író: Rahne Eric,
okl. villamosmérnök

Villamos berendezések termográfiai állapotfelmérése

A termográfia szinte már minden szakmában megtalálható. És éppen most éljük meg eme érintésmentes hőmérsékletmérési eljárás legrohamosabb terjedését, de egyben legdurvább szakmai leértékelését is.

Ugyanis egyes hőkameragyártók és forgalmazók arra a szintre süllyedtek, hogy radiometriai képességek nélküli 80x60 pixeles okostelefon-tartozékokat (és ehhez hasonló termékeket) professzionális hőkamerának elnevezzék (mintha egy VGA-webkamerát profi videókamerának felminősítenénk). Ezen túl az is elszomorít, hogy bárki, aki egy ilyen olcsó eszközt megvesz magának, termográfusnak titulálja magát mindenféle szakmai képzettséget mellőzve, sőt, gyakran a fizika és méréstechnika iskolaszintű ismerete (és figyelembe vétele) nélkül teszi mindezt.

A most induló cikksorozatunkban igyekszünk betekintést nyújtani a termográfia elképesztő sokoldalúságába és elméleti, illetve gyakorlati korlátaiba, Rahne Eric „Thermográfia – elmélet és gyakorlati méréstechnika" című, 650 oldal terjedelmű szakkönyvéből merítve. Az első részek témája a villamos elosztó-, kapcsoló- és vezérlőszekrények felmérése lesz.

Bevezetés

A hőképfelvételek készítése, azaz a termográfia egy rendkívül sokoldalú mérési eljárás, míg a modern hőkamerák felhasználóbarát kezelése összehasonlítható az elterjedt digitális videokamerákéval. Ez az egyszerűség azonban ne tévesszen meg senkit: a korrekt, mérési szempontból helyes hőképfelvételek készítéséhez megfelelő elméleti, szakmai tudás, tapasztalat és ezen túl alapos mérés-előkészítés is szükséges. Mivel a termográfiai mérések elméleti alapjairól a VL korábbi lapszámaiban már írtunk, a következőkben csak a villamos berendezések termográfiai vizsgálatának legfontosabb méréstechnikai követelményeit és gyakorlati ismereteit részletezzük. Figyelemfelkeltő céllal bemutatjuk ezen belül néhány gyakori hőkamera-kezelői hibának a mérések pontosságára és hihetőségére gyakorolt hatását is.

Mérési nehézségek és megoldási javaslatok

Amilyen széles lehetőségek nyílnak a termográfia rendszeres alkalmazásával a villamos berendezések karbantartásának megszervezésében, olyan sok nehézség is adódik a mérések megvalósítása során. A következőkben bemutatunk néhány jelentősebb problémát, egyben tanácsokat adva az adódó mérési hibák mértékének minimalizálására.

A legnagyobb gond magából a mérés tárgyából – pontosan annak anyagából – fakadt. A villamos berendezések egyik gyakori hibajelenségét a vezetékek/sínek csavaros, rugós vagy préskötésű (krimpelt) érintkezésen alapuló kontaktusainak nem megfelelő vezetési képessége okozza. A bármilyen okból megnövekedett átmeneti ellenállás a terheléssel arányos kontaktus melegedéséhez vezet ugyan, de a fémes, többnyire polírozott felületek kicsi emissziós képessége miatt csak minimális a hősugárzás-leadás. Termográfiai eszközökkel tehát a kontaktus melegedésének észlelése ugyan lehetséges, de pontos mérése szinte lehetetlen.

Hasonlóan nehéz a szigetelővel nem rendelkező sínrendszereken való mérés. Itt is a mérendő tárgy fémes felülete okozza az előre sajnos meg sem becsülhető mértékű mérési hibát. Az át nem látszó tulajdonságú tárgy felületének alacsony emissziós képessége tehát magas reflexiós tényezővel jár, így mérési tevékenységünket úgy kell megszervezni, hogy az ez által okozott mérési hiba minimális legyen. Fontos, hogy már a mérés során oda kell erre figyelnünk, mert a reflektált hősugárzás forrása irányában az ipari körülmények adta inhomo-

1. kép: Tipikus reflexiós hőhatás (nem indukció)

2. kép: A termográfus hősugárzásának reflexiója

ese I.

gén környezet miatt az utólagos korrekció gyakorlatilag lehetetlen.

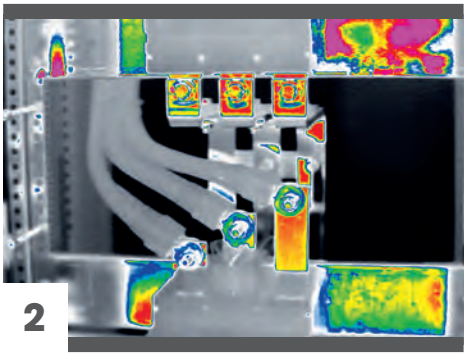
Feladatunk első része, hogy minél homogénebb környezeti hőmérsékletű mérési elrendezésre törekedjünk. Ez olyan mérési elrendezést igényel, melynél a mérés közben a tárgy által reflektált sugárzás szögirányában ne üzemeljen olyan erős hőforrás, mint egy fűtőtest, sugárzó csarnokfűtés, magas hőmérsékletű technológia, illetve egyéb más, pont- vagy vonalszerű zavaró sugárzásforrás se legyen ott. Amit ideiglenesen sem lehet üzemen kívül helyezni, azt igyekezzünk más mérési, megfigyelési szög alkalmazásával kiküszöbölni. Ha pedig ez sem ad megoldást, akkor takarjuk el egy paravánnal vagy más árnyékoló felülettel, de úgy, hogy ne érjen a zavaró hősugárzásforráshoz és ne okozzunk tűzveszélyt.

Ugyanebbe a kategóriába tartozik a termográfust gyakran kísérő helyi villanyszerelő túlbuzgósága is. Miközben az egyik kapcsolószekrénysor felmérése folyamatban van, már ki is nyitja a mérést végző háta mögött lévő szekrénysor ajtóit is. Innentől kezdve az eddig a szekrénysor ajtói adta majdnem homogén reflexiós hőmérsékletet adó felület helyett a szekrényekben lévő villamos elemek inhomogén jellegű, helyfüggően eltérő hősugárzása reflektálódik majd a mérési tárgyon.

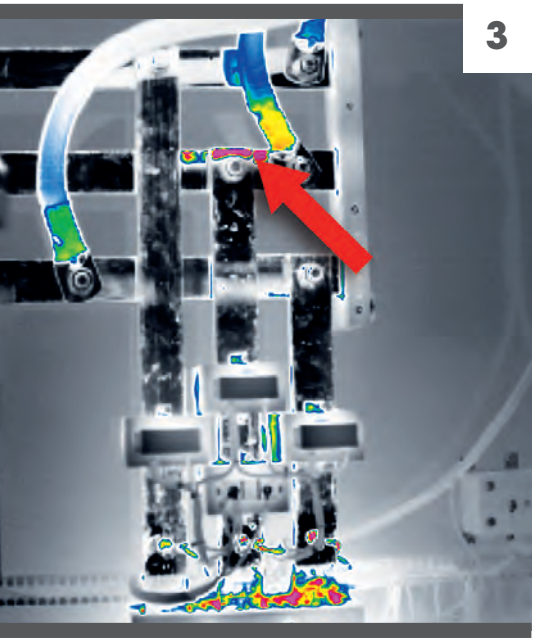
Most jön a kegyelemdöfés a reflexiós problémakörben! A mérést végző és a kísérője, valamint a mérést figyelő nézők is mind-mind reflexiós hőhatást okozó zavaró sugárzásforrások! Magunkat nem küldhetjük el a látótérből, a kísérőt és a nézőket azonban igen. A testünk melege által okozott hősugárzás kiküszöbölésére mást kell kitalálnunk. A megoldás, hogy ne a tárgyfelületekre 90°-os szögben végezzük el a mérést, hanem ettől eltérően, a tárgyfelületre 70–80°-os látószögben. Ha az ebből a szögből kivitelezett mérés során nem reflektálódik más zavaró hőforrás, akkor máris megoldottuk a feladatot (1–2. kép). Amennyiben viszont olyan hőhatásokat fedezünk fel a rögzítendő hőképen, melyek reflexiógyanúsak, akkor változtassuk meg a mérési pozíciónkat, és más megfigyelési szögből ismételjük meg a termográfiai felvételt. Ha változik a vélt tükröződéses hőhatás helye, akkor tényleges tükröződésről van szó. Ilyenkor keresni kell egy „harmadik" megfigyelési irányt, hogy a reflexió ne befolyásolja a mérésünket. Ha ez lehetetlen, akkor jegyezzük föl magunknak a reflexió tényét, hogy ezt majd a mérési dokumentálásban feltüntethessük. Ha a pozíciónk, megfigyelési szögünk változtatásának hatására viszont nem változik a hőhatás leképzése a hőképen, akkor valós – tárgyhoz köthető – hőhatásról van szó.

A 3–4. képpel bizonyítottá válik, hogy a piros nyíllal jelzett helyen reflexió van, nem tárgyi hőhatás. A kontaktusok többnyire polírozott felülete miatt a megtévesztő reflexiók mellett a valódi tárgyhőmérsékletek rossz észlelhetősége okoz problémákat. Szerencsére akad általában valamilyen feliratozott, festékjelölésű vagy szigetelt felület, amely a hibahely melegedése révén a villamos vezetők jó hővezető képessége miatt szintén felmelegszik. Áramsínek esetében meglévő furatok is a segítségünkre lehetnek. Amennyiben átmérőjükhöz képest legalább négyszeres mélységgel rendelkeznek, akkor a

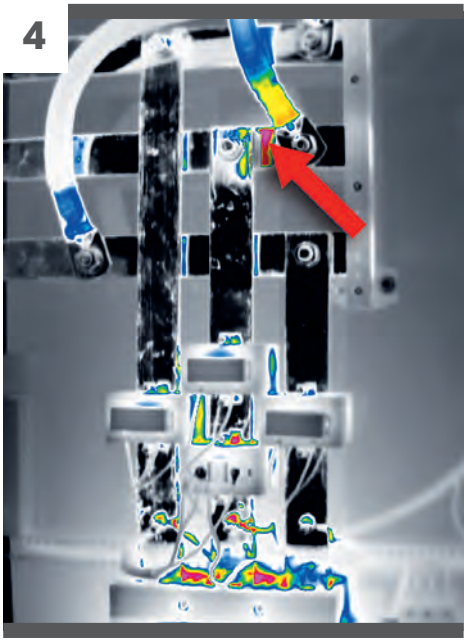
1



2



3



4

3. kép:
Reflexiógyanús első mérés.

4. kép: Más pozícióból megismételt mérés.

Villamos berendezések termográfiai állapotfelmérése I.

bennük megvalósuló többszörös reflexiónak köszönhetően ferdén beléjük mérve közel 100%-os emissziós tényezőnek megfelelő sugárzást mérhetünk. Ez természetesen átmenő vagy menetes furatok vagy két áramsín kapcsolódásának szerelési hézaga, légrése esetében is igaz (5–6. kép).

Geometriai felbontás

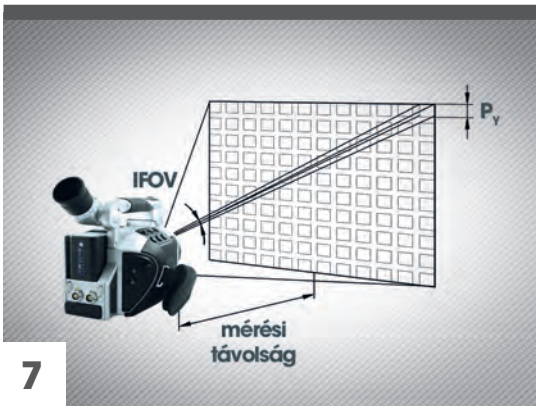
Egy alá nem becsülendő további probléma pedig a termográfiai mérőeszköz geometriai felbontásával függ össze. Eme téma fontossága miatt szükségesnek vélem, hogy ezt itt bővebben is megemlítsük. Ugyanis lépten-nyomon hallani az egész kapcsolószekrény egy felvétellel történő áttekintő termográfiai felméréséről, majd az ezt követő, az áttekintő hőkép alapján észlelt szükség esetén elvégzett részletező hibahely felvételről. Ez természetesen nagyon hatékony munkavégzésnek hangzik, ami viszont csak akkor igaz, ha az áttekintő felvétel készítése közben betartottuk a geometriai felbontás követelményét. Ennek megsértése esetében ugyanis észrevétlenek maradnak a kisebb vezetékek és kontaktusok problémáira utaló hőhatások. Így vélhetően részletező hőképet nem is készítenénk, vagyis pont a hibák nem kerülnének felderítésére. Összefoglalva: az olyan áttekintő termográfiai felvételek készítése, melyeknek geometriai felbontása nem megfelelő, egész egyszerűen nem megengedett, és ez alól soha nincs kivétel.

A mindezt befolyásoló geometriai felbontás paramétert (angol dokumentációkban IFOV = Individual Field Of View vagy Instantaneous Field Of View, értelemszerű fordításban „egyedi érzékelő látószöge" vagy „elemi látómező") – tehát a detektormátrix egy egyedülálló érzékelőjének (képpontjának) látószögét – tipikusan nem ° (fok) egységekben, hanem az egyébként szokatlan mrad szögmértékben adják meg. Ez pedig nagyban megkönnyíti a geometriai felbontással kapcsolatos (mindegyik hőképrögzítést megelőző) kötelező fejszámolást. Vigyázat, az adat hőkamera és objektív együttesre érvényes, tehát eltérő látószögű csereobjektívek esetén ugyanaz a hőkamera más és más geometriai felbontással fog rendelkezni (7. kép).

Szerencsénkre igen egyszerű a hőkamera (illetve lencséjének) specifikációban mrad szögegységben kifejezett geometriai felbontás (IFOV) számértékkel meghatározni az adott távolságból mérhető legkisebb tárgy dimenzióját. Például az 1,5 mrad geometria felbontás értéke azt jelenti, hogy minden egyes pixelhez rendelt egyedi mérési felület (tárgyfelületen érzékelt mérőfolt) 1 m mérési távolságon éppen 1,5 mm méretű. Az adott távolságban keletkező egyedi „mérőfolt" egyenlete tehát: px = py = d x IFOV, ahol:

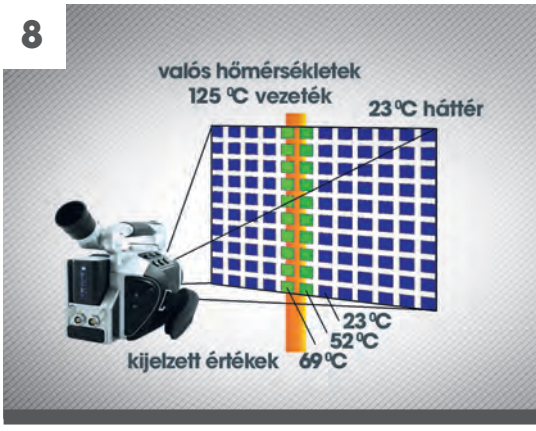
px, py: egyedi detektor mérőfoltjának vízszintes mérete (szélessége) (mm),
d: mérési távolság (m),
IFOV: geometriai felbontás (mrad).

Az előzőek alapján tudható, hogy egy egyedi detektorhoz tartozó mérőfolt az adott mérési távolságban milyen méretű. Most már csak arról kell gondoskodni, hogy a mérőfolt teljes egészében garantáltan a mérendő tárgyon helyezked-



7

7. kép: Képmező geometriai paraméterei.



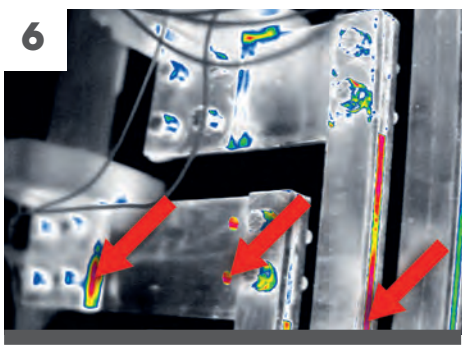
8

8. kép: Nem megfelelő geometriai felbontású felvétel.

5. kép: Felfestésen mérhető tárgyhőmérséklet.

5

6. kép: Hőmérsékletmérés furat és hézag révén.

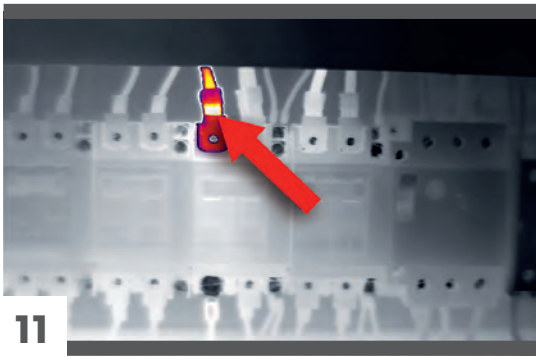


6

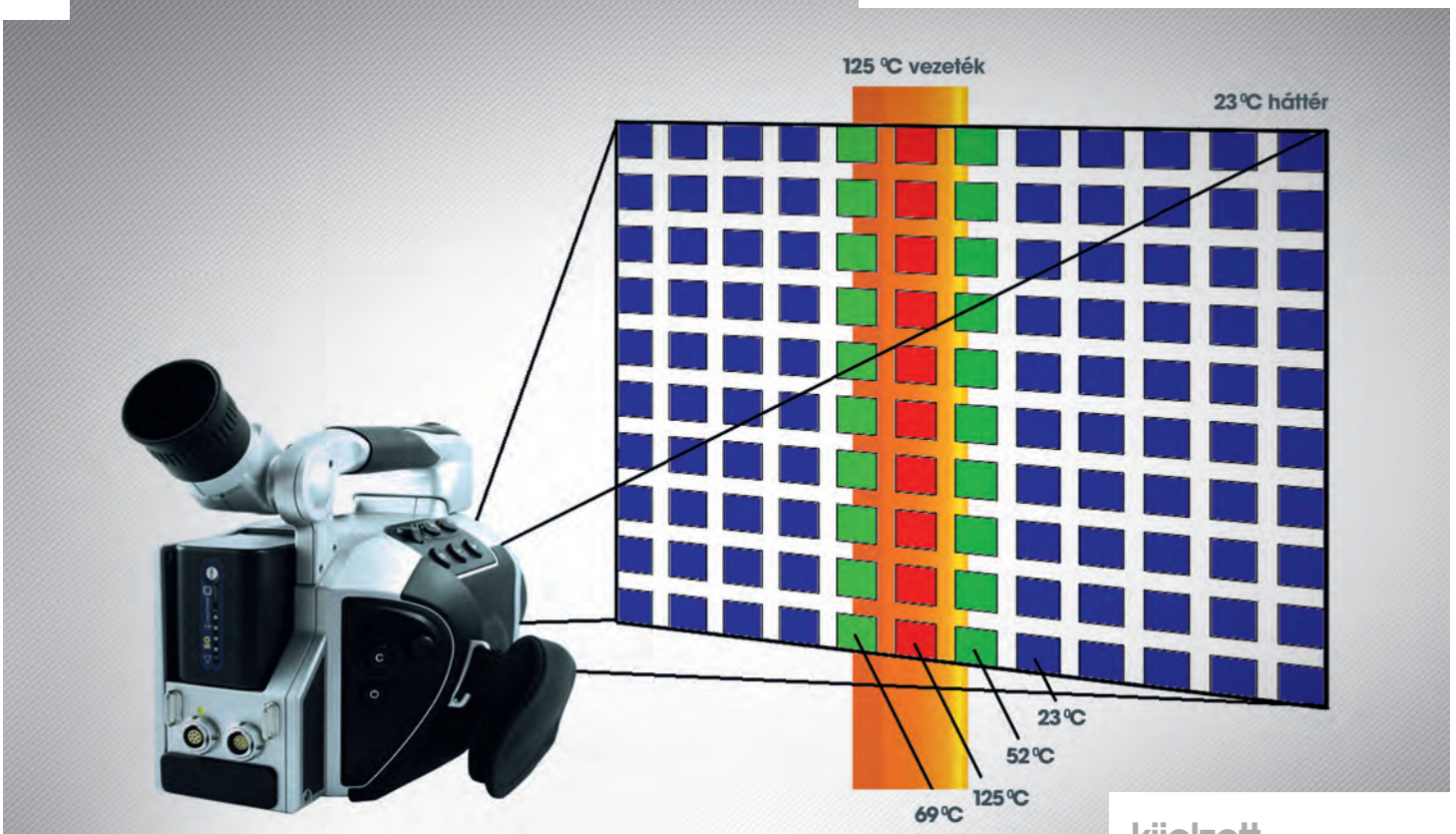
10

10. kép: Nem megfelelő felbontású „áttekintő" kép.

11. kép: A laza kontaktus részletes felvétele.



11



megfelelő geometriai felbontású felvétel

jen el. Ha ugyanis ez nincs betartva, akkor a mérőfolt nemcsak a tárgy felületének, hanem hátterének (pontosabban oldalsó környezetének, a szorosan mellette vagy oldalra eltolva mögötte látható tárgynak) a sugárzását is tartalmazhatja. Mivel a mérőfolton belül átlagolás történik, a háttér (oldalsó környezet) hőmérsékletének hatására a mérési eredmény akár alacsonyabb, akár magasabb lehet a tárgy valódi hőmérsékleténél. Minél nagyobb a tárgy és a háttér (oldalsó környezet) hőmérsékletének különbsége, annál nagyobb lesz a mérés hibája is!

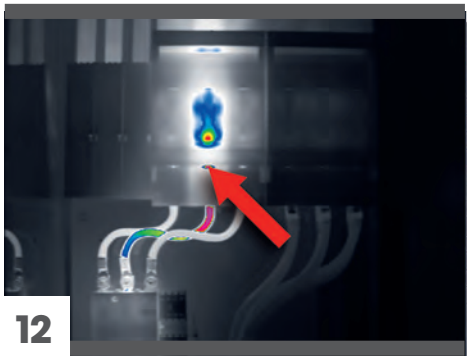
Mivel az így meghatározott, egy-egy képponthoz tartozó érzékelési felület (mérőfolt) helyzete a mérendő tárgyon nem ismert, segítségül hívható a matematika. Ha a legkisebb mérhető tárgy minimális mérete az egyedi mérőfolt kétszerese lenne, akkor két szorosan egymás mellett elhelyezkedő ilyen egyedi mérőfolt közül mindenképpen egy mindig a teljes felületével a tárgyon helyezkedik el. Mivel azonban az érzékelőmátrix (gyártástechnológiailag szükséges) hézagokkal rendelkezik, valamint méréstechnikailag nem tekinthető leképzési hibáktól mentesnek a lencserendszer sem, a gyakorlatban bevált a fenti képpontméret hárommal történő szorzása a legkisebb mérhető tárgy minimális méretének meghatározására.

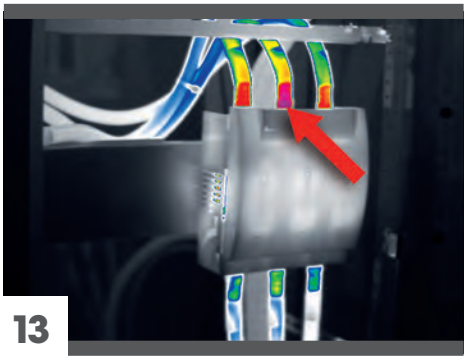
m_{min} = sz_{min} = d x IFOV x 3, ahol:
m_{min}: legkisebb mérhető tárgy függőleges mérete (magassága – mm),
sz_{min}: legkisebb mérhető tárgy vízszintes mérete (szélessége – mm),
d: mérési távolság (m),
IFOV: geometriai felbontás (mrad).

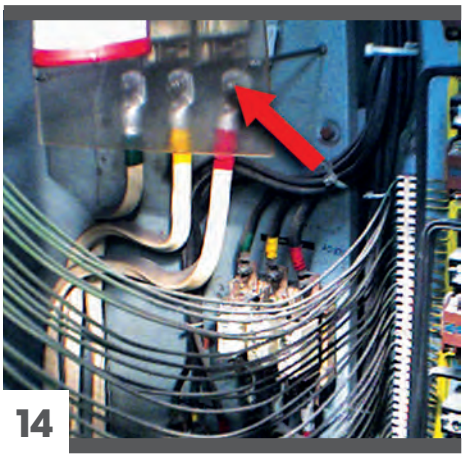
Az egyenlet alapján például egy 2 mrad geometriai felbontást nyújtó „standard" objektív esetén 5 m távolságból csak minimum 30 mm méretű tárgyak (vagy tárgyrészletek) hőmérséklete érzékelhető még méréstechnikailag megbízhatóan, korrekten. Kisebb tárgyak méréséhez vagy kisebb mérési távolságot, vagy más optikát kell választani. (Egyébként a termográfiai

12. kép: A furaton keresztül mérhető érték 130 °C.

13. kép: Rossz kontaktusra utaló vezetékhőmérséklet.

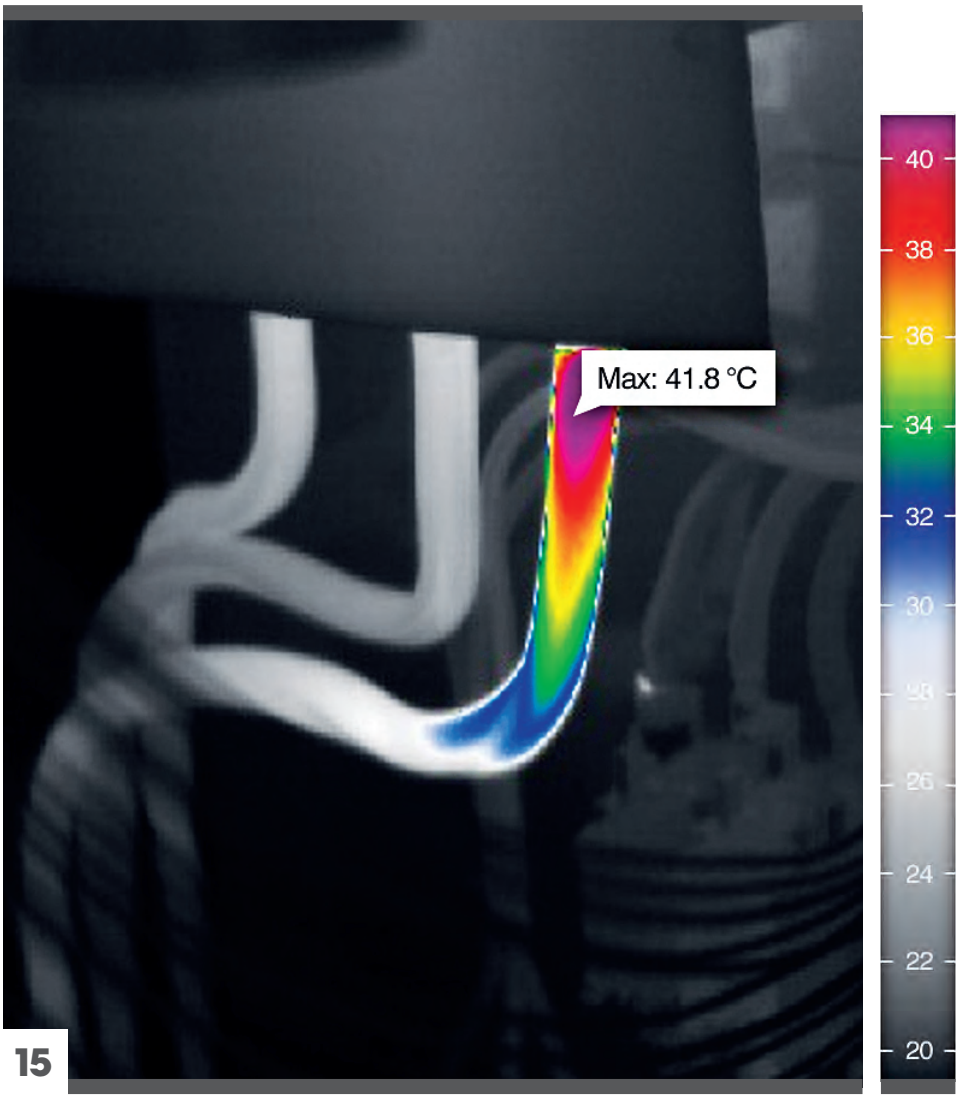

12


13



14

14. kép: Érintésvédelmi plexi a csavarkontaktus előtt.



15

15. kép: Rossz kontaktusra utaló vezetékhőmérséklet.

felvétel nem tudja a mérés szempontjából fontos kis tárgy/tárgyrészlet hőmérsékletét kimutatni.) Kicserélve tehát az előbbi „standard" lencsét egy teleobjektívre, akkor például 0,5 mrad geometriai felbontás feltételezése mellett 5 m távolságból minimum 7,5 mm méretű tárgyak hőmérséklete is mérhető.

A 8–9. képek jól mutatják a nem megfelelő geometriai felbontás esetén bekövetkező mérési hibát és annak nagyságát is. Amíg a 9. képen látható – nagyobb átmérőjű vezeték – tényleges hőmérsékletét észleljük a hőképünkön (kijelzett maximumérték 125 °C), a 8. kép esetében az ugyanolyan forró, de vékonyabb vezeték hőmérsékletét hibásan észleljük (kijelzett maximumérték 69 °C).

A 10–11. hőkép a nem megfelelő geometriai felbontású „áttekintő" felvétel veszélyét alátámasztják egy konkrét gyakorlati példával. Amíg a 10. képen látható „áttekintő" felvételen a laza érintkező éppenhogy 38 °C hőmérséklettel jelentkezik, és hibahelyként nem tűnik föl, addig a 11. képen megfelelő geometriai felbontású termográfiai részletfelvétel alapján kiderül, hogy a valódi hőmérséklete már 58 °C fölötti (20 °C mérési hiba)!

Nem egyszerű a helyzetünk a villamos szerelvények burkolatai miatt sem. Mivel akár csak fél milliméteres vastagságú műanyagokon már szinte semmilyen hősugárzás nem jön át, mely a villamos berendezések mérését lehetővé tenné, teljesen nyilvánvaló, hogy a mérendő elemeket eltakaró műanyag burkolatokat mind el kell távolítani a mérés előtt. Ez vonatkozik a biztosíték- és kisautomata táblák takarólemezeire ugyanúgy, mint az érintésvédelmi, szekrényen belüli plexiburkolatokra egyaránt.

Amit azonban a gyakorlatban biztosan nem tudunk eltávolítani, az a korszerű burkolt szerelvények teljesen zárt műanyag tokozása. Szerencsés esetben a szerelvény gyártója hagyott rajta egy kis, 3-4 mm átmérőjű lyukat, melyen keresztül – megfelelő látószögből – a szerelvény hibája vagy rossz érintkezés esetében a belsejében kialakuló kritikus hőmérséklet megfigyelhető. Na persze, a lyukon keresztül történő hibaészlelésnek feltétele, hogy a lyuk méretének eleget tévő geometriai felbontásnak megfelelően válasszuk meg a maximális mérési távolságunkat (lásd az előbb tárgyalt problémát).

Ha pedig a burkolaton belüli problémák észleléséhez nincs ilyen furat, akkor már csak a villamos vezető jó hővezetésben bízhatunk. A 12–13. képen látható példák ilyen szempontból eléggé megnyugtatók, mert a legtöbb esetben többnyire egyértelműen összekapcsolható a tokozott berendezés vagy az érintkezés hibája az elmenő vezeték hőmérsékletével, mely a szóban forgó eszköztől távolodva egyre csökken.

Végezetül következzen még egy utolsó figyelemfelhívó példa az érintésvédelmi plexifelületek miatt nem látható hőhatásokra. A 14 és 15. képen vizuálisan látható, de a letakarás miatt termikusan megfigyelhetetlen laza kontaktus valódi hőmérséklete, ami 57 °C. Ez mindenképpen már karbantartási beavatkozást indokolna, ellentétben a még elfogadhatónak tűnő 41 °C értékkel szemben. (A fázisok közötti eltérés ennek ellenére már elegendő indok az ellenőrzés és karbantartás szükségességére.) ■

Folytatása következik!