

MŰSZAKI DIAGNOSZTIKA II

TERMOGRÁFIA

Szerkesztette: Dr. Nagy István

**Szerzők: Dr. Nagy István
Baksai Gábor
Dr. Sólyomvári Károly**

2007

Műszaki Diagnosztika
ISBN 978-963-06-0806-0
 Műszaki Diagnosztika II.
ISBN 978-963-06-0808-4

Copyright © Delta-3N Kft.

Minden jog fenntartva. A könyv másolása egészében, vagy részleteiben jogszerűtlen, törvény által büntetendő cselekmény. A jogtulajdonos írásos engedélye nélkül tilos másolni, sokszorosítani, reprodukálni bármilyen eszközzel, másolatát tilos tárolni bármilyen adathordozón ide értve az elektronikus adattároló eszközöket is.

Kiadó: Delta-3N Kft.
 7030 Paks, Jedlik Á. u. 2.
<http://www.delta3n.hu>

Kiadásért felelős: Dr. Nagy István
 Tel.: 06-75 / 510-115
 Fax: 06-75 / 510114
 ügyvezető-igazgató
 drnagy@delta3n.hu

Nyomdai előkészítés: Plézer Máttyás, It Island Bt.
<http://www.itisland.hu>

Borító terv: Plézer Máttyás
Nyomda: Pauker Nyomda

Tartalomjegyzék

A SZERZŐKRŐL RÖVIDEN	5
1. BEVEZETÉS	7
2. TERMOGRÁFIA ELMÉLETI ALAPJAI	10
2.1. A termográfia hőfizikai alapjai	10
2.1.1. A hő és a hőmérséklet fogalma	11
2.1.2. A termodinamika főtételei	12
2.1.3. A hőközlés módjai	13
2.1.4. Kirchoff törvénye	25
2.1.5. Feketetest sugárzása	27
2.1.6. Stefan-Boltzmann törvény	29
2.1.7. Rayleigh-Jeans elmélet	30
2.1.8. A Planck féle sugárzási törvény	30
2.1.9. Wien eltolódási törvénye	33
2.1.10. Az Infravörös sugárzás mérése	35
2.1.11. Érinkezés nélküli hőmérsékletmérések	35
3. A TERMOKAMERÁK FELÉPÍTÉSE	49
3.1. Az infravörös termográfia története	49
3.2. Infravörös rendszerek	53
3.2.1. Ponthőmérő rendszerek	53
3.2.2. Hőkamera rendszerek	53
3.3. A termokamerák felépítése	56
3.3.1. Infravörös sugárzást mérő termométerek	56
3.3.2. A termál szkennerek és képalkotó műszerek	60
3.3.3. A multidetektor szkennerek	62
3.3.4. Infravörös Fokal Plane Array (IRFPA) képalkotók	62
3.3.5. A Pyroelektrikus Vidicon hőkép-alkotók	63
3.3.6. Távoli érzékelők (Remote Sensors)	64
3.4. Termokamerák és pont-hőmérők műszaki jellemzői	66
3.5. Készülék hitelesítése	69
4. TERMOKAMERÁK ALKALMAZÁSA A GYAKORLATBAN	71
4.1. A termográfia alkalmazási területei	71
4.2. A környezet hatása a mérésekre	72
4.3. Föld alatti, eltemetett objektumok vizsgálata	74
4.4. Légifelvételek termokamerával	75
4.5. IR-Fusion™ Technológia	76
5. MECHANIKAI RENDSZEREK VIZSGÁLATAI	80
5.1. Mechanikai rendszerek	80
5.1.1. Csapágyak	81
5.1.2. Lassú csapágyak	82
5.1.3. Tengelykapcsolók	82
5.1.4. Közlőművek, hajtóművek	83
5.1.5. Szíj- és lánchajtás	83
5.1.6. Villamosmotorok	84
5.1.7. Egyéb alkalmazások	86
6. VILLAMOS RENDSZEREK TERMOVÍZIÓS VIZSGÁLATA	90
6.1. Felületi érintkezési hibák	91
6.2. Túlterhelés vagy áramingadozás miatti hibák	92
6.3. Transzformátorok vizsgálata	93
Száras transzformátorok vizsgálata	96

6.4.	Kondenzátorok ellenőrzése.....	96
6.5.	Vezetékek kötéseinek ellenőrzése.....	96
	Kötőelemek, csatlakozók.....	96
	Saruk.....	96
6.6.	Kapcsoló szekrények, áramelosztó berendezések vizsgálata.....	97
6.7.	Motor vezérlőegységek, és terhelésszabályozók ellenőrzése.....	99
6.8.	Akkumulátorok és töltő áramkörök ellenőrzése.....	99
6.9.	Áram- és világítás elosztó panelek vizsgálata.....	99
6.10.	A vizsgálatok biztonsága.....	99
6.11.	Néhány fontos szempont az állapotvizsgálathoz.....	100
7.	ÉPÜLETEK TERMOKAMERÁS VIZSGÁLATA.....	103
7.1.	Tetőnedvesedések, beázások.....	103
7.2.	Épületek vizsgálata.....	108
7.3.	Az épületek termográfias vizsgálatának gyakorlata.....	112
7.4.	Kifejezetten építészeti célokra kifejlesztett kamerák jellemzői.....	116
8.	KATONAI- ÉS RENDÉSZETI ALKALMAZÁSOK, ŐRZÉS-VÉDELEM.....	118
8.1.	Katonai alkalmazások.....	118
8.1.1.	Katonai alkalmazás célja és néhány aspektusa.....	122
8.1.2.	Katonai alkalmazásra tervezett IR rendszerek.....	122
8.1.3.	A katonai célú Infra megfigyelő rendszerek időrendi fejlődése:.....	124
8.2.	Anti-termikus maszkírozás, védelem.....	126
8.3.	Rendészeti- őrzés-védelmi, határvédelmi felügyeleti alkalmazások.....	128
8.3.1.	Rendészeti- és őrzésvédelmi feladatok.....	128
8.3.2.	Felügyelő- és CCTV kamera rendszerek.....	130
8.4.	Éjjellátó készülékek.....	132
9.	A TERMOGRÁFIA ALKALMAZÁSA A GYÓGYÁSZATBAN.....	136
9.1.	A termográfia humámdiagnosztikai alkalmazása.....	136
9.2.	A termográfia alkalmazása az állatgyógyászatban.....	146
10.	KITEKINTÉS A NAGYVILÁGBA, EGYÉB ALKALMAZÁSOK.....	153
10.1.	A vulkáni tevékenységek vizsgálata.....	153
10.2.	Oceanográfia, hidrológia, meteorológia.....	156
10.3.	Szárazföldi hőhullámok, időjárás anomáliák megfigyelése.....	164
10.4.	Óceánok áramlatainak, folyó- és állóvizek tulajdonságainak vizsgálata.....	164
10.5.	Kráterek geológiai vizsgálata.....	169
10.6.	Erdőtüzek azonosítása, megfigyelése a magasból.....	170
10.7.	A földi vegetáció tanulmányozása.....	172
10.8.	Erdők állapotának monitorozása.....	178
10.9.	Geológia, ásványi anyagok, ércek felismerése, feltérképezése.....	179
11.	KUTATÁS-FEJLESZTÉS.....	183
11.1.	Csillagászat.....	183
11.2.	Naprendszerünk kutatása.....	183
11.3.	Kozmológia.....	190
11.4.	Az univerzum fejlődése.....	192
11.5.	Galaxisok kutatása.....	196
11.6.	Szupernovák.....	198
11.7.	A kvazárok.....	201
11.8.	Csillagok születése.....	203
11.9.	Galaxismagok.....	204
12.	IRODALOMJEGYZÉK.....	205
	Információforrások az Internetről.....	207
	Jegyzetek.....	210

A SZERZŐKRŐL RÖVIDEN



Dr. Nagy István

Nukleáris mérnök-fizikus, diplomáját a Moszkvai Energetikai Műszaki Egyetem Atomerőművek és Nukleáris Kísérleti Berendezések szakán védte meg 1977-ben. A műszaki tudományok kandidátusa fokozatot Moszkvában szerezte 1988-ban reaktordiagnosztika témában elért eredményei révén. Egyetemi doktori címét a Budapesti Műszaki egyetemen kapta, kandidátusi fokozatát a Magyar Tudományos Akadémia honosította 1990-ben.

Dolgozott az MTA Központi Fizikai Kutató Intézetében, ahol az első hazai atomerőmű fizikai feladatainak ellátására készült fel. A Paksi Atomerőműben több feladatkört látott el: volt reaktorfizikus, majd a fizikusok vezetője, ezt követően a reaktordiagnosztikai részleg vezetője. Dolgozott műszaki referensként az Atomerőmű létesítésének Kormánybiztosa mellett, majd üzembe helyezőként. Később megalakítja az Olajterv Paksi Kirendeltségét, melynek egy ideig vezetője. Dolgozott az MTA SZTAKI főmunkatársaként. Jelenleg a Dunaújvárosi Főiskolán tanít és saját vállalkozását, a Delta-3N Kft-t irányítja.

A szerző nagy ipari tapasztalattal rendelkezik gépek állapotvizsgálata, és diagnosztikai rendszerek fejlesztése területén. A témában több képzésen is részt vett és oklevelet szerzett az Egyesült Államokban, és maga is rendszeresen oktat.



Baksai Gábor

Gépészmérnök, tanulmányait a Dunaújvárosi Főiskola gépészmérnöki szakán végezte. Sok éve foglalkozik termográfiai mérésekkel, ezen a területen nagy gyakorlattal és tapasztalattal rendelkezik. Több szakmai tanfolyamot elvégzett, előadásokat, illetve oktatási gyakorlatokat tart. 2006-ban nemzetközileg elismert bizonyítványt szerzett Hollandiában, a Snell Infrared által szervezett termográfiai oktatáson.

Jelenleg a Delta-3N Kft. munkatársa, Mérés- és Laborvezető munkakörben. Területei a termográfia, a gépbeállítás, kiegyensúlyozás, mozgásanimációs mérések, valamint a laborvizsgálatok.

**Dr. Sólyomvári Károly**

Gépészmérnöki oklevelét a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen 1957-ben szerezte. Az egyetem elvégzése után munkáját először a MÁV Miskolci Járműjavító Üzemben kezdte, ahol üzemvezetőként és gyárrészlegvezető helyettesként dolgozott 1957-1968-ig.

1964 – 1967 között a NME Gépelemek Tanszékén meghívott gyakorlatvezetőként részt vett az Általános géptan gyakorlati oktatásában.

1968-ban került a BME Közlekedésmérnöki Kar Technológia és Járműjavítási Tanszékére, a későbbi nevén (1969-től) Gépipari Technológia Tanszékre (jelenleg Járműgyártás és -javítás Tanszék)

egyetemi adjunktusi beosztásba. 1996-tól, az oktatási tevékenységét nyugdíjasként tovább folytatja tudományos főmunkatársként.

Műszaki doktori címet 1980 szerzett (BME).

Oktatási területei: a Szerkezeti anyagok technológiája III. (forgácsolás), a Gépgyártás és javítás, a Vasúti járművek üzeme és javítása, Vasúti járművek gyártása, továbbá a Járműfenntartás. A Kar szakmérnöki oktatásában 1975-óta vesz részt.

Oktatott más felsőoktatási intézményben is, többek között a Gödöllői, a Soproni Egyetemen, a Debreceni, a Mezőtúri és a Bánki Donát Főiskolán. Korábban a BME Gépészmérnöki Karon a kiegészítő képzés keretében vett részt az oktatásban. Jelenleg a Nyíregyházi Főiskolán meghívott előadóként oktat.

Főbb kutatási területei: fenntartási rendszerek elemzése, fenntartási stratégia; műszaki diagnosztikai eljárások alkalmazása; alkatrész felújítási technológiák élettartam összefüggései; minőségirányítás.

Több mint 80 publikációja jelent meg. Ebből 10 könyvnek, jegyzetnek volt a szerzője, vagy társszerzője. Jelentős számban jelent meg cikke folyóiratban és konferencia kiadványban, részben önállóan, részben társszerzővel, amelyek közül közel 20 publikáció idegen nyelvű volt.

1957-től tagja a Közlekedéstudományi Egyesületnek.

A Gépipari Tudományos Egyesületnek 1973-tól tagja. A GTE Központi Szakosztály elnöke (1985-2006). Jelenleg a szakosztály társelnöke. A Gépgyártás c. GTE folyóirat szerkesztőbizottsági tagja.

1998-tól a DELTA 3N Kft szaktanácsadója. Jelenleg minőségbiztosítási főmérnökként a vállalkozás minőségirányítási rendszerének felelőse.

A Delta-3N Kft. (www.delta3n.hu) profilja a műszaki diagnosztika. Ezen belül kiemelkedő helyet foglal el a forgógépek rezgésdiagnosztikája, amit az egyedülálló teljesítménnyel rendelkező ExpertALERT szakértői rendszer tesz nagyon hatékonyá, melyet a DLI Engineering Corp. fejlesztett ki a US NAVY követelményei alapján. A cég végez még forgógépek kiegyensúlyozását, lézeres gépbeállítást, termográfiai-, ferrográfiai méréseket, ultrahangos szivárgás- és hibadiagnosztikát. A cég gépállapot diagnosztikai szolgáltatásokon kívül gépvédelmi és diagnosztikai rendszerek fejlesztésével, installálásával, komplex rendszerek kulcsra kész szállításával, eszköz és műszer kereskedelemmel, és diagnosztikai oktatással is foglalkozik. A műszaki diagnosztika területén a Delta-3N Kft. által alkalmazott módszerek, technológiák és műszerek öt amerikai cég (DLI Engineering Corp., Connection Technology Center Inc., CTRL Systems Inc., Fluke/Infrared Solutions International Inc. és a Vibrant Technology Inc.), egy japán vállalat (Shinkawa Electric Corp.) és egy ausztráliai cég (Mobius Inc.) fejlesztéseinek eredménye. A kft. kiemelkedő ipari megrendelői a MOL Nyrt., a Paksi Atomerőmű Zrt. és a Nitrogénművek Zrt., de nagyon sok más céggel áll üzleti, szakmai kapcsolatban.

1. BEVEZETÉS

Ez a könyv egy sorozat második kötete, amely a Műszaki Diagnosztika összefoglaló címet viseli. Eredetileg a kétkötetesre terveztem, és úgy gondoltam, hogy egymagam írom meg mind a két könyvet. Az első kötet megírása ezt az elképzelést módosította. Előbb három, majd négy kötetre becsültem a mondanivalót, de eljutottam oda, hogy inkább nem nyilatkozok a kérdésben. A második könyvet hárman írtuk. Úgy véljük, hogy kellemes volt együtt dolgozni és a további kötetek fejezeteinek megírása során mindenképp fogunk együttműködni még valamilyen formában.

A könyvsorozat elsődleges célja a karbantartási munka, a karbantartók segítése a műszaki diagnosztikai módszerek és eszközök elméleti és gyakorlati ismertetése, összefoglalása. Az érdekesség és a sokoldalúságra való törekvés azért megkívánja a kitekintést más területekre is, ahol az adott technológia használható. Reméljük, nem bánja ezt az olvasó.

A termográfia alkalmazása az ipar különböző ágazataiban, a folyamat- és gyártásfelügyelet, az energiaaudit (energia ráfordítások és veszteségek vizsgálata), a gépek működésellenőrzése, mechanikai- és villamos berendezések, épületek állapotfelügyelete, vizsgálata a villamos és gépész karbantartás területén napjainkban robbanásszerűen terjed.

A rendfenntartás, a rendőrségi akciók és felügyeleti munka, objektumok őrzésvédelme, a határvédelem, a tűzoltás, a tűzgócok azonosítása, az eltűnt személyek mentésére, felkutatására indított akciók, a katonai tevékenység, a harctéri cselekmények, az erdőtűzek felderítése, fejlődésének figyelemmel kísérése, a füstön való áthatolás mind-mind olyan feladat, melyek megoldását meghatározó módon befolyásolja a termokamerák, a termográfia alkalmazása.

A humán orvosi diagnosztika, az emberi test abnormalis elváltozásainak, betegségeknek és működési zavaroknak a felfedezése, beazonosítása és behatárolása a hőmérséklet-eloszlásban megmutató szimptomák alapján, a kezelések alatti és utáni gyógyulási folyamat ellenőrzése, az állatorvosi tevékenység, olyan területek, ahol a termográfia, mint vizsgálati módszer egyre nagyobb mértékben terjed a nyugati orvoslásban, a fejlettebb országokban.

Vannak más területei is az emberi tevékenységnek, mint például a szárazföldön és a tengerekben élő vadvilág életének megfigyelése és befolyásolása, a halászat; az oceanográfia, a szárazföldi- és a vízi-növények fejlődésének, a növényi betegségek okozta környezeti elváltozásoknak a felismerése, a mezőgazdasági termelés hatékonyabb megszervezése, ahol a termográfának egyre több hasznát veszik.

A környezetvédelem, a környezeti katasztrófával fenyegető károk, mint pl. az olajki-folyások ellenőrzése, mentőakciók segítése terén egyre szélesebb körben terjed az infravörös tartományban gyűjtött információk alkalmazása.

Az ökológiai változások; az időjárási jelenségek és anomáliák megfigyelése; időjárás-változások és természeti katasztrófák előrejelzése, a Föld globális felmelegedését kísérő jelenségek tanulmányozása terén a termográfia alkalmazása egyre több hasznos módszer bevezetését teszi lehetővé.

A geológia, a bányászat, a vulkánok viselkedésének tanulmányozása, a vulkánkitörések előrejelzése, az üstökös becsapódások révén létrejött kráterek viselkedésének tanulmányozása, más égitestek, bolygók kutatása, a csillagászat és a kozmológia mind-mind olyan terület, melyek nem nélkülözik és nem is nélkülözhetik a termográfia eredményeinek alkalmazását.

Az említett területek, alkalmazások mindegyike olyan, hogy a megfigyelt objektumok hőmérséklet különbségeit kell detektálni, melyek a termikus tulajdonságaiktól függő hőmérsékleteloszlást produkálnak. Például, egy épület falának felületén, vagy a nyílászáróknál kimutatott meleg foltok jelezhetnek olyan energia eloszlást, amelyek nem hatékony energiafelhasználáshoz köthetők, vagy esetleg szigetelési hiányosságra, nem kívánatos hőszökésre utalnak. A tankok és a katonák akció közben megfigyelhető éjszaka is. A bűnözők, akik egy bankba behatolnak zárás után, egy infrakamerát alkalmazó felügyelő rendszer monitorán élesen kirajzolódó lopakodó forró testként jelennek meg. Egy ember torkán megjelenő abnormálisan meleg terület jelezhet pajzsmirigy rendellenességet.

Ez a hőmérséklet érzékelésén alapuló nagyon széles körben alkalmazott technológia a TERMOGRÁFIA, ami szkennereket és kamerákat alkalmaz speciális detektorokkal, melyek érzékenyek a testek által kibocsátott hősugárzásra. A 3-5 μm hullámhossz tartományban az Indium-Antimon (InSb) és a Platina-szilicid anyagból készült detektorok érzékenyek a sugárzásra. A termikus fotonok elektronokat ütnek ki az érzékelő anyagból, amely segítségével hozzuk létre a változó jelet a hőmérséklet-különbségek kijelzésére. A másik nagyon elterjedten használt hullámhossztartomány a 8-14 μm , amely a Higany-Kadmium-Tellur detektorokkal érzékelhető. Az utóbbiaknál a detektáláshoz a kvantum sugárzási effektust használjuk, ami hűtést igényel energiatermelő folyamat lévén. Egy másik folyamat, ami piroelektromos effektusként ismert, hűtés nélküli detektorok készítését teszi lehetővé, melyek közé tartoznak a radiométerek és a ferroelektrikus bolométerek. Attól függően, hogy mit kezdünk a kinyert jelekkel, a képalkotó rendszerünk produkálhat a látható fény tartományában fekete-fehér képet, zöld tónusú képet, vagy színeset. Az utóbbi esetben a különböző hőmérséklet értékekhez különböző színeket rendelünk mesterségesen valamilyen színpalettát definiálva. Az érzékelők nagy hőmérséklet tartományokat fedhetnek le, melyek az alkalmazás igényei szerint választhatók meg. A hőmérséklet érzékelés felbontása lehet nagyon kis érték is, a korszerű termokamerák esetén ez akár 0.07 °C.

Ezt a könyvet a termográfia fizikai alapjainak bemutatásával kezdjük a második fejezetben, majd a detektorokról, a kamerákról és szkennerekről adunk egy átfogó áttekintést a harmadik fejezetben. A negyedik fejezetben a mérési körülmények hatásaival foglalkozunk. Kiemelten tárgyaljuk a környezet hatását a termográfiai vizsgálatokra és ismertetjük az ún. Fusion technológiát, ami a digitális és a termográfiai felvételek fúziója révén egy kivételesen hatékony módszert ad a vizsgálatokhoz, az eltérések, a hibák beazonosításához. Ezután bemutatjuk az alkalmazásokat, melyek közül kiemelt helyet szántunk az állapotfüggő és proaktív karbantartás információellátásának tárgyalására. Részletesen beszélünk a gépek mechanikai szerkezetek (ötödik fejezet), a villamos berendezések (hatodik fejezet) és az épületek (hetedik fejezet) termográfiai vizsgálatainak sajátosságairól. Ezt követi a katonai és egyéb rendvédelmi alkalmazások ismertetése a nyolcadik fejezetben. A humán- és állatgyógyászat néhány aspektusát tárgyaljuk a kilencedik fejezetben. A tizedik fejezet egy olyan kitekintés, ahol sokféle alkalmazást vizsgálunk meg bevezető jelleggel. Foglalkozunk például a vulkáni tevékenységek vizsgálatával, az óceanográfia, a hidrológia, a meteorológia termográfiai megfigyelési módszereivel, a szárazföldi hóhullámok, az időjárási anomáliák megfigyelésével. De kitérünk röviden az óceánok áramlatainak, a folyó- és állóvizek tulajdonságainak vizsgálatára, a gleccserek és az Antarktisz globális felmelegedés okozta változásaira. Foglalkozunk a kráterek geológiai vizsgálataival, az erdőtüzek azonosításával és megfigyelésével a magasból, és kitérünk a földi vegetáció tanulmányozásának és a mezőgazdasági növénytermesztés optimalizálásának, problémái felismerésének lehetőségére az IR sugaras megfigyelések alkalmazásával. Beszélünk az erdők állapotának monitorozásáról, a geológiai alkalmazásokról, az ásványi anyagok, ércek felismerésének és feltérképezésének korszerű módszereiről. A tizenegyedik fejezetnek ugyan a kutatás-fejlesztés címet adtuk, de igazából az asztronómiára és a kozmológiára korlátoztuk mondandónkat. Tulajdonképpen a termográfia alkalmazásának nagyon sok területén folyik kutató-fejlesztő munka, de ezeket nem érintettük.

A könyv megírásának célja egy olyan összefoglaló anyag elkészítése volt, amely tisztázza a termográfia alapjait, egy kicsit érinti az alkalmazott mérőműszerek leírását és felhívja a figyelmet annak nagyon sokrétű alkalmazási lehetőségére. Reméljük, hogy aki megvásárolja e munkát és veszi a fáradságot forgatására, nem csalódik és megtalálja benne amit keres. Kívánjuk, hogy haszonnal, jókedvvel és érdeklődéssel tanulmányozza könyvünket minden kedves olvasónk.

A szerkesztő