



Makkay Imre<sup>1</sup>

## LÉGI JÁRMŰ DIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATOK – DINAMIKUS TERMOGRÁFIA<sup>2</sup>

*A roncsolásmentes vizsgálatok kiemelt fontosságúak a légi járművek üzemeltetése, karbantartása, javítása folyamatában. A „dinamikus termográfia” lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések a hőkép változása alapján felfedezhetők. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – eltérő lehet. Az írásmű kitekintést nyújt a külföldi és hazai eljárásokra és ismerteti a tanszéki kutatások tapasztalatait*

### **DIAGNOSTIC MONITORING OF AIR VEHICLES – DYNAMIC THERMOGRAPHY**

*The non-destructive testing of aircraft is the highest priority operation of maintenance and repair process. The “dynamic thermography” is that the test piece of external energy the flaws, cracks in the thermal image is detected based on the change. The principle is applicable to both metal and composite aircraft testing of devices, however, the “excitation” mode – depending on the material and test conditions in practice - may be different. This article is the outlook for foreign and domestic procedures and describes the experiences of faculty researches.*

## BEVEZETÉS

A dinamikus termográfia a roncsolásmentes vizsgálatok egyik ígéretes eljárása, amely az egyre elérhetőbb eszközöknek köszönhetően mára megérett a szélesebb körű alkalmazásra – különös tekintettel a repülőgépek állapot szerinti üzemeltetésekor kötelező gyakori ellenőrzésekre. A termokamerák mérete és ára egyre csökken, a felbontásuk és képfeldolgozásuk egyre javul, a szélesedő alkalmazói kör tapasztalatai a szaporodó szakmai publikációknak köszönhetően elterjedőben. Ezek alapján a repülőipari alkalmazásoknak – melyek korábban csak a hasznos terhek felderítő konténereiben és az éjjeli vezetés támogatásában nyertek teret – egyre inkább kiterjednek a légi járművek sárkány, hajtómű, avionika, sőt a fegyverzet vizsgálata irányába is. A szerkezeti elemek mechanikai túlterhelése árulkodóan hőmérsékletváltozással (általában növekedéssel) jelentkezik – ennek regisztrálására már a passzív infra-felvételek is jól használhatók. A nagyobb kihívás, ha a terhelés már megszűnt és a keletkezett folytonossági hiány, repedés, kötőelem lazulás, delamináció, vagy korrózió helyét kell megkeresni. A dinamikus termográfia ebben kínál kivételes lehetőséget – a vizsgálat során állít elő olyan körülményeket, amelyben a meggyengült szerkezeti elem az „egészségesektől” eltérő hőmérséklettel jelez.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem kutatási témái között szereplő eljárásról és a hozzá kapcsolt

---

<sup>1</sup> ny. okl. mk. ezds. egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, makkay.imre@uni-nke.hu

<sup>2</sup> Lektorálta: Dr. Óvári Gyula ny. okl. mk. alez; egyetemi tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék, ovar.gyula@uni-nke.hu

## DINAMIKUS TERMOGRÁFIA

A „klasszikus” termográfia a testek saját kisugárzott hőjét érzékeli. [1] A termo-diagnosztika ezen túl is keres anyagra, konstrukcióra, pillanatnyi állapotra jellemző tulajdonságokat. A vizsgálatok gyakran szabad térben, vagy nehezen befolyásolható zárt környezetben folynak, amelyek zavaró hatását a mérő rendszernek, illetve a mérési eljárásnak kell a lehető legkisebb értékre szorítani. [2]



1. ábra A hagyományos hibafelmérés termokamerával<sup>3</sup>

A „dinamikus termográfia” [3] lényege, hogy a vizsgálandó darabbal külső energiát közölve a folytonossági hiányok, repedések közvetlen közelében hővé alakul és ez a hő – amely akár néhány tíz °C is lehet – már detektálható termo-kamera, vagy infra-érzékeny film segítségével. Az elv egyaránt alkalmazható a fém és kompozit szerkezetű repülő eszközök vizsgálatánál, [4][5] azonban a „gerjesztés” módja – az anyag és a vizsgálati körülmények függvényében – lehet eltérő. A roncsolásmentes vizsgálati módszerek sorában, a jövőben egyre erősödő szerepet kaphat a dinamikus termográfia [6].

Tekintsük át a legjellemzőbb gerjesztési lehetőségeket, azok sajátosságait.

### Fény-gerjesztés

A fény-gerjesztést – viszonylagos egyszerűségének köszönhetően – széles körűen alkalmazzák a repülőgépek felületi termo-diagnosztikai vizsgálatánál. A látható fény tartományban a halogén lámpa, vagy villanó fény – megfelelő szinkronjellel vezérelve – biztosítja a fényforrás és a termo-kamera fázishelyes működését. A fény által keltett hő a sérülések, repedések környezetében

<sup>3</sup> <http://tpu.ru/i/content/1249/img12.jpg>

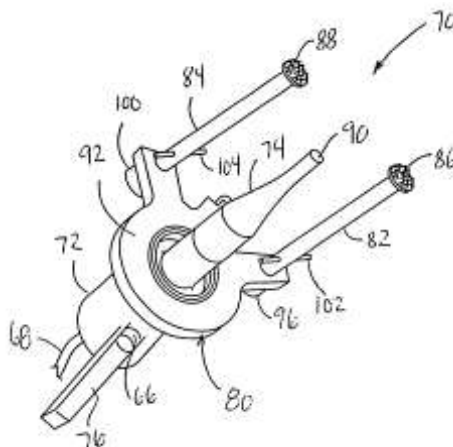
a homogén anyagtól eltérően reflektálódik, amit a termo-kamera a besugárzások szünetében képi formában megjelenít. Az ismételt besugárzásokkal a mélyebb rétegek is elérhetők, a számítógépes képfeldolgozással a felbontás és a kiértékelés minősége tovább javítható.

### Indukciós gerjesztés

Indukciós gerjesztéssel a fémes (vezető) alkatrészekben keletkező örvényáramokkal okozhatunk hőmérséklet-emelkedést. A nagyfrekvenciás jelet előállító generátor és a termo-kamera az időzítő által fázisban vezérelt, ami egyben a képfeldolgozás számára is referencia jelet biztosít.

### Ultrahangos gerjesztés

A gerjesztő jel frekvenciáját és teljesítményét a vizsgált tárgy anyagához, méretéhez kell hangolni. A termo-kamera hőmérsékletváltozást érzékel – amely a mechanikus rezgések hatására következik be. Az egyszerű – nem szinkronizált – akusztikus gerjesztés, ugyan létrehozza a hőmérsékletváltozást a nem homogén, deformált, repedéses szerkezetekben, azonban emellett jelentős termikus zaj is keletkezik. A túl nagy teljesítményű ultrahang generátorok önmaguk is kelhetnek deformációt – lásd ultrahangos hegesztés – ami a mérés meghamisításán túl maradandó károsodást is okozhat a vizsgált tárgyban.



2. ábra Ultrahangos kézi hegesztő berendezés, mint gerjesztő egység - United States Patent 6593574<sup>4</sup>

Ennek elkerülésére – a vizsgálandó tér közelében a felületre rögzítve – kisteljesítményű piezo-keramikus aktuátorokat alkalmaznak, valamint a jelfeldolgozó egység szinkronizálja gerjesztő generátort és a termo-kamerát. E két módszer mindezek mellett még jelentős fejlesztés előtt áll, különös tekintettel a fém és műanyag építésű repülőgépek eltérő gerjesztési igényeire és technológiájára.

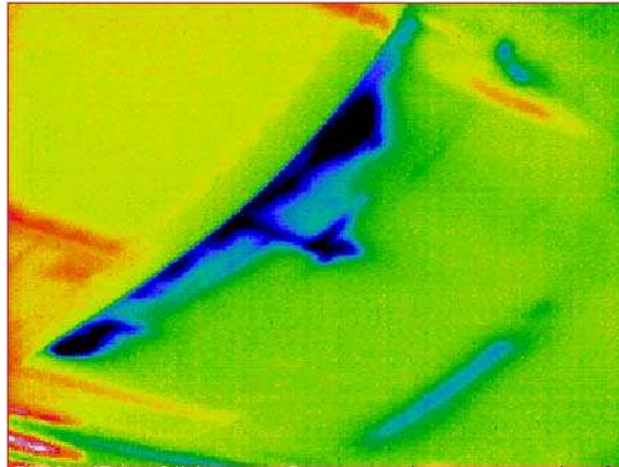
### Mikrohullámú gerjesztés

A modern repülőgépek egyre nagyobb számban épülnek kompozit technológiával, ami a javuló tömeg/teljesítménymutatók szempontjából öröndetes – azonban a fenntartás, karbantartás, javítás számára új kihívásokat is jelent. A korszerű kompozit alapú repülőgép alkatrészek „pre-

<sup>4</sup> <http://www.freepatentsonline.com/6593574-0-large.jpg>

preg” (előre impregnált) karbon, üveg, kevlar szövetből készülnek, amit a kötéshez vacuum-press kemencékben „sütnek” készre. A gyártás során folyamatos a minőség-ellenőrzés, ami biztosítja, hogy a kész alkatrész lehető legjobb paraméterekkel hagyja el a szalagot.

A repülőgépek életük folyamán gyakran kapnak „hideget-meleget” – ami önmagában nem lenne baj, hiszen így méretezték őket. Az előre nem látható események – vihar, villámcsapás, repülés-, fel és leszállás közben bekövetkezett túlterhelés – okozhat olyan, szemmel nehezen felfedezhető könnyebb sérüléseket, repedéseket, amelyeken keresztül nedvesség juthat például a „honeycomb” (méhsejt) szerkezetbe, amit a következő fagy már szétfeszít. (2. ábra)



3. ábra Delaminált kompozit rétegek egy repülőgép szárnyszelvényében<sup>5</sup>

A műszaki megoldás alapja olyan nagyfrekvenciás – mikrohullámú – generátor(család), amely átfogja a repülőgépek építésénél használatos anyagok gerjesztési tartományát és alkalmas azokban termikus reakció kiváltására.

## DINAMIKUS TERMOGRÁFIA LÉGI JÁRMŰVEK VIZSGÁLATÁRA

A légi járművek szerkezeti elemeinek szilárdsági vizsgálata a beépítés előtt illetve azt követő terhelési próbák folyamán kerül először – és a legtöbb esetben utoljára – végrehajtásra. A már üzem-szerűen működő gépek állapotáról a rendszeres átvizsgálás során a vizuális és műszeres ellenőrzés adhat információt. A külső, látható, meghibásodásra utaló jelek az alkatrészek, borítások deformációja, festés repedése, elszíneződése mind a hibafelmérő gyakorlott szemén múló jelzések.

Az olyan anyagfáradás, repedés, korrózió, delamináció, aminek a felületen nincs látható nyoma a roncsolásmentes vizsgálatokkal fedezhető fel. A dinamikus termográfia egy viszonylag új lehetőség – az eszközök korábban nem voltak széles kör számára hozzáférhetők. Az eljárás és a technikai kivitelezés éppen ezért „fejlődőképes”, a kutatók és fejlesztők számára is érdekes kihívást jelent.

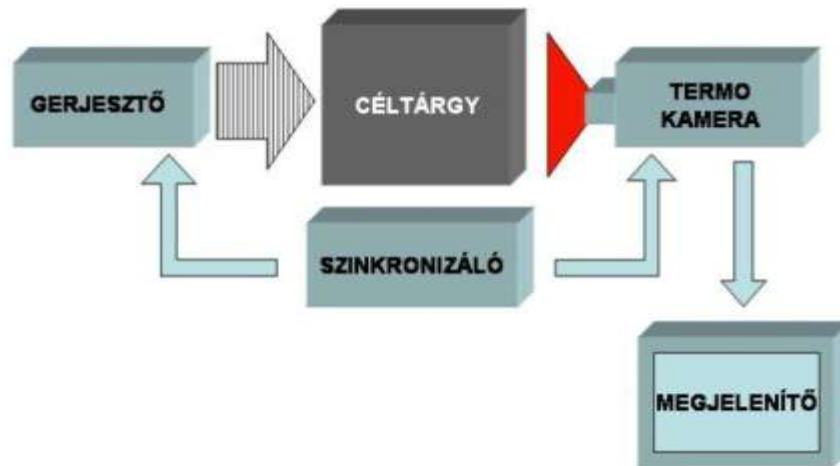
A dinamikus termográfiai mérőhely alapvető elemei (1. ábra):

- gerjesztő egység,
- termo kamera,

<sup>5</sup> [http://www.metrum.co.uk/images/Sample\\_Aircraft\\_Composition.JPG](http://www.metrum.co.uk/images/Sample_Aircraft_Composition.JPG)

- megjelenítő egység,
- szinkronizáló egység.

Amint láttuk, a gerjesztő egység feladata a rövid idejű és alacsony intenzitású „hősokk” kiváltása – természetesen nem okozva ezzel a vizsgált szerkezeti elemek maradandó deformálódását. A gerjesztési módot a vizsgálat tárgya és a helyi körülmények alapján lehet megválasztani. Műanyag szerkezetű anyagoknál a hagyományos indukciós nem, de a többi eljárás sikeres lehet. A cél, hogy az inhomogenitás (repedés, deleminálódott réteg) a hőmérsékletemelkedés / hűtés hatására eltérő sebességgel kövesse a környezete változásait.



4. ábra A dinamikus termográfiai mérőhely elemei<sup>6</sup>

A szinkronizáló egység – az anyag-, környezet-, meghibásodás jellegének függvényében – ütemezi a gerjesztő ciklusokat és vezérli a termokamera felvételeit. Az egyes gerjesztési ciklusok között, ha nagy a szünet, akkor a különbségek kiegyenlítődnek, összemosódnak. Az optimális gerjesztési intenzitás és a szünet idői mindig az adott helyen állítandó be – a céltárgyhoz hasonló etalonon a leghatározottabban kirajzolódó sérülés képére.



5. ábra A hőkamera és a külső vezérlő egységre csatlakoztatható képernyő<sup>7</sup>

<sup>6</sup> A szerző rajza

<sup>7</sup> [http://www.thermodelta.hu/images/tp8\\_3.jpg](http://www.thermodelta.hu/images/tp8_3.jpg)



A termokamera sorozatképeket készít, melyek elektronikus úton a megjelenítő tárhelyeire kerülnek. A termokamerának is az objektum és a környezet alapján kell a lehető legtöbb hasznos információ kinyerésére alkalmas beállítását megtalálni. A mérések megismételhetőségének érdekében mindezeket a jegyzőkönyvben rögzíteni kell.

A megjelenítő egység a mérési adatok tárolását és későbbi jel/kép feldolgozását hivatott biztosítani – célszerűen egy számítógép. Mivel az előző egységek ezt nem tudták befolyásolni, így a képfeldolgozás kell, hogy a termikus alapzajt lecsökkentse – ha lehetséges kioltja. Ez utóbbi feladat megoldása az egyetemi kutatásunk egyik célkitűzése.

## ZÁRÓ GONDOLATOK

A termográfia a vizsgálandó objektum hőképéből alkot olyan – már szemmel is értékelhető – vizuális megjelenést, amiben az anyag minősége, folytonossága értékelhetővé válik. A termográfiai alkalmazások száma egyre nő – ez kedvező körülményeket teremt a korábban nehezen beszerezhető eszközök eléréséhez.

A dinamikus termográfia olyan megoldásokat kínál a repülőgépek állapotának vizsgálatára, amely más eljárásokkal nem, vagy csak nehezen kivitelezhető. A repülőgépeknek és alkatrészeknek jellemzően nagy mérete, összetett alakja nem könnyű feladat elé állítja az ellenőrzőket. A kihívást fokozza, hogy a repülőgépek általánosan a „szabad ég” alatt dolgoznak. A vizsgálatokat – azok egy részét – tehát külső hőmérsékleti viszonyok között kell végrehajtani, ami nagyon átgondolt technológiát és gyakorlott személyzetet igényel.

A számos, még nyitott kérdés közül a dinamikus termográfiában alkalmazható gerjesztési eljárások és az intelligens megjelenítők (képfeldolgozók) felkutatása, kidolgozása és kísérleti alkalmazása az elsődleges célunk.

A korábbi termo-diagnosztikával foglalkozó írásainkban már utaltunk a hazai kutatások – közöttük a Katonai Repülő és Légvédelmi Tanszék oktatói és hallgatói által végzett kísérletek és elméleti munkák – eredményeinek kölcsönös hozzáférését előmozdítandó kezdeményezésünkre. A hazai repülőgép üzemeltetők és javító-karbantartó szervezetek számára is hasznos tudás és gyakorlat szándékunk szerint kedvező körülményeket teremthet – különösen a repülőgép park nem túl fiatal egyedeinek – műszaki kiszolgálásához.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Dr. NAGY Tamás A termokamera, avagy a csörgőkígyó stratégiája I. II.  
[http://www.hexium.hu/index2.html?HUN&downloads&04\\_Downloads/20\\_Publications&0](http://www.hexium.hu/index2.html?HUN&downloads&04_Downloads/20_Publications&0)
- [2] Infrared Thermographic Inspection in Aero Space Industry <http://tpu.ru/en/research/research-business/developments/ndtdqipmc/itiasi/>
- [3] Anyagvizsgálók Lapja 2009/3 pp88-89
- [4] R.L. THOMAS, Xiaoyan HAN, and L.D. FAVRO Institute for Manufacturing Research Wayne State University, Detroit, MI 48202, USA Thermal Wave Imaging of Aircraft for Evaluation of Disbonding and Corrosion
- [5] DAVID K. Nondestructive inspection of composite structures: Methods and practice HSU Center for Nondestructive Evaluation Iowa State University Ames, Iowa 50011, USA
- [6] Yoseph BAR-COHEN: Emerging NDE Technologies and Challenges at the Beginning of the 3rd Millennium – Part I, II Jet Propulsion Laboratory, Caltech, (82-105),