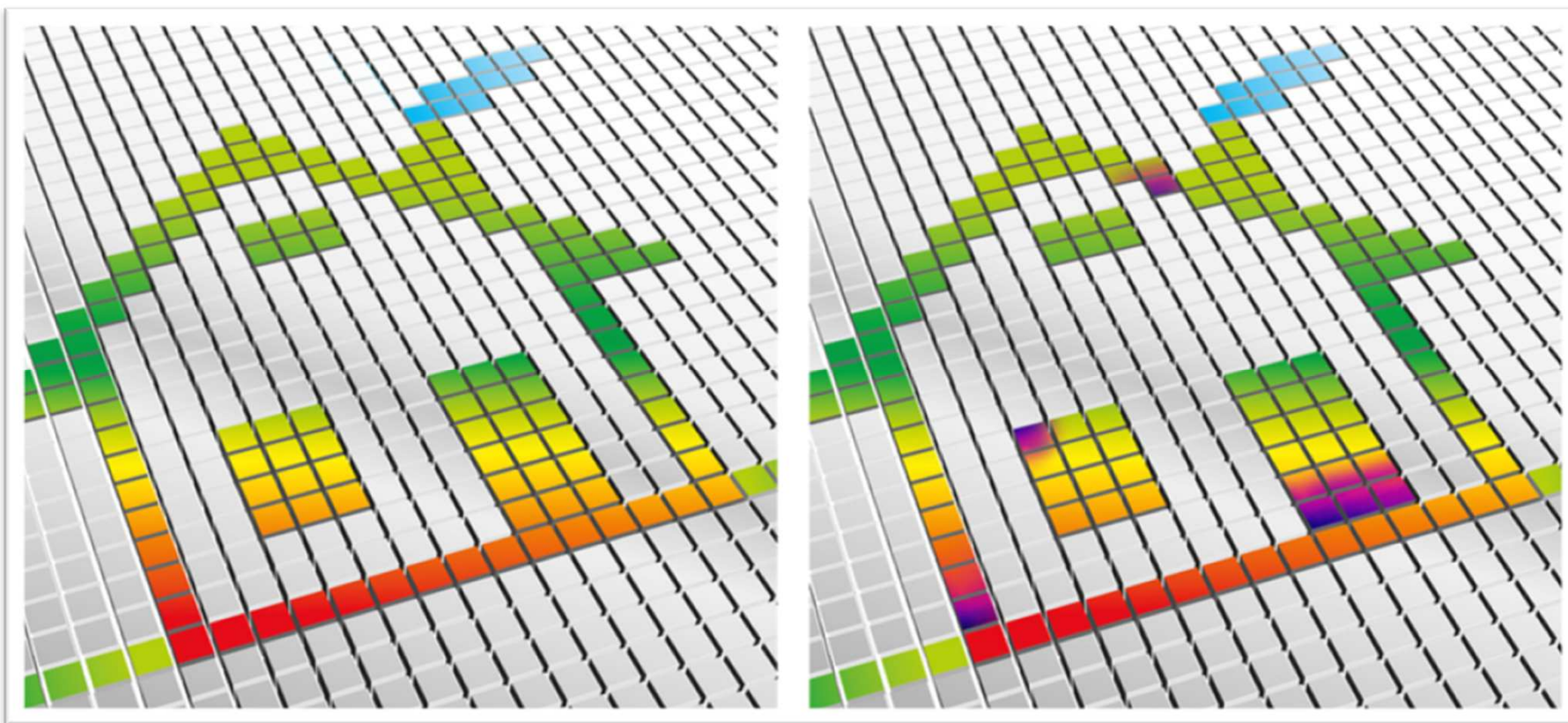


„Vidím něco, co ty nevidíš ...“



Detekce netěsností pomocí termografie

Co je to termografie?

Termografie je zobrazovací metoda pro vizualizaci povrchové teploty předmětů, tj. vyzařované tepelné energie tělesa.

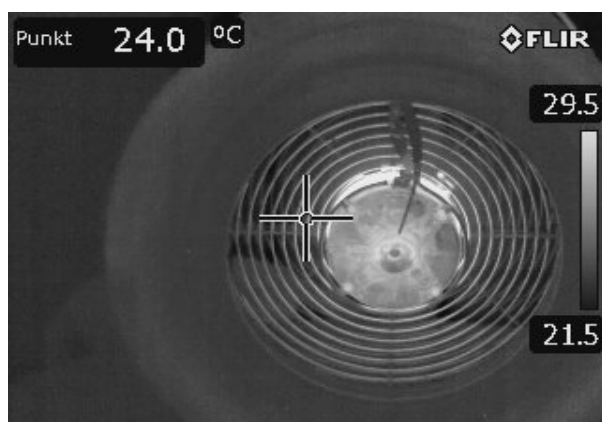
Každé těleso teplejší než absolutní nula ($0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$) emituje elektromagnetické vlny různých vlnových délek, tzv. Infračervené záření. Toto záření lidské oko nevidí.



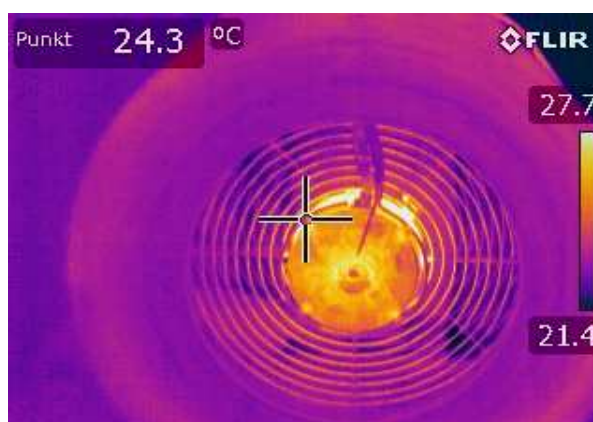
Vizualizace infračerveného záření

Termografická kamera převádí toto “neviditelné” infračervené záření na elektrické impulzy a vytváří obraz v odstínech šedi. V původním obrázku (v odstínech šedi) jsou světlejší oblasti teplejší než tmavší oblasti.

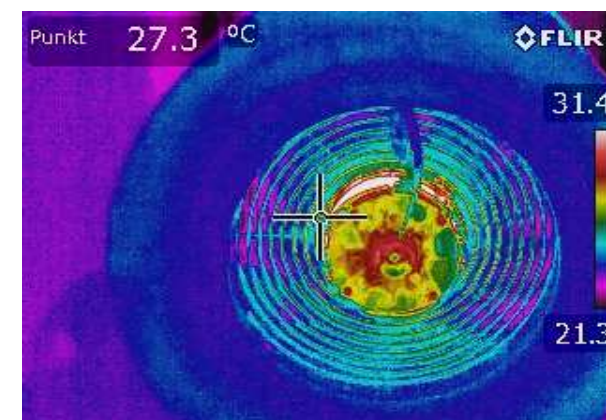
Tyto obrázky se pak často zobrazují v nepravých barvách. Přiřazení barev se provádí později. Slouží k lepšímu znázornění, aby byly jemné rozdíly jasně rozlišitelné.



Termogram (šedý)



Termogram s falešnými barvami
(železo)



Termogram s falešnými barvami
(duha)

Emisivita ϵ

Tepelné záření tělesa je ideálně vyzařováno s emisivitou $\epsilon = 1$, v tomto případě také mluvíme o černém radiátoru.

Ve skutečnosti se tato emisivita ϵ někdy velmi silně liší, což je třeba vzít v úvahu při použití termografické kamery.

Na lesklých a proto vysoce odrážejících kovových površích může ϵ dokonce klesnout pod 0,1.

U běžně používaných stavebních materiálů můžete nastavit hodnotu pro ϵ přibližně 0,9. Emisivita betonu je např. $\epsilon = 0,93$; u dřeva např. $\epsilon = 0,94$.

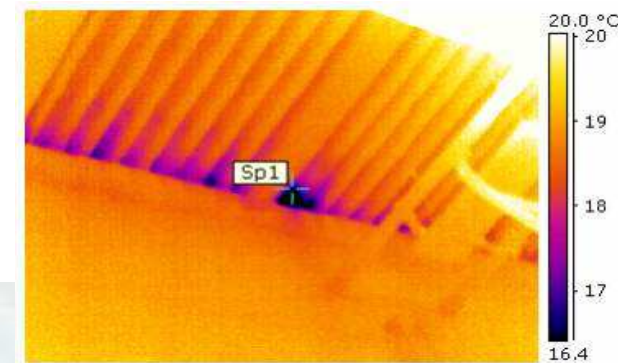
Emissionsgradtabelle

Die folgende Tabelle dient als Richtlinie zur Einstellung des Emissionsgrades bei der Infrarot-Messung. Sie gibt den Emissionsgrad ϵ einiger gängiger Materialien an. Da sich der Emissionsgrad mit der Temperatur und der Oberflächenbeschaffenheit ändert, sollten die hier aufgeführten Werte nur als Richtangaben für die Messung von Temperaturverhältnissen oder -differenzen betrachtet werden. Um den Absolutwert der Temperatur zu messen, sollte der Emissionsgrad des Materials exakt bestimmt werden.

Material (Materialtemperatur)	Emissionsgrad
Aluminium, walsblank (170 °C)	0,04
Aluminium, nicht oxidiert (25 °C)	0,02
Aluminium, stark oxidiert (100 °C)	0,03
Aluminium, hochpoliert (100 °C)	0,20
Baumwolle (20 °C)	0,09
Beton (25 °C)	0,77
Blei (40 °C)	0,93
Blei, oxidiert (40 °C)	0,43
Blei, grau oxidiert (40 °C)	0,28
Chrom (40 °C)	0,08
Chrom, poliert (150 °C)	0,06
Eis, glatt (0 °C)	0,97
Eisen, abgeschmirgelt (20 °C)	0,24
Eisen mit Gusshaut (100 °C)	0,80
Eisen mit Walzhaut (20 °C)	0,77
Gips (20 °C)	0,90
Glas (90 °C)	0,94
Granit (20 °C)	0,45
Gummi, hart (23 °C)	0,94
Gummi, weich, grau (23 °C)	0,89
Gusseisen, oxidiert (200 °C)	0,64
Holz (70 °C)	0,94
Kork (20 °C)	0,94
Kunststoff, schwarz, eloxiert (50 °C)	0,70
Kupfer, leicht angelauten (20 °C)	0,98
Kupfer, oxidiert (130 °C)	0,04
Kupfer, poliert (40 °C)	0,76
Kupfer, gewalzt (40 °C)	0,03
Kunststoffe: PE, PP, PVC (20 °C)	0,64
Lack, blau auf Aluminium-Folie (40 °C)	0,94
Lack, schwarz, matt (80 °C)	0,78
Lack, gelb, 2 Schichten auf Aluminium-Folie (40 °C)	0,97
Marmor, weiß (40 °C)	0,79
Mauerwerk (40 °C)	0,95
Messing, oxidiert (200 °C)	0,95
Ölfarben (alle Farben) (90 °C)	0,95
Papier (20 °C)	0,93
Porzellan (20 °C)	0,61
Sandstein (40 °C)	0,92-0,96
Stahl, wärmeisoliert (200 °C)	0,97
Stahl, oxidiert (200 °C)	0,92
Stahl, kalt gewalzt (93 °C)	0,67
Ton, gebrannt (70 °C)	0,52
Transformatorlack (70 °C)	0,79
Ziegelstein, Mörtel, Putz (20 °C)	0,75-0,85
Zink, oxidiert	0,91
	0,84
	0,93
	0,1

© testo

Příklady použití termografie



Termografie je velmi dobrý nástroj při měření velkých budov. Pokud chcete zkontrolovat netěsnosti součástí umístěných výše, musíte obvykle použít zvedací plošinu nebo žebřík.

Termografie a diferenční tlak:

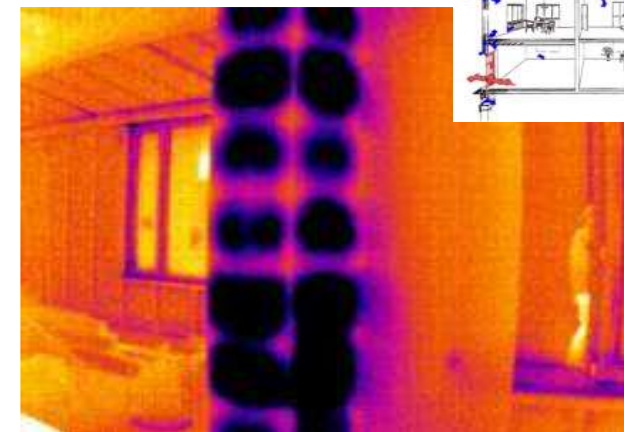
Příklad



Normální obrázek



Termogram



Termogram při vytvořeném podtlaku

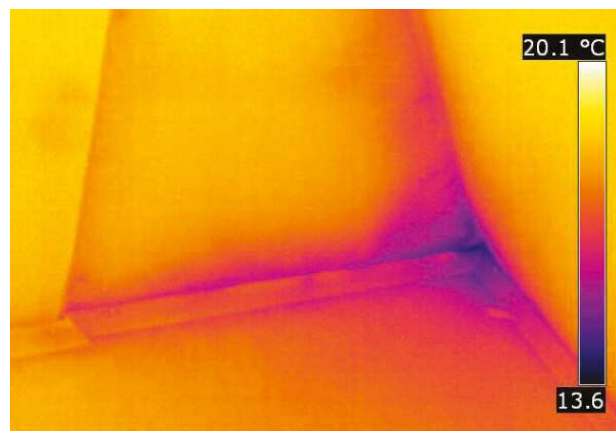


Pouze při diferenčním tlaku 50 Pa je zřejmé, že vzduch proudí skrz tento komín, který je vyroben z monolitických betonových tvárnic. Díky kombinaci BlowerDoor a termografie je snadno vidět, že tento komín by měl být omítnutý.

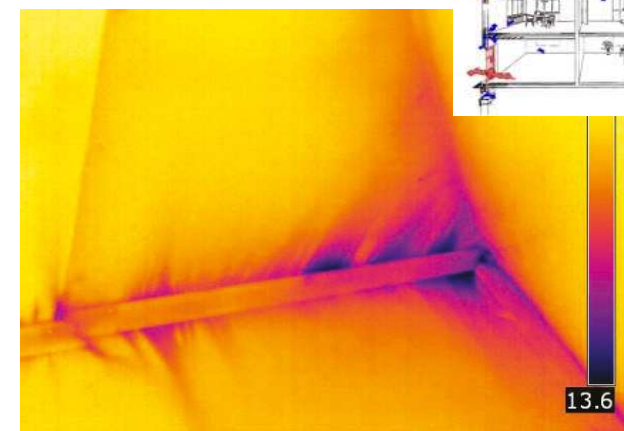
Termografie a diferenční tlak: Další příklad



Normální obrázek



Termogram

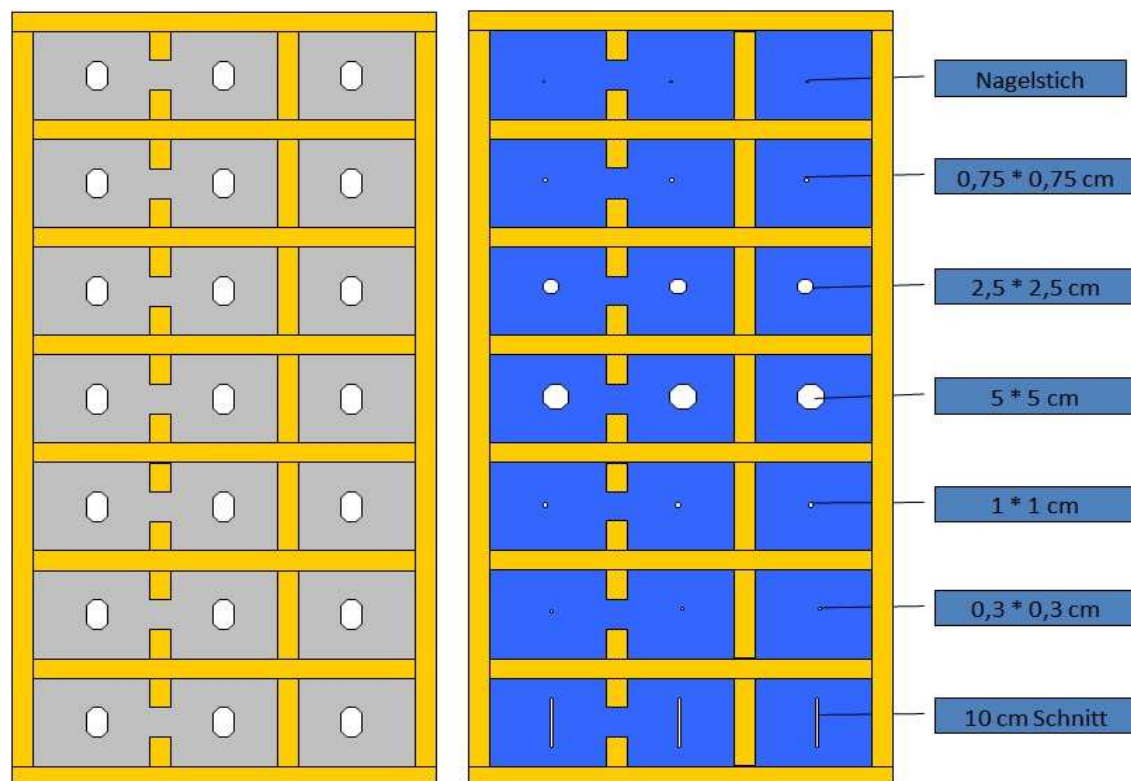


Termogram při vytvořeném podtlaku



V případě podtlaku je zde vidět typický obrázek vznikající prouděním vzduchu. Chladnější vzduch z vnějšku ochlazuje konstrukce poblíž netěsnosti a tak tuto netěsnost jasně zviditelňuje.

Termografie a BlowerDoor: Je toho ještě více – od nápadu k experimentu

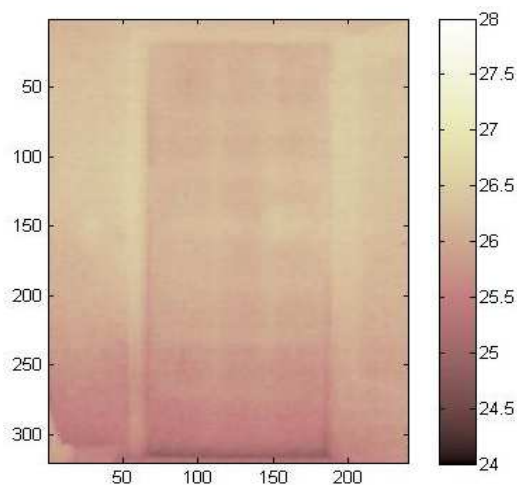


S podporou měřicího systému BlowerDoor můžete vytvářet lepší a smyslupnější termogramy obvodového pláště budov a provádět další analýzy. Z tohoto důvodu provedl Hermann Kaubitzsch ze společnosti BGK Infrarotservice GmbH následující experiment:

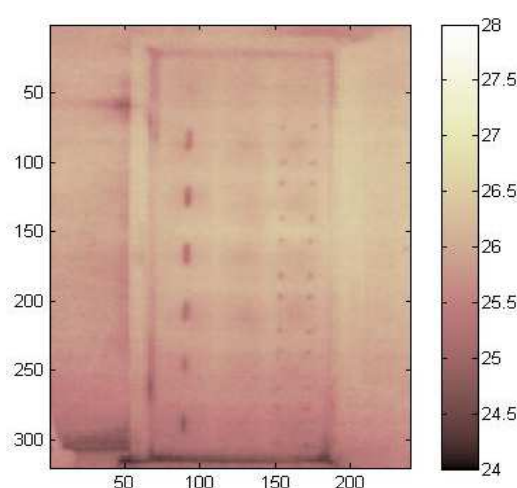
Simuloval širokou škálu tvarů a velikostí netěsností ve vzduchotěsné plachtě; od jednoduchého průniku nehtu až po 10 cm dlouhý řez.

Termografie a BlowerDoor: První výsledky experimentu

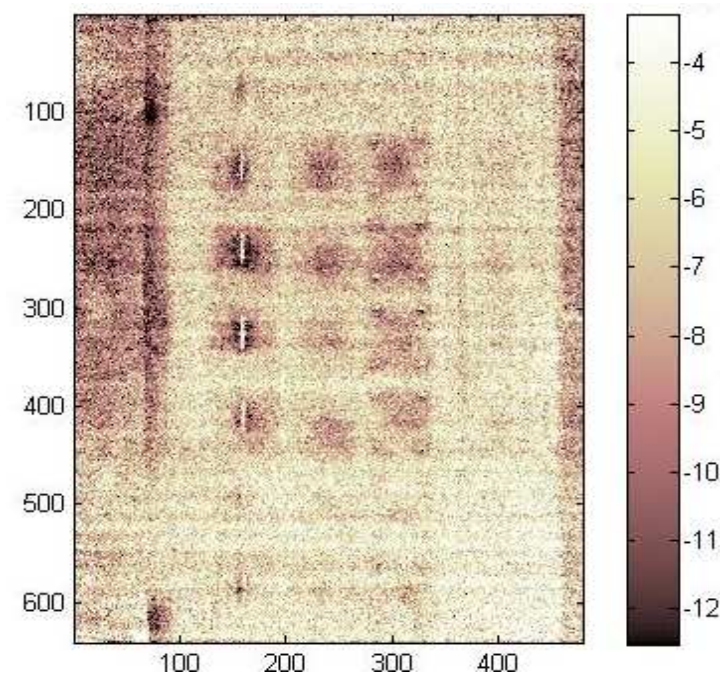
První termogram



Poslední termogram po vytvoření podtlaku



Sekvenční analýza

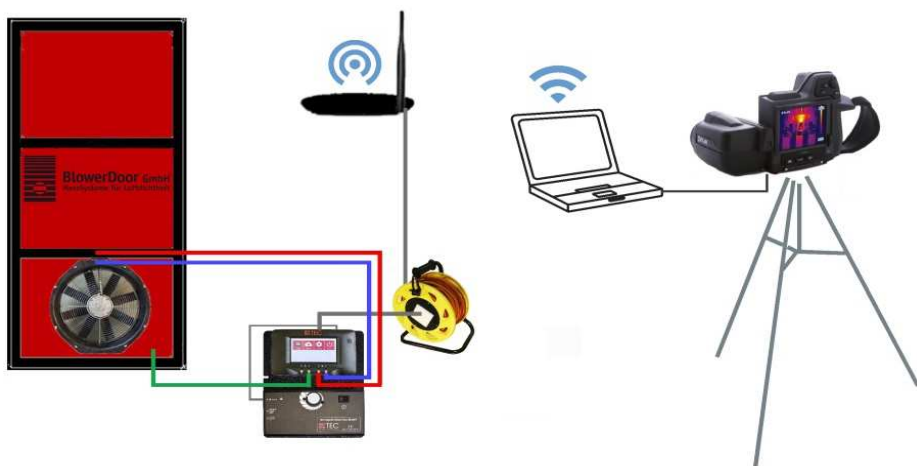


Na těchto obrázcích z prvního experimentu je velmi dobře vidět, že malé netěsnosti jsou viditelné pouze tehdy, když je vytvořen podtlak.

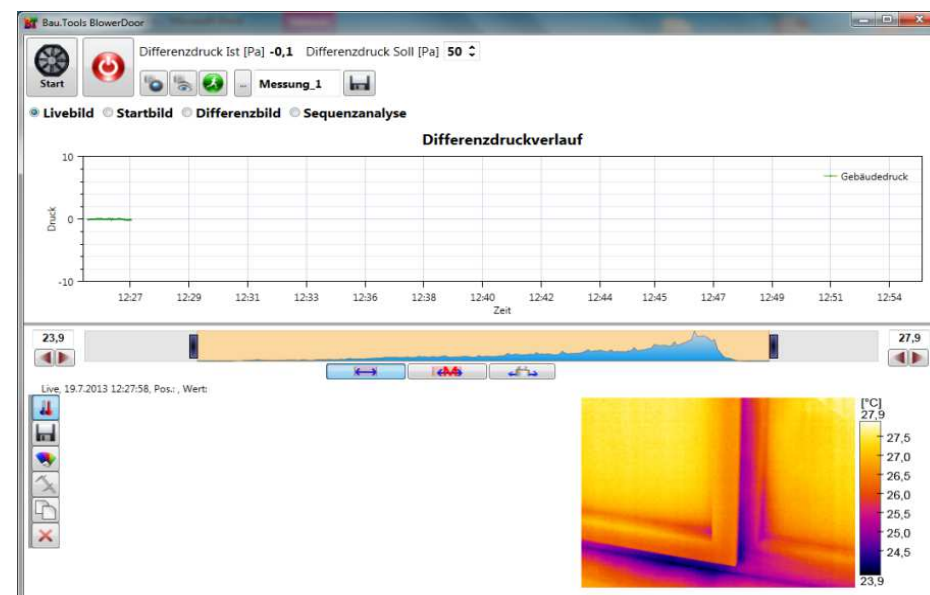
Pokud je však při vytvořeném podtlaku zaznamenáno několik termogramů za sebou, lze tuto sekvenci obrazu přesněji analyzovat. Zohledňují se pouze změny teploty způsobené prouděním vzduchu.

Termografie a BlowerDoor: Program Bau.Tools BlowerDoor

Poté následoval vývoj programu Bau.Tools BlowerDoor. Při interakci měřicího systému Minneapolis BlowerDoor a termografické kamery FLIR se při vytvořeném podtlaku zaznamená řada termogramů.

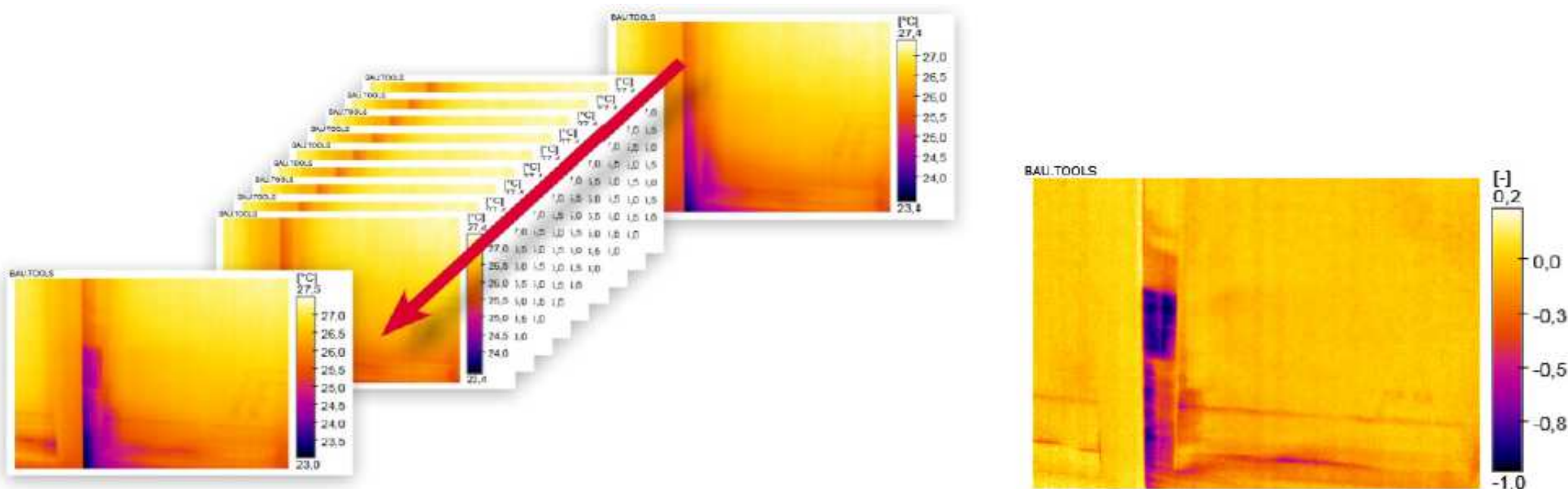


Měřicí systém BlowerDoor je připojen k počítači, který je zase připojen k vhodné termografické kameře FLIR na pevném stativu.



Program Bau.Tools BlowerDoor

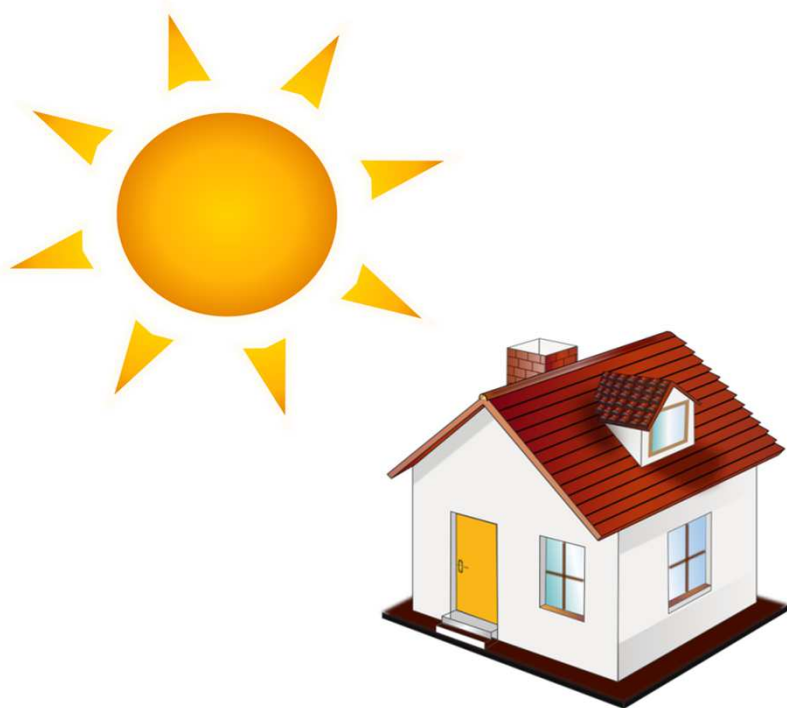
Funkce programu Bau.Tools BlowerDoor



Měřicím systémem BlowerDoor vytvoříme podtlak po dobu 30 až 90 sekund během kterých program Bau.Tools BlowerDoor zaznamená 15 až 30 jednotlivých termogramů. Tato sekvence obrázků je vyhodnocena programem. I nejmenší teplotní rozdíly 0,15 až 0,4 K lze vizualizovat pomocí sekvenční analýzy. Tuto metodu lze používat po celý rok, protože jsou vyžadovány jen velmi malé teplotní rozdíly.

Příklad čelního okna

Jako příklad pro použití programu Bau.Tools BlowerDoor bylo vybráno sluncem prosvícené čelní okno. Ve skutečnosti nelze termografickou kamerou očekávat uspokojivé výsledky, jak je vidět na tomto “normálním termogramu”.



Termogram sluncem prosvíceného čelního okna

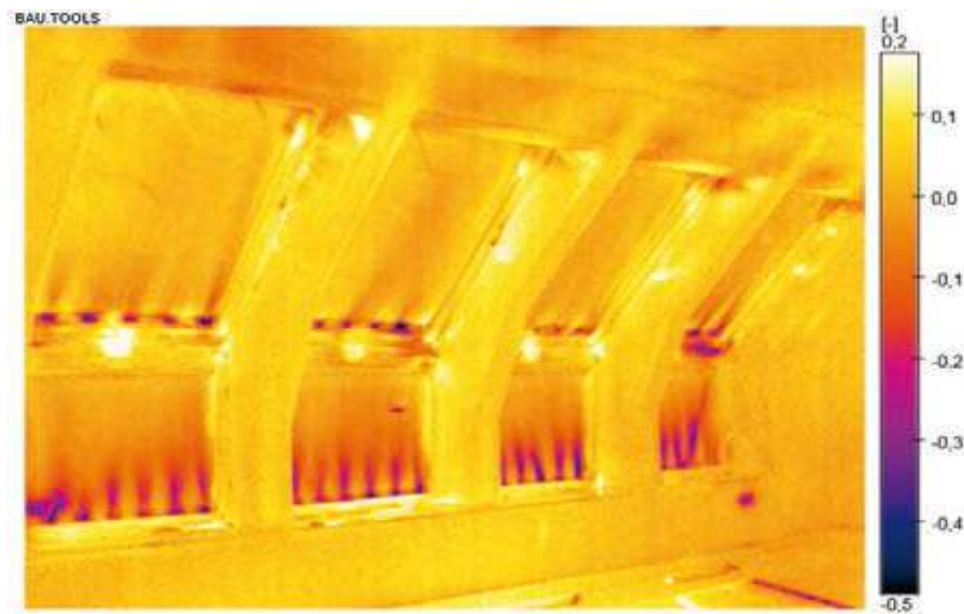
Příklad čelního okna

Po vytvořeném podtlaku pomocí měřicího systému BlowerDoor je také téměř nemožné detekovat změnu termogramu. Změny jsou viditelné pouze prostřednictvím sekvenční analýzy s programem Bau.Tools BlowerDoor. Netěsnosti jsou nyní jasně rozpoznatelné.

S programem Bau.Tools BlowerDoor jsou aplikační možnosti termografické kamery pro detekci netěsností enormně zvýšeny; kamera se stává téměř celoročním pomocníkem.



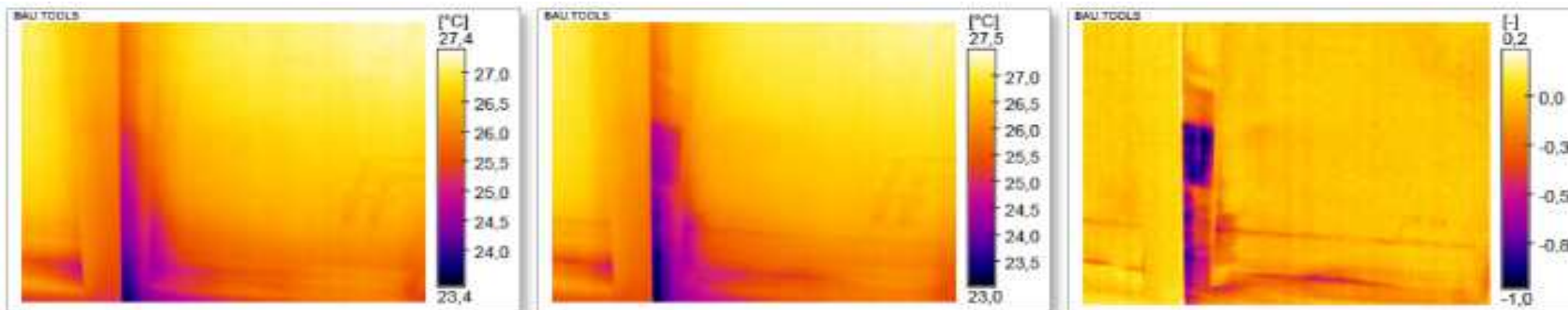
Termogram při vytvořeném podtlaku



Bau.Tools sekvenční analýza

Další příklady

Zde jsou další dva příklady Bau.Tools sekvenční analýzy:



Netěsnost funkční spáry balkónových dveří



Netěsnosti přes zapuštěné stropní bodovky (svítidla)

Literatura

- Bernhard, Frank (Hrsg.): Handbuch der Technischen Temperaturmessung, 2014
- Fouad, Nabil A.; Richter, Torsten.: Leitfaden Thermografie im Bauwesen – Theorie, Anwendungsgebiete, praktische Umsetzung, 2012
- Wagner, Herbert: Thermografie – Sicher einsetzen bei der Energieberatung, Bauüberwachung und Schadensanalyse, 2011
- Barreira, Eva; Almeida, Ricardo: Infrared Thermography for Building Moisture Inspection, 2019
- **Zdroje:**
- Hart, J. M.: Praktický průvodce infračervenou termografií
Zdroj: https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_6460.pdf (Anglicky)
- FLIR Media: Termografie pro stavební aplikace a obnovitelné energie
Zdroje: [Deutsch](#) / [English](#) / [Français](#) / [Italiano](#) / [Español](#)
- FLUKE: Termografické principy; Zdroj: [English](#)
- TESTO AG: Kapesní průvodce termografií; Zdroje: [Deutsch](#) / [English](#)

