

## **A RONCSOLÁSMENTES ANYAGVIZSGÁLATOK (NDT) SZEREPE ÉS JELENTŐSÉGE LÉGIJÁRMŰVEK ÁLLAPOTFELMÉRÉSÉBEN, ÜZEMIDŐ HOSSZABBÍTÁSÁBAN ÉS ÁLLAPOT SZERINTI ÜZEMELTETÉSÉBEN**

A légijárművek biztonságos üzemeltetéséhez szükség van a légijármű szerkezeti elemei állapotjellemzőinek, integritásának megbízható ismeretére. A Magyar Honvédségben rendszeresített légijárművek többségének tervezési időszaka az 1960-70-es évekre tehető. Ennek megfelelően azok üzemeltetési stratégiái is az akkori kor műszaki – technológiai és diagnosztikai fejlettségét tükrözik. Ugyanakkor tudjuk, hogy ezek a légijárművek óriási szerkezeti tartalékokkal épültek. Gondoljunk csak azokra az ukrán törekvésekre, amelyek az eredetileg húsz év naptári üzemidőre tervezett Mi-24 típusú helikopterek üzemidejét -megfelelő vizsgálatok elvégzése után- 35-40 évre kívánják meghosszabbítani, vagy arra a realitásra, hogy az eredetileg ugyancsak 20 év naptári üzemidőre tervezett An-24 és An-26 típusú repülőgépek élettartamát ma már 45 évre hosszabbítják. Aerodinamikai tulajdonságaik és jellemzőik is oly annyira kiválóak, hogy e tekintetben a jelen kor igényeit és követelményeit is ki-elégítik. Gazdasági, szakmai és erkölcsi bűn lenne ezeket a tartalékokat veszni hagyni.

Ezzel összhangban áll az a napjainkra egyre inkább előtérbe kerülő szemlélet, amely az üzemeltethetőség elvárt színvonalával közel azonos súllyal veszi figyelembe az ahhoz szükséges költségeket is. Ez a költségalapú szemlélet alapvető ellentétben áll a kötött idő (hard time) üzemeltetéssel. Sok esetben az egyébként üzemképes berendezést vagy szerkezeti elemet ki kell vonni az üzemeltetésből, csak azért, mert a kötött idő üzemeltetés miatt azon végre kell hajtani a soron következő nagyjavítást, ipari átszerelést, felülvizsgálatot vagy ápolást, esetleg kötelező erővel azt ki kell selejtezni, függetlenül annak tényleges műszaki állapotától.

Főképp az elmúlt pár évtized jelenti az információs társadalom kialakulásának kezdetét. A mikroelektronikai elemek fejlődése már a mindennapi ember életét is egyre inkább átszövi, nincs ez másképp a műszaki életben sem. Ez a fejlődés, éppen ezen eszközök mindenkorai valós állapotának megítélésére való törekvés okán, magával hozta a diagnosztikai eszközök fejlődését is, így a felhasznált anyagok tulajdonságainak, tönkremenetelük folyamatának alaposabb megismerését. A tartós fogyasztásra szánt szerkezetek, gépek üzemeltetése során a tönkremenetelt legtöbbször váratlan meghibásodások okozzák és ezek ma már az anyagtechnológia és az építési elvek fejlettségi fokának köszönhetően csak ritkán vezethetők vissza az elöregedésre. Emiatt a műszaki élet minden területén jogos elvárás, hogy a nagy értékű eszközök, szerkezetek üzemeltethetőségi feltételeit és pontos élettartamát egyre nagyobb biztonsággal lehessen becsülni, prognosztizálni úgy, hogy közben csökkenjen ezen szerkezetek reguláris üzem közbeni tönkremenetelének kockázata.

Mind az alkalmazott roncsolásmentes vizsgálatok, mind az időszakos ellenőrzések rendszere jelentős fejlődésen ment keresztül az elmúlt évtizedekben. Ez a fejlődés lényegesen megváltoztatta az üzembenntartási stratégiák és az azokban foglalt vizsgálatok filozófiáját is. A korábban merev vizsgálati szabványok előírásait egyre inkább fel kell váltania (és fel is váltja) a kockázat alapú megközelítésnek. Csökkentve ez által a szerkezet üzemeltetésének költségeit, miközben tovább javítja a repülés biztonságát. Napjainkra sok helyütt elfogadottá vált a repedés terjedés sebesség alapján történő élettartam prognosztizálás. A gyártó az eljárást a MiG-29 típusú repülőgépek üzemidő hosszabbítása során is alkalmazta a légijármű tényleges elhasználódottsági fokának megítélésére, de az üzembenntartó diagnosztikai eszköztárában a mai napig sem engedélyezi alkalmazni.

Modern diagnosztikai rendszerekkel és megfelelően kialakított üzemeltetési stratégiával lehetőség nyílik arra, hogy a karbantartó pontos következtetéseket vonhasson le egy szerkezet üzemeltetési tartálékairól, illetve, hogy ezek a tartalékok milyen feltételek –esetlegesen korlátozások- mellett használhatók ki maximálisan, vagy a lehető leghosszabb naptári időn keresztül a repülés biztonságának veszélyeztetése nélkül.

Ahhoz, hogy a szerkezet állapotát a lehető legnagyobb biztonsággal felmérjük, elengedhetetlen, hogy:

- megfelelően kiválasztott diagnosztikai vizsgálatokkal felmérjük az adott szerkezet állapotjellemzőit;
- ebből pontos következtetéseket vonjunk le az üzemeltetés körülményeire jellemző mechanikai állapotról;
- pontos ismereteket birtokoljunk a felhasznált anyagok károsodási folyamatáról (pl. a repedés terjedés sebességének ismeretében) az adott üzemeltetési körülmények figyelembe vételével.

Ez a három terület azonos fontossággal bír a szerkezetek állapotának felmérésében, ezért valós állapotra vonatkozó következtetésre csak úgy juthatunk, ha ezek mindegyike adott és ezeket egymással párhuzamosan kezeljük.

Publikációnkban mindennek előtt az első terület vizsgálatát tűztük célul. Azon belül is a Magyar Honvédségben rendszeresített légijárműveken a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem által végrehajtott roncsolásmentes anyagvizsgálatok, képességek és lehetőségek bemutatására törekszünk.

## **1.0 A vizsgáló személyzet képzése, tanúsítása**

A műszaki életben többféle roncsolásmentes eljárást alkalmaznak, azonban ezeknek a módszereknek a helyes kiválasztása és kivitelezése alapvetően befolyásolja az esetlegesen előforduló eltérések kimutathatóságának lehetőségeit. Ugyanazon eltérést más vizsgálati módszerek segítségével vizsgálva sokszor eltérő eredményre juthatunk, ezért fontos, hogy a vizsgáló legyen tisztában a különböző vizsgálati módszerek elméleti alapjaival, az eljárások és az alkalmazott eszközök lehetőségeivel, illetve azok képességeivel. Mindemellett a vizsgálatot végzőknek alaposan ismerniük kell a vizsgált anyag jellemzőit és tönkremenetelének okát és folyamatát is.

A Magyar Honvédség légijárművei időszakos munkáinak végrehajtása során a műszaki szakállomány rendszeresen végez roncsolásmentes anyagvizsgálatokat. A közelmúltban üzemünk több alkalmazottja olyan, akkreditált szaktanfolyami kiképzéseken vehetett részt, amelyek elvégzése és sikeres szakvizsga letétele után az MSZ EN 473:2001 szabvány szerinti tanúsítványt kaptak (későbbiekben a vizsgáló személyzet tanúsítását az EN 4179 szabvány szerint kívánjuk kiterjeszteni). Azon túl, hogy a szaktanfolyamok résztvevői felfrissítették tudásukat, megismerkedhettek olyan korszerű műszerekkel és eljárásokkal is, amelyek használatával a vizsgálatok dokumentálása és reprodukálhatósága is nagymértékben javult az addig használt berendezésekhez képest. Mi több az a szerencse is ért bennünket, hogy részesei lehettünk a múlt esztendő „Év találmánya” címet elnyert berendezés kifejlesztését követő tesztelésnek. A tesztelések tapasztalatai alapján tett észrevételeinkkel és javaslatainkkal hozzájárulhattunk az eszköz „finomításához”.

Az első táblázatban a különböző vizsgálati eljárások témakörében sikeresen megszerzett tanúsítások száma látható.

MSZ EN 473 szerint tanúsított állomány 1. táblázat

| <b>Vizsgálati eljárás / Minősítés szintje</b> | <b>1. szint</b> | <b>2. szint</b> |
|-----------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Szemrevételezéses vizsgálat (VT)              | 4 fő            | 5 fő            |
| Folyadékbehatolásos vizsgálat (PT)            | -               | 6 fő            |
| Mágnesezhető poros vizsgálat (MT)             | -               | 6 fő            |
| Ultrahangos vizsgálat (UT)                    | -               | 6 fő            |
| Örvényáramos vizsgálat (ET)                   | -               | 6 fő            |

Törekvésünk van még a thermografikus vizsgálati képességek és jogosultságok megszerzésére. A röntgenes (RT) eljárásra való felkészülés gondolatát gazdaságossági számvetések eredményeképpen elvetettük. Az eljárás gépparkjának kialakítása igen költséges, így az igen csekély számban előforduló vizsgálatokat gazdaságosabb szolgáltatásként megrendelni, mint felkészülni végrehajtásukra.

2005.-ben aktív közreműködésünkkel a hazai repülőipari szakterületek képviselői (úgy, mint az Aeroplex of Central Europe, a Lufthansa Technik, a General Electric és a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzem, valamint a Magyar Hegesztéstechnikai és Anyagvizsgálati Egyesülés, a Polgári Légiközlekedési Hatóság és a Honvédelmi Minisztérium Katonai Légügyi Hivatal) megalakították Magyar Repülő- és Űrhajózási Anyagvizsgálati Testületet, amely részt vesz az EN 4179 szabvány honosításában is. Ez a szabvány a repülőiparban roncsolásmentes vizsgálatokat végző vizsgáló szakember tanúsításának rendjét írja le. A testületen belül létrehozásra került egy szakmai szakbizottság, amely a különböző vizsgálati módszerek területén kidolgozza a képzéshez szükséges tematikákat és vizsgakérdéseket, biztosítja a tanúsításhoz szükséges vizsgálati darabokat. Ezekből a munkából alakulatunk jogosított anyagvizsgálói és szakmérnökei is jelentős részt vállaltak és kívánnak végrehajtani.

Részt vevő és alapító felek kinyilvánították, nem zárkoznak el attól, hogy a nemzeti bizottság munkájába későbbiekben más szervezetek is csatlakozzanak.

## 2.0. Roncsolásmentes anyagvizsgálatok helyzete üzemünkben

A roncsolásmentes anyagvizsgálatok elsődleges célja a légijármű szerkezeti elemeiben, a szerkezet integritásában az üzemeltetés során keletkezett eltérések megtalálása, minél pontosabb méreteinek meghatározása. Ezen paraméterek figyelembevételével ugyanis elvileg adott a lehetőség, hogy a karbantartást végző, felügyelő és technológizáló szakszemélyzet dönthessen a hiba várható hatásairól, illetve a hiba megszüntetésének lehetséges módszereiről.

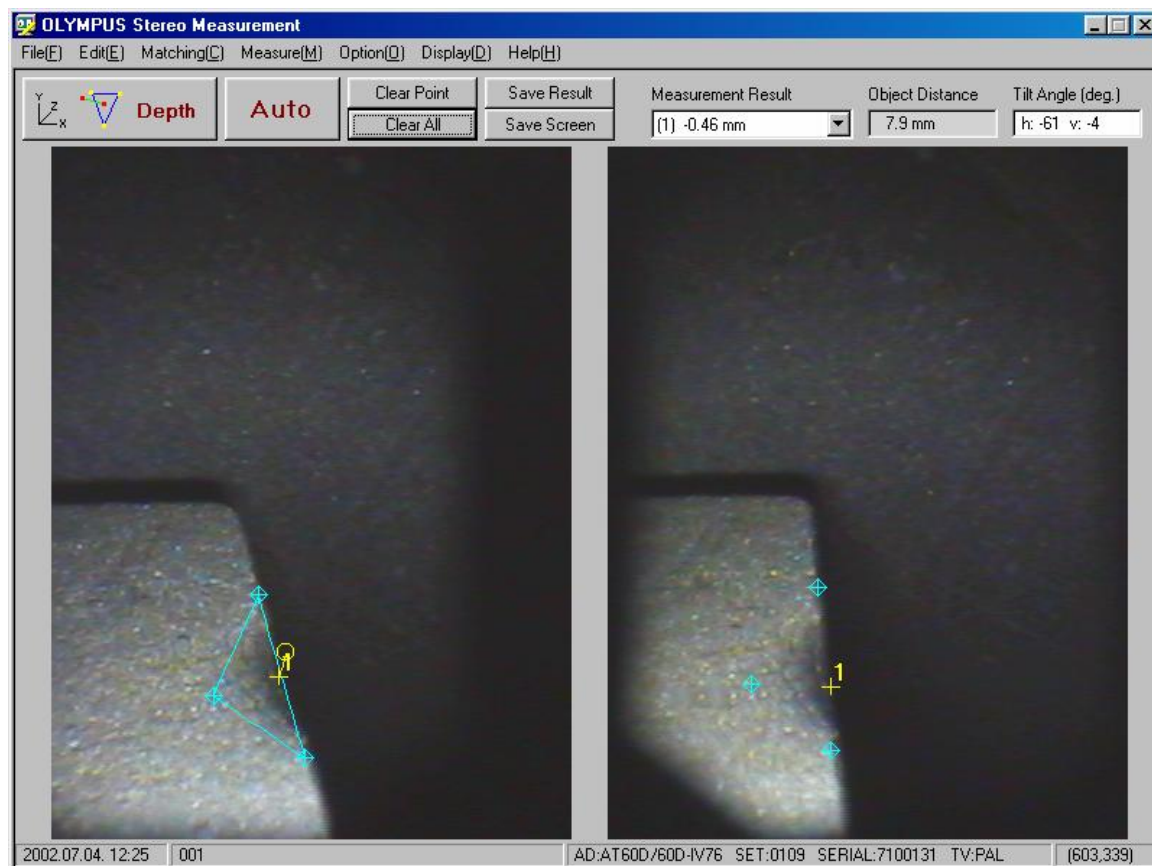
A vizsgálandó anyagban sokféle helyzetű és orientációjú eltérés lehetséges, ezért természetes, hogy a gyakorlatban számos roncsolásmentes anyagvizsgálati módszer került kidolgozásra és alkalmazásra, mivel mindegyikének vannak előnyei és hátrányai, illetve alkalmazhatósági korlátjai is. Ezek ismerete nélkül nem lehet megalapozottan kiválasztani az egyes vizsgálati darabok ellenőrzéséhez alkalmazott roncsolásmentes vizsgálati módszert. Az alábbi fejezetekben példákkal illusztrálva röviden áttekintjük a Magyar Honvédség Légijármű Javítóüzemben alkalmazásra került vizsgálati módszereket.

### 2.1. Szemrevételezéses vizsgálatok

Egyedi vizsgálatoknál, vagy előzetes állapotfelmérés során legfontosabb és egyben leggyakrabban alkalmazott roncsolásmentes anyagvizsgálati eljárás a szemrevételezés, ami a felületi eltérések kimutatására alkalmas legegyszerűbb és legolcsóbb vizsgálati módszer. A legtöbb esetben valamilyen egyéb vizsgálat kiegészítőjeként használatos, mivel az emberi szem felbontó képessége jól kiegészíti a különböző diagnosztikai eszközök érzékenységét. A szemrevételezéses vizsgálatok talán legnagyobb

hiányossága abban rejlik, hogy a későbbi reprodukálhatóság bizonyítása a szubjektivitás és az időrabló „papírozás” miatt nehezebb, mint egyéb eljárások használata mellett.

Ez a vizsgálati módszer követeli meg a legnagyobb gyakorlatot és a szerkezet, illetve annak igénybevételeinek legalaposabb ismeretét, mivel a vizsgálónak tökéletesen tisztában kell lennie az anyagszerkezet tulajdonságaival, a gyártástechnológiával, az eltérések várható helyével, irányával. Éppen ezért követelmény, hogy ezeket a vizsgálatokat a legjobban felkészült és nagy tapasztalati tudással rendelkező vizsgálók végezzék.



1. ábra. Kompresszor lapát beverődés mélységének mérése az OLYMPOS iPlex készülékkel

A Magyar Honvédség repülő-műszaki szakszolgálatánál az utóbbi években jelentős hangsúlyt kapott a régi, sokszor korlátozottan működőképes vizsgáló berendezések cseréje korszerű eszközökkel. Felületi és egyéb hibákat sok esetben olyan helyen kell keresni, ahol a rálátás és a vizsgálatához szükséges fényerő erősen korlátozott, esetleg nem is biztosítható. Ezeknek a vizsgálatoknak a végzésére kerültek beszerzésre OLYPOS iPlex Videoscope berendezések, amelyek használata biztosítja az elvárt szintű dokumentálhatóságot is. Alkalmazási példáját látjuk az 1. ábrán.

## 2.2. Folyadékbehatolásos vizsgálatok

Ezt a vizsgálati módszert 1943-ban szabadalmaztatták petróleum és mészkőpor vizsgálati anyagokkal használatával. A II. világháborúban már tömegesen alkalmazták.

A vizsgálat a kapilláris hatást használja ki. Ha egy felületet megfelelő kúszóképességű festékanyaggal vonunk be, és ezen a területen a felületre nyitott eltérés található, akkor a festékanyag beszívódik a repedésbe. Bizonyos idő eltelte után –ami azért szükséges, hogy a festék megfelelő mértékben a repedésbe hatoljon– a vizsgált felületről a felvitt festékanyagot el kell távolítani. Ezután a felületre gyorsan száradó, nagy nedvszívó képességű előhívó réteget viszünk fel, ami a kapilláris hatást kihasz-

nálva a repedésekben megmaradt festékanyagot a repedésből előhívja. Így a visszaszivárgott festék az előhívó rétegen jól észlelhető, a hiba helye behatárolható.

A vizsgálat érzékenysége függ a festék kúszóképességétől (nedvesítő képességétől), a felületi hiba geometriájától, a felület minőségétől. Fontos, hogy a behatoló-, és az előhíváshoz használt festék kontrasztos legyen egymással, mivel ez a kiértékelhetőséget alapvetően befolyásolja. Általában piros-fehér, vagy fekete-fehér vizsgáló agyagokat alkalmaznak, de elterjedt az UV fény hatására fluoreszkáló vizsgálófolyadék is. A vizsgálat sajátossága, hogy csak felületre nyitott eltérések kimutatására alkalmas. Jól reprodukálható és dokumentálható (digitális fényképfelvétel), bár itt meg kell jegyezni, hogy korlátlan számban nem használható ugyanazon repedés kimutatására, mivel a kisméretű repedésekben felhalmozódott -esetlegesen beszáradt- festékanyag nem távolítható el kellő mértékben.

Folyadékbehatolósos vizsgálati módszerre láthatunk példát a 2. ábrán.



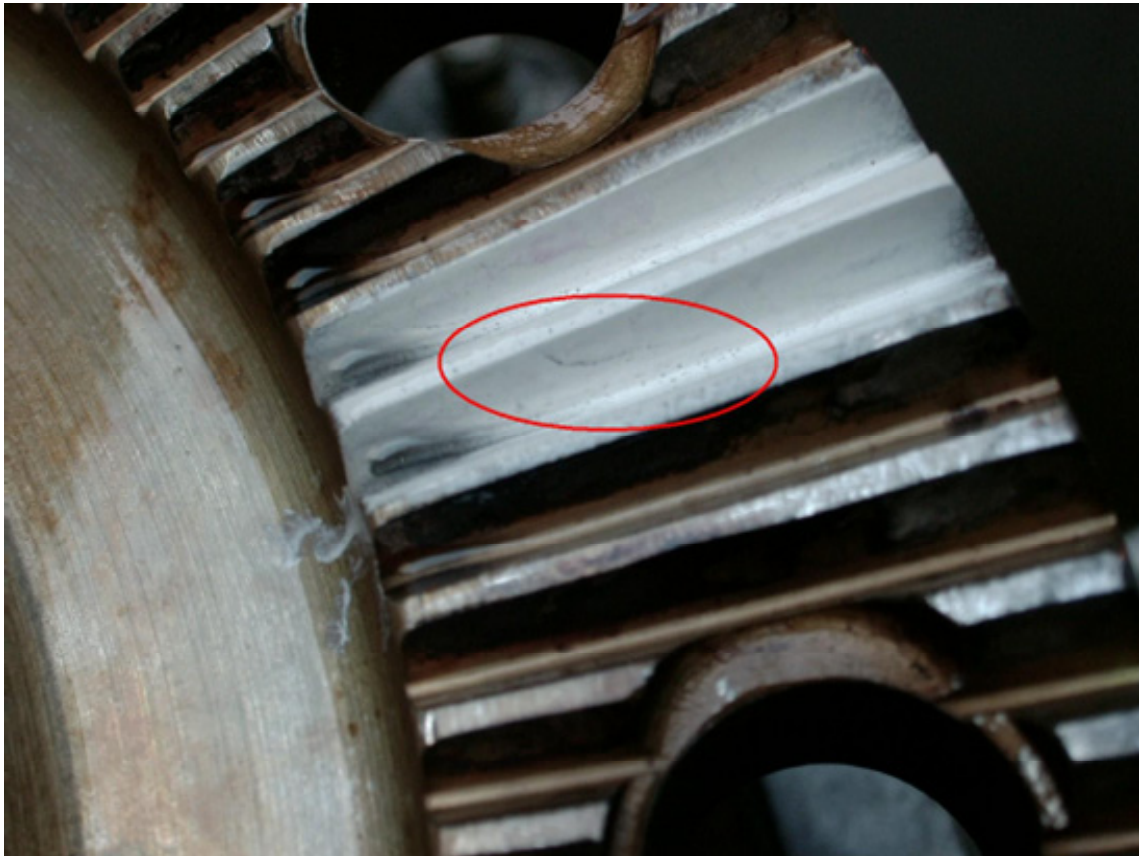
2. ábra. Repedés kimutatása MiG-29 típusú repülőgép törzstartályon

### **2.3. Mágnesezhető poros vizsgálatok**

A mágnesezhető poros vizsgálatok elve már a XIX. században ismert volt. Az első szabványok a XX. század elején készültek. A vizsgálat ferromágneses anyagokon hajtható végre (a Curie-pont alatt). A módszer elve az, hogy ha az anyagban egy eltérés miatt légrés alakul ki, akkor ezen a helyen megváltozik a mágneses permeabilitás. Ez a változás a felmágnesezett anyag mágneses erővonalait eltéríti. Ha ezen eltérített erővonalak kilépnek az anyag felületére, akkor mágnesezhető por alkalmazásával azok meg is jeleníthetők. Így az eltérés helye meghatározható. Leggyakrabban a mágnesezhető port szuszpenzióban helyezik el, mivel a mágnesezhető részecskék így könnyebben be tudnak fordulni a mágneses erővonalak irányába, ezáltal a vizsgálat érzékenysége javítható. A módszer segítségével a felületre nyitott, vagy a felülethathoz közel található eltérések mutathatók ki, de fontos, hogy a vizsgálat során létrehozott mágneses erővonalak az eltérés várható hossz tengelyével  $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$  közötti szöget zárjanak be. Ellenkező esetben a mágneses erővonalak kis mértékű eltérítése miatt a vizsgálati

anyagban rejlő eltérés detektálása nem megbízható. Az emberi szem felépítése miatt ennél a vizsgálatnál is nagy jelentősége van, hogy a mágnesezhető por (általában fekete) kontrasztosan jelenjen meg a vizsgált felületen. Ezért a szuszpenzió felvitele előtt a felületet fehér színűre festik. Másik elterjedt módszer, hogy olyan mágnesezhető port alkalmaznak, amely UV fény hatására fluoreszkál.

Mágnesezhető poros alkalmazásra láthatunk példát a 3. ábrán.



3. ábra. Repedés kimutatása An-26 típusú repülőgép légsavár tengely Hirt-fogazatú tárcsáján

## 2.4. Ultrahangos vizsgálatok

Az ultrahangos vizsgálatokra vonatkozó első kísérleteket a Titanic katasztrófája után kezdték, vízben úszó tárgyak detektálására. A vizsgálat során az ultrahang azon tulajdonságát használják ki, hogy a különböző akusztikus sűrűséggel rendelkező anyagok határfelületéről az ultrahang hullámok visszaverődnek. Ilyen eltérő akusztikai sűrűségű anyaghatárok találhatók például a vizsgálati darab belsejében létrejött repedések határfelületein is. A vizsgálat során elektromos impulzusokat mechanikai rezgésekké alakítanak, ezt az anyag felületére felvitt megfelelő csatolófolyadék segítségével közvetítik az anyag belsejébe. Ha a vizsgált anyag akusztikus sűrűsége nem változik (nincs benne eltérés), akkor az ultrahang csak a vizsgálati darab határfelületeiről verődik vissza, ellenkező esetben az eltérésről is. Ha ismert az anyagban a hang terjedési sebessége (a mai korszerű vizsgáló készülékekkel ez mérhető), akkor megfelelő eszközök segítségével a visszaverődési időből meghatározható az eltérés helye.

A vizsgálat hátránya, hogy az eltérés nagysága és orientációja csak közvetve, esetleg több méréssel határozható meg, ugyanis az ultrahang az eltérés határfelületén szóródik, így közvetlenül csak az aktuális mérés irányában kifejtett reflexiós hatás mérhető. Ez a vizsgálati módszer igen érzékeny az anyag szemcseméretére. Durvaszemcsés szerkezetű öntvények a szemcsehatárokon létrejövő szóródás miatt eleve nehezen vizsgálhatók. Másik hátrány, hogy a vizsgáló fejek közeltér alakja nagyban befolyásolja a mérési eredményeket, vékonyabb lemezszerkezetek vizsgálata nehezen valósítható meg,

mivel a köztérben található eltérések kimutatása nem megbízható. Ultrahangos vizsgálatok végrehajtásához rendelkezünk régebbi konstrukciójú DUK-66 orosz készülékkel és Krautkramer USM-25 típusú korszerű készülékkel (és a hozzájuk alkalmazható sokféle vizsgáló szondával).

## 2.5. Örvényáramos vizsgálatok

Az örvényáramos vizsgálatok fizikai alapja, hogy ha egy tekercsben váltakozó áram ( $I_1$ ) folyik, akkor a tekercs körül váltakozó mágneses mező ( $H_1$ ) indukálódik. Az ebbe a mezőbe helyezett elektromosan vezető anyagban a váltakozó mágneses mező hatására elektromos áram ( $I_2$  örvényáram) indukálódik. Az  $I_2$  áram iránya olyan, hogy az általa létrehozott mágneses mező ( $H_2$ ) a  $H_1$  mágneses mezőt gyengíteni igyekszik. Ha egy alkalmasan választott vizsgáló szonda által létrehozott mágneses tér jellege ismert és megfelelően homogén, akkor az eltérés által megváltoztatott felületi örvényáram megváltoztatja a  $H_2$  mágneses mezőt is, amely változás mérésével lehetőség nyílik az anyagban rejlő eltérés detektálására.

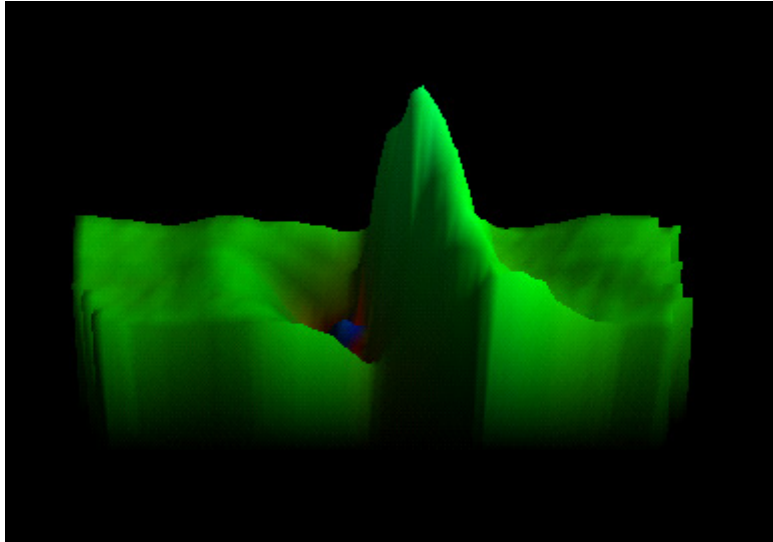
A módszer használhatósága alapvetően a felület minőségétől függ, mivel az egyenetlenségeken megváltozik a szonda távolsága a felülettől, és ez az „elemelés” alapvetően befolyásolja a létrejövő örvényáram nagyságát.

A 4. ábrán egy kollegánk örvényáramos vizsgálatot végez.



4. ábra. L-39 típusú repülőgép szárny vizsgálata

Az 1.0. pont alatt már a 2005.-ben „Év találmánya”-ként említett készülék működési elvét és alkalmazhatóságát tekintve egyaránt ötvözi e két utóbbi vizsgálati módszer előnyös tulajdonságait. A vizsgáló program szoftvere egy hordozható személyi számítógépen kerül feldolgozásra. A vizsgáló fej, vagy vizsgáló szonda a laptop egereként funkcionál. A vizsgálati eredmények a képernyőn (5. ábra) megjeleníthetők 2 vagy 3 dimenziós formában. A vizsgálat minden eredménye elektronikus formában dokumentált és naplózott. Archiválásában, későbbi felhasználásában, elemzésekben ilyen módon az adatok felhasználhatóságának szinte nincsenek határai.



4. ábra. Az „AN25Kek” etalonon kapott eredmények „Mag-Fi” 3 dimenziós nézete

Az ábrán jól látható a repedés körül kialakuló mágneses tér torzulás. Megállapítható az is, hogy a tér torzulás nagysága jelentős a repedéstől távol megfigyelhető zajhoz képest, így a rendszer ezt a hibát kiváló jel/zaj viszony mellett detektálta.