követni az anyag egyenletességének ellenőrzésére, akkor csak csoportosításra van szükség, amit a műszer szintén lehetővé tesz. Így pl. Incoloy és Inconel csövecskék (Ø 5 mm) tömeges ellenőrzése vált lehetővé. A beállítható tűréshatárok lehetővé teszik, hogy a megengedettnél kisebb vagy nagyobb értékeket szétválogathassuk. A tűréshatár túllépése esetén a műszer hanggal jelez.



9. ábra. Ötvözők hatása az alumínium vezetőképességére

## Összefoglalás

A vezetőképesség-mérés sok területen gyors és megbízható ellenőrzést tesz lehetővé mind a laboratóriumban, mint a gyártásban. A műszer által nyújtott dokumentációs (nyomtató csatlakoztatása), illetve statisztikai kiértékelési lehetőség jelentős előnyt jelent a minőségbiztosítás terén.

## Irodalom

- [1] Kutner, F.: Leitwerkstoffe aus Aluminium. Aluminiumverlag, Düsseldorf, S. 3-6.
- [2] Luz, H-Neumaier, P.: Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung nach dem Wirbelstromverfahren. messen-prüfen 1975, 1/2-3/4
- [3] Boeing specification BAC 5946
- [4] McDonnell Douglas Process Specification: Eddy Current Determination of Electrical Conductivity for Aluminium Alloys. P. S. 21207, FSCM NO. 76301, Revision E 23.5.80.
- [5] US Military Standard: Electrical Conductivity Test for Verification of Heat Treatment of Aluminium Alloys. Eddy Current Method. MIL-Std-1537 B. 19.7.1988.
- [6] prEN 2004-1 Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Aluminium Knetlegierungen. 2. kiadás. 1982
- [7] D GZIP-tanfolyam: Wirbelstromprüfung II, V4 Leitfähigkeit
- [8] Bunge G.: Betriebliche Anwendung eines Tastspulgerätes bei Nichteisen-Metallen. Metallkunde 45 (1954) 3/4 205.

942 038 091

# Mitutoyo

hivatalos szervize

hivatalos kereskedője  
Szeretettel várjuk  
bemutatótermünkbe.

## TESTOR

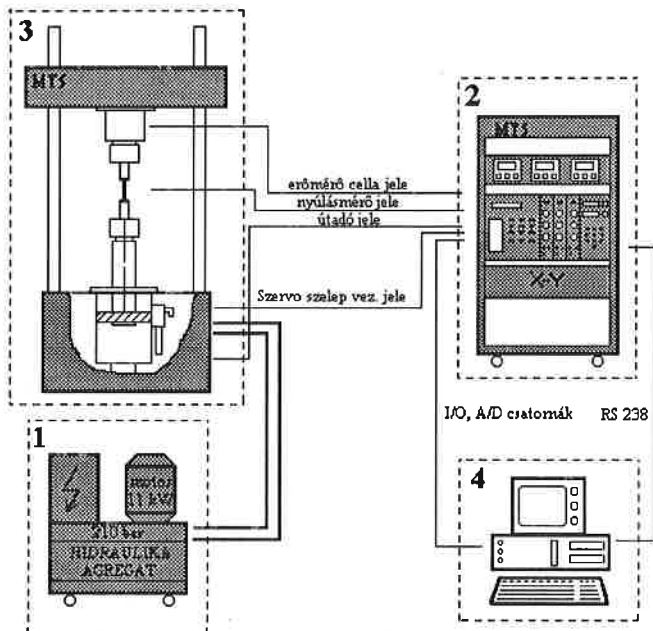
H-1584 Budapest, Pf.: 528  
H-1124 XII., Törpe u. 8.  
Tel.: 361 155-9886 • Fax: 361 155-2618

# Az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat megbízhatósága

Rózsahegy Péter\*

## Bevezetés

Az állandó amplitúdójú kisciklusú fárasztóvizsgálatok vagy hosszirányú, vagy keresztirányú alakváltozással vezérelhetők. Mindkét módszernek megvan a maga előnye és hátránya. Az előbbi feltételezhetően pontosabb, míg az utóbbi kisebb méretű próbatesteken is kivitelezhető. A Miskolci Egyetem mechanikai technológiai tanszékén, „Az anyagok károsodásának mechanizmusi emelt hőmérsékleten” című, OTKA T4408 számú kutató munka keretében megvalósításra került az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat. Ezekhez a vizsgálatokhoz egy MTS gyártmányú elektro-hidraulikus, univerzális anyagvizsgáló berendezést használunk (1. ábra).



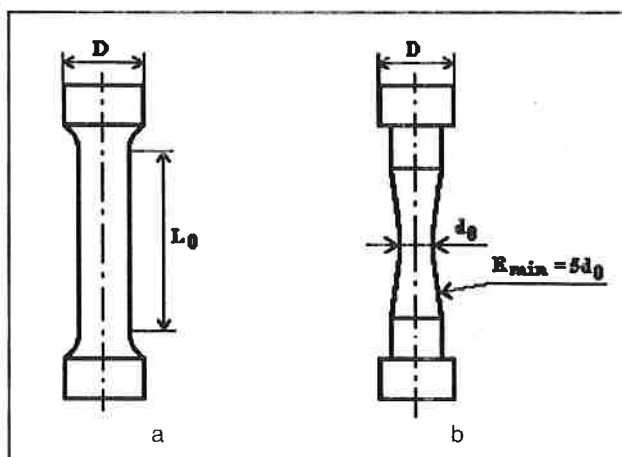
1. ábra. Az MTS anyagvizsgáló rendszer felépítése

A számítógéppel vezérelt rendszer fő egységei a következők:

1. **Hidraulikus tápegység** a terheléshez szükséges olajnyomást biztosítja 210 bar-ig.
2. **Vezérlőszekrény** tartalmazza a vezérlőpanelt, egy elektronikus, programozható függvénygenerátort (MicroProfiler), egy X-Y író és az emelt hőmérsékletű vizsgálatokhoz használt hőmérséklet-szabályozót.
3. A nagymerevségű **terhelőkeret** alsó részében található a hidraulikus dugattyú, amelybe a be- és kiáramló olaj mennyiségét egy szervószелеp szabályozza. A dugattyú elmozdulását egy induktív útdadó, a terhelést egy erőmérő cella, a próbatest alakváltozását pedig egy nyúlásmérő vagy átmérőmérő extenzó mér.
4. **Számítógép** a vizsgálat vezérlését végzi, valamint egy 16 bites, 4 csatornás adatgyűjtő kártyán keresztül a mért értékek tárolását. Ezenkívül az RS 232-es soros vonalon keresztül programozza a MicroProfiler-t.

Ezen a rendszeren már végeztek nyúlásvezérléssel vizsgálatokat, amelynél az alakváltozási amplitúdót egy  $R = -1$  aszimmetria tényezőjű szinuszos függvényvel vezérelték. Ezekhez a vizsgálatokhoz hengeres próbatesteket használtak (2.a. ábra). Az emelt hőmérsékleteken végzett vizsgálatoknál a nyúlási amplitúdó növekedésével együtt növekszik a hengeres próbatest instabilitása a kihajlással szemben. Ezért célszerűen a törésos kialakítású próbatest vizsgálatára (2.b. ábra) tettük alkalmassá a vizsgáló rendszert, ahol a próbatest legkisebb átmérőjén mért átmérőváltozás a vezérelt változó. Ehhez néhány szoftveres és hardveres változtatást hajtottunk végre az eredeti MTS rendszeren.

\* Miskolci Egyetem, mechanikai technológiai tanszék



2. ábra. A kisciklusú fárasztóvizsgálatoknál használatos próbatestek

Mielőtt megindítottuk volna az említett kutatási témához tartozó vizsgálatosorozatot, vizsgáltam a rendszert, hogy megfelel-e a kisciklusú fárasztóvizsgálatoknál elvárt követelményeknek. Ennek megállapításához a következő kérdésekre kerestem a választ:

1. A vizsgáló rendszer mennyire tartja az előre beállított átmérőirányú alakváltozási amplitúdót ( $\epsilon_d$ ) a vizsgálat teljes időtartama alatt?
2. Megfelel-e az alakváltozási amplitúdó relatív hibája a szabványban előírt értéknek?
3. Hogy viszonyul az átmérőre történő vezérlés, a nyúlásvezérlés megbízhatóságához?
4. Milyen mérés-technikai tényezők befolyásolják az alakváltozási amplitúdó szabályozás pontosságát?
5. Van-e hatása az alakváltozási amplitúdó nagyságának a pontosságra, és ha igen, akkor hogyan befolyásolja azt?

## Vizsgálati körülmények

A vizsgálatokat a 12H1MF anyagminőségű és a 2.b. ábrán látható törésos próbatesteken végeztem azok töréséig. A törési kritérium a húzó oldali terhelés 25%-os csökkenése volt. A vizsgálatokat átmérővezérléssel,  $R = -1$  aszimmetria tényezőjű szinuszzel végeztem két szinten, olyan tapasztalati, radiális irányú nyúlás értékekkel ( $\epsilon_{d1}$ ,  $\epsilon_{d2}$ ), hogy az axiális irányú nyúlások ( $\epsilon_{t1}$ ,  $\epsilon_{t2}$ ) közelítőleg  $\pm 0.5\%$  és  $\pm 1\%$  legyenek. Mindkét esetben 4-4 próbatestet fárasztottam el. A vizsgálat során, minden tizedik ciklusban a mért maximális és minimális radiális nyúlásértéket, valamint a hozzájuk tartozó erő értékeket a számítógép segítségével lemezzre tároltam a későbbi kiértékelés céljából. Ezenkívül tároltam a berendezés által mért rugalmassági modulusokat (E) és a próbatestek legkisebb átmérőjét.

Mint ahogy hosszirányú, axiális nyúlásvezérlés esetén már végeztek megbízhatósági vizsgálatokat [2], ezért az összehasonlítás miatt célszerűnek tartottam a mért  $\epsilon_{dmax}$ ,  $\epsilon_{dmin}$  értékeket átalakítani  $\epsilon_{tmax}$ ,  $\epsilon_{tmin}$  axiális irányú nyúlás értékekre a szabványban található összefüggés segítségével – amely a keresztirányú és hosszirányú nyúlás között teremt kapcsolatot a képlekeny alakváltozás tartományában:

$$\epsilon_t = \frac{\sigma}{E} \cdot (1 - 2 \cdot \nu_e) - 2 \cdot \epsilon_d \quad (1)$$

ahol:  $\sigma$  – feszültség,  
 $E$  – rugalmassági modulus,  
 $\nu_e$  – Poisson-tényező, amelynek értéke 0.31.

Az  $\epsilon_t = \pm 0.5\%$  nyúlásamplitúdóval végzett vizsgálatnál az élettartam 2911-3445 ciklus között változott,  $\epsilon_t = \pm 1\%$ -nál pedig 580-873 volt. Így egy-egy vizsgálatnál elegendő számú adat áll rendelkezésemre a statisztikai kiértékeléshez, amelyet a számítógéppel végeztem.

## Kiértékelés

A kiértékelés menetét két, a 4–4 vizsgált próbatestből véletlenszerűen kiválasztott próbatest vizsgálati tapasztalatain keresztül részletesen ismertetem. Az egyiknél az axiális irányú alakváltozási amplitúdó  $\epsilon_{11} = \pm 1\%$ , a másiknál  $\epsilon_{12} = \pm 0.5\%$ . Ahhoz hogy ilyen nyúlásértékeket kapjunk, átmérőre történő vizsgálat esetén  $\epsilon_{d1} = \pm 0.48\%$  és  $\epsilon_{d2} = \pm 0.22\%$  radiális irányú nyúlást kell megadni. A várható értékeket, valamint a szórást az 1. táblázat foglalja össze, mindkét vizsgálat esetén.

1. táblázat

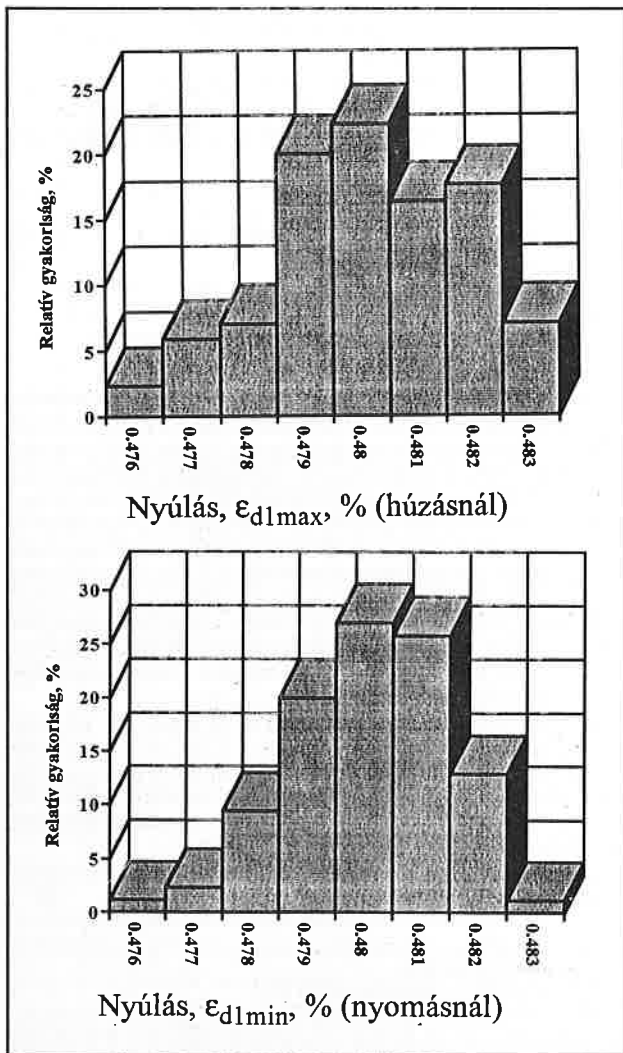
Alakváltozási amplitúdó ( $\epsilon_d$ )	Várható érték		Szórás	
	$\bar{\epsilon}_{dmax}$	$\bar{\epsilon}_{dmin}$	$S_{max}$	$S_{min}$
$\pm 0,48$	0,4802	-0,4801	0,0018	0,0013
$\pm 0,22$	0,2195	-0,2201	0,0008	0,0007

A maximális és minimális várható érték, valamint a szórás kiszámolásánál feltételeztem, hogy a mért értékek normális eloszlást követnek. Ennek ellenőrzésére elvégeztem egy normalitás vizsgálatot mind a két terhelési szinten kapott pontsorozatra a maximális és minimális értékekre. A használt módszer a  $\chi^2$  – próba volt. Ehhez először a pontsorozat maximális és minimális értéke közötti intervallumot felosztottam 8 egyenlő nagyságú értékzöldre, kiszámoltam a relatív gyakoriságot, és a relatív hibagyakoriságot. Majd felrajzoltam a sűrűség-histogramot és a relatív hibagyakoriságok histogramját (3., 4. ábra).

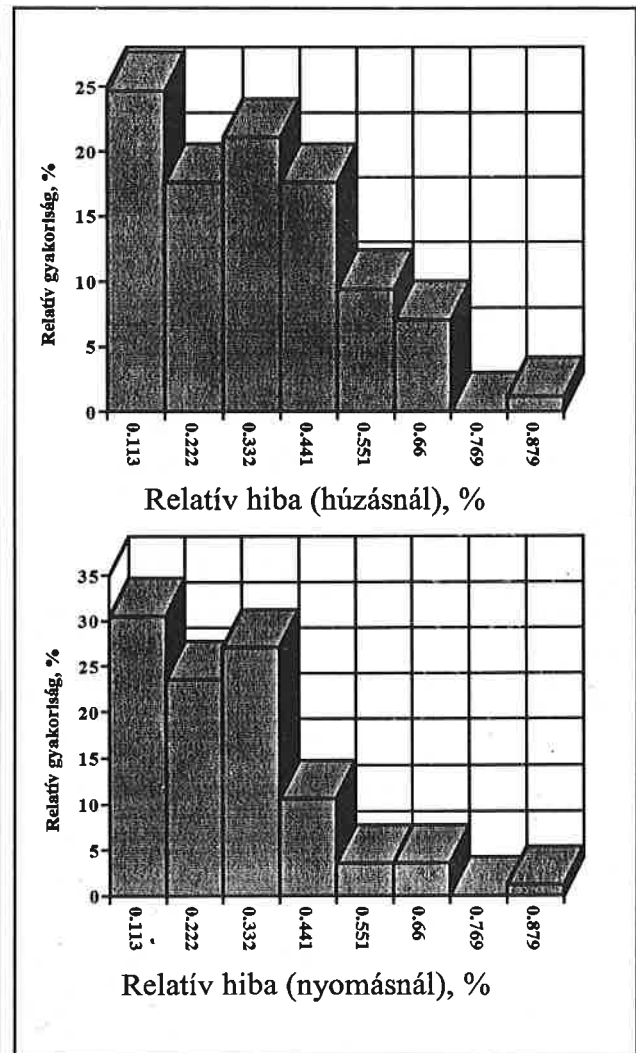
Kiszámoltam a normális eloszlás függvényének segítségével a valószínűség, valamint  $\chi^2$  értékeket. Ezeket  $\epsilon_d = \pm 0,48\%$ -os nyúlási amplitúdóval végzett vizsgálat esetén a 2. táblázat tartalmazza. A maximális és minimális értékek normalitásvizsgálatát a műszaki gyakorlatban elfogadott 95%-os szignifikancia szint mellett végeztem. A kapott  $\chi^2$  értékek mindkét esetben a  $\chi_{krit}^2 (95\%) = 11.1$  [1] kritikus érték alatt maradtak.

2.a. táblázat  
Maximális alakváltozási amplitúdónál számolt értékek

Sorszám	Értékközök [%]	Gyakoriságok $v_i$	Valószínűség ( $P_i$ )	$N \cdot P_i$	$\frac{\chi^2}{(v_i - N \cdot P_i)^2 / N \cdot P_i}$
1	0.475–0.476	12	0.0359	12.22	0.004
2	0.476–0.477	46	0.1126	38.27	1.561
3	0.477–0.478	70	0.2465	83.82	2.277
4	0.478–0.479	108	0.2934	99.76	0.681
5	0.479–0.480	72	0.2058	69.96	0.059
6	0.480–0.481	22	0.0834	28.97	1.430
7	0.481–0.482	9	0.0195	6.64	0.842
8	0.482–0.483	1	0.0026	0.89	0.014
$\Sigma$		340	1.0000	340	6.868

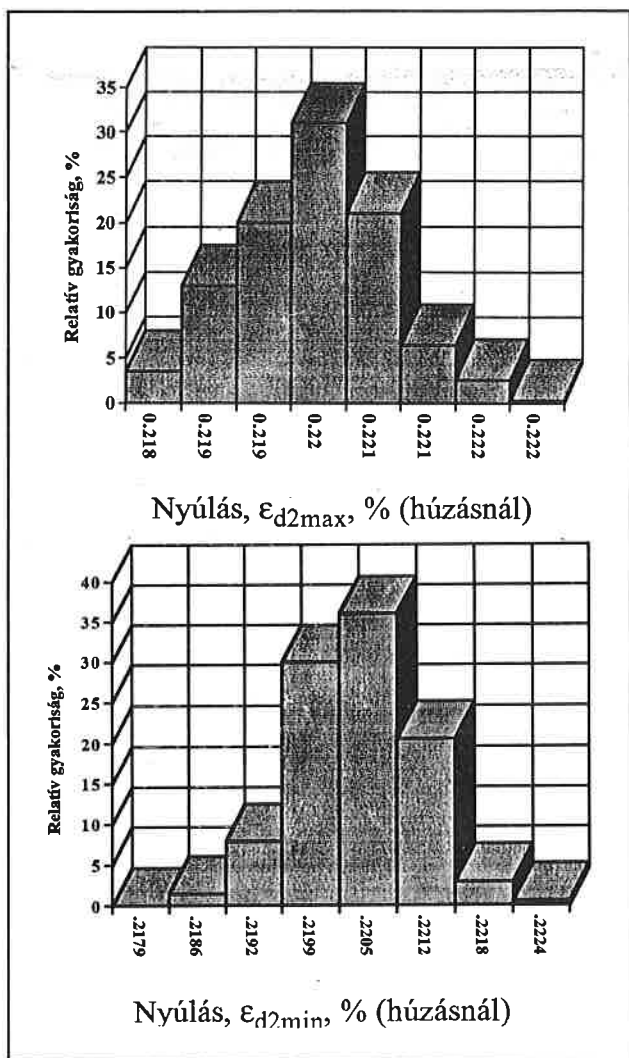


3.a. ábra. Sűrűség-histogramok  $\epsilon_{d1} = \pm 0.48\%$ -nál

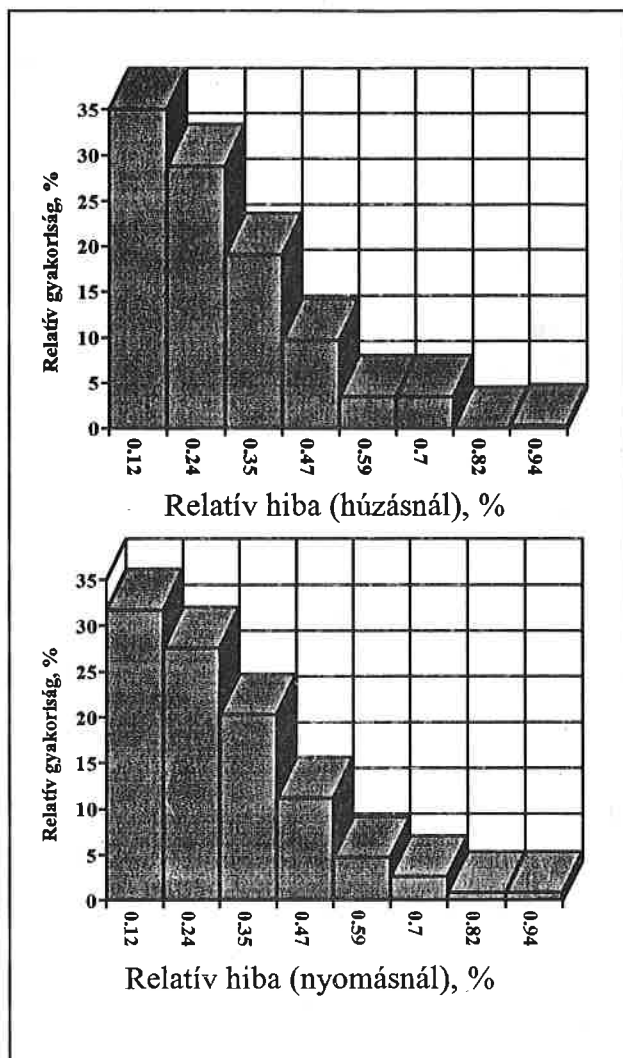


3.b. ábra. Relatív hibagyakoriságok histogramja  $\epsilon_{d1} = \pm 0.48\%$ -nál





4.a. ábra. Sűrűség-histogramok  $\epsilon_{d2} = \pm 0.22\%$ -nál.



4.b. ábra. Relatív hibagyakoriság-histogramja  $\epsilon_{d2} = \pm 0.22\%$ -nál.

2.b. táblázat  
Minimális alakváltozási amplitúdónál számolt értékek

Sorszám	Értékközök [%]	Gyakoriságok $v_i$	Valószínűség ( $P_i$ )	$N \cdot P_i$	$\frac{\chi^2}{(v_i - N \cdot P_i)^2 / N \cdot P_i}$
1	0.475–0.476	0	0.0005	0.16	0.156
2	0.476–0.477	5	0.0097	3.28	0.900
3	0.477–0.478	27	0.0843	28.65	0.095
4	0.478–0.479	102	0.2928	99.56	0.060
5	0.479–0.480	124	0.3778	128.4	0.153
6	0.480–0.481	70	0.1914	65.05	0.372
7	0.481–0.482	10	0.0404	13.72	1.009
8	0.482–0.483	2	0.0032	1.09	0.768
$\Sigma$		340	1.0000	340	3.514

Az átmérő irányú alakváltozási amplitúdó értékeket ( $\epsilon_{dij}$ ) transzformáltam az (1) összefüggés segítségével axiális irányú nyúlásra ( $\epsilon_{ij}$ ), kiszámoltam a várható értékeket ( $\epsilon_{imax}$ ,  $\epsilon_{imin}$ ) és a szórásokat ( $s_{imax}$ ,  $s_{imin}$ ), feltételezve, hogy ezek az értékek is normális eloszlást követnek. Erről szintén normalitásvizsgálattal győződtem meg. Eredményül azt kaptam, hogy ezek az értékek is megfelelnek a normális eloszlás feltételeinek, bár

szórások nagyobb. Az elvégzett vizsgálatok eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

Vizsgálati eredmények

3. táblázat

Sorsz.	$\epsilon_d$ (%)	$\epsilon_{dmax}$ (%)	$\epsilon_{dmin}$ (%)	$s_{dmax}$ (%)	$s_{dmin}$ (%)	$\sim \epsilon_1$ (%)	$\epsilon_{imax}$ (%)	$\epsilon_{imin}$ (%)	$s_{imax}$ (%)	$s_{imin}$ (%)
1	0.48	0.4802	-0.4801	0.0019	0.0013	1.0	1.0253	-1.0273	0.0043	0.0036
2	0.48	0.4804	-0.4803	0.0016	0.0009	1.0	1.0281	-1.0296	0.0035	0.0024
3	0.48	0.4799	-0.4799	0.0027	0.0012	1.0	1.0263	-1.0283	0.0053	0.0031
4	0.48	0.4798	-0.4799	0.0014	0.0009	1.0	1.0307	-1.0329	0.0025	0.0018
5	0.22	0.2195	-0.2201	0.0008	0.0006	0.5	0.4983	-0.4989	0.0019	0.0015
6	0.22	0.2199	-0.2198	0.0009	0.0011	0.5	0.5007	-0.5018	0.0022	0.0023
7	0.22	0.2197	-0.2200	0.0014	0.0070	0.5	0.5011	-0.5027	0.0029	0.0015
8	0.22	0.2199	-0.2201	0.0015	0.0006	0.5	0.4948	-0.4960	0.0032	0.0014

## Eredmények értékelése

Az elvégzett vizsgálatok eredményeinek kiértékelése, valamint a vizsgálat végrehajtása közben nyert tapasztalatok alapján a következő megállapítások tehetőek:

1. A rendszer igen nagy pontossággal és kis szórással tartja az előre beállított alakváltozási amplitúdó értéket a vizsgálat egész időtartama alatt.

- A mért értékek maximális relatív hibája (1%) megfelel a szabványban előírt feltételeknek, amely maximum 2%-ot ír elő, viszont nagyobb, mint nyúlásvezérlés esetén (0.5%).
- A mért értékek normál eloszlást követnek mind a húzó, mind a nyomó oldalon, a műszaki gyakorlatban elfogadott 95%-os szignifikancia szint mellett.
- Az alakváltozási amplitúdó minimális értékét (nyomás) nagyobb pontossággal tartja a rendszer, mint a maximális (húzás).
- Nagyobb alakváltozási amplitúdó esetén magasabb a mért értékek szórása, mint a kisebbekben.
- A radiális nyúlásértékekről az (1) összefüggéssel átszámolt axiális irányú nyúlásértékekre a következő megállapítások tehetők:
  - Igaz rá az 1., 2., 3., 4., 5. pont.
  - A radiális értékekhez képest nagyobb a szórása. Ennek oka a mért terhelési értékek változása, valamint mérésük pontossága.
- Az alakváltozási amplitúdó pontos szabályozása függ néhány vizsgálattechnikai szemponttól. Ezekről a következő megállapításokat tehetjük.

- Ügyelni kell a próbatest befogásánál az egytengelyűsége.
- Az átmérőmérő a próbatest légkisebb átmérőjére kerüljön.
- A rendszer zárt szabályzó körének körerősítését a vizsgálati terhelés és frekvencia függvényében az optimálisra kell állítani.
- A vizsgálatok elindítása előtt gondosan ügyelni kell a mért erő nullázására, hiszen annak rossz beállítása esetén rossz  $\epsilon_1$  értékeket számolunk.

## Irodalom

- Vincy, I.: **Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal**  
Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1975
- Nagy Gy.: **A nyúlásmérés reprodukálhatósága kisciklusú fázastólvizsgálatnál**  
Micro CAD konferencia, Miskolc, 1993
- MSZ 4363: **Kisciklusú fázastólvizsgálat**

942 041 137

## MTS Users Club ülése és TestStar bemutató Miskolcon

Az MTS cég és magyarországi képviselője az MTA MMSZ a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén az MTS Oktatási Központban rendezte meg a magyarországi MTS felhasználók szokásos évi találkozóját. A találkozó fő témája az MTS cég új gyártmányainak az ismertetése, valamint a TestStar 2.0 rendszer bemutatója volt. A délelőtti ismertetőt D. W. Haase úr, a cég kereskedelmi vezetője, a délutáni bemutatót E. Bakker úr, tanácsadó mérnök tartotta.

Az előző évfolyam első számában már röviden ismertettem a TestStar rendszert. Az új 2.0-ás változat ez év elején készült el és a cég most kezdi meg a terjesztését, a TestStar rendszerrel már rendelkező, vagy a most vásárolni szándékozó ügyfelek között.

A TestStar 2.0 megtartotta az eredeti rendszer nagyfokú rugalmasságát, a hibákat kijavították, az előző cikkben kifogásolt kicsit bonyolult kezelést leegyszerűsítették és új funkciókkal kibővítették. A TestStar jól használja ki a multitask-os OS/2 2.1 operációs rendszer előnyeit, egyszerre lehet a vizsgálatot a berendezésen végezni és egy másik vizsgálatot kiértékelni. Így jelentős idő takarítható meg.

A digitális technika révén bővültek a vezérlési módok. Nemcsak a hagyományos erő-út, nyúlás vezérlés, hanem valódi feszültség (nyomóvizsgálat), képlékeny nyúlásamplitúdó (kisciklusú fázastás) is rendelkezésre áll, mint vezérlési mód. Egyedi tulajdonság, hogy a felhasználó egy saját bementi szabályozási függvényt is definiálhat. E mellett lehetőség van még a különböző megszakítások (hidraulika, rendszer interlock) beállítására. Gyakorlatilag egy vizsgálatot bárhol meg tudunk állítani, és azonnal ebből a helyzetből el tudjuk indítani. A felhasználó saját vizsgálatait is a sokféle függvény közül néhányat kiválaszthat és azt a Windows-os felületen megismert nyomógombbal helyettesítheti. Így tovább egyszerűsödik a működtetés. Bővült a próbatest befogást, beállítást segítő „Load Unit Contol” panel, valamint a mértjelek megjelenítésére szolgáló adat display és digitális oszcilloszkóp panel is.

A TestStar bemutatásánál megemlítettem, hogy a rendszer alkalmazhatóságát jelenösen bővítene, a kezelést egyszerűsítene, ha a leggyakoribb szabványos vizsgálatoknak megfelelő alkalmazói szoftverek elkészülnek. Ezek a TestStar 2.0-hoz már gyakorlatilag rendelkezésre állnak. A továbbiakban tekintsük át, hogy az egyes szakterületeken milyen szoftvereket használhatunk.

### Általános alkalmazások

#### — 790.10 TestWare SX

A rendszer legrugalmasabb, többcélú programja, amelynek segítségével a legkülönbözőbb vizsgálati programokat (statikus, ismétlődő, összetett, egyszerű) állíthatunk elő. Az adatgyűjtés a mért adatok tárolása a követelményeknek megfelelően változtatható, ezek pl. egy táblázatkezelő (Excel), vagy más kiértékelő program (LabView) segítségével tovább feldolgozhatók.

#### — 790.14 Advanced Function Generator

A rendszerben meglevő normál digitális függvény-generátor mellett ez a bonyolult, összetett jelalakok előállítására szolgál.

#### — 790.16 High Speed Data Acquisition

Speciális alkalmazásokhoz az eredeti 5 kHz mintavételi frekvencia 50 kHz-re növelhető. Ehhez a megfelelő hardver elemek cseréje is szükséges.

#### — 790.90 TestWorks

A TestStar monoton, statikus (húzó, nyomó, hajlító, nyíró) vizsgálatokra alkalmas programja. Különösen jól használható minőségellenőrző laboratóriumok-

ban, sorozatvizsgálatok esetén. Egy vizsgálatosorozatot néhány perces előkészítés után, szinte teljesen automatikusan elvégezhetünk. A program tartalmaz statisztikai, adatbáziskezelési, jegyzőkönyvtervezési modulokat is.

#### — 790.20 High Cycle és Low Cycle Fatigue program

A fázastólvizsgálatok elvégzését támogató program nagyciklusú és kisciklusú fázastólvizsgálat alprogrammal. Ennek működéséről a bemutató résztvevői, valamint a Fémek Mechanikai Fáradása című konferencia hazai és külföldi résztvevői személyesen is meggyőződhetnek. Ami hiányzik ebből a programból a jelenlegi szinuszos és háromszög terhelési függvények mellett trapéz jelalak előállíthatósága. Ez a rutin is hamarosan elkészül.

#### — 790.40 Fatigue Crack Growth program

Az ASTM E 647-91 szerint elkészített program alkalmas a fáradásos repedés-terjedés vizsgálatára.

#### — 790.50 Fracture Toughness program

A programmal meghatározható törésmechanikai jellemzők: a törési szívósság  $K_{Ic}$  (ASTM 399) és a J-integrál (ASTM 813). Jelenleg készült az a modul, amelynek segítségével nemcsak az ún. compliance módszerrel, hanem egyen-áramú potenciál drop mérésrel is mérhetjük a repedés változását.

### A műanyag vizsgálatához készült szoftverek

#### — 790.31 Dynamic Characterization

Műanyagok, gumik dinamikus viszközelasztikus tulajdonságainak, és

#### — 790.33 Static Deflection

ugyanezen anyagok statikus szilárdságának a meghatározására.

#### — 790.37 Resonance

A műanyag elemek, alkatrészek sajátfrekvenciájának a megállapítására.

#### — 790.38 Elastomer Tearing Energy

A repedésterjedés jellemzésére műanyagokban.

### Kőzetmechanikai vizsgálati programok

#### — 790.61 Uniaxial Rock Mechanics program

Az ASTM D2938, D3148, D2936, D3967 szabványok szerint egytengelyű nyomó és szakítóvizsgálatok elvégzéséhez.

#### — 790.62 Triaxial Rock Mechanics program

Az ASTM D2664 és D4406 szabványok szerint többlettengelyű nyomóvizsgálatok elvégzéséhez.

#### — 790.63 Fracture Toughness for Rock program

Közetek törésmechanikai vizsgálatához.

Ha még mindig van olyan vizsgálati igény, ami a felsorolt vizsgálatokkal nem végezhető el, akkor a TestStar 32 bites módban C-nyelven, 16 bites módban C- és BASIC nyelven egyedileg is programozható.

A leírtakból látszik, hogy a cég jelentősen finomított az eredeti terméken, ami így „felhasználóbarátabbá” vált. A fejlesztés nem fejeződött be, a cég minneapolis-i központjában újabb termékek készülnek speciális alkalmazások számára, valamint készül egy egyszerűsített, kedvezőbb árú változat is.

Major Zoltán  
942 044 026