írta: Rahne Eric

# Épületszerkezeti és épületgépészeti termográfia II.

**A cikksorozatunk előző részében arról beszéltünk, hogy milyen jellegű (célú) épülettermográfiai mérések léteznek, a szükséges mérési körülményekről és az azokból adódó nehézségekről, illetve korlátozásokról.**

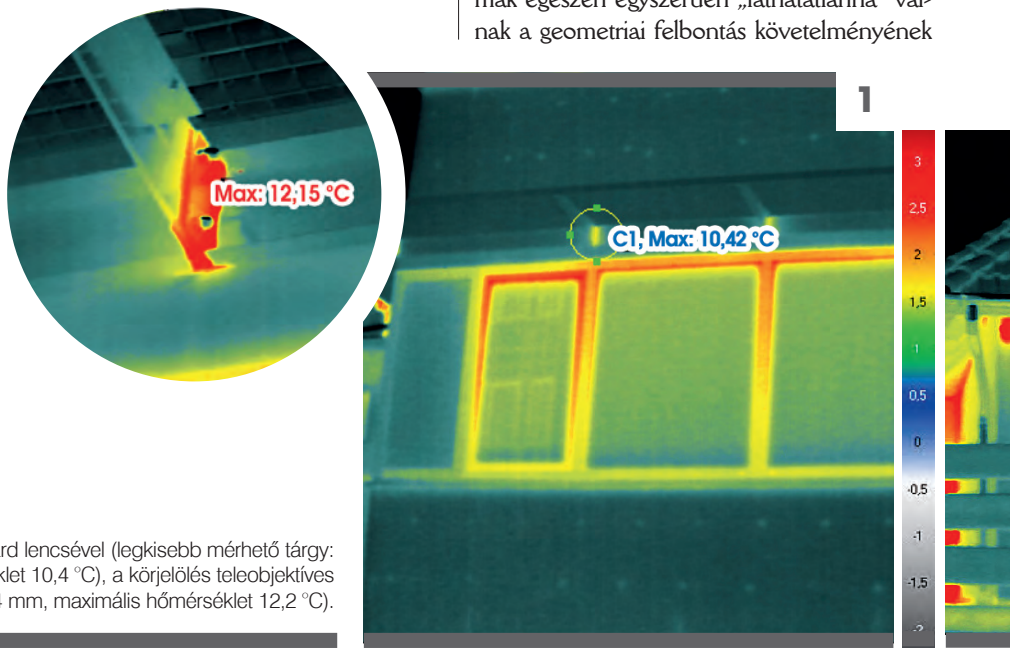
A most következő részből pedig megtudhatjuk, hogy mi a szerepe a hőkamera adottságai alapján figyelembe veendő geometriai felbontás követelményének, a hőkép pixelfelbontásának, valamint a hőkamera termikus felbontóképességének.

Mindezt valós hőképekkel illusztrálva, a Termográfia – elmélet és gyakorlati méréstechnika című szakkönyvből merítve.

## Méréstechnikai feltételek (épülettermográfiához szükséges hőkamera-képességek)

A hőkamerával megfelelő körülmények között készített hőképek alapján sokféle épületszerkezeti, hőszigetelési, épületgépészeti, épületüzemeltetési és nedvességgel/vízszigeteléssel kapcsolatos hiányosság fedezhető fel. Fontos tudni, hogy a kiértékelés csak akkor eredményes, ha a mérés során fennálltak a megfelelő mérési, például klimatikus és épületüzemeltetési körülmények.

Lényeges az is, hogy betartsuk a termográfiai mérések szabályait és nem utolsósorban a hőkameránk is megfelelő méréstechnikai képességekkel rendelkezzen. Ezek közül a geometriai felbontásra is ügyelnünk kell: például egy panelház 10. emeletének földről történő mérése (mondjuk 60 méter távolságból) Pitagorasz szerint $\sqrt{302 + 602} = 67$ méter valós mérési távolságból történik. Ez egy 2 mrad felbontású hőkamera esetében csupán minimum 67 m x 2 mrad x 3 = 402 mm (tehát 40 cm) tárgyfelületek mérését teszi lehetővé. Egy ilyen hőképnek tehát legfeljebb annyi információtartalma van, hogy hány nyílászáró van a 10. emeleten! Az 1. kép illusztrálja a helyzetet egy járórács tartójának példáján. Ahogy a hőkép is bizonyítja, az épülettermográfia – bár hatalmas mérési tárgyakkal foglalkozik – sem kerülheti el a geometriai felbontás kérdését. A keresett problémák egészen egyszerűen „láthatatlanná" válnak a geometriai felbontás követelményének




1

**1. kép** Épületfelvétel standard lencsével (legkisebb mérhető tárgy: 15 m x 0,8 mrad x 3 = 36 mm, maximális hőmérséklet 10,4 °C), a körjelölés teleobjektíves felvétele (legkisebb mérhető tárgy: 5 m x 0,4 mrad x 3 = 4 mm, maximális hőmérséklet 12,2 °C).

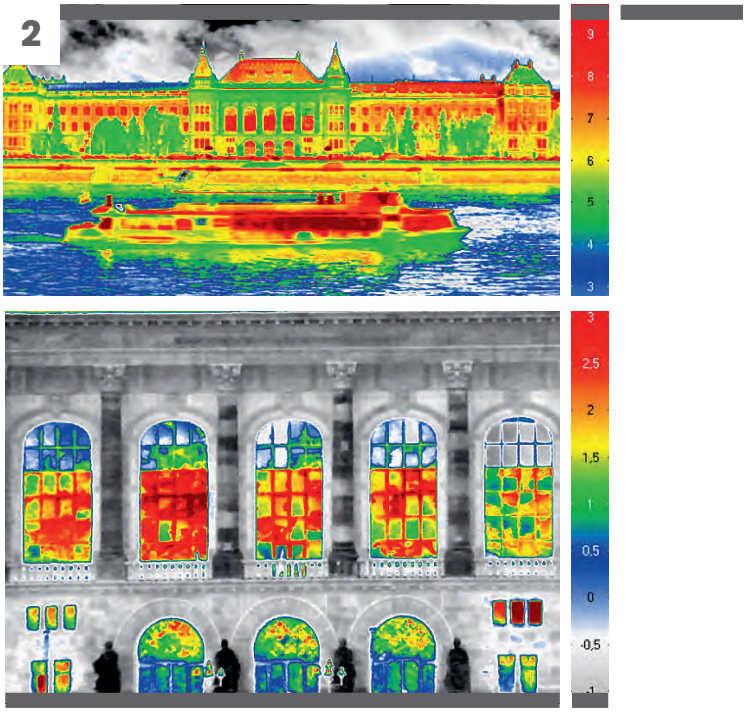
figyelmen kívül hagyása esetén. A helyzet orvosolható csereobjektívek alkalmazásával, melyek professzionális hőkamerák esetén beszerezhetők (2. kép).

A geometriai felbontáson (tehát az érzékelőmátrix egy egyedi érzékelőhöz tartozó tárgyfelületi képpontméretén) túl a hőkamerával elérhető képminőséget, pontosabban – a mérés részletességét – a hőkamera képpontjainak száma határozza meg. Ennek oka, hogy a grafikai (vizuális) felismerhetőség érdekében egy bizonyos minimális képpontszámnak kell a mérendő tárgy egyes részeire esnie – ugyanúgy, ahogyan ezt a digitális fényképezés esetén megszoktuk. Könnyen érthető, hogy több képpont esetén a tárgyfelületet nagyobb részletességgel, illetve nagyobb tárgyfelületet ugyanolyan részletességgel jeleníthetünk meg egyetlen hőképen. Ha kevés a képpontok száma, sok felvételt kell készíteni, és összefüggő tárgyak kiértékelésére, illetve beszámolók készítéséhez gyakran szükségessé válik a képek montírozása (ami egy igen időigényes munka).

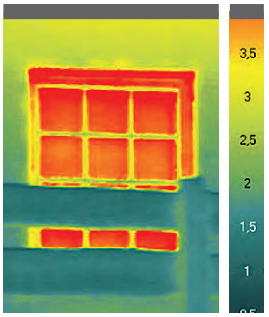
Hőkamerák esetén ez a kérdés nem is jelentéktelen. Míg a digitális fényképezőgépeknél 10, 12 vagy akár több mint 20 Mpixeles (20 millió képpontos) felbontásról beszélünk, addig az átlagos mátrixos hőkamerák esetén a képpontok száma tipikusan 320x240 (tehát 76 800), illetve 384x288, a profibb hőkamerákban pedig 640x480 (tehát 307 200) vagy akár 1024x768 (tehát 786 432) képpont.

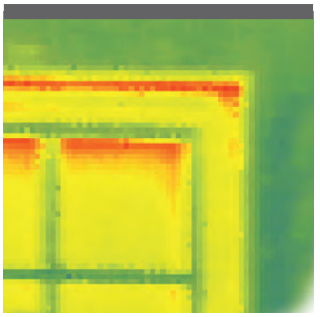
Vannak kisebb képességű kamerák is – gyakori típus a 160x120 (tehát csupán 19 200) képponttal vagy akár csak a 80x80, illetve a 96x96 képponttal, melyek ennél fogva csak kisebb felületek elfogadható részletességű megjelenítésére képesek, ami a felhasználási területüket természetesen erősen korlátozza, vagy a hőkamerát bizonyos feladatokhoz akár alkalmazhatatlanná teszi.

Érdekes még, hogy pont a legprofibb, 640x480, illetve 1024x768 képpontos érzékelőmátrixszal rendelkező professzionális hőkamerák képpontra vetített ára a legkedvezőbb, akár egy nagyságrenddel is kedvezőbb, mint a kis pixelszámú, ún. low cost hőkameráké.



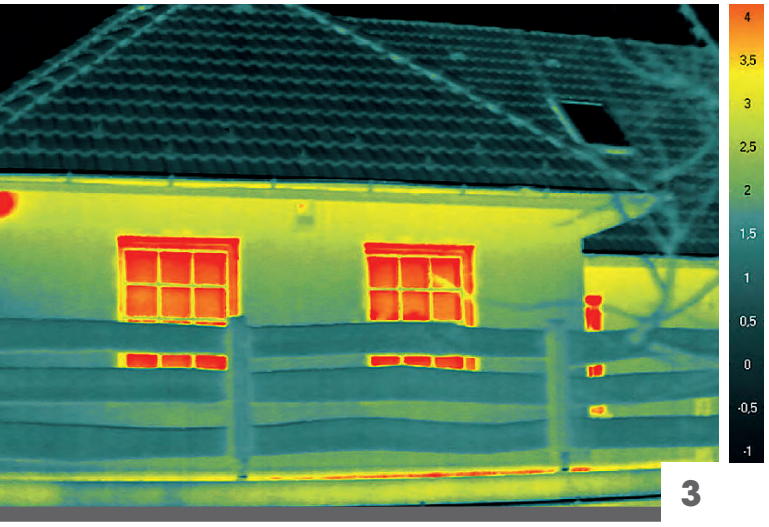

**2. kép**
Teleobjektív használatával elérhető hőképfelbontás: fent széles látószögű lencsével készült hőkép, míg a lent egy teleobjektívvel (ugyanonnan) rögzített hőkép látható.



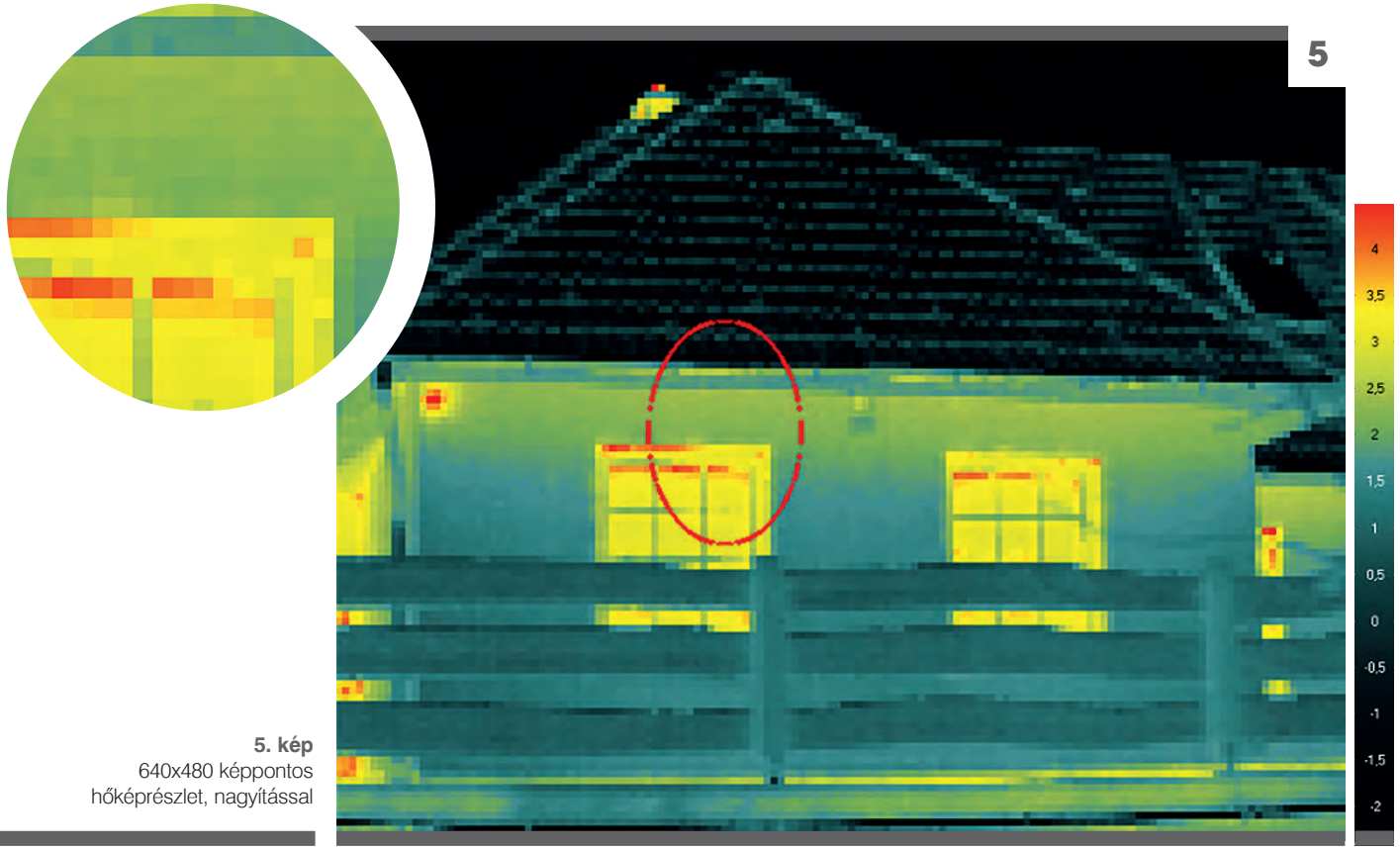



**3. kép**
120x160, illetve 640x480 képpontos hőkép (arányosan ábrázolva)

**4. kép**
160x120 képpontos hőképrészlet, nagyítással

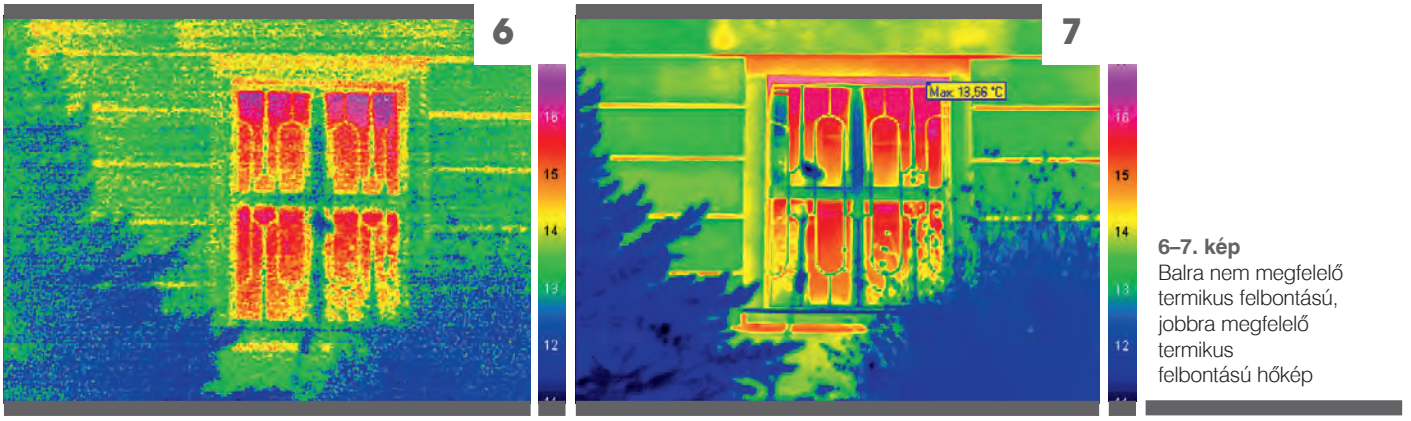


Épületszerkezeti és épületgépészeti termográfia II.




**5. kép**
640x480 képpontos hőképrészlet, nagyítással

A 3–5. képek igen látványosan mutatják be a képpontok számának hatását a munkafolyamat hatékonyságára. A 3. kép alsó része (640x480 pixel) egyetlen helyszíni gombnyomással készült és – mivel a bevizsgált épületoldal minden információját tartalmazza – szintén egyetlen kattintással belefűzhető a jegyzőkönyvbe. Ezzel szemben a felső hőkép (160x120 pixel) az épületoldal csak kisebb részét képes befogni ugyanazzal a geometriai felbontással. Az alsó, áttekintő hőkép teljességének és minőségének elérésére 16-szor annyi pixel – tehát ennyi hőkép – kellene. Mivel azonban a hőképek utólagos montírozásához még az egyedi hőképek átfedésére is szükségünk van, így jóval több, akár 20-25 hőkép helyszíni felvételére kényszerülünk. Természetesen a 640x480 képpontos hőkép felvételi időigényének többszöröse alatt. Az igazi kellemetlenség viszont a jegyzőkönyvkészítés során vár ránk, mert itt szembesülünk a 20-25 hőkép montírozási munka időigényével, mely ügyességünktől függően 30 perc és több óra között is eltarthat. Meggondolandó tehát, hogy kisebb beruházás mellett kisebb pixelszámú hőkamerát válasszuk (és a spórolásunkat majd többszörös többletmunkával fizessük meg), vagy nagyobb pixelszámú hőkamera révén a hatékony munkavégzéshez szükséges gazdaságos eszközre tegyünk szert. Most nyilván mondhatjuk, hogy természetesen befoghatjuk a 160x120 képpontos hőkamerával is az épület „teljes" oldalát. Ennek ára viszont a nem megfelelő geometriai felbontás lesz, ahogy a 4–5. képek bizonyítják. A referenciahőkép ismételten ugyan-




**6–7. kép**
Balra nem megfelelő termikus felbontású, jobbra megfelelő termikus felbontású hőkép

az a 640x480 pixel felbontású felvétel (picit más hőskálázással), a spórolós tesztfelvétel pedig 160x120 képponttal készült pontosan ugyanonnan, ugyanarról az épületről.

Mindkét hőképből egyforma tárgyfelületet nagyítottunk ki a különbség (és ezáltal a felvételek használhatóságának) bemutatása szempontjából. Anélkül, hogy bármilyen hosszadalmas magyarázatot kívánnánk adni, a tapasztalatlan megfigyelő részére is azonnal nyilvánvaló, hogy a 640x480 képpontos termogram lehetővé teszi az ablakkeret-szerelés (falcsatlakozás) minőségének és az ablakok tömítettségének értékelését.

Azonban a csupán 160x120 képpontos felbontással készült hőkép nem kínálja ezt a lehetőséget, ezért az itt bemutatott esetben az épületek termográfiai értékelésének célját nem is lehet elérni. Különösen akkor, amikor a mérendő hőmérsékletek a hőkamera aktuális méréstartományának alsó határához közel vannak (ami tipikus az épülettermográfia esetében), a képminőséget döntően a hőkamera hőmérséklet-felbontási képessége (vagy termikus felbontása) határozza meg. Az ezt jellemző paraméter – az „NETD" (Noise Equivalent Temperature Difference) – a hőkamera saját zajának effektívértékét adja meg az ugyanekkora villamos jelet eredményező tárgyhőmérséklet-különbségben kifejezve. Ezt a hőkamerát minősítő paramétert a DIN EN 16714-2:2016-11 szabvány követelményének megfelelően 30 °C-nál határozzák meg, referenciatárgyként pedig az ideális sugárzót feltételezik. Fontos tudni, hogy ez az NETD-érték (általában egyetlen egy számként megadva) sajnos nem egyforma minden hőmérsékleten, nem igaz a hőkamera mindegyik méréstartományára, és minden egyes (csere)objektív alkalmazásának esetében sem. Ennek ellenére ez a számadat a legelterjedtebb és általában az egyetlen információnk a hőképünk várható zajosságával kapcsolatosan, ezért tudomásul kell venni, hogy a tárgy hőmérsékletének csökkentésével majdnem exponenciálisan megnő a zaj (tehát romlik a termikus felbontás).

Ez teljesen logikus is, mivel a csökkenő hőmérséklettel együtt a sugárzás mennyisége hatványozottan csökken, így a jel/zaj-viszony ugyanilyen rohamosan romlik. Ebből következik, hogy a 30 °C-on megadott termikus felbontás ennél alacsonyabb tárgyhőmérsékletek esetén már nem igaz, 0 °C felé az NETD-érték már akár a duplájára is nőhet.

A hőkamera termikus felbontása természetesen kihatással van a hőképen észlelhető legkisebb hőmérséklet-különbség révén a részletek felismerhetőségére (6. kép). A helyzetet sajnos még rontja a szemünk szín-, illetve szürkeárnyalat-különbség érzékelési képességének határa, valamint a megfelelő mennyiségű „egyforma" pixel megjelenítésének szükségessége, hogy azt összefüggő „felületként" ismerhessük fel. Folytatjuk! ■

## számpélda

**Egy gyengébb minőségű hőkamera 30 °C-nál érvényes +/–120 mK (+/–0,12 °C) hőmérséklet-felbontásból a gyakorlatban már 0 °C-on „könnyedén" +/–0,25 °C-os zaj lesz.**

Mivel ez az érték pixelenként értendő, a teljes hőkép hőmérséklet-felbontása csupán 0,5 °C (mivel a pixelek elhelyezésüktől és egymástól függetlenül pont ellentétesen a maximumértékig tévedhetnek). A hőképen vizuálisan is összefüggő felületként biztosan felismerhető felület hőmérsékletének viszont minimum a fenti érték kétszeresével kell eltérnie az őt körülvevő hőképpixelektől, tehát a felismerhetőség határát jelentő minimális hőmérséklet-eltérés jelen példában közel 1 °C (0 °C körüli mért tárgyhőmérsékletek esetén)!