



Dr. Kováts László Dezső

Infrakamerás mérések alkalmazásának alapjai

BME 2008.

Írta:

Dr. Kováts László Dezső

Műszaki szerkesztő:

Fritzné Tószecski Mária

A kiadvány teljes terjedelmében megtalálható a www.gmf.bme.hu honlapon az Üzemeltetési szolgáltatások, ezen belül a Munka-, tűz- és környezetvédelem alatt, ahol a kiadvány fekete-fehér képanyaga színes formában is megtekinthető.

Kiadás: 2008. január

Készült az Országos Munkabiztonsági és Munkaügyi Főfelügyelőség munkavédelmi jellegű bírságok felhasználására kiírt pályázatán elnyert vissza nem térítendő támogatás felhasználásával.

Kiadta:

BME GMF Üzemeltetési Osztály

Felelős kiadó: Dr. Hajós Róbert igazgató

Készült a BME OMIKK Reprográfiaüzemében

1011 Budapest, Gyorskocsi u. 5–7.

Felelős vezető: Fonyó Istvánné főigazgató

ISBN: 978–963–420–941–6

Termográfia

A műszaki állapotvizsgálaton alapuló diagnosztikai vizsgálatok ismert módszerei között található a termográfia, azaz a berendezések termikus állapotának optikai úton való megfigyelése, és a hőképek alapján való hibadiagnózis készítése.

1. Az infrakamerák működési elve

Az infravörös sugárzást 1800-ban Herschel angol csillagász azonosította először. Korábbi tanulmányokból ismert lehet az a kísérlete, miszerint a hóra kitett különböző színű textil darabok süllyedésének sebességét vizsgálva megállapította, hogy azok eltérőek.

A további kísérletek során egy elsötétített helységbe bevezetett napsugarat prizmával a színeire bontott, majd az odahelyezett hőmérő sorozattal kereste az egyes színek termikusságára jellemző adatokat. Az eredmény az lett, hogy a vörös szín mellett, már az emberi szem által nem érzékelhető tartományban találta meg a magasabb hőmérsékleteket, és ezzel felfedezte az infravörös sugárzást, amit IR (infrared) rövidítéssel azonosítunk.

Az infravörös sugárzás optikai tulajdonságai teljes mértékben azonosak a fény optikai tulajdonságaival. Az egyetlen lényeges eltérés csupán az, hogy azok szemmel nem érzékelhetőek.

A környezetünkben található tárgyak mindegyike, amely az abszolút nulla foknál melegebb valamilyen mértékben, infravörös tartomány hullámhosszába eső sugárzást bocsát ki magából. A sugárzás intenzitása több paramétertől is függ.

Az első és legfontosabb a hőmérséklet, amely abszolút nulla foktól mért skála negyedik hatványával arányos. A második az emissziós tényező, más néven feketeségi fok, amely mint szorozótényező nulla és egy közötti értékű lehet. Ez egy a tárgy felületének sugárzási tulajdonságait megadó anyagi jellemző. Nincs szoros összhangban a fizikailag azonosítható színnel, annak ellenére, hogy általában a sötétebb színű tárgyak emisz-

szíós tényezője magasabb. Meglepő, de a természetben előforduló anyagok közül az egyik legmagasabb értékű emissziós tényezővel rendelkező tárgy az élő emberi bőr, azaz pl. egy kéz. (Meglepő, hogy mennyire „kéznél van” egy kalibrációs lehetőség.) Ugyancsak szokatlanul magas értékű emisszióval rendelkezik pl. a különben vakítóan fehérre meszelt fal is.

Az infrasugárzás harmadik jellegzetessége az, hogy éréke a felületre merőlegesen azonosítható, és a ferde, valamely szögben való megfigyelése során az változik. Ezt leíró összefüggést első közelítésben koszinusz függvényel helyettesíthetjük, amely a merőlegetől a 30° értékig igen jól közelíti a valóságos karakterisztikát.

Az infravörös sugárzás egyik legfontosabb jellemzője az, hogy a hagyományos tárgyak felületük hőmérsékletével arányos intenzitású sugárzást bocsátanak ki, ami természetszerűen összefüggésben áll a belső hőmérsékletükkel is. Ugyanakkor számos olyan anyagot ismerünk, amely a látható fény tartományában áteresztő, ilyen pl. az ablaküveg, de az infrasugárzás szempontjából nem az, és ugyanennek az ellenkezőjére is akad példa, mint a zafír, ami teljesen fényzáró, de kiváló infraoptikákat készítenek belőle.

A hőképek készítésére sok módszer ismeretes, amely az infravörös filmek alkalmazásától kezdődően a korszerű infrakamerák által előállított infra-mozgóképekig terjed.

A diagnosztikai gyakorlatban a nagy érzékenységű infrakamerák alkalmazása terjedt el. Ezek szobahőmérsékleten, jellemzően $0,2^\circ\text{C}$ felbontásúak, és az alsó mérési tartományok általában $-15 - -20^\circ\text{C}$ -nál kezdődnek, illetve egyes típusok felső mérési tartománya eléri a $+800 - +2000^\circ\text{C}$ értéket is.

A berendezések hőkép alkotási paraméterei a továbbiakban nagyjából megegyeznek az ismert videotechnikai megoldásokkal. A hőképek értékelése során nem hőmérsékleteket azonosítunk, hanem sugárzás intenzitás szinteket, amelynek két paramétere van, a fekete szint és az átfogás. Mindkettő egymástól

függetlenül állítható. A fekete szint az az érték, amely fölötti intenzitású képelemeket kívánjuk megjeleníteni, az átfogás, ugyanakkor a mérési, vizsgálati tartomány nagyságát jelenti.

A hagyományos fekete-fehér infraképek mellett előállíthatóak mesterségesen színezett infraképek is, amelyekben a fényerő tartományokat színeknek feleltethetjük meg. A beállítás szabadon megválasztható, de vannak az észleléshez ajánlott megszokott beállítások (színskálák) is.

2. Az infrakamerák felhasználási lehetőségei

A hőképek alapján a vizsgált berendezésen megfigyelhető felületi hőfoltok segítségével jól azonosíthatóak a berendezésben meglévő hőforrások. Ezek egy része jó, üzem meleg állapotra jellemzőek, de gyakori az, hogy a jó, üzemi állapottól eltérő, helyi hőforrásokra visszavezethető melegfolt hibahelyre utal. Villamos berendezések esetében a helyi túlmelegedés jellemzően a megnövekedett átmeneti ellenállás miatt következik be, de előfordul az is, hogy átvezetés, szivárgó áram, vagy mágneses tér miatti indukció miatt figyelhető meg indokolatlan helyi túlmelegedés.

A villamos berendezésekben az áram hőhatása mellett a mechanikai eredetű, rezgés miatti melegedések is azonosíthatóak.

Gyakori vizsgálati lehetőség a forgó, mozgó gépészeti berendezések esetén a helyi, megnövekedett súrlódás miatti túlmelegedés. Jellemző a csapágy és motorhibák azonosítása, a kiegyensúlyozatlanságra vagy pl. tengelykapcsolók esetében az egytengelyűség hiányára visszavezethető melegedési ok.

Épületek vizsgálata során elterjedten alkalmazzák a hőképeket az épületek hőszigetelés hibáinak azonosítására, a hőhidak behatárolására.

Nem különösen gyakori, de fontos módszer a hőképek épületgépészeti diagnosztikai vizsgálatra való felhasználása, ugyanis pl. a kazánok belsőfali samottbélés kezdődő átégése külső fa-

Ion jól azonosítható, de hasonlóképpen fűtési rendszerekben a csővezetékek belsőfali korróziójának kimutatására is számos példa akad.

Szintén épületgépészeti eljárás a hideg és meleg vizes rendszerekben a lyukadási helyek falbontás, aljzat felbontás vagy talaj kiásás nélküli lokalizálása.

A módszer terepi viszonyok között alkalmas pl. árvízi állapotban a várhatóan feltörő buzgárok helyének azonosítására, a töltés védett oldali átázási helyeinek megfigyelése alapján.

Kevésbé ismert az infrakamerák régészeti célú hasznosítása, akár épületekben, akár szabadterben.

Jelentős az infrakamerák katonai célú felhasználása is.

A hőképek diagnosztikai célú készítése során az első lépés a hiba, illetve a hibahely azonosítása. Ugyanakkor nem hagyható figyelmen kívül az sem, hogy az egyes hibahelyek, hibatípusok nem azonos veszélyeket jelentenek, és önmagában az azonosítás nem elegendő a szükséges intézkedések meghatározásához. A lényeges kérdés az, hogy mi a hiba, a második pedig az, hogy milyen sürgős az elhárításához szükséges beavatkozás.

3. A berendezések várható élettartamának kiszámítása

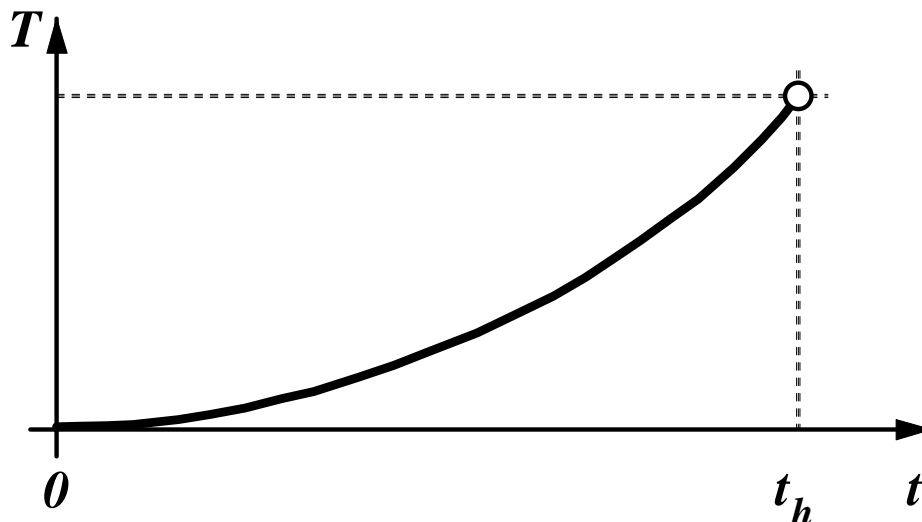
A váratlan műszaki meghibásodások megelőzésére a korszerű karbantartási eljárások előszeretettel alkalmazzák a műszaki diagnosztikai mérési módszereket. Ezek jellemző közös tulajdonsága az, hogy a hibahelyeket, a hiba várható bekövetkezését azonosítani tudják, de a bekövetkezés időpontjáról, azaz a javítás, megelőzés, karbantartás biztonságosan meghatározott határidejéről információt nem szolgáltatnak.

Egy-egy konkrét ipari hibahely azonosításakor a karbantartók, üzemviteli szakemberek első kérdése rendszerint az, hogy mi a teendő, milyen sürgős az intézkedés, mikorra várható a hiba

bekövetkezése. Legtöbb esetben ezekre a kérdésekre csupán csak „gyakorlatból” becsült adatokkal lehet válaszolni.

Az egyik módszer a termovíziós diagnózis, azaz a hőképek alapján való hiba azonosítási eljárás, amelynek segítségével ma már nem csak a hiba helye, hanem a bekövetkezés várható időpontja is meghatározható.

Ismert tapasztalati tény az, hogy a hibák kifejlődésének előrehaladtával a hibás területek környezethez képest mérhető túlmelegedése növekszik. Az állandó terhelési szinten a hőmérséklet időbeni alakulását egy jellegzetes, az 1. ábrán látható, általános alakú függvény írja le, a t időskála nullpontjától, a meghibásodás kezdetétől, a t_h időpontig a meghibásodás bekövetkeztéig tart.



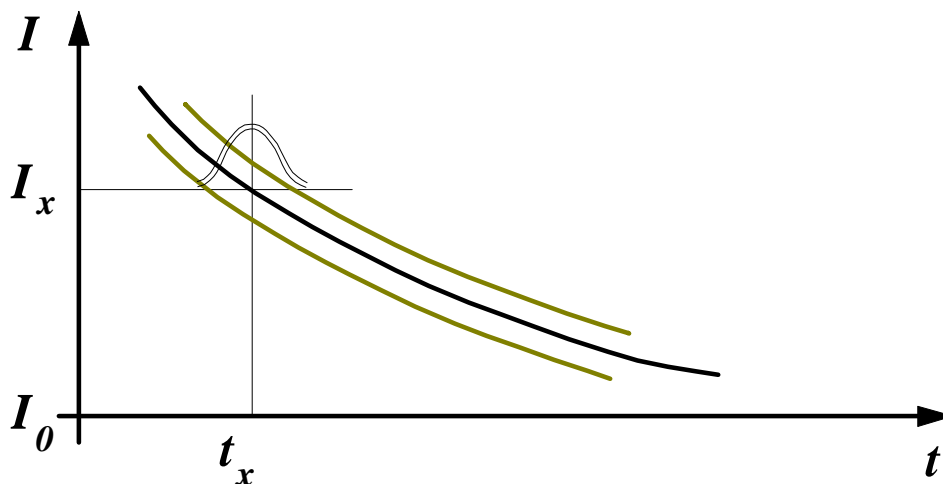
1. ábra

Amennyiben ezt az összefüggést számszerű adataival együtt ismerjük, úgy egy adott hőmérsékletet tapasztalva ebből megállapítható a berendezés hátralévő élettartama. Az összefüggés meghatározása nem egyszerű feladat és bizonyos esetekben évekig tarthat.

Villamos berendezések, alkatrészek vizsgálata során a terhelésszint-élettartam összefüggés kimérésére más módszer is alkalmazható. A 2. ábrán példaként egy árammal terhelt vezető

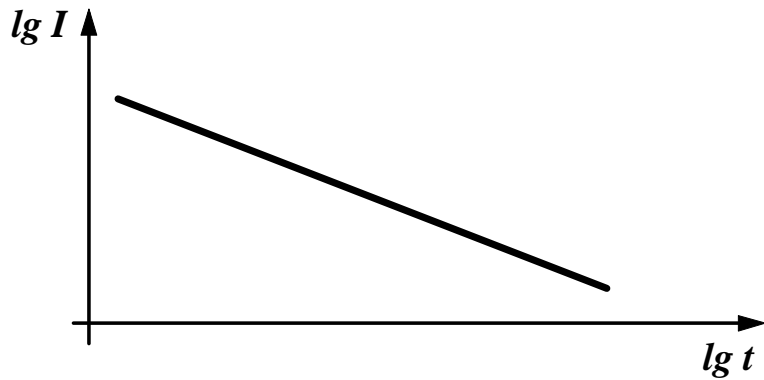
elégetése során a gyorsított fárasztóvizsgálat módszere figyelhető meg.

A vezetékmintákat I_x árammal terhelve és az elégés, megszakadás időpontját érve t_x élettartamot kapunk eredményül. A mérést többször megismételve az adatokat Gauss-görbe szerinti eloszlásúnak tapasztaljuk. Ezzel meghatározható az adott terhelési szinthez tartozó várható élettartam, és annak szórása, tűrése.



2. ábra

Amennyiben a vizsgálatot több terhelésszinten is elvégezzük, a várható értékek adatai olyan pontsorozatot alkotnak, amelyből matematikai módszer segítségével, regresszióval előállíthatjuk a vizsgált alkatétel vagy berendezés terhelésszint-élettartam összefüggését leíró függvényt. Ez természetesen nem csak a vizsgált szakaszon, hanem extrapolálva más tartományokon is meghatározható. Az összefüggés jellemzően nem lineáris, hanem hiperbolikus. Ezért a regressziós függvény logaritmikus skálával ábrázolt formáját célszerű használnunk. Ez látható a 3. ábrán.

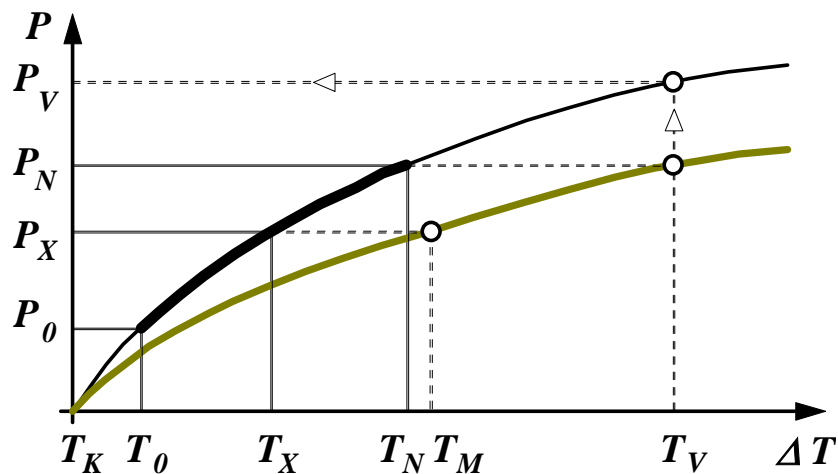


3. ábra

Ez az összefüggés természetesen minden tipikus alkatelemre, egységre (pl. vezeték, kapcsoló, érintkező, jelfogó érintkező stb.) meghatározható, sőt ezek méretsorozataiból előállított karakterisztika-sereg is jellemző sorozatot alkot. Egyes gyártók, főképp golyóscsapágyak, jelfogók esetében ezt a diagramgyűjteményt katalógusaikban szerepeltetik is.

A vizsgálni kívánt berendezések esetén a mérések során az üzemi körülmények rendszerint adottak és a terhelési szintet nem tudjuk befolyásolni.

A mérni kívánt berendezések, egységek rendelkeznek egy, a terhelésszint és az állandósult üzem meleg állapot közötti összefüggéssel. Ez látható a 4. ábrán.



4. ábra

A berendezés túlmelegedését minden esetben a T_K környezeti hőmérséklethez képest mérjük. A P_0 üresjáratú teljesítmény esetén az üzemi hőmérséklet növekedés a környezethez képest T_0 értékű, a P_N névleges terhelés esetén pedig T_N értékű. Az összefüggés a legtöbb esetben nem lineáris, de bármely P_x terhelési szinthez tartozik T_x túlmelegedési hőmérséklet. A jellemző karakterisztika $P_0 - P_N$ tartományban pontonként kimérhető, a függvény pedig az előzőekben már leírt módon regresszió számítással előállítható, és T_N tartomány határain túl extrapolálható.

Amennyiben a mérés során egy P_x terhelési vagy teljesítményszinten T_x helyett egy megnövekedett T_M hőmérsékletértéket azonosítottunk, úgy ez utal a hibára.

Az első kérdés az, hogy ha a berendezés P_N névleges teljesítményen üzemelne, akkor ez a hőmérséklet mekkora lenne.

Egyenes arányosság felírásával a következőket kapjuk.

$$\frac{T_M - T_K}{T_x - T_K} = \frac{T_V - T_K}{T_N - T_K}$$

Mindezek után meghatározható az a T_V virtuális túlmelegedési szint, amelyre a hibás berendezés névleges, 100 %-os terhelés esetén melegedne fel. Amennyiben ezt a szintet az eredeti jelleggörbére vetítjük, úgy arról leolvasható az a P_V virtuális terhelésszint, amelyen egy jó berendezés ugyanezt a túlmelegedést érné el. Természetesen ez a szint olyan magas is lehet, amely a valóságban, mint túlmelegedés már elő sem fordulhat.

A P_V virtuális terhelésszint és a 2. ábrán szereplő élettartam összefüggés segítségével ezek után könnyen meghatározható a hozzátartozó T_V élettartam számértéke is.

A módszer segítségével eddig mintegy 3000 felderített hiba azonosítása és bekövetkezési időpontjának kiszámítása történt meg. A gyakorlat a számítás felhasználhatóságát beigazolta.

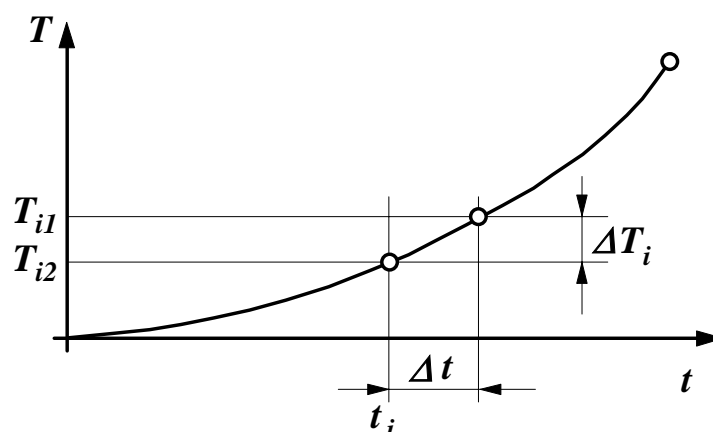
A villamos berendezések vizsgálata mellett fokozódott az igény hasonló számítási eljárás mechanikus egységeken való alkalmazására is.

A Visontai Külfejtéses Bányaüzemben az 54 km-nyi szállítószalag rendszerben kb. 200 000 db szállítószalag görgő üzemel. Itt a csapágy-meghibásodások viszonylag gyakoriak. Amennyiben a hiba kifejlődése törésig tart, akkor a görgő már nem javítható, újat kell készíteni. A javítás költsége és az új görgő ára közötti különbség kb. 2500 Ft darabonként, tehát ez a megtakarítható összeg. Emellett a hibás görgők megnövekedett gördülési ellenállása miatt a hajtás energiaigénye is megnövekszik, és ezt a bányaüzem területén kb. 0,5 MW nagyságrendűre becsültük. Ez szintén megtakarítható. A legnagyobb gondot mégis a harmadik jelenség okozza, ugyanis a túlmelegedett görgők éves szinten átlagosan 100 alkalommal okoznak kisebb-nagyobb tüzeseteket.

Az infrakamerával történő vizsgálatok segítségével a hibás görgők üzem közben könnyen kiválaszthatóak voltak. A konkrét méréskor az állomány 3,6 %-a bizonyult hibásnak.

A görgők hőmérséklet-élettartam jelleggörbéjének meghatározása, hagyományos fárasztóvizsgálatok segítségével csak költségesen, és időigényesen lett volna elvégezhető. Ezzel szemben rendelkezésünkre állt nagyszámú különböző műszaki állapotú, de azonos típusú görgő.

A mérések során feljegyeztük az egyes görgők termikus állapotát, és ez volt a T időpontban mért túlmelegedés érték. Ez látható az 5. ábrán.



5. ábra

Ezután a mérést ΔT idő, (2 hét) múlva megismételtük, és azt tapasztaltuk, hogy a túlmelegedés-értékek megnövekedtek. Ezek az eredmények a T_{i1} értékek. A növekedések a ΔT_i adathalmazt eredményezték (a t_i időpontok ismeretlenek). Annak eldöntésére, hogy a folyamat mennyire jól korrelál, a túlmelegedés átlagértékéből:

$$T_{ti} = \frac{T_{i1} + T_{i2}}{2},$$

valamint a ΔT_i növekedésből, azaz a függvény meredekségéből előállítható a vizsgálat jóságára jellemző regressziós függvényt határoztuk meg. A korrelációs tényező 0,997 értékre adódott, azaz jobb volt, mint a mérésünk pontossága, tehát a különböző görgők túlmelegedés értéke, és annak növekedési sebessége egymással összefügg.

A kiértékelési módszer matematikailag is új. Ez ideig a szakirodalomban ismereteink szerint nem publikáltak olyan regressziós függvény előállítási módszert, amelyben a két koordinátaértékkel meghatározott ponthalmaz helyett az egyik koordinátaérték és a hozzá tartozó meredekség alapján kerülne a függvény meghatározásra.

A számítás eredményeképpen a vizsgált görgők élettartama is meghatározható volt. Ez azt jelenti, hogy egy tartósan üzemelő görgő bizonyos futásidő elteltével a meghibásodása kezdetét követően kb. 260 nap múlva megy tönkre és a túlmelegedés értéke alapján azonosítható, hogy ebben a folyamatban éppen hol tart.

A számítási eljárások segítségével, – mint ahogyan az a gyakorlatban bebizonyosodott – a meghibásodás előtti átmeneti állapotban lévő alkatelemeknél nem csak a hiba azonosítható, hanem az is, hogy az üzemzavar legkorábban, várhatóan mikor következik be. Mindez nagymértékben bővíti a szóban forgó diagnosztikai módszer, a termográfia gyakorlati alkalmazhatóságát.

4. Az infrakamera gyakorlati alkalmazása

A hőképek segítségével azonosítható jellegzetes hibákról bemutató példasorozat készül. Ezek a gyakorlati mérésekből vett példákkal a kamerák kezelését és használták már ismerő személyek a gyakorlatban is megismerhetik a hibaaazonosítások módszereit. A gyakorlati oktatásban terepi mérésekkel és magyarázatokkal lehet segíteni a kellő gyakorlat megszerzésében.

A hőfényképes hiba diagnosztika alkalmazásának lehetőségei

A Műszaki Diagnosztika a műszaki meghibásodások folyamataival, és ezek műszeres mérésével, többek között a hibaprognózisok készítésével is foglalkozik. E témakörön belül kerül sor többek között a hőképek alapján azonosítható hibák értékelésére, illetve a hőképek alapján történő hibaprognózis készítés ismertetésére. Megjegyzendő az, hogy a hibaprognózis készítés mellett az ismeretek lehetőséget adnak a bekövetkezett műszaki meghibásodások, üzemzavarok, káresemények okainak utólagos meghatározására is, így pl. egyes tűzesetek okának szakértői vizsgálat alapján történő meghatározására.

A leírás a széles körben alkalmazott vizsgálati területből a felvonó meghibásodások témakörével foglalkozik, és konkrét, lefolytatott vizsgálatokból származó felvonóipari példák ismertetésére koncentrált.

Az első bemutatott példa egy felvonó vezérlőszekrényben elhelyezkedő, a felvonó motorját megtápláló áramkör mágnes kapcsolóját mutatja be.

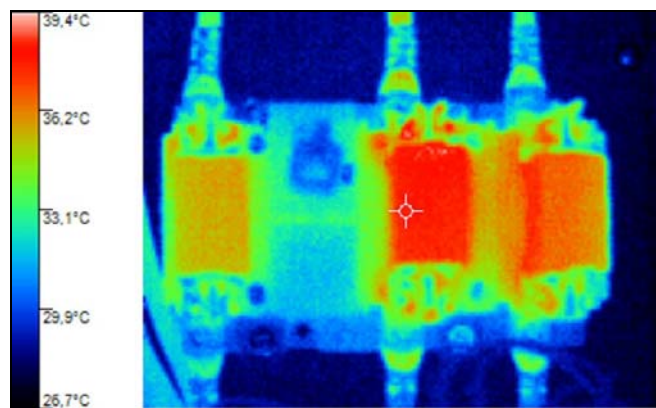
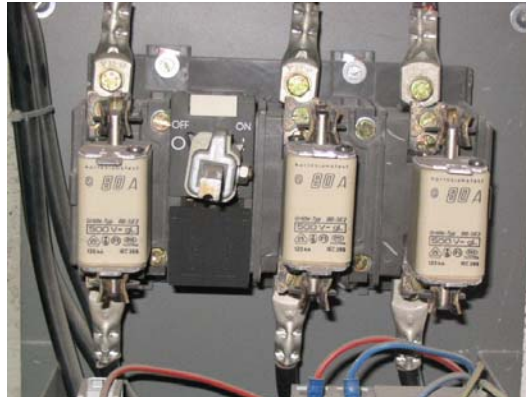


A hagyományos nézeti és az ugyanazon területről készített infra kép alkotta képpáron jól azonosítható az, hogy a HSS jelzésű mágnes kapcsoló felső részén elsősorban a középső fázisban lévő bekötés, valamint a W jelű mágnes kapcsoló felső részén a jobb oldali fázisban a bekötési pont túlmelegedett. A hiba a két vezeték egyidejű csatlakoztatása során kialakult csökkent felület miatti megnövekedett átmeneti ellenállás helyi melegedését mutatja be. A kötésponatok nem voltak lazák!

A hibahely miatt a kötésponokban a felmelegedés a kötéspon, illetve a mágnes kapcsoló leégését eredményezheti. Ugyanakkor ennél az eredménynél súlyosabb következmény is előállhat, mivel az átmeneti ellenállás nem csak melegedést eredményez, hanem feszültségesést is, ami miatt a felvonó motor háromfázisú megtáplálásában esetleg jelentős aszimmetria állhat elő, amely tipikusan a motor leégéséhez is vezethet.

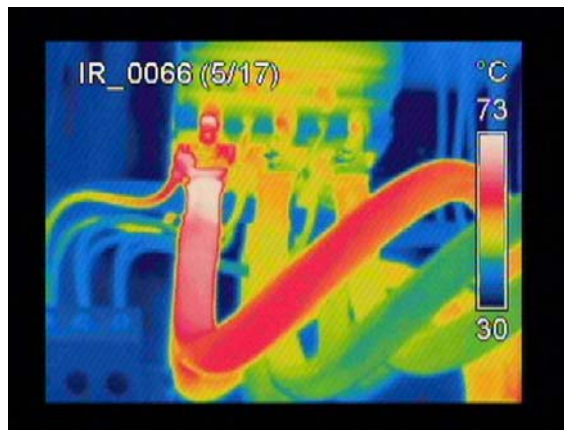
A megtáplálásban megfigyelhető áramfelvétel aszimmetria a három azonos biztosító eltérő áramfelvételéből, és az ezzel

együtt járó eltérő melegedéséből is esetenként jól azonosítható. Ez a jelenség figyelhető meg a következő képpáron.



Az áramkörben kialakuló megnövekedett átmeneti ellenállás természetesen megfigyelhető minden laza kötéspontra esetében, de jellemzően az esetek túlnyomó többségében nem maga a kötéspontra lazulás, hanem a valamely ok miatt lecsökkent áramvezető keresztmetszet okozza a melegedést. Ez jól azonosítható egy szintén felvonó gépházbeli kábel saruzási pontjának nézeti és hőképe segítségével.

A hőképen igen jól azonosítható, hogy a melegedés epicentruma nem a csavarkötés pontban, hanem az egyik kábelben, a kábel végén a préselési pontban jelentkezik.



A következő példa egy budapesti irodaházban bekövetkezett tüzeset-esemény tűzoltóság számára elkészült vizsgálati jelentéséből származik.

Az épület teljes felújítása során beépítésre került összesen 12 db új, lényegében azonos típusú és gyártmányú felvonó. Az átadást követően alig több mint egy év elteltével a központi biztonsági rendszer az egyik felvonó üzemzavarát naplózta, egy olyan éjszakai időpontban, amikor az épületben személyforgalom órák óta nem is volt. A biztonsági őrök a jelzéssel különösebben nem törődtek, beavatkozást akkor nem tartottak szükségesnek, ezért azonnali intézkedésre nem is került sor. Mintegy 20 perc elteltével ugyanakkor a gépházbeli füstérzékelő riasztó jelzésére a tűzoltóság is kivonult, és eloltotta a kigyulladt felvonó tülkét.



Hamar megállapítható volt az, hogy a tűz a fülke mennyezeti részén kialakított fénycsöves világítási rendszerből indult ki, amely éjszaka, forgalommentes állapotban is bekapcsolt volt.

A lefolytatott szakértői vizsgálat során egyértelműen azonosítható volt az, hogy a tűz keletkezési helye az egyik fénycsőarmatúra gyújtójának túlmelegedése volt.

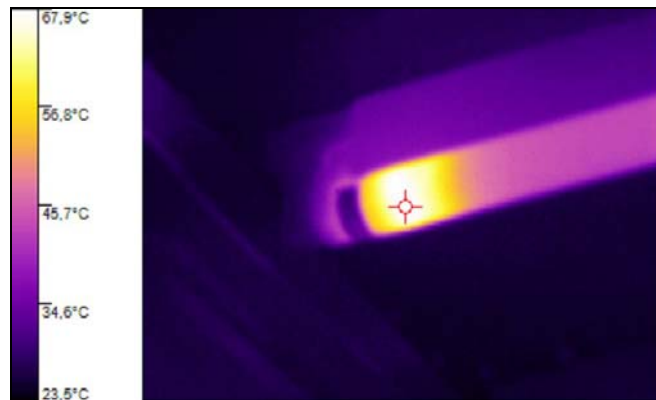


A fénycsőgyújtó külső háza nem a tűz miatt olvadt meg, hanem a belső, áramköri érintkezőn átfolyó áram hőhatása miatt, amely jól láthatóan magát az üvegcső alkatelemet is megolvasztotta. Az a hőhatás, amely képes volt az üveget is megolvasztani, természetesen képes volt az indokolatlanul közel felszerelt plexi burkolóelemet is meggyújtani.

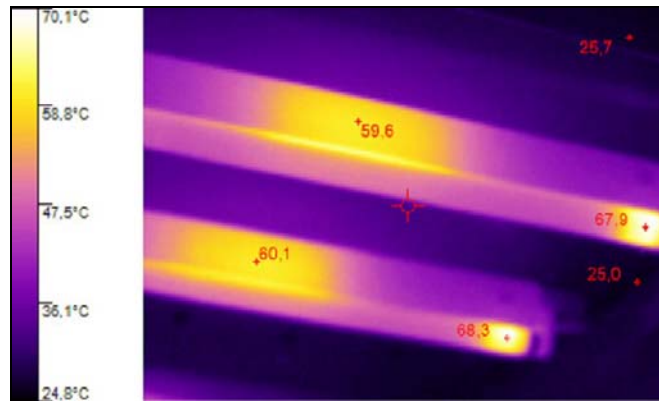
A kérdés mindezek után csak az volt, hogy a fénycsőgyújtó mi miatt károsodott.

A jelenség rekonstrukciója a másik, azonos típusú felvonófülke vizsgálatával történt meg.

A képpáron jól megfigyelhető a fénycső üzemi állapotában kialakuló melegedés. Ezen a képen a gyújtó melegedése nem azonosítható.



Ugyanakkor a teljes mennyezeti világítási térben egy második jellegzetes hőforrás is azonosítható volt, a fojtók melegedése.

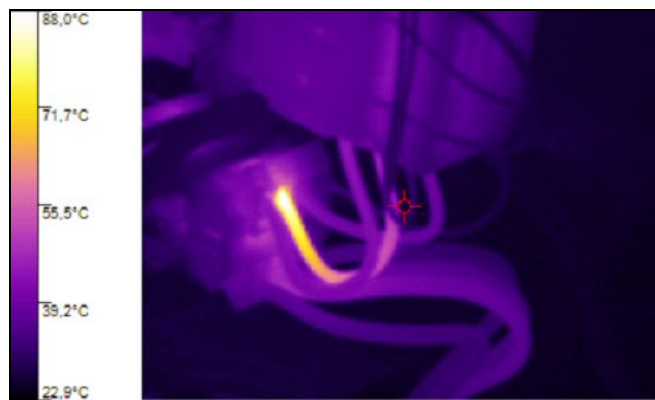
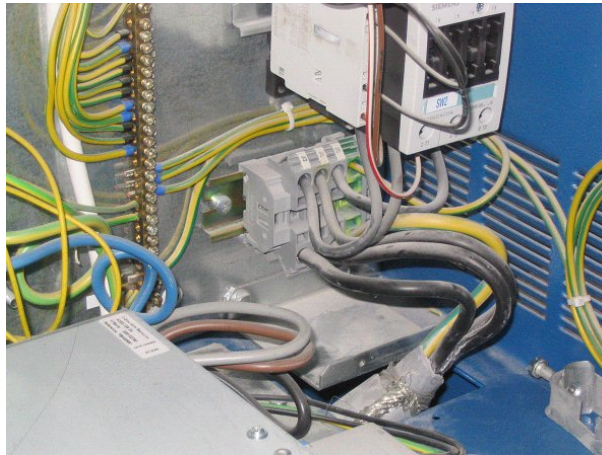


A vizsgálat összesített eredményeként megállapítható volt az, hogy a mennyezeti térbe igen szűk helyre beépített hat darab fénycső hőteljesítménye miatt a légtér olyannyira felmelegedett, hogy az éjszakai órában megnövekedett feszültség miatt, valamint a fülkemozgás légárammal történő, valamint a fülke az ajtónyitások miatti szellőzés elmaradása miatt olyan mértékben túlmelegedett, hogy az már elérte a fénycsőgyújtó bimetál bekapcsolási hőmérséklet értékét, emiatt a rosszul záródó érintkezőjén átfolyó áram előidézte a túlmelegedést.

A jelenség típushibának volt minősíthető, amelyet a gyártó képviselői akkor nem fogadtak el. A bizonyíték ezt követően 9 nap múlva az épületbeli másik fülke hasonló körülmények között történő kiégésével automatikusan rendelkezésre állt. Ennek ellenére egyes szkeptikusok még mindig kételkedtek.

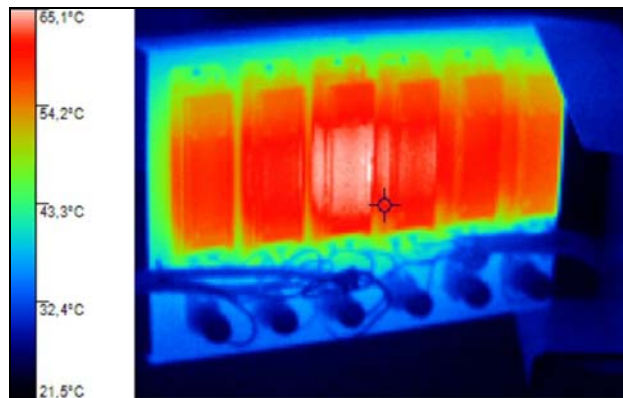
Az igény a többi felvonó infrakamerás ellenőrzésére szinte automatikusan megfogalmazódott, amelyet követően azonosításra került egy további lehetséges eseményt generáló hibahely, amelynek képe és infraképe a következő képpáron figyelhető meg.

A gépházbeli kábelbekötési ponton megfigyelt túlmelegedés az egyik fázisban már elérte a 88 °C értéket és idővel nyilvánvalóan várható volt a kérdéses pont és kábel begyulladás.

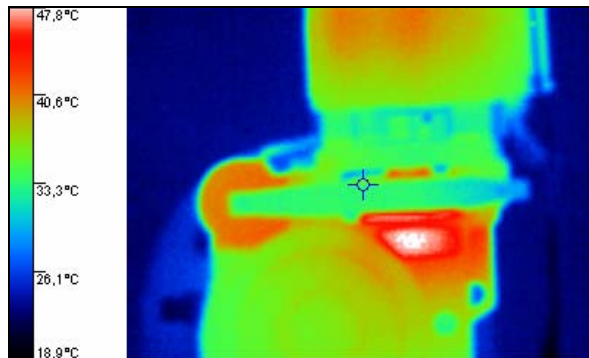


A javítások a javaslatok szerinti változatban elkészültek, a szűk mennyezeti térből a hőforrásokat jelentő fojtók és a túlmelegedésre érzékeny fénycsőgyújtók a fülke tetejére kikerültek.

Ezt követően a kivitelezés ellenőrzésekor kiderült, hogy az egyik újonnan beépített fojtó gyári hibás, melegebb, és annak meghibásodása is várható.



Az ismertetett konkrét példa jól szemlélteti a hőképek segítségével azonosítható áramköri problémák és veszélyhelyzetek jellegzetes csoportját, akár egyedi, akár kialakításbeli hibákat. Ugyanakkor nem szabad megfeledkezni arról sem, hogy a villamos hibahelyek mellett a hőképek alkalmasak a mechanikus hibahelyek azonosítására is. Ilyen példa látható egy másik képpáron, amelyen egy felvonó hajtómű csigakerék csapágyazásának hibája azonosítható.



A bemutatott, kiragadott példákon túlmenően a hőképes hibadiagnosztika igen nagyszámú egyéb eredménye is ismert. A leginkább figyelemre méltó eredmény az, hogy a kidolgozott vizsgálati módszer nem csak a hibahelyek azonosítására alkalmas, hanem egy erre a célra elkészített program segítségével a hiba bekövetkezésének várható legkorábbi időpontja, azaz az elhárítás határideje is becsülhető.

A módszerrel az elmúlt 30 évben eddig mintegy 6000 infrakamerás diagnosztikai jegyzőkönyv készült el, az ennek megfelelő eredménnyel. Megállapítható az is, hogy a műszaki eredményesség mellett a gazdaságosság is jelentős, ugyanis a mérési költségek és jelentkező eredmény között a nem kiemelkedő, átlagos események közötti arány 1:200 körüli értéket mutat.

A módszer különösen alkalmas diagnosztikai alapokon megtervezett karbantartási tevékenység megszervezésére, mivel lehetőséget biztosít a hibák megelőző elhárítására, a munkavégzések, valamint a javításhoz szükséges anyagok és eszközök tervezett biztosítására.