

A HELIKOPTER FORGÓSZÁRNYLAPÁTOK RONCSOLÁSMENTES VIZSGÁLATI EREDMÉNYEINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Kivonat

A Budapest kutató reaktor neutron radiográfiai állomásán végzett állapot meghatározó munka során, az Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopter forgószárnylapátokon végzett vizsgálatok közben szerzett tapasztalatok alapján, létre hoztunk, egy referencia hibákat tartalmazó minta csoportot, amelyeken az olasz kollegák a saját laboratóriumukban, az általuk használt mérési technikákkal igyekeztek kimutatni a nálunk kialakított eltéréseket.

1. Bevezetés

A MH RMSZF és a TH megbízásából 28 db (Mi-8, Mi-17 és Mi-24) helikopter forgószárnylapátot vizsgáltunk át a Budapest kutató reaktornál neutron- és röntgen radiográfiával, valamint rezgés diagnosztikával. A mérési eredmények katonai titkot nem képező részeit hazai és nemzetközi tudományos konferenciákon ismertettük, illetve hazai és nemzetközi tudományos publikációkban tettük közzé [1–13].

A NATO

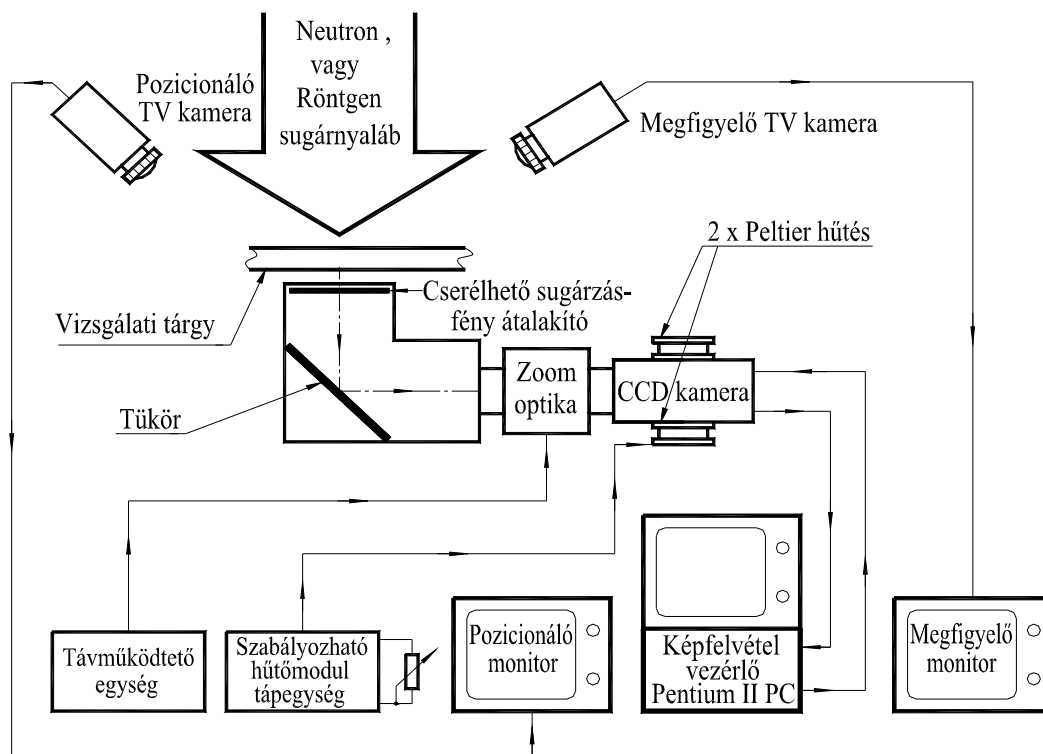
2. Mérési technikák

2.1. Mérési technikák a Budapest kutatóreaktornál

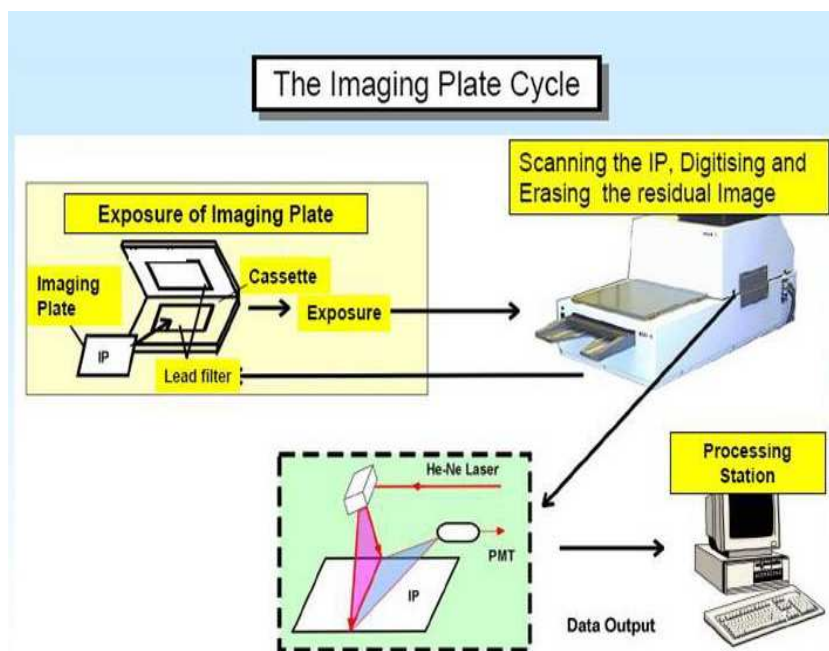
A megfelelő hiba kombinációkkal ellátott referencia tárgyak vizsgálatát a Budapest kutatóreaktor 2. számú vízszintes csatornájánál telepített Radiográfiai állomáson végeztük el [1]. A mérőhelyen lehetőség van, a tárgyak digitális röntgen- és digitális neutron radiográfiai (DXR), (DNR) módszerekkel történő tanulmányozására. A neutron radiográfiai vizsgálatok végzésére alkalmazott neutron nyaláb fluxusa, a kollimáció után $10^8 \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$, átmérője 220 mm volt. Az ennél nagyobb méretű tárgyak letapogatására szolgáló, távvezérelt mozgató mechanizmusunk 10 m hosszú, 700 mm széles és 200 kg súlyú eszközök tanulmányozását teszi lehetővé. A röntgen radiográfiai felvételekhez egy Szuper Liliput típusú hordozható, ipari röntgen készüléket helyeztünk a sugárnyaláb pozíciójába, és azzal készítettük el a felvételeket.

2.1.1. Neutron radiográfiai vizsgálatok a Budapest kutató reaktornál

A neutron radiográfiai mérőhely digitális radiográfiai képfelvevő rendszerének vázlata az 1. ábrán látható. A vizsgálati tárgy neutron sugárzás által keltett árnyképét a ZnSAg/Li⁶ tartalmú szcintillációs lemez alakítja fénné, ez a kis intenzitású fény, egy tükörről reflektálódva kerül a képalkotó, távvezérelhető zoom optikával felszerelt nagyérzékenyséű CCD kamerába, amelyet kétkörös Peltier - elemes hűtőmodullal szereltünk fel. A képalkotási idő 40 msec és 400 sec között változtatható.



A felvétel digitalizált képe a vezérlő PC monitorán jelenik meg és egyidejűleg DVD digitális képrögzítővel, illetve hagyományos S-VHS videó magnóval is rögzíthető. A pozicionáló kamera segítségével állíthatók felvételi helyzetbe a soron lévő képmezők. A mérőhelyen belüli mozgásokról a megfigyelő kamera szolgáltat információt, így elkerülhetővé válnak a nem kívánt ütközések. Ennek a képfelvételi technikának jelentős hiányossága, hogy a mérőhelyre jellemző geometriai élettenség, összeadódva a sugárzás-fény átalakító- és az optikai rendszer felbontási hibaival, nem teszik lehetővé a 0,25 mm-nél kisebb eltérések észlelését (vékony felrepedést). Rendelkezésünkre áll egy másik technika, amely hasonló a hagyományos radiográfiai filmes módszerhez, statikus, állóképes felvételek (felvételi idő ~1 perc) készítésére alkalmas. A vizsgálati tárgy radiográfiai árnyképe, elektromos töltés képként kerül megőrkítésre egy speciális anyagokat tartalmazó, imaging plate (IP) lemezre. A sugárzás által megvilágított lemezt egy letapogató egységbe kell helyezni, ahol egy He-Ne lézer sugarával, egy galvanikus tükör közreműködésével, pixelről-pixelre (pixel méret: $50 \times 50 \mu\text{m}^2$), kiolvasásra kerül (~3 perc) a töltés kép és a felvillanó fény információkat egy speciális multiplier érzékeli, és a így keletkező jelek megfelelő processzálása után, az egység monitorán megjelenik a vizsgálati tárgy radiográfiai képe. Lehetőség van a különböző képfeldolgozási eljárások alkalmazásával a radiográfiai kép optimalizálására. Az IP lemez kiolvasás után törölhető (~8 perc), legalább 1000-szer újra használható. A rendszer működési vázlatát a 2. ábra szemlélteti.



azonos módon. A 3. ábrán az egyik referencia tárgy látható a röntgen radiográfiai felvétel során, amint a jobbra megfigyelhető fékező elem a felvételi pozícióban rögzíti. A felvételeket 50 kV; 3 mA röntgen teljesítmény mellett, 15 másodperces megvilágítási idővel készítettük.



3. ábra. Referencia tárgy rögzítése a felvételi pozícióban

A sugárforrás és a konverter lemez közötti távolság 2 méter volt. Természetesen a felbontás javítása érdekében a röntgen radiográfiai munkák során is használhatjuk az IP technikát, hiszen erre a célra gyártják az MS sorozatú IP lemezeket.

2.2. Mérési technikák a Kémiai Laboratóriumban

2.2.1. Röntgen radiográfiai vizsgálatok a Kémiai Laboratóriumban

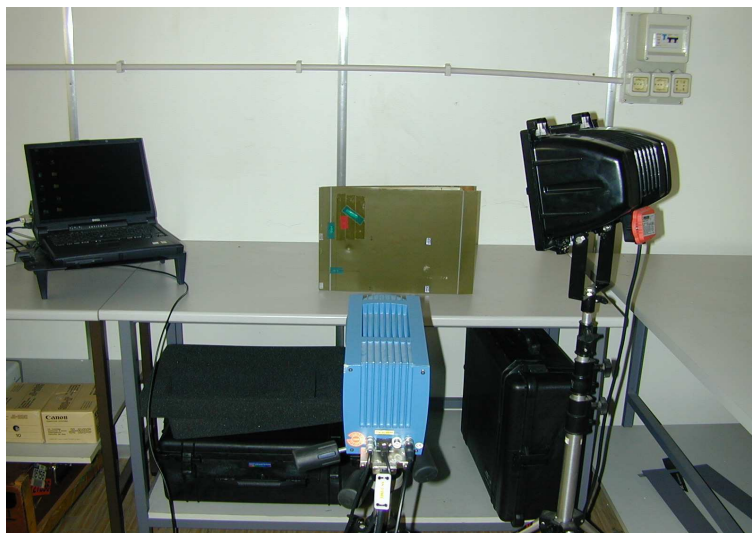


4. ábra. Gilardoni Radiolight típusú röntgen generátor fényképe

A Kémiai Laboratóriumban készült röntgen radiográfiai felvételek a 4. ábrán látható Gilardoni Radiolight típusú röntgen generátorral készültek. A forrás-film távolság 0,8 méter volt. Az alkalmazott

70 kV; 5 mA röntgen teljesítménnyel 3 perces megvilágítási időre volt szükség AGFA D4 24x18 filmek esetén.

2.2.2. Termográfiai vizsgálatok a Kémiai Laboratóriumban



5. ábra. A termográfiai mérési elrendezés a Kémiai Laboratóriumban

A Kémiai Laboratóriumban, az 5. ábrán látható összeállítással végezték a termográfiai vizsgálati munkát. Az infra kamera típusa Cedip Jade III. volt, amely sávszélessége 3-5 mikrométerig terjedt, egy Zeiss gyártmányú, 25 mm-es fókusz távolságú, $18^\circ \times 18^\circ$ – os látószögű optikát használtak hozzá. A megvilágítóként használt lámpa teljesítménye 1000 W volt, amely maximum $50\text{ }^\circ\text{C}$ -ra tudta felmelegíteni a vizsgálati tárgyat.

2.2.3. Ultrahang vizsgálatok a Kémiai Laboratóriumban

A 6. ábrán látható Metlscan Galaxy típusú berendezésen végezték a Kémiai laboratóriumban az UH vizsgálatokat. A készülék frekvenciája 1 MHz volt C-scan amplitudó üzemmódban, 20 mm/sec letapogatási sebesség és $1 \times 1\text{ mm}^2$ letapogatási felbontás mellett. A berendezés alkalmas a "pulse-echo" és a "transzmissziós" technika használatára. A mi referencia mintáink bonyolult felépítése (a rekesz két borító lemeze közötti térrészt kitöltő méhsejt szerkezet) által keltett sok reflexió (nagyon legyengít



6. ábra. A Metalscan Galaxy típusú Ultrahang vizsgáló berendezés fényképe

3. Referencia tárgy család

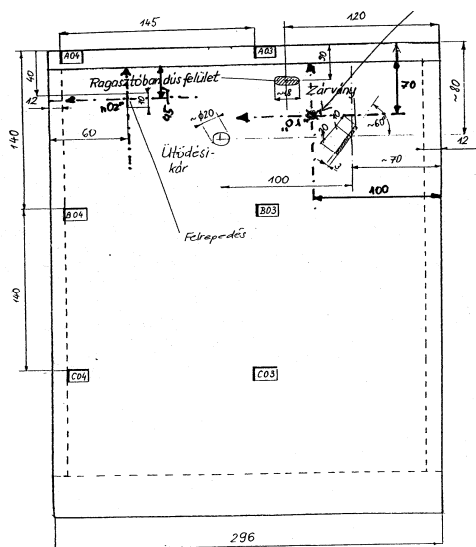
A referencia tárgy család tervezése és kialakítása során mindig arra törekedtünk, hogy a hibahelyek alakjai, térbeli elrendezésük, a radiográfiai vizsgálataink során tapasztalt, valóság-hű hiba formációkhoz hasonlóak legyenek. A modellezésekhez felhasznált anyagok is mind a forgószárny lapátok gyártástechnológiájában és javítás technikájában használtak közül kerültek ki. A referenciahibák előállítására az MH RMSZF rendelkezésünkre bocsátott, az Mi-24 típusú helikopter forgószárny lapátok javítására alkalmas, lejárt felhasználási idejű, de újszerű állapotban lévő rekeszeket. Ezekből választottunk ki öt darabot, a I./1 jelzést kapta a tényleges szektor kiosztásban az 1-es pozícióban lévő rekesz, a I./2 jelzést kapta az 1a pozícióban lévő rekesz, a I./3 jelzést kapta a 2-es pozícióban lévő rekesz, a I./4 jelzést kapta a 3-as pozícióban lévő rekesz, míg a I./5 jelzést kapta a 13-as pozícióban lévő, kiegyenlítő lemezes rekesz.

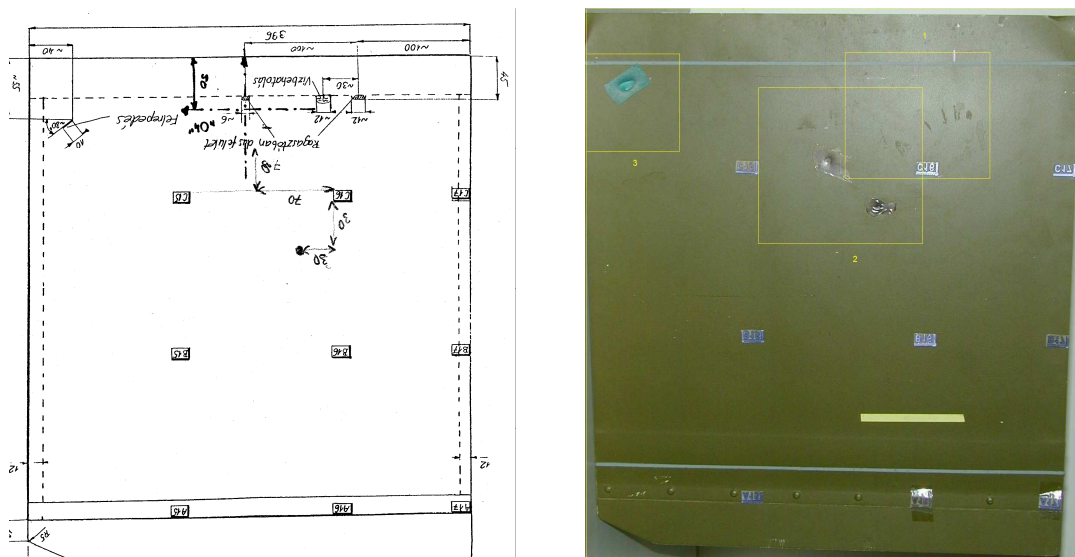
A kiválasztott rekeszek különböző méretűek és eltérő felépítésűek, amellyel az volt a célunk, hogy tanulmányozni tudjuk az egyes hiba jelenségek észlelési lehetőségeinek változásait, az eltérő geometriai paraméterekkel rendelkező rekeszekben. A I./1 és I./2 rekeszeket három sávra (A, B és C), valamint két oszlopra, azaz hat képmezőre osztottuk, míg a I./3, I./4 és I./5 rekeszeket három sávra (A, B és C), valamint három oszlopra, azaz kilenc képmezőre osztottuk, am

<u>Hiba</u>	<u>Leírás</u>
Rétegelválás	Rétegelválás, egy réteg lapjainak elválása, oka a helytelenül előkészített felület, szennyeződés és idegen anyag beágyazódása.
Bezáródás	Bezáródás, ha idegen anyag beágyazódik, vagy a réteg közé kerül.
Üreg és porozitás	Üreg és porozitás befogott levegő és gázbuborék, okai; párolgó anyagok, a gyanta szennyezett repedése és egyenlőtlen eloszlású nyomás. Üregek gyűlnek össze a gyantában, mivel zacskók vannak a szilárd anyagban.
Gyantában gazdag terület	Gyantában gazdag behatárolt rész, megtöltve gyantával vagy szálakban hiányos. Ezt a hibát helytelen tömörség, vagy szivárgás okozza.
Gyantahiányos terület	Gyantahiányos terület, elégtelen gyantával behatárolva nyilvánvalóan száraz folt, vagy fénytelen, vagy látszanak a szálak.
Szálak rossz egyezése, gyűrődés, deformáció	Szálak rossz egyezése, elferdülés a rétegeződésben, amely eltér a kívánt elhelyezéstől, vagy a szálak gyűrődése és deformációja. Ezt a hibát helytelen elhelyezés és kezelés okozza.
Száltörés	Törött szálak megszakítottak vagy rosszul elhelyezettek, oka helytelen kezelés, vagy elhelyezés
Elválás	Elválás különböző részek között történik a több elemből álló szerkezeteknél. Kötéshiányt a felület szennyeződése, túlzott nyomás, vagy rossz illesztés okoz.

1. táblázat Kompozit szerkezetek hibáinak áttekintése

Az eredményeink ismertetésére rendelkezésünkre álló hely nem teszi lehetővé, hogy a projekt során készített, valamennyi referencia tárgyon végzett összes mérésünk eredményeit közzé tegyük. Ezért csupán három az I./2., I./3. és I./5. jelű tárg





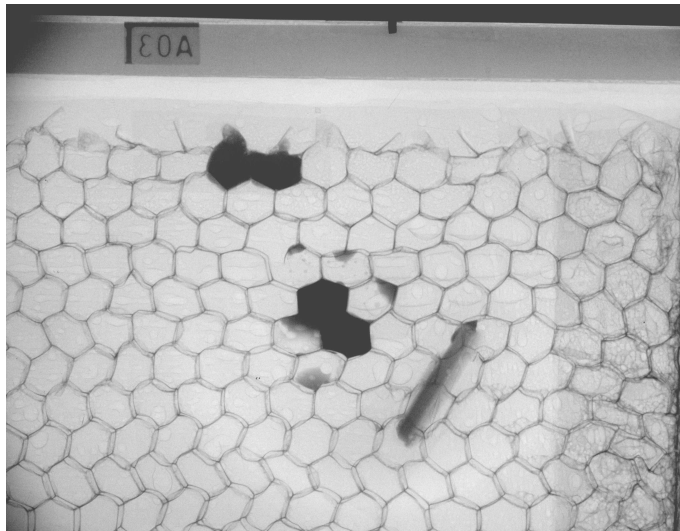
9. ábra. Az I/5 jelű rekesz átalakítási műhely vázlatja és a fényképe

Az I/5 jelű rekesz, amely átalakítási műhely vázlatja a 9. ábra baloldali részén, míg az átalakított rekesz fényképe a jobboldali részén látható, három megjelölt zónájában (1, 2 és 3) hoztunk létre definiált hibákat. Az 1 jelű zónában négy sejt elem kiterjedésű ragasztóban dús területet alakítottunk ki a rekesz alap lapján, a C16-os képmezőben. Feljebb, kis mértékű vízbetörést állítottunk elő. A 2 jelű zónában horpadást idéztünk elő egy 15 mm átmérőjű acél golyó 2 mm mélyre való benyomásával, mellette egy öt sejt elemre kiterjedő vízbetörést hoztunk létre. A 3 jelű zónában egy felületi sérülést alakítottunk ki a C15-os felvételi mezőben.

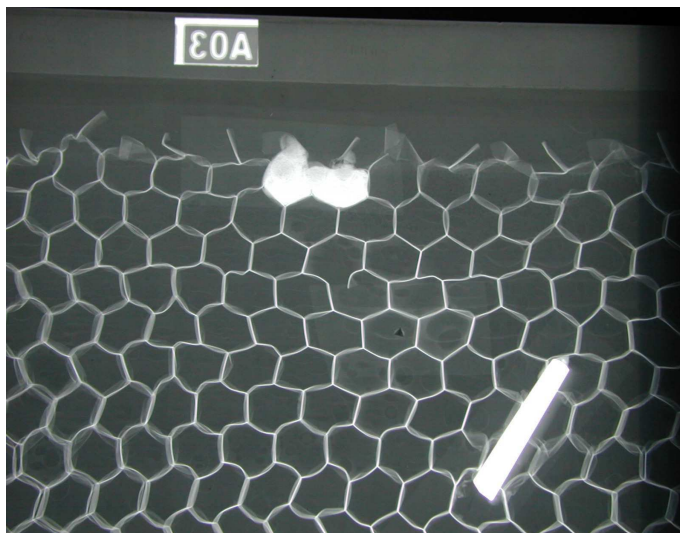
4. Mérési eredmények

4.1. Mérési eredmények az I./2 számú referencia tárgy 1 zónájában végzett mérésekről

A 10. ábrán látható az I./2 jelű referencia tárgy A03 felvételi mezőjének NR képe, amelyen jól látható a kilépő él alatt létrehozott, 2 sejt elem méretű, gyanta dús sejt csoport. A kép közepén helyezkedik el a 2,5 sejt elem méretű víz befolyás, tőle kissé jobbra lejjebb a repesz behatolást modellező fém darab képe rajzolódik ki. A felvétel MS 20x25 típusú IP lemezre készült 50 másodperces megvilágítási idővel. A 11. ábrán az A

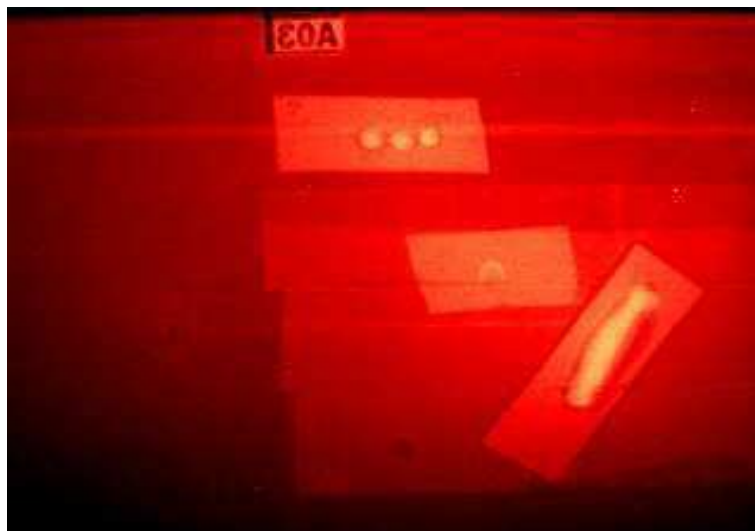


10. ábra. Az A03 jelű felvételi mezőben lévő referenciahibák NR képe

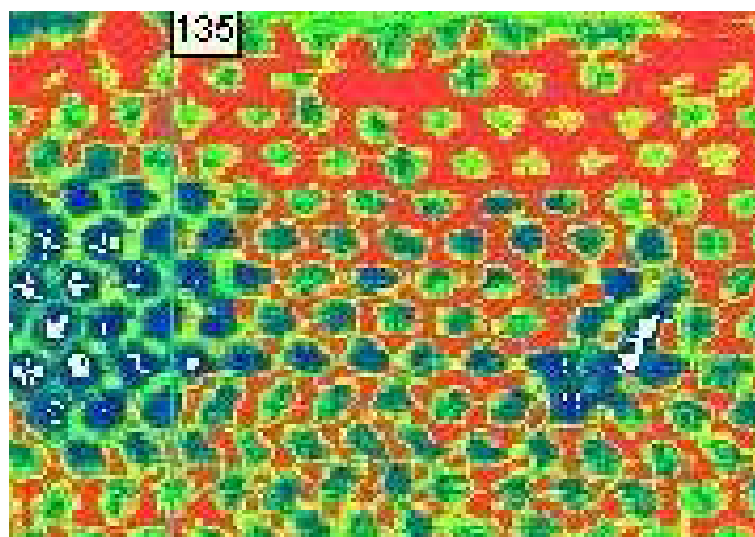


11. ábra. Az A03 jelű felvételi mezőben lévő referenciahibák XR képe

A befecskendezett víz behatolás nem érzékelhető, mert az a szállítás közben szétszivárgott a rekeszben. A 12. ábrán az A03 jelű felvételi mező és annak környezetének termográfiai képe látható és megállapítható, hogy csupán a felületen elhelyezkedő, feltöltő nyílások és az azok elfedésére szolgáló ragasztószalagok, illetve kit-kitöltő anyagok kontúrjai érzékelhetőek.



12. ábra. Az A03 jelű felvételi mezőben lévő referenciahibák termográfiai képe

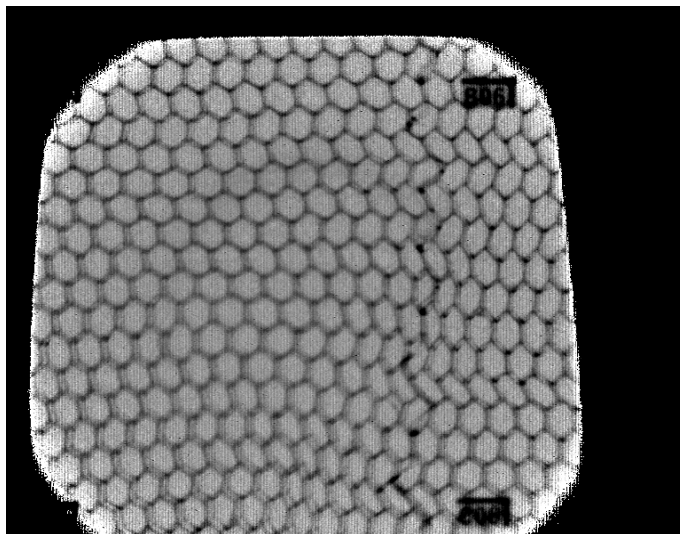


13. ábra. Az A03 jelű felvételi mező egy részében lévő referencia hibák UH képe,
jobbra behatoló repesz, balra víz beszivárgás

A 13. ábra az A03 jelű felvételi mező egy részében lévő referencia hibák UH képe látható. Az ábra jobb oldali részében a repesz behatolás modellezésének eredményeként kialakult színváltozás érzékelhető. A víz beinjektálásához szükséges furat tömítése nem bizonyult megfelelőnek, mert az UH gerjesztő jeleit szállító víz sugár alá tudott szivárogni és annak a jelenlétét mutatja az ábra bal oldalán látható terebélyes, kék folt.

4.2. Mérési eredmények az I./3 számú referencia tárgy 1 zónájában végzett mérésekről

képzalkotási életlensége, valamint a festék és ragasztó anyagok szórása együttesen meghaladja a rés méretét.

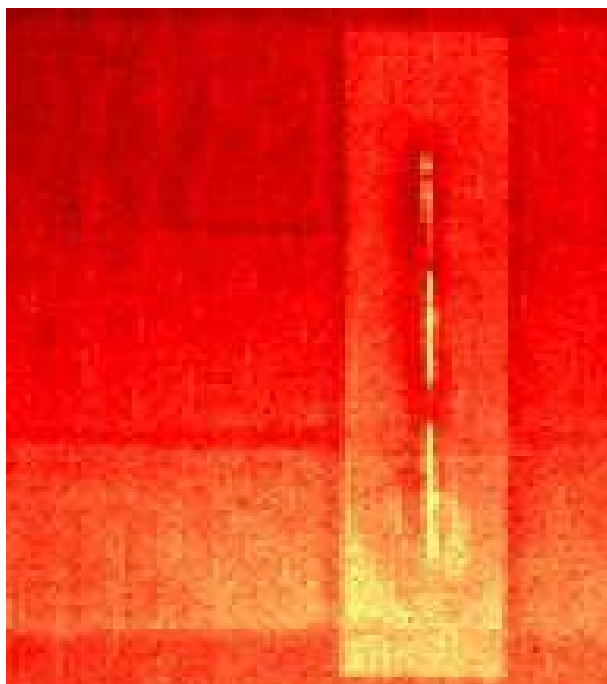


14. ábra. A borító lemez felrepedésének NR képe az I./3 jelű minta 1 zónájában



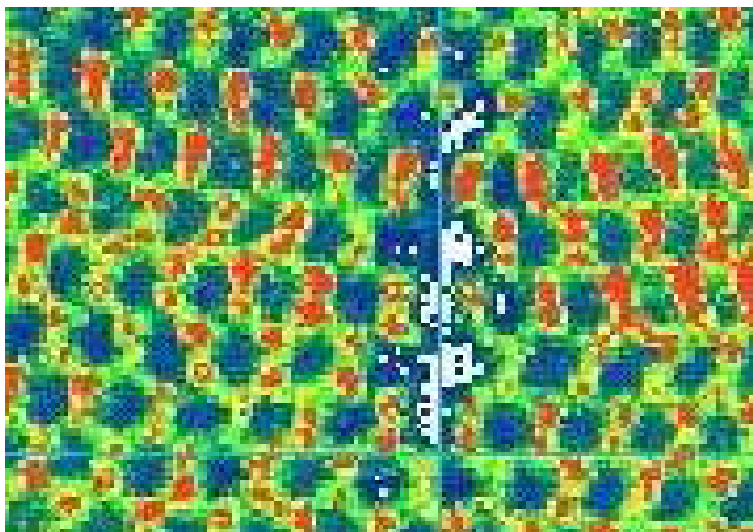
15. ábra. A borító lemez felrepedésének XR képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

A 15. ábrán látható a Kémiai Laboratórimban készült röntgen felvételen, jól érvényesül a röntgensugarak nagyobb áthatoló képessége a festék és ragasztó együttesén, és így láthatóvá válik a felrepedés, amint ez az ábra jobbról a harmadik sejtoszlopán végig húzódó függőleges egyenesként megfigyelhető. A felvételen érzékelhető, hogy az olasz kollegák egy kissé megbillent állapotban rögzítették a rekeszt.



16. ábra. A borító lemez felhasadásának termográfiai képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

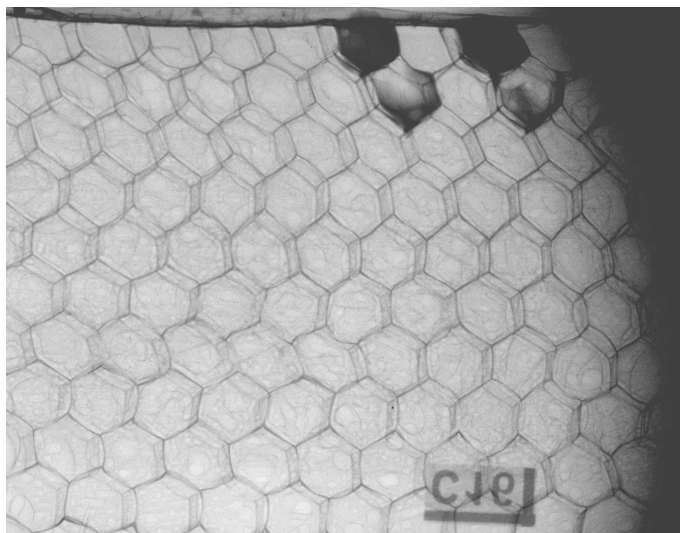
Az UH-val végzett vizsgálat eredménye a 17. ábrán látható. Az ábra közepén húzódó folytonos egyenes jól mutatja a felhasadás elhelyezkedését. A felhasadást lefedő anyag, illetve a takaró szigetelő szalag együttes tömítése sem volt elegendő, mert az UH gerjesztő jeleit kicsatoló víz sugár alá tudott szivárogni azoknak, amint az ábrán látható sok kék foltocska mutatja.



17. ábra. A borító lemez felhasadásának UH képe az I./3 jelű minta 1 zónájában

4.3. Mérési eredmények az I./5 számú referencia tárgy 1-es zónájában végzett mérésekről

A 18. ábrán, a C16-os kép felvételi mezőben elhelyezkedő gyantában dús területet figyelhetjük meg, a rekesz alaplemezen, az ND 20x25 típusú IP lemezre készített neutron radiográfiai felvételen. Ez a sejt elem csoport jól látszik a Kémiai Laboratóriumban készült röntgen felvételen is a 19. ábrán, amelyen a megdöntött rekesz elhelyezése miatt, szinte térbeli elrendeződést figyelhetünk meg.



18. ábra. A C16 képmezőben elhelyezkedő gyantában dús terület NR képe



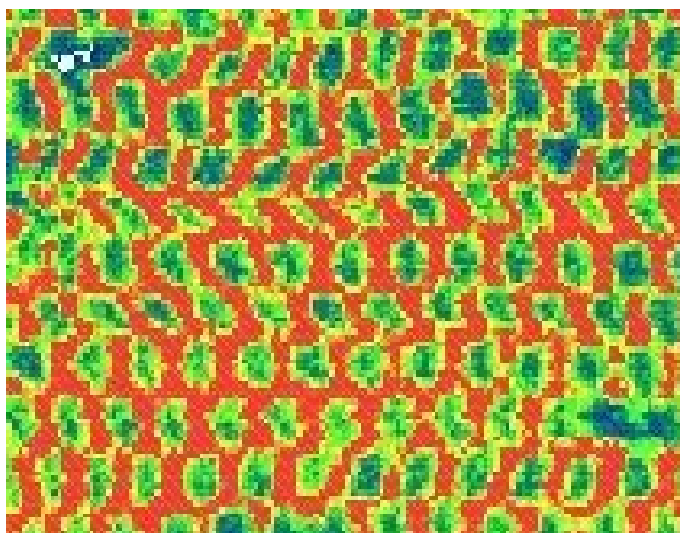
19. ábra. A C16 képmezőben elhelyezkedő gyantában dús terület XR képe

Kevésbé tekinthető sikeresnek a 20. ábrán látható termográfiai felvétel, mert a pozicionálás elcsúszott és a megkívánt célterület kimozdult a felvételtől és a gyantában dús területről nem szolgáltat információt. Viszont a C16-os felvétel azonosítótól balra, lejjebb kialakított furatba, frissen bepumpált víz



20. ábra. Víz beszívargás által keltett sötét folt (jobbra) és a horpadás okozta világos terület (balra) a C16-os képmező termográfiai képén

Érzékelhetővé vált a horpadást modellező, golyóbenyomás keltette sötét folt által megemelkedett hőelnyelő képesség, amely a magasabb hőmérsékletű terület világos foltjaként látható, a képazonosítóval egy magasságban balra. A 21. ábra jobb felső sarkában látható a gyanta dús sejt elem csoport ultrahang képe. Sajnos a felvételen további kék foltok is érzékelhetők, feltehetőleg a rekeszen létre hozott, egyéb referencia hibákat elfedő takarások, alacsony vízállósága miatt.



21. ábra. A kép jobb felső sarkában látható a gyanta dús sejt elem csoport ultrahang képe

5. Összefoglalás

A HU-AVT-01 projekt keretében végzett, összehasonlító mérések az alábbi eredményeket szolgáltatottak.

A neutron radiográfiai vizsgálatokkal az alábbi rendellenességeket tudtuk kimutatni:

- gyanta- és ragasztó eltéréseket,
- a méhsejt szerkezetben található hibákat,
- a víz behatolások helyeit és kiterjedésüket,
- a behatoló idegen tárgyakat.

Az röntgen radiográfiai felvételek alkalmasnak mutatkoztak:

- a nagy mennyiségű gyanta kimutatására,
- a behatoló idegen tárgyak feltárására,
- a vékony felhasadások észlelésére.

A termográfiai felvételeken jól lehetett látni:

- a felületen rejtetten elhelyezkedő javítási területek pontos kiterjedését,
- a felületen elhelyezkedő horpadások eltérő hő visszaverő képességét,
- a víz behatolások kiterjedését.

Az ultrahangos vizsgálatokkal érzékelni lehetett:

- a behatoló idegen tárgyak pontos helyét,
- a felületen rejtetten elhelyezkedő javítási területek pontos kiterjedését,
- a gyanta dús sejt csoportok elhelyezkedését,
- a víz behatolások eloszlását.

Fel kell hívni a figyelmet, hogy az ultrahangos berendezés energia bevívó - és energia kicsatoló víz sugarainak, a felületi takaró anyagok alá szivárgásai, kissé zavaróan hatottak a mérések kiértékelése során

- [3] M. BALASKÓ, Zs. Balaskó, E. Balogh, A. Tanács, E. Katona, A. Kuba, Composition of radiography pictures of whole helicopter rotor blades in Hungary, Proc. of 7th WCNR Rome, Edited by P. Chirco and R. Rosa, 15-20. September 2002, pp. 637-642.
- [4] M. BALASKÓ, I. Veres, Gy. Molnár, Zs. Balaskó, E. Sváb: Radiography inspection of helicopter rotor blades, Conf. Proc. 3rd International Non-destructive Testing Conf., Eds.: I.N.Prassianakis, G.C.Papanicolaou, Hellenic Society of NDT Greece, Crete, October 2003, pp. 309-313.
- [5] M. BALASKÓ, I. Veres, Gy. Molnár, Zs. Balaskó, E. Sváb: Composite structure of helicopter rotor blades studied by neutron- and X-ray radiography, Physica B, 350, 2004, pp. 107-109.
- [6] M. BALASKÓ, E. Sváb, I. Veres, Gy. Molnár: Classification of defects in honeycomb composite structure of helicopter rotor blades, Nuc. Inst. and Method A542, Iss. 1-3, 21. April 2005, pp. 45-51.
- [7] BALASKÓ M., Veres I., Pogácsás I., Molnár Gy., Sváb E., Vigh Z., Helikopter rotorlapátjainak vizsgálata radiográfiai módszerekkel, Anyagvizsgálók Lapja, Kiadó ATESTOR Kft, Szappanos György, 15. Évfolyam 2. szám, 2006, 37- 41 oldal.
- [8] BALASKÓ M., Veres I., Pogácsás I., Molnár Gy., Vigh Z., Mi-8, Mi-17 és Mi-24 típusú helikopterek forgószárnylapátjainak radiográfiai vizsgálata, "Fél évszázad forgószárnyakon" konferencia előadás (írásban 15 oldal) Kiadó Óvári Gyula, 2005 április 15.CD
- [9] M. BALASKÓ, I. Veres, Gy. Molnár, E. Katona, A. Kuba, Zs. Balaskó, E. Sváb: Radiographic Classification of Defects in Honeycomb Composite, AVT Panel Specialist Meeting, Budapest 25-29. April 2005, oral lecture, written version (13 p.) published by NATO RTO on CD.
- [10] M. BALASKÓ, G. Endrőczy, Gy. Tarnai, I. Veres, Gy.