

Kamery termowizyjne okiem praktyka

Od jednokomórkowca do prawie inteligentnej istoty

Drogę rozwoju konstrukcji kamer termograficznych, zwanych też termowizyjnymi, przeznaczonych do zastosowań cywilnych, można z przymrużeniem oka porównać do ewolucji organizmów żywych – od jednokomórkowca do prawie inteligentnej istoty. Zwłaszcza gdy jest to wszechstronny kombajn obserwacyjno-pomiarowy z lokalizatorem GPS.

Krótką historia FPA

Skąd się wzięła kamera termograficzna? Angielska nazwa „thermography camera”, czyli aparat do zdjęć termograficznych, przekształciła się w polską kamerę termograficzną. Wydaje się, że jest to polskie lingwistyczne przekłamanie w tłumaczeniu. Tę naszą bylejąkość w tłumaczeniu mogą jedynie wytłumaczyć dalekowzrocznością i wizjonerstwem polskich „słowo-twórców”. Bo przecież tworząc w latach 70. określenie „kamera termograficzna” raczej nie przewidywano powstania dzisiejszych konstrukcji, które są rzeczywiście bardziej „Video” niż „Camera”.

Pierwsze kamery termograficzne nie były nawet aparatami do zdjęć termalnych, a jedynie jednokomórkowymi skanerami. W epoce lat 70., a potem w stanie wojennym, nikt nie śnił o maszynkach – wielkości ówczesnego aparatu Zenith czy Practica – do robienia filmów w podczerwieni. W tamtych latach nie śniły się nam przenośne kamery telewizyjne czy aparaty telefonizacyjne, a co dopiero rejestracja cyfrowa i to jeszcze w podczerwieni.

Pierwsze konstrukcje kamer termograficznych to rozwojowe wersje pirometrów. Układ luster kierował z danego kąta bryłowego promieniowanie elektromagnetyczne na komórkę czującą w danym zakresie promieniowania podczerwonego. Następnie komputer rejestrował natężenie promieniowania i przypisywał odpowiednią temperaturę dla danego piksela. Po czym lustra kierowały się na następny kąt bryłowy i tak piksel po pikselu było rejestrowane pole temperaturowe, które docierało do układu optycznego kamery.

Ten układ optyczny i detektor musiały być schłodzone, by układ pomiarowy nie widział własnego promieniowania cieplnego. Bo przecież nie chodziło o rejestrację promieniowania cieplnego luster kierujących czy samego detektora. Schładzano więc całość do -196°C . Robiło się to przez zanurzenie w ciekłym azocie, który wlewno do obudowy detektora z termosu wielkości wiadra. Komputer był wielkości małego biurka i był zasilany akumulatorami z ciężarówki. Całość przypominała wielki oscyloskop podłączony do czajnika. Wersja nowoczesna takiego sprzętu z początku lat 90. wymagała obsługi przez 2-3 osoby. Pomiar, czyli jeden termogram, wymagał czasu rejestracji od kilkudziesięciu sekund do kilku minut.

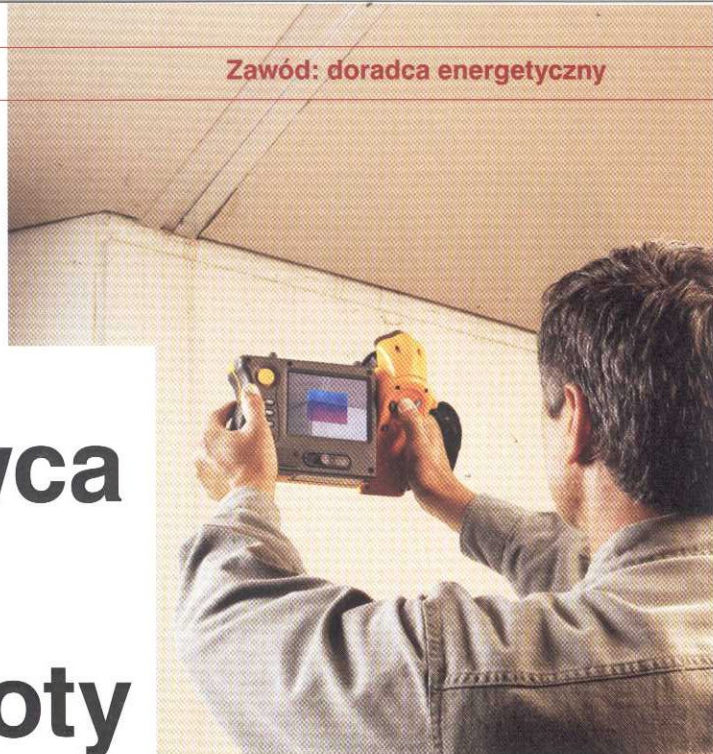
Aż się łezka w oku kręci. To były czasy!

Co oni mają teraz?

Na szczęście i w tej dziedzinie nie zawiódł postęp techniczny oraz niewidzialna ręka rynku. Dzięki miniaturyzacji, poprawie szybkości i dokładności pomiaru dostaliśmy tańszy produkt. Mała waga oszczędzająca kręgosłupy pomiarowców to też istotny bonus.

Liderem w rozwoju rynku kamer termograficznych byli i są Amerykanie, potem Japończycy, Niemcy, Brytyjczycy i Chińczycy. Generalnie każde państwo o własnej, zaawansowanej produkcji wojskowej może produkować (i często chce) sprzęt cywilny w tej dziedzinie.

W tym miejscu rodzi się konkluzja. Jeżeli to, co teraz możemy używać w „cywilu” było na wyposażeniu jakieś armii w latach 70., to aż strach pomyśleć, co „oni” mają teraz.



Fot. 1. Dokładność i klasa pomiarowa, rozdzielczość temperaturowa i kątowa, kąt widzenia, czas pracy akumulatorów, a wreszcie waga i wymiary zewnętrzne kamery termograficznej to podstawowe parametry istotne przy dokonywaniu jej zakupu, fot. Fluke



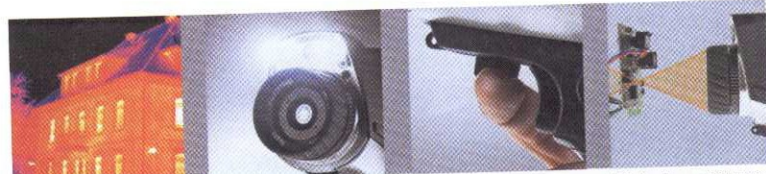
Fot. 2. Kompaktowa kamera z wbudowanymi reflektorami, fot. Flir

By sobie uświadomić, jaki czas upływa od powstania technologii wojskowych do momentu wypuszczenia ich na wolny rynek niech świadczy następujący fakt. Niemiecki czołg Panthera z 1944 r. był wyposażony w celownik noktowizyjny. Noktowizory pojawiły się w naszej świadomości „cywilnej” dopiero po 30 czy 40 latach.

Chłodzą, nie chłodzą...

Następca, a w zasadzie uzupełnieniem, skanerów 1-komórkowych stały się skanery liniowe, które nie zyskały wielkiej popularności, lecz zdecydowanie przyspieszyły proces miniaturyzacji i spadku cen tego sprzętu. W takim skanerze ramka z linią komórek detektorowych przesuwana była przed odpowiednim obiektywem i rejestrowała odpowiednie pole temperatury. Ta technologia pojawiła się w latach 90. i do tej pory jest stosowana do pewnych specyficznych zastosowań przemysłowych.

Pod koniec lat 90. pojawiły się kamery z detektorem w postaci matrycy zwanej FPA, a później UFPA. Jest to angielski skrót od Uncooled Focal Plane Array, co oznacza niechłodzoną matrycę w płaszczyźnie ogniskowej. W swej zasadzie działania matryce te są bardzo podobne do cyfrowych matryc fotograficznych. Jedynie to zawarte w nazwie „niechłodzenie” jest troszkę mylące, bowiem w istocie chłodzenie jednak jest. Warstwa czuła na dane promieniowanie cieplne jest schładzana wcześniej ogniwami Peltiera lub ogniwami Stirlinga. Są to konstrukcje modułowe i wystarczy dany



Doskonała jakość zdjęć zapewnia wiarygodne wyniki pomiarów nawet przy małych różnicach temperatur

Zintegrowany aparat cyfrowy z diodami LED, dla optymalnego oświetlenia zaciemnionych obszarów

Półautomatyczna regulacja ostrości – możliwość obsługi tylko jedną ręką

Minimalna ogniskowa wynosi zaledwie 10 cm dla zobrazowania niewielkich obiektów

Odświeżanie obrazu 33 Hz

Czułość termiczna <0,1°C

Duży wyświetlacz, 320x240 piks.



Fot. 3. Jak wybrać najlepszą kamerę? Przed wszystkim kierować się danymi, które pokazują, co potrafi dany sprzęt, a nie jak on to robi i z czego jest zbudowany, fot. Testo

moduł zasilić elektrycznie, by uzyskać pożądany efekt pomiarowy. Czyli jednak są niechłodzone.

Ogólnie stopień złożoności technicznej obecnych konstrukcji jest podobny do tych pierwszych modeli. Ciągłe kamera termograficzna musi rozpoznać promieniowanie wprowadzające błędy od tego, które powinna mierzyć. Ilość korekty, które sprzęt automatycznie wykonuje jest dość duża. Dobry sprzęt pomiarowy, by był dokładny, powinien dokonywać korekty ze względu na: temperaturę otoczenia kamery, temperaturę otoczenia mierzonej powierzchni, wilgotność powietrza w otoczeniu kamery, odległość od obiektu itp.

Na szczęście nawet w przypadku najpopularniejszego sprzętu brak tych danych lub ich nieprawidłowa wartość wprowadzona w trakcie pomiarów może zostać skorygowana w trakcie obróbki termogramów na komputerze typu PC. W końcu kamera termowizyjna z „górnej półki” to w dużej części komputer obsługujący skomplikowany system pomiarowy.

Jak rozpoznać najlepszą kamerę termograficzną?

Stopień rozwoju i komplikacji konstrukcji komercyjnych jest tak wysoki, że wybierając sprzęt do użytkowania i zakupu nie powinniśmy kierować się danymi mówiącymi o parametrach wewnętrznych urządzenia. Dość powiedzieć, że najbardziej reklamowany przez sprzedawców parametr, jakim jest rozdzielczość detektora nie przekłada się wprost na dokładność pomiarową i rozdzielczość temperatury kamery termograficznej. Dlatego w pierwszym rzędzie warto się kierować danymi, które pokazują, co potrafi dany sprzęt, a nie jak on to robi i z czego jest zbudowany. Jest to sprzęt pomiarowy do pomiaru temperatury i można go traktować do pewnego stopnia jako czarną skrzynkę, nie wnikając, co ma w środku.

W przypadku wyszukiwania wad ścian i dachów budynków prace pomiarowe są wykonywane w czasie okresu grzewczego, gdy temperatura powietrza zewnętrznego powinna być niższa niż +5°C. Wykonując te pomiary nie powinniśmy być zbyt wybredni, co do warunków atmosferycznych, jakie panują danego dnia, a w zasadzie nocy, bowiem zmienność warunków pogodowych jest w Polsce dość znaczna. Zaniechanie pomiarów w nocy, przy temperaturze -30°C, może spowodować odłożeniem tych pomiarów na długie tygodnie. Po silnych mrozach przyjdą opady śniegu, a potem deszczu, po czym zrobi się +10°C. A my i inwestor czekamy na wyniki pomiarów, których wciąż nie zrobiliśmy. To też w sposób istotny wpłynęło na wybór najważniejszych cech sprzętu termograficznego.

Cechy i parametry użytkowe

Poniżej pokazane są najważniejsze parametry, jakimi powinny się charakteryzować kamery termograficzne. Wybrałem je kierując się ich ważnością i użytecznością w trakcie pomiarów oraz wpływem na obróbkę danych pod kątem pomiarów przegród obiektów budowlanych:

■ Dokładność i klasa pomiarowa urządzenia – im mniejsza wartość liczbową, tym kamera lepsza.

Producenci podają klasę pomiarową 5,2 i 1 oraz wartość maksymalnego bezwzględnego błędu pomiarowego 5K, 2K, 1K. Oznacza to, że przy danym zakresie pomiarowym dla klasy pomiarowej np. 5% lub +/-5 K [Kelwin] błąd pomiaru odniesiony do zakresu pomiarowego jest mniejszy niż 5%, ale jego wartość bezwzględna nie jest większa niż 5 K.

■ Rozdzielczość temperaturowa – im mniejsza wartość liczbową, tym lepiej.

Rozdzielczość temperaturowa jest parametrem określającym zdolność do wizualizacji i pomiaru najmniejszej różnicy temperatur. Jest ona przez praktyków często określana jako poziom zaszumienia detektora. Przy małych zakresach temperatur ustawionych w trakcie pomiaru lub obróbki termogramu na komputerze, uwidaczniają się zmieniające się w czasie smugi i plamy oraz zamazują się granice obszarów o wyraźnie różnych temperaturach. W fotografii jest podobne zjawisko, zwane zdolnością do rysowania konturów i odwzorowania kolorów.

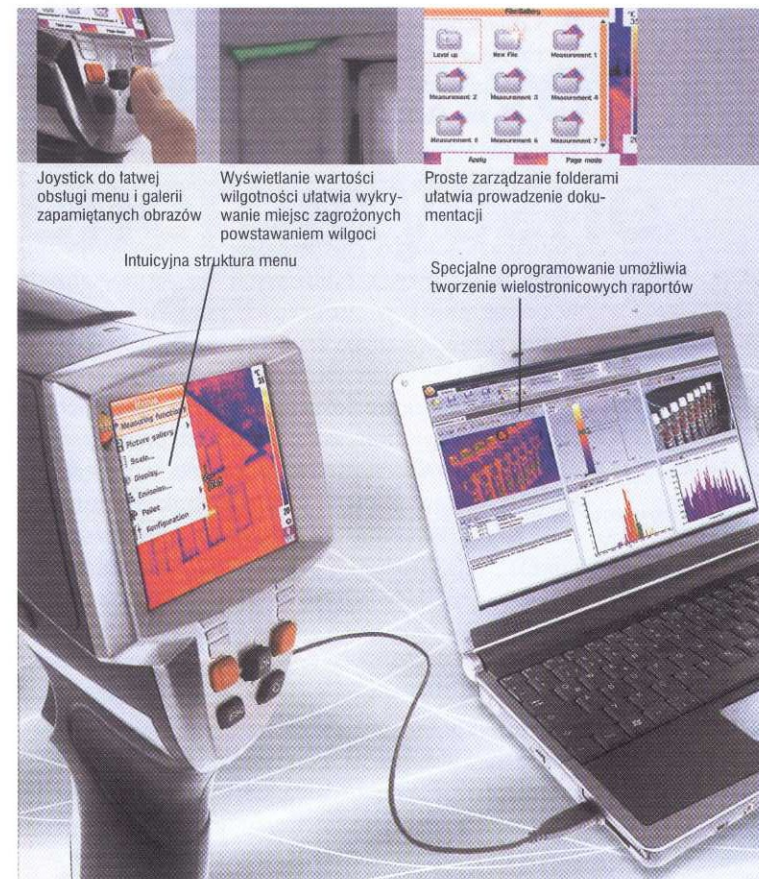
■ Rozdzielczość kątowna – im mniejsza wartość liczbową, tym lepsza.

Jest ona wyrażona w miliradianach i opisuje kąt, jaki „obserwuje” pojedynczy piksel lub minimalna grupa pikseli. Jeżeli będziemy zbyt oddaleni od obiektu, którego rozmiar będzie widziany jako mniejszy niż kont rozdzielczości kątownej, to kamera może tego obiektu nie zauważyć. By ten parametr sprawdzić w praktyce, można wykorzystać celownik kamery. Producenci umieszczają na ekranie kamery jeden lub więcej celowników do pomiaru cyfrowego (krzyżyk z kółkiem w środku). Kółeczko tego celownika jest często takim minimalnym kątem rozdzielczości. Jeżeli namierzmy mały obiekt (np. żarówkę) i będzie on widziany w kamerze, a jednocześnie będzie w całości pokrywał to kółeczko, to ewentualne zbliżenie się do obiektu i powiększenie jego obrazu w kamerze nie powinno skutkować znacznymi zmianami zmierzzonej cyfrowo temperatury tej żarówki. Oznacza to również, że jeżeli wykonujemy rejestrację i pomiar jakiegoś mostka termicznego, to powinien być on widziany w kamerze jako wyraźnie większy niż to kółko celownika.

■ Kąt widzenia kamery – im większy tym lepiej.

Jeżeli chcemy udokumentować termograficznie wszystkie dostępne fragmenty budynku, to kąt widzenia kamery termograficznej determinuje ilość wykonanych termogramów. Im większa ilość termogramów, to tym samym dłuższy czas pracy w dość niedogodnych warunkach pogodowych oraz dłuższy czas wykonania raportu.

W tym miejscu warto wspomnieć o dodatkowych obiektywach do kamer. Wiele kamer może współpracować z obiektywami szerokokątnymi i teleobiektywami, co oczywiście w wybranych przypadkach daje im przewagę nad innymi.



■ Czas pracy akumulatorów – im dłuższy tym lepsza kamera.

Producenci podają czas pracy sprzętu dla tzw. normalnych warunków użytkowania, czyli temperatury powietrza otoczenia +20°C. W warunkach temperatur ujemnych ten czas pracy skraca się czasem nawet o połowę lub więcej.

■ Masa (waga) i wymiary zewnętrzne kamery termograficznej – im mniejsze tym lepiej.

W trakcie pomiarów kamerę trzymamy w ręku lub wisi ona na naszej szyi. Jej waga będzie odczuwalna już po ok. godzinie pomiarów. Monitorując dachy często trzeba się wspinać po drabinkach lub stromych schodach. W trakcie takiej „wspinaczki” ważne jest, jak będziemy mogli zabezpieczyć sprzęt warty grube tysiące euro. Prawie na pewno nie będzie to waliza transportowa.

■ Wbudowany aparat fotograficzny i jego zdolność do wykonania czytelnych zdjęć w trudnych warunkach oświetleniowych – oczywiście im lepszy aparat, tym lepsza i kamera termograficzna.

Przy wyborze kamery termograficznej z zabudowanym aparatem fotograficznym można się kierować określoną w pikselach rozdzielczością detektora fotoaparatu. Bowiem trudno sprawdzić w warunkach pokojowych jego skuteczność. Ważne są też diody doświetlające aparat fotograficzny, lecz ich zasięg jest ograniczony do kilku metrów i znacznie przyspieszają zużycie energii akumulatora kamery.



Fot. 5. Ultralekka kamera termowizyjna, fot. Flir

■ Oprogramowanie do analizy wykonanych termogramów.

Podstawową właściwością takiego oprogramowania powinna być przyjazność interfejsu użytkownika. Przekłada się to na szybkość ładowania termogramów i zdjęć na poszczególne strony opracowania oraz na szybkość wykonania analiz, jakie należy wykonać po pomiarach. Chodzi głównie o łatwość wykonywania analiz obszarowych i liniowych na termogramach. W ocenie mostków termicznych przydatną jest możliwość automatycznego szukania maksymalnych, minimalnych i średnich temperatur na badanej przegrodzie. Analizy liniowe pokazują zaś wykresy temperatur wzdłuż zadanej linii, co pozwala na przyspieszenie oceny porównawczej danego mostka termicznego. Łatwość stosowania tych i innych funkcji rzutuje na czas, jaki poświęcamy na wykonanie sprawozdania z pomiarów. Jak ważne – i przeliczalne na pieniądze – są to sprawy, niech świadczy o tym następujące wyliczenie. Badanie wszystkich przegród budynku jednorodzinne wymaga wykonania czasem nawet 100 termogramów. Wykonanie tych 100 termogramów przez sprawnego pomiarowca wymaga ok. 2-3 godzin. Dużo dłużej trwa obróbka tych pomiarów na PC-ie. Jeżeli w trakcie pisania sprawozdania każdemu termogramowi poświęcimy 10 minut, to uzyskamy czas pracy przed ekranem komputera równy 1000 minut, czyli prawie 17 godzin. Skrócenie czasu obróbki każdego termogramu do 5 minut, da wynik bliski 8 godzinom, co oznacza oszczędność jednego dnia pracy.

Tendencje rozwojowe sprzętu i oprogramowania

Nowe modele kamer termograficznych, jakie pojawiły się w 2008 r. wskazują na dwie podstawowe tendencje rozwojowe:

- nieustanną pogoń za zmniejszeniem rozmiarów, wagi i ceny kamer przy jednoczesnym utrzymywaniu i poprawie jakości samych pomiarów termograficznych. Na rynku są już dostępne kamery

termograficzne o dokładności pomiarowej 1% lub 1°C, ale są też modele w cenie 2500 EUR.

- dodawanie pewnych funkcji, które okazują się bardziej lub mniej przydatne w praktyce. Chodzi tu np. o funkcję obraz w obrazie, który w mojej opinii jest przydatny dla początkujących „termowizjonerów”. Praktyk zawsze będzie potrzebował najdokładniejszego termogramu w możliwie najszerszym ujęciu kadru bez udziwnień.

Funkcją, która wydaje się przydatna jest możliwość łatwego tworzenia panoram z kilku termogramów wykonanych z tego samego miejsca, a pokazujących inny fragment obiektu. Jest ona dostępna w niektórych typach oprogramowania na PC i czasem jest przydatna do termograficznej wizualizacji całego budynku o dużych rozmiarach. Jednocześnie pojawiły się kamery zaopatrzone w lokalizator GPS, który w sposób trwały przypisuje wykonanemu termogramowi lokalizację, a oprogramowanie PC-a wizualizuje położenie termogramu na mapie lub na zdjęciu satelitarnym podobnie jak w „Google maps”.

Obecna oferta kamer termograficznych pod względem cenowym i technicznym jest dość szeroka i każdy zainteresowany znajdzie taką kamerę, jakiej potrzebuje.

A więc do dzieła! Róbcie Czytelnicy termogramy, kiedy tylko się da i jak najróżniejszych obiektów, by zdobyć jak największe doświadczenie.

*tekst Gabriel Miczka
wybór i opis zdjęć – redakcja DE*

i

AUTOR

Gabriel Miczka – inżynier elektryk o specjalności elektroenergetyka. Audytor energetyczny budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Członek Zrzeszenia Audytorów Energetycznych. Termografią zajmuje się od 1997 r.

