

dr hab. inż. Henryk MADURA, prof. WAT  
ppłk dr inż. Tomasz SOSNOWSKI  
mgr inż. Grzegorz BIESZCZAD  
dr inż. Tadeusz PIĄTKOWSKI  
ppłk dr inż. Tomasz ORŻANOWSKI  
ppłk dr inż. Krzysztof FIRMANTY  
Wojskowa Akademia Techniczna  
Instytut Optoelektroniki

## **TERMOWIZYJNY CELOWNIK DO BRONI STRZELECKIEJ BUDOWA, PARAMETRY I WYNIKI BADAŃ**

**Streszczenie:** W artykule został przedstawiony celownik termowizyjny do broni strzeleckiej klasyfikowany, jako kamera III generacji. Celownik pracuje w zakresie dalekiej podczerwieni (LWIR) i zbudowany jest na bazie matrycowego mikrobolometrycznego detektora podczerwieni ze stabilizacją temperatury w układzie Peltiera. Celownik termowizyjny został zbadany laboratoryjnie (w tym badania klimatyczne i wibracyjne) i wyniki badań potwierdziły zakładane parametry taktyczno-techniczne. Celownik poddano także specjalistycznym badaniom poligonowym w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia, gdzie prowadzono badania strzelaniem na siedmiu typach broni od kalibru 5,56 mm do 12,7 mm.

## **THERMAL WEAPON SIGHT – CONSTRUCTION, PARAMETERS AND TEST RESULTS**

**Abstract:** The paper presents the thermal weapon sight, which can be classified as 3-rd generation camera. The sight operates in the LWIR range and uses microbolometer focal plane array with thermoelectric temperature stabilizer. The sight has been thoroughly tested (including environmental and vibration tests) and the result confirmed its assumed technical and tactical characteristics. The sight was also tested at Military Institute of Armament Technology, where the shooting test were performed with different weapons of calibers ranging from 5.56 mm to 12.7 mm.

### **1. Wstęp**

Kamery termowizyjne III generacji o średniej rozdzielczości (np. 320x240 pikseli) zbudowane na bazie matryc detektorów bolometrycznych są stosowane powszechnie przez nowoczesne armie, jako podstawowy moduł wojskowych przyrządów obserwacyjnych. Zakres zastosowania kamer termowizyjnych obejmuje takie zagadnienia jak wykrywanie i rozpoznanie pola walki (np. w głowicach bezpilotowych samolotów rozpoznawczych), detekcja obiektów trudnowykrywalnych we wszystkich warunkach pogodowych, w dzień i w nocy, systemy broni inteligentnej (np. rakiety samonaprowadzające, roboty pola walki), systemy ochrony obiektów, pojazdów i stanowisk dowodzenia, systemy kierowania ogniem i celowniki broni strzeleckiej. Należy zaznaczyć, że zakres zastosowań militarnych i specjalnych ciągle ulega poszerzeniu o nowe zastosowania. W artykule został przedstawiony opracowany (w IOE WAT i PCO S.A.) i wdrożony do produkcji celownik termowizyjny do broni strzeleckiej typu CTS-1, przeznaczony jako wyposażenie indywidualne żołnierza do

prowadzenia obserwacji terenu w warunkach dziennych i nocnych bez dodatkowego korzystania z jakichkolwiek źródeł sztucznego oświetlenia. W celowniku zastosowano matrycowy detektor mikrobolometryczny pracujący w zakresie dalekiej podczerwieni.

## 2. Budowa celownika CTS-1

Celownik termowizyjny (rys. 1) jest przeznaczony do obserwacji oraz prowadzenia ognia z broni ręcznej i zespołowej o kalibrze do 12.7 mm włącznie, w dowolnej porze dnia i nocy, bez względu na warunki oświetlenia, a także przy niekorzystnych warunkach atmosferycznych (lekka mgła, zadymienie).



Rys. 1. Celownik termowizyjny do broni strzeleckiej CTS-1

W konstrukcji celownika można wyróżnić następujące zasadnicze zespoły: obiektyw (specjalny dla zakresu podczerwieni), matryca detektorów podczerwieni, elektroniczne układy odczytu i przetwarzania obrazu, układy sterowania i zasilania oraz monitor. Najważniejszym i najbardziej technologicznie zaawansowanym elementem celownika jest matryca detektorów mikrobolometrycznych. W celowniku zastosowano matrycę firmy ULIS (Francja) o wymiarach 384x288 detektorów, co w sumie daje 110592 detektory podczerwieni.

Na obrazie termicznym jest znak celowniczy, który może być precyzyjnie przesuwany w płaszczyźnie pionowej i poziomej, aby dostosować celownik do danego typu karabinka. W celowniku istnieje możliwość wprowadzenia oprogramowania dla kilkunastu rodzajów broni i amunicji. Zaletą tej funkcji jest to, że po wprowadzeniu odległości (ręcznie lub z dalmierza) znak celowniczy ustawi się automatycznie w odpowiedniej pozycji.

Celownik posiada również złącze wyprowadzające obraz termiczny do innego monitora. Dzięki dodatkowemu monitorowi (np. mały monitor mocowany na hełmie) strzelec będzie mógł prowadzić ogień zza ukrycia, przez okno, z okopu, zza rogu budynku nie wystawiając się na ostrzał.

Tabela 1. Podstawowe parametry celownika termowizyjnego do broni strzeleckiej CTS-1

Parametr	Wartość
Zasięg wykrycia człowieka	do 1300 m
Detektor mikrobolometryczny	384x288
Kąt pola widzenia	8° x 6°
Rozdzielczość termiczna	0.09°C
Czas gotowości do pracy	40 s
Ciężar z bateriami i uchwytem	1.4 kg
Zasilanie	6 szt. baterii (akumulatorów) typu AA
Moc pobierana z baterii	1.6 W
Czas pracy	16 godz.
Temperatura pracy	-35° ÷ +60 °C

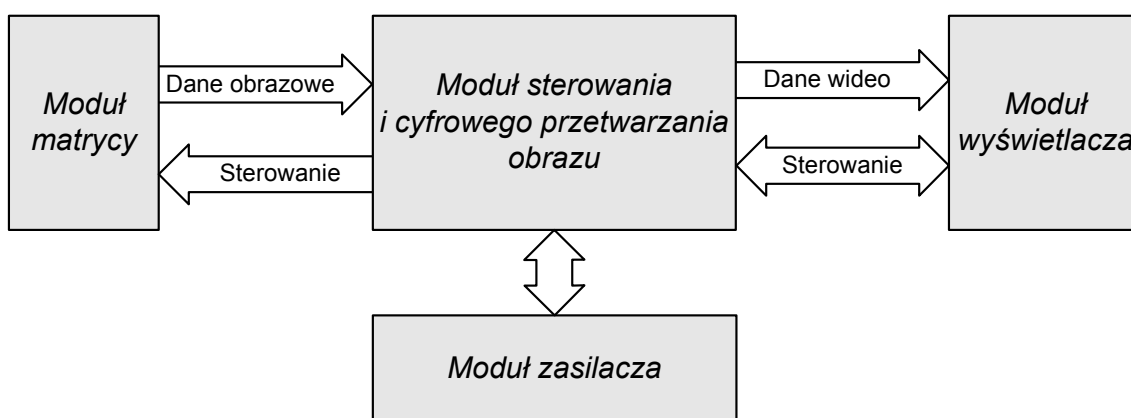
Istotną cechą celownika jest zasilanie z typowych baterii lub akumulatorów o wymiarach AA (standardowe „paluszki”), przy czym baterie umieszczone są w wymiennym pojemniku. Zastosowanie wymiennego pojemnika na baterie (akumulatorki) sprawia, że wymiana źródła zasilania zajmuje strzelcowi jedynie kilka sekund.

Celownik wyposażono w uchwyt do mocowania na tzw. szynie picatinny (MIL STD-1913). Uchwyt jest wymienny i można dostosować mocowanie celownika do dowolnej broni. Po zdjęciu z karabinka celownik może również służyć jako termowizyjne urządzenie obserwacyjne. Podstawowe parametry celownika termowizyjnego CTS-1 zostały przedstawione w tabeli 1. Na rys. 2 przedstawiono przykładowy obraz uzyskany z celownika termowizyjnego.



**Rys. 2. Obraz termowizyjny grupy ludzi i samochodów uzyskany za pomocą celownika do broni strzeleckiej CTS-1 (odległość do grupy ludzi 160 m, teren WAT)**

W ramach prac badawczo-wdrożeniowych opracowano i wykonano celownik termowizyjny z obiektywem 6x8 stopni, w którym zastosowano soczewki germanowe asferyczne. Pozwoliło to na zwiększenie transmisji obiektywu, wyeliminowanie jednej soczewki oraz na zmniejszenie masy obiektywu. Celownik został wyposażony w specjalnie zaprojektowany okular, w którym umieszczono czujnik dotykowy załączający wyświetlacz w momencie dotknięcia czujnika. Zapobiega to szkodliwemu oświetlaniu użytkownika przez wyświetlacz, co może prowadzić do wykrycia strzelca.

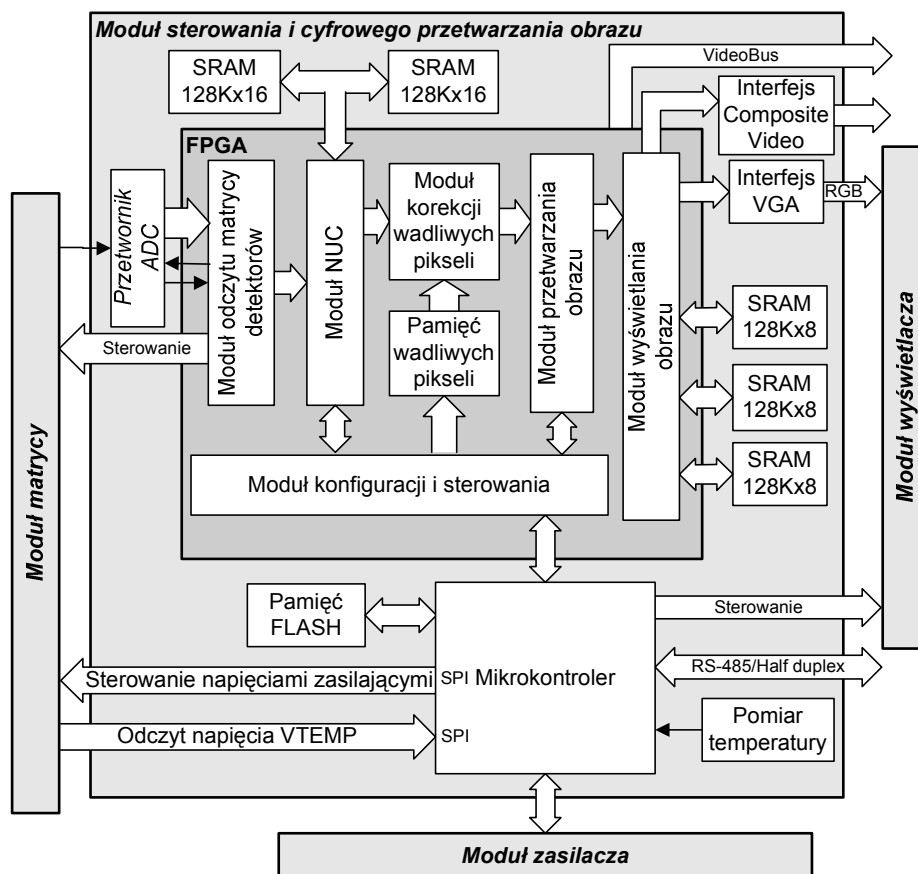


**Rys. 3. Schemat modułów zespołu elektronicznego celownika termowizyjnego**

Generalnie zespół elektroniczny celownika termowizyjnego składa się z trzech zasadniczych modułów: modułu matrycy detektorów, modułu sterowania i cyfrowego

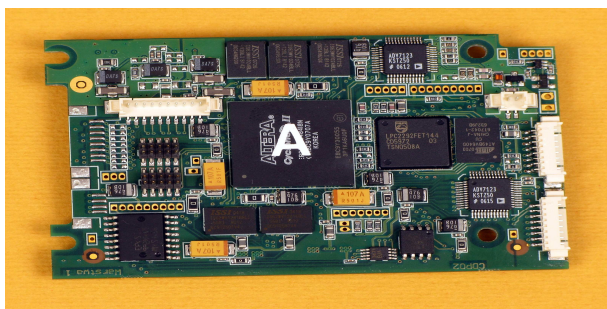
przetwarzania obrazu, modułu wyświetlacza. Ogólny uproszczony schemat zespołu elektronicznego celownika został przedstawiony na rys. 3.

Szczególnie zaawansowanym technologicznie blokiem celownika jest zespół elektronicznych układów przetwarzania, sterowania i analizy sygnałów [2, 5], którego zadaniem jest przetworzenie analogowych sygnałów z matrycy na postać cyfrową i ich zamiana na obraz termiczny. Wykonanie takiego zespołu wymaga zastosowania najnowszych generacji układów scalonych i wielowarstwowych płytek drukowanych, gdyż nowoczesne układy FPGA, mikroprocesory i pamięci są wykonywane głównie w specjalizowanych obudowach BGA. Uproszczony schemat funkcjonalny tego modułu przedstawiono na rys. 4, a na rys. 5 zdjęcie wykonanego zespołu.



**Rys. 4. Uproszczony schemat funkcjonalny zespołu odczytu i przetwarzania obrazu do modelu celownika termowizyjnego**

Dzięki zastosowaniu najnowszych układów scalonych w obudowach BGA (pamięci, mikroprocesor, układ programowalny) udało się znacznie zminiaturyzować moduł sterowania i cyfrowego przetwarzania obrazu. Jednak zastosowanie tych układów spowodowało, że płytka drukowana miała 12 warstw (rys. 5).

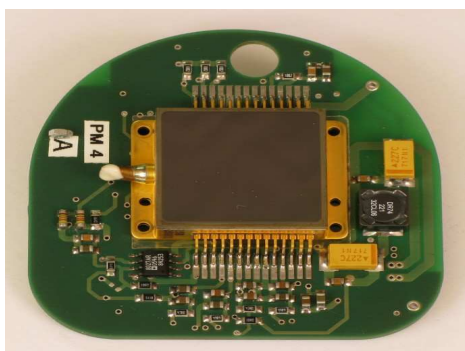


**Rys. 5. Zdjęcie wykonanego zespołu odczytu i przetwarzania obrazu do celownika termowizyjnego CTS-1 (widok płytki od strony elementów)**

Następnym technicznie zaawansowanym zespołem celownika termowizyjnego jest moduł wizualizacji zbudowany z wyświetlacza z OLED. Wyświetlacz OLED to matryca 852x600x3 świejących elementów organicznych (podobnych do diod luminescencyjnych). W układzie wyświetlacza znajdują się również wzmacniacze oraz układy zapewniające komunikację – interfejs współpracy z układami zewnętrznymi VESA lub SMPTE-170M. Sygnały wideo RED, BLUE, GREEN oraz impulsy synchronizacji linii (HS) i ramki (VS) są generowane przez moduł odczytu i cyfrowego przetwarzania obrazów.

Najważniejszym zadaniem układów elektronicznych bloku matrycy detektorów jest odczytanie sygnałów z poszczególnych detektorów matrycy, przy czym wartość wzmocnienia i wartość napięcia przesunięcia charakterystyki czułości (dla każdego detektora matrycy) musi być odpowiednio dobrana. Moduł detekcyjny zawiera matrycę mikrobolometryczną o rozmiarach 384x288 oraz odpowiednie analogowe układy zasilające wyposażone w układy filtrujące i przeciwzakłóceńowe dostarczające głównych napięć wymaganych do zasilania matrycy detektorów. Mikrobolometry w matrycy UL 03 08 1 firmy ULIS (Francja) wykonane są na bazie krzemu amorficznego domieszkowanego wodorem a-Si:H. Matryca mikrobolometryczna umieszczona jest w metalowej obudowie próżniowej z oknem germanowym stanowiącym filtr optyczny dla zakresu widmowego LWIR 8-14  $\mu\text{m}$ . Matryca posiada wewnętrzny układ odczytu ROIC (readout integrated circuit) wykonany w technologii CMOS. Zadaniem układu ROIC jest konwersja zmiany rezystancji mikrobolometrów wywołanej padającym promieniowaniem IR na użyteczny sygnał napięciowy i przesłanie tego sygnału na wyjście matrycy.

Zespół detekcyjny (rys. 6) do celownika termowizyjnego wykonano na 4-warstwowej płytce drukowanej, na której poprowadzono ścieżki drukowane w taki sposób, aby zminimalizować szумы napięć zasilających matrycę mikrobolometryczną.



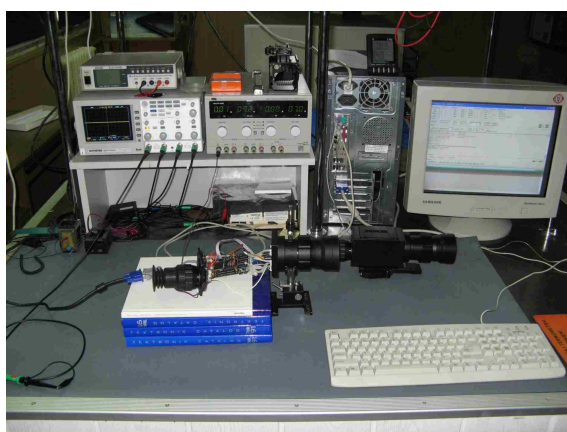
**Rys. 6. Zdjęcie zespołu detekcyjnego celownika termowizyjnego – widoczna matryca detektorów mikrobolometrycznych**

Generalnie celownik termowizyjny ze względu na wszystkie bloki funkcjonalne jest urządzeniem o znacznej złożoności. Przykładowo pozornie łatwy do rozwiązania zespół

zasilaczy musi sprostać bardzo wysokim wymaganiom (pod względem szumowym) stawianym przez producenta matrycy (np. wartość skuteczna szumu w paśmie 10 MHz musi być poniżej 100  $\mu\text{V}$ ).

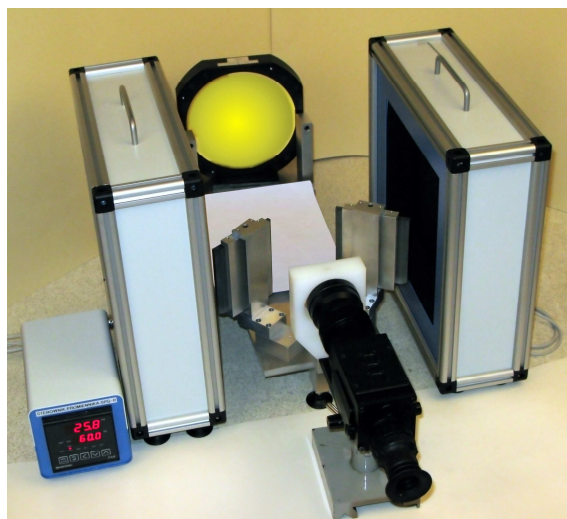
### 3. Badania laboratoryjne i poligonowe oraz kalibracja celownika

Celownik termowizyjny do broni strzeleckiej CTS-1 został zbadany laboratoryjnie. Oprócz badań klimatycznych i wibracyjnych przetestowano także szereg innych parametrów. Jednym z istotnych parametrów są szumy napięć zasilających, przebiegi sygnałów analogowych i cyfrowych oraz stabilność krótko i długoterminowa napięć zasilających. Pomiar tych parametrów jest niezbędny w celu oceny działania wszystkich układów elektronicznych. Stanowisko do pomiaru i oceny parametrów układów elektronicznych zostało przedstawione na rys. 7.



**Rys. 7. Laboratoryjne stanowisko pomiarowe do analizy poprawności działania układów elektronicznych celownika termowizyjnego**

W celowniku termowizyjnym układem detekcyjnym jest matryca detektorów stanowiąca zbiór wielu elementów aktywnych. Matryca detektorów charakteryzuje się pewną niejednorodnością odpowiedzi (response nonuniformity) poszczególnych detektorów (bolometrów) na takie samo wymuszenie (moc promieniowania padającego na detektor) [1, 3]. Efektem niejednorodności jest występowanie w sygnale generowanym przez matrycę tzw. stałego wzorca szumu FPN (Fixed Pattern Noise). Niejednorodność odpowiedzi matrycy jest powodowana rozrzutem technologicznym parametrów mikrobolometrów w matrycy. Generalnie, zintegrowany z matrycą układ odczytu nie realizuje funkcji korekcji niejednorodności NUC (Non-Uniformity Correction). W związku z tym należy wykonać korekcję niejednorodności układu matrycy za pomocą oddzielnego układu [4, 5] przy użyciu współczynników korekcyjnych. Współczynniki korekcyjne wyznacza się laboratoryjnie dla każdego egzemplarza matrycy. Na rys. 8 przedstawiono stanowisko laboratoryjne do wyznaczania współczynników korekcyjnych NUC dla celownika termowizyjnego.



**Rys. 8. Stanowisko laboratoryjne z dwoma ciałami czarnymi i układem kolimatora do dwupunktowej korekcji NUC celownika**

Celownik termowizyjny strzelecki poddano specjalistycznym badaniom poligonowym w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia, gdzie prowadzono badania strzelaniem na siedmiu typach broni od kalibru 5,56 mm do 12,7 mm. Sprawdzeniu na celność ognia poddano celowniki z następującą bronią: 5,56 mm karabinek M4, 5,56 mm karabin wz. 96 Beryl, 7,62 mm karabin wyborowy Sako TRG-22, 12,7 mm karabin wyborowy kbw Tor. Dodatkowo badaniom na wytrzymałość celowników podczas ognia seryjnego i ciągłego poddano celowniki z bronią: 7,62 mm karabin maszynowy UKM 2000, 12,7 mm karabin maszynowy Ucios. Na rys. 9 przedstawiono zdjęcie celownika zamontowanego na karabinku wz. 96 Beryl.



**Rys. 9 .Widok celownika termowizyjnego CTS-1 zamontowanego na 5,56 mm kbs wz. 96 Beryl**

Przykładowe wyniki uzyskane podczas strzelania z poszczególnych modeli broni z użyciem celownika termowizyjnego CTS-1 dla odległości 100 m i 300 m przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Wyniki badań celownika termowizyjnego ze strzelaniem z różnych modeli broni**

Rodzaj broni	Odległość strzelania [m]	Skupienie pocisków [cm]
5,56 mm kbk M4	100	5,7
5,56 mm kbs wz. 96	100	7,8
7,62 mm kw Sako TRG22	100	4,4
12,7 mm wkw Tor	100	6,9
7,62 mm kw Sako TRG22	300	10,9
12,7 mm wkw Tor	300	26,6

#### 4. Wnioski

W ramach projektu celowego nr 296/BO/A dofinansowanego przez MNiSW opracowano i wdrożono do produkcji celownik termowizyjny do broni strzeleckiej zawierający kamerę termowizyjną III generacji o dużej rozdzielczości przestrzennej z matrycowym detektorem bolometrycznym o wymiarach 384x288 detektorów podczerwieni oraz widmowym zakresie pracy w przedziale 8÷12  $\mu\text{m}$ .

Celownik termowizyjny do broni strzeleckiej został zbadany laboratoryjnie (w tym badania klimatyczne i wibracyjne) oraz zostały przeprowadzone badania poligonowe. W wyniku badań stwierdzono, że rozdzielczość termiczna celownika wynosi 0,09 stopnia Celsjusza, a rozdzielczość geometryczna 0,35 mrad. Dzięki tak niewielkiej rozdzielczości geometrycznej uzyskuje się możliwość wykrycia człowieka znajdującego się w odległości ponad 1300 m. Użycie najnowszych mikroprocesorów, pamięci i układów programowalnych spowodowało miniaturyzację celownika oraz ograniczenie poboru mocy ze źródła zasilania.

Zastosowanie celownika termowizyjnego umożliwia obserwację, wykrywanie i rozpoznanie celów w trudnych warunkach pogodowych, przy ograniczeniu widoczności spowodowanej pyłem, kurzem, dymem, mgłą - zapewniając tym samym zdolność obserwacji oraz ciągłość informacji o sytuacji na polu walki przez całą dobę.

Prace projektowe i badania celownika termowizyjnego były prowadzone zgodnie z obowiązującymi Polskimi Normami: Normy Obronne NO-06-A101÷NO-06-A108 („Uzbrojenie i sprzęt wojskowy. Ogólne wymagania techniczne, metody kontroli i badań”), Norma Obronna NO-06-A200 („Kompatybilność elektromagnetyczna. Dopuszczalne poziomy emisji ubocznych i odporność na narażenia elektromagnetyczne”), co gwarantuje poprawność opracowania nowego typu uzbrojenia i daje możliwość zabezpieczenia potrzeb rynku wewnętrznego.

Opracowany celownik (i jego kilka prototypów) był demonstrowany przedstawicielom MON i MSWiA oraz prezentowany na wystawach (dwukrotnie na MSPO w Kielcach) a wybrane rozwiązania były publikowane w czasopiśmie i materiałach konferencyjnych.

Z punktu widzenia osiągnięć naukowych i poznawczych nie bez znaczenia jest fakt poszerzenia wiedzy z zakresu technologii termowizyjnej zarówno przez zespoły z Instytutu Optoelektroniki WAT jak i zespoły konstruktorów z PCO S.A. Należy stwierdzić, iż aktualnie w Polsce opanowane są podstawowe technologie pozwalające na podjęcie prac w zakresie produkcji kamer termowizyjnych przez polski przemysł obronny. Ponadto wprowadzenie nowych technologii z zakresu termowizji umożliwi w dalszej perspektywie produkcję kamer termowizyjnych do zastosowań paramilitarnych (policja, służby graniczne, służby celne, straż, służby ratownicze) oraz cywilnych (nauka, energetyka, budownictwo, medycyna, ekologia itp.).



## Literatura

- [1] Tissot J.L.: Uncooled Infrared Detectors: State of the Art., VI Krajowa Konferencja Termografia i Termometria w Podczerwieni TTP2004, 4 6.11.2004 Ustroń-Jaszowiec, 9-23
- [2] Sosnowski T., Orzanowski T., Kastek M.: System cyfrowego sterowania i przetwarzania obrazu z mikrobolometrycznej matrycy detektorów podczerwieni, Prace Instytutu Elektrotechniki 2008, z. 234'08, s. 119-134
- [3] Orzanowski T., Sosnowski T., Madura H., Bieszczad G.: Badania niejednorodności detektorów mikrobolometrycznych w kamerach termowizyjnych, PAKwGOŚ 2/2008, (7-10)
- [4] Orzanowski T., Madura H., Powiada E., Pasierbiński J., Analiza układu odczytu do matrycy detektorów mikrobolometrycznych, Pomiary Automatyka Kontrola, Nr 9, 2006, 16-20
- [5] Orzanowski T., Sosnowski T., Kastek M.: Implementacja algorytmu korekcji niejednorodności odpowiedzi matrycy mikrobolometrycznej w układzie programowalnym, Pomiary Automatyka Kontrola PAK Vol. 54, nr 8/2008, (526 528)