

# ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

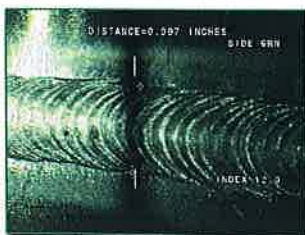
MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

**Everest-VIT**  
CREATING WHAT'S NEXT IN REMOTE IMAGING.

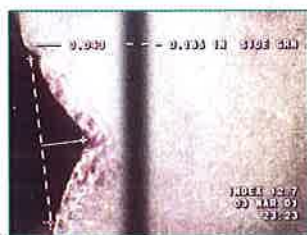


12. ÉVFOLYAM  
3. SZÁM  
2002.

## Hiteles mérések!



árnyékszondás



sztereoszondás



mérőkörös

## Videoendoszkópok



**VideoProb® XL PRO™ család**



**LongSteer® videoprobe**  
Működési hossz: 30 m-ig!



**BTX QuickLook™**  
Működési hossz: 50 m-ig!



**Recon™ system**  
• cserélhető kamera (Ø25 és Ø45 mm)  
• működési hossz: 30, 50 és 60 m



**TESTOR Kft.**

Budapest XII., Meredek u. 33. · 1538 Budapest, Pf. 528. · Tel.: 319-1-319 · Fax: 319-2284  
www.testor.hu · info@testor.hu

## ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

### Szerkesztőség:

a kiadó **TESTOR Kft.** címén  
Budapest XII., Meredek u. 33.  
**1538 Budapest, Pf. 528.**  
Telefon: 319-4782  
Telefax: 319-2284  
E-mail: info@testor.hu  
Internet: www.testor.hu

### Felelős szerkesztő:

**dr. Lehofer Kornél**

### A szerkesztőbizottság tagjai:

**dr. Borbás Lajos**  
**Fücsök Ferenc**  
**dr. Havas István**  
**dr. Koczor Zoltán**  
**dr. Pólos László**  
**dr. Tóth László**

### Kiadja:

**TESTOR Kft.**

### Felelős kiadó:

**Szappanos György**  
ügyvezető igazgató

Előfizetési díj a 2002. évre  
(1–4. szám): 2.240,- Ft  
Előfizethető közvetlenül a kiadónál  
a mellékelt űrlap felhasználásával.

Hirdetések felvétele és kéziratok  
leadása a TESTOR Kft. címén.

### Nyomda:

**KÁNAI NYOMDA KFT.**  
1225 Budapest,  
Kolozsvári utca 67.  
Felelős vezető: Kánai József

### Előkészítés:

**PC-Print Bt.**  
Tel.: 205-6399, 204-3688  
E-mail: pcprint@chello.hu

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

ISSN 1215-8410

## A korszerű felületvizsgálat szerepe

Szerkezeteink idő előtti tönkremenetelében jelentős tényező a felületekre ható mechanikai és vegyi igénybevételek okozta károsodások: berepedések, kopások, erózió és korrózió. Ezeknek számos megjelenési formája és mechanizmusa napjainkban mind jobban ismert. Így helyes tervezéssel, anyagválasztással, gondos kivitelezéssel és az időszakos állapotellenőrzésre alapozott karbantartással szerkezeteink biztonságos működéseként élettartama növelhető.

Mindezért időszerű volt az idej, sorrendben a XII. roncsolásmentes anyagvizsgáló szeminárium (amelyet a Gépipari Tudományos Egyesület illetékes szakosztályai szerveztek Budapesten május 7–8-án) témaválasztása, amelyre a rendezvény korrózió és anyagvizsgálat alcíme is utalt.

A szeminárium témaköréhez kapcsolható a vizuális vizsgálattechnikai ankét is, amelyet lapunk szerkesztőbizottsága és kiadója, a paksi atomerőmű anyagvizsgálóival együttműködve szervezett Pakson az erőmű Látogató Központjában augusztus 6-án.

E két rendezvényen elhangzottakból – köszönet érte az előadókknak – szerkesztettük nagyrészt ezt a lapszámunkat. Az RmV-helyzetkép, az Állapotellenőrzés, a Vizsgálati módszerek és a Műszeres analitika rovatainkban ismertettük: a felületellenőrzés korszerű, videokamerás készülékeit és a velük szerzett vizsgálati tapasztalatokat a korróziós-eróziós károsodások hatékony kimutatásában; a felületi rétegek Glimm-kisüléssel optikai spektrometriai módszerét; a beépítésre szánt szerkezeti acél feszültségkorrózió iránti hajlamának akusztikus emissziós vizsgálattal kiegészített változatát; a digitális radiográfia módszereit és az alkalmazásuk nyújtotta új lehetőséget a korróziós károsodás feltérképezésében; a korrózió okainak feltárását segítő vizsgálati tapasztalatokat és azt az internetes központi adatbázist, amelyet a miskolci BayLogi intézet munkatársai fejlesztettek ki, és hálózatba szervezetteren működtetik annak érdekében, hogy a közkinccsé tett nemzetközi és hazai tapasztalatok hatékonyan segítsék az állapotellenőrzést és az erre alapozott karbantartást végzők munkáját.

Reméljük érdeklődve forgatják majd lapszámunkat, és azok is, akik nem tudtak részt venni a rendezvényeken, de a tapasztalatok hasznosításában érdekeltek, a között címeiken együttműködési kapcsolatot keresnek kollégáikkal.

*Lehofer Kornél*  
felelős szerkesztő

**RmV-HELYZETKÉP – NDT-REVIEW – ZfP-RUNDSCHAU***LEHOFER Kornél (szerk.):*

Vizuális vizsgálattechnikai ankét

Conference on visual test-technique

Enquete über visuelle Prüftechnik ..... 71

**ÁLLAPOTELLENŐRZÉS – CONDITION CONTROLL – ZUSTANDSKONTROLLE***MAJOROS András, RÓZSAVÖLGYI Zsolt:*

Kazáncsövek vízdali korróziójának vizsgálati tapasztalatai

Testing experiences about water side corrosion of the boiler's tubes

Untersuchungserfahrungen über wasserseitlicher Korrosion der Kesselrohren ..... 74

*KLEMENTIS Ottó, TÓTH László:*

Korrózió az interneten: adatbázisok és tématerületek

Corrosion on the Internet: data base and topic areas

Korrosion am Internet: Datenbasis und Themabereiche ..... 77

*FÜCSÖK Ferenc, ROZSNYIK Zoltán:*

A digitális ipari radiográfia és alkalmazása a korrózió vizsgálatához

Digital industrial radiography and its using for testing of the corrosion

Industrielle Digitalradiographie und seine Benutzung für Prüfung der Korrosion ..... 79

**KÖNYVISMERTETÉS – BOOK REVIEW – BUCHBESPRECHUNG ..... 78****VIZSGÁLATI MÓDSZEREK – TESTING METHODS – PRÜFMETHODEN***SZÚCS Pál:*

Feszültségkorrózió kimutatása akusztikus emissziós vizsgálattal

Showing of stress corrosion by acoustic emission testing

Nachweisung der Spannungsrißkorrosion mit Schallemissionsprüfung ..... 85

*SZÁVA János, ŞAMOTĂ Iosif, DANI Péter, NECULA Radu, BARNA Andrei:*

Elektrotenzométeres próbapad a törött, hosszú csontok viszonylag nagy elmozdulásának mérésére

Electrotensometric test-bench for measuring of relatively large move of fractured long bones

Elektrotensometrische Prüfbank für Messung der verhältnismäßig große Verschiebung von gebrochen lang Beine ..... 87

**SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN**

Új, érvényes nemzeti szabványok – New valid national standards – Neue gültige Nationalnormen ..... 86

**MŰSZERES ANALITIKA – ANALYSIS WITH INSTRUMENT – INSTRUMENTELLE ANALYSIS***PALLÓSI József:*

Felület- és összetétel-vizsgálat Glimm-kisüléssel optikai emissziós spektrometriával

Surface and composition analysis by means of glow discharge optical emission spectrometry

Oberfläche- und Zusammensetzungsanalysis mit optischer Glimm-Entladungsspektrometrie ..... 89

**ANYAGOK – MATERIALS – MATERIALEN***TÓTH Krisztián:*

Fémportöltetű gyanták vizsgálata

Investigation of metal powder containing resins

Prüfung der Harze gefüllte mit Metallpulver ..... 92

*ZSIGMOND Balázs:*

Műanyagok kisenergiájú elektronkezelése

Low-energy electron-beam curing of plastics

Elektroneinstrahlung der Kunststoffen mit kleiner Energie ..... 94

**INTERNETFIGYELŐ – INTERNET MONITOR – INTERNET RUNDSCHAU ..... 99**

† Dr. ENDRE Árpád (1901–2002) ..... 99

**ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER ..... 99/100**

## Vizuális vizsgálattechnikai ankét

A korszerű vizuális vizsgálattechnika alkalmazása az állapotellenőrzésben ma már általános gyakorlat. Ezért is kísérte érdeklődés (mintegy 50 fő részvételével) a vizsgálati tapasztalatokat és a technikai újdonságokat ismertető és bemutató ankétot, melyet ezúttal is a Testor Kft. és a lapunk szerkesztősége szervezett a Paksi Atomerőmű Rt.-vel együttműködve Pakson az erőmű Látogató Központjában augusztus 6-án.

A vizsgálati tapasztalatokat összegző előadásokat – köszönet érte az előadókna – és az Everest VIT cég vizsgálattechnikai újdonságait szerkesztett formában ismertetjük.

### Vizsgálati tapasztalatok

#### Videoendoszkóp atomerőművi alkalmazása

Szilágyi István, Dóczy Miklós (PA. Rt. Anyagvizsgáló Osztály)

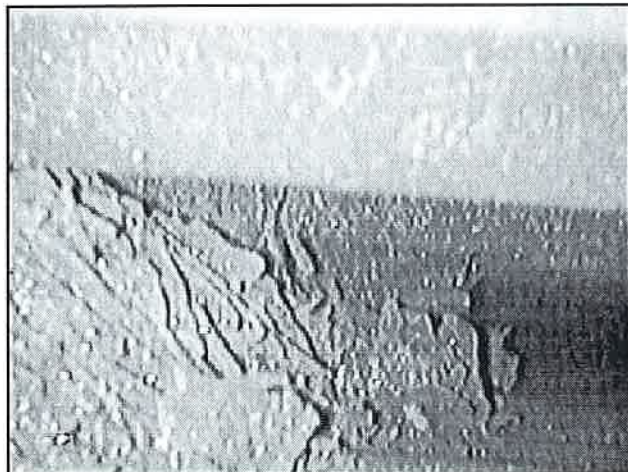
A videoendoszkópos vizsgálattechnikát 1992 óta alkalmazzák az atomerőműben – mondta Szilágyi István –, mégpedig: a gőzfejlesztő tápvíz-kollektorainak korróziós, eróziós károsodásának vizsgálatára; a főberendezések menetes fészkeinek ellenőrzésére (mentesérülések, menethiányok); a csővezetékek belső felületei állapotának vizsgálatára, a beszakadt armatúraelemek felkutatására; az armatúraház és a visszacsapó szelepek állapotellenőrzésére; a kaloriferek vizsgálatára, a légvezetékek ellenőrzésére, és általában a tagolt szerkezetek nehezen hozzáférhető helyeinek ellenőrzésére, különösen ott, ahol a dozimetriai viszonyok miatt csak korlátozott ideig lehet tartózkodni.

A vizsgálattechnikával szemben támasztott követelmények:

- A képet a vizsgálat helyéről meghatározott távolságra kell eljuttatni (gőzfejlesztő esetében kb. 12 m-re, hűtőkalorifer esetén 6 m-re).
- A kamera és a kábel átmérője megfelelően kicsi legyen.
- Flexibilitás, mivel a vizsgálandó részek általában nehezen hozzáférhetők.
- A vizsgálandó terület megfelelő megvilágítása.
- A kamerát távolról lehessen mozgatni.
- A vizsgálórendszernek valamelyest sugárállóknak, illetve a vizsgálófejnek és kábelnek vízállónak is kell lennie.
- A vizsgált terület állapotáról felvett képet megfelelő minőségben rögzíteni kell.

Mindezeket a követelményeket az Everest LongSteer videoendoszkóp (Ø 10 mm; 12 m) kielégíti.

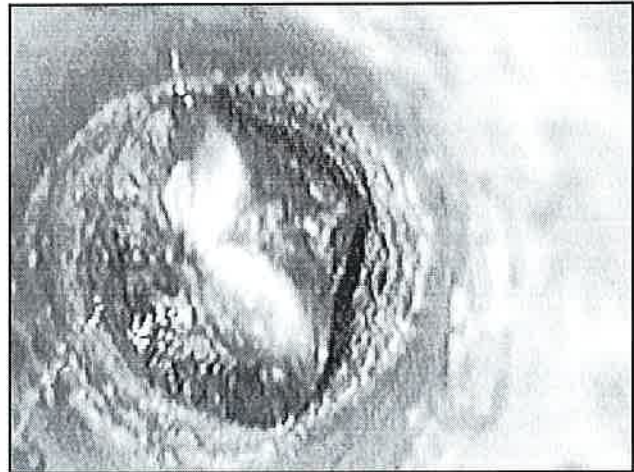
A LongSteer endoszkópot sikeresen alkalmazzák a gőzfejlesztő állapotellenőrzéséhez. Évek óta gondot okozott a tápvíz-kollektor fűvókáinak gyakori törése. Ennek oka, a vizuális vizsgálat szerint, a fűvókák körüli kedvezőtlen áramlás eredményezte erőteljes erózió volt. A vizsgálat tanúsága alapján módosították a tápvíz-kollektor konstruk-



1. ábra

cióját. A gőzfejlesztő belsejének időszakonkénti vizuális vizsgálata azért is fontos, hogy felderítsék a hűtőadó csövek közzé – a változó hőtágulás miatt – lehulló magnetit lerakódásokat (1. ábra). Hasonló lerakódások képződnek a leiszapoló gyűjtővezetékben is. A dugulások megelőzése érdekében a karbantartók elvégzik a szükséges tisztítást.

A kaloriferek vékony falú rézcsöveinek belső felületein is eróziós és korróziós károsodásokat észleltek, illetve helyenként dugulásokat (2. ábra).



2. ábra

A fotókkal gazdagon illusztrált előadást a tápvíz-kollektorok vizsgálatáról közvetített videofelvétel zárta, amely alátámasztotta az előadó összefoglaló megállapítását: A Welch Allyn és az Everest videoendoszkóppal magas színvonalú vizsgálatok végezhetők, ugyanakkor sugárállóságuk is – az 5-20 mSv/h dózisteljesítményű környezetben – jónak mondható.

#### Reaktorok és készülékek karbantartási tapasztalatai

Az atomerőmű reaktor karbantartó osztályának havária csoportja – mutatott rá előadásában Bódis Árpád – egy 1996-os idegen test okozta üzemzavar elhárításához külföldről kapott eredményes vizuális vizsgálati segítség nyomán készült fel a – karbantartás hatékonyságát segítő – különféle videokamerás vizsgálati technikák alkalmazására. A karbantartás időtartamának ésszerű csökkentése gazdasági érdek is, mivel a termelés kiesés napi 60 millió forint veszteséget okoz.

Mondandóját a 4-es blokk ez évi karbantartásakor felvett videofelvételekkel illusztrálta. Láthattuk, hogy a karbantartás megkezdése előtti vizuális vizsgálat gyors áttekintést ad – a bősor vízzel feltöltött – reaktor üzemanyag zónájának, a reaktortartály falának korróziós állapotáról (tapadó vagy fellazult korróziós termékek) és/vagy a tisztítást igénylő felületekről, illetve az utólagos vizsgálat a tisztítás eredményességéről. A fő keringtető szivattyú és a hozzávezető, 100 mm belső átmérőjű fővezeték állapotáról meggyőző felvételeket közvetített a csőjáró, 55°-os lejtőn is felkapaszkodó, videokamerás robot. Ugyancsak a vizuális vizsgálat eredményességét igazolták a gőzfejlesztő szekunder oldali szénacél csöveiben a csőfalról levált magnetit lapocskák – felderítés híján idővel dugulást okozó – lerakódási helyeiről, illetve a kondenzátor szűrő Duna-vízzel hűtött szekunder oldali szennyeződéseiről közvetített felvételek. Az előadást a közelmúltban beszerzett, az idegen testek eltávolítására alkalmas Susi 270 „tengeralattjáró” kamerája által, a víz alatti sikeres próbaüzeméről közvetített videofelvétel zárta.

#### Vizuális vizsgálatok egy vegyipari nagyüzemben

Szűtör István, a Tiszai Vegyi Kombinát Rt. biztonságtechnikai műszaki felügyeletének vezetője előljáróban röviden bemutatta az olefin, a

polietilén és a polipropilén gyáregységek felügyeletét ellátó szervezetet és vizsgálattechnikai felkészültségét.

A vizuális vizsgálatok legfontosabb „műszere” az emberi szem, amelynek az észlelés szempontjából kiváló tulajdonságai (fényérzékenység, felbontó képessége stb.) vannak, de a képet szemlélve – a geometriai és a megvilágítási viszonyoktól függően – optikai csalódás „áldozatai” is lehetünk. Ezért a vizuális vizsgálat objektivitása érdekében a vizsgálati technikát célszerűen kell megválasztani és szakszerű használatukat, nemkülönben a várható felületi elváltozások felismerhetőségét be kell gyakorolni. Ezt is szolgálja az üzemeikben eddig meghibásodott szerkezetekből kivágott darabok, illetve kisserelt alkatrészek és a hozzájuk rendelt, a hiba okát is feltárt vizsgálati eredmények gyűjteménye.

Vizsgálattechnikájuk a sokrétű vizuális vizsgálati feladataiknak megfelelő összetételű, mégpedig: az egyszerű kézi lupákat, tükröket és mérőeszközöket tartalmazó inspekciós készletek és a különböző megvilágító (kézi, fejre erősíthető, esetleg robbanás biztos kivitelű stb.) lámpák; a távoli, főleg a magasban lévő tárgyak (pl. kémények) szemrevételezéshez szükséges távcsövek és csillagászati teleszkóp; sztereo- és mérőmikroszkópok; analóg és digitális fényképezőgépek; készlet a lenyomatok és a replikák készítéséhez; boroszkópok, fiberszkópok és videoszkópok;

A vizsgálati tapasztalatokat összefoglaló előadásokból egyértelműen kitűnt, hogy a célszerűen megválasztott technikával elvégezhető vizuális vizsgálatok az állapotellenőrzési rendszer nélkülözhetetlen elemei és a hatékony karbantartást, végső fokon az üzemvitel biztonságát szolgálják.

## A vizuális vizsgálattechnika újdonságai

Az újdonságokat az Everest VIT (New Jersey, USA) cég közép-kelet-európai igazgatója: *Nermin Trobradovics* ismertette és mutatta be a hazai forgalmazó Testor Kft. munkatársainak közreműködésével. Az Everest VIT céget a korszerű videokészülékek és -endoszkópok fejlesztéséről és gyártásáról is ismert Welch Allyn nagyvállalat többségi tulajdonával alapították 1999 májusában. Termékeik értékesítésével Európában 26 cég foglalkozik. Termékeik széles választékát leggyakrabban a légi közlekedés gépparkjának, az erőművi és a feldolgozóipari (élelmiszer- és gyógyszeripari, olaj- és petrokémiai) berendezések állapotellenőrzéséhez, valamint a rendészeti (vám- és határőrségi, rendőri) célú ellenőrzésekhez használják.

Az Everest VIT kínálatában a következő vizuális vizsgálókészülékek találhatók:

- különböző méretű boroszkópok és fiberszkópok, amelyekhez különféle fényforrások és digitális képalkotó eszközök (digitális fényképezőgép, videokamera) – normál vagy választható tartozékként – csatlakoztatható;

- a VideoProb® XL PRO™ videoendoszkóp család;

- az ún. átlótható videokamerák (különböző  $d$  átmérővel és  $l$  működési hosszal), mint a LongSteer® VideoProb (d: 6,1 és 10 mm; l: 30 m), a BTX QuickLook™ (d: 29 mm; l: 50 m) és a legújabb RECON™ Digital Inspection System™ cserélhető (d: 25 és 45 mm) vizsgálatfejvel, működési hossza: 30, 50 és 60 m;

- a Rovver® őnjáró, videokamerás robot család a csővezetékek vizsgálatához.;

- a PTZ-videokamerák (pan-tilt-zoom – pántázó-billenő-zoom), mint a Ca-Zoom™ család és a QuickView™ a nagy belső terek (tartályok, aknák stb.) vizsgálatához.

- a MicroViper hordozható, digitális mikroszkóp, legnagyobb nagyítás: 1000x.

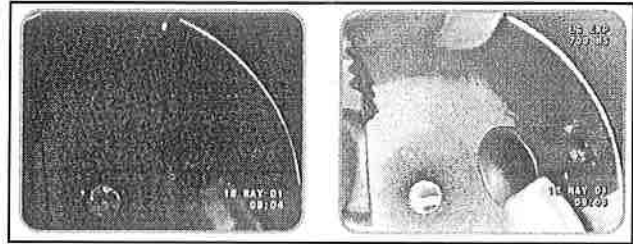
Mind ezek jellemző típusait működés közben is bemutatták az anketon (fényképek a címlapon és a borító belső oldalain láthatók), és a részletes műszaki adatokat tartalmazó prospektusokat a résztvevők megkapták.

Az előadó a továbbiakban a videoendoszkóppal foglalkozott részletesen. (A VideoProb XL fejlődéstörténetét olvassunk az Anyagvizsgálók Lapja 1999/2. és 4., illetve a 2001/2. számaiban nyomon követhetjük – a szerkesztő.)

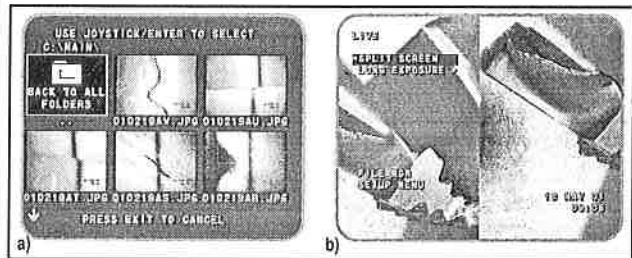
A **VideoProb® XL PRO™ videoendoszkóp család** továbbfejlesztett és korábban (2000 szeptemberében) már megismert és jól bevált

felépítése (1. a címlapon), kezelhetősége (egykezes) és a kiépítettség-től függően jelentősen kibővített funkciói nem változtak:

- **Hosszú idejű exponálás:** segítségével a nem kellően megvilágított zugokból is tiszta, éles képet kapunk (3. ábra).



3. ábra



4. ábra

- **Képfordítás:** amennyiben az oldalra néző csúcs adapterünk tükröképet lát (pl. szöveget), úgy azt ezzel a funkcióval olvashatóvá tehetjük.

- **Beépített menüvezérelt szoftver:** A látott képek rögzíthetők a készülék memóriájában (450 jpg file), vagy az integrált meghajtóval floppy disc-re. A tárolt képek előhívhatók, megjeleníthetők egyben vagy csoportban (4a. ábra). Hasznos funkció a **komparálás**, amivel a korábbi és az aktuális kép közvetlenül összehasonlítható az osztott képernyőn (4b. ábra).

- **Audio bemenet:** A felvett képek mellé szóbeli megjegyzést is fűzhetünk (hangfelvétel).

- **Home funkció** (alaphelyzetbe állítás): A szonda pozícióját egyenes helyzetbe hozza. Ezt a szonda kihúzása előtt mindig használni kell! De hasznos akkor is, ha vizsgálat közben „eltévedtünk”.

- **Szondahelyzet-rögzítő:** A szondát a beállított helyzetben rögzíti.

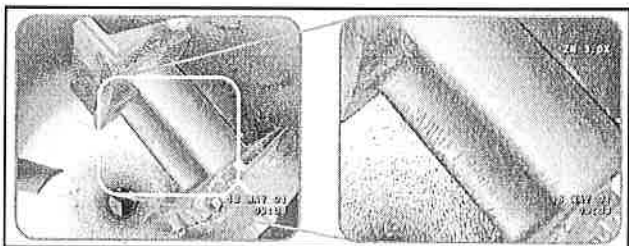
- **Kép-kimerevítés** (fagyasztás): A diagnosztikai szempontból érdekes képeket szükséges kimerevíteni a képernyőn elvégezhető műveletek, mint mentés, feliratozás, szóbeli megjegyzés, mérés stb. elvégzése céljából.

- **Szerszámok** (csipesz, kefe, mágnes, kampó, háromágú villa, horog) **csatlakoztatása a 7,3 mm-es szondához**, amelyekkel a szonda-csúcs közeléből – a látott kép alapján – apró tárgyak, szennyeződések megfoghatók, eltávolíthatók.

- **A fejlesztéssel megvalósított újdonságok a következők:**

- **A digitális zoom funkció** bővült: 1,5; 2; 2,5 és 3x nagyítás érhető el gombnyomással (5. ábra).

- **A mérési lehetőségek** is bővültek. Az ismert ShadoProbe® (árnyékvetítéssel) mérési rendszer, az összehasonlító mérés és a PROware mérőszoftverrel támogatott, az elmentett képek újramérési lehetősége mellett a **megy – nem megy video-mérőkörző** gyors mérési funkció és – a legújabb fejlesztés eredményeként – a **sztereomérési technika** is használható a család teljes kiépítésű készülékével, melyek mindegyikéhez a NIST által kalibrált mérőblokkot is adnak, azaz **hiteles mérés**



5. ábra

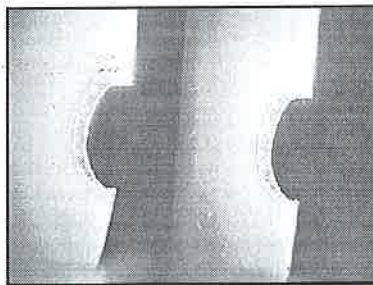
végezhető (NIST – U.S. National Institute of Standard and Technology – az amerikai mérésügyi intézet).

– Új az endoszkópokat vezérlő iView™ valós idejű, többcélú szoftver.

– Bővült a tartozékok köre is, például optikai előtétek, a kezelő egységet rögzítő állvány, az autoakkuról működtető tartozék és a hordtáska helyett hátizsák.

**Az árnyékszondás és a sztereoszondás mérőrendszer** optikai felépítését és képalkotását szemlélteti vázlatosan a 6. és a 7. ábra. Mindkét esetben az optikai rendszer jellemzői ismertek. Így a vetített árnyékvonal mentén, illetve a sztereoképen a kurzor-keresztekkel kijelölt szakasz valódi méretét – a háromszögre érvényes összefüggések alapján – az értékelő szoftver kiszámítja és az értéket a monitoron kijelzi (lásd a címloldalon).

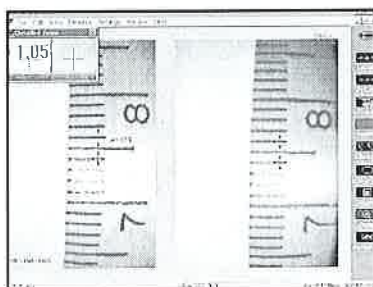
Összehasonlítva a két mérési eljárást (8. ábra) látható, hogy az árnyékszondás mérés (a) előnyösebb a reflektáló felületeken, valamint mélységméréshez, mivel az árnyék tisztán megmutatja a mélységváltozásokat. Az is az árnyékszondás módszer előnye, hogy az osztott képernyőhöz (sztereo) képest jobb a felbontása. A sztereoszondás mérés viszont előnyösebb a ferde és görbült felületeken, a szűk helyeken, ahol a szonda nem



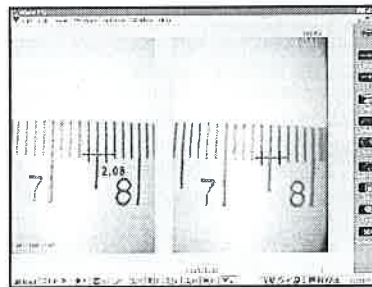
9. ábra



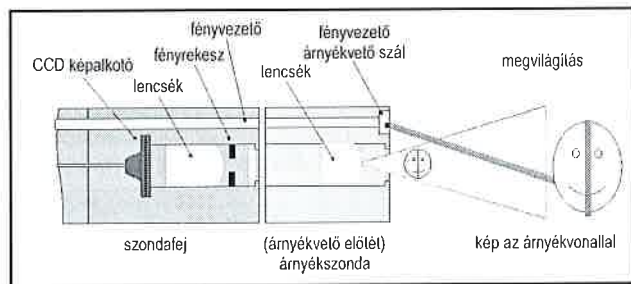
10. ábra



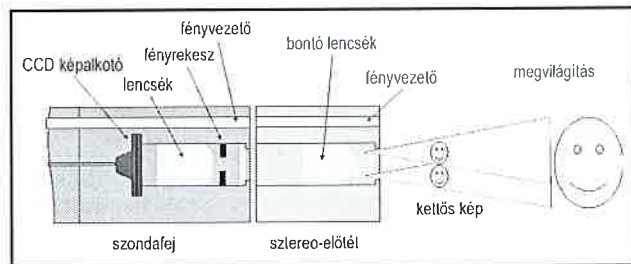
11. ábra



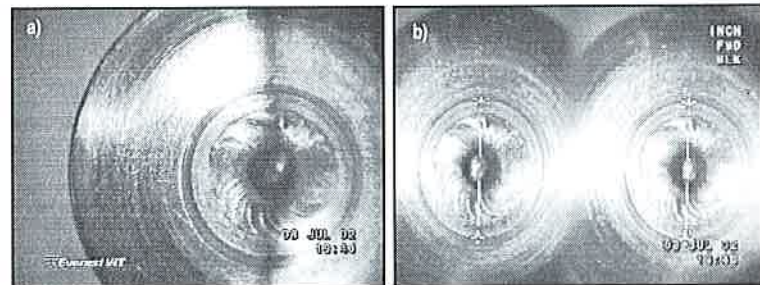
12. ábra



6. ábra Árnyékszondás mérőműszer



7. ábra Sztereoszondás mérőműszer



8. ábra

állítható a felületre merőlegesen (9. ábra), valamint a képen perspektívus határvonalú ferde sík helyzetét meghatározó pontok kijelölésekor (10. ábra). Viszont figyelembe kell venni, hogy a sztereoszondás módszerrel a vízszintes vonalak közti távolságokat pontatlanabban lehet mérni, mint a függőleges vonalak közöttiek (11. és 12. ábra.). Vagyis mindig a vizsgálati feladat szerint célszerű dönteni az alkalmazott módszerrel. Viszont a választott átmérőjű szondára előtétként mind az árnyékmérő, mind a sztereomérő csatlakoztatható.

Az XL Pro videoendoszkópok különböző szonda átmérő/hossz változatban készülnek, mégpedig: 5,0 mm/1,5; 2; 2,5 m; 6,1 mm/1,5; 2; 2,5; 3; 4,5; 6; 7,5 m; 7,3 mm/2,6; 3,2 m és 8,4 mm/1,5; 2; 3; 4,5; 6; 7,5 m.

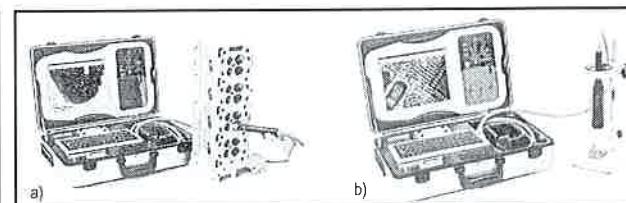
A család négy tagja a funkciók kiépítettségében különbözik egymástól. Az XL PRO™ – PXL alaprendszert bővülő funkciókkal követi az XL PRO™ – PXL, az XL PRO™ – PXL és a hiteles mérések elvégzésére is alkalmas XL PRO™ - PXL rendszer.

A MicroViper™ hordozható mikroszkóp kis kézi alumíniumbőröndbe épített, számítógépesített, digitális képalkotó rendszer. Cserélhető lencséivel a nagyítás a természetes nagyságtól, jól tagolt fokozatokban, 1000-szeresig növelhető. A tapintótubusba zárt optika szolgáltatja képet az 1/2"-os CCD kamera digitalizálja és a Pentium processzor alapú számítógép a – bőrönd fedelébe épített, 12,1"-os – színes TFT LCD monitoron megjeleníti. Természetesen a képek a számítógéppel kezelhetők, a képeken távolság-, szög-, görbület- és területmérés is végezhető. Képtároló kapacitása: 2000 bitmap kép/min. A képernyő-tartalom ismétlési sebessége: 25/s. A bőröndben van, a tartozékokon és a számítógépen kívül, a 10 W-os, fém-halogenid ivfénylámpa, amelynek nagy intenzitású fényét a 2,5 m hosszú kábelben vezetett száloptika továbbítja a lencserendszeren keresztül a vizsgált tárgy felületére. A mikroszkópos rendszer egyaránt működtethető tölthető telepről és hálózatról. A bőrönd össztömege: 13,5 kg.

A hordozható mikroszkóp széleskörűen használható az iparban a minőségbiztosítási és állapotellenőrzési, továbbá a kutatási és oktatási feladatokra egyaránt, különösen ott, ahol a hagyományos optikai mikroszkóp alkalmazása már nem lehetséges. A mikroszkóp tapintótubusba zárt optikája kézben tartva, a vizsgálandó felületre támasztva (13a. ábra), vagy a vizsgálandó tárgy fölött állványba fogva (13b. ábra), műhelyben, terepen, vagy a laboratóriumban egyaránt használható.

A sikeres ankét egyaránt szolgálta az újdonságok megismerését és a tapasztalatcserét. Az előadások ppt formájában megtekinthetők a [www.testor.hu/ez\\_volt\\_honlapon](http://www.testor.hu/ez_volt_honlapon).

Lehofer Kornél



13. ábra

# Kazáncsövek vízdoldali korróziójának vizsgálati tapasztalatai

Majoros András\* – Rózsavölgyi Zsolt\*

## Bevezetés

A villamos és hőerőművek kazánjainak több egymással ellentétes követelményt kell egyszerre kielégíteniük. A hatások, a gazdaságosság, a megbízhatóság széles teljesítmény-tartományban, valamint a szigorú környezetvédelmi előírások csak akkor teljesíthetők optimálisan, ha nemcsak az üzemeltetés alatt, hanem már a tervezés során számításba veszik a változó terhelési paramétereket, a berendezések üzem közbeni elhasználódását és károsodási folyamatait. Ebből a szempontból a kazáncsövek vízdoldali korróziója meghatározó tényező, hiszen alapvetően befolyásolja a kazánok élettartamát. A kazánok meghibásodásából adódó leállások több esetben visszavezethetők a tápvíz nem megfelelő kezeltése miatt hosszabb-rövidebb idő alatt bekövetkező korrózióra.

A kazáncsövek vízdoldali korróziója természetes folyamat, melyet a tervezés során az anyagválasztásnál és a szilárdsági számításoknál figyelembe vesznek. Probléma akkor jelentkezik, ha a korrózió gyorsabban, nem az előre várt formában vagy helyeken jelentkezik, és üzemzavarokhoz vezet.

A kazánok szerkezeti anyagainak megválasztásakor a legfontosabb üzemi jellemzők az alkalmazott hőmérséklet és nyomás, valamint a környező közegek állapota. Legnagyobb mennyiségben az ötvözetlen vagy gyengén ötvözött acélokat építik be (előmelegítők, hőátadó csövek, források, membránfalak), kisebb mennyiségben ötvözött vagy erősen ötvözött acélokat (gyújtókamrák, túlhevítő és újrahevítő vezeték), illetve réz- vagy titánötvözeteket (kondenzátorok, kisnyomású előmelegítők). Mivel az erőmű berendezései több, eltérő típusú anyagból épülnek fel, valamint a bennük lejátszódó folyamatok és üzemelési paraméterek – ennek megfelelően a hőhordozó közeg állapotai – különfélék, ezért a korróziós folyamatok is más-más sebességgel és eredménnyel játszódnak le. A berendezések eltérő üzemelési paraméterei, valamint a kialakuló helyi eltérések miatt nem is lehet a rendszer egészére a technológia szempontjából legjobb vízüzemet alkalmazni, de a korróziós károsodás szempontjából az optimálisra törekedni kell.

Az AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. már hosszabb ideje részt vesz erőműi berendezések állapotfelmérésében és a maradék élettartam meghatározásában. Ezek alapjait a rendszeres roncsolásmentes vizsgálatok (berendezések szemrevételezése, geometriai mérések, roncsolásmentes hibafeltáró vizsgálatok, helyszíni szövetszerkezeti vizsgálat), valamint a széles körű laboratóriumi vizsgálatok (külső és belső felületek állapotának vizsgálata, analitikai vizsgálatok, szilárdsági és technológiai vizsgálatok, a szerkezeti anyagok és a korróziós termékek metallográfiai vizsgálata) adják.

Az aktuális és a korábbi vizsgálati eredmények, az üzemelési és meghibásodási tapasztalatok ismeretében kép alkotható a berendezések állapotáról, a karbantartások állapotfüggően előre tervezhetők, az élettartam meghosszabbítható.

## A korrózió csoportosítása

A korrózió típusai több szempontból osztályozhatók. Ezt a szakirodalom is tükrözi, hiszen kialakulásának okai és megjelenési formái keverednek az egyes elnevezésekben és leírásokban.

Kémiai szempontból a csoportosítás lehet kémiai vagy elektrokémiai. Az első esetben atomi távolságokban játszódik le az oxidáció és a redukció, míg az utóbbinál a folyamat térben jobban elválasztva, elektromos áram keletkezése mellett megy végbe.

A korrózió bekövetkezhet leállás vagy üzemelés közben. Ezt a megkülönböztetést az eltérő környezet indokolja, hiszen a tápvíz összetétele, fizikai és minőségi jellemzői eltérőek a két állapotban.

Más csoportosításban a korrózió lehet általános (felületi jellegű, mely mélységéhez képest viszonylag nagy területre terjed ki) vagy pedig lokális (a felület csak kis részére terjed ki, mélységi irányú). Az előbbi a fém egyenletes elvékonyodását okozza, a jelenség biztonsággal előre tervezhető, determinisztikus, míg a lokális korrózió ezzel szemben szto-

chasztikus jellegű, megjelenési helye és sebessége valószínűségi jelleggel bír. A kazánokban mindkét típusú korrózió előfordulhat, akár egymás mellett is. Több esetben a kettő között elhelyezhető korróziós károsodás alakul ki, amikor a cső belső felületének egy sávjában a korróziós termék megvastagszik, és ugyanakkor alatta jelentős csőfal-elvékonyodás keletkezik.

A korróziós elváltozások megjelenési formái is eltérők. A korróziós termék színe, állapota és kötődése az alapfémhez változó lehet, olyan formákat ölthet, melyek szűkebb értelemben az oxidáció egyik klasszikus megjelenési formájába sem sorolhatók, pl. az eróziós korrózió vagy a feszültségkorrózió. A korróziós elváltozás ritkán fordul elő önmagában, általában más folyamatokkal együtt jelenik meg, pl. fémek öregedéséhez vagy a hő/mechanikai igénybevétel okozta fáradásához kapcsolódóan.

A tápvíz-előkészítési technológia és a hőhordozó közeg kezeltetése (kondicionáltsága) a korróziós folyamatok kialakulása és lejtészdódása szempontjából kulcsfontosságú. A topotaktikus, védő hatású, egybefüggő és sérülésektől mentes oxidréteg (a legtöbb vízüzemi rendszerben a magnetit -  $Fe_3O_4$ ) biztosítja, hogy a fém korróziója minimális legyen. Ennek fenntartásához folyamatosan biztosítani kell a vízüzemi paramétereket, különös tekintettel a tápvíz fajlagos elektromos vezetőképességére, oldott ion- és gáztartalmára, valamint szerves- és szervetlen-anyag-tartalmára. A tápvíz egyes szennyezőanyagai a lokális hibahe-lyeken, az áramlások holt tereiben és a megvastagodott, porózus korróziós termékekben feldúsulhatnak, üzem közben kiválhatnak, az oxidációs folyamatokat gyorsítják. Leállás alatt egy részük visszaoldódhat, a rendszer tömítettségén gázok oldódhatnak be, ezért ekkor is figyelemmel kell kísérni a tápvíz állapotát.

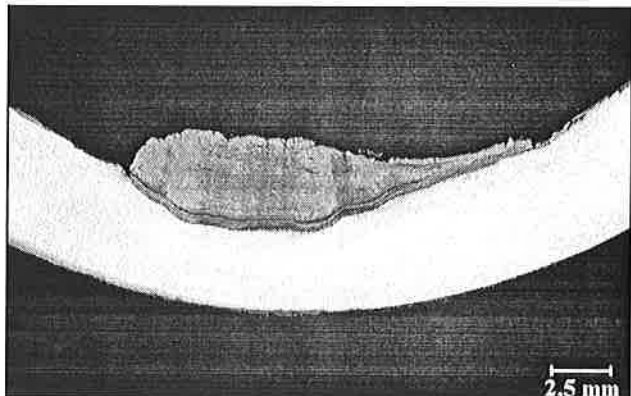
## A korróziós károsodás néhány jellemző megjelenési formája

### Általános korrózió

Az üzemelés közben leggyakrabban kialakuló korrózió. Kiterjedése nagy, felületi jellegű elváltozás. Mélysége változó, előrehaladott állapotban annyira lecsökkenhet a csőfal keresztmetszete, hogy az felszakadáshoz vezethet. Gyakran abban a sávban jelentkezik, ahol nagyobb a hőátvitel, pl. előzőelőtűtő csövek tűztéri oldalán.

A korróziós termék szerkezete porózus, lemez, ezért a hőhordozó közeget szennyezi. Létrejötté a közeg nem megfelelő kondicionáltságára vezethető vissza, elsősorban a nagy oldott oxigén tartalmára, valamint az oldott ionok jelenlétére, a nagy fajlagos elektromos vezetőképességre. A tűztéri csövek gyakori károsodási formája ez a típusú korrózió, kialakulásában közrejátszanak a kétfázisú víz-gőz rendszer áramlási és hűtési viszonyai, illetve a belső felület hibái, egyenetlenségei. A létrejött – fémnél rosszabb hővezetésű – oxidréteg megváltoztatja a hőátadási viszonyokat, növeli a csőfal hőterhelését.

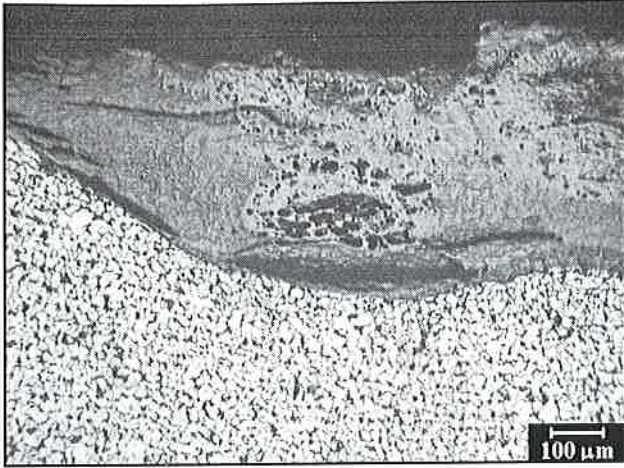
A rendszer leállása alatt is kialakulhat, amennyiben a berendezések nincsenek megfelelően kiszáritva.



1. ábra. A korróziós károsodás metszete

\*AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt.



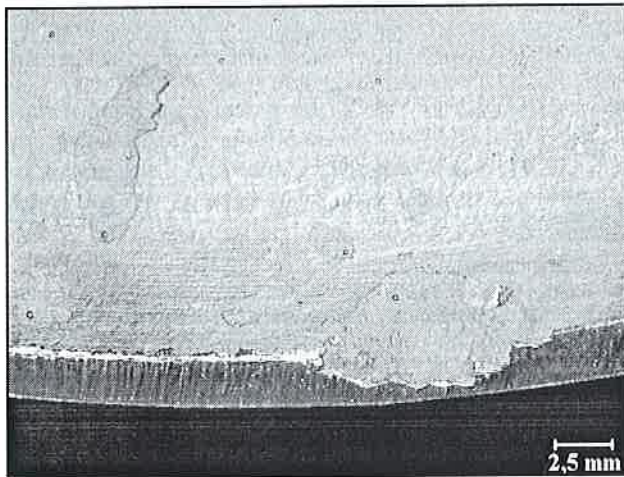


2. ábra. A korróziós termék szerkezete

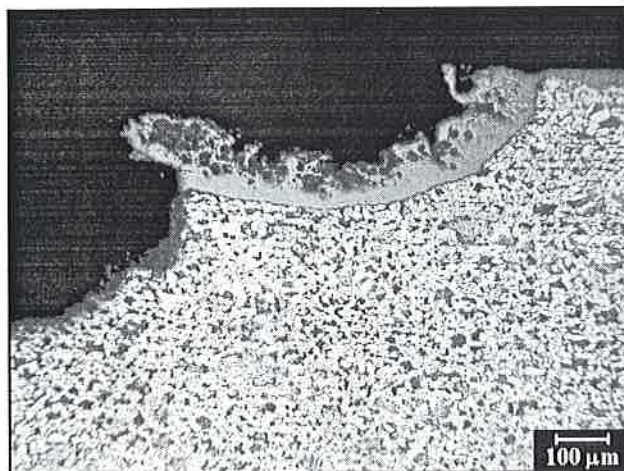
Az 1. és a 2. ábra a korróziós károsodás szerkezetét mutatja egy keresztmetszeti csiszolaton. A kialakult oxidréteg több részből áll: legbelül a fémhez erősen tapadó vékony, tömör réteg látható, amely felett egy jóval vastagabb, porózusabb, repedésekkel teli rész található. A kémiai analízissel ebben a rétegben kimutathatók a tápvízből származó vegyületek származékai és kémiai elemei. Az oxidáció általában a szemcsehatárokról indul ki, hosszan benyúlik az alapfémbe és halad a szemcsék közepe felé.

A megvastagodott, lemezes, porózus szerkezetű korróziós termékkel borított helyek teherbíró képessége kisebb.

A belső oxidréteg fizikai tulajdonságai miatt egyébként is sérülékeny.



3. ábra. Előtűlhevítő csőív lokális korróziója



4. ábra. Lokális korróziós hely keresztmetszete

Mivel a magnetit tömör, rideg, kristályos vegyület, ezért az alapfémnél csak lassabban és kevésbé képes az alakváltozásra, könnyen lepatogzik vagy megrepedezik. Ezekre a helyekre könnyebben kialakul a felület általános korróziója.

#### Lokális korrózió

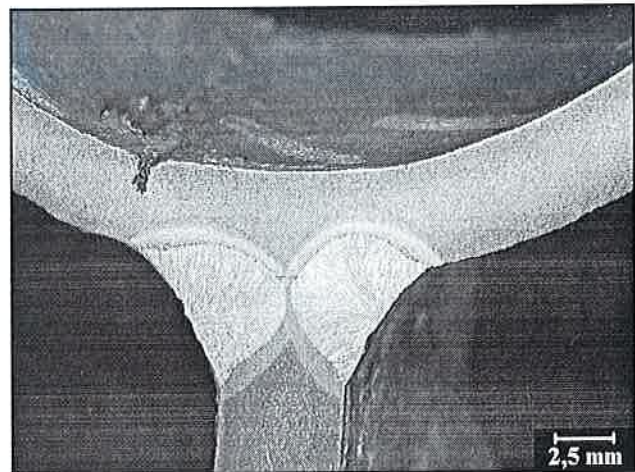
A helyi korrózió jelenségének legfőbb okozója a tápvíz nagy oldottgáz-tartalma, elsősorban az oxigén. A folyamat a fém oldódásával jár, akár néhány hónap üzemidő alatt is átlukadhat a csőfal. Az elváltozás gyakran a közeg áramlása, eróziója által is támogatott, pl. csőívek húzott szálában keletkezik. A létrejött üregeket nem tölti ki oxidációs termék, sőt bizonyos esetekben a belső felületen ki sem alakul a vékony oxidréteg, mert a környezeti állapotok és felületek sem állandóak. Egy ilyen károsodást mutat be a 3. és 4. ábra.

A lokális korrózió kialakulhat állás alatt is, amennyiben a kazán nincs megfelelően kiszáritva. Mélyebb fekvésű helyeken, a függőleges hőcsérelők alsó csőíveiben a maradék kondenzátum összegyűlik, és a környezetből oxigént old magába.

#### Termikus fáradás

A termikus fáradás és a hozzá kapcsolódó korrózió jelensége a berendezés inhomogén hőmérséklet- és terhelés-eloszlására, valamint a többtengelyű feszültségállapot hatására vezethető vissza. A kazán falának merevítése, a csatlakozó acélszerkezetek, bűvönnyílások, esetleg technológiai berendezések csőfalhoz rögzítése gátolja a hőmérsékletkülönbségek hatására bekövetkező alakváltozást, a kialakuló többtengelyű feszültségállapotban az anyag rideg viselkedést mutat. A változó üzemelési paraméterek indukálta ciklikus mechanikai igénybevétel hatására az anyagban repedések keletkeznek, melyekben a korrózió is felgyorsul, tovább gyengítve a szerkezet teherviselő képességét. A cső törését vagy felszakadását nem előzik meg különösebb előjelek, az váratlanul, látványos alakváltozás nélkül következnek be. A membránfalak ún. ablakos törését gyakran ez okozza.

Az 5. ábra egy membránfal merevített sarkából kivágott íves csőszakaszból készült. A belső felületről kiinduló repedés végig követi a gátmez hegesztésének vonalát az alapanyagban. A kazán hátoldalához hegesztett tartógerendák és a gátmez hegesztése miatt a szerkezetnek ez a része kevésbé volt képes az alakváltozásra, a repedés a vékony csőfal és a merevített rész határán keletkezett.

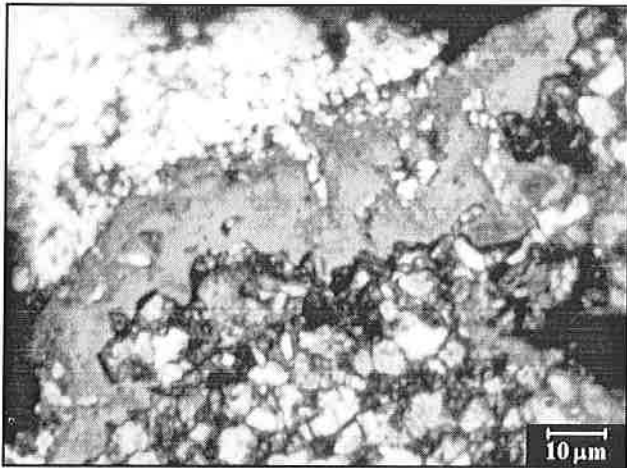


5. ábra. Termikus fáradás okozta repedés metszete

#### Elektrokémiai korrózió

Az elektrokémiai korrózió az energetikai rendszerek minden részében megjelenhet a különböző típusú, eltérő elektródpotenciálú fémek alkalmazása miatt. Az eltérő potenciálú fémek lerakódása és beagyazódása a korróziós termékbe helyi galvánelemet képez. A folyamat elektromos áram keletkezése mellett megy végbe, az elektródok maguk a fémek, míg az elektrólit a hőhordozó közeg. A folyamat a hőcsérelők csővek lyukadásához vezethet.

Legtöbbször a kondenzátorból elhordott és a tápvíz-előmelegítőben vagy gőzfejlesztő rendszerben lerakódott részötvetek az elektrokémiai korrózió fő okozói. A rossz áramlási viszonyok, belső repedések és felületi egyenetlenségek, valamint a megvastagodott, porózus korróziós termékek elősegítik a galvánkorrózió kialakulását (6. ábra).

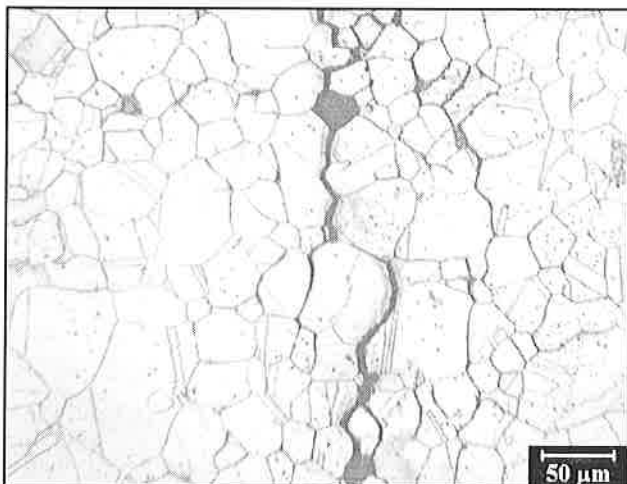


6. ábra. A korróziós termékbe beágyazódott réz szemcsék

**Feszültségkorrózió**

A korrózióálló acélok egyik legelterjedtebb lokális korróziós károsodása a feszültségkorrózió. A jelenség korróziót elősegítő közeg és az anyagban levő húzófeszültség hatására jön létre. Kialakulásához az anyag hajlma, a közeg aktivátorai (Cl<sup>-</sup>, S<sup>-</sup>, SO<sub>3</sub><sup>-</sup> ionok), a kritikusnál nagyobb húzófeszültség, valamint elegendő inkubációs idő szükséges. A keletkezett kristályhatárok menti vagy kristályokon áthaladó repedés jelentősen csökkenti az anyag teherbíró képességét. A folyamat emelt hőmérsékleten, vagy betöményedett korrózió közegben jelentősen felgyorsul.

A 7. ábra egy interkristallin feszültségkorróziós károsodást mutat be.



7. ábra. Feszültségkorróziós repedés korrózióálló acélban

**A korrózió vizsgálati módszerei**

A korróziós károsodás roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokkal vizsgálható. Az utóbbi eset jellemzően a helyszíni diagnosztikát jelenti, célja elsősorban az állapotfelmérés, a cserére szoruló kritikus csőszakaszok kijelölése, míg az előbbi esetben, a laboratóriumi vizsgálatok során a károsodás kiváltó okainak meghatározása kerül előtérbe. A vizsgálatokat mindig a feladatnak megfelelően kell megtervezni, mivel az egyes technológiák más-más információt szolgáltatnak a korrózióról. Nem ritka, hogy az adott területet többfajta eljárással is megvizsgálják.

A roncsolásmentes eljárások közül a legegyszerűbb módszer az endoszkópos vizsgálat, melynek során közvetlenül látható a csőfal belső állapota. A vizsgálat tulajdonképpen egy szemrevételezés, jól dokumentálható, de hátránya, hogy a szonda bevezetésének helyén a rendszer megbontásával jár. A vizsgálat a kialakult korrózió állapotáról átfogó információkat ad.

Az ultrahangos vizsgálat rugalmasan alkalmazható a belső felület vizsgálatára, repedések kimutatására és falvastagság-mérésre. A bevezetett, visszavert és feldolgozott ultrahang jel, valamint az alapzaj tulajdonságaiból következtetni lehet a felületi egyenetlenségekre, a repedések mélységére és a szerkezeti anyag állapotára.

Csőszakaszok vizsgálatára alkalmasabb a külön adó- és vevőfejjel szerelt ún. tandem elrendezés, melynél a cső alakjához illeszkedő betétben vannak a vizsgálófejek. A módszerrel nagy tömegben és gyorsan elvégezhető a vizsgálat, és könnyen kijelölhető a cserélendő csőszakaszok. A módszer alkalmazásához több előkészület, előzetes beállítás szükséges, de információt ad a korrózió jellegéről, kiterjedéséről és mélységéről. Kazánok membránfalainak, csöveinek ellenőrzésére kiválóan alkalmazható eljárás. A szerkezetet több oldalról célszerű megvizsgálni, így a belső hibák által adott indikációk biztosabban elkülöníthetők az egyéb zajoktól.

Az örvényáramos vizsgálat nemcsak csőkötegek és csővégbehegesztések vizsgálatára alkalmazható, hanem nagyobb kiterjedésű belső felületek, pl. tartályok falának ellenőrzésére is használható módszer. Eredményeiből következtetni lehet a csövek, illetve lemezek belső anyagfolytonossági hiányaira (lyukadásokra, repedésekre), a korróziós károsodásra és a szerkezeti anyag állapotára. Előzetes előkészítés és beállítás után a vizsgálat nagy tömegben elvégezhető a karbantartás alatt.

A legtöbb információt a laboratóriumi vizsgálatok szolgáltatják az aktuális állapotról vagy az elváltozásokat kiváltó lehetséges okokról. A korróziós termék analitikai és mikroszkópi vizsgálata széles körben alkalmazható ilyen esetekben.

A kémiai összetétel vizsgálatával meghatározhatók a korróziós terméket felépítő vegyületek, illetve a benne kivált, tápvízből származó alkotóelemek és adalékok maradványai (pl. kondicionáló vegyszerek, keménységokozó Ca- és Mg-sók), de a rendszer más részéből elhordott és lerakódott alkotóelemek (pl. kondenzátorból származó réz) is kimutathatók.

A mikroszkópi vizsgálattal megállapítható az alapfém szövetszerkezeti állapota, a korróziós réteg morfológiája és rétegvastagsága. Mérhető a korróziós üregek, a lyukkorrózió és a repedések mélysége. A metseten gyakran azonosíthatók a korróziós termékbe beágyazódott különböző fémszemcsék, illetve helyi analízis esetén a kialakult vegyületek, melyek az oxidációt kiváltó okokra utalnak.

A laboratóriumi vizsgálatok nemcsak oknyomozásra alkalmazhatók, hanem szabványos, gyorsított eljárásokkal az anyag korróziós hajlma és viselkedése is vizsgálható. A mintát előre meghatározott ideig, adott hőmérsékleten korrózió közeg hatásának teszik ki, majd analitikai és mikroszkópi vizsgálatnak vetik alá. Ilyen módszer pl. a korrózióálló acélok feszültségkorróziós hajlamának vizsgálata, vagy a szénacélok korróziós sebességének meghatározása az adott közegben.

**Összefoglalás**

Vizsgálati tapasztalataink alapján a berendezések élettartamát számos esetben nem a belső anyagszerkezeti változások vagy az öregezési folyamat határozza meg, hanem a korrózió. Ezért fontos, hogy a tápvíz-előkészítési rendszer működtetése fokozott figyelmet kapjon mind az üzemelés, mind a leállás alatt.

A korrózió természetes folyamat, a rendszer egyensúlyi állapot felé törekvése. A rendellenes, üzemzavart okozó elváltozások legegyszerűbb megelőzési módja, ha a belső felületen védő hatású, vékony, tömör oxidréteget alakítanak ki, és azt folyamatosan fenntartják.

Üzem közben a túlterhelések, az állandósult állapotól eltérő helyzetek, az indítás vagy leállítás folyamata jelentősen befolyásolja a károsodást, melynek sebessége a vízüzési és terhelési paraméterek szigorú betartásával lassítható. A kazán üzemeltetésének hosszabb időre tervezett felfüggesztése esetén a hőátadó csövek belső felületének védelméről gondoskodni kell.

A kazánok élettartamának pontosabb meghatározásához, a károsodási folyamatok részletes megismeréséhez a rendszeres időközönként végzett diagnosztikai jellegű vizsgálatok adnak információkat. Roncsolásos és roncsolásmentes eljárások széles köre alkalmas az állapotfelméréshez, a javítandó berendezések kijelöléséhez. A vizsgálati eredmények alapján meghatározhatók az elváltozás kiváltó okai, illetve a károsodási folyamat lassítható.

**Irodalom**

[1] French, D. N.: Metallurgical Failures in Fossil Fired Boilers (Wiley-Interscience, 1983)  
 [2] Pótsa Emil: Gőzkazánok (Műegyetem Kiadó, 1996)  
 [3] ASM Metals Handbook, Vol. 11: Failure Analysis and Prevention (ASM, 1986)  
 [4] Naumann, F. K.: Failure Analysis, Case Histories and Methodology (Rieder-Verlag, ASM, 1983)

## Korrózió az interneten: adatbázisok és tématerületek

Klementis Ottó\* – Tóth László\*\*

### Bevezetés

„A korrózió létezik, létezik és létezni fog” – szokták volt mondani bölcs őseink. A kérdés tehát az: hogyan lehet megelőzni, ellenőrizni és védekezni annak érdekében, hogy a berendezések a lehető leghosszabb ideig biztonságosan működjenek. Erre a lehető legjobb módszer a tapasztalat és az elméleti tudás ötvözése. A gond minden üzemeltetőnél az, hogy ha egy meghibásodást észlelnek, miként kell a helyzetet kezelni, hogyan lehet a berendezéseket üzemeltetni a legközelebbi leállásig (ha lehetséges) és – különösen új kollégák esetén – kihez lehet fordulni gyors szakmai segítségért?

A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány fő tevékenységei közé tartozik a korszerű elméleti és gyakorlati tudás (kutatás) ipari alkalmazása. Ez magába foglalja a törésmechanika, a korrózió és a számítástechnika tárgykörét is. Ezek ötvözésével egy olyan rendszerkonceptiót és számítógépes adattároló rendszert dolgoztunk ki, amely törekvésünk szerint megfelel az említett követelményeknek. A rendszert egy hazai ipari projekt kapcsán dolgoztuk ki, és már egy angol nyelvű változata is elkészült, amellyel nemzetközi projektek munkájához járulunk hozzá. A rendszer alapvetően egy helyi adattárolást engedélyez, viszont az internet segítségével olyan aktualizált adatokhoz lehet hozzáférni, amelyek napjaink információtechnológiai színvonalát tükrözik, és a legaktuálisabb kutatási eredményeket tartalmazza. A kutatási eredmények egy részét egyéni kutatásból, másrészt csoportos tevékenységekből származnak (konzorciumi projektek). Ezek nagy része szerzői jogok által védett, viszont a hivatkozás és a kapcsolattartás szükséges adatainak ismeretében a potenciális felhasználókhoz kerülhet. Ezen információk birtokában a felhasználók egy, a mindennapi gyakorlatban jól használható, az aktuális lehetséges gondok megoldását elősegítő tudásbázishoz juthatnak. Az információkat a BayLogi rendszeresen gyűjti és rendszerezi. Egy saját kidolgozású rendszer segítségével ezen információ-csoportok az aktuálisan már létező esettanulmányokhoz rendelhetők, ezáltal pontosabb képet kapva a múltbeli esetekről. Egy új meghibásodás esetén viszont gyorsabban, megbízhatóbban lehet a rendszerezett információk között keresni, és ez által a károkat és elhárításuk költségeit minimalizálni. A kidolgozott rendszer kevés „befektetett munkával” és külön költség nélkül használható. Az ehhez tartozó információk elérhetők intézeti honlapunkon: [balu.bzlogi.hu/plan/index.html](http://balu.bzlogi.hu/plan/index.html).

### Az internet

Napjainkban az internet egyre szélesebb körben használt eszköz az aktuális információk eléréséhez. Alapvető felépítése szerint a legegyszerűbben úgy fogható fel, mint információs központok összekapcsolt hálózata. De úgy is felfoghatjuk, mint egy óriási könyvtárat, amelyben nemcsak könyvek, hanem képek, videók, adatbázist képező CD-k, számítógépes programkötegek, cégek bemutatkozó lapjai, szolgáltatásokat és árut reklámozó és ajánló lapok, és még sok más információt tartalmazó elem van elhelyezve rendszerezés nélkül. Ráadásul ezen könyvek tartalma változó, eltűnnek belőle részek, illetve újakkal bővül; több millió ember dolgozhat folyamatosan a tartalmán. Időnként a képzettebb felhasználók részére létezik egy-egy katalógus is, ugyancsak adattároló formában, akár egy könyv, ugyanabban a könyvtárban „valahol”. A felhasználó nagy kérdése legtöbb esetben az, hogy a számára értékes in-

formáció hol van elrejtve ebben a könyvtárban? Katalógusokat bárki létrehozhat a saját számítógépén, és közzé is teheti.

A BayLogi vállalkozott egy rendszerezett információs központ létrehozására, úgy, hogy a szakmai színvonal megfelelő legyen és csak ellenőrzött adatok kerülhessenek közzé.

Az interneten viszont van egy óriási előny is, mivel minden információ egy helyről elérhető, és fizikai erőbefektetés nélkül lehet a címek között keresgélni és a könyveket elővenni.

Ilyen adatbázisok például

– az ingyenesen használható szoftverek: <http://www.structural-engineering.fsnet.co.uk/free.htm>

– a korróziós információs központok, pl.: <http://www.umist.ac.uk/corrosion/CIS/linksind.htm>, <http://www.clihouston.com/>, <http://corrosion-doctors.org/>, <http://www.hghouston.com/>, <http://www.corrprev.org.au/> és

– a korróziós témájú publikációk a <http://www.umist.ac.uk/corrosion/JCSE/default.htm> címen.

A lista folyamatosan bővül és elérhető a BayLogi honlapján. Mivel a referencia honlapok folyamatosan változhatnak, ezek szakmai részének kivonatát elkészítjük és saját rendszerünkön közzétesszük.

### Alapkövetelmények, biztonsági háló

A rendszer felépítésénél a közös kutatási tevékenységben résztvevők és az iparban dolgozók követelményeit vettük figyelembe. A legfontosabb ezek közül a szerzői jogvédelem és az ipari titkok megtartása. Ezért a rendszert úgy kellett megvalósítani, hogy a használatában és bővítésében érdekelt számára egyaránt biztonságos legyen. A rendszer segítségével az ipari szakemberek egy saját adatnyilvántartó rendszert hozhatnak létre, de a saját adataik közül csak azon meghibásodási esettanulmányokhoz vagy leírásokhoz lehet hozzáférni, amelyek nem minősülnek ipari titoknak. Ezért az adatközlésükért cserébe a közösen kidolgozott és folyamatosan bővített tudásbázishoz nyerne közvetlen hozzáférést. Ezáltal az ipari felhasználók egy folyamatosan bővülő tudásbázisba férnek hozzá, amely segíti őket egy új meghibásodás esetén a legjobb orvoslási módszer és a legmegfelelőbb szakemberek megkeresésében. Ez az ipar számára egy biztonsági hálót jelent. Az adatokat az internet segítségével frissítjük, de e nélkül is a saját számítógépen létezik egy lokális adatbázis rendszer. Ez a lehetőség külön kérés volt, mivel üzemzavar esetén (az internet hiánya, vagy a lassú összeköttetés miatt) az iparban biztonságtechnikai szempontból szükség van az azonnali beavatkozásra. A saját hozzájárulás az adatok egy minimális részének megosztásával történik. Ezáltal az ipari szakemberek az egyik létesítményből hozzáférhetnek egy másik létesítmény adatbázisának publikus részéhez. Így virtuálisan a saját adatbázisuk fog bővülni. Ez az adatbázis a beépített kereső rendszer segítségével segít „tanulni a saját vagy a más intézményeknél tapasztalt (és publikusan közölhető) hibákból”.

Minden egyes meghibásodási eset visszavezethető az azt kiváltó okra. Ez főként korróziós és törésmechanikai jellegű. A meghibásodások felismert jellege és kiváltó okai alapján hozzá lehet férni a folyamatosan bővülő tudásbázishoz, amely tartalmazza – hivatkozásokkal – ezek leírásait, jellemző megjelenési formáit, a kiküszöbölés, a mérés és a javítás módszereit, hasonló meghibásodási esetekkel stb. együtt. Ez a lehetőség az internet segítségével megvalósítható. A tudásbázis kidolgozása és bővítése szakmai adatokkal a kutatók fő feladata, mivel rendszerint az ipari szakembereknek erre nincs elegendő idejük. A kutatók a rendszer révén hozzáférhetnek valós meghibásodási, mérési adatokhoz, amelyek főleg a kutatási eredményeik igazolására szolgálnak. A rendszer

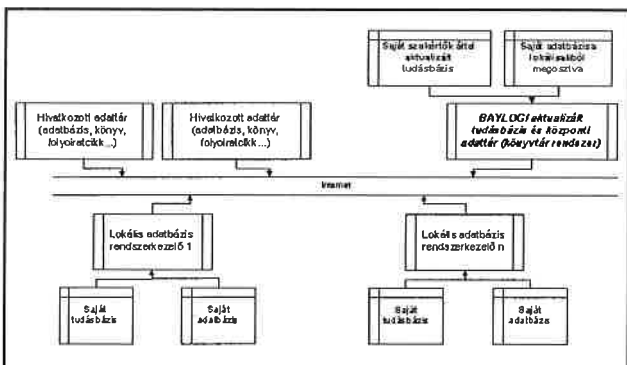
\* Dr., Bakony Autóalkatrész Rt., Veszprém

\*\* Prof. Dr., Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány, Miskolc

fejlesztéséhez való hozzájárulás lehetőségét biztosít a létező szaknévsor révén a szakmai elismertség növeléséhez és ahhoz, hogy ipari gondok esetén a legmegfelelőbb szakemberekhez lehessen fordulni. Így tehát minden oktató/kutató a saját munkáját közzölheti a leginkább érdekelt ipari partnerek körében. Ez mindkét fél számára jelentős segítség.

### A rendszer felépítése

A kidolgozott rendszer egy internetes online adatbázis rendszert és egy mindenki által használható, lokális adatbázis rendszert foglal magába (1. ábra). Az egyik az internetet használja fő adatkommunikációs célra (feltöltés, lekérdezés), a második viszont működik internet nélkül is. Az aktualizált tudásbázishoz és az adatseréhez viszont internet-kapcsolatra is szükség van.



1. ábra. Az internet-alapú adatkommunikációs rendszer felépítése

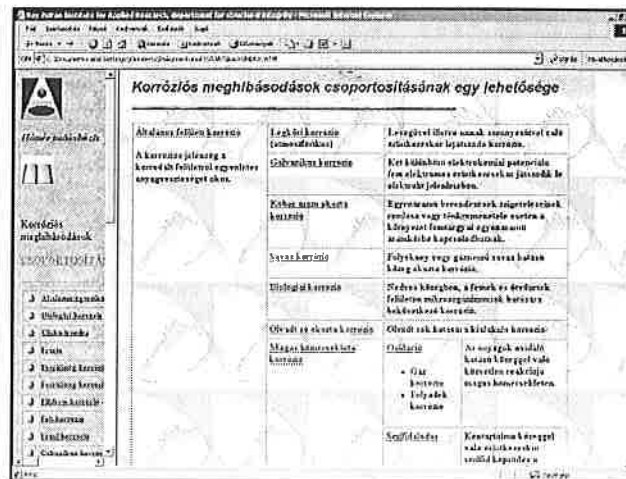
Ez a második rendszer egy adattárolás mellett biztosítja a saját és az internetes tudásbázishoz való automatikus kapcsolódást is. Ez a rendszer ingyenesen elérhető, és külön tárgyalás alapján tovább bővíthető.

### A korróziós tudásbázis

A tudásbázis legnagyobb részét a korróziós rész képviseli. Ez egy rendkívül bonyolult rendszerezést követel, mivel a korrózió különböző formái együttesen jelenhetnek meg. A rendszerezés a szakirodalom tanulmányozásával készült el. A rendszerezés szerint minden egyes korróziós esetre megadja a meghatározását, a megjelenés módját – utalva az együttes előfordulásokra is –, a védekezés módszereit, a szakirodalmat stb. (2. ábra). Ezzel könnyebb behatárolást, felismerést és gyorsabb és pontosabb intézkedéseket lehet elérni. A rendszerből mutat részletet a 3. ábra.



2. ábra. Példa egy korróziós eset tárgyalására (részlet a kivitelezett rendszerből)



3. ábra. A korróziós esetek egy lehetséges felosztása (képrészlet a BayLogi rendszeréből)

A korróziós tudásbázist folyamatosan bővítjük. A szakirodalom alapján, valamint a felhasználók átadott információinak megfelelően intézetünk honlapján folyamatosan aktualizált rendszer jelenik meg. Szívesen vesszük külső hozzájárulók segítségét is amennyiben az általunk kínált lehetőségeket is ki szeretnék használni.

### Következtetések

A bemutatott rendszer egy internet-alapú biztonságtechnikai adattárházat képvisel. Ennek a központja a BayLogi-ban található rendszer, amellyel kihasználható az internet nyújtotta előnyök is. A rendszer folyamatosan aktualizált, külön kérésre külön témakörök is létesülhetnek az adatbázis rendszerben. A lokális adatbázis-kezelő rendszer ingyenesen használható, aktualizálása minimális munkát igényel.

### KÖNYVISMERTETÉS

#### KARBANTARTÁS

A Raabe Kiadó gondozásában – cserelapos kivitelben – megjelent a Karbantartás című kézikönyv CD-ROM melléklettel. A könyv alapját a német és a hazai szakemberek magas színvonalú cikkei képezik. A szerkesztés és lektorálás igényes munkáját dr. Gaál Zoltán, a veszprémi Vegyipari Egyetem rektora végezte.

A kézikönyv tartalmi felépítése.

- Problémarendszer – gyors diagnózis és a megoldás útjai.
- Szabványok, irányelvek, előírások.
- A karbantartás megszervezése, megtervezése és ellenőrzése.
- A karbantartásnak megfelelő konstrukció és műszaki tervezés.
- A károk elemzése és a gyenge pontok kiküszöbölése.
- Karbantartási eljárás. Munkaeszközök és -technikák.
- A számítógépes adatfeldolgozás használata a karbantartásban.

Az 500 oldalas, A5 formátumú alpművet évente öt alkalommal 100–120 oldalas kiegészítő, aktualizáló kötetrészek követik. A keresett információ gyors megtalálását a tartalomjegyzéken és a tárgymutatón kívül a lap-széli jegyzetek is segítik.

Az alapmű ára: 14 800 Ft + áfa, míg az aktualizáló köteteké egységesen 6900 Ft + áfa. A kézikönyv a Raabe Tanácsadó és Kiadó Kft. címen rendelhető: 1134 Budapest, Lehel u. 23. A vevőszolgálat telefonja: 320-8773. Fax: 349-8773. E-mail: lipkovics@raabe.hu.

# A digitális ipari radiográfia, és alkalmazása a korrózió vizsgálatában

Fücsök Ferenc\* – Rozsnyik Zoltán\*\*

A nagy sebességű személyi számítógépek és a megbízható képdigitalizáló megjelenése lehetővé tette, hogy a képeket elfogadható idő alatt feldolgozzuk. A radiográfiai felvételek feldolgozása, kiértékelése számítógépes támogatással a mai gyors számítógépek segítségével elvégezhető és kihasználhatjuk a számítástechnika minden előnyét. Ezt az alkalmazást digitális ipari radiográfiának, röviden DIR-nek (Digital Industrial Radiography) nevezi a szakirodalom.

A képek számítógépes feldolgozásához először a képeket számokká kell alakítani. A hagyományos, ezüst alapú filmekben lévő képeket digitalizálni kell. Az elmúlt évtized fejlesztései nemcsak a radiográfiai képek feldolgozását, hanem létrehozását is lehetővé teszik. A flat panel detektor (FPD) és az imaging plate (IP) technikák alkalmazásával a radiográfiai képet közvetlenül lehet a számítógép memóriájába tölteni.

A számítógéppel támogatott képfeldolgozás lehetővé tesz olyan megoldásokat is, amelyekkel a korrózió hatását lehet vizsgálni. Egy csőről készült radiográfiai felvétel szélén látható falvastagságot a denzitásprofil kiértékelésével lehet mérni. Mivel radiológiai felvétel a csövön lévő szigetelésen keresztül is készíthető, a csövek falvastagságának csökkenése más módszerek által nem vizsgálható helyeken is meghatározható.

A cső belsejében lévő anyagvesztés a feketedés-változással mérhető. Mivel a digitális képen a feketedést 8-16 bit pontossággal mérjük, így egy ismert méretű, lépcsős falvastagság-változással elkészített etalonnal összehasonlítva mérhető a korróziós vesztés. Az említett módszereket részletesen mutatja be a cikk.

## Bevezetés

A radiológiai vizsgálatok több mint 100 éves története során nagy fejlődésen mentek keresztül. A sugárforrások és a detektorok fejlesztése mind a mai napig tart és hozzájárult a módszer általánossá válásához az orvosi és az ipari diagnosztikában.

Egy dolog volt változatlan a radiográfiai módszer alkalmazásában, a végső értékelést végző emberi szem. A különféle detektorokon képződött képeket mindig emberek értékelték ki, és az értékelés korlátját az emberi szem tulajdonságai határozták meg. A szem tulajdonságai közül ebből a szempontból a felbontó képessége és a kontrasztok közti különbségek felismerése a legfontosabb, ha eltekintünk a könnyen korrigálható élesítés követelményeitől.

A számítógépek fejlődése a '90-es években elérte azt a szintet, amely lehetővé tette, hogy a képek feldolgozása néhány másodperc alatt elvégezhető legyen. Számos alkalmazás mellett lehetővé vált, hogy számítógépes támogatással dolgozhassuk fel a radiográfiai képeket. Ehhez azonban a képdigitalizáló (szkennerek) fejlődésének is el kellett érni azt a szintet, hogy megbízhatóan működjének, és méretük is kisebb legyen egy íróasztalnál. A számítógépes programok azon túl, hogy egyes kezelési, mérési, tárolási problémák megoldását könnyebbé és gyorsabbá teszik, változtathatják a képek nagyítását és kontrasztját, ezzel segítik a hiányok észlelését. Ez a lehetőség megnöveli az egész vizsgáló rendszer megbízhatóságát.

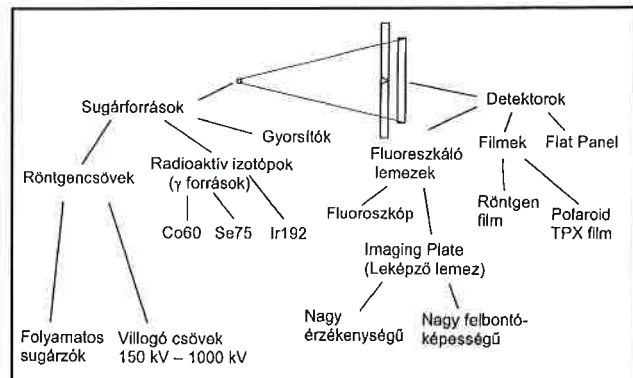
Bármilyen képet a digitális számítógép memóriájába juttatni nem egyszerű. A '90-es években több módszert dolgoztak ki arra vonatkozóan, hogy ipari körülmények között is alkalmazni lehessen a digitális

képfeldolgozást, nemcsak vizsgálati célokra, hanem robotok vezérlésére is.

A digitális ipari radiográfia alkalmazásához jelenleg három módszer áll rendelkezésre:

- a hagyományos filmek digitalizálása,
- az IP (imaging plate) képtárolós fólia alkalmazása,
- az FPD (flat panel detector) jelátalakító sík érzékelő alkalmazása.

A sugárforrások és a detektorok iparilag használható fajtáit az 1. ábrán tekinthetjük át.



1. ábra. A sugárforrások és a detektorok fajtái

Az imaging plate (IP) a foszfor alapú vegyületek fényérzékenységét használják ki. A besugárzott lemezeket lézersugárral gerjesztik, így hívják elő belőle a radiográfiai információt, ami digitalizálás után számítógéppel feldolgozható illetve tárolható. Ezt a módszert computeres radiográfiának (computed radiography = CR) nevezi a szakirodalom.

A flat panel detektorban a szelén alapú scintillációs réteg fényét villamos töltéssel alakítják a fotodiódák. A villamos töltést a szilícium alapú vékonyréteg tranzisztorok (thin-film transistor = TFT) kapcsolják a kiolvasó elektronikára. Így egy lépésben, nem külön műveletben alakítják villamos jellé a radiográfiai képet, ezért joggal nevezik ezt a módszert közvetlen vagy direkt radiográfiának (direct radiography = DR). (A szerzők szívesen vesznék javaslatokat a cikkben szereplő fogalmak magyar szakkifejezéseire.)

A csövekről megfelelő körülmények között készült radiográfiai felvételeken számítástechnikai támogatás nélkül is mérhető a korrózió hatása. A cső két szélső alkotója mentén lévő falvastagság és annak csökkenése egy adott pontossággal mérhető. A cső belsejében lévő korróziós, eróziós fogyások a filmekben feketedés formájában jelentkeznek.

A feketedés mérésével és megfelelő kalibrálás után átszámítással mérhető a korróziós anyagvesztés. Ezek a módszerek ismertségük ellenére nem terjedtek el, mert pontosságuk a becslés kategóriájába sorolta őket. Am számítógépes támogatással megfelelően pontos és megbízható eredményt adnak. A módszerek bemutatása előtt azonban tekintsük át a digitális képképzési módszereket és problémákat.

Egy Magyarországon működő filmdigitalizáláson alapuló rendszer részeit az [1] jelű irodalom mutatja be.

## A röntgenképek digitalizálása

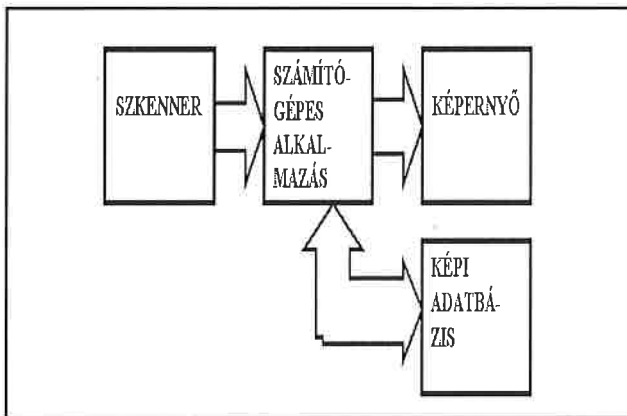
A röntgenkép digitalizálása alatt azt a folyamatot értjük, amikor a röntgenfilmet valamilyen képdigitalizáló eszközzel, legtöbbször szkennerral, digitális képpé alakítjuk. Általában akkor használjuk, ha a röntgenképet helyettesíteni szeretnénk egy digitális fájlal, ami nem öregszik

\* Budapesti Erőmű Rt., ffucso@bert.hu

\*\* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, rozsnik@seeger-iit.hu

meg, tetszőleges számban reprodukálható, könnyen szállítható. Kiértékelésnél is használhatjuk a digitális képfeldolgozás eszközeit, mint például nagyítás (zoom), filmek láncolása, mérés a képen, digitális szűrők használata stb.

Mindkét esetben követelmény a pontos átalakítás, vagyis ami a röntgenképen látszott az a digitális képen is érzékelhető legyen. A CEN/TC138 munkabizottsága által, a digitalizálásról készített szabványjavaslatának is ez az alapelve. A digitalizált kép feldolgozásának folyamatát a 2. ábra mutatja. A szkennert által digitális információkka alakított képet a számítógépben dolgozzuk fel, a későbbiekben ismertetett módszerekkel és eszközökkel. A feldolgozás eredményét a képernyőn láthatjuk és a képi adatbázisban tároljuk. Még a mai olcsó, nagy kapacitású tárolók használata esetén is fontos tudni, hogy mekkora méretűek a keletkező képállományok. 600 dpi-s (600 képpont/2.51 cm) és 12 bites (2 bájtképpont) szkenneléssel egy 10X10 cm-es kép 11 MB tároló helyet igényel. Tömöríteni nem szabad a képeket, mert a tömörítő programok veszteséget okozhatnak és ez nem megengedhető.



2. ábra. A röntgenkép digitalizálása és tárolása

**A képdigitalizáló kiválasztása**

A szkennert feleljen meg az alábbi követelményeknek:

- A szkennert képes legyen a transzparens képeket – dia, negatív film, röntgenkép – átvilágítani.
- A szkennert képes legyen befogadni a röntgenfilm méretét, és gondoskodni kell a filmek pozicionálásáról. Nagyobb filmmennyiségnél fontos, hogy a filmet mindig fix helyre tudjuk betenni, ekkor nem kell a pozíciót újra meg újra állítgatni.
- A szkennert használható feketedés-tartománya le kell, hogy fedje a röntgenfilm értékes feketedés-tartományát. A problémát a sötét képrészletek leképezése jelenti, mert a röntgenképeken az információ a sötét árnyalatokban van. A röntgenképek digitalizálhatóságának problémáját a képek sötétsége okozza. Ha túl erős az átvilágító lámpa, akkor lesz erősebb az átjutó fény, de eléghet, vagy károsodhat a film. Ha gyengébb lámpát alkalmazunk, akkor hosszabb expozíciós idő szükséges, a zajok erősödnek, és a digitalizálás lesz lassú.
- A szkennerteknek tudnia kell teljesíteni a kívánt pixel/bit árnyalatlátszó, 12–16 bit/színecsatorna, és az optikai felbontást, 1000 dpi körül.
- A szkennert típusa (lap, dob), működési elve (lézer, CCD) nem zárja ki a használhatóságát röntgenfilm digitalizálásra. Itt csak ár és sebesség eltérések vannak. A lapszkennert olcsóbb a dobszkennertnél és gyorsabb is, ez utóbbi pedig nagyobb felbontású és pontosabb, de ezt az előnyt nem mindig tudjuk kihasználni a röntgenfilm viszonylag nagy (10 µm körüli) szemcséi miatt. A CCD és a lézer szkennerteknél a kép elektronikus zaja más, de sebességük hasonló. A CCD szkennertek egyszerre olvasnak be egy sort a képen, a lézeres szkennert pedig minden pontot egyenként tapogató le. A lézeres szkennert előnye, hogy a zaj minden képpontra ugyanaz, mert csak egy érzékelő van, a CCD celláknál pedig a pozicionálás a pontosabb.

- A szkennertben lévő digitalizáló lehet lineáris és logaritmikus. A későbbi képfeldolgozás szempontjából fontos, hogy a fényintenzitás és a keletkező szürke árnyalatok kapcsolata milyen függvényt követ.

- A beszerzendő szkennert legyen TWAIN kompatibilis, de a ma kapható berendezések nagy része már ilyen. A TWAIN egy szabványos szkennert és más digitalizáló eszköz (digitális fényképezőgép, digitális videokamera stb.) közötti illesztő felület. Ezen keresztül az alkalmazások elérhetik a TWAIN kompatibilis szkennerteket, ami azt jelenti, hogy nem kell minden szkennertre külön-külön illesztő programot írni, és némi automatizálás is megvalósítható. A TWAIN protokollt a komolyabb képfeldolgozó alkalmazások – mint pl. az Adobe PhotoShop tudják – vagyis az PhotoShopból tudunk szkennelni közvetlenül, nem kell kilépni az alkalmazásból.

**A képdigitalizálás paraméterei**

- **Felbontás:** az analóg kép mekkora négyzet alakú területe lesz egy képpont (pixel) a digitális képen. Mértékegysége a dpi, jelentése dot per inch = képpont hüvelykenként. A szokásos 300 és 600 dpi 85µm és 47µm képpont méretet jelent. A Shannon mintavételezési tétele szerint a legkisebb érzékelni kívánt távolság felére (pl. egy 100 µm-es gáz-zárvány esetén 50 µm-re) kell venni a pixelméretet.

- **Árnyalatlátszó:** az egy pixel felületen lévő szürkeséget hány lépcsőre bontva ábrázolunk. A 8 bit/pixelhez 256 szürke árnyalat tartozik és 1 bájt tárolható. A kapható szkennerteknek 8-16 bit/pixel árnyatlátszó a szokásos teljesítménye.

- **Denzitás-tartomány:** a szkennertek optikai feketedés-tartománya, amit át tudnak világítani és digitalizálni képesek. A felvételt teljes denzitás-tartományán kellene tudni szkennelni.

Néhány gyakorlati megfontolás a paraméterekkel kapcsolatban:

Az emberi szemnek a 256 szürkeárnyalat bőségesen elegendő – többet nem tud megkülönböztetni. Ha 8 bit feletti árnyatlátszóval szkennelünk, akkor a képernyőn való ábrázoláshoz átalakítás szükséges, mert például a Windows csak 8 bit/színecsatornát tud megjeleníteni, mivel többre nincs is szükség. Ezt a hiányt egy átalakítással (histogram transzformáció) tudjuk kiküszöbölni, amellyel sokat javíthatunk a képen lévő információ láthatóvá tételén.

Nagy árnyatlátszóval, pl. 16 bit/pixel, csak akkor van értelme, ha a legkisebb helyi értékű bitek nem esnek bele a zajszintbe. A mai legjobb szkennertek a röntgenfilmek átalakításakor a zaj felett 12 bit/pixel hasznos árnyatlátszóval tudnak digitalizálni.

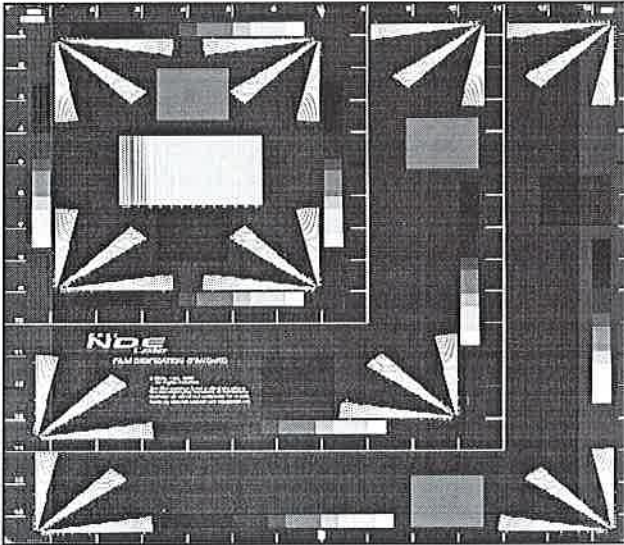
Miért fontos a 12 bites szkennelés 8 helyett, amikor az emberi szemnek nem nyújt semmi többlet információt? Ha a szkennertünk csak 8 bitet tud, akkor a jó képminőség érdekében meg kell tudnunk a film legnagyobb és legkisebb sötétedés értékét, majd az A/D átalakítót erre az értékes területre állítva kell szkennelnünk. A maximális denzitás fölött minden egyöntetű fekete, a minimális denzitás alatt minden egyformán fehér lesz – ez egy alsó és felső vágásnak számít. A minimális és maximális denzítást pedig le kell tárolnunk, ha rekonstruálni szeretnénk, hogy melyik árnyalathoz mekkora feketedés tartozik. Ha azonban 12 biten tudunk digitalizálni, akkor a szkennert által tudott maximális és minimális denzítása között, vagyis a teljes tartományon szkennelhetünk. Mivel 16-szoros a felbontás, ezért a minőség legalább olyan jó lesz, mint az előbb, ráadásul a referenciaképes kalibrálás is közvetlenül alkalmazható erre a módszerre.

**Hogyan tudunk mérni a digitalizált röntgenképen?**

A digitalizált röntgenképen akkor tudunk fizikai mennyiségeket mérni, tipikusan a falvastagságot az adott helyen, ha minden átalakításnak ismerjük a karakterisztikáját. Radiográfiai képek készítésénél referenciának lépcsős fémlapot használhatunk, amelynek fokozatai ismert vastagságúak. Így tudjuk majd a képen, hogy melyik feketedéshez mekkora anyagvastagság tartozik. Ez a már elkészített képekhez nem pótolható.

Nézzük meg a digitalizálás karakterisztikáit. A szkennert tulajdonkép-

pen nagy felbontású és precíz denzitásmérő. Ugyan azt a radiográfiai filmfelvételt több szkennerral digitalizálva eltérő digitális képeket kapunk. A készülékekre jellemző behatások megszüntetésére (inkább csak csökkentésére), és hogy az eredeti képet tökéletesen meg tudjuk őrizni, szükség van a szkennerek paramétereinek felvételére is. A készülék karakterisztikáját referencia filmmel tudjuk felvenni (3. ábra). A digitális röntgenkép csak a képdigitalizáló aktuális paramétereivel együtt ad teljes információt az eredeti képről.



3. ábra. Referencia film.

A referencia film ollóval két kisebb méretűre vágható. Alul és bal oldalt a referencia objektumok háromszor láthatóak, azért, hogy az eltérő méretű képeket a befogadó szkennerek mindegyikébe bele lehessen tenni. A referencia film mesterségesen előállított és elég jó minőségű, de az ára elég borsos, mivel kis mennyiségben vásárolják.

A szkennerek működésének két fontos jellemzője:

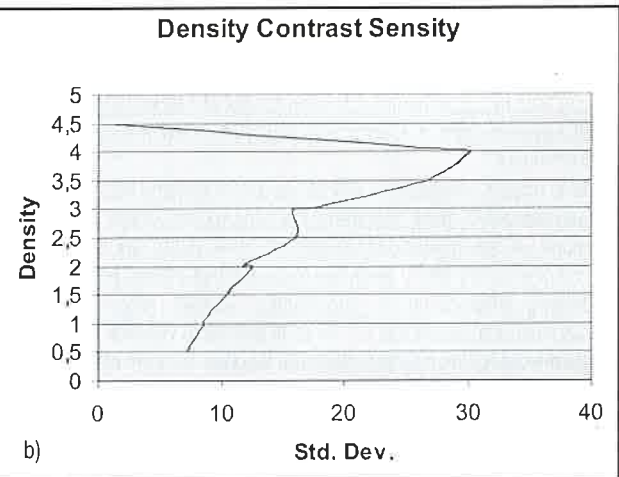
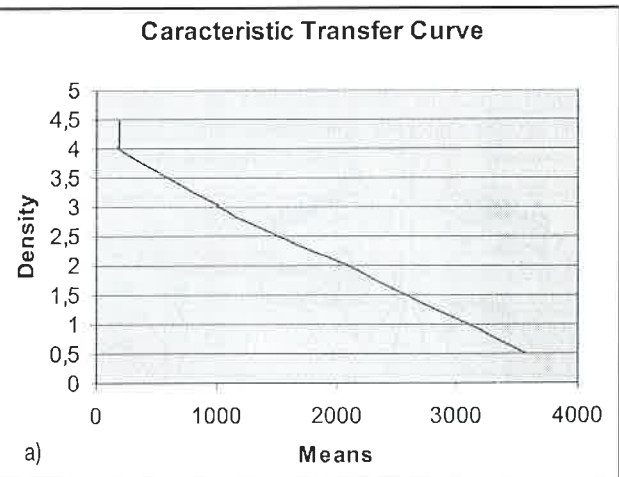
A jellemző átviteli görbe (Characteristic Transfer Curve) a feketedés-képpont adat átlaga (Means) közti kapcsolatot mutatja be. Vagyis azt, hogy a digitális kép egy szürke árnyalatához mekkora filmbeli feketedés (Density) tartozik. Ezáltal a digitális kép szürke árnyalatait feketedés-értékeként tudjuk használni. Ez annyit ér, mintha a radiográfiai képen a digitális kép minden képpontjának megfelelő pontban megmértük volna a feketedést (több millió pont!). A 4. a) ábrán látható, hogy közel lineáris a kapcsolat a denzitás és a szürke árnyalatok között, egészen nagyjából 4D-ig, e felett a szkennerek már érzéketlenek a denzitás-változásokra, vagyis ebben a tartományban már nem használható.

A feketedés kontraszt érzékenység (Density Contrast Sensity) a feketedés-képpont adat szórásával (Std.Dev.) jellemzi a szkennerek feketedés-mérési pontosságát. A 4 b) ábrán látszik, hogy a denzitás növekedésével, ahogy egyre inkább feketedik a kép, a szkennerek is egyre nagyobb bizonytalansággal mér, majd valahol a 4D érték körül megint csökken a szórás. De ez nem azt jelenti, hogy a szkennerek a nagyon fekete tartományokban megint pontosan mérne, hanem azt, hogy itt már szinte ugyanazt méri a feketedés-változása ellenére. A  $D = 4$  denzitás mellett a szkennerek lámpájából kijövő fény egy tízezred része jut el az érzékelőre.

Ennél a jellemzőnél meg kell említeni, hogy a referencia film homogén denzitású négyzetes területeinek inhomogenitása is befolyásolhatja a mérést, ez alapszórás. Ezek a területek a referencia film elkészítési eljárásból és alkalmazott anyagoktól függően lehetnek kevésbé, vagy jobban inhomogének.

#### A digitális képek felhasználása

A szkennerekkel létrehozott kép a használatos képfeldolgozó szoftverekkel értékelhető, tárolható, továbbítható, és papírra vagy fóliára kinyomtatható. A kiértékelés megbízhatóságát növeli, hogy a digitális



4. ábra. A Lumiscan szkennelő jellemző karakterisztikái

kép egy részletét a képernyőn egyszerűen nagyíthatjuk, kontrasztját növelhetjük vagy csökkenthetjük.

A filmek láncolása egy olyan funkció, aminek nincs a hagyományos feldolgozásban megfelelője. Mikor egy csö kerületén, vagy egy hosszabb egyenes varratról több film készül, kis átfedéssel, akkor digitálisan megoldható, hogy ezeket egyetlen felvétellel fűzzük össze.

A digitális manipuláció, például a kép hozzáadása vagy kivonása az eredeti képből, olyan lehetőségeket ad a felhasználónak, hogy munkáját könnyebben és gyorsabban végezheti. A különféle matematikai függvények és műveletek alkalmazása pedig új értékelési módszereket, például digitális zavarűrészt tesz lehetővé. A régi, de pontatlan értékelési módszerek számítógépes támogatással elfogadható pontosságú eredményeket adnak.

#### Imaging plate

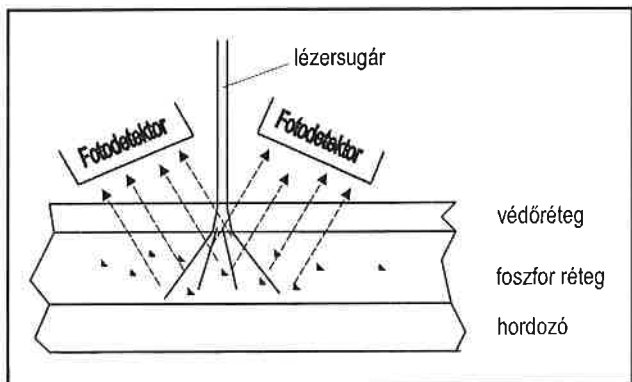
Az imaging plate (IP) kifejezést talán legjobban leképző lemeznek lehetne fordítani. Más irodalmi forrás [2] photostimulable phosphors (PSP) radiográfiának, magyarul fénygerjesztésű foszfor radiográfiának nevezi, ami talán többet mond az alapelvről. A rövidség kedvéért a következőkben csak IP-nek fogjuk nevezni.

Az IP alapelve: a foszfor külső gerjesztés hatása alatt fényt bocsát ki, és ez a fény a gerjesztés megszűnésekor kialszik, ám ha ezt követően hosszabb hullámhosszú fényrel gerjesztjük, akkor újból fényt bocsát ki.

A foszforon kívül más anyagok is képesek ezt a jelenséget produkálni, például a gyémánt, egyszerű élő szervezetek, a cinkszulfid (ZnS), különféle komplex oxidok stb. Ma az IP lemezekben a  $BaFX:Eu^{2+}$  típusú vegyületeket használják, ahol X lehet jód (I), bróm (Br) vagy klór (Cl).

A gyakorlati felhasználásban a röntgen- vagy gamma-sugárral besu-

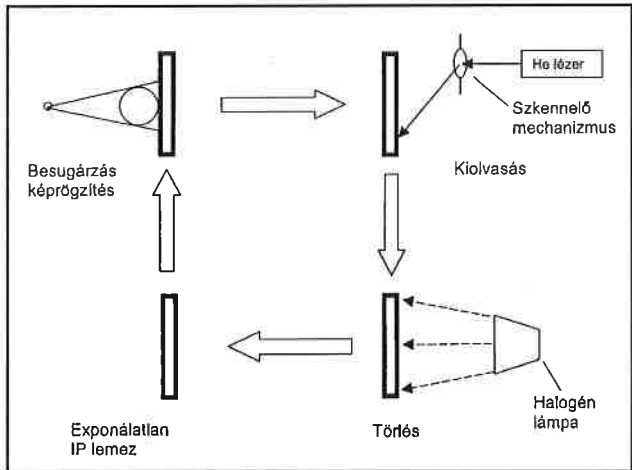
gázzott lemezt lézer fényvel gerjesztik és a kibocsátott fényt felfogják, amint ez az 5. ábrán vázlatosan látható.



5. ábra. A foszforréteg kiolvasása

Az alapelvből következik, hogy erős, kevert fényvel a foszforlemezben lévő szemcsékből az információ törölhető, és a lemez újra felhasználható kép rögzítésére. Ezt a folyamatot elvileg korlátlanul ismételhetjük, gyakorlatban a mechanikai sérülések miatt a lemezek idővel tönkremennek.

Mint az a 6. ábrán áttekinthető, az exponátlan, kazettában lévő lemezt röntgen-, vagy  $\gamma$ -sugárral besugározzuk, ezzel rajta képet rögzítünk. A besugárzás után a lemezt minél előbb egy zárt kiolvasó berendezésbe kell tenni, ahol egy forgó tükör a hélium lézer fényével soronként letapogatja. A letapogatás közben kibocsátott fényt fényérzékelő fotodetektorba jut, és az itt keletkező villamos jelet digitalizálják. A letapogatás a lemez méretétől függően 1-2 perc alatt lezajlik. A besugárzaskor keletkező képet a digitális adatokból számítógép képernyőjén lehet ábrázolni, módosítani és értékelni.



6. ábra. Az IP lemez használata

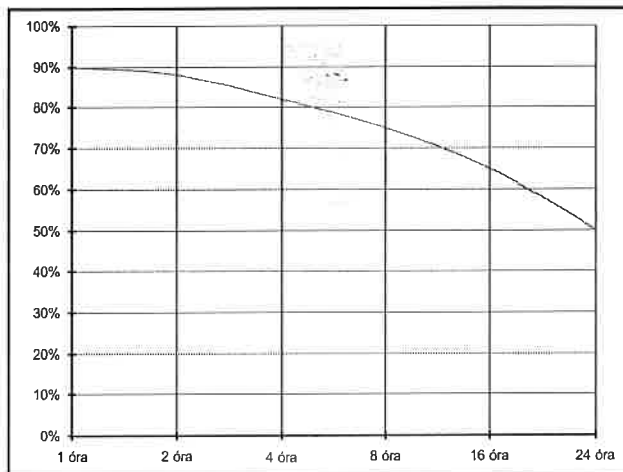
Kiolvasás után a még a lemezen lévő adatokat törölni kell, amit általában halogén lámpa fényével végeznek el. A kazetta zárása után az IP lemez újra besugározható.

Érdekes kérdés, hogy a besugárzás után az IP lemez mennyi ideig tartja meg az információt. Természetes jelenség a fakulás, ami a kiolvasható jel intenzitásának a csökkenését jelenti a késleltetési idő és a tárolási hőmérséklet függvényében.

A 7. ábrán a kiolvasható jel relatív csökkenése látható a 10 perc késéssel kiolvasott jel intenzitásához viszonyítva, az expozíció és a kiolvasás közötti idő függvényében.

A gyakorlatban a kiolvasó berendezés, bizonyos határok között, automatikusan korrigálja a fakulás hatását.

A számítógépben lévő, digitálisan rögzített képet ugyanúgy lehet



7. ábra. Az IP lemez relatív fakulása

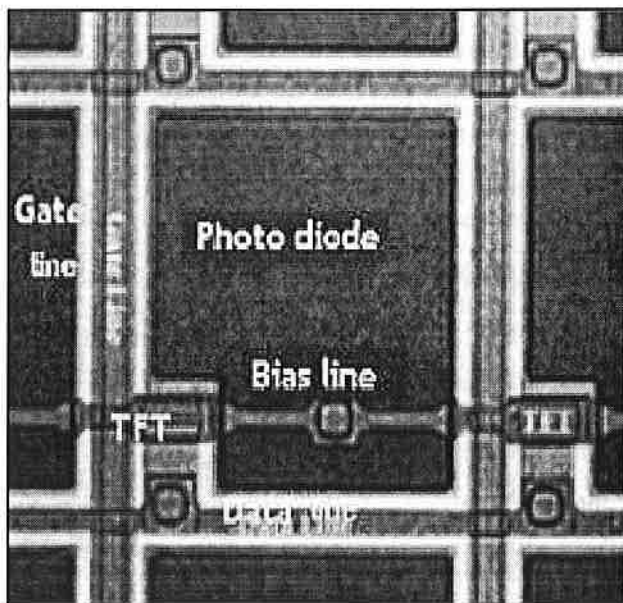
tárolni, feldolgozni, értékelni, mintha azt a röntgenfilm digitalizálásából kaptuk volna.

### A flat panel

A flat panel (FP) kifejezést lapos panelnak lehetne fordítani, ami ugyanúgy nincs kapcsolatban az alapelvével, mint az angol eredetije (esetleg a sík jelátalakító jobban kifejezi az elvét is).

Az FP lemezen szcintillátorral egybeépített fotodiódák és tranzistorok helyezkednek el, kivezetésükkel együtt. Egy 30x40 cm-es lemezen több millió érzékelő található. Az érzékelők méretei határozzák meg a felbontó képességet, ami ellentétben a többi sugárérzékelővel, nem változik a besugárzás erősségének változásával.

A 8. ábrán [3] az FP egy pixelének mikrofotója látható. A pixel szcintillátora amorf szelén, ami nagy érzékenységgel és ezért az expozíciós idő lényegesen csökken a filmekhez viszonyítva. A szcintillátorban keletkező fényt a mögötte lévő fotodióda érzékeli. A fotodióda villamos töltést hoz létre, ami arányos a szcintillátor fényével és ezzel együtt a röntgensugár erősségével. Ezt a töltést a data line-on (adat vonal) vezetik át egy erősítőbe a gate line-on (kapu vonal) és bias line-on (vezérlő vonal) érkező impulzusnak megfelelő pixelből. A TFT egy vékonyfilm-tranzisztort kódol, ami a kapcsolásokat végzi. A kiolvasott villamos jeleket 12 bites analóg-digitális konverter digitalizálja, ami az IP



8. ábra. Az FP egy pixeljének mikrofotója



lemezek feldolgozásához hasonló. Innen kezdve az adatok feldolgozása, tárolása, értékelése azonos az előbb megismert módszerekével.

Egy japán gyártmányú FP-ben 2304 adat vonal és 3200 kapu vonal vezet összesen 7 372 800 db pixelhez. Egy pixel mérete 127x127 µm, ebből a fotódióda felülete 57%, a teljes érzékelő felület 308 x 421 mm. Természetesen a több mint hét millió pixelt a bennük lévő több elektronikus alkatrészrel nem lehet teljesen egyformára gyártani. Ezért a túréren belüli eltéréseket is a kiolvasott jelek digitalizálása után korrigálni kell, amit szoftveresen lehet megvalósítani.

A több millió fotódióda kiolvasása néhány másodpercig tart. Az adatok törlése után a rendszer újabb felvételre kész, ezért joggal nevezik ezt a módszert közvetlen, vagy direkt radiográfiának (DR).

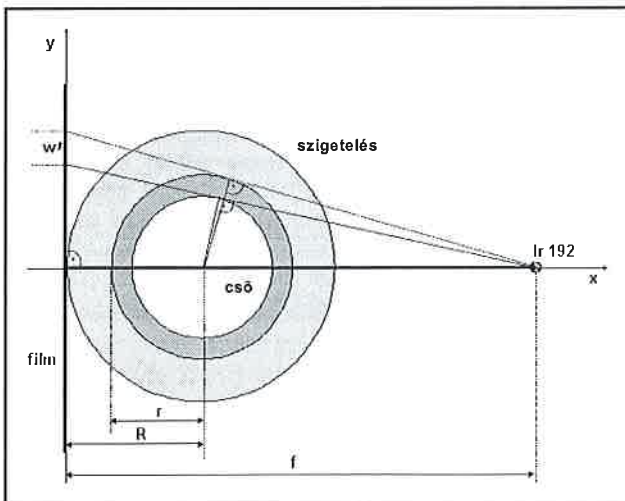
### Korrózió vizsgálata digitális radiográfiával

Radiológiai technikával általában az anyag belső szerkezetét, vagy a belső, szabad szemmel nem látható felületeket vizsgáljuk. Jó példa erre a csövek belső felületein megjelenő korróziós fogyások mértékének meghatározása, ezért most csak ezzel foglalkozunk.

#### A tangenciális vetítési technika

Ha egy csőről elég messze elhelyezett sugárforrással sík filmre felvételt készítünk, akkor a filmen a csőfal egy vonalban kezdődik. Itt érintette a sugárzás a cső külső átmérőjét. A belső fal helyzete már nehezebben állapítható meg, de szerencsés esetben ezt a vonalat is megtaláljuk. A két vonal közti távolságból a geometriai adatok birtokában kiszámíthatjuk a cső valódi falvastagságát. A cső falvastagsága a filmen annál nagyobb nagyítással lesz beolvasható, minél messzebb helyeztük el a filmet a cső középpontjától. Ha egy működő berendezésen lévő hőszigetelés miatt a csőtől több cm távolságban készítettük a képet, akkor a falvastagság nagyítása még nagyobb lesz.

A 9. ábrán bemutatott jelölésekkel a cső falvastagsága jó közelítéssel a következő képlettel számítható:



9. ábra. A szigeteléssel borított cső radiográfiái vizsgálatának vázlata

$$W = \left(1 - \frac{R}{f}\right) W'$$

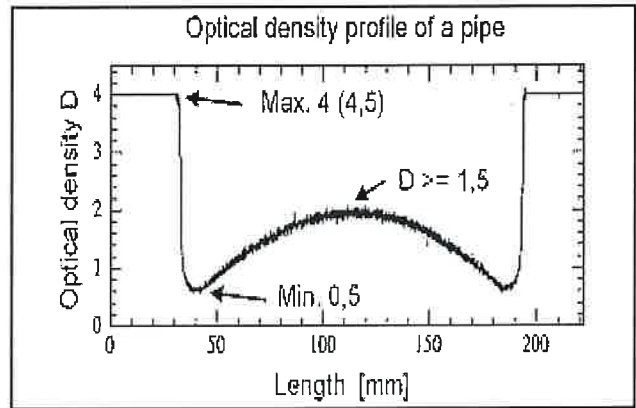
ahol  $w$  az ismeretlen falvastagság  
 $R$  a cső vagy a hőszigetelés külső átmérője  
 $f$  a sugárforrás-film távolság  
 $w'$  a filmen mért falvastagság.

A képlet, az adatok függvényében, 0,5 – 4% hibát okoz, a pontos matematikai összefüggés a [4] jelű cikkben található.

A filmen mért falvastagság megállapítása legtöbb esetben nehéz,

vagy a különféle okból bekövetkezett élettenségek miatt csak becslés jellegű lehet. Ezt a bizonytalanságot lehet megszüntetni a digitális radiográfia segítségével.

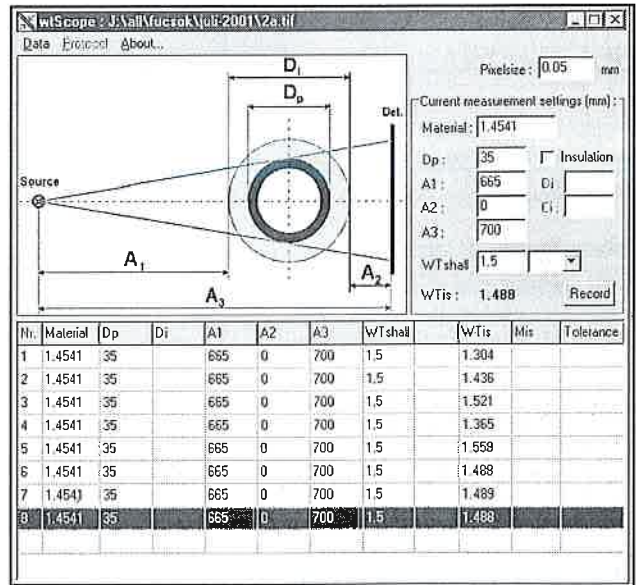
Ha digitalizáljuk a cső radiográfiái képét, és ezen a képen egy merőleges metszet mentén felvesszük a feketedés-eloszlást, akkor a 10. ábrához hasonló profilgörbét kapunk.



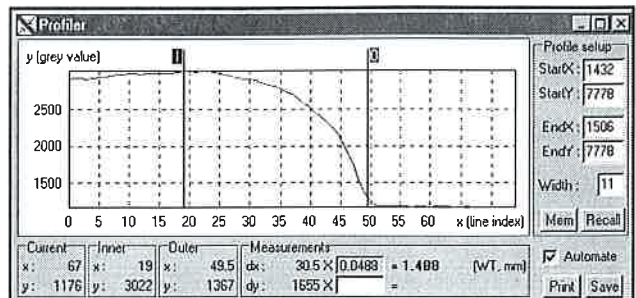
10. ábra. Feketedés-eloszlás profilja egy cső keresztmetszetén

A feketedés-eloszlás változása fizikai törvényeket követ. A profil kiértékelése különféle megfontolások alapján [4] digitális szűrésekkel elvégezhető. A szűréseket számítógépes programmal támogatva gyors és elegendő pontos méréseket végezhetünk. A 11. ábrán egy vékony falú, korrózióálló acélcső falvastagságának mérési eredményeit mutatjuk be.

A mérések pontosságát és megbízhatóságát megfelelő kalibrálási



11a. ábra. A felvétel geometriai adatai és a falvastagság-mérés eredményei

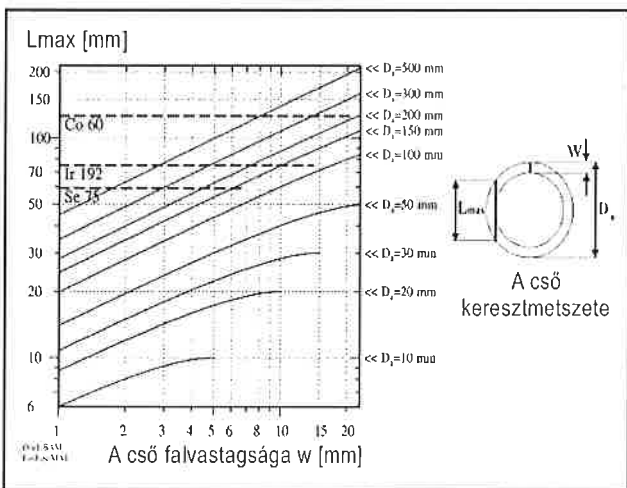


11b. ábra. A profilgörbe értékelése

módszerrel kell biztosítani. A képdigitalizálás ismertetésénél erről már említést tettünk.

A tangenciális mérés technika határait a növekvő falvastagság miatt a cső szélein rohamosan növekvő átvilágítandó anyagvastagság határozza meg. A 12. ábra szerzői [5] jó gyakorlati segédletet állítottak össze, amelyben a különféle sugárforrások használhatóságának határait is kijelölték.

A diagram x tengelyén a vizsgálandó cső falvastagsága szerepel. Az y tengelyen két skálát találunk. A jobb oldali számok a cső átmérőjét, a bal oldali számok pedig a hozzá tartozó átsugárzandó húr hosszát adják meg. Az ábrából látszik, hogy a járatos csőméretek vizsgálatához (ha eltekintünk a még nem elterjedt Se75 izotóptól) legjobb az Ir192 izotóp. Röntgensugárral maximum az 1-2 mm-es falvastagságú cső vizsgálható.

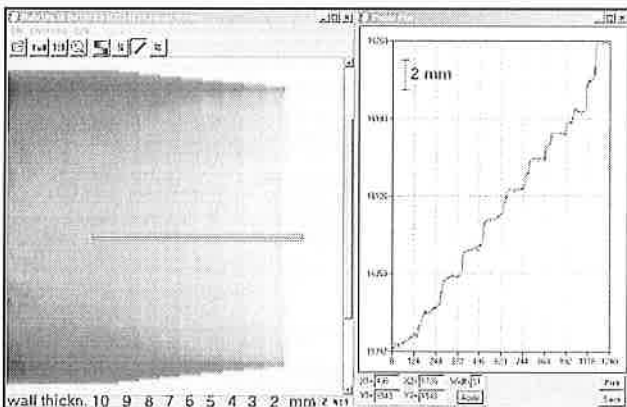


12. ábra. A tangenciális vettési technika alkalmazásának határai

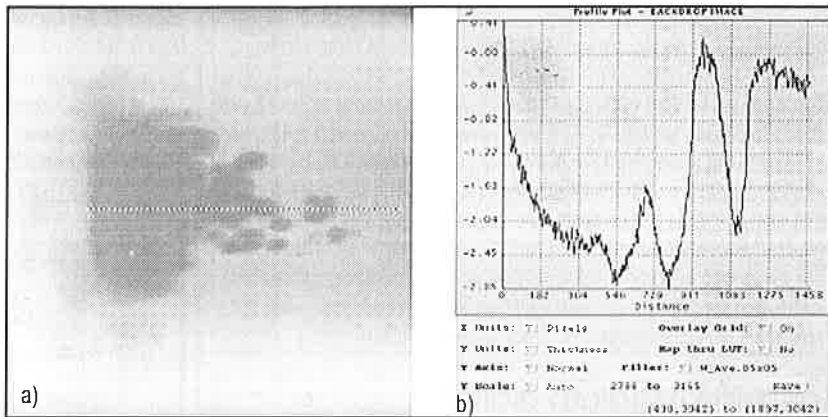
**Feketedésmérési technika**

Ha a korróziós-eróziós falvastagság fogyás nem pontosan a tangenciálisan besugárzott falon alakult ki, akkor a csőről készült radiológiai felvételen sötét foltok formájában láthatjuk a károsodást.

Ha megmérjük a falak feketedéseit, és kalibrációs görbét veszünk fel egy lépcsős, ismert falvastagságokat tartalmazó csőről, a korróziós fogyást meg lehet határozni. Ezt a munkát könnyebben és pontosabban meg lehet valósítani számítógépes támogatással. Ha 8 bites skálán mérjük a feketedést, akkor a felvétel bármely pontján 256 fokozatú skálán



13. ábra. Az összehasonlító cső radiológiai felvétele



14. ábra. A cső belső korróziója és feketedési profilja

mérhetünk. Az összehasonlító lépcsős munkadarabon, ugyanazon az alkotón mérve az aktuális falvastagságot kielégítő pontossággal mérhetjük.

A 13. ábrán bemutatjuk egy lépcsős falvastagságú cső radiográfiai felvételét és a lépcsők feketedésének profilgörbéjét.

A 14. ábrán egy 100 mm belső átmérőjű 6,3 mm falvastagságú cső belső felületén lévő korrózió képe látható.

Az ábra jobb oldalán, a felvett profilgörbén leolvasható, hogy a legnagyobb falvastagság-vesztés 2,8 mm. Az ultrahangos vastagságmérő a cső falvastagságát 4 mm-re mérte, (~2,3 mm falvastagság-vesztés), ami megfelelő eredménynek mondható, hiszen az ultrahangos méréssel biztosan nem a pontszerű, legmélyebb korróziós fogyás helyén mértünk.

**Összefoglalás**

A radiológiai vizsgálatok több mint 100 éves története során nagy fejlődésen ment keresztül. Egy dolog volt változatlan a radiográfiai módszer alkalmazásában, a végső értékelést végző emberi szem. A különféle detektorokon képződött képeket mindig emberek értékelték ki, és az értékelés korlátját az emberi szem tulajdonságai határozták meg.

A számítástechnika fejlődése ma már segítséget nyújt a radiográfiai képek értékelésében is. Az emberi szem teljesítményét és megbízhatóságát tudjuk fokozni, ha a képeket digitális állapotban a számítógép segítségével dolgozzuk fel. Már ismert módszereket továbbfejlesztve, és a mérést számítógépes támogatással elvégezve kiterjeszhetjük egy régi, bevált módszer alkalmazását. Jó példa erre, hogy a csövek korróziós fogyását megfelelő pontossággal olyan helyeken is meg tudjuk határozni, ahol más módszerekkel eddig nem lehetett a mérést elvégezni.

**Irodalom**

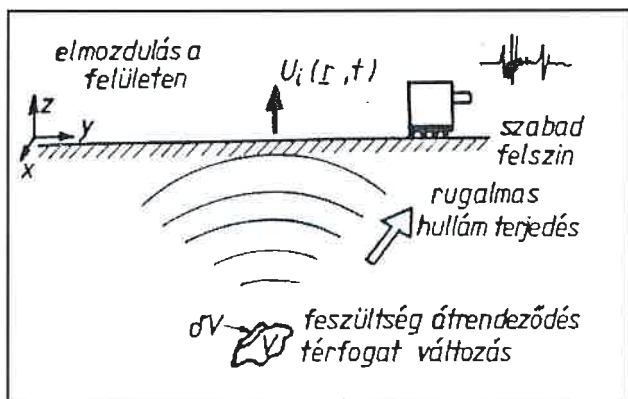
[1] Dr. Loványi István, Dr. Nagy Ákos, Dr. Czihó András, Rozsnyik Zoltán, Dr. Bátyi Béla, Katonka Gábor, Reider László: Radiográfiai képkiértékelő berendezés, Anyagvizsgálók Lapja 1999/4. pp.148-150.  
 [2] Seibert J.A., Bames G.T., Gould R.G.: Specification, acceptance testing and quality control of diagnostic X-Ray imaging equipment, American Institute of Physics, Woodbury, New York, 1994. pp. 730 – 770.  
 [3] Y. Ikeda, Y. Mizuta, Y. Kinoshita: Radiography Testing with Flat Panel Type Image Detector, 15th WCNDT CD-ROM idn.382  
 [4] V. Zscherpel, Y. Onel, U. Ewert: New Concept for Corrosion Inspection of Pipeline by Digital Industrial Radiology (DIR), 15th WCNDT CD-ROM idn.325  
 [5] Y. Onel, U. Ewert, P Williams: Radigraphic Wall Thickness Measurement of Pipes by a New Tomographic Algorithm, 15th WCNDT CD-ROM idn.369

# Feszültségkorrózió kimutatása akusztikus emissziós vizsgálattal

Szűcs Pál\*

Az akusztikus emisszió is az emberiség természetes élményei közé tartozik. Mindenki hallotta a túlterhelt faág recsegését, a megfeszített szövet szakadásának hangját, a csont vagy a kőzetek pattogását. E hangjelenségek közös forrásai a szilárdtestben tárolt energia felszabadulása közben keletkező, a „szerkezetben szétterjedő” rugalmas hullámok. A szilárdtest szerkezetében tárolt energia valamilyen mechanikai, ritkábban kémiai hatás okozta átrendeződését nevezzük akusztikus emisszióknak [5].

Magyarországon az 1970-es évek óta foglalkoznak akusztikus emissziós kutatásokkal, mérésekkel [2]. A köztudatban az akusztikus emisszió, mint a szerkezetek épségének vizsgálata (integritásvizsgálat) terjedt el. Ha egy tartószerkezetet súllyal, egy nyomástartó edényt belső nyomással terhelnek, a szerkezetben kialakuló feszültség nem lesz homogén. A szerkezeti kialakítás, a geometriai megalósítás, az esetleges makroszkopikus „hibák” helyi feszültség-csúcsokat hozhatnak létre. Ha ez a helyi feszültség-koncentráció megközelíti a szerkezeti anyag folyáshatárát, ott képlékeny alakváltozás, helyi deformáció lép fel. A feszültség átrendeződése, „leépülése” diszlokációk keletkezésén és vándorlásán keresztül valósul meg, és ezen diszlokációk mozgása kelti azokat a szélessávú rugalmas hullámcsomagokat, amit a szerkezet felületén akusztikus emissziós aktivitásként ki tudunk mutatni (1. ábra) – szerencsés esetben a forrás helyét is meg tudjuk állapítani.



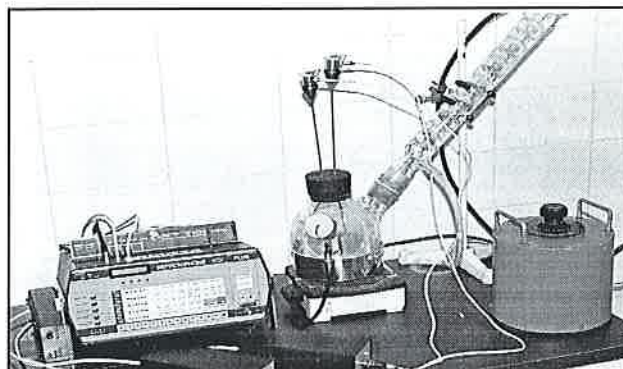
1. ábra. Az akusztikus emisszió keletkezése és kimutatási lehetősége

Amikor egy tartályt akusztikus emissziós integritásvizsgálat alapján további üzemeltetésre alkalmasnak minősítünk, mindig utalunk a feszültségkorrózióra, mint olyan folyamatra, amelynek lehetősége drasztikusan korlátozhatja az edény, szerkezet biztonságos felhasználását.

## A feszültségkorrózió és vizsgálata

A feszültségkorrózió kialakulásához három körülmény egyidejű fennállása szükséges: korrózióra érzékeny anyag, korrózív közeg és feszültségállapot. A feszültségkorróziós hajlam vizsgálatára kialakult módszerek vannak, amikor a deformált, előfeszített próbatestet bizonyos ideig korróziós „típusközegben” áztatják, majd metallográfiai módszerrel értékelik a kialakult károsodást.

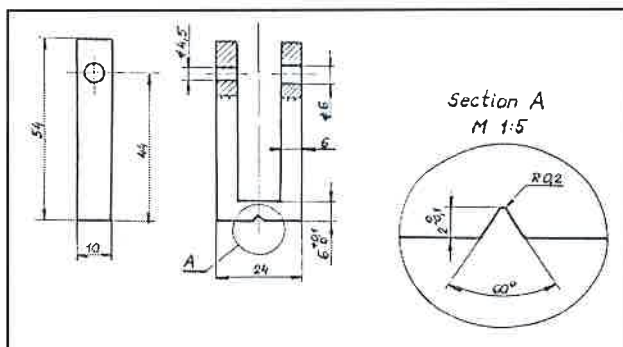
Ezeket a vizsgálatokat [3] [4] akusztikus emissziós monitorozás mellett is el lehet végezni. A 2. ábrán bemutatott, hazai fejlesztésű Defectophone műszer két akusztikus emissziós csatornája segítségével monitorozzuk a „feszültségkorróziós főzést”. Az olajfürdőben melegített



2. ábra. Egyszerű akusztikus emissziós mérőműszer összeállítás a feszültségkorrózió felléptének kimutatására

űvegedényben van a korrózív közeg, amelynek állandó koncentrációját egy golyós hűtő segítségével biztosítjuk. A korrodáló közeg hőmérsékletét mérve szabályozzuk a fűtést, illetve a hőmérsékletet, és ezt vizsgálati paraméterként, rögzítjük is.

A próbatestet egy U profilúvá alakított ISO V ütőpróbatest (3. ábra), ahol a bemetszés tövében állítható elő szabályozott feszültségállapot a szárazakat összeszorító csavar megfeszítésével. Az akusztikus emissziós jelet a korrózív tóból eltérő hosszúságú hullámvezetőkkel vezetjük az akusztikus emissziós érzékelőig, amelynek feszültségjele kondicionálás után jut a mérőműszerbe.

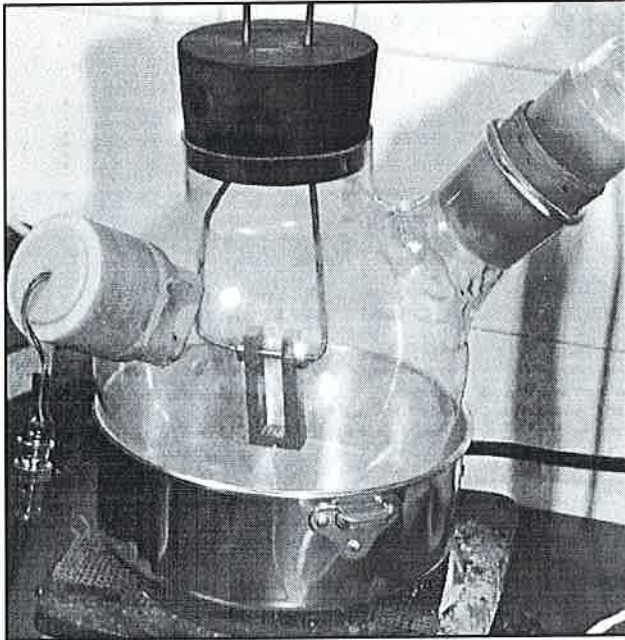


3. ábra. A próbatest jellemző méretei

A korróziós főzés közben sok, akusztikus emissziós szempontból zavaró effektus is megjelenhet, mint például a fűtő közeg forrása, buborékolása, a korrózív közeg csepegése. Ezeket a zajokat a Defectophone nyújtotta lehetőségekkel ki lehet szűrni. Ilyen lehetőség az eltérő hosszúságú két hullámvezető is (4. ábra). Meg kell jegyezni, hogy ezeket a méréseket általában kémiai laboratóriumokban végezzük, ahol használhatnak ív- vagy szikragerjesztésű színeképlemező műszereket is. Ezen műszerek szórt elektromágneses tere lehetetlenné teszi az akusztikus emissziós mérést, mert az a.e. érzékelő egyben jó anten-ná is.

Ha az akusztikus emissziós vizsgálat során észlelt jeleket az idő függvényében ábrázoljuk, a feszültségkorróziós folyamatot jól leíró paraméterhez juthatunk. Az akusztikus emissziós aktivitást szokás az észlelt beütések összegzett számával ( $\Sigma E$ ), az ún. kumulatív summa event paraméterrel jellemezni. Ha ezzel párhuzamosan képezzük a beütések energiáját jellemző egyik paraméter, például az oszcillációs szám kumulatív összegét is ( $\Sigma O$ ), akkor a két görbe együttes ábrázolásával a feszültségkorróziós főzés alatt a vizsgált anyagban lejárt

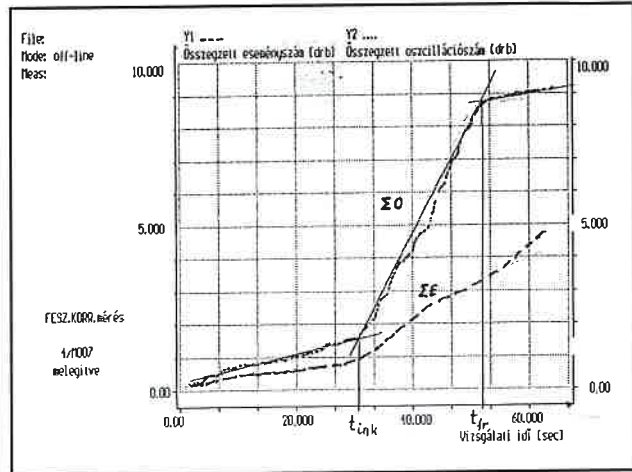
\* okl. fizikus, AT-3; orszak@axelero.hu; MBVTI Kft. Anyagvizsgáló Laboratórium



4. ábra. Az előfeszített, hullámvezetővel ellátott, bemetszett próbatest

szódó folyamatok értelmezhetők. Az energiával arányos paraméter ( $\Sigma O$ ) görbéjén két törés figyelhető meg: az inkubációs idő végén és a törés kezdetén (5. ábra). Tehát a vizsgálattal egyidőben nyomon követhető, hogy mikor indul el a feszültségkorrozíós mikrorepedések kialakulása, és ez a folyamat mennyi idő elteltével vezet ez el a makroszkopikus repedések megjelenéséhez. Ezeket az információkat a szokásos metallográfiai kiértékeléssel nehezebben, több munkával kaphatjuk meg. Az akusztikus emissziós technika nem csak a vizsgálattal egyidejűleg szolgáltatja az információt, de dokumentálni is tudja a legfontosabb vizsgálati paraméterek időben állandóságát.

Cikkemet figyelemfelkeltésnek szánom, hiszen az országban számos, az akusztikus emissziós vizsgálathoz értő szakember van, és elég sok a „munkanélküli” műszer is.



5. ábra. A vizsgálat eredménye, ami a vizsgálattal egyidejűleg keletkezik

## Hivatkozások

- [1] Nondestructive Testing Handbook, Vol. 5.: Acoustic Emission Testing (Eds: Miller, R. K. and Intire, P. Mc.) American Society for Nondestructive Testing. (1987)
- [2] Szűcs Pál: Az akusztikus emisszió története. Anyagvizsgálók Lapja 3. (1993) 4. 132-133. o.
- [3] W. W. Gerberich, C. E. Hartbower: Monitoring Crack Growth of Hydrogen Embrittlement and Stress Corrosion Cracking by Acoustic Emission. Proc. Conf. Fundamental Aspects of Stress Corrosion Cracking, Ohio State University, Columbus, Ohio (USA). 1967
- [4] I. Balogh, A. Péter: Monitoring Stress Corrosion Cracking of Austenitic Steels for Endwinding Retaining Rings of Generator Rotors by Acoustic Emission. Proc. International Conference on Electrical Machines, Budapest (Hungary). 1982
- [5] Akusztikus emissziós anyag- és szerkezetvizsgálatok (Szerk: Dr. Pellionisz Péter) GTE, Budapest, 1992

## SZABVÁNYOSÍTÁS

### Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2002/5 – 8. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

#### 01 Általános előírások. Terminológia

- MSZ EN 61703:2002; A hibamentességi, a használhatósági, a karbantarthatósági és a karbantartás-ellátási fogalmak matematikai kifejezései.
- MSZ EN 1330-4 és -9:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Fogalom-meghatározások. 4. rész: Az ultrahangos vizsgálat fogalmai. 9. rész: Az akusztikus emissziós vizsgálatok fogalmai.

#### 19 Vizsgálatok

- MSZ EN 60068-2-78:2002; Környezetállósági vizsgálatok. 2-78. rész: Vizsgálatok. Cab vizsgálat: tartós nedves meleg.
- MSZ EN 60068-3-4; -3-5; -3-6 és -3-7:2002; Környezetállósági vizsgálatok. Támogató dokumentáció és irányelvek. 3-4. rész: Nedves-meleg-vizsgálatok; 3-5. rész: A hőmérséklet-vizsgáló kamrák megfeleltetésének bizonyítása; 3-6. rész: A hőmérséklet-/nedvesség-vizsgáló kamrák megfeleltetésének bizonyítása; 3-7. rész: Mérések az A és B (terheléses) vizsgálatokra szolgáló hőmérséklet-vizsgáló kamrában.
- \* – MSZ EN 13192:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Szivárgásvizsgálat. A referenciaszivárgás kalibrálása gázok esetén.
- \* – MSZ EN 13625:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Szivárgásvizsgálat. Irányelvek a gázzivárgás-mérő berendezések kiválasztásához.
- MSZ EN ISO 3059:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Folyadék-behatolásos és mágnesezhető poros vizsgálat. A megvilágítás feltételei.
- \* – MSZ EN ISO 9934-1:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Mágnesezhető poros vizsgálat. 1. rész: Általános alapelvek.

- \* MSZ EN 13554:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Akusztikus emisszió. Általános alapelvek.
- MSZ EN 1802:2002; Szállítható gázpalackok. Alumíniumötvözetből készült, varrat nélküli gázpalackok időszakos ellenőrzése és vizsgálata.
- MSZ EN 1803:2002; Szállítható gázpalackok. Ötvözetlen acélból készült, hegesztett gázpalackok időszakos ellenőrzése és vizsgálata.
- MSZ EN 1968:2002; Szállítható gázpalackok. Acélból készült, varrat nélküli gázpalackok időszakos ellenőrzése és vizsgálata.
- MSZ EN ISO 11623:2002; Szállítható gázpalackok. Kompozitpalackok időszakos ellenőrzése és vizsgálata.

#### 77 Kohászat

- MSZ EN ISO 3927:2002; Fémporok, a keményfémporok kivételével. A tömöríthetőség meghatározása egytengelyű sajtolással.
- MSZ EN ISO 4490:2002; Fémporok. Az átáramlási idő meghatározása kalibrált tölcserrel (Hall-áramlásmérővel).
- MSZ EN ISO 376:2002; Fémek. Egytengelyű vizsgálóberendezések ellenőrzéséhez alkalmazott erőmérő eszközök kalibrálása.
- MSZ EN ISO 3325:1999/A1:2002; Porkohászati gyártmányok a keményfémek kivételével. A keresztirányú törésszilárdság meghatározása.
- \* MSZ EN 10306:2002; Vas és acél. Párhuzamos talpú I acélok és IPE-tartók ultrahangos vizsgálata.
- \* MSZ EN 10307:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. A korrózióálló, ausztenites és ausztenites-ferrites, legalább 6 mm vastag acéltérmék ultrahangos vizsgálata.
- \* MS EN 10308:2002; Rongcsolásmentes vizsgálat. Acélrudak ultrahangos vizsgálata.

(Folytatás a 88. oldalon)

# Elektrotenzométeres próbapad a törött, hosszú csontok viszonylag nagy elmozdulásának mérésére

Száva János<sup>1</sup> – Şamotă Iosif<sup>2</sup> – Dani Péter<sup>3</sup> – Necula Radu<sup>4</sup> – Barna Andrei<sup>5</sup>

## Előszó

A hosszú emberi csont, mint például a lábszárcsont, törés utáni rögzítések fiziológiai szempontból alapkövetelmény

- a csont eredeti hosszának biztosítása,
- az apró elmozdulások engedélyezése és az, hogy
- a csont eredeti hosszúságára visszatérhessen a külső terhelés megszűnte után.

A korszerű klinikai praxis bizonyítja, hogy ha ezek az alapkövetelmények teljesülnek, akkor a felgyógyulási időszak tetemesen lerövidül.

A mikron nagyságrendű elmozdulások mérésének tanulmányozására, melyek a törött részek összeforradásának kezdeti állapotában észlelhetők, a szerzők már előzőleg kidolgoztak egy eredeti eljárást, mely a holografikus interferometriát használja fel mint nagy pontosságú módszert. Erre a célra egy eredeti próbapadot szerkesztettek [1], amelynek segítségével tanulmányozták a törés közvetlen közelében az elmozdulásmérő és ennek hatására fellépő feszültségterjedést, abban az esetben, amikor a gyógyulás már 20% ép csontot tételezett fel [2, 3]. A feszültségterjedésnek azért nagy a szerepe a gyógyulási időtartam lecsökkenésében, mivel hatására – a Perren-féle elmélet alapján, figyelembe véve a csontnak piezoelektromos tulajdonságait – a gyógyulás kezdeti időszakában a törött csontrészek viszonylag kis elmozdulásai hasznosnak bizonyultak [3]. Ezt dr. Şamotă klinikai praxisa is alátámasztja [3, 4].

A viszonylag nagy (mm nagyságrendű) elmozdulások esetében a fent említett módszer nem alkalmazható, mivel a holografikus interferometria feltétele a  $\lambda/4$ -nél kisebb elmozdulások, ahol  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ , a jelen esetben használt HeNe lézer által kibocsátott monokromatikus fény (itt: piros) hullámhossza. E módszert csak úgy lehetne alkalmazni, ha a terhelést sok, viszonylag kis terhelésnövekedéssel valósítanánk meg, de ez viszont nagyon munkai igényessé tenné az eljárást.

Ez készítette szerzőket arra, hogy kifejlesszenek egy saját elektrotenzométeres próbapadot, amellyel a mm nagyságrendű elmozdulások (0,01...4 mm) folyamatosan követhetők.

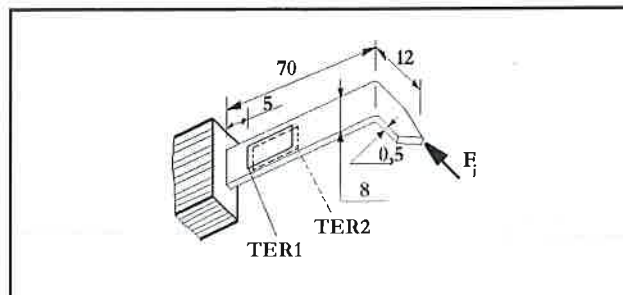
## A próbapad leírása

A próbapad érzékelőeleme egy 0,5 mm vastag rugóacéllap, amelyre félhidas kötésben két, 6 mm aktív hosszúságú, TER1 és TER2 mérőbelyeget ragasztottak, s amely az  $F_j$  erő hatására deformálódik (1. ábra). A 2. ábra az egyik ilyen érzékelőelem kalibrálási görbéjét mutatja be, ahol az  $U$  elektromos feszültség (a mérőhíd jele) a  $\delta$  elmozdulás függvényében van kifejezve.

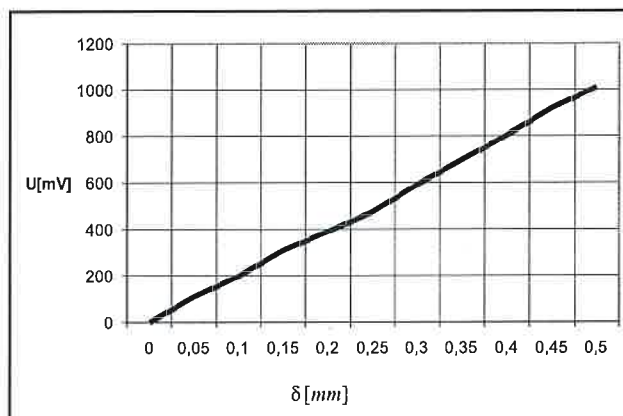
A tényleges próbapad alsó, illetve felső csont-befogó részből, terhelő szerkezetből (mely az  $F$  erőt eredményezi), két, igen merev, a törött csont részeire erősített,  $G_1$  és  $G_2$  gyűrűből, valamint 8 db érzékelőelemből ( $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D_1$  és  $D_2$ ) áll (3a. ábra).

Minden gyűrűre négy-négy előfeszített érzékelőelem támaszkodik úgy, hogy mindenképpen követni tudják a gyűrű felfele, illetve lefele történő elmozdulását.

A tanulmányozott törött, illetve ép csontot (jelen esetben júlábszár-



1. ábra. A próbapad érzékelőeleme



2. ábra. Az egyik érzékelőelem kalibrálási görbéje

csont), mindkét végén gipsztestbe ágyazták, és egy gépjárműmotor öntőformának használt, előzetesen megfelelően kialakított, dugattyúit, gyűrűkkel együtt, a saját hengerköpenyükbé helyezték vissza. Ezeket pedig a próbapad tartószerkezetére, csavarok segítségével, mereven rögzítették.

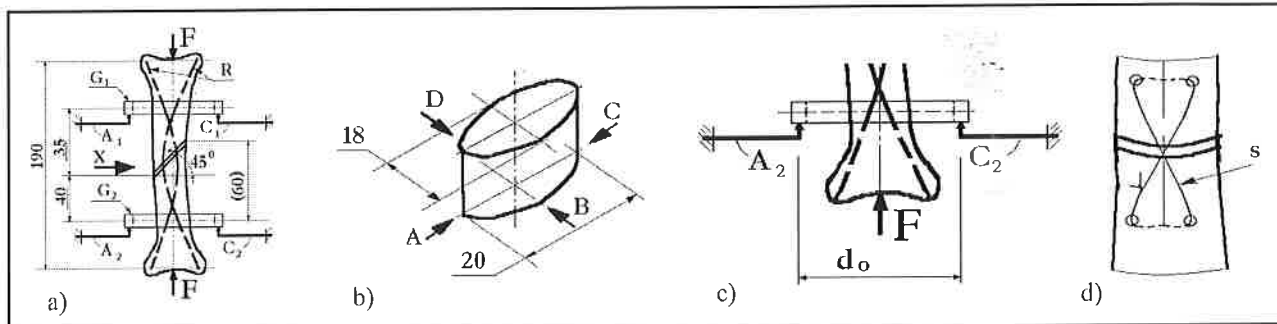
Az alsó merev  $G_2$  gyűrű azért szükséges, hogy a gipsztest véges merevségét is ki lehessen küszöbölni a mérési eredményekből. Ugyanakkor, mivel a törött részek egymáshoz viszonyítva térben mozognak el (elvéleg elfordulnak és ugyanakkor el is mozognak függőleges irányban), a 4-4 érzékelőelem párosával, két merőleges átmérő irányában, lett rögzítve (3b. ábra). Ezek az érzékelőelemek függőleges irányban elmozdíthatók és rögzíthetők a gyűrűk szintjén.

Így lehetőség nyílt arra, hogy nemcsak ugyanabban a függőleges síkban lehessen a viszonylagos lineáris elmozdulásokat kimutatni, mint a két érzékelőelem által nyújtott jelek  $\Delta_{1,2}$  különbségét (például  $A_1-A_2$  vagy  $C_1-C_2$ ), hanem a törött részek szögelfordulását is. Ez a  $\varphi$  szögelfordulás a megfelelő párok ( $A_1-A_2$  és  $C_1-C_2$  illetve az ezekre merőleges síkban levő  $B_1-B_2$   $D_1-D_2$  elempárok) viszonylagos  $\Delta_{1,2}$  lineáris elmozdulásából és az érzékelő elemek egymástól való  $d_0$  távolságából (3c. ábra) kiszámítható:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{\Delta_{1,2}}{d_0}\right)$$

Tehát a módszer két, egymásra merőleges függőleges síkban, lehetővé teszi mind a lineáris, mind pedig a szögelfordulások megfelelő pontossággal való feltérképezését. Ugyanakkor lehetővé válik különböző típusú rögzítések minőségi és mennyiségi összehasonlítása is,

1) dr., egyetemi tanár; 2) dr., egyetemi docens, ortopéd orvos; 3) tudományos kutató; 4) tanársegéd; 5) dr., ortopéd orvos, egyetemi adjunktus; mindannyian a Brassói Transzilvánia Egyetem munkatársai



3. ábra. a) A próbapadba befogott csont b) Az érzékelőelemek rögzítési helyzei c) A  $d_0$  távolság értelmezése d) A törött csont egymáshoz rögzítése fémszállal

annak érdekében, hogy a gyógyulás minél eredményesebb és ugyanakkor időtartama rövidebb is legyen.

## Mérési eredmények

A 4. ábra a javasolt módszer előnyeit szemlélteti a különböző rögzítési típusok összehasonlításában.

Szerzők négy különböző esetet tanulmányoztak:

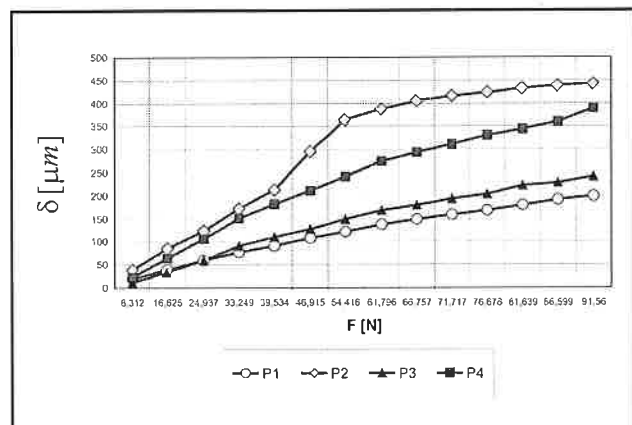
- a csontrészek belsejében két rugalmas  $R$  fémpálcával ( $P_2$  eset) megvalósított rögzítést;
- két rugalmas  $R$  fémpálcát és egy egyoldali külsőt – a  $C_1$ - $C_2$  függőleges síkban elhelyezett – rögzítő használatát ( $P_3$  eset);
- két rugalmas  $R$  fémpálcát és egy sajátos, nyolcas alakú (a törésnek az  $A_1$ - $A_2$  függőleges síkjában elhelyezett), 0,5 mm átmérőjű s fémszállal álló, az  $A_1$ - $A_2$  függőleges síkban való rögzítést ( $P_4$  eset), melyet a 3d. ábra mutat be (a 3a. ábrán mutatott X irányból figyelve a törött csontot) [4];
- az ép csontot ( $P_1$  eset), mint összehasonlításra alkalmas elemet.

## Összefoglalás

A 4. ábrán bemutatott eredmények a felső merev gyűrű szintjéről származnak ( $D_1$  érzékelő), és a legfeljebb pár száz mikrométer nagyságú lineáris elmozdulások jól illusztrálják a módszer érzékenységét.

A bemutatott elektromechanikus próbapad előnyei között megemlíthetők a következők is:

- a próbapad egyaránt alkalmas kis-, illetve nagyméretű csontok tanulmányozására; és
- mivel az érzékelőelemek deformációja csak nagyon kis erőt igényel, ezért segítségével gyakorlatilag a valós jelenségeket lehet feltérképezni (tanulmányozni).



4. ábra. A különböző módon rögzített törött csont ( $P_2$ ,  $P_3$  és  $P_4$ ) és az ép csont ( $P_1$ ) elmozdulás-erő diagramjai

A szerzők remélik, hogy a közeljövőben folytatandó kísérleteik hasznos információkat fognak nyújtani a sebészeknek a hosszú csontok rögzítési módszerének optimális megválasztásához.

## Irodalom

- 1) I.Száva, I.Şamotă, V.Ciofoaia, Lucia Georgescu, V.Chalapco, G.Muntean: The Holographic Investigation of the Intact and Oblique Fractured Bones; the Effect of the Excentrical Fixation. The 15<sup>th</sup> "Danubia-Adria" Symposium on Experimental Methods in Solid Mechanics, 30. 09. – 03. 10. 1998, Bertinoro, Italy. Proceedings of the Symposium, Cod ISBN : 953-96243-1-2, p.159-160.
- 2) I.Száva, V. Ciofoaia, I. Şamotă: Analysis of the tension/strain – stress state of the human femur during the healing process. The 4<sup>th</sup> Polish Scientific Conference "Biomechanics'99", Wrocław – Polanica Zdroj, Polonia, 08–11. 09. 1999. Proceedings of the Conference, Cod ISBN : 83-7085-433–8, p. 473-476.
- 3) I.Şamotă, I.Száva, L.Georgescu: Investigarea prin metoda Interferenţei Holografice a stării de solicitare a libiei umane Conservate (A tartósított láb-szárcsont igénybevételének tanulmányozása holografikus interferometria segítségével), Revista de Ortopedie și traumatologie, Romania, 2000, Vol.10.,nr.1-2, pag.61-66.
- 4) I.Şamotă: Fixarea endomedulară elastică în fractura deschisă de gambă (kb.: A lábszárcsont nyílt törésének rugalmas rögzítése), (könyv); Editura C2 Design, Braşov, 1999, Cod ISBN 973-994 43-0-2

(Folytatás a 86. oldalról)

**Új CEN-szabványok:** A Szabványügyi Közlöny 2002/7. száma alapján közöljük a hegesztések roncsolásmentes vizsgálatára (Non-destructive examination of welds) vonatkozó európai szabványok szerkesztőségünk szerinti címfordításait.

- EN 1289:1998/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztések folyadék-behatolásos vizsgálata. Elfogadási szintek.
- EN 1290:1998/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztések mágnesezhető poros vizsgálata.
- EN 1291:1998/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztések mágnesezhető poros vizsgálata. Elfogadási szintek.
- EN 1435:1997/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett kötések radiográfiai vizsgálata.
- EN 1712:1997/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett kötések ultrahangos vizsgálata. Elfogadási szintek.
- EN 1713:1998/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett kötések ultrahangos vizsgálata. Az indikációk jellemzése.
- EN 1714:1997/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. Hegesztett kötések ultrahangos vizsgálata.
- EN 12062:1997/A1:2002; EN 1713:1998/A1:2002; Hegesztések roncsolásmentes vizsgálata. A fémekre vonatkozó általános szabályok.

# Felület- és összetétel vizsgálat ködfénykiszüléses optikai emissziós spektrometriával

Pallósi József\*

A GD(OE)S rövidítés, amivel ezt a spektrometriai ágat jelölni szokták, az angol Glow Discharge (Optical Emission) Spectrometry elnevezésből származik. Bár a ködfénykiszülés (illetve parázkiszülés vagy Glimm-kiszülés, ahogy Magyarországon az elnevezés elterjedt) jelenségét már 1968 után alkalmazni próbálták analitikai célra, a Grimm-lámpa néven említett gerjesztőforrás csak a 90-es években vonult be igazán az anyagvizsgálatok körébe, és 1997-ben a rádiófrekvenciás gerjesztés gyakorlatban is alkalmazható megvalósítása kiterjesztette a vizsgálható minták körét a nemvezető anyagok területére is.

## A GDS technika

A GD-OES technika jövője nagymértékben függ a piaci kereslettől és a más technikák fejlődésétől. Új ötleteket szerezhethetünk és közvetlenül is átvehetünk dolgokat más módszerektől. A jövőben lehetőség nyílik hibrid rendszerek létrejöttére más technikákkal, mint ahogy ilyenek már léteznek, vagy fejlesztés alatt vannak.

A nemzetközi szabványosítási szervezet, az ISO/Technical Committee 201/Sub Committee 8 (GDS) hamarosan befejezi a második nemzetközi szabványt a cink/alumínium bevonatokról. Több szabványt is kibocsátanak, nevezetesen a nemvezető bevonatokról.

A bizottságra egyre több laboratórium gyakorol nyomást annak érdekében, hogy az analízis és az eredményközlés helyi, nemzeti vagy nemzetközi szabványait hangolják össze. Ez a nyomás a gyártókat arra készíti, hogy az analitikai módszerek és eredményközlések jobban és jobban megfeleljenek ezeknek a szabványoknak. A sűrűtő terület a mérési bizonytalanságok megadása. Például a jövőben többé nem lesz elégséges sok esetben az egyszerű eredmény és a szórás közlése, hanem szükségessé válik az eredmény és a mérési bizonytalanság vizsgálata is.

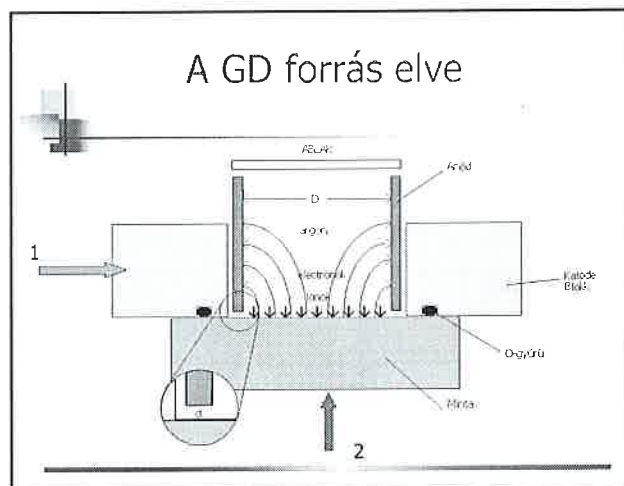
A GD-OES technika egy kiforrott technika. Ezt a plazmával és kulcsparamétereivel kapcsolatos ismereteink szintjéből is lehet látni, valamint a kereskedelmi készülékek nagy teljesítőképességéből és a jelenlegi alkalmazások széles választékából. A GD-OES berendezések eladása folyamatosan növekszik, ahogy ez az elemzési módszer egyre szélesebb körben válik ismertté és elfogadottá, különösen a felületvizsgálatok területén.

A hosszú ideje GD méréssel foglalkozó embereket továbbra is elbűvöli ez a technika. A GD közösséghez csatlakozó új szakemberek új ötletekkel és intuíciójukkal erősítik a technikát. De még sok tennivaló marad. Még sok ötlet van a készülékfejlesztéssel kapcsolatban. Még sokat kell megtudnunk a csodálatos plazmáról és sok analitikai kihívás marad, különösen az új alkalmazások területén.

## A mérés elve és a mérőberendezés felépítése

A síkfelületű, kör vagy négyszögletes alakú mintát egy vákuumkamra egyik oldalához rögzítjük. A kamrát kis nyomású inert gázzal, az esetek többségében argonnal töltjük fel. A minta felületétől 0,1 – 0,3 mm távolságra egy kör alakú, 2,0 – 8,0 mm átmérőjű anódot helyezünk el. Az anód és a vezető minta közé kapcsolt 400 – 1000 V elektromos feszültség (DC üzemmód) vagy pedig a 13,56 MHz, a 27,12 MHz, illetve a 40,68 MHz frekvenciájú rádiófrekvenciás tér Glimm-kiszülést indít az anód és a minta felülete közötti térben (1. ábra).

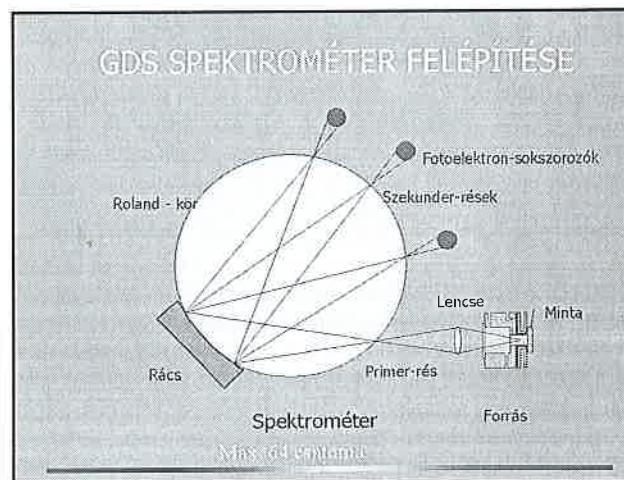
A kiszülés hatására a minta felületéről atomok porlasztódnak be a kiszülési tér (hideg!) plazmájába, itt gerjesztett állapotba kerülnek és fényt



1. ábra. A gerjesztőforrás felépítése

bocsátanak ki. A fénysugárzás atomszínkép jellegű, azaz viszonylag vonalszegény és széles koncentráció tartományban lineáris az összefüggés a koncentráció és az intenzitás között.

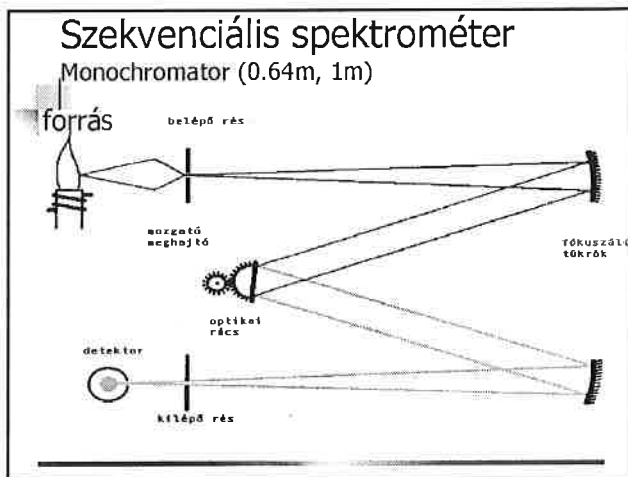
A keletkezett fényt a cső alakú anódon keresztül egy optikai emissziós spektrométer rácására vezetjük, amely a fénnyalábót hullámhossz szerint felbontja és a spektrumot egy körív mentén elhelyezett detektorok leképezik (Paschen–Runge-spektrométer). A beépített detektorok mérik az egyes elemek által kisugárzott fény intenzitását, majd ebből – a nemzetközi etalonokkal történt kalibrálás után – a koncentráció kiszámítható. Ezen polikromátoros vagy szimultán mérőberendezéssel időben egyszerre lehetséges a mintában lévő elemek mérése, de csak azoké, amelyek fénysugárzásának mérésére a detektorokat beépítettük (2. ábra).



2. ábra. Optikai emissziós spektrométer felépítése

Lehetség van monokromátor alkalmazására is (3. ábra), hiszen homogén minta esetén a minta leporlasztásával állandóan pótoljuk a plazmában az elemeket, így időben egymás után mérhetjük a különböző elemek fénysugárzásának intenzitását, azaz a koncentrációját. Ezen szekvenciális spektrométerrel (Czerny–Turner-spektrométer) egy univerzálisan alkalmazható berendezést kapunk.

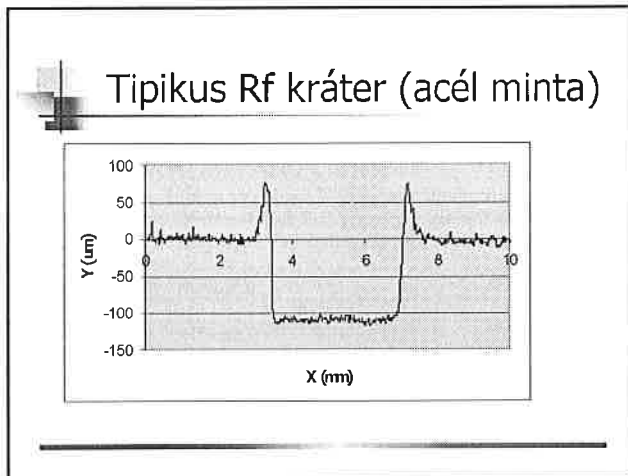
\*Dr., okl. fizikus; Qualitest Lab Kft., Dunaújváros; e-mail: jpallosi@lab.dunaferr.hu



3. ábra. A monokromátor mérési elve

Ha a Glimm-kisülést bekapcsoljuk, akkor a minta anóddal szembeni felületéről folyamatosan beporkasztja a minta anyagát a plazmába. A porlasztás helyén egy kráter keletkezik, amely a kisülés során folyamatosan mélyül, azaz a minta egyre mélyebb rétegeiből kerülnek atomok a világító plazmába, így lehetőség van a különböző mélységben lévő rétegek összetételének meghatározására is.

A gyártó cégek által a mérőprogramokba beépített ún. kvantifikáló algoritmust felhasználva kiszámíthatjuk, hogy a porlasztás során az idő múlásával a minta felületől számítva milyen mélységből származnak az atomok, így lehetőség van a mélységprofil mérésére (4. ábra).



4. ábra. Glimm-kisülés hatására keletkezett kráter a minta felületén

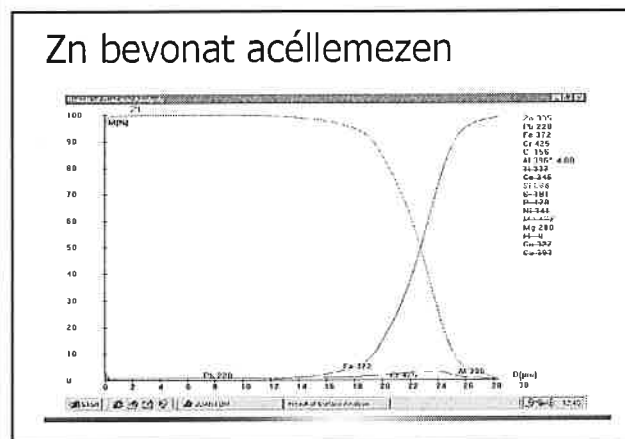
Az elmondottakból következik, hogy a spektrométer használata előtt kétféle kalibrációt kell hiteles anyagmintákkal elvégezni: Egyrészt összefüggést kell keresni az adott hullámhosszúságú fény intenzitása és a fényt kibocsátó kémiai elem koncentrációja között. Ez a szokásos, minden spektrometriai elemzéskor használatos módszer. Másrészt, a csak itt használatos különleges eljárással meg kell határozni azt is, hogy a mérés során éppen a minta milyen mélységű rétegeből származnak azok az atomok, amelyek a mért fényintenzitást kibocsátják.

Ez meglehetősen bonyolult, hiszen a különböző összetételű anyagok az adott gerjesztés hatására azonos idő alatt különböző mennyiségben (vastagságban) porlódhatnak le az anóddal szembeni területről, azaz a kráter képződésének sebessége különböző lesz. Így ebben a másféle „kalibrációban” meg kell mérni az egyes anyagfajtákra jellemző és a számításoknál majdan használható mennyiséget az ún. sputtering rate (= porlódási, leszakadási arány) értéket. Ezt oly módon tehetjük meg,

hogy a különböző összetételű nemzetközi standardokat rögzített gerjesztési paraméterekkel és meghatározott ideig porlasztjuk, majd megmérjük a keletkezett kráter mélységét mikronos pontossággal. A mérésekből számított „mélység/mérési idő” mennyiséget a készülék szoftverébe beírva, a program a beépített, szabadalmaztatott algoritmus segítségével kiszámítja, hogy az adott kémiai összetételű minta esetén az előző mérések során rögzített gerjesztési paraméterekkel végzett mérés során éppen milyen mélységből származnak a fényt kibocsátó atomok.

Tehát a mérés során kapott mélységprofil, amely a mérési idő függvényében ábrázolja az egyes elemekre mért jelet (intenzitás, feszültség) átszámítjuk a kalibrálások alapján a mélység függvényében ábrázolt koncentrációvá (5. ábra).

Ez már az igazi mélységprofil!

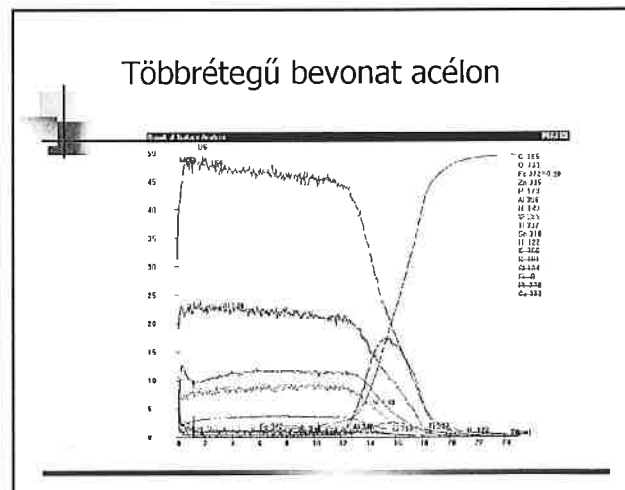


5. ábra. A mélységprofil kiszámítása

Külön érdekessége a módszernek a viszonylagos mátrixfüggetlenség. Ez elsősorban abból adódik, hogy – mint fentebb említettem – a színeképek atomszínkép jellegű.

Az alkalmazási területek miatt ennek rendkívüli jelentősége van, hiszen ha például egy horganyzott acéllemez vizsgálatunk, akkor először cink mátrixban kell meghatározni a vasat, mint nyomelemet majd, amikor a kráter mélysége olyan nagyra nőtt, hogy átértünk a bevonaton, akkor már vas mátrixban a cinket, mint nyomelemet kell analizálni. Természetesen az összes többi alkotót a mérés során végig mérni kell mind a két mátrixban.

Ha a porlasztásra egyenfeszültséget alkalmazunk (DC üzemmód), csak elektromosan vezető anyagú minták összetételét, illetve különböző mélységben lévő rétegek összetételét határozhatjuk meg.



6. ábra. Többrétegű bevonat mélységprofilja



Ha a porlasztásra rádiófrekvenciás teret használunk (RF üzemmód), akkor a vezető anyagokon kívül a nemvezető, szigetelőanyag minták összetételét illetve rétegfelépítését is vizsgálhatjuk (6. ábra).

A vázolt felépítésű optikai emissziós spektrométerrel a Glimm-kisülés adta lehetőségekkel élve különböző, széleskörűen alkalmazható és egészen speciális felhasználási területek jelölhető ki.

## A GDS mérés technika alkalmazása

### Általános alkalmazási lehetőségek

- Különböző bázisú fémötvözetek összetételének meghatározása. (A hétköznapi ötvözetektől az extrém anyagokig.)
- Fémbevonatok vastagságának és összetételének meghatározása fém szubsztráton.
- Többrétegű fémbevonat vastagságának és összetételének meghatározása.
- Műanyag bevonatok vastagságának és összetételének meghatározása fémeken.
- Fémek felületi szennyezettségének vizsgálata (vastagság és összetétel).
- Passzíváló bevonatok vizsgálata.
- Korrosziós rétegek összetételének, mélységprofiljának és vastagságának mérése.
- Festett felületeken a festék vastagságának és összetételének vizsgálata.
- Különböző rétegek összetételének meghatározása a felülettől számított mélység függvényében.
- Különböző elemek eloszlásának mérése a mélység függvényében.
- Fémes és nemfémes elemek koncentrációjának és eloszlásának meghatározása a felületen.

### Felületek, felületi bevonatok elemzése a gyártási folyamat irányítására, a hibalehetőségek kiszűrésére valamint a végtermékek minőségének ellenőrzése

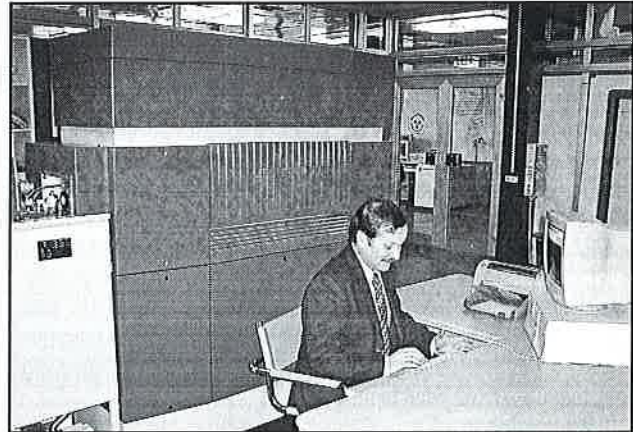
- Alumínium + cink réteggel bevont acéllemezek bevonatainak vizsgálata. A rétegek vastagságának, felületi sűrűségének meghatározása, valamint összetételének mérése különböző mélységekben.
- Galvanizált acéllemezek bevonatainak vizsgálata.
- Műanyag bevonatú fémllemezek bevonatainak vizsgálata.
- Festett fémllemezek bevonatának vizsgálata.
- Gépiparban és szerszámgépiparban alkalmazott kemény bevonatok (TiCN-TiC) összetételének, felületi sűrűségének és mélységprofiljának meghatározása.
- Nagymélységű vizsgálatok: karburizált vastag rétegek vizsgálata egészen 5 mm vastagságig.
- Kataforézissel felvitt védőbevonatok összetételének, mélységprofiljának kimérése.
- Előfestéssel kezelt acéllemezek bevonatának vizsgálata.
- A félvezetőiparban használatos többrétegű, szilícium szerkezetek összetételének, rétegszerkezetének meghatározása.
- A félvezetőiparban használatos, szilíciumra felvitt BPSG (bór-foszfor-szilícium üveg) rétegvastagságának és összetételének analízise.
- A korroszióvédelmi technikákban használatos CrN és NiP, valamint a kombinált CrN/NiP rétegek vastagságának, összetételének és homogenitásának vizsgálata.
- Üvegek, üvegbevonatok összetételének meghatározása a mélység függvényében.
- Műanyag felületekre gőzöléssel felvitt fémrétegek vastagságának, homogenitásának és összetételének vizsgálata.

### Kutatások: új termékek kifejlesztéséhez, a meglévők korszerűbbé és piacképesebbé tételéhez kapcsolódó vizsgálatok

Valamely termékek gyártása, fejlesztése során fellépő elméleti vagy

technológia jellegű problémák tisztázását segítő méréseket lehet elvégezni mind az összetétel meghatározása, mind a felületek tulajdonságainak vizsgálata, mind az anyag(ok)ban jelenlévő mm nagyságrendű zárványok, hibahelyek egyedi vizsgálatára.

Külön érdekesség az RF gerjesztés használatával az ásványi vagy fémtani csiszolatok speciális helyeinek mélységi összetétel-vizsgálata.



7. ábra. Az elmondottak megvalósítása: a Jobin Yvon JY 10000 GDS spektrométer

## Összefoglalás

A GDS spektrométer üzembeállításával a Qualitest Lab. Kft. az eddigi elemzési módszerek mellett új, nagy teljesítményű, széleskörűen alkalmazható elemzési eredményeket nyújtó összetétel és felületanalitikai vizsgálati eljárást honosított meg. Az üzembe helyezett Jobin Yvon JY 10000 GDS spektrométer (7. ábra) RF gerjesztésű, 29 csatornát tartalmazó 1m sugarú polikromátorból és a hozzá csatlakoztatott 1m sugarú monokromátorból áll.

Meghatározhatjuk különböző bázisú fémötvözetek összetételét, ha az adott alapfém elemző vonala a berendezésbe be van építve, vagy a monokromátoron beállítható. Rádiófrekvenciás gerjesztés esetén ebbe beleértendő a nemfémes elemek és a nemfémes (nemvezető) minták is. Ezen multibázisú alkalmazás széles körű lehetőséget biztosít a különböző, egészen speciális összetételű fémötvözetek elemzésére is.

A Glimm-kisülés plazmájában gerjesztett atomok színképének vonalai széles intenzitástartományban lineáris mérőgörbét adnak. A nagysebességű detektálórendszereket és a detektorokra adott feszültség szabályozását felhasználva minden nyom- vagy főalkotó elem koncentrációjának meghatározásához az elem ugyanazon színképvonala alkalmas lehet. Rádiófrekvenciás gerjesztést használva ez alkalmazható vezető és nemvezető anyagú minták esetén is.

A felületi rétegek összetételének, mélységprofiljának vizsgálatán kívül természetesen lehetőség van a rétegek vastagságának és felületi sűrűségének mérésére.

### Spektrométerünk jellemzői:

A vizsgálható maximális mélység kb. 0,1 mm.

A mélységprofil felbontása 10 nm körül van.

A mélységprofil relatív pontossága 5 %.

Vizsgálható koncentrációtartomány: 100% – 0,0001% (elemtől függően).

A réteg összetételének meghatározási relatív pontossága 6%.

## Irodalom

R. Payling, D.G. Jones and A. Bengtson (Eds): Glow Discharge Optical Emission Spectrometry, John Wiley & Sons, Chichester (1997), pp. 70-76.

# Fémportöltésű gyanták vizsgálata

Tóth Krisztián\*

## Bevezetés

Az egész világon a műanyag feldolgozás fejlődése a követelmények jelentős növekedésével jár elsősorban a késztermék előállításában, ezen belül is a fröccsöntésben. A két legfontosabb követelmény a méretpontosság és, amit kiemelkedően fontosnak tart az összes végfelhasználó cég: a rövid gyártási idő. Ezeket a követelmények elsősorban az autó-, az elektronikai és a háztartásgép-ipar támasztja. A rövid gyártási idő magával vonzza, hogy az első késztermék, amelyen mechanikai és ergonómiai vizsgálatokat lehet végezni, minél rövidebb határidővel készüljön el. Ez nagy kihívást jelent az összes beszállítónak és a szerszámtervezéssel foglalkozó cégeknek, mivel ez a rövid határidő ma már néhány hétre, sőt napra csökkent, és megköveteli tőlük, hogy a feladat kézhezvétele után ez alatt az idő alatt újfajta szerszámot tervezzenek és gyártsanak le, amely még koránt sem biztos, hogy a végleges formája lesz az adott terméknek.

Sok tervezésben és anyagtechnológiában jártas cég foglalkozott az ún. gyors vagy flexibilis szerszámok kialakításával, hogy ezzel próbálja meg áthidalni a feladattal járó nehézségeket.

Az első ilyen irányú biztató fejlesztés a szinterézéssel kapcsolatos kutatások voltak [1]. A kifejlesztett szinterézési eljárás elve, hogy a késztermék mintáját magába foglaló formaszekrényt formázóanyagként hőre lágyuló mátrixba ágyazott szinterfém-porral (övezöttacél-porral) feltöltik, majd a felmelegített formaszekrényben a hőre lágyuló polimer megolvad és a formázóanyag rögzíti a minta alakját. Ezt az öntőszerszám-betétet a következő lépésben 1500 °C-on kiegészítik – összeolvad a szinterfém és elszenesedik a mátrix –, így egy kész kerámia öntőszerszámot kapnak, melynek felületi pórusait vörösrézrel feltöltik. Az eljárás hátrányként említik, hogy – feltehetően a bizonytalan mértékű zsugorodás miatt – a méretpontosság nem túl jó, és a termék felülete sem szép.

## A vizsgálat célja

Vizsgálataink egy másik eljárásához, az ún. epoxi betétezéssel fröccsöntő szerszám készítéséhez kapcsolódik. Ez a szerszám annyiban tér el a hagyományos fröccsöntő szerszámtól, hogy az öntőüreget formáló betétje epoxi gyantából készül, mégpedig a mintadarabról – kellő számú osztószikkal és fomaleválasztóval – készített negatív minta alapján. Ennek az eljárásnak is megvannak a hátrányai, többek között a szerszám-betét rosszabb hővezetése. A szakirodalomban közölt kutatási eredményekhez lényegében azonos szerszámgyártási technológia tartozik, csak a betét anyagában van eltérés [irodalom].

A cikkben közölt vizsgálatok célja a szerszám-betét-anyag tulajdonságainak meghatározása, illetve a tulajdonságokat javító eljárások hatásának ellenőrzés.

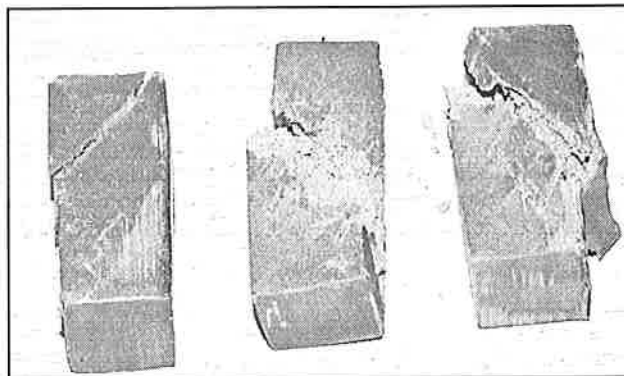
Elsődlegesen a kereskedelmi forgalomban kapható, szerszámozásra kifejlesztett epoxi gyanták hővezetési tényezőjét vizsgáltuk. Összevetettük a tiszta és a fémpor (lágvas-por) töltetű epoxi gyanták tulajdonságait. Megvizsgáltuk az Eporezit AH-16-os gyantát T-54-es térhálósítóval és az FM-4-es gyantát T-16-os térhálósítóval.

A hővezetési tényezőt ismert hővezetési anyagmintákkal kalibrált készülékben mértük, melyben a korong alakú mintát fűtött illetve hűtött rézhengerek fogják közre. Az epoxi gyanta hővezetési tényezőjét 10 mm vastag és 110 mm átmérőjű korong alakú próbatesten mértük. A fémportöltet jelentősen meghövelí a gyanta hővezetési tényezőjét (I. táblázat)

I. táblázat

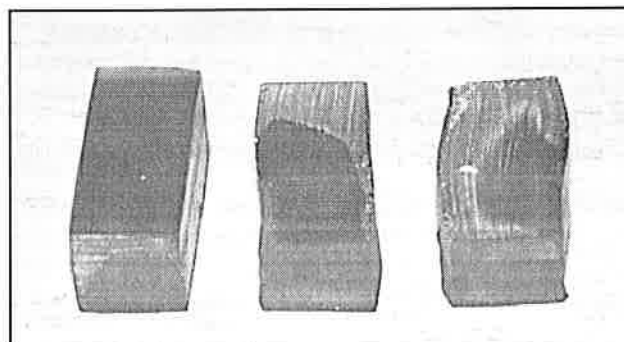
A próbatest sorszáma	epoxitartalma M/M, %	fémportartalma M/M, %	hővezetési $\lambda$ tényezője (J/s.m.K)	tömege (g)
1.	100	0	0,3	68
2.	30	70	10	132

Következőekben az epoxi alapanyagot vizsgáltuk a fémportöltés tömegarányának függvényében. A vizsgálatok célja az volt, hogy megállapítsuk, milyen befolyással van a fémportöltés a szerszám-betét mechanikai tulajdonságaira, ezáltal az ipari alkalmazhatóságára. A fröccsöntőszerszám-betét igénybetételeiből adódóan elsődlegesen nyomóvizsgálatot végeztünk a DIN 53454 szabvány előírásai szerint (Zwick Z050/TH3A típusú szakítógépen). A hasáb alakú próbatest méretei: 10x10x30 mm. A vizsgálatokból megállapítható a szerszámhoz használt anyag E rugalmassági modulusa és  $\sigma_{ny}$  nyomószilárdsága, így összevetethők a tiszta és a fémportöltésű epoxi szerszám-anyag tulajdonságai. Az 1.–3. ábra a 90%, a 70% fémportöltetű és a tiszta epoxi gyantából készült próbatesteket mutatja a nyomóvizsgálat utáni állapotban. A 4.–6. ábra pedig az előbbiekkal egyező sorrendben a nyomódiagramokat szemlélteti, míg a II. táblázatban a mért mechanikai jellemzők (E és  $\sigma_{ny}$ ) átlagértékeit foglaltuk össze.



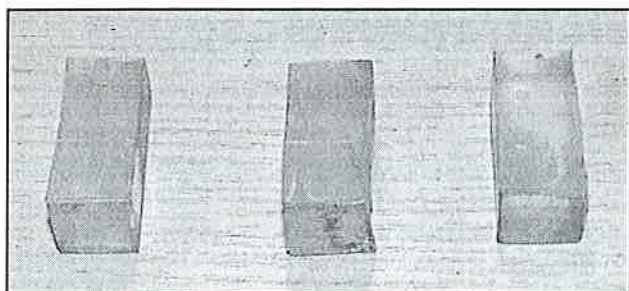
1. ábra. A 90% fémportöltetű próbatestek

Az 1. ábrán jól nyomon követhető, hogy a nyomószilárdság kritikus értékének elérésekor a próbatestben 45°-os repedésterjedés indul meg. Összehasonlítva az 1.–3. ábrákat látható, hogy a 70% fémportöltetű és nagyobb viszkozitású epoxi próbatestek nagyobb deformáció mellett sem repednek el.

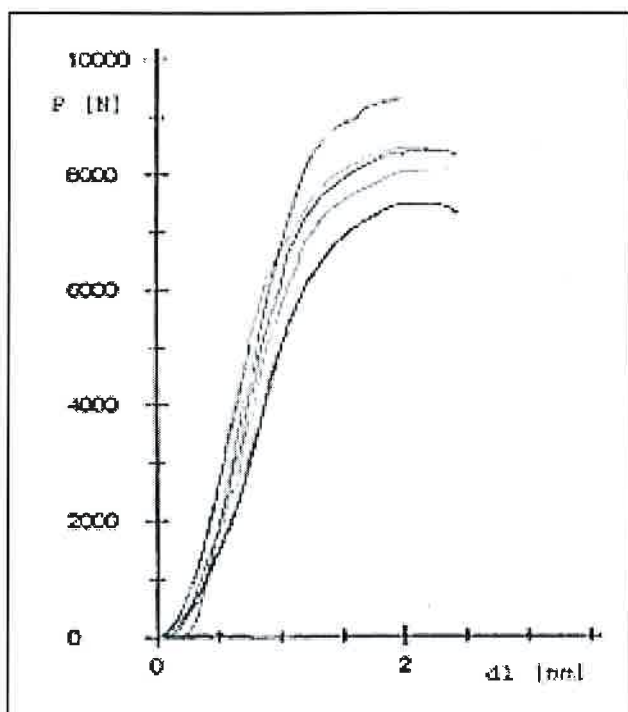


2. ábra. A 70% fémportöltetű próbatestek

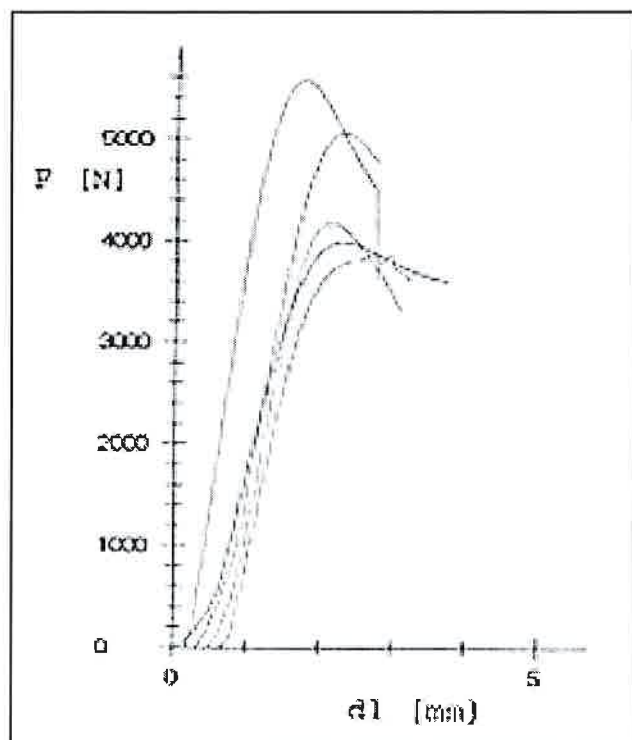
\* okl. gépészmérnök, BME Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék



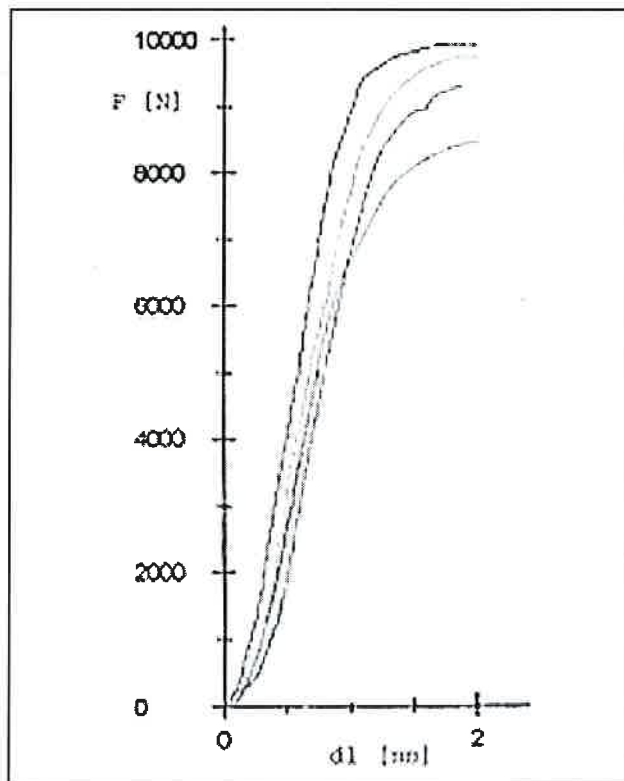
3. ábra. A tiszta epoxi gyanta próbatestek



4. ábra. A 90% fémportöltetű próbatestek nyomódiagramjai



5. ábra. A 70% fémportöltetű próbatestek nyomódiagramjai



6. ábra. A tiszta epoxi gyanta próbatestek nyomódiagramjai

A mérési eredmények igazolják, hogy 70% fémportöltés mellett még nem lesz lényeges különbség a mechanikai viselkedésben (4-5. ábra és a II. táblázat).

**II. táblázat. Az elérhető szilárdsági tulajdonságok**

Mintajellemző	E modulus, MPa	$\sigma_{ny}$ , (átlagos), MPa
Epoxi (töltés nélkül)	22000	70
Fémportöltés 70%	20000	60
Fémportöltés 90%	19000	55

**Következtetés**

Az elvégzett vizsgálataink szerint még megfelelő szilárdságú a 70%-os fémpor-tartalmú epoxi gyanta, melynek hővezetési tényezője:  $\lambda = 10$  (J/s.m.K)

Pontosabb elemzéshez több fajta gyantát fogunk több méréssel megvizsgálni. Ugyanis, elsődleges vizsgálatainkból látható, hogy – a fröccsöntésnél alkalmazott nagy nyomások esetén – szerszám-anyagként nem engedhető meg az anyagmintákon tapasztalt mértékű deformáció. Ennek mértékét hőkezeléssel és nagyobb szilárdságú epoxi gyanta alkalmazásával fogjuk csökkenteni.

**Köszönetnyilvánítás**

A cikkben közölt eredmények megszületését az Oktatási Minisztérium az ALK-00012/2001 számú pályázatunk elfogadásával támogatta.

**Irodalom**

- [1] TCT Conference 98, Rapid Tooling Research, Phill Dickens, professor of Manufacturing Technology De Montfort University Leicester, 1998
- [2] EBSCO / Injection Moulding / Rapid research, Fast tooling, 2001

# Műanyagok kisenergiájú elektronkezelése

Zsigmond Balázs\*

Napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a polimer mátrixú kompozit szerkezetű anyagok. Fontos, hogy ezekből az anyagokból készült termékek megbízhatóak legyenek, szilárdságuk a legmagasabb követelményeknek is maradéktalanul eleget tegyenek. A kompozit tulajdonságát jelentősen befolyásolja a szál-mátrix határfelületi kapcsolat. E kapcsolat erősségének fokozására a legelterjedtebb módszer a különböző adalékanyagok használata. Az utóbbi időben egyre nagyobb teret hódít a szál-mátrix határfelületi adhézió javítása kisenergiájú elektronkezeléssel. A cikk célja ezen újfajta felületkezelési módszer áttekintése, az irodalmi adatok összefoglalása.

## Elektronkezelés a polimertechnikában

### A sugárkémia technikai alapjai

Előljáróban felidézünk néhány sugárfizika alapt fogalmat:

A sugárzás energiájának mértékegysége az elektronvolt (eV). 1 eV kinetikai energiára tesz szert az elektron vákuumban 1V feszültségkülönbség hatására. Ez igen kis mennyiség,  $1\text{eV} = 1,602 \times 10^{-19}\text{J}$ .

Az intenzitás a sugárzási tér erőssége egy adott pontban a sugárzásra jellemző részecske/s vagy foton/s egységben mérve.

Az elnyelt sugárdózis az anyag egységnyi tömegében elnyelt ionizáló sugárzás energiája. Mértékegysége a gray (gréj);  $1\text{Gy} = 1\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$ , mely  $6,24 \times 10^{15}\text{eV/g}$  energia elnyelődésének felel meg a vizsgált közegben [5, 13, 14].

Az elnyelt dózisintenzitás (dózisjeljesítmény) az időegység alatt elnyelt sugárdózis. Mértékegysége:  $\text{Gy/s} = \text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Az elektronsugárzás jellemezhető a besugárzás irányára merőleges elnyelődési anyagvastagsággal. Meghatározására több empirikus képlet áll a rendelkezésünkre. A gyakorlatban a leginkább az alábbi képleteket használják:

$$r_u = \frac{E_0^2}{3d}, \text{ ha } E_0 \leq 1\text{ MeV};$$

$$r_u = \frac{E_0}{3d}, \text{ ha } E_0 \geq 1\text{ MeV};$$

ahol  $r_u$  a hasznos anyagvastagság (useful range, cm),  $E_0$  az elektronsugárzás energiája (MeV) és  $d$  a besugárzott anyag sűrűsége ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) [5, 6].

A maximális elnyelődési anyagvastagságot gyorsított elektronokra az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Maximális elnyelődési anyagvastagság [6]

Elektron energiája (MeV)	Maximális elnyelődési vastagság			
	levegőben (20°C, 1 atm) (m)	vízben (mm)	aluminiumban (mm)	ólomban (mm)
30	109	132	53,8	10,2
10	43,1	49,8	21,7	5,42
1	4,08	4,37	2,05	0,69
0,1	0,13	0,14	0,069	0,027
0,01	0,0024	0,025	0,0013	0,00073

### A sugárzás fajtái

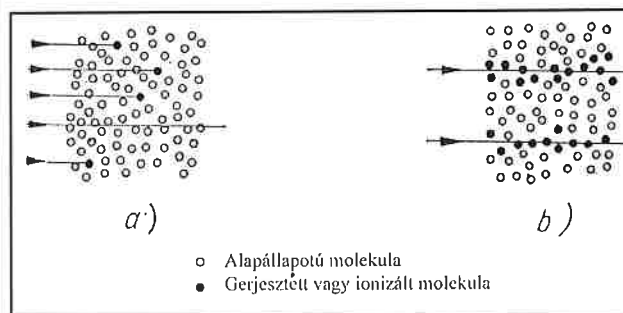
A nagy energiájú sugárzás gyűjtőnév természetükre és eredetükre nézve különböző sugárzásokat foglal össze. Ide sorolják:

- a villamos töltés nélküli, nagy energiájú elektromágneses sugárzást, vagyis gamma- és röntgensugárzást;

- a negatív töltésű elektronokból álló béta-sugárzást és a gyorsított elektronokat (ezzel a sugárzással dolgozunk mi is, ezért erre részletesebben kitérünk); továbbá

- az ionsugarakat, a neutronsugarakat és egyéb nagy energiájú sugárzástfajtákat.

Mind ezek a sugárzások elnyelődnek az anyagban és változásokat hoznak létre benne. A nagy energiájú sugárzás nemcsak gerjeszt, hanem egyes elektronokat teljesen ki is szakít az atom kötelékéből: ionokat és szabad elektronokat hoz létre. További fontos sajátossága, hogy a kémiai hatásban aktív ionok, gerjesztett molekulák és gyökök nem statisztikusan, nem egyenletesen elosztva keletkeznek a reakció-térfogatban, illetve a beeső sugárzás irányára merőleges elnyelődési vastagságú ( $r_u$ ) térfogatelemekben, hanem a nagy energiájú részecske pályája mentén koncentrálnak (1. ábra). E helyi koncentráció mértéke is kihat a besugárzott termékek minőségére.



1. ábra. Az ibolyántúli fény fotonjainak (a) és a töltött elemi részecskének (b) hatása az anyagra [15]

Valamennyi jelentősebb kutatási vagy ipari célra szolgáló sugárforrás elektromágneses vagy elektronsugárzást termel, mégpedig néhány ezer és néhány millió elektronvolt energiahatárok között.

### Elektronsugárzás

A polimer gyártása és feldolgozása során főleg elektronsugárzással dolgoznak. Ennek forrása lehet béta-sugárzó radioaktív izotóp (az esetek többségében  $^{90}\text{Sr}$ ) vagy elektrongyorsító gép. A kétféle eredetű elektronsugárzás között a gyakorlatban fontos különbségek vannak:

A gyorsított elektronok az elektronnalábon belül közel azonos energiájúak, a béta-sugárzás energia-spektruma viszont egy igen kis és egy maximális érték között folytonos.

Míg a gyorsítókkal sok MeV energiájú elektronsugárzás is előállítható, addig a besugárzási célra alkalmazható béta-sugárzó izotópok maximális energiája 1 MeV-nél kisebb. A leggyakrabban használt  $^{90}\text{Sr}$  izotópé 0,55 MeV, de a bomlásterméke, az  $^{90}\text{Y}$  is szolgáltat 2,2 MeV maximális energiájú elektronokat. A béta-sugárzó izotópok szélesebb körű felhasználását e mellett elsősorban az korlátozza, hogy egyrészt technikailag nem könnyű olyan nagy aktivitású, zárt béta-forrásokot készíteni, amelyekben csekély a forrásanyag okozta önabszorpció, másrészt a zárt sugárforrás sérülése esetén a környezet elszennyeződhet. Ez az ott-dolgozók egészségét is veszélyeztetheti, mert például a  $^{90}\text{Sr}$ -et az emberi szervezet felveszi, és amennyiben nem teljesen oldhatatlan só alakjában alkalmazzák, kalcium helyett a csontokba beépíti, és mivel a felezési ideje viszonylag nagy (25 év), nyilvánvaló, hogy rendkívül veszélyes [6, 13, 14].

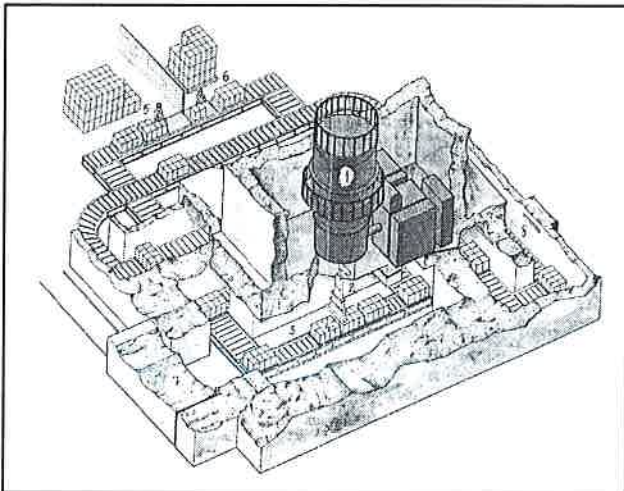
### Elektrongyorsító gépek

Az elektronokat vákuumban, nagyfeszültségű térben gyorsítják (a röntgenkészülékek, elektroncsövek, televízió-képcsövek stb. működése is elektrongyorsításon alapul). A gyakorlatban csak az olyan készüléke-

\* V. évf. hallgató, BME, Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék

ket nevezünk elektrongyorsítónak, amelyből az elektronsugár a szabad levegőre, illetve ritkább esetben közvetlenül a céltárgyba ki is léptethető. Erre a célra egy sugárkilépő ablak szolgál, amely rendszerint 40–60  $\mu\text{m}$  vastag alumínium-, duralumínium-, vagy titánfólia (a Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszéken 12,5  $\mu\text{m}$  vastag titánfóliát használunk, mivel az alumínium-fóliánál tartósabb, és jóval több elektron lép ki rajta már kis energiájú sugárzás esetén is). Az elektronnalábnak legalább is olyan energiával kell rendelkeznie, hogy képes legyen a kilépőablakon számottevő energiával áthatolni (pl., a 60  $\mu\text{m}$ -es alumínium sugárkilépő ablak 1 MeV energia felett csak mintegy 25 keV energiavesztéséget okoz, míg 0,2 MeV elektronenergiából a veszteség már 40 keV, a 100 keV-os energiájú elektronok pedig úgyszólván teljesen elnyelődnek az ablakban). Ezért az elektrongyorsítók feszültségét a gyakorlatban legalább 400–500 kV-ra, többnyire azonban több mint 1 MV-ra szokás választani (a kezelendő vastagság függvényében).

A kibocsátott energia szerint megkülönböztetünk nagy-, közepes- és kisenergiájú elektrongyorsító gépeket. A nagyenergiájú elektrongyorsító több mint 1–3 MeV, a közepes 0,5–1 MeV, míg a kicsi 150–500 keV energiájú elektronok kibocsátására képes. A nagy falvastagságú termékek (a mm-es nagyságrendtől a 3–5 cm-ig, ez kompozit termékek esetén már jelentős falvastagság) elektronkezeléséhez a nagyenergiájú berendezések használata jelentős előny, mivel egy lépésben térhálósítható



2. ábra. Cockcroft-Walton 10 MeV-os elektronbesugárzó berendezés Japánban [6]

2. táblázat.

Elektronkezelő berendezések felhasználása Európában [6]

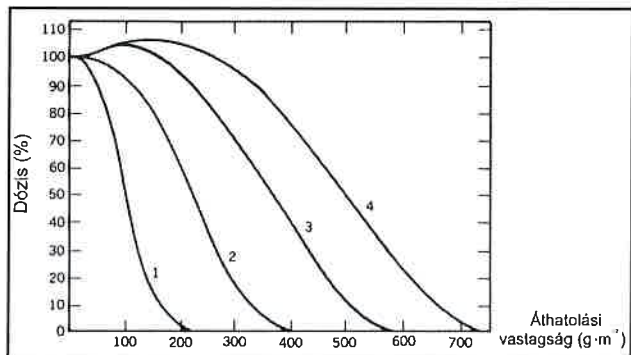
Termék	Alkalmazás
Szénszálás kompozit	Műszaki alkalmazás főleg a haditechnikában, műholdgyártásban
Fémbevonatok	Acéllemez bevonása háztartási cikkekhez, belső panelekhoz; dekoratív bevonatok az autópár számára
Fémezett papír	Alapréteg, védőbevonat készítése; címkék, cigarettacsomagoló anyagok; képeslapok
Könyvnyomás	Tinta- és festékek kezelése; védőréteggépzés; műanyag papírok
Papírbevonás	Könnyen tisztítható papírok gyors nyomáshoz
Nyomásérzékeny réteg	Autópár számára; lehúzható matricák
Szilikon-elválasztó réteggelés	Papír- és műanyag filmek bevonatai
Fa-kötőanyag elemek	Bevonatok külső és belső használatra
Fa elemek	Laminált- és védőbevonatok szekrényekhez, ajtókhöz
Röntgenérzékeny filmek	Tisztításvédő bevonat PET-ből röntgen-filmekhez

a termékek teljes keresztmetszete; viszont olyannyira drágák, hogy csak párat használnak a világon erre a célra (külön épület kell neki, általában a föld alatt, l. 2. ábra). A 2. táblázat, a teljesség igénye nélkül, felsorolja, hogy Európában az 1990-es évek közepéig kik, mire használtak elektrongyorsító berendezéseket a műanyagiparban [1, 6, 8, 9, 13, 14, 15].

Legnagyobb jelentősége, a bevonatkészítés és a felületkezelés területén, a kisenergiájú elektrongyorsító berendezésnek van. A 3. táblázat néhány kisenergiájú gép jellemzőit és gyártóit tartalmazza. Néhány, a kisenergiájú berendezésekre jellemző, vastagság-dózis görbét a 3. ábra szemléltet.

3. táblázat. A világ vezető elektronkezelőgép-gyártói [6]

Típus	Energia (MeV)	Teljesítmény (kW)	Pásztázási szélesség (m)
Irelec (francia)	0,2 0,3	20 22,5	0,3÷1,8 0,3÷1,8
Polymer Physik (német)	0,15÷0,28	≤56	0,22÷2,5
Nissin High-Voltage (japán)	0,3 0,3 0,3	7,5 19,5 30	0,45 1,2 1,8
Avrora-2 (orosz)	0,3÷0,5	25	0,5÷2,0
EOL-400	0,4	14	≤2,0
Electrocurtain (USA)	0,15÷0,3	≤100	0,5÷2,0
BroadBeam (USA)	0,15÷0,3	≤360	0,3÷2,5

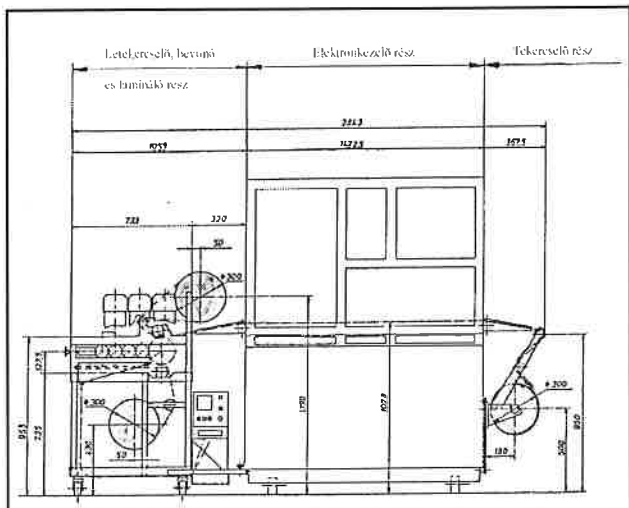


3. ábra. Az elnyelt dózis változása az áthatolási vastagság és az elektron energiájának függvényében: (1) 0,15; (2) 0,2; (3) 0,25; (4) 0,3 MeV [6]

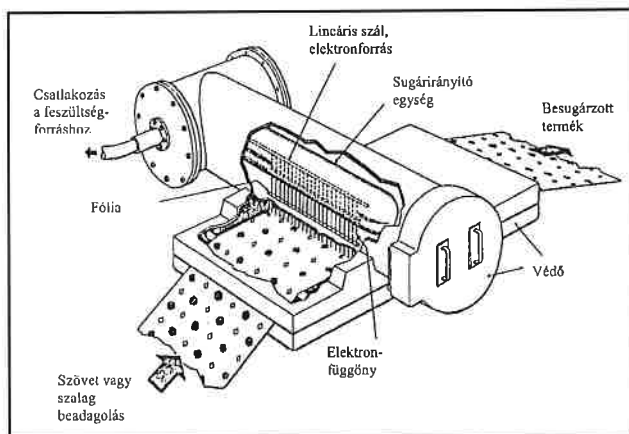
A Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszéknek az Energy Science Incorporation (ESI) által gyártott 175 keV-os Electrocurtain berendezés, és a hozzátartozó kiszolgáló berendezések állnak a rendelkezésére (4. ábra). Az elektronkezelő berendezés két fő részből áll: a feszültségforrásból, amely lényegében egy SF<sub>6</sub> gázzal töltött transzformátor, és az elektronfüggőnyt szolgáltató, henger alakú feltétből. Az „elektronfüggőny” az 5. ábra szemlélteti. A gép főbb paramétereit a 4. táblázat adja meg [8, 9, 15].

Két fontos paraméter határozza meg az elektronkezelés hatékonyságát, termelékenységét: a felhasznált feszültség és a sugáráram. E két paraméterrel lehet beállítani a kívánt intenzitást. A termelékenységet, és az elnyelt sugárdózist az előbbi két paraméteren kívül még a szállítószalag sebessége befolyásolja. Nyilvánvaló, hogy lassabb sebesség esetén kisebb intenzitású sugárzás is elegendőbb lesz, mivel több ideig lesz a fegyverzet alatt az anyag. Nagyobb sebességhez pedig nagyobb intenzitású sugárzás szükséges; azaz ugyanahhoz az áramerősséghez több dózis is tartozhat az áthaladási sebesség függvényében. Az összefüggést a 6. ábra szemlélteti.

A gép kiszolgáló berendezése – Polytype SA (Fribourg) cég által gyártott – Lab-coater gépi szalagimpregnáló berendezés, valamint ugyanezen cég által gyártott szalagelhúzó, tekercselő készülék. Az elrendezést a 4. ábra mutatja. Maga az impregnálás, laminálás végezhető az elektronkezelés előtti vagy utáni helyzetben, illetve pályahelyzetben [9].



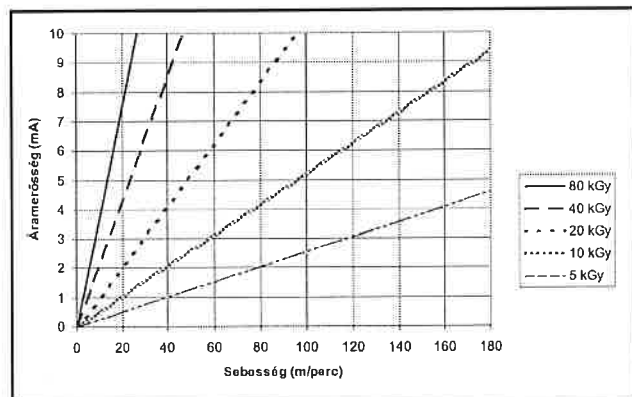
4. ábra. Az Electrocurtain (elektronkezelő) berendezés és a hozzá tartozó segédberendezések (lamináló, feltekercselő) elrendezése [15]



5. ábra. Az Electrocurtain gép működési vázlatja [15]

4. táblázat. Az Electrocurtain gép főbb paramétereit [15]

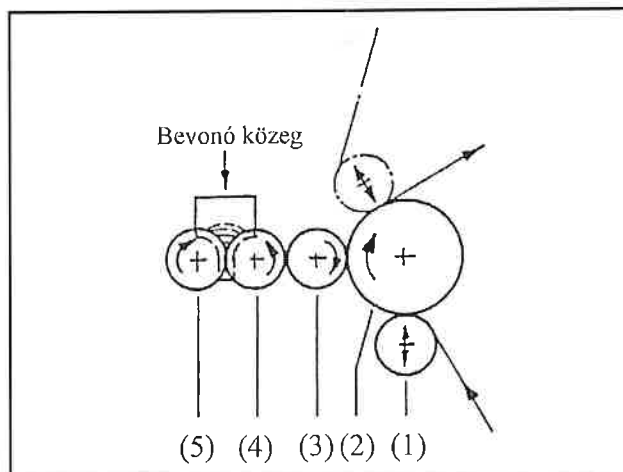
Használható feszültség/sugáráram	150÷175 kV/0÷10 mA
Besugározható maximális szélesség	150 mm
Besugározható vastagság (150 kV esetén)	75 μm
Besugározható vastagság (175 kV esetén)	125 μm
A szállítószalag sebessége	0,005÷1 m·s <sup>-1</sup>



6. ábra. Az intenzitás és a szállítószalag sebessége közti összefüggés [15]

Az impregnáló berendezéshez, a bevonó anyag viszkozitásától és a réteg vastagságától függően, a gyártó különböző elrendezési megoldá-

sokat ajánl. Céljainknak a vastag, kitűnő felületi minőségű rétegekhez ajánlott elrendezés (7. ábra) lesz a legmegfelelőbb, mivel ezzel a gyanút nemcsak a felületre, hanem kellőképpen a tow-preg szálai közé is be tudjuk jutatni, így a tow-preg teljes keresztmetszetében tudunk majd térhálós kötéseket létrehozni [15].



7. ábra. Hengerelrendezés (három nedves henger) a vastag, kitűnő felületi minőségű réteg előállításához [15], 1: szorító henger, 2: nyomó-szállító gumihenger, felette a lamináló henger, 3: bevonó acélhenger, 4: adagoló gumihenger, 5: adagoló acélhenger

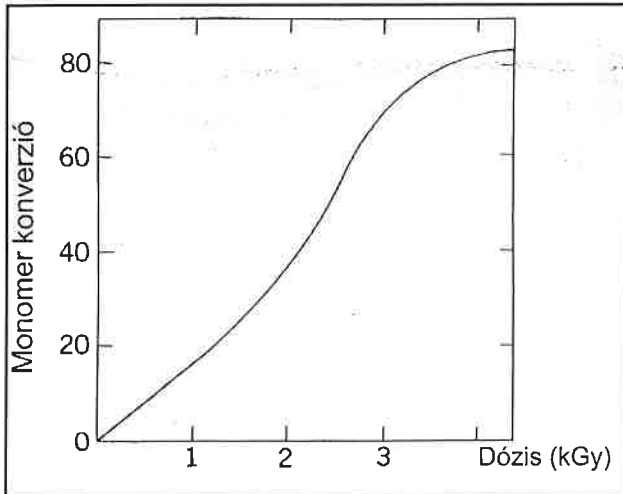
### A kisenergiájú elektronkezelés alkalmazásai

A sugárkezelt polimerekben a legfontosabb reakciók a térhálósodás (dimerizáció), a lánchasadás, a kis molekulájú gáz alakú termékek keletkezése és a telítetlenség eltűnése, illetve keletkezése. E reakciók közül a legnagyobb jelentősége a térhálósodásnak és a lánchasadásnak van. A polimer molekulák nagy mérete következtében ugyanis már kisszámú reakció (kis dózis) is nagy hatást gyakorol a fizikai tulajdonságokra: térhálósodás esetén a molekulásúly nő, és végeredményben oldhatatlan és megolvashatatlan, egyetlen órásmolekulát alkotó terméket kapunk, míg a lánchasadás következménye a molekulásúly csökkenése [1, 2, 3, 6, 10, 12, 14, 16].

#### Polimerizáció

A szintetikus polimergyártás leghatékonyabb, és ennél fogva legnagyobb ipari jelentőségű technológiája a polimerizációs láncreakció. A polimerizáció nagy molekulásúlyú anyag létrehozása kis molekulásúlyú (monomer) anyagból láncreakcióban, melléktermék keletkezése nélkül. A monomerek tartalmazhatnak többes kötéseket (pl.,  $-C=C-$ ;  $>C=C<$ ,  $>C=O$ ,  $-C=N$ ) vagy ciklikus csoportokat, amelyek gyűrűje felhasad a reakció közben. A polimerizáció jellemzésére a polimerizációs fokot szokás használni.

Mint általában a láncreakciók, az iniciálás, a láncnövekedés és a lánzcárás elemi lépéseiből áll. Ezek közül a sugárzás csak az első lépést, az iniciálást befolyásolja. A további reakciókra, a láncnövekedési lépésekre, vagyis a monomermolekulák addíciójának egymást követő hosszúságú sorára és a lánzcárásra már nincs hatással – kivéve, annyiban, amennyiben lehetővé teszi, hogy az iniciálási reakció és ezzel az egész polimerizációs folyamat különleges körülmények között, pl. kis hőmérsékleten, játszódjék le. Nagy jelentősége van annak, hogy a sugárzásos inicializálás független a hőmérséklettől. Ez azért fontos, mert a hagyományos iniciálás (kémiai iniciátorokkal vagy iniciátortmentesen, termikusan) igen nagy energiaigényű, azaz a polimerizáció hőmérsékletét nem választhatjuk meg a polimerláncok kialakulásának hőmérsékleti optima szerint, hanem azt az iniciálási reakció szükségletei határozzák meg. A polimerizáció előrehaladásának, konverziójának trendjét az elnyelt dózis függvényében a 8. ábrán lehet nyomon követni [6, 13, 14].



8. ábra. A polimerizációs fok és az elnyelt dózis közti összefüggés [6]

A polimerizáció folyamán felszabaduló jelentős hőmennyiség következtében megnő a hőmérséklet. Ez a nagy aktiválási energia következtében erősen meggyorsítja az iniciátor bomlását, ami további melegedéshez és végül a polimerizáció robbanásszerű felgyorsulásához, a polimer „besüléséhez” vezethet. A sugárzásos polimerizáció bruttó aktiválási energiája ezzel szemben kis érték, a hőmérséklet növelése sem a polimerizáció sebességét, sem a polimer tulajdonságait (pl. molekulaszúlyát) nem befolyásolja lényegesen.

A sugárzásos polimerizációnak gyakorlati jelentősége van a blokk-, a gyökös kopolimerizációnál, a tömb-, az oldószeres, az emulziós, a szuszpenziós, az ionos, az ojtásos polimerizációknál [6, 10].

**Térhálósodás, lánchasadás**

A térhálósodás és a lánchasadás rendszerint egymás mellett játszódik le, azonban a két reakció közül az egyik döntően érvényesül. Amennyiben a fő láncok hasadásainak száma nagyobb, mint a térhálós kötések keletkezése, a polimer végeredményben degradálódik, ellenkező esetben pedig térhálósodik, ebből következik, anyagfüggő tulajdonság, hogy melyik polimer térhálósodik, és melyik degradálódik besugárzás hatására (5. táblázat).

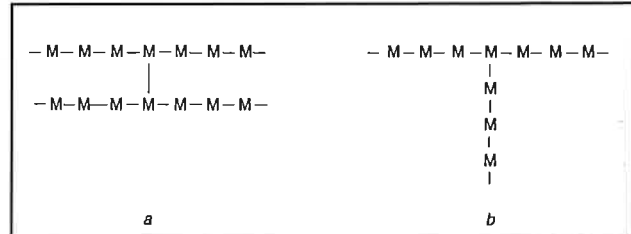
A térhálósodás és a degradáció nem egyensúlyi sugárkémiai eljárás, megváltoztatja a polimer szerkezetét, ennél fogva a fizikai tulajdonságait. A polimerek sugár okozta degradációjára egyszerű közelítő szabály vonatkozik: azok a polimerek inkább degradálódnak, amelyek fő láncában monomeregységként legalább egy kvaterner (tetraszubsztitúált) szénatomot találunk [6, 13, 14, 19].

**5. táblázat.**

**Polimerek elektronbesugárzásra adott válasza [6, 13, 17]**

Polimer	Jellemző változás	Polimer	Jellemző változás
PE	Térhálósodik	PVDC	Degradálódik
PP	Térhálósodik	PTFE	Degradálódik
PAN	Térhálósodik	PMA	Degradálódik
PVC	Térhálósodik	PMMA	Degradálódik
PVAL	Degradálódik	PET	Térhálósodik
PVAC	Térhálósodik	NR	Térhálósodik
PS	Térhálósodik	PA	Térhálósodik
PIB	Degradálódik	CA	Degradálódik

Két típusát különböztetjük meg a sugárzás által létrehozott térhálósnak: a H-típusú térhálós kötést, valamint az Y-típusú láncvégi kötést. H-típusú térhálósodásnál minden kötés (amit tetrafunkcionális kötésként írhatunk le) magában foglal négy láncszelvényt, míg Y-típus esetén csak hármát (a kötést trifunkcionális kötésként írhatjuk le). A két csoportba tartozó kötések egy 9. ábra szemlélteti.



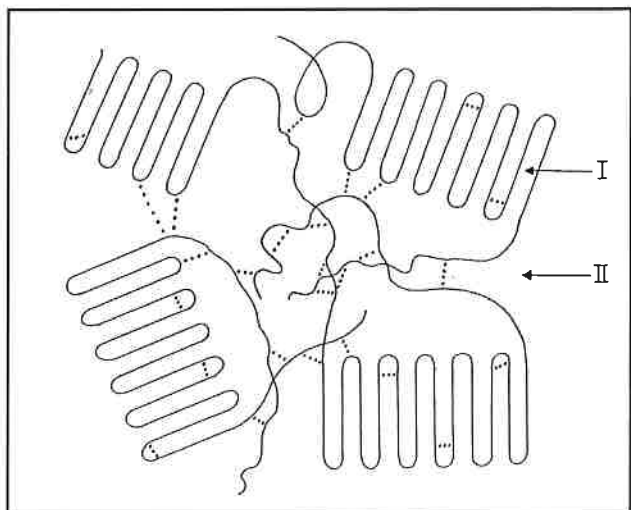
9. ábra. Láncban lévő kötések: (a) térháló, (b) végzár (M: monomer egység) [6]

A sugárkezelés okozta térhálósítást először polietilénen vizsgálták, amely az egyszerűségéből adódóan további vizsgálatok alapjául is szolgált [6, 13, 14].

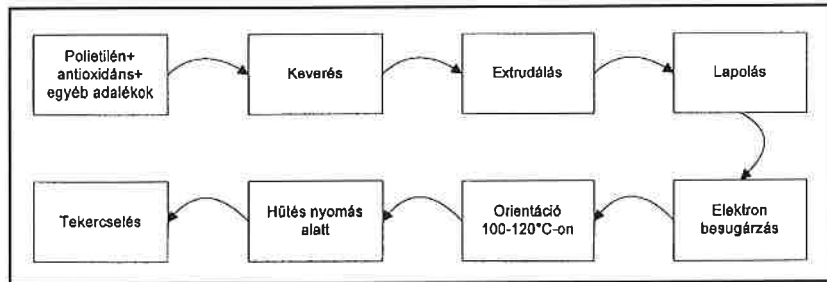
A legfontosabb különbség a termikus és az elektronkezeléses térhálósítási eljárás között, hogy míg termikusan csak kémiai térhálót hozunk létre, elektronkezeléssel fizikai térhálót is; ezáltal sűrűbb térháló jön létre, amely jobb tulajdonságokat eredményez, mint a termikus eljárással készült.

A polietilén tulajdonságai jelentősen megváltoznak a sugárkezelés okozta térhálósodás hatására. A néhány száz tíz kGy és néhány MGy dózistartományban kezelt polietilén a korábbi olvadási hőmérséklete felett flexibilis és gumiszerű lett, továbbá csökkent az oldhatósága szerves oldószerekben. Míg a nem besugárzott polietilén már 70–90°C körül meglágyul, majd viszkozusan folyóssá válik 115–125°C között, addig a besugárzott polimer olvadási pontja, már kis dózis mellett (~0,02 MGy) is, nem kevesebb, mint 250°C fölé tolódik. Ha a PE-t igen nagy dózisnak tesznek ki, akkor a polimer üvegszerű, és nagy rugalmassági modulusú lesz. A polietilénben térhálókötés létrejöhet a kristályos régiókn belül, a kristályos és az amorf fázis között, valamint az amorf fázison belül (10. ábra). Napjainkban a besugárzott polietilént főleg zsugorcsökkentésként használják, de lehet belőle készíteni hőálló filmet (11. ábra), térhálós habot (12. ábra), valamint kábelbevonatot. A kábel elektronkezelését többféle képen meg lehet valósítani (13. ábra), attól függően, hogy hány géppünk van, és milyen mennyiségben, minőségben szeretnénk előállítani a termékünket.

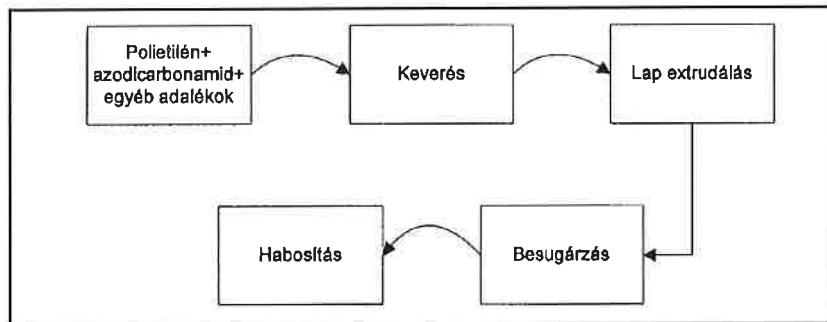
Mint azt a 2. táblázatban már bemutattam, igen sokoldalú a kisenergiájú elektronkezelő berendezések alkalmazása a műanyagiparban. Ezek közül is kiemelkedő a bevonatok készítése. Az egyik fő terület a papírípar. A papíríparban eddig sok oldószerezrel felvitt és hőenergiával szárított vagy keményített eljárást alkalmaztak. Napjainkban ez egyre inkább visszaszorul, mivel drága és környezetszennyező. Az új bevonási technikák legfőbb célja az energiatakarékosság. Azt az alapelvet figyelembe véve, hogy a jó bevonat (lakkozás, festés, nyomtatás) készí-



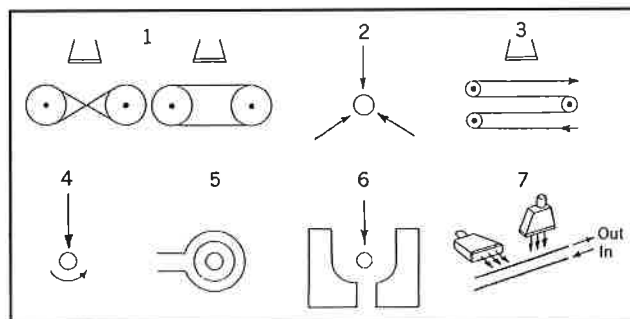
10. ábra. Sugárzás hatására létrehozott szerkezet polietilénben, I: kristályos rész, II: amorf rész [6]



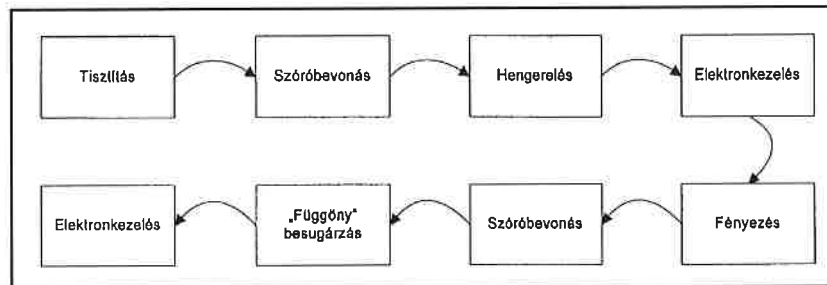
11. ábra. Hőálló film készítésének egyszerűsített vázlata [6]



12. ábra. Térhálós hab készítésének egyszerűsített vázlata [6]



13. ábra. A kábel besugárzásának lehetőségei: 1. két oldalról; 2. három oldalról; 3. négy oldalról; 4. besugárzás a kábel forgatásával; 5. koaxiális besugárzás; 6. kör alakú mágnessel; 7. két gyorsítóval, négy oldalról [6]



14. ábra. A chip határretege készítésének egyszerűsített vázlata [12]

tésénél nemcsak fizikai „száradásra” van szükség, hanem irreverzibilis kémiai reakciókra, olyan eljárásra van szükség (a polimerizációhoz, térhálósodáshoz), amely nem igényel növelt hőmérsékletet, hanem szobahőmérsékleten elindítható és végrehajtható. Ezen kritériumoknak, az ebben a fejezetben bemutatott figyelembe vételével, a kisenergiájú elektronkezelés mindenképpen megfelel. Elektron-sugárzással 100–200 µm vastagságban biztonságosan polimerizálhatunk, térhálósíthatunk. Ezzel az eljárással két nagyságrenddel csökkenti lehetett a bevonás költségét. Ehhez viszont olyan anyagokra van szükség, amelyeket könnyen lehet térhálósítani elektron-sugár-kezeléssel. Ilyen anyagok a több funkciós oligomerek, prepolimerek [10, 11]. Az eljárás további jelentősége, hogy sugárérzékeny bevonatok, filmek is készíthetők ezzel az eljárással [8, 9, 10, 11].

Jelentős a felhasználás az elektronikai iparban is. Itt főleg chip-pek határrejtegeit készítik elektronkezeléssel. Ezen folyamatot mutatja be a 14. ábra.

Új irányvonalat képvisel a természetes szálakkal (pl., bambuszrost, kókuszrost, bazaltszál) erősített, elektronkezelt kompozit termék előállítás. Ezek a termékek gyakran nem használhatók, mivel gyenge a biológiai stabilitásuk, de biztató eredményeket értek el különböző adalékanyagok segítségével [6, 10, 12].

A gumipar is használja ezt a kezelési eljárást. A Forma-1-es autók gumijának több rétege is elektronkezeléses eljárás eredményeképpen lesz a kívánalmaknak megfelelő kopási, tapadási tulajdonságú [1].

### Irodalom

1. Berejka, A. J., Eberle C.: Electron Beam Curing of Composites in North America; 12th International Meeting on Radiation Processing, Avignon, France, 2001.
2. Fengmei, L., Jianwen, B., Xiangbao, C., Huaying, B., Huiliang, W.: The Influence Factor of EB Curing Epoxy Matrix; 12th International Meeting on Radiation Processing, Avignon, France, 2001.
3. Sanders, C., Lopata, V., Kremers, W.: Electron Curing of Composite Structures for Space Applications, Executive summary, 1997
4. Norris, R. E., Schulz, M. D.: Selection of Materials to be Utilized in Fabrication Tooling for EB Curing of Composites; EB Curing of Composites Workshop, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1996
5. Mark, J. E.: Physical Properties of Polymers Handbook American Institute of Physics, Woodbury, New York, USA, 1994
6. Woods, R. J., Pikaev, A. K.: Applied Radiation Chemistry: Radiation Processing Wiley-Interscience Publication, John Wiley&Sons, Inc., New York, USA, 1994
7. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
8. Czvikovszky, T.: Application of Low-Energy Electron-Beam Curing in Plastics Processing and Coating Technologies, Radiat. Phys. Chem., 26, 5, (1985)
9. Czvikovszky, T., Helyes, L., Madai, Gy.: Energia-takarékos papírbevonási technikák UV-sugárzással és elektronkezeléssel, Papíripar, 6, (1983)
10. Czajlik, I., Takács, E., Czvikovszky, T.: Reactive Oligomers: The Key Compounds of The Next Years Radiation Chemical Technology Radiat. Phys. Chem., 35, 64 (1990)
11. Czajlik, I., Takács, E., Czvikovszky, T.: The Effect of Monomer Functionality in EB-Curable Coatings Radiat. Phys. Chem., 35, 76 (1990)
12. Czajlik, I., Takács, E., Alpár, T., Czvikovszky, T.: Advanced Materials Made by Radiation Processing Radiat. Phys. Chem., 31, 639 (1988)
13. Tabata, J., Ito, Y., Tagawa, S.: CRC Handbook of Radiation Chemistry CRC Press, Inc., Florida, USA, 1991
14. Dobó, J.: Gyakorlati sugárkémia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967
15. Electrocurtain gépkönyv, Energy Science, Inc., Massachusetts, USA, 1988
16. Janke, J. J., Norris, R.E., Yarborough, K., Havens, S. J., Lopata, V. J.: Critical Parameters for Electron Beam Curing of Cationic Epoxies and Property Comparison of Electron Beam Cured Cationic Epoxies Versus Thermal Cured Resins and Composites EB curing Composites Workshop, Oak Ridge, Tennessee, USA, 1996
17. Jagrovia, P., Holl, P., Seidel, J., Häring, E.: Elektronenstrahlhärtung für Beschichtungen und andere Anwendungen Expert Verlag, Germany, 1990



## Könyvek, kiadók

**Törésmechanikai könyvek – Fracture Mechanics** – Itt több, a törésmechanikához és a peremelem módszerhez tartozó könyv rövid leírása és beszerzési információi érhetők el. A könyvek az Egyesült Királyságban működő WIT kiadó gondozásában jelennek meg. Ugyanitt megtalálhatók más tudományterülethez tartozó könyvek leírásai is (akusztika, számítástechnika, elektronika, környezetvédelem, folyadék-dinamika, hőtan, anyagtudomány, matematika, numerikus módszerek stb.). A honlapon on-line vásárolni lehet, és lehetőség van címszó alapú keresésre is.

[http://www.cmp.co.uk/acatalog/subject\\_fracture\\_damage\\_mechanics.html](http://www.cmp.co.uk/acatalog/subject_fracture_damage_mechanics.html)

**Kézikönyvek – Handbook** – Ezen a helyen több, a fémekkel, a műanyagokkal, kerámiákkal és kompozitokkal foglalkozó kézikönyv ismertetője olvasható. Ezek a kiadványok egyaránt megvásárolhatók könyv és számítógépes adathordozó formájában (CD). A rövid összefoglalón kívül mindegyikhez megtaláljuk a beszerzéséhez szükséges információkat is. A könyveket megrendelhetjük az internet segítségével is (on-line). Ezt megkönnyíti a rendkívül hatékony kereső rendszer, amely az innen beszerezhető könyvek közül kijelöli a megadott kulcsszavaknak megfelelőt. A kiválasztottakról a részletesebb információkat ugyancsak könnyen elérhetjük. <http://www.normas.com>.

## Projektek

**OMEGA – élettartambeccslés növelt hőmérsékleten – Program on Elevated Temperature Life Assessment.** A projekt a maradék élettartam beccsléséhez szükséges információkat és gyakorlati utmutatókat rendszerezi. A közölt adatok szerint egy kézikönyv megírására is vállalkoztak a szervezők, amelyben az eddig összegyűjtött adatokat rendszerezik. <http://www.forengineers.org/mpc/omega.htm>

**Hegesztett gőzvezetékek károsodásának megelőzése – Prevention of Failures of Welded Steam Piping** – Ez az internetes leíróhely a projektet mutatja be, és egyidejűleg a kidolgozott szoftverről (OMEGA-pipe) is közöl információkat. A projekt főleg hegesztéssel és kúszással kapcsolatos elemzéseket tartalmaz. Az alkalmazott eljárások magukba foglalják mind az analitikus, mind a statisztikai módszereket. A programba foglalt információk alapján élettartambeccslést lehet végezni. Bővebb információk a projekt honlapján érhetők el: <http://www.forengineers.org/mpc/hep.htm>

**Nyomástartó edényekhez használt anyagok – Materials for Pressure Vessel Service with Hydrogen at High Temperatures and Pressures** – Ezen a helyen egy olyan projekt leírása található, amely a nyomástartó edényekhez használt anyagok kiválasztásával, mérési módszereivel és az élettartam beccslésével foglalkozik. Külön kitérnek a hidrogén okozta károsodásra és a növelt hőmérsékletű üzemeltetés következményeinek elemzésére. <http://www.forengineers.org/mpc/hpv.htm>

**A Mo-ötvövesű (0,5%) acél hidrogén okozta károsodása – Hydrogen Attack of Carbon 1/2 Mo Steel (MOLYHY)** – Ennek a projektnek a fő témája a hidrogén okozta károsodás vizsgálata az említett acél esetében. Ezt az acélt főleg nyomástartó edények és csővezetékek gyártásához használják. A vizsgálati cél négy részre oszlik: az élettartam beccslése, ultrahangos kalibrálás a hegesztések melletti vizsgálathoz, a mikrostruktúra és a károsodásra való hajlam közötti összefüggések kutatása, valamint a károsodási mechanizmusok és az ezeknek megfelelő károsodás mértéke közötti összefüggések meghatározása. A kidolgozott eredmények az élettartambeccslő szoftverek kiinduló adatait képezik. <http://www.forengineers.org/mpc/hydrogen.htm>

**Ajánlott kritérium a megengedhető feszültségekre kúszás esetén – Proposed implementation of criteria for assignment of allowable stresses high in the creep range** – Ez a projekt több anyagvizsgálati eredmény bemutatásával ajánl egy új minősítési kritérium bevezetését a kúszásnak kitett szerkezeti anyagokra. Az ASME által kezdeményezett munka célja az volt, hogy kiterjesszék az anyagok tervezési módszereit a növelt hőmérsékletű felhasználás eseteire. Főleg az ausztenites acélok és a Ni-tartalmú ötvözetek esetén vizsgálták ennek a lehetőségét. A projekt tartalmazza a különböző anyagokra vonatkozó megfelelő diagramokat is, amelyek hasznos adatot szolgáltathatnak a felhasználóknak. <http://www.forengineers.org/mpc/elevtemp.htm>

**Üzemeltetésre való alkalmasság – Fitness-for-Service for Process Equipment** – Ez a projekt a nyomástartó edények üzemeltetésre való alkalmasságát célzó műszaki alapokat és módszereket rendszerezi. A program az üzemeltetésre alkalmasság megítéléséhez szoftvert is készített (PREFIS), amellyel elvégezhetők a repedésterjedés, a törésmechanikai és a korróziós számítások. Az üzemelte-

hetőség valószínűségi számításokra alapozódik. <http://www.forengineers.org/mpc/ffs.htm>

## Szoftverek kipróbálási verzióval

**CalTran** – ez egy interaktív program, amely a cső alakváltozásait vizsgálja a csővezeték geometriájára jellemző, egy többszenzoros szerkezettel felvett adatokból. Az alakváltozások animációs képei is meghatározhatók. <http://www.cfertech.com/>

**PVLife** – Törésmechanikai program a nyomástartó edények és csővezetékek kifáradási maradék élettartamának számításához. A fáradásos repedésterjedés számításához a program a lineáris törésmechanikára alapozott elméletet használja. Alapértelmezésben a fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállás értékei a martenzites, a ferrit-perlites és az ausztenites acélokra vannak megadva. A felhasználó más anyagtipusokat is definiálhat. A szoftver Windows alapú. [www.emtinc.com/download1.htm](http://www.emtinc.com/download1.htm)

**SWEL** – Ez a program a kúszási-kifáradási élettartam valószínűségi alapon történő beccslését végzi, mégpedig alapértelmezés szerint a növelt hőmérsékleten működő, repedést tartalmazó csővezetésekre. A számítás tengelyirányú és körkörös elhelyezkedésű repedéseket tud figyelembe venni. Tartalmaz anyag-adatokat és lehetőséget biztosít újabb anyag-adatok figyelembe vételére és tárolására is. [www.emtinc.com/download1.htm](http://www.emtinc.com/download1.htm)

**FRANC2D** – Ez a program végelemes szimulációk végzésére képes síkbeli (síkfeszültségi, sík alakváltozási, és tengelyszimmetrikus) repedésterjedési esetekre. A rendszer egyaránt működik PC és UNIX alapú gépeken és ingyenes változata is letölthető. A megadott helyen angol nyelvű dokumentációhoz is hozzá tudunk jutni, ugyancsak ingyenesen. A rendszer csak a megoldó részt tartalmazza, azonban mind a preprocessor (CASCA) mind a posztprocessor is ingyenesen elérhető. Ugyanakkor lehetőség van más ismert VEM rendszerben való preprocessorra is (NASTRAN, COSMOS, ANSYS, ABACUS, NISA, PATRAN). A háromdimenziós törésmechanikai elemzéseket is lehetővé tevő FRANC3D program is elérhető ugyanerről a helyről. [http://www.cfg.cornell.edu/software/CFG\\_software.html](http://www.cfg.cornell.edu/software/CFG_software.html)

Dr. Klementis Ottó



**Dr. Endre Árpád**  
(1901-2002)

Szomorúan értesültünk, hogy dr. Endre Árpád okl. gépészmérnök, okl. hegesztő mérnök, az Épületgépészeti Technikum alapítója, a Pollák Mihály Műszaki Főiskola nyug. tanszékvezető tanára életének 102. évében elhunyt. Az új iránt élete során mindvégig nyitott – 1980-ban doktorált a BME-n! – mérnök-tanár kollégánk tevékenysége példaértékű (életútjáról a 100. születésnapja alkalmából tudósítottunk lapunk 2001/1. számában). Emlékét kegyelettel megőrizzük!

## ESEMÉNYNAPTÁR

### Hazai rendezvények 2002-ben

**Gillemot László – emlékülés** a tudós születésének 90. évfordulója alkalmából, október 8., 10 óra, Budapest, BME díszterem.

**Őszi Vektor-konferencia**, október 15–17. Balatonfüred, Uni Hotel. Témakörök: a korrózióvédelem újdonságai, szennyvíz- és vegyszerálló bevonatok, fémek bevonatok a korrózió ellen. Az előadási szándék bejelentése: azonnal (aug. 31.). Jelenkezés: szept. 15-ig. Cím: Vektor Kft. 8200 Veszprém, Wartha V. u. 1.; tel./fax: (88)428-514, e-mail: vektor@vekor.hu, honlap: www.vekor.hu.

### Nemzetközi rendezvények 2002/03-ban

**Polymerwerkstoffe 2002**, Int. Fachtagung, Halle, szeptember 25–27. Tájékoztató: <http://matsci.iv.uni-halle.de/p2002/>

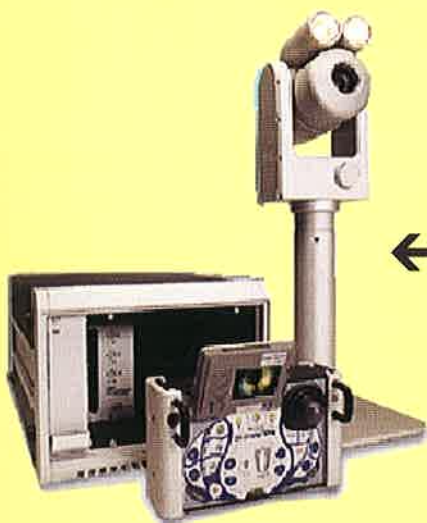
**ENC 2002 Int. Nuclear Congr. and World Exhibition**, Lille, Franciaország, október 7–9. Tájékoztató: [www.enc2002.org](http://www.enc2002.org)

**Eurocorr 2003 – nemzetközi konferencia és a kapcsolódó 14. Hungarokorr korrózióvédelmi valamint a 4. Hungarocoat lakk-festékipari nemzetközi szakkonferenciák**, 2003. szeptember 28. – október 2., Budapest Kongresszusi Központ. Szervezi az Európai Korróziós Szövetség megbízásából a Magyar Korróziós Szövetség, a kiállításokat pedig a Festékipari Kutató Kft-vel közösen. **Fő témák:** a korróziós jelenségek, az ellenük való védelem és a festékformulázás legújabb K+F eredményei. Kiállítási terület: 1500 m<sup>2</sup>. Részletes tájékoztató a [www.chemres.hu/eurocorr](http://www.chemres.hu/eurocorr) és a [www.diamondcongress.hu](http://www.diamondcongress.hu) honlapokon olvasható.

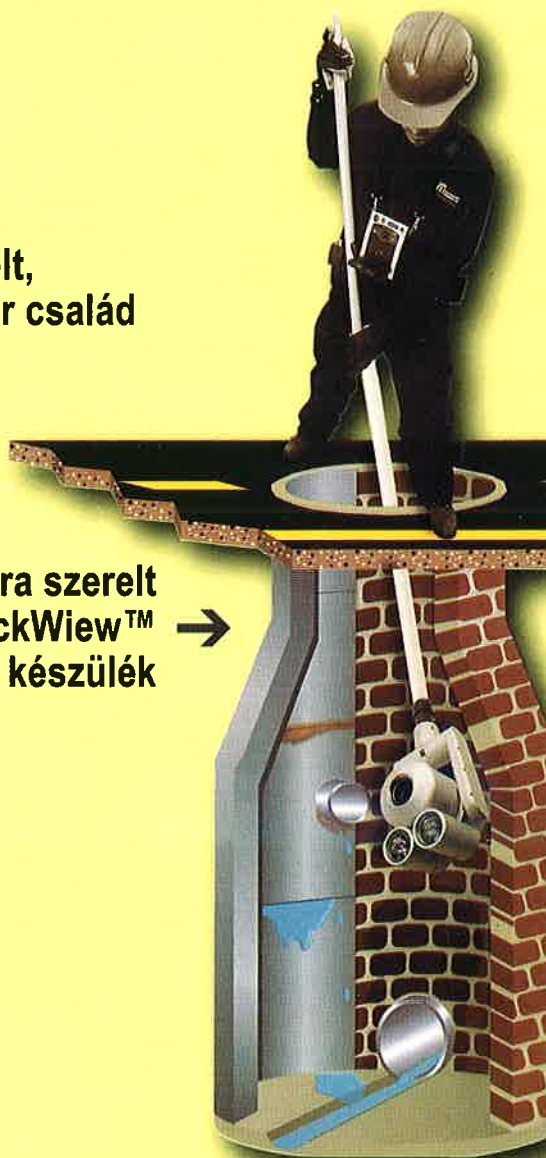


## Videokészülékek

a nagy belső terek gyors ellenőrzéséhez  
pásztázó és billenő, színes CCD kamerával, zoom: 72:1



← Ca-Zoom távvezérelt,  
telepíthető rendszer család



Teleszkópos rúdra szerelt  
QuickView™  
videokamerás készülék →



← Rovver® önjáró, távirányítható  
videokamerás robot család,  
csővezetékek vizsgálatához

**TESTOR Kft.**

Budapest XII., Meredek u. 33. · 1538 Budapest, Pf. 528. · Tel.: 319-1-319 · Fax: 319-2284  
www.testor.hu · info@testor.hu

# Zwick / Roell - minőség, megbízhatóság



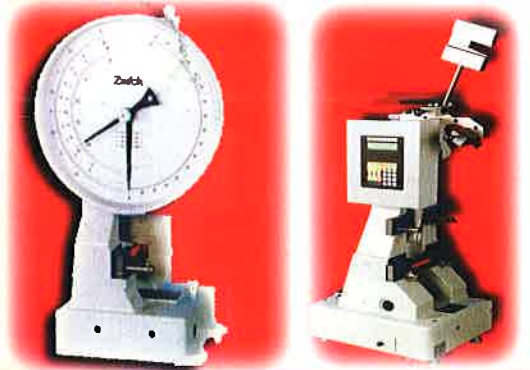
## Univerzális szakítógépek húzó-, nyomó-, hajlítóvizsgálatokhoz.

Asztali és álló kivitel, számítógéppel is működtethető a nagy komfortást biztosító testXpert segítségével, amely a Zwick berendezések adatgyűjtő, értékelő szoftvere.



## Keménységmérő berendezések

Shore, Rockwell, Brinell, Vickers, stb. skálákon, kézi, asztali kivitelben.



## Ingás ütőművek

Charpy, Izod, ütveszakító metódusú vizsgálatokhoz. Analóg vagy digitális kijelzéssel, számítógép, nyomtató illesztésének lehetőségével.

A Zwick / Roell csoport képviselőjében forgalmazunk még: próbatest-kivágókat, -marókat, Melt-index mérőket, kopásvizsgálókat, kapillár reométereket.

## AHLBORN Hőmérsékletmérő műszerek



Kézi és többcsatornás készülékek,  
speciális szenzorok műanyag-  
és gumiipari területre



## Precisa Félmikro-, analitikai-, laboratóriumi gyors és ipari mérlegek

## IKA - Laboratóriumi készülékek, mágneses keverők, keverőmotorok stb.

Forgalmazás, márkaszerviz, szaktanácsadás:  
**SENSELEKTRO Kft.**  
1064 Budapest  
Vörösmarty u. 33.

Tel./Fax (36-1) 342-79-82  
Telefon (36-1) 351-43-17

e-mail: [senselektro@interware.hu](mailto:senselektro@interware.hu)

