

# PÁSZTÁZÓ ULTRAHANGOS ÉS ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLATOK BEVEZETÉSE A RONCSOLÁSMENTES DIAGNOSZTIKÁKBA

## INTRODUCTION OF SCANNING ULTRASONIC AND EDDY CURRENT TEST IN NONDESTRUCTIVE DIAGNOSTICS

*Agócs Mihály, Kocsó Endre, Molnár János, Páger Béla, Dr. Pór Gábor  
Dunaújvárosi Egyetem, MAID Laboratórium*

### ÖSSZEFOGLALÁS

A hagyományos roncsolásmentes vizsgálatokat kézzel végezték, a vizsgáló fejeket kézzel mozgatták. Ez jelentős szubjektív elemet és pontatlanságot vitt be a vizsgálatokba. Az eredmények kiértékelése is a nyers válaszjelek alapján történt, csak a szakértő láthatta át, hogy milyen visszhangok alapján. A mechatronika óriási fejlődése nyomán ma már számítógép vezérelt letapogatást tudunk végezni és vezérelni, a visszhangokat egységes tömbökbe rendezve, akár 2D akár 3D ábrákat tudunk előállítani. A mozgás precizitása (jobb, mint 100 mikron) lehetővé tette, hogy akár ilyen felbontással is észleljünk hibákat. A 2D és 3D megjelenítés már a „közel” valóságos mélységeket és hibákat jeleníti meg színes forgatható képeken.

### ABSTRACT

Traditional non-destructive tests were performed manually. This was significantly subjective and inaccurate. The results were also evaluated based on the basis of on the echo signals, in reality only the expert could see what was the origin of echoes. As a result of the enormous evolution of mechatronics, we can now run computer controlled scans, sorting echo pictures into unified array, and either 2D or 3D models can be produced from that. The precision of movement (better than 100 microns) made it possible to detect errors with similar precision. The 2D and 3D displaying present today "almost" real depths and errors in color rotating images.

### 1. BEVEZETÉS

A mai digitális adatfeldolgozás és mechatronika fejlődésének és terjedésének köszönhetően lehetőség nyílt automatizált roncsolásmentes vizsgálatok elvégzésére képes rendszerek kialakítására, akár ipari igényeket is kiszolgálva. Talán meglepő, de már 1974-ben

kialakították a mai modern automatizált pásztázó akusztikus mikroszkópok őst [1].

A Magyar Akusztikai és Ipari Diagnosztikai laboratóriumban (MAIDLab) a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0027:

„Nagy Teljesítő Képességű Anyagok Kutatása” projekt keretében kialakítottunk egy automatizált vizsgálatra képes pásztázó akusztikus mikroszkóp rendszert [2], melyet elsősorban egy autóiipari érdeklődés váltott ki. A feladatunk az volt, hogy fröccsöntött műgyantába öntött tokozott elektronikákban lévő apró légbuborékokat, porozításokat detektáljuk és lokalizáljunk, melyek a gyártás során alakultak ki. Miután sikerrel véghezvittük a feladatot újabb ipari érdeklődésre tovább folytattuk a kutatást és a fejlesztést jelentős eredményeket elérve a ponthegesztések és egyéb hegesztések kötéseinek vizsgálatában. Mindezek után egy másik megkeresés hatására a rendszerünket átalakítva sikereket értünk el belső kulcsnyílású csavarok roncsolásmentes automatizált vizsgálatában, ahol is az akár 1 mm-es méretű csavarfej alatti bemetszéseket is ki tudtuk mutatni, melyek a felületről kiinduló repedéseket modellezték.

Napjainkban az EFOP-3.6.1-16-2016-00003: „K+F+I folyamatok hosszú távú megerősítése a Dunaújvárosi Egyetemen” projekt keretében bővítjük ki rendszerünk alkalmazhatósági körét az örvényáramos elven működő vizsgálatokra. Jelenleg sikerrel végzünk vizsgálatokat ezen elven alapuló vizsgálatokkal szabványos etalonokon. Nem eltitkolt célunk további ipari igények kielégítésére alkalmas rendszert kialakítani, mint ahogy azt már korábban is tettük ultrahangos „területen”. Eddig elért eredményeink bemutatása során látni fogjuk, hogyan sikerült megvalósítanunk egy az adott célokhoz „illeszthető” mérőrendszert, mely számos előnnyel rendelkezik.

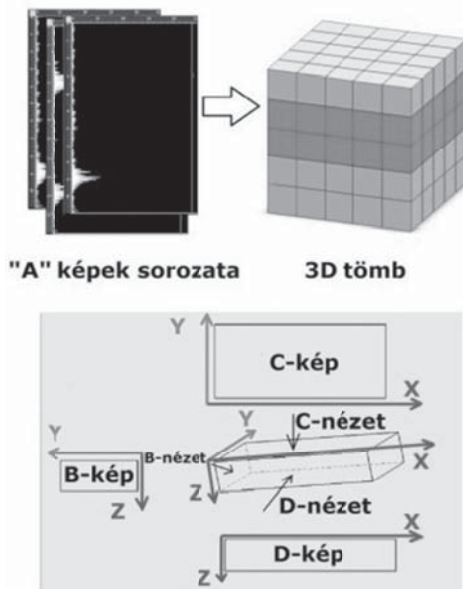
## 2. RENDSZERÜNK MŰKÖDÉSE

Az Isel gyártmányú step controller mozgató rendszerrel [3] akár 100 mikronos pontossággal is tudjuk mozgatni az egykristályos fókuszált 30 MHz-es [4] bemenítéses ultrahangos vizsgáló fejet (1. ábra). Azért használunk fókuszált vizsgálófejet, mert azzal meglehetősen jobb axiális és laterális ultrahangos felbontás érhető el a hagyományossal (nem fókuszált) szemben. A medencében lévő víz az elengedhetetlen csatoló anyag funkcióját látja el, mely az ultrahang megfelelő terjedését biztosítja.



1. ábra. Automatizált vizsgálatra képes pásztaó akusztikus mikroszkóp

A vizsgálat szakaszos mintavételezésű, tehát a fej előre definiált lépésközönként történő megállásánál a szokásos ultrahangos A-képből származó információkat (ultrahang intenzitás értéke, helye) a LABVIEW-val [5] készült program feldolgozza. Az A-képek feldolgozása során mintha „elforgatnánk” azokat és az adatokat a valós raszteres mozgatásnak megfelelően egy 3 dimenziós tömbbe rendezzük (2. ábra).



2. ábra. A-képek „elforgatásával” és 3 dimenziós tömbbe rendezéséből előállítható nézetek értelmezése

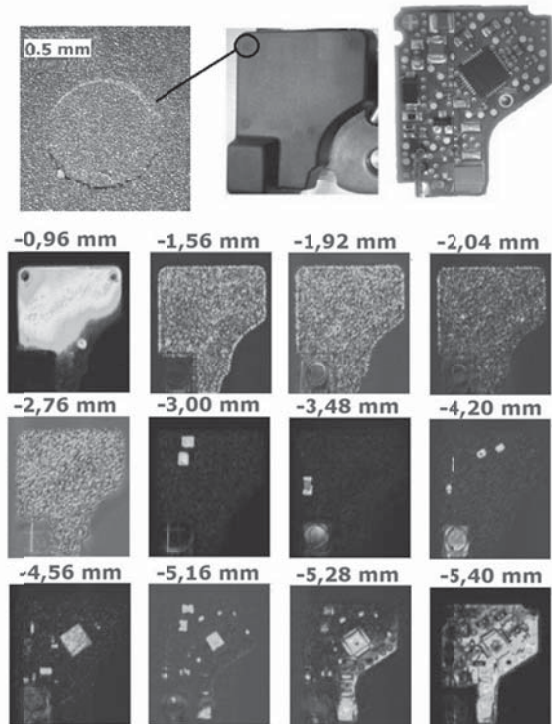
Ezt követően a 3D tömbből már lehetőség van kiolvasni az adatokat oly módon, hogy különböző 2D-s nézetek továbbá egy realiztikus 3D modell jöjjön létre.

Az alkalmazásban számos előre definiált színpaletta van, melynek segítségével a különböző intenzitású jelek mértékétől függően különböző színekben jelennek meg a mérési pontok ezzel is könnyítve az értelmezést, de természetesen a felhasználó használhat egyedi színskálát is. A különböző 2 dimenziós nézetek létrehozásakor lehetősége van a felhasználónak egy általa definiált számra felosztani az eredetileg adott nagyságú tömböt és azokat akár különböző rétegszámtól is meg tudja jelentetni tomográfias rétegeket létrehozva ezzel.

Az eredmények értelmezésénél nagy segítséget nyújthat a felhasználónak a létrehozott 3D-s modell, mely egy forgatható, nagyítható térben helyezkedik el illetve maga a modell zömíthető és nyújtható, akár szabadon definiálható áttetszetőségi értékkel is megjeleníthető. Ezzel a lehetőséggel adott esetben sokkal könnyebb „megtalálni” a vizsgált tárgy belsejében lévő folytonossági hiányokat.

## 3. SIKERES ALKALMAZÁSAINK

### 3.1. Tokozott elektronika vizsgálata



3. ábra. Tokozott elektronika valós képei (első sor) és a különböző mélységekből származó tomográfias C-képei

Mivel a vizsgálat során a felület nem volt teljesen merőleges az ultrahangos vizsgáló fejre, így a vízszintes „felszeletelés” sajátossága miatt egy-egy réteg több képen is látható.

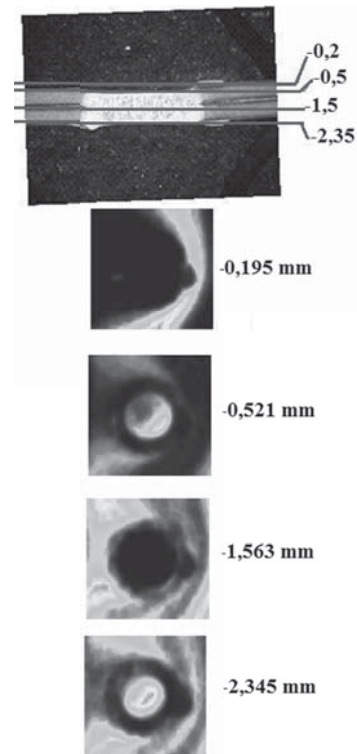
Az első sorban a középső fotó a vizsgált tárgyat mutatja, amelyből balra kinagyítottuk a sarokban lévő benyomódást, ami az alatta lévő első sorban lévő ultrahangos szeletelésen jól látható, jobbra egy kibontott tokban lévő elektronika fotója látható (3. ábra).

A műgyanta felületén lévő 0,1 mm-es benyomódás (első sor első ábra) ultrahangos eredményét mutatja a második sor legelső ábrája. A felület alatt (-1,56 mm) számos apró pöttyöt láthatunk, melyek a légzárványok, porozítások reflexiói. A következő mélységi rétegekben a nyáklapra épített többi elektronikai elemen kívül látható a nagy fekete IC felülete is (-4,56 mm). A következő rétegben az IC alatt lévő chip is kitűnik, melynek magassága 100 mikron körül van.

### 3.2. Egy „megfelelő”, azaz hibátlan ponthegeesztett kötés vizsgálati eredményei

A ponthegeesztés mára már széles körben elterjedt hegesztési technika az autópárban. A rendszerünkkel való vizsgálat lehetővé teszi a hegesztett kötésekben lévő zárványok illetve egyéb reflexiós felületek kimutatását. Az ultrahang egyik sajátossága miatt, a megvizsgálhatóság feltétele, hogy nem lehet túlságosan egyenetlen a heglencse felülete, mivel azon az ultrahang egy része szóródik.

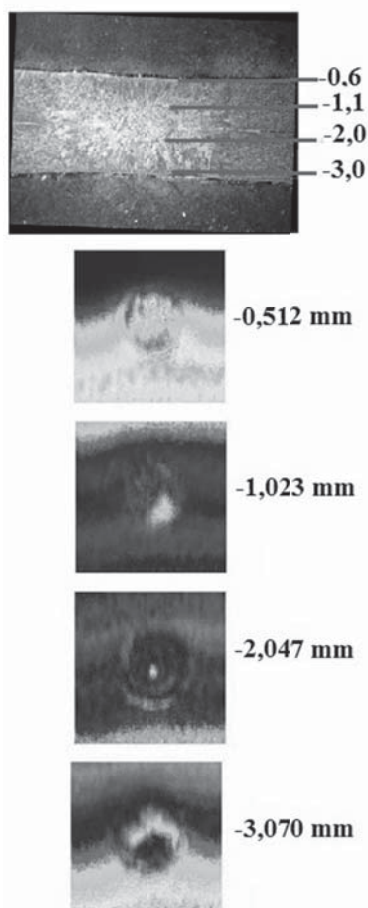
A ponthegeesztett kötés valós keresztmetszetén ábrázoltuk a különböző mélységeket a könnyebb átláthatóság miatt (4. ábra). A már említett ok miatt egy-egy réteg több képen is látható. A felső lemez homlokfalának szintje (-0,195 mm) alatt a heglencse homlokfalának reflexiója (-0,521 mm) látszik teljes geometriai hűséggel. Az ömledék összeolvadásának a szintjében (-1,563 mm) nem látható semmilyen ultrahangos visszaverődés, mivel megfelelő volt az összeolvadás. Az utolsó mélységi szinten a heglencse hátfalának visszaverődéséből származó indikációk jelennek meg.



4. ábra. „Megfelelő” ponthegeesztett kötés keresztmetszete és a különböző mélységekből származó tomográfias C-képei

### 3.3. Egy „nem megfelelő”, azaz hibás ponthegeesztett kötés vizsgálata

A „nem megfelelő” ponthegeesztés (5. ábra) ultrahangos eredményeinek értelmezése teljesen megegyezik a már tárgyalt megfelelő ponthegeesztett kötés eredményeinél elmondottakkal. A meg-nemfelelés” úgy jelentkezik, hogy mivel az összeolvadás nem volt elégséges a heglencsében, ezért a létrejött zárványnak a felső (-1,023 mm) és az alsó (-2,047 mm) részéről is kaptunk reflexiót az olvadási zónában.

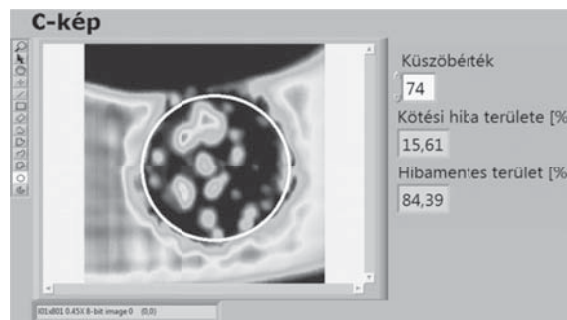


5. ábra. Megfelelő ponthegeesztett kötés keresztmetszete és a különböző mélységekből származó tomográfias C-képei

### 3.4. Kondenzátor kisütéses csaphegeesztett kötés vizsgálata

Ennél a vizsgálatnál az volt a feladatunk, hogy a hegesztési rétegben létrejött zárványokat detektálva az alkalmazás határozza meg a hegesztett összterületből mekkora hányadot tesz ki a kötési hiba és a hibamentes terület. A zárványok által keltett reflexiók geometriája a hegesztési rétegből származó C-képen egyértelműen azonosítható (6. ábra).

Az alkalmazás a vizsgálatot követően automatizáltan végzi el a kiértékelést, amely során az ábrán látható fehér kört automatikusan elhelyezi a megvizsgált és azonosított hegesztési kör középpontjára. Majd a fehér körön belül lévő ultrahangos intenzitás értékeket analizálva javasol egy küszöbértéket (kontúr alapú felismerés segítségével), vagy a felhasználó definiálhatja az értéket, végül pedig a program meghatározza a kötési hiba és a hibamentes terület mértékét százalékos formában.



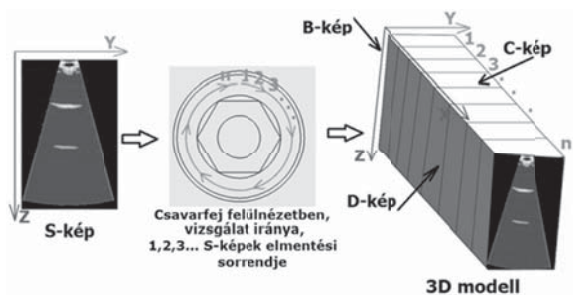
6. ábra. Hegesztési rétegből származó C-kép és a zárványok összterületének meghatározása

### 4. BELSŐ KULCSNYÍLÁSÚ CSAVAROK VIZSGÁLATA

Egy másik feladatban M12-es belső kulcsnyílású (továbbiakban BKNY) csavarokat kellett automatizáltan eredeti működési környezetükben megvizsgálni, ahol víz van. A csavarokban a jellemző tönkremenetelt a csavarfej alatti repedések jelentették. A hitelt érdemlő eredmények érdekében szikraforgácsolással létrehozott bemetszéssel modelleztük a repedéseket, „etalonnak” számító mintadarabokat létrehozva. A bemetszések 1 mm-es, 3,5 mm-es illetve 5,5 mm-es legnagyobb sugárirányú mélységgel készültek.

Ebben az esetben az Olympus Epoch 1000i kijelzőjén megjelenő S-képeket (szektoriális-kép) használtuk fel, mely a vizsgálati darab egy kétdimenziós metszeti képe. A vízszintes tengely jelenti a vizsgált tárgy szélességének egy részét, a függőleges tengely pedig a mélységének egy részét. Az S-kép előállításához fázisvezérelt ultrahangos fej szükséges, mely több különálló kristályt tartalmaz csoportokba rendezve, így az Epoch 1000i képes az egyes csoportokat különböző időben pulzáltatni, ezzel formálva a hanghullám alakját. Éppen ezért a rendszer összeállítása annyiban különbözik az eddigtitől, hogy a csavarok vizsgálatához egy 10L32-A10 típusú fázisvezérelt ultrahangos vizsgálófej használtunk egy SA10-0L jelzésű előtéttel. Valamint egy általunk összeállított vizsgálófej rögzítését és mozgását kivitelező egyszerű mozgató berendezést használtunk, mely lehetővé teszi, hogy az előtét a vizsgálat során meghatározott távolságra legyen a csavarfej homlokfalától. A vizsgálat szintén szakaszos mintavételezésű.

Az eredeti S-képekből származó adatokat a letapogatott vonal (csavarfej körgyűrűjének középvonalához tartozó kör) mentén rendezzük a 3 dimenziós tömbbe, figyelve a megfelelő sorrendre (7. ábra).

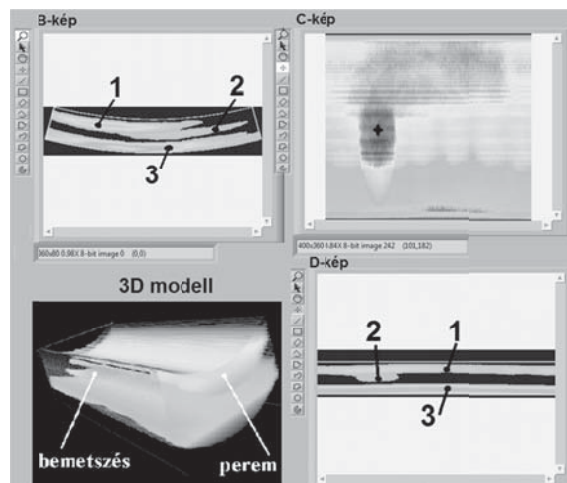


7. ábra. S-képek feldolgozásának értelmezése

Jelenleg csak a legkisebb bemetszéssel (1 mm) készült eredményeket mutatjuk be, mivel ezek a legrelevánsabbak, de természetesen a nagyobb bemetszéseket is tudjuk detektálni és lokalizálni. A megfelelő beállítások alkalmazása mellett egyértelműen meg tudjuk különböztetni a csavarfej bemetszés nélküli alsó peremének és az alsó perem alatti bemetszés reflexióját.

Az alkalmazással lehetőség van szabadon definiálni egy vizsgálati tartományt az eredeti S-képből, ezzel adott esetben az eredmények interpretációja is könnyebbé válhat a felhasználónak. A vizsgálati tartományunknak a csavarfej alsó peremének reflexiója (8. ábra „1” jel) és a csavarfej homlokfalának második (8. ábra „3” jel) ultrahangos „lecsengése” közötti tartományt választottuk, mivel ebben a tartományban figyelhető meg legjobban a bemetszés reflexiója (8. ábra „2” jel). A C-kép egy interaktív terület, így a felhasználó bárhova kattintva megkapja az adott szálkereszthez tartozó hossz (D-kép) illetve keresztmetszeti (B-kép) képet. Az elkészült 3D modellen is jól megfigyelhetők a bemetszésből eredő indikációk.

A felhasználónak lehetősége van az eredmények automatizált kiértékelésére, mely jelentős időmegtakarítást jelent. Lényege, hogy az automatizált vizsgálat elindítása előtt ki kell választani a B-képek közül maximum öt darabot, melyen csakis a csavarfej alsó peremének és a csavarfej homlokfalának ultrahangos „lecsengéséből” származó visszhang látható. A kiválasztott B-képeken a program meghatározza hány darab ultrahang intenzitás érték található, majd azokból képez egy számtani átlagot. Az értékelés során megvizsgál minden B-képet, és egy állítható küszöbérték alapján kiválasztja azokat a képeket, melyek meghaladják a küszöbértéket.



8. ábra. 1mm-es bemetszésű csavar teljes keresztmetszetű C-képén kijelölt szálkereszthez tartozó B-, D-képe illetve a 3D modell

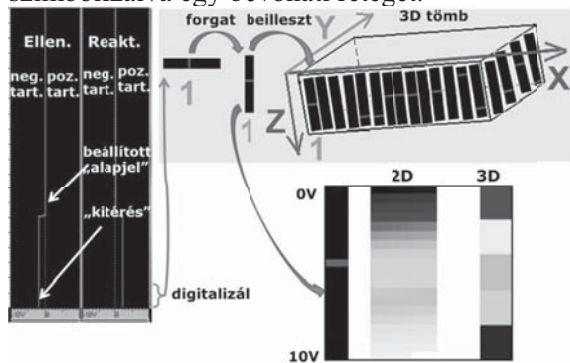
## 5. ÖRVÉNYÁRAMOS VIZSGÁLATOK

Az örvényáramos vizsgálatok során a vizsgálati tárgyban haladó áram impedanciájának az ohmos ellenállását és induktív ellenállását azaz reaktancia változását mérjük.

Amikor a vizsgáló szondát egy paramágneses (pl. alumínium) anyagra tesszük, a benne lévő tekercs ellenállás mértéke megnő illetve induktív ellenállása csökken. Ha egy felszíni vagy felszín közeli repedés felett halad el a szonda, a kevesebb örvényáram képződés miatt, lecsökken a szonda tekercsének ellenállása, míg induktív ellenállása növekszik. Ferromágneses anyag esetében szintén növekszik a tekercs ellenállása, de ebben az esetben növekszik a tekercs induktív ellenállása is, mert pl. az acél mágneses permeabilitása koncentrálna a tekercs mágneses terét. A repedés esetén hasonló jelenség történik, mint a paramágneses anyagoknál.

Az első rendszer összeállításához képest, ebben az esetben egy Omniscan MX örvényáramos hibakeresőt és egy hagyományos 1MHz-es 45<sup>0</sup>-os felületi ceruza szondát használtunk fel. Az adatfeldolgozás során az Omniscan MX kijelzőjén található ellenállás és a reaktancia pozitív és negatív tartományaiban lévő értékeket dolgozzuk fel a szonda minden egyes megállásánál. A mintavételezéskor a két szalagdiagramnak az első intenzitás értékeit digitalizáljuk az eredeti skálaosztásnak (0-10V) megfelelően, majd azokat virtuálisan „elforgatjuk” és elhelyezzük a 3D-s tömbbe a letapogatás sorrendjének megfelelően.

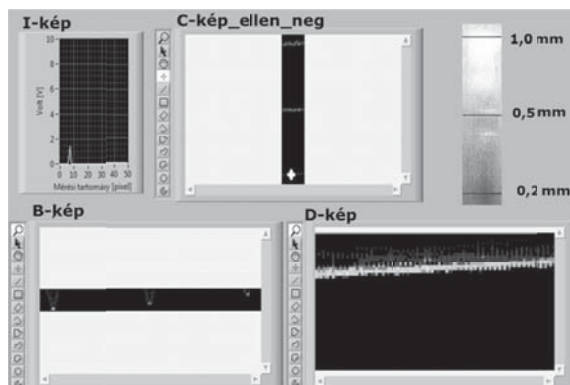
Ezzel létrehoztuk a Z irányt, amely a „mélységet” szemlélteti (9. ábra). Az eddigi hossz (D-kép) illetve keresztmetszeti (B-kép) képen kívül az alkalmazás létrehoz egy I-képet is, melyet az intenzitás szóból származtattunk, ez tulajdonképpen az adott vizsgált térbeli pozícióhoz tartozó intenzitás értéket szemlélteti az eredeti skálaosztásnak (0-10 V) megfelelően. Az elmúlt időszakban több szabványos örvényáramos etalont is vizsgáltunk, melynek eredményeiből most kettőt mutatunk be. Mindkét esetben a megvizsgált felületet egyszeres rétegben fekete PVC szigetelőszalaggal fedtünk le, ezzel szimbolizálva egy bevonati réteget.



9. ábra. Kép - és adatfeldolgozás

### 5.1. NDT SRS-0824A típusú etalon vizsgálata

Az alumínium etalon három darab felületi hornyot tartalmaz, melynek mindegyike 0,16 mm széles valamint 0,2; 0,5 illetve 1,0 mm mély. Az ellenállás negatív tartományához tartozó C-képen illetve az azon kijelölt szálszerűsághoz tartozó D- illetve B- képen jól megfigyelhető az 1 mm-es és a 0,2 mm-es bemetszés közötti különbség (10. ábra). Az I-képen látszik, hogy a 0,2 mm-es bemetszéshez megközelítőleg 2 V érték tartozik.

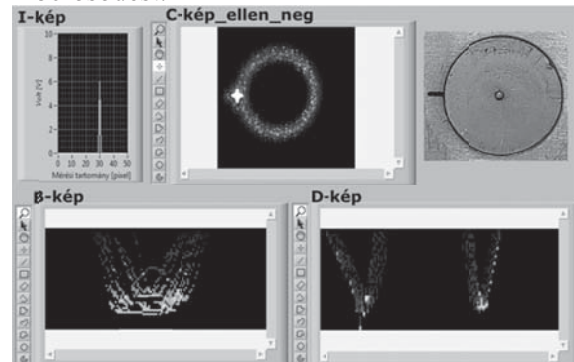


10. ábra. Ellenállás negatív C-képe és a fehér szálszerűsághoz tartozó B-,D-I-kép eredménye

### 5.2. Olympus SPO-3932 típusú etalon vizsgálata

Az etalon 2 darab alumínium lemezből készült, ahol is az egyik 9 darab alumínium szegeccsel van rögzítve a másikkhoz. A szegecsfejek átmérője 7 mm. A mérés során egy szegecskötést vizsgáltunk, amelyhez közvetlenül tartozik egy 0,8 mm hosszú; 0,2 mm széles és 0,2 mm mély mesterséges felületi bemetszés is. A szegecsfej közepén található egy apró kitüremkedés, amely 0,3 mm átmérőjű és 0,05 mm magas.

A C-képen fel lehet ismerni még a felületi bemetszést is, a B-képen és a D-képen most egyszerre több réteg átlagát láthatjuk (11. ábra). A D-képen látszik, hogy a bemetszésből adódó indikációk miatti metszeti rész szélesebb tartományt alkot. A 3D modellben szintén könnyű felismerni a bemetszés felőli kiöblösödést.



11. ábra Ellenállás negatív C-képe és a fehér szálszerűsághoz tartozó B-,D-I-kép eredménye

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS KILÁTÁSOK

A több éves kutatás és fejlesztés során megvalósítottunk egy viszonylag olcsó és célirányos fókuszált ultrahangos vizsgálófejjel működő Pásztázó Akusztikus Mikroszkópot. A rendszerrel az akár 0,1 mm-es X, Y irányú lépésközönként megvalósuló szakaszos mintavételezésű mozgatás során az A-képeket feldolgozzuk a fej minden egyes megállásánál. A begyűjtött adatokat rendezzük a letapogatás sorrendjének megfelelően egy 3D-s tömbbe, melyből megfelelő eljárásokkal különböző 2 dimenziós ultrahangos A-, B-, C-, D-képet és egy valóság-hű 3D modellt hozunk létre. Ezenkívül lehetőség van szabadon választható mélységből származó tomográfiai rétegeket is megjeleníteni a 2 dimenziós nézetek létrehozásakor.

Ezzel a megoldással számos ipari feladatot meg tudunk oldani. Többek között tokozott elektronikákban lévő apró légzárványok detektálását, ponthegeesztett kötésekben lévő összeolvadások megfelelőségének ellenőrzését, kondenzátor kisütéses csaphegesztésekben a hegesztési rétegben lévő zárványok kimutatását. Fázisvezérelt ultrahangos vizsgálófejet felhasználva belső kulcsnyílású csavarok fejében lévő repedéseket modellező akár 1 mm-es bemetszést is sikerrel ki tudunk mutatni.

Napjainkban örvényáramos vizsgálatokra terjesztettük ki eddigi módszerünket, meglehetősen jó eredményekkel.

Mint ahogy az a bemutatott eredményekből is látható, elmondható, hogy a rendszer nagyon jól adaptálható adott feladatok megoldására akár automatizált kiértékelési módszerrel együtt. Hiszen egy tömeggyártásban előállított termék esetében a gyakran előforduló hibáknál könnyen megoldható az adatok szűrésének automatizálási művelete. További előnye még, hogy részegységei piaci forgalomban is megvásárolhatóak. Integrált rendszert tekintve az összeállított eszközöket a fejlesztett alkalmazás teszi igazán teljessé.

Az általunk fejlesztett rendszer szubjektivitás nélkül, reprodukálhatóan, automatizálva képes megvizsgálni egy berendezés gépegységét roncsolás nélkül sőt akár érintésmentesen. A rendszerrel megoldható egy bevonati réteg alatt

megbújó folytonossági hiány jelenlétének detektálása, lokalizálása sőt még az esetleges terjedésének a folyamatos monitorozása is.

Jelenleg a folyamatos mintavételezés kivitelezésén dolgozunk illetve újabb szűrési módszerekkel szeretnénk felhasználóbaráttá tenni az alkalmazást. Új területet jelent a műanyagok ultrahangos vizsgálata. Továbbra is meghatározó céljaink közé tartozik lehetőségeinkhez mérten az ipari elvárásoknak való maximális megfelelés, de immáron ultrahangos és örvényáramos területen is egyaránt.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Lemons R. A., Quate C. F. (1974). "Acoustic microscope—scanning version". Appl. Phys. Lett. 24: 163–165
- [2] Dr. Pór G.: 11th European Conference on Non-Destructive Testing, Prága, 2014.10.6-10  
<[http://www.ndt.net/events/ECNDDT2014/app/content/Paper/308\\_Por\\_Rev2.pdf](http://www.ndt.net/events/ECNDDT2014/app/content/Paper/308_Por_Rev2.pdf)>
- [3] <<http://www.isel.hu/index.php/klub-7/piac/1882/mechanika/golyosorsos-linearis-egyseg/les-4-golyosorsos-linearis-egyseg.html>>
- [4] <<http://www.produkte24.com/cy/olympus-ndt-1219/ultraschallkoepfe-3312/v376-su.html>>
- [5] LABVIEW: <<http://www.ni.com/labview/>>