

## VIZSGÁLATTECHNIKA

## TEST TECHNICS

### AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLATOK ACÉLOK SZAKÍTÁSA ALATT ACOUSTIC EMISSION STUDY OF TENSILE TEST ON STEELS

PÓR GÁBOR, DOBJÁN TIBOR, DOSZPOD LÁSZLÓ

**Kulcsszavak:** akusztikus emisszió, szekvenciális valószínűségi hányados, AE adatbank  
**Keywords:** acoustic emission, Sequential Probability Ratio Test, AE database

#### ÖSSZEFOGLALÁS

A számítástechnikai fejlődés ma már lehetővé teszi, hogy újra az anyag szerkezetének vizsgálatára használjuk az akusztikus emissziós (AE) eseményeket. Visszatértünk az AE hajnalán végzett szakítópróbákhoz. Könyvtárat készítünk, amely lehetővé teszi az anyagszerkezetek változásainak felismerését képfeldolgozási módszerekkel. Ehhez sokkal jobb AE esemény-felismerési módszert, a Szekvenciális valószínűségi hányados tesztet, választottuk

#### ABSTRACT

New development in computer sciences opened the way to use the Acoustic Emission (AE) technique for recognition of the structure of materials, as it had been used at the early stage of application of AE. We are collecting a new library of AE events, which enables us to use the contemporary pattern recognition techniques. For that reason a better event recognition is needed. We are introducing the Sequential Probability Ratio Test for AE event recognition.

#### BEVEZETÉS

Az Akusztikus Emisszió (AE) fogalmát és jelentőségét az anyagvizsgálatokkal foglalkozók jól ismerik, és alapjait a legtöbb anyagvizsgálatokkal is foglalkozó felsőfokú tanintézményben (és persze anyagvizsgáló tanfolyamokon is) oktatják. Jól ismert, hogy az anyagok terhelés alatt recsegő, pattogó hangot bocsátanak ki. Ezt az élményt akár gyermekkorunkból is ismerős, amikor a faág recsegésére felfigyelve időben leugrunk az ágról. Igaz, a faágban a rostok szakadnak, pattannak el, azok okozzák a hangkibocsátást, de ez igen hasonló a napjainkban oly divatos szálerősítésű műanyagok AE vizsgálataihoz. A fémekben a terhelés hatására növekvő energia szabadul ki, és indukálja az akusztikus hullámokat, amikor egy-egy összekapcsolódó domén kapcsolat elpattan, az domén-támasz letörik; akkor, amikor a repedés megindul és nő, amikor diszlokációk lépnek fel.

Ezek megfigyelése alapján következtethetünk

Dunaújvárosi Főiskola, Magyar Akusztikus Ipari Diagnosztikai Laboratórium, H-2400, Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/A  
A VII. RAKK-on (2011, Eger) elhangzott előadás

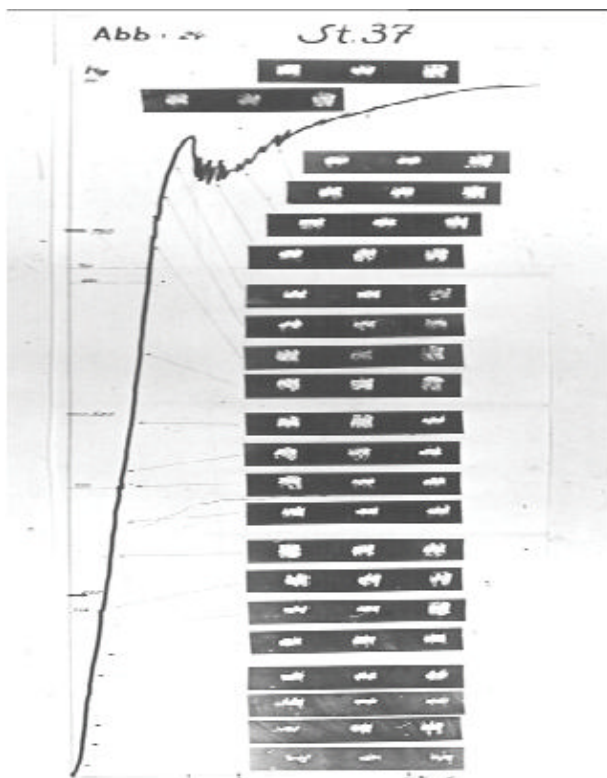
az anyag tulajdonságainak változására, szilárdságának gyengülésére. Szűcs Pál (1993) kiváló történeti áttekintéséből (és az Enciklopédia Britannica-ból) azt is tudjuk, hogy akusztikus emissziót a kiégetett agyagedények hűlés közbeni pattogásának megfigyelésére már 6500 évvel ezelőtt is használták a termék minősítésére. A fémkohászatban az ónzörej volt az, amit korán, már i.e. 2500 előtt is használtak. Az ón +13,2 °C és +161 °C között létező tetragonális változata, a fehér ón a képlékeny deformáció hatására létrejövő ikresedés során hallható hangokat bocsát ki. 1916-ban J. Csóhralszkij kapcsolatot talált az ón és cink-zörej valamint az ikresedés között. 1923-ban A.M. Pertevin és F. Le Chatelier Al-Cu-Mg ötvözetek nyújtásakor a Lüders vonalak megjelenésével párhuzamosan "rövid éles hangokat" hallott.

Olyan AE tankönyv, vagy áttekintés, amely ne emlékezne meg J. Kaiser érdemeiről az AE újbóli felfedezésében és széleskörű elterjesztésében, nem is létezik. Nevét viseli az AE vizsgálatok során jól megfigyelhető Kaiser effektus, amely szerint, ha az anyagot már terhelés érte, akkor újabb terheléskor csak akkor bocsát ki újra AE eseményeket (hangot), ha a terhelés meghaladja a korábbi. Kaiser 1949-50-ben végzett müncheni kísérletei (PhD disszertációja) után az események felgyorsultak. Már a 60-as években az elektrotechnika lehetővé tette olyan ipari mérőműszerek megalkotását, amelyeket ipari alkalmazásra lehetett használni, nevezetesen nyomás és terhelés alatt működő berendezések állapotjellemzésére, vizsgálatára kezdték használni az AE módszert. Ez annyira elterjedt, és az AE anyagvizsgáló kurzusokon annyira ezt oktatják, hogy sokan már azt sem tudják, hogy Kaiser eredetileg a kísérleteit szakítógépen végezte, és célja az anyagok minősítése, belső szerkezetének vizsgálata volt, - és nem a szerkezetek vagy tartályok minősítése. Az 1. ábrán látható egy részlet Kaiser eredeti munkájából. A szakítógörbe egyes pontjaihoz hozzárendelte az oszcilloszkóp képernyőjére vitt mikrofonjelről felvett film 3-3 kockáját. A korabeli technika csak ezt tette lehetővé.

Az AE konferenciákon és az anyagvizsgálatokban egyértelműen a diszlokációkat, a repedés-terjedést, a fázisátalakulásokat, és az anyagon

belüli belső súrlódásokat szokás az AE okaként felsorolni és ezeket vizsgálni. De használatát elsősorban a tartályok, a szerkezetek öregedésének és meglévő anyaghibáinak lokalizálására korróziós gyengüléseire használják fel. Az anyag-szerkezeti vizsgálatok lényegében háttérbe szorultak. Annyira csak ezekre figyelünk, talán el is sikkad, amikor üdítő kivételként megjelenik például az Anyagvizsgálók Lapjában Kindlein Melinda, Fodor Olivér (2010) cikke, amelyben szakítógépen és hajlító gépen vizsgálták az anyag szerkezetével összefüggő AE eseményeket.

Az elmúlt évtized forradalmian új eredményei nyomán a számítástechnika területén, most újabb lehetőségek nyílnak meg az AE használatában. Amíg az évtizedekkel ezelőtt megalkotott és azóta is használt Defektoskop és Sensophone jellegű készülékek elsősorban a beütések számát, azok hosszát, felfutási idejét és az ebből származó statisztikákat, valamint a késleltetési időket tudták csak rögzíteni, most rövidesen képesek leszünk (vagy már vagyunk) az események időjeleinek rögzítésére, azok spektrális feldolgozására, és ami legalább ilyen fontos, korszerű információtechnológiai osztályozására és elemzésére.



**1. ábra** Egy történelmi kép Kaiser 1949-es szakítási kísérletéből.

Laboratóriumunknak, a Magyar Akusztikus Ipari Diagnosztikai Laboratóriumnak (MAIDLab) eltökélt

célja, hogy az AE technikát ismét az anyagvizsgálók fontos eszközévé tegye. Ebből a célból láttunk hozzá újra a szakítógépeken történő AE anyagvizsgálathoz. Olyan eljárásokat fejlesztünk, amely reménytelivé teszi az események eredeti időjeleinek rögzítését és off-line elemzését; tovább fejlesztjük mérés technikánkat, hogy a szakítógépnél bonyolultabb anyag-szimulátorokon és magának a hengerlés folyamata közben is képesek legyünk AE jeleket mérni.

Jelen cikkben, egy szakítógépen folytatott mérés eredményeinket mutatjuk be, valamint azt a számítástechnikai fejlesztést, amely lehetővé teszi az események időjeleinek és hosszának a korábban jobb rögzítését, valamint a hullámvezetők fejlesztésének megindítását, amelyekkel reményeink szerint üzemi méréseket is lehet végezni az anyagok előállításában.

## AKUSZTIKUS EMISSZIÓS MÉRÉSEK A BÉTA 100 SZAKÍTÓGÉPEN

Kísérleteinket a 2. ábrán látható Béta-100 szakítógépen végeztük. Az AE események érzékeléséhez négy, egyvonalban elhelyezett 150 kHz-es AE érzékelőt használtunk, - természetesen a két külsőt guard módban. Az AE méréseket ebben a fejezetben az ábra jobb oldalán álló Geréb és tsa kft által gyártott AED-40 Sensophone-nal rögzítettük, míg a következő fejezetben bemutatott időjeleket már egy saját fejlesztésű, a kép bal oldalán álló számítógépes rendszerrel, amelynek gyorsműködésű része egy beágyazott National Instruments PXI mintavevő egység.

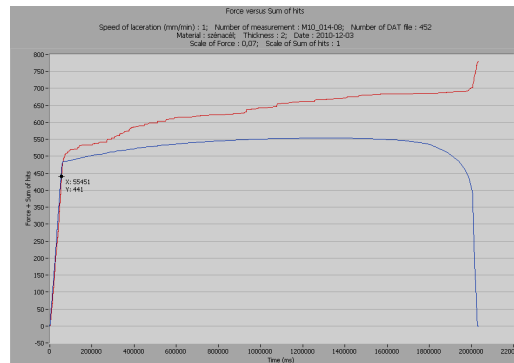
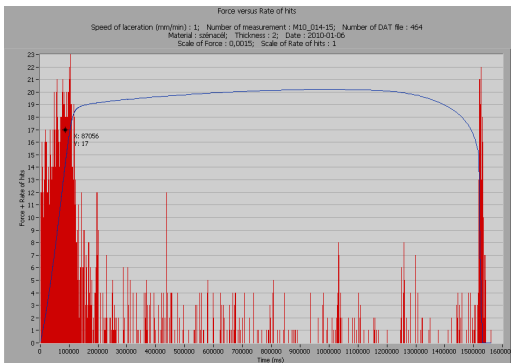


**2. ábra** A Béta 100- szakítógép az AED-40 és a beágyazott számítógépes rendszer

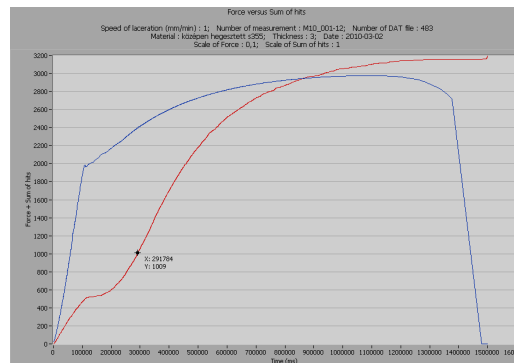
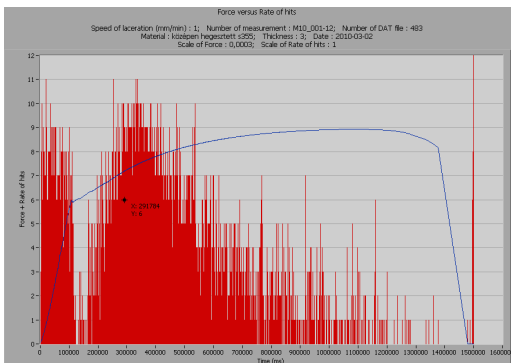
A 3. ábrán egy hagyományos ausztenites acél-szalag szakítógörbjét láthatjuk a beütések gyakoriságával és a beütések összegével. Vegyük észre a szembeszökő különbségeket a 4. ábrával, amelyen egy félbevágott és meghegesztett szakítólap-

nak mutatjuk be a szakító görbéjét, a beütés gyakoriságát és a beütések összegét. Nem egy, hanem több mint egy tucat hasonló ábrát készítet-

tünk, és ezekből megállapítható, hogy jó egyezést mutatnak. Azaz, ezek a görbék valóban jellemzik az adott anyagot.



**3. ábra** A szakítógörbe (kék) a Rate of hit (bal oldalt pirossal) valamint a Sum of hits (jobbra pirossal jelölve) hagyományos ausztenites szakítólapnál



**4. ábra** A szakítógörbe (kék) a Rate of hit (bal oldalt pirossal) valamint a Sum of hits (jobbra pirossal jelölve) hagyományos hegesztett szakítólapnál

Vegyük észre, hogy a hegesztett anyagnál egy második lineáris szakasz kezd kialakulni a folyás kezdete után, amely az AE események újbóli erős megindulásához vezet némi csendes szünet után. Ezt mi a hegesztésben kialakuló másodlagos nyúlásokra vezetjük vissza.

Hasonló mérésekből egy egész könyvtárat kívánunk létrehozni a jövőben, amely lehetőséget nyújt arra, hogy a terhelések alatt észlelt AE események alapján azonosítani tudjuk az anyagok szerkezetét és esetleg a hegesztés jóságát is. A könyvtárra elsősorban a korábban (Pirumov et al., 2011) ismertetett ideghálózati módszer következtéseinél lesz szükségünk.

## ÚJ MÓDSZER AZ AE ESEMÉNYEK KERESÉSÉBEN

Jól ismert, hogy a XX. század második felében előállított AE mérőrendszerek elsősorban az AE börsztrök 6 fontos paraméterét voltak képesek rögzíteni: a beállított küszöbszinthez tartozó be-

ütések kezdetét, hosszát (duration), felfutási idejét (rise time), amplitúdóját, az oszcillációk számát (counts) és a teljesítményét, valamint energiatartalmát (MARSE). A beütések időpontjából persze további statisztikát és integrálok képezhetők. A korabeli technika nem tette még lehetővé a magas frekvenciás jelek olyan mintavételezését, amely a teljes jelet rögzítette volna, de már lehetővé tette a fenti paraméterek előállítását az elektronikai szintek összehasonlítása alapján.

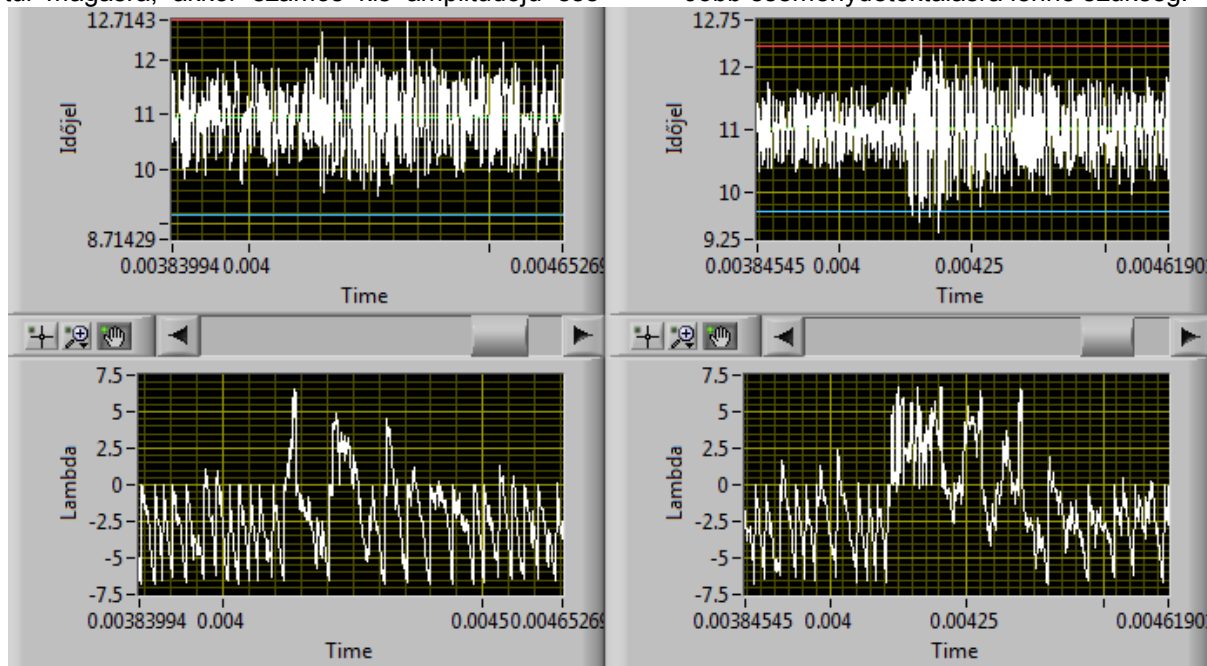
Az elmúlt 20 év számítástechnikai fejlődésének köszönhetően, ma már megnyílt annak lehetősége, hogy akár a teljes időjelet rögzítsük jó felbontással. Ez a technika csak azért nem terjedt el, mert hihetetlen nagyméretű időfájlokat hoz léte, amelyben a börsztrök megkeresése a régi módszerrel még off-line is igen fáradságos, és kis hatékonyságú lenne. A túl sok adattal nehéz mit kezdeni.

Ezért megnövekedett az igény más módszerű esemény-kiválasztásra. A küszöbszinthez való jelszint hasonlítás igen sok hibát rejt magában. Ha



alacsonyra állítjuk a küszöböt, akkor igen gyakran még a háttér szintje is események bizonyulhat. Ha túl magasra, akkor számos kis amplitúdójú ese-

ményt veszünk el. A Duration igen erősen függ a küszöbszint beállításától (de a többi paraméter is). Jobb eseménydetektálásra lenne szükség!



**5. ábra** A mért időjelek és alattuk az SPRT módszer lambda görbéje.

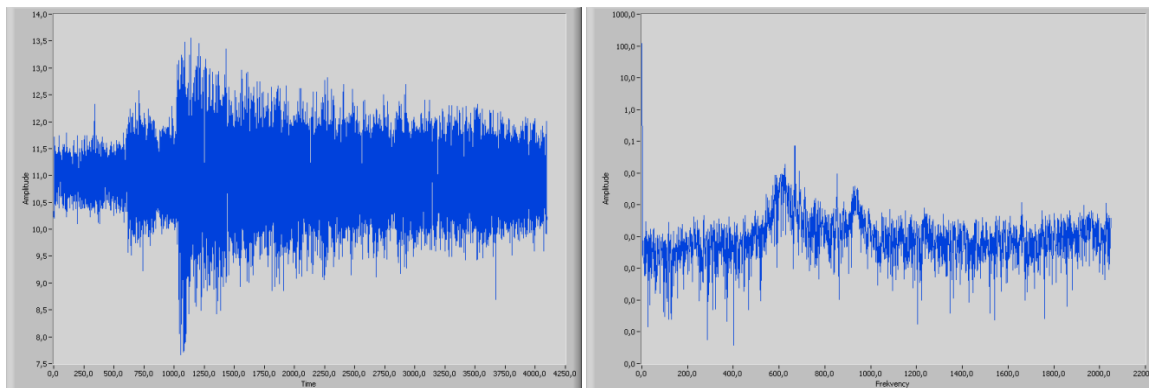
Jól látható a lambda görbe segítségével, hogy kezdődik az AE esemény és hol végződik

Mi a jobb eseménydetektálást a Szekvenciális Valószínűségi Hányados Tesztben (SPRT) találtuk meg. Előbb Autoregressziós (AR) szűréssel eltávolítjuk a háttérben fellelhető esetleges determinisztikus összetevőket és zéróközepűvé tesszük a jelet, majd az SPRT kiválasztja a szűrt jelből azokat az eseményeket, amelynek a statisztikája különbözik a háttértől. Ebben rejlik az SPRT hihetetlen előnye! Nem szintekkel dolgozik, hanem a mintavételezett jelek statisztikáját számítja ki, és arról állapítja meg, hogy az egyértelműen a háttér statisztikáját követi, vagy attól eltérő statisztikát. Akármilyen deviáció a statisztikában jelzést generált, amelyet mi eseménynek értékelünk. Az SPRT lambda függvénye egyértelműen mutatja, hol kezdődik az esemény és hol ér véget. Az SPRT olyan érzékeny, hogy ha a szórásban az esemény egy kettes faktorról (értsd 6 dB-lel) magasabb, mint a háttér, akkor már reagál. Még ennél kisebb amplitúdó különbséget is képes észrevenni, ha az esemény statisztikája különbözik a háttér valószínűségi

sűrűség függvényétől. Márpedig a borsztök valószínűségi eloszlási függvénye a Gamma eloszláshoz tartozik, míg a háttéré a megszokott normál eloszlást követi!

Az elmondottakat jól demonstrálja az 5. ábrán látható időjel és az alatta lévő lambda függvény két időfelbontásban. Egyértelműen látható, hogy mind nagy borsztnél, mind kis, alig kiemelkedő eseménynél mind a kezdeti időpont, mind a duration jól azonosítható a lambda függvény segítségével.

A 6. ábrán egy ilyen módon kiválasztott időjel szakaszt, azaz borsztöt, és annak spektrumát láthatjuk. Ha az SPRT-vel kiválasztottuk a borsztöket, akkor elég könnyen elő lehet állítani az események spektrumát. Ez különben elvész a sokkal hosszabb háttér szakaszok miatt, mivel az események száma még mindig sokkal kisebb, mint a háttér fluktuációk mennyisége.



6. ábra A regisztrált borszt az időjelben és annak spektruma

## ÖSSZEFOGLALÁS ÉS DISZKUSSZIÓ

Az elmúlt húsz év fejlődése a számítástechnikában, lehetővé teszi, hogy amit Kaiser 1949-ben még oszcilloszkóp és filmfelvevő segítségével rögzített, ma már digitálisan is rögzítsük. Ugyanakkor a számítástechnikai képfelismerési és mesterséges intelligencia technikák megnyitották az utat az elemzések előtt. Ez lehetővé teszi, hogy az AE a jövőben ne elsősorban a szerkezetek öregedésének és szilárdságának vizsgálatában hasznosítsuk, hanem anyagvizsgálatoknál, az anyag-előállítás (pl. hengerlés) közbeni vizsgálatokban is. Olyan könyvtárakat kívánunk létrehozni, amely lehetővé teszi, hogy az alakfelismerő programokat és ideghálózatokat is bevehessük a szövetszerkezetek tanulmányozására. Ehhez a Gleeble szimulátoron végzett mérések során is AE vizsgálatokat tervezünk, az általunk kifejlesztett hullámvezetők segítségével.

## IRODALOM

- [1]. Szücs P (1993) AZ AKUSZTIKUS EMISSZIÓ, mint szilárdtestfizikai jelenség és mint roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer, előadás a Veszprémi Egyetemen, elérhető a Műszertechnika honapján
- [2]. J. Kaiser (1953): "Untersuchungen über das Auftreten Gerauschen beim Zugversuch" Ph.D. thesis Technische Hochschule, München
- [3]. Kindlein M., Fodor O. (2010): Akusztikus aktivitás akusztikus emisszió vizsgálatoknál Anyagvizsgálók Lapja, 2010/1-2 37-41 old.
- [4]. Primurov et al. (2011) Előadás a MAROVISZ jelen konferenciáján