■ **Író:** Rahne Eric
okl. villamosmérnök, nemzetközi termográfiai szakértő

Hőkamerákról szakmai szemmel II.

A hőmérsékletméréshez alkalmas hőkamerák ez elmúlt években olyan rohamos fejlődésen mentek keresztül, hogy egy beszerzés során ma már nem az igényeknek megfelelő típus hiánya, hanem az óriási választék áttekinthetetlensége okozhat gondot.

Tehát itt az ideje, hogy e műszerek típusait és jellemzőit szakmai szemmel áttekintsük, valamint a jelenlegi kínálatot rendezzük néhány fontos műszaki paraméter alapján. Ezek ugyanis meghatározzák a készülékek alkalmazási területeit, valamint a várható mérési pontosságot, illetve az elérhető hőkép-minőséget. Cikkünk első részében a hőkamerák detektortípusairól esett szó, áttekintettük a képfrissítési frekvencia és a képpont-felbontás jelentőségét, valamint tisztáztuk a képfelbontás-növelő eljárások előnyeit és hátrányait. Jelen cikkünk ennek folytatásaként tárgyalja a termográfiai objektívek jellemzőit, és kitérünk a korszerű hőkamerák kiértékelési képességeire is.

■ Termográfiai objektívek, előtétlencsék

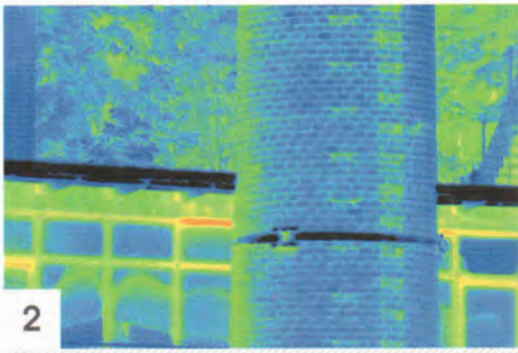
A legfontosabb, hogy termográfiai lencsék nem készülhetnek üvegből, hanem csakis a hőkamera hullámhossz-tartományának megfelelő anyagból. Tehát nem lehet egy hőkamerát vásárolni, s majd egy optikai mikroszkóp-lencsét elétenni, csak mert most éppen nagyon kis tárgyakat akarunk mérni. De egy hosszúhullámú hőkamera lencséje sem szerelhető egy középhullámú hőkamera elé (és fordítva sem). Mindkét esetben azt tapasztalnánk, hogy semmilyen sugárzást nem tudunk mérni. Hosszúhullámú hőkamerák esetén a lencseanyag tipikusan germánium, melyet még egy speciális anti-reflexiós réteggel bevonnak, így elérve akár 99% fölötti transzmissziós tényezőket. (Tehát vegyszerrel vagy koptató tisztítószerekkel ne távolítsuk el a szennyeződéseket az optikákról!)

■ Lencseátmérő hatása a mérési képességekre

Minél nagyobb átmérőjű egy termokamera optikai lencséje (pontosabban: apertúrája), annál több sugárzási energia jut a hőérzékelő felületére. Az optikai rendszer fényerősségének (itt: átvitt infravörös sugárzás-intenzitásnak) mértéke a rekeszszám, amely a fókusztávolság és az apertúra lencseátmérőjének hányadosa. Értelemszerűen minél kisebb a rekeszszám, annál nagyobb a lencseátmérő, és annál nagyobb az energiabevitel az érzékelőre, ami természetesen nagyobb érzékenységet és pontosságot eredményez. De vigyázat: minél nagyobb a lencse átmérője, annál inkább eltér ez az ideális optikai rendszer modelljétől – a Gauss-féle optikától. Ennek hatására pedig nőnek a leképezési hibák (pl. képdeformáció), ami csak egyre igényesebb lencseformákkal ellensúlyozható.

Ha az előbbieket néhány számadattal is alá akarjuk támasztani, akkor hasonlítsuk össze a legelterjedtebb „kategóriájú" bolométeres hőkamerákat. A LowCost hőkamerák kismére-

2. ábra:
Teleobjektív használatával elérhető hőkép-felbontás
[forrás: InfraTec]



2

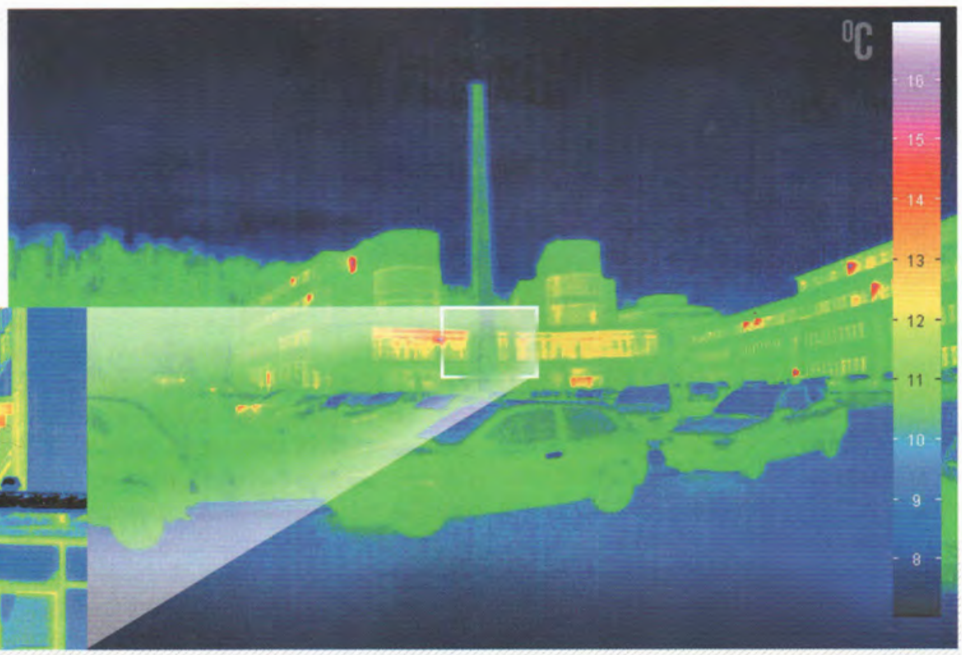
1. ábra:
Termográfiai objektívek
[forrás: InfraTec]

1

tű objektívjei legfeljebb 100 mK érzékenységet tesznek lehetővé 50 Hz képfrissítés mellett, jobb termikus felbontás (pl. 80 vagy 60 mK) elérése érdekében növelni kell az integrálási időt – tehát csökkenteni kell a képfrissítési gyakoriságot 30, 25 vagy csak 9 Hz-re. Professzionális hőkamerák nagyméretű objektívei a hőkamera-gyártó képességeitől függően 50 Hz (vagy akár még 240 Hz) képfrissítés mellett is akár 30 mK termikus felbontást tesznek lehetővé. Persze az sem mintegy, hogy egy LowCost hőkamera lencséje legfeljebb néhány százezer forintos költségű, profi készülékek esetén a termográfiai optikák árai pedig az egymillió forint fölötti árszinten mozognak.

Csereobjektívek szükségessége és választéka

A termográfiai mérések esetén az értékelésnek megfelelő megfigyelési látómező méretén túl a legfontosabb a korrekt hőmérséklet-érzékeléshez elengedhetetlen geometriai felbontás biztosítása. Például egy 2 mrad geometriai felbontást nyújtó „standard" objektív esetén 5 m távolságból csak minimum 30 mm méretű tárgyak (vagy tárgyrészletek) hőmérséklete érzékelhető még biztosan. Kisebb tárgyak méréséhez vagy kisebb mérési távolságot, vagy más optikát kell választanunk. (Máshogyan a termográfiai felvétel nem tudná a bennünket érdeklő kis tárgy hőmérsékletét kimutatni.) Kicseréljük tehát az előbbi „standard" lencsét egy teleobjektívre, akkor 1 mrad geometriai felbontás mellett 5 m távolságból 15 mm méretű tárgyakat is mérhetünk.

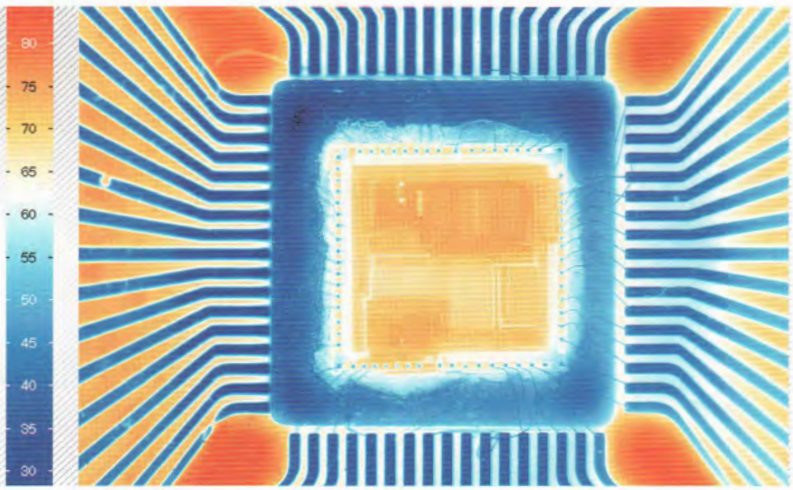


Elsősorban a professzionális hőkamerák esetén létezik nagy választék csereobjektívekből, melyek a könnyű cserélhetőség érdekében sok esetben bajonettel csatlakoznak a hőkamerához. A lencsék elektronikus kódolással is rendelkeznek, hogy a hőkamera magától vegye észre, hogy éppen melyik objektívvel dolgozunk, és automatikusan töltse be az objektívhez tartozó kalibrálási adatfájlt. Ez utóbbi azért szükséges, mert minden hőkamera esetén annak kalibrálása mindig az éppen felszerelt lencsével együtt történik meg a lencse és a hőkamera karakterisztikájának együttes meghatározása és korrekciója érdekében.

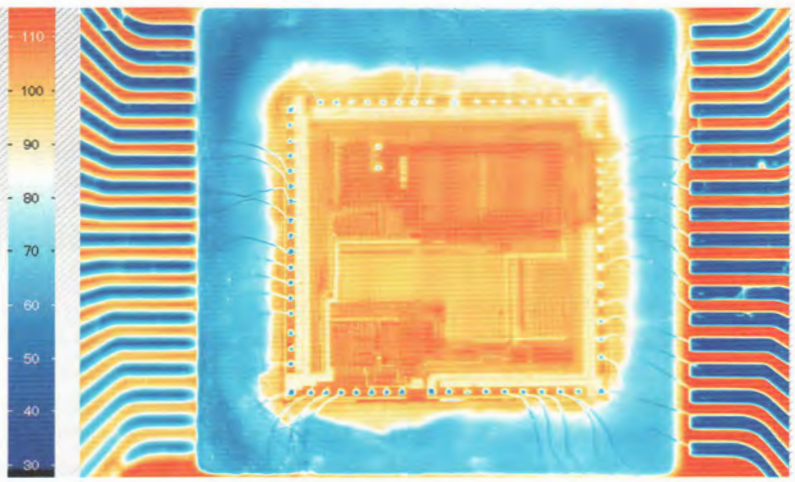
Tehát ha kicseréljük az objektívet, más kalibrálási adatfájl szükséges a sugárzás-érzékelés korrekciójához. (Ebből is következik, hogy egy utólagosan vásárolt objektív az ezzel együtt történő gyártói hőkamera-újrakalibrálást von maga

■ Rahne Eric, okl. villamosmérnök, nemzetközi termográfiai szakértő

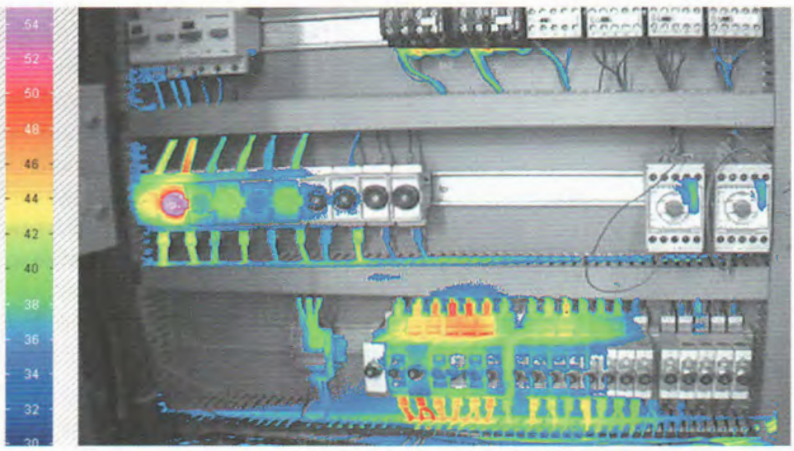
Hőkamerákról szakmai szemmel II.



3. ábra: Makrólencse használatával elérhető hőkép-felbontás [forrás: InfraTec]



4. ábra: Mikroszkóp-objektív használatával elérhető hőkép-felbontás [forrás: InfraTec]



5. ábra: Kompozit megjelenítés [forrás: InfraTec]

után. Valamint az is, hogy azonos hőkamerák között sem cserélhetjük ki még az „egyforma" objektíveket sem büntetlenül.)

A legelterjedtebb lencséket és szerepüket (ill. „mellékhatásukat") a következő felsorolás mutatja be:

1. Standard lencse

A hőkamera detektorának pixelfelbontásától függően ezekkel az objektívekkel nagyságrendileg 20x15...30x25° látómezők mellett 2,4...0,6 mrad geometriai felbontások érhetők el.

2. Teleobjektív

A standard lencsékkel összehasonlítva tipikusan a látómező mindkét dimenziójának megfelelése mellett dupla olyan jó (számszerűen megfeleződött) geometriai felbontások érhetők el. Vannak még „nagyobb" teleobjektívek is, melyek a látómező méretei és a geometriai felbontás negyedelését vagy akár tizedelését nyújtják, ugyanilyen mértékben javítva a geometriai felbontást.

3. Nagy látószögű lencse

A standard lencsékhez viszonyítva tipikusan a látómező mindkét dimenziójának megduplázása érhető el, de emellett felére csökken (számszerűen megduplázódik) a geometriai felbontás. Vannak ún. szuper-széles, nagy látószögű lencsék is, melyekkel a látómező méretei négyszerezése érhető el (a geometriai felbontás negyedére való lerontása mellett).

4. Előtétlencsék, makrólencsék

E lencséknek az elsődleges szerepe a standard lencsék, ill. teleobjektívek legkisebb mérési távolságának (minimális fókusztávolság) csökkentése, ezzel lehetővé téve, hogy nagyon kicsi tárgyakat is meg lehessen mérni a geometriai felbontás követelményének megfelelő kis távolságokból.

5. Mikroszkóplencsék

A mikroszkóplencsék különlegesen kis tárgyak mérésére használatosak, megjelenítési képességeik az optikai mikroszkópokhoz hasonlók. Hátrányuk a nagy méretük, súlyuk és költségük mellett a minimális mélységélesség.

Külön felhívnánk a figyelmet a nagy látószögű lencsék gyakran teljesen téves alkalmazására! Ha például az volt a gondunk, hogy a geometriai felbontás korlátjának betartása mellett meghatározott maximális mérési távolságból a mérendő tárgy (pl. kapcsolószekrény) csak egy részét lehetett egy-egy hőképen rögzíteni, akkor a látómező megnövelése céljából beszerzett nagylátószögű lencse alkalmazása nemhogy NEM oldja meg a problémánkat, hanem még ront is a helyzetünkön. Ugyanis a mindkét irányban kétszeres látómezőt eredményező nagy látószögű lencse révén felére lerontott geometriai felbontás miatt a mérésünk már csak legfeljebb az eddigi távolság feléből végezhető el. Mérésünk látómezeje en-

a hőkamera kezelői szoftverébe beintegrált kiértékelési/kezelési funkciók

Funkció	Magyarázat
Autofókusz	a hőkép fókuszálása a legmeredekebb hőmérséklet-gradiens alapján
Automatikus méréshatár	mérés- (kalibrálási) tartomány beállítása az aktuális mérés szerint
Automatikus hőkép-skálázás	megjelenítés-skálázás az aktuálisan mért min/max értékek alapján
Hőmérséklet-színskála	több választható szín- és/vagy szürke-skála értékfeltüntetéssel
Képpont-hőmérséklet kijelzése	a hőkép középső pixelének hőmérsékletének élő kijelzése
Kurzoros hőmérséklet-kijelzés	egy vagy több mozgatható kurzor hőmérsékletének élő kijelzése
Min/max hőmérséklet-kijelzés	a leghidegebb/legmelegebb pixel helyének és értékének kijelzése
Többfelületes hőmérs. kijelzés	definiálható felületek átlag-, csúcs- vagy minimumértékének kijelzése
Izotermák kijelzése	definiált hőmérséklet-tartományú pixelek egyszínű kiemelése
Különbségképző képmegjel.	hőmérséklet-eltérések ábrázolása referencia-hőképhez képest
Hőképátlagolás	több hőkép átlagának képzése (zajelnyomás, érzékenységnövelés)
Hőmérséklet-riasztás	vizuális/akusztikus riasztás minimum, ill. maximum túllépése esetén
Automatikus tárolás	hőmérséklet-értékfüggően triggerelt automatikus mérés-tárolás
Kompozit képmegjelenítés	vizuális kép (fénykép) és hőkép folyamatos (élő) egymásra vetítése
Hőképsorozat tárolása	hőképadat sorozat-tárolása a hőkamerában (PC csatlakozás nélkül)
Digitális hangrögzítés	akusztikai kommentár hozzáfűzése a tárolt hőkép-adatokhoz
GPS-adatok kezelése	földi és légi járműves hőképfelvételek térképészeti hozzárendelése
Távvezérelhetőség	hőkamera-funkciók távvezérelhetősége (kábellel vagy kábel nélkül)

nek folytán tehát valójában mégsem nő meg (ugyanis pont ugyanakkora maradt), viszont a kép torzítása mellett a tárgyfelület megtekintési szöge – elsősorban a széle felé – eléggé ferde is lehet. Ez pedig további negatív hatással van a mérésünk pontosságára és kiértékelhetőségére. (Leginkább csak az épületek beltéri termográfiája esetén van igazi létjogosultsága a nagy látószögű objektíveknek. Más szakmákban való alkalmazásuk előtt gondosan kell átgondolni, hogy az elért nagyobb látómező mellett nem keletkezik-e más, akár nagyságrendekkel súlyosabb optikai, illetve méréstechnikai hátrány.)

Mobil hőkamerák helyszíni kiértékelési funkciói

A termográfia – mint „képalkotó" érintésmentes hőmérséklet-mérési eljárás – során első lépésként a mérési adatok (sugárzásintenzitás digitalizált értéke mindegyik pixelről) gyűjtésére kerül sor. Ezek az értékek akár rögtön a mérés során (a hőkamerában) vagy a későbbi kiértékelés során megfelelően feldolgozandók, matematikailag korrigálandók (hőmérsékletre átszámolandók), és ezután megjelenítendők.

A konkrét mérési feladattól függően igen különbözők a hőképek kiértékelésére vonatkozó követelmények. Amíg egyes esetekben egy-egy képpont konkrét hőmérsékletének számszerű meghatározása elegendő, úgy máskor az egész hőkép minden egyes pixelének emisszióértékének korrekciója vagy akár teljes képsorozatok felvétele és kiértékelése szükséges a kívánt hőmérséklet-összefüggések, ill. folyamatok (például hőmérséklet–idő-diagram formájában történő) kiértékeléséhez.

Gyakran már a mérés közben (akár valós időben) szükséges az adatok kiértékelése és hőmérséklet-értékként „feldolgozott" megjelenítése. Az ún. élő kiértékelés gyakorlatilag a hőkamerákban lévő kezelői szoftver részét, illetve a „beépített" bővítését jelenti, így kezelése is beintegrálódik a hőkamera üzemeltetésének folyamatába. Az 1. táblázat felsorolja a modern (professzionális) hőkamerákba beépített/beépíthető „automatikus" segédfunkciókat és valós idejű kiértékelési lehetőségeket (teljesség igénye nélkül).

Minél több ilyen funkciót találunk a hőkameránkban, annál sokoldalúbb annak alkalmazhatósága, és annál kényelmesebb és hatékonyabb a helyszíni munkavégzés. Az említett kiértékelési lehetőségekből kiemelnénk a mérések tárolásának hőmérsékletfüggő indítását, mely gyakran sokat segít az előre nem látható időpontú termikus események rögzítésénél. Gyors folyamatok esetében pedig a hőképsorozat-rögzítési funkció jelenti a megoldást, kihasználva a termográfia utolérhetetlen előnyét: még akár másodpercek töredéke alatt lezajló termikus folyamatok rögzítésére is van mód.

A hőkamerába beépített kompozit (egyes cégeknél „fúziónak" is elnevezett) képmegjelenítésnek köszönhetően pedig nem kell már a dokumentációhoz külön fényképeket készíteni és befűzni, ami igen számottevő időmegtakarítási lehetőség. Sőt, az így megvalósított hőkép és fénykép egymásra vetítésénél nem lehet jobban és könnyebben felismerhetően dokumentálni a tárgy hőmérséklet-összefüggéseit. ■

NAPELEMES RENDSZEREK
BEMÉRÉSE ÉS FELÜLVIZSGÁLATA

EUROTEST PV MI 3108 ÉS MI 3109

- komplett érintésvédelmi funkciók (MI 3108)
- telepítést követő és időszakos felülvizsgálatok elvégzésére is
- a napelem panelekre az MSZ EN 62446 által előírt vizsgálatok:

-szigetelési ellenállás vizsgálata
-védővezető folytonosság mérés
-üresjárati feszültség mérés
-rövidzárási áram mérés

- feszültség-áram jelleggörbe azonnali grafikus megjelenítése
- opcionális napsugárzás és panelhőmérséklet adatgyűjtő
- egyen-, és váltakozóáramú rész vizsgálata
- inverter hatásfokának meghatározása
- biztonsági csatlakozókkal
- számítógépes szoftverrel

PV-TRÉNING
meter.hu

NAPELEMES RENDSZEREK
GYAKORLATI MÉRÉSE!

TEMATIKA, MÉRÉSEK:

- AC oldali (ÉV) mérések
- üresjárati feszültség mérése
- rövidzárási áram mérése
- szigetelési ellenállás és védővezető folytonosság mérése
- áram-feszültség jelleggörbe
- inverter hatásfoka
- monitoring rendszerek
- jegyzőkönyv készítése

Jelentkezés:
www.meter.hu/pvtrening

C+D AUTOMATIKA

C+D Automatika Kft.
H-1191 Budapest, Földváry u. 2.
1701 Budapest, Pf. 156.
+36 1 282 9676 • Fax: +36 1 282 3125
E-mail: info@meter.hu