Egy univerzális mérési eljárás

A termográfia elmélete és gyakorlata (I.)

A hőképfelvételek készítése, azaz a termográfia – vagy szakmailag kevésbé helyesen termovízió – rendkívül sokoldalú mérési eljárás, amely csupán az igen költséges hőkamerák miatt nem terjedhetett el még gyorsabban a gyakorlatban.

Hőkamerás mérések és felügyeleti megoldások szinte valamennyi területen előfordulnak, a gyógyászattól a rendészeti és katonai alkalmazásokig. A nem katonai felhasználások közül példaként említhetjük az épületek, csővezetékek, hűtőházak hőszigetelésének vizsgálatát, a villamos kábelek és kötések ellenőrzését, a gépek és berendezések karbantartás-szempontú állapotfelvételét, a gyártás közbeni minőség-ellenőrzést bizonyos termékparaméterek alapján (gondoljunk például a hűtőgépekre és a fűtőberendezésekre), a folyamatellenőrzést (többek között a lámpagyártás technológiai lépéseinek felügyeletét), a fejlesztési feladatokat, például a teljesítményelektronikában, a biológiai és kémiai kísérleteket, valamint az orvostani méréseket és kísérleteket. Egyértelmű, hogy kevés más mérési módszer létezik, amely annyira univerzális lenne, mint a termográfia.

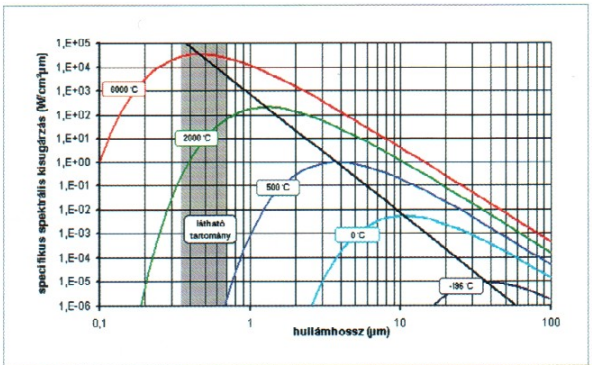
A modern hőkamerák kezelése mára összehasonlítható az elterjedt digitális kamerákéval. De ne higgye senki, hogy amilyen egyszerű magának a hőkamerának a kezelése, ugyanolyan egyszerű korrekt (mérési szempontból helyes) hőképfelvételeket készíteni. Sok-sok szakmai (elméleti) tudás, tapasztalat és ezen túl megfelelő mérés-előkészítés szükséges ahhoz, hogy a felvételek ne csak „szép színes képek", hanem kiértékelhető hőképek legyenek. Szomorú tapasztalat, hogy a hőkamerák forgalmazói és a hőképfelvételek készítői nemritkán súlyos szakmai hibákat vétenek a hőképek előállításával összefüggésben. Sorozatunk most olvasható és következő részeiben a termográfia elméleti hátterét és gyakorlati vonatkozásait igyekszünk bemutatni, hogy a felvételek készítői és a kiértékeléseket végző felhasználók egyaránt jobban kihasználhassák a hőképek által elvileg nyújtott előnyöket. Kezdjük a fizikai alapelvekkel!

Az elektromágneses spektrum *1. táblázat*

Hullámhossz	Hullámtartomány
1000 km 100 km 10 km	Hosszúhullámok (RF és ELF)
1 km 100 m 10 m 1 m	Rádiófrekvenciák
10 cm 1 cm 1 mm	Mikrohullámok
100 µm 10 µm 1 µm	Infravörös sugárzás
100 nm	**Látható fény**
10 nm	Ultraibolya sugárzás
1 nm 0,1 nm 0,01 nm 0,001 nm	Röntgensugárzás
0,0001 nm 0,00001 nm	Gamma sugárzás

Infravörös hőmérsékletmérés alapja

Az infravörös sugárzáson alapuló hőmérsékletmérés, vagyis a termográfia és távhőmérés (érintésmentes hőmérsékletmérés, amelyet az alkalmazott lézeres célzómegvilágítás miatt gyakran tévesen lézeres hőmérésnek neveznek) azt a fizikai jelenséget használja fel, hogy az abszolút nulla Kelvin-fok hőmérséklet (–273,15 °C) felett a testek elektromágneses hullámokat bocsátanak ki, így például rádióhullámokat, fényt, illetve hő(sugárzás)t. Az infravörös sugárzás az elektromágneses spektrum egy része, a látható vörös fény hosszúhullámú oldalán található, nagyjából a 760 nm és az 1 mm közötti hullámhossztartományban *(lásd 1. táblázatunkat)*. A hőmérsékletmérés szempontjából a 20 µm-ig terjedő tartománynak van jelentősége, amely további három résztartományra tagolható:



A Planck-féle sugárzási törvény **1**

a 0,8–2 µm a rövid, a 2–6 µm a közepes, a 6–20 µm pedig a hosszúhullámú infravörös sugárzás tartománya. A hőmérséklet mérése a mérendő test által kibocsátott elektromágneses hullámok (infravörös sugárzás) alapján történik. Ahhoz, hogy a hőmérsékletre következtetni lehessen, a testhőmérséklet és a leadott sugárzás közötti összefüggést kell szemügyre venni. Ezt az összefüggést elsősorban az ideális sugárzó (fekete test) által kibocsátott sugárzás spektrális eloszlását leíró Planck-féle sugárzási törvény **1** adja meg.

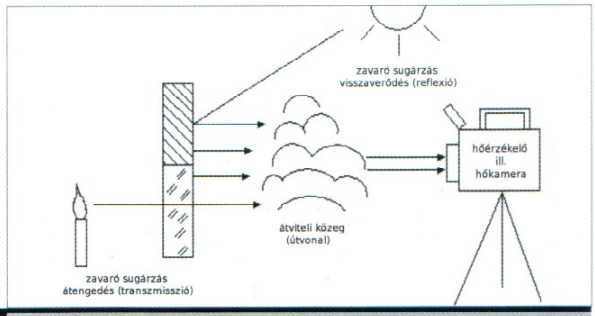
Röviden összefoglalva: minél melegebb egy test, annál több sugárzást bocsát ki, és annál rövidebb a legerősebben kisugárzott sugárzás hullámhossza. Az összefüggés illusztrációjaként *2. táblázatunk* néhány gyakorlati anyag sugárzási maximumát mutatja be. Figyelemre méltó, hogy a nagyobb hullámhosszak mindig megtalálhatók (a hőmérséklet növekedésével még fel is erősödnek), a rövidebb hullámok pedig csak a forró testek által kibocsátott hősugárzásban lelhetők fel.

Gyakorlatban előforduló anyagok sugárzási maximuma *2. táblázat*

Sugárzó test	Hőmérséklet	Sugárzási maximum
Mélyhűtött élelem	–18 °C	11,4 µm
Bőr	32 °C	9,5 µm
Forrásban lévő víz	100 °C	7,8 µm
Sötétvörösen izzó vas	600 °C	3,3 µm
Fehéren izzó vas	1200 °C	2,0 µm

A mérendő objektumok tulajdonságai

Az úgynevezett fekete test az ideális fizikai sugárzó modellje, amely nélkülözhetetlen a termográfiai alapelvek tanulmányozásánál. A gyakorlatban mért tárgyak viszont többé-kevésbé eltérnek ettől a modelltől, ezért fontos, hogy számoljunk e különbségek hatásával a mérésnél. A valódi testek sugárzási képessége elmarad a feketetest-modellétől, az eltérés figyelembevételére az emissziós tényező (ε) szolgál, amely egy test infravörössugár-kibocsátási képességét írja le, összehasonlítva a fekete test képességével. Az emissziós tényező elsősorban az anyagtól (annak felületétől), a felület érdességétől, valamint a hullámhossztól (így tehát a test hőmérsékletétől is) függ.



2 Infravörös távhőmérési, illetve termográfiai méréselrendezés

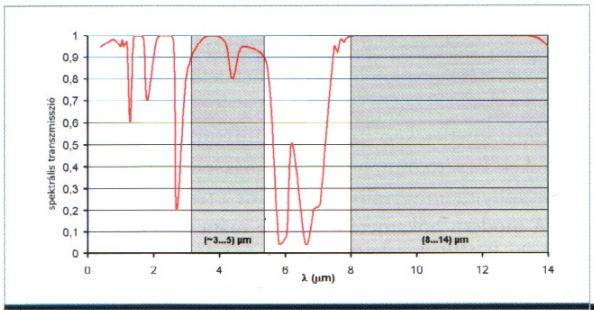
A hosszúhullámú tartományban számos nemfémes anyagot nagy értékű, viszonylag széles hőmérséklet-tartományban állandó, a felület megmunkálásától független emissziós tényező jellemez. Jó példa erre az emberi bőrfelület és sok ásványi szerkezet (ide tartoznak az építési anyagok is), továbbá a műanyag-alapú festékek. A fémek emissziós tényezője rendszerint kicsi, ráadásul nagymértékben függ a felületi jellemzőktől és csökken a hullámhossz növekedésével (a hőmérséklet csökkenésével).

Termográfiai mérési elrendezés

A termográfiánál figyelembe kell venni e hőmérséklet-mérési eljárásnak a fizikai alapokból adódó sajátosságait: egyrészt optikai mérési módszerről van szó, tehát a mérési objektumnak láthatónak kell lennie a mérőkészülék felől; másrészt a mérési elrendezés két kulcseleme mellett döntő szerepet játszik a mérésnél a mérési útszakasz jellemző állapota, valamint a sugárforrás(ok) esetleges jelenléte az elő-, illetve a háttérben.

• **Az átviteli szakasz hatása a mérési eredményre** Mivel az infravörös termográfia érintkezés nélküli módszer, tehát a mérés alapját képező infravörös sugárzásnak valamilyen közegen keresztül kell áthaladnia a mérendő tárgytól a mérőberendezésig, és a közeg infravörös-tartományú viselkedése (karakterisztikája) természetesen befolyásolja a mérést. A legtöbb esetben a közeg levegő, de más – az infravörös hullámokat átengedő – anyagok (például különleges mérőablakok) is előfordulnak. A levegő esetében az infravörös sugárzás átvitelére hatással van a benne levő vízpára és szén-dioxid.

A 3 ábrán látható, hogy a levegő átviteli tulajdonsága nagymértékben függ a hullámhossztól. A nagy átviteli veszteséggel jellemzett tartományok szomszédságában jó átviteli képességű (satírozott) tartományok is megfigyelhetők. Az



A levegő spektrális átviteli tényezője 3

utóbbiakat atmoszferikus ablaknak is szokás nevezni. Amíg az átviteli tényező a 8–14 µm tartományban – a hosszúhullámú atmoszferikus ablakban – szinte tökéletes átvitelt biztosít akár nagy távolságokra is, a 3–5 µm tartományban – a rövidhullámú atmoszferikus ablakban – az atmoszféra mérhető veszteségeket okoz már néhányszor tíz méteres távolságok esetén is.

• **A mérőeszköz és hatása a mérési eredményre** Mivel érintés nélküli hőmérsékletméréskor a levegő a leggyakoribb átviteli közeg, természetesen csak az említett atmoszferikus ablakok hullámhossztartományaiban szabad méréseket végezni (egyébként nemlineáris hőmérsékletfüggést kapnánk.) A mérésekhez ezért a 8–14 µm hullámhossz-tartományra érzékeny – a hosszúhullámú atmoszferikus ablak kihasználásával működő –, valamint a 3–5 µm hullámhossz érzékelésére képes – a rövidhullámú atmoszferikus ablakban mérő – hőkamerák készülnek. Elnevezésük ennek függvényében hosszú- vagy rövidhullámú hőkamera. Ritkábban előfordulnak az ultrarövid hullámú tartományban mérő hőkamerák is.

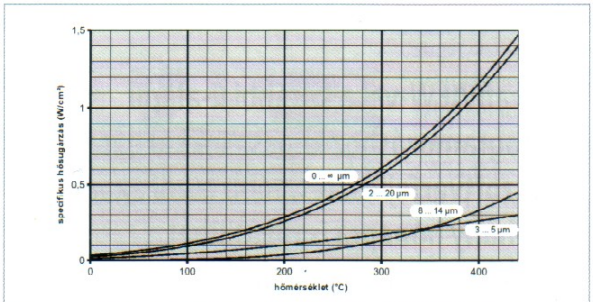
Az érintés nélküli hőmérsékletmérés mérőeszközeinek spektrális méréstartománya rendszerint tehát a tárgy által kibocsátott teljes sugárzásnak csak egy részét fedi le. Ennek a mérési eredményre gyakorolt hatását szemlélteti a 4 ábra diagramja néhány tipikus (az atmoszferikus ablakoknak megfelelően alkalmazott) méréstartományra vonatkozóan. Könnyen felismerhető, hogy a rövidhullámú (3–5 µm) tartomány eléggé érzéketlen a viszonylag alacsony hőmérsékletekre, viszont (fekete test esetén) 350 °C felett a sugárzás érzékelhetősége ebben a tartományban

jobb, mint a hosszúhullámú (8–14 µm) sávban. Ennek az az oka, hogy a sugárzás maximuma eltolódott a rövidhullámú tartományba. Az alacsony hőmérsékletek érzékelésére (ide tartozik az épületek és környezetük tipikus hőmérséklete is) pedig a hosszúhullámú hőkamerák a legalkalmasabbak.

Gyakorlati problémák

Az emissziós tényezőnek és a környezeti hőmérsékletnek a mérés pontosságára gyakorolt hatása Ez a leggyakoribb és a legjelentősebb hibaok az érintkezés nélküli hőmérséklet-mérési módszer gyakorlati alkalmazása során. A mérőberendezés csak akkor tudja helyesen meghatározni egy tárgy hőmérsékletét, ha a mérőműszeren (illetve a kiértékelőszoftveren) beállított emissziós tényező megfelel a mérendő tárgy valós jellemzőjének.

Hősugárzás visszaverődése a tárgy homlokfelületéről Minél jobban eltér egy test emissziós tényezője az ideális 1 értéktől, annál inkább erősödik a reflexiós (sugárzás-visszaverődési)



4 Különböző spektrális tartományban rögzített sugárzás-hőmérséklet görbék

tulajdonsága (feltételezve, hogy az infravörös tartományban átláthatatlan tárgyról van szó). Ez azzal jár, hogy a mérőműszer a test hőmérsékletével arányosan kibocsátott hősugárzás mellett (a legrosszabb esetben akár helyett) a környezetből származó, a mért tárgy felületén reflektált hősugárzást méri.

Jelveszteség az átviteli szakaszon Az átviteli szakasz általában a közönséges légkör, amelyen az infravörös sugárzás spektrumának csupán egy része halad át (úgynevezett atmoszferikus ablakok). Hogy nagyobb távolságok esetén milyen veszteségek lépnek föl, azt az infravörös sugárzást elnyelő, illetve csillapító tényezők (például köd, aeroszolok, szén-dioxid, szén-monoxid, egyéb gázok vagy víz jelenléte) határozzák meg.

Hősugárzás átbocsátása a tárgy hátteréből Ez a hiba akkor jelentkezik, ha a tárgy részben áttetsző, természetesen az infravörös sugárzás szempontjából. Ilyen esetekben a tárgy hátterét éppúgy figyelembe kell venni, mint az előterét a hősugárzás visszaverődésénél.

Rahne Eric

HATÉKONYSÁGMUTATÓ

Anyagfelhasználás	○	Energiaigény	●
Üzemfenntartás	●	Kezelhetőség	○
Időráfordítás	●	Élettartam	●

i pim@pim-kft.hu
www.pim-kft.hu,www.gepszakerto.hu