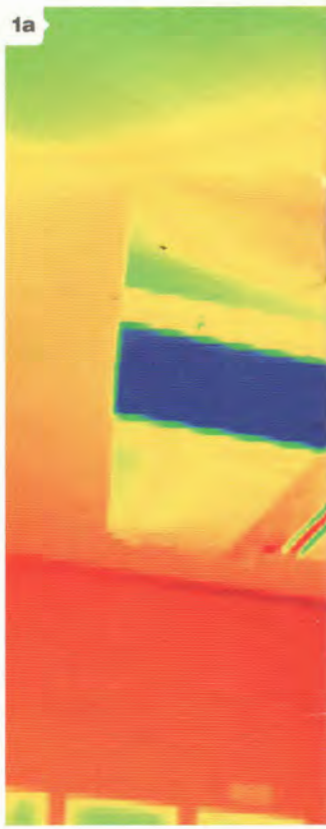
■ **Írta:** Rahne Eric, okl. villamosmérnök
termográfiai szakértő (Termograph Level 3),
igazságügyi szakértő

Villamos berendezések termográfiai vizsgálata a gyakorlatban


1a

A villamos berendezések termográfiájával kapcsolatos korábbi cikkünket kiegészítve, jelen publikációval további gyakorlati tanácsokat kívánunk adni ahhoz, hogy az ilyen jellegű méréseket kivitelező szakemberek minél hatékonyabban és minél kisebb mérési hibával tudják a berendezések valódi hőmérsékletét meghatározni.

Abból kiindulva, hogy az alulméretezett vagy sérült vezetékek, a rossz kötések (a megnövekedett átmeneti ellenállásuk miatt), valamint a legtöbb esetben az elektromos szempontból meghibásodott készülékek a szokásosnál (megengedettnél) magasabb hőfokra melegszenek fel, a karbantartás szükségessége leginkább a melegedési helyek felderítése révén mérhető föl. Mivel viszont a felmelegedés tipikusan csak üzem közben (tehát feszültség alatt) lép fel, olyan mérési módszer előnyös, mely a hőmérséklet érintésmentes érzékelését teszi lehetővé.

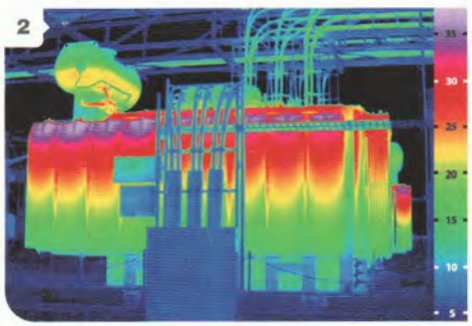
Erre alapvetően kétféle kategóriájú eszköz áll rendelkezésre: az infrahőmérők (sajnos gyakran hibásan „ponthőmérőnek" vagy még inkább tévesen „lézeres hőmérőnek" elnevezve), vagy a felületi hőmérséklet-eloszlás grafikai megjelenítésre alkalmas hőkamerák, illetve termokamerák, infrakamerák.

Mindkét eszköz legnagyobb előnye az, hogy a mérések biztonságos távolságból – akár több kV-on üzemelő berendezéseken is – elvégezhetők anélkül, hogy ez a vizsgált berendezés üzemeltetését befolyásolná. Viszont nagyon lényeges tudni és a mérések értékelésénél figyelembe venni azt, hogy mindkét mérőeszköz-típus az infravörös sugárzás (hősugárzás) érzékelése alapján határozza meg a tárgyfelület hőmérsékletét, melynek igen komoly fizikai (elméleti) határai vannak. Ezek gyakorlati kihatásai a következők.

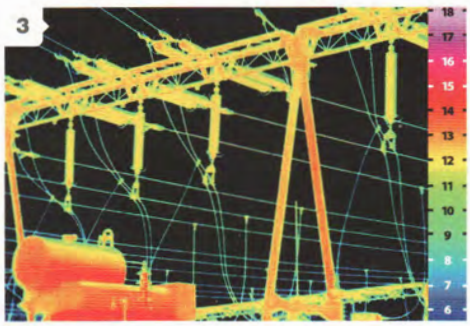
■ Kültéri mérések (pl. transzformátorok és távvezetékek) a hőreflexiók és a zavaró háttérsugárzás kiküszöbölése érdekében csak éjjel (napsütés nélküli napszakban, lehetőleg felhős ég mellett), vagy igen vastag, teljesen zárt – de csapadékmentes – felhőzet esetén nappal is elvégezhetők. (Tapasztalatból az éjjeli mérések elvégzését preferáljuk.)

■ Főleg új berendezések esetén (mivel a tükörfényes, illetve szépen megmunkált fémes felületek nagyon kis emissziós tényezővel rendelkeznek) hősugárzás-reflexió lép fel. Ilyen jellegű mérési hibák kiküszöbölése érdekében többféle mérési pozícióból is ajánlatos elvégezni a méréseket. Ilyenkor figyeljük arra,

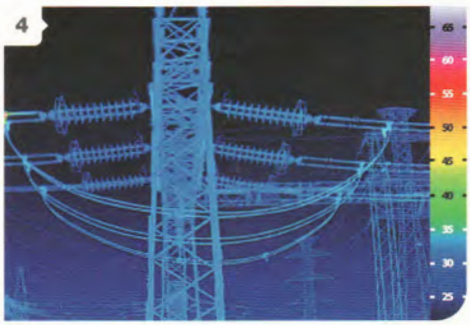
≫ 2. ábra. Téves hőmérséklet-kijelzés kültéri szigetelőkön napsugárzás hatása miatt.

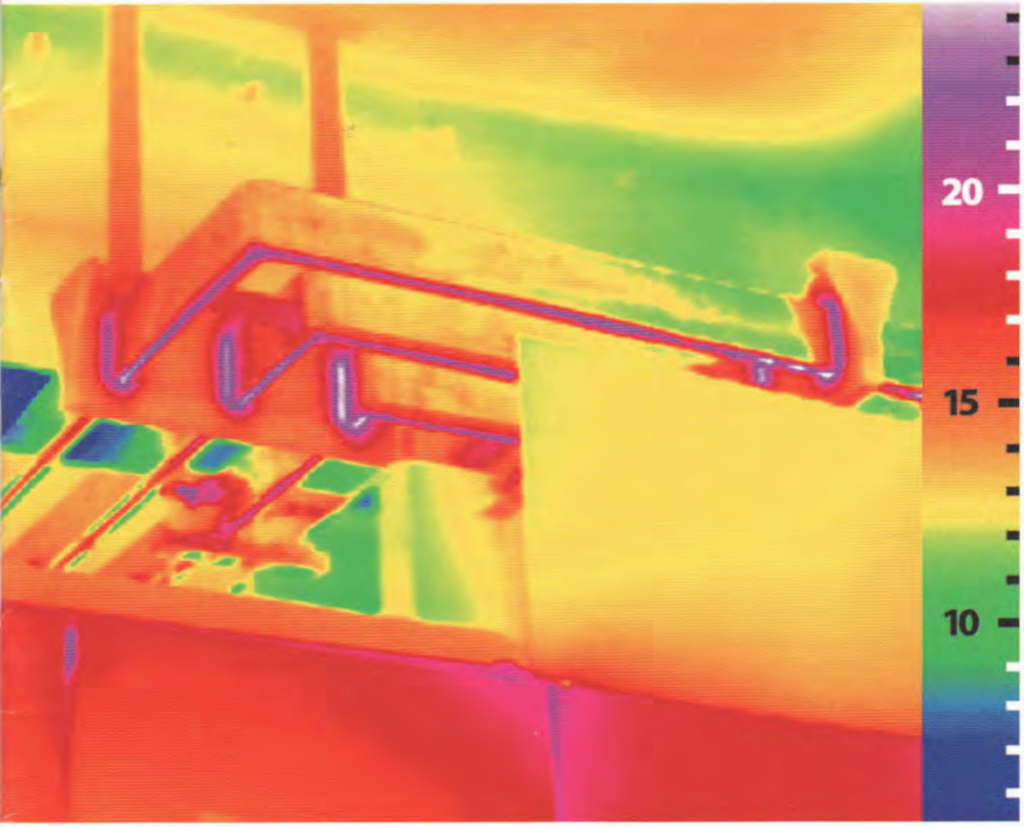

2

≫ 3. ábra. Transzformátor.


3

≫ 4. ábra. Távvezeték hibával.


4



megjegyzés

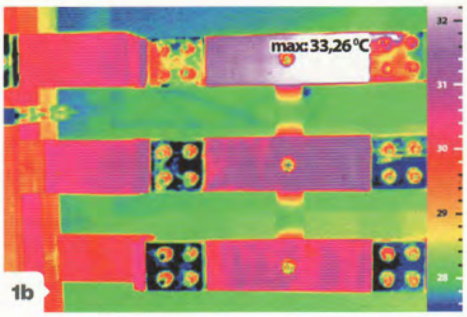
az infrahőmérőkkel kapcsolatosan

Gyakori tévedés, hogy ezek lézerpont révén mérnek, vagy – ugyanúgy tévesen – éppen azon a kis ponton mérnek hőmérsékletet, ahol a lézermutató látszik. Ez a pont csak a mérőfelület közepét, 2-pontos vagy körlézeres műszerek esetén a felület szélét jelöli, a hőmérsékletméréshez semmi köze nincsen. A hőmérsékletmérés a felületről kisugárzott hősugárzás érzékelésével történik arra érzékeny detektor alkalmazásával, majd a sugárzásintenzitás mértékét számítják át – a tárgy emissziójának ismeretében – hőmérséklet-értékké. A hősugárzás érzékeléséhez természetesen sem fény, sem lézersugár nem szükséges.

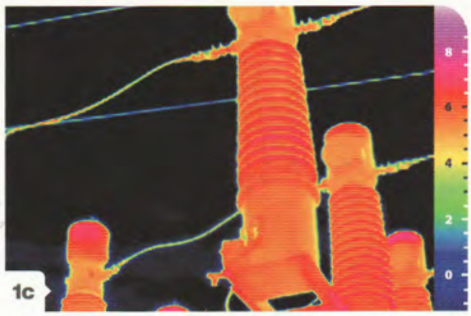
hogy a feltűnő hőmérséklet-jelenség (pl. forró pont) a mérési helyzet változtatásával „elvándorol-e" vagy sem. Ha változik a helye hőképünkön, akkor valamilyen mögöttünk lévő pontszerű hőforrás reflexiójáról van szó, ha nem „mozog", akkor valóban magas hőmérsékletű pontról van szó.

■ Nagyobb teljesítményű/feszültségű elosztóknál gyakoriak a lapos réz- vagy alumíniumsínek, majdnem magasfényűre polírozott felülettel. Esetükben könnyen előfordulhat, hogy mindig pont az az áramvezető sín éppen 35 °C hőmérsékletűnek „látszik", amely előtt éppen elvégezzük a méréseket. Ennek elkerülése végett a méréseket lehetőleg ne a sín felületére merőlegesen, hanem kb. 75-80°-os szögből végezzünk el. Ezzel a trükkel kiküszöböljük saját testhőmérsékletünk reflexióját az áramsíneken.

■ Amennyiben a tükröződések miatt (pl. új szerelésű, polírozott fémfelületű berendezések esetén) lehetetlen kiértékelhető méréseket végezni, úgy a mérendő felületek részleges vagy teljes bevonása segíthet, jellegzetesen matt festék vagy ismert emissziós tulajdonsággal rendelkező, vékony szigetelőszalag alkalmazásával. Természetesen mindezek az előkészítő tevékenységek csak feszültségmentes állapotban végezhetők el!



1b



1c

>> 1. a, b, c ábra. Téves hőmérséklet-kijelzés áramsíneken, ill. polírozott felületeken előforduló reflexió miatt.

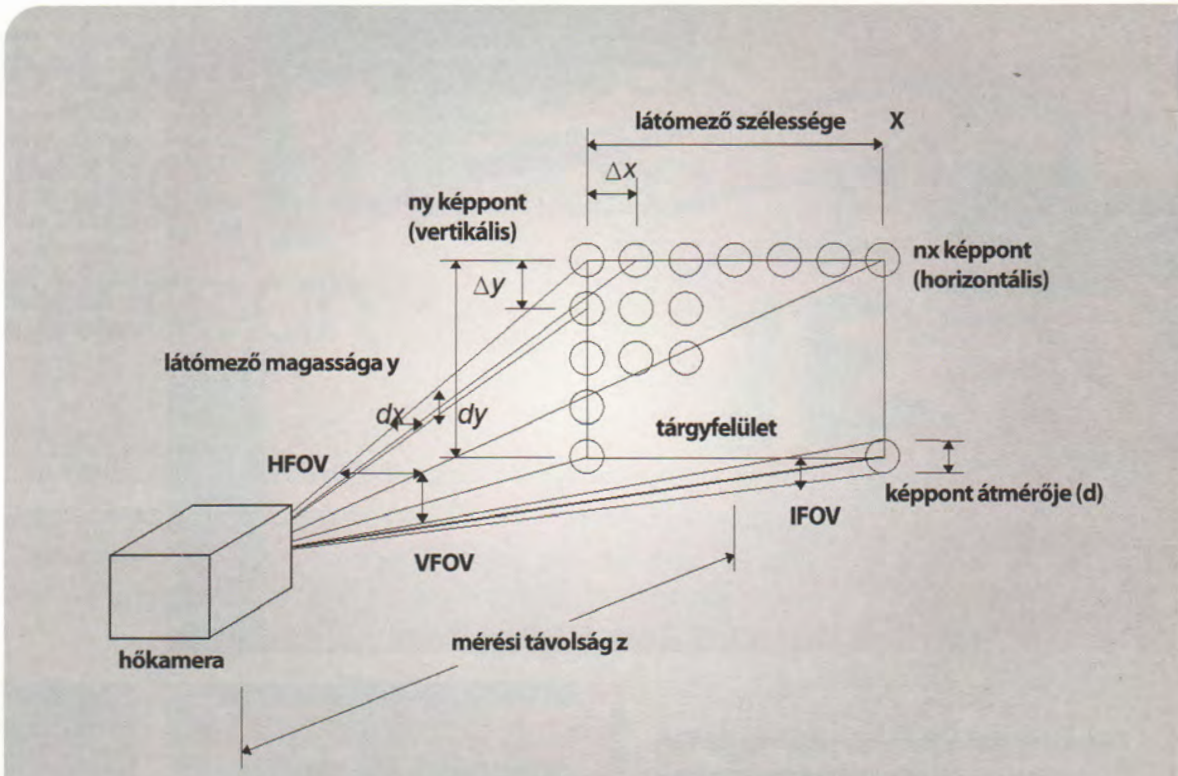
■ A kapcsoló és elosztó szerelvények tokozott részei nem mérhetők közvetlenül. Plexi vagy más műanyag ablakokon/ajtókon/fedőlemezeken keresztül – azok infrasugárzás-elnyelése miatt – nem lehet érintésmentes hőmérsékletméréseket végezni. Ezeket a burkolatokat – ha lehetséges – a mérés előtt (feszültségmentes állapotban!) le kell szerelni, illetve ki kell nyitni.

Úgyszintén a gyakorlati mérések kivitelezése során figyelembe veendő az, hogy az infrahőmérők és a hőkamerák egyaránt optikai műszerek, amelyek csak adott geometriai felbontással képesek a mért tárgyfelület egy-egy részéről a hősugárzás érzékelésére. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy kis méretű tárgyak vagy nagy távolságból (pl. távvezetékeken) történő mérések esetén figyelembe veendő az alkalmazott érintésmentes hőmérséklet-mérő eszköz (akár hőkamera, akár infrahőmérő) által nyújtott geometriai felbontás. Túl kicsi tárgyak vagy túl nagy távolságokból történő mérések esetén a háttér és a tárgy hőmérsékletátlagolása révén (magasabb hőmérsékletű tárgyat feltételezve) téves, túl alacsony tárgyhőmérsékletek kerülnek kijelzésre. Minél nagyobb a tárgy és a háttér hőmérsékletének különbsége, annál nagyobb lesz a mérés hibája is!

■ Az infrahőmérők esetén az optikájukra jellemző 20:1, 30:1 vagy 50:1, illetve 60:1 érték dönti el, hogy egyáltalán ezek mennyire

■ Rahne Eric, okl. villamosmérnök
termográfiai szakértő (Termograph Level 3), igazságügyi szakértő

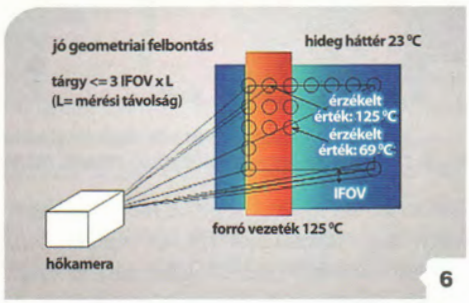
Villamos berendezések termográfiai vizsgálata a gyakorlatban



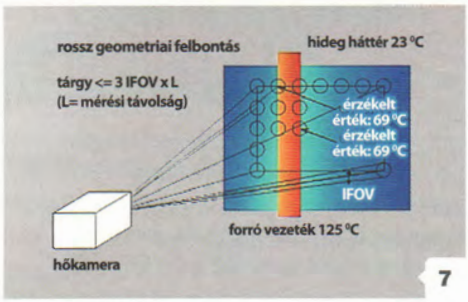
>> 5. ábra.
A hőkamera látómezője és geometriai felbontóképessége.

>> 6-7. ábra.
A geometriai felbontás hatása a mérési eredményre.

5



6



7

>> A hőkamerák alkalmazása esetén azt a szabályt kell betartani, hogy egy-egy mérési felületre legalább három elemi képpont (pixel) essen, hogy helyesen értékelhető legyen a mért hőmérsékleti adat.

alkalmasak villamos berendezések hőmérsékletének mérésére, valamint mekkora a legkisebb mérhető tárgy, illetve legnagyobb mérési távolság. 20:1 optikával rendelkező infrahőmérő esetén 20 m távolságból egy 1 m átmérőjű, köralakú felületről kerül kijelzésre eme tárgyfelület átlaghőmérséklete. 1 m távolságból ez a felület körülbelül 50 mm átmérőjű. (A gyakorlatban ilyen optikával rendelkező infrahőmérő alig használható villamos berendezések hőmérsékletének mérésére, mivel – a biztonsági előírások miatt – magas feszültségű berendezések esetén nagyobb távolságokból kell mérni, kis- és közép-feszültségű berendezések esetén pedig a tárgyméretek kisebbek 50 mm-nél.) Villamos berendezések állapotellenőrzésére ezért célszerű 50:1 vagy 60:1 optikájú infrahőmérőket alkalmazni. Egy 60:1-es műszerrel 1 m távolságból akár 16 mm méretű tárgy hőmérséklete is még érzékelhető, természetesen feltételezve, hogy a mérőfelület (jobb műszerek esetén legalább 2 lézerponttal jelölve) nem lóg le a mérendő tárgy (kábel, csatlakozó, kontaktus) felületéről.

■ A hőkamerák alkalmazása esetén viszont azt a szabályt kell betartani, hogy egy-egy mérési felületre legalább három elemi képpont (pixel) essen, hogy helyesen értékelhető legyen a mért hőmérsékleti adat. Ha ezt nem tartjuk be, akkor nagy valószínűséggel csak olyan pixelek lesznek a hőképünkön, melyek a tárgyfelület és a háttér átlaghőmérsékletét mutatják. Ahhoz, hogy a mérések során eldönthessük, mi az adott hőkamerával mérhető legkisebb tárgy, illetve mi a legnagyobb megengedhető mérési távolság (ez a két számérték természetesen egymástól függ), a hőkamera műszaki adatai között szereplő IFOV paramétert (instantaneous field of view, legkisebb elemi látószög) kell ismerni. Ez a számérték azt a látószöget adja meg, amelynek egy egyedülálló érzékelő (képpont) leképezését jellemzi. Például az 1,5 mrad érték azt jelzi, hogy minden egyes pixel-

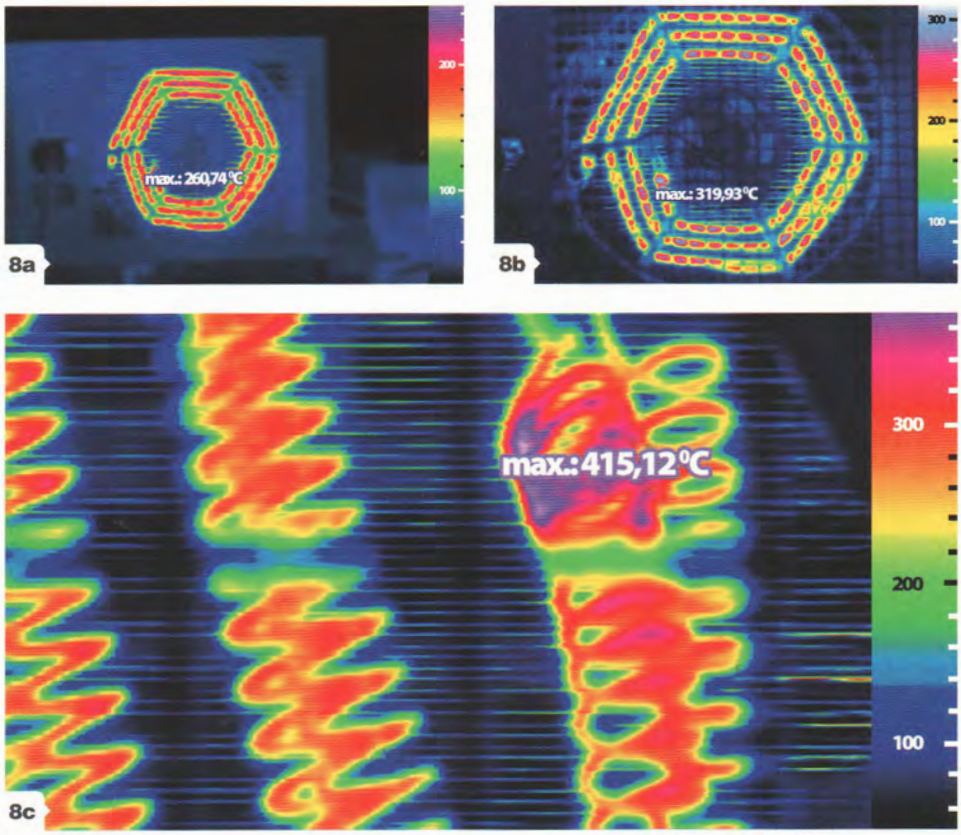
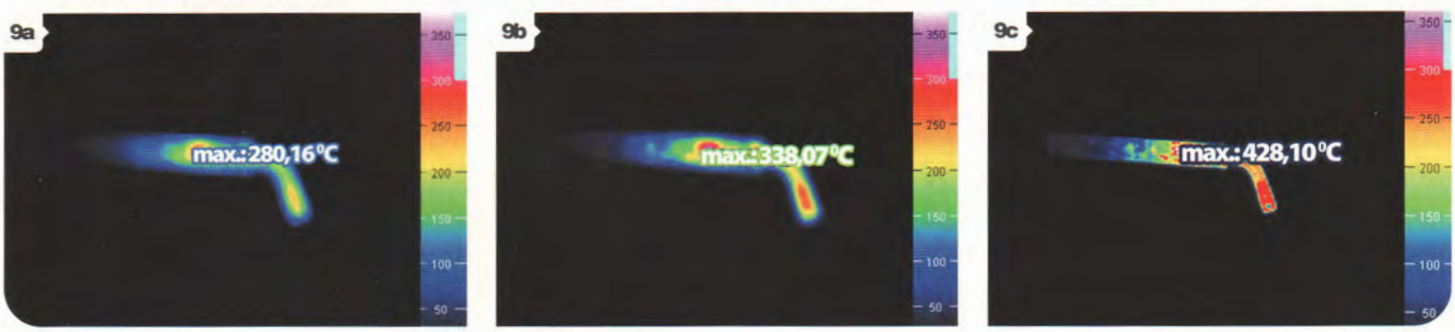
hez rendelt – a tárgyra vetített – mérési pont 1 m-es távolságon 1,5 mm átmérővel rendelkezik, 2 m távolságon pedig a kivetített felület 3 mm átmérőjű stb. (Ezt úgy kell elképzelni, mint a zseblámpa sugárnyalábját, amely a távolság függvényében egyre nagyobb átmérőjű körfelületet ölel át.) Szükség esetén megfelelő optika (speciális teleobjektív) alkalmazásával kell a geometriai felbontóképességet a tárgy méretéhez/távolságához hozzáigazítani.

A mellékelt hőkép-sorozat (8. ábrák) igen szemléletesen mutatja be annak fontosságát, hogy a mérendő tárgy legalább háromszor nagyobb legyen az adott távolságban kivetített egyedi mérőfelületnél. Ettől eltérő esetben – például, ha valaki helytelenül „áttekintő" hőképet készítene egy nagy kapcsoló- vagy elosztószekrényről – az egyedi mérőfoltok nemcsak a tárgy felületét, hanem annak hátterét is tartalmazhatják. Mivel a mérőfolton belül átlagolás történik, a háttér hőmérsékletének hatására a mérési eredmény kisebb vagy nagyobb is lehet a tárgy valódi hőmérsékleténél.

Az előzőek alapján már látható, hogy a hőkamera érzékelője által érzékelt hősugárzás mennyisége optikai összefüggésektől függ. Külön figyelmet érdemel ezért a helyes fókuszálás, mivel ennek elhibázása – az általános tévhittel szemben – nem csak életlen hőképekhez, hanem súlyos mérési hibákhoz is vezet.

Az optikai fókusz ugyanúgy „működik", mint ahogy azt a fényképezésnél megszoktuk: a kamerán belüli gyűjtő- vagy fókuszlencse feladata, hogy a beérkező sugarakat az érzékelő felületére (a hagyományos fényképezés esetén a filmre) vetítse. Rossz fókusz esetén a sugarak az érzékelő síkja előtt vagy mögött kerülnek összegyűjtésre. Ilyenkor a kép életlen lesz. Hőkép esetében a baj nagyobb ennél: a sugárzás valós mennyiségének ugyanis csak egy része esik az érzékelőre, a többi annak környékére vetítődik. Ez ahhoz vezet, hogy a mért hőmérséklet egy magas hőmérsékletű pont (ún. hot-spot) esetén mindenképpen alacsonyabb lesz a valóságosnál. Minél rosszabb a fókuszbeállítás, annál nagyobb mértékben tér el a mért érték a valódi értéktől. Rossz fókuszálás esetén – az érzékelő felületére csak a beérkező sugárzás egy része esik (a többi sugárzás a környezetét éri). Tehát: rossz fókusz-beállítás esetén mindig alacsonyabb hőmérsékleteket mutat a hőkamera, mint amilyen a tárgy felülete a valóságban. Ez a hiba akár a 20-30%-ot is elérheti! ■

>> 8. a, b, c ábra.
A geometriai felbontás hatása.
Hősugárzó felvétele 1,5 mrad értékkel,
balra 2 m távolságból (maximum érték 261 °C),
középen 1 m távolságból (maximum érték 320 °C)



>> 9. ábra. Fókuszálás hatása. Forrasztópáka felvétele nagyon rossz fókusszal (max. érték: 280 °C).
>> Középső kép: forrasztópáka felvétele kevésbé rossz fókuszálással (max. érték: 338 °C).
>> Jobb oldali kép: forrasztópáka felvétele tökéletes fókuszálással (max. érték: 428 °C).