

**Tadeusz PIĄTKOWSKI, Krzysztof CHMIELEWSKI,  
Krzysztof FIRMANTY, Mirosław MORAWSKI**  
WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI,  
ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

## Miniaturowy wyświetlacz obrazu termowizyjnego

**Dr inż. Tadeusz PIĄTKOWSKI**

Ukończył studia na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej i Wydziale Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1985). Od 1995 roku pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 2003 roku. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta. Zajmuje się zdanymi pomiarami temperatury, projektowaniem układów optycznych i elektronicznych oraz systemów mikroprocesorowych. Jest autorem i współautorem ponad 30 publikacji.

e-mail: [tpiatkowski@wat.edu.pl](mailto:tpiatkowski@wat.edu.pl)



**Dr inż. Krzysztof FIRMANTY**

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2003 w zakresie elektroniki - specjalność optoelektronika. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na metrologii urządzeń podczerwieni. Adiunkt w Zakładzie Techniki Podczerwieni i Termowizji Instytutu Optoelektroniki WAT. W swoim dorobku naukowym posiada ponad 30 publikacji, w tym artykuły, referaty, patenty i wdrożenia.

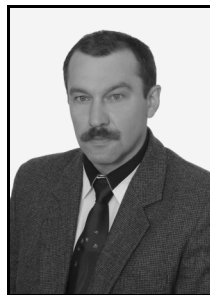
e-mail: [kfirmanty@wat.edu.pl](mailto:kfirmanty@wat.edu.pl)



**Dr inż. Krzysztof CHMIELEWSKI**

Absolwent Wydziału Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej. W 1991r. podjął pracę w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, a od 1992r. pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 2001r. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta. Zajmuje się głównie projektowaniem układów optoelektronicznych i systemów mikroprocesorowych do urządzeń termowizyjnych. Autor i współautor 25 publikacji naukowych.

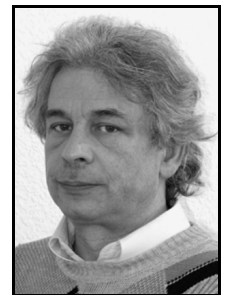
e-mail: [kchmielewski@wat.edu.pl](mailto:kchmielewski@wat.edu.pl)



**Dr inż. Mirosław MORAWSKI**

Absolwent Wydziału Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Warszawskiej (1982). Od 1996 roku pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT na stanowisku specjalisty. Zajmuje się projektowaniem układów optycznych, mechanicznych i urządzeń podczerwieni. Jako autor i współautor opublikował ponad 20 prac, w tym artykuły, patenty, wzory użytkowe i wdrożenia.

e-mail: [mmorawski@wat.edu.pl](mailto:mmorawski@wat.edu.pl)



### Streszczenie

W artykule przedstawiono miniaturowy wyświetlacz o rozdzielczości 852x600 przeznaczony do kamer termowizyjnych. Układ optyczny składa się z trzech soczewek. Wykonano obliczenia aberracyjne. Aberracje typowe dla układów obserwacyjnych czyli krzywizna pola (<1mm) i dystorsja (<2%) są akceptowalne. Możliwa jest zmiana parametrów wyświetlania kontrastu i nasycenia. Wykonano dwie wersje przyrządu. Pierwsza dedykowana do celownika *CTS-1*, zasilana z celownika. Druga z własnym zasilaniem – autonomiczna.

**Słowa kluczowe:** wizjery nagłowne, wyświetlacze OLED, projektowanie układów optycznych.

### Miniature thermo image display

#### Abstract

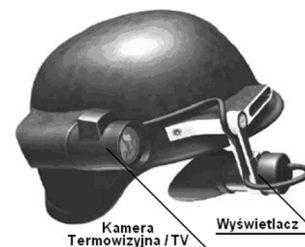
The paper presents a miniature, external display device for thermal cameras. It is built on an OLED panel of 852x600 pixels. The optical system consists of three lenses (Fig.3). The unwanted effect of user's face illumination was investigated. The results of calculations of aberrations carried out with the ZEMAX software are included. The typical aberrations as well as the field curvature and distortions achieved an acceptable level (Fig. 4). The sufficient resolution was obtained for intended applications of the presented device (Fig. 5). The  $\pm 2$  D diopter adjustment is provided. The display is controlled by a microprocessor circuit which also controls the simple user and serial communication interface. The durable casing was designed to provide adequate protection against electromagnetic interference. There are two versions of microdisplay. One, intended to enhance the capabilities of *CTS-1* thermal weapon sight, drives the power from it. The second, a standalone device can display video signals from various thermal cameras and has its own Li-Ion battery. The operating temperature range is from -20°C to +60°C. The basic technical specifications are presented in Table 1.

**Keywords:** HMD, OLED displays, optical design.

### 1. Wstęp

Od kilku lat obserwuje się dynamiczny rozwój systemów termowizyjnych. Rozwój ten jest wynikiem postępu dokonanego w technologiach wykonania detektorów termicznych. Jednocześnie

masowa produkcja matryc takich detektorów pozwoliła znacząco obniżyć ich ceny. W efekcie urządzenia termowizyjne są powszechnie używane. Dalszy rozwój systemów termowizyjnych związany będzie ze wzrostem funkcjonalności. Elementem zwiększającym funkcjonalność jest nagłowny, miniaturowy wyświetlacz obrazu termowizyjnego. Wyposażenie kamery termowizyjnej w taki wyświetlacz pozwala na obserwację bez angażowania rąk (zastosowania militarne, specjalne cywilne), obserwację z urządzenia na stałe związanego z stanowiskiem technologicznym (zastosowania przemysłowe) lub obserwację przez dwóch operatorów (zastosowania edukacyjne). Przykładowe zastosowanie w projekcie *Future Combat System* [1] przedstawiono na rys. 1.

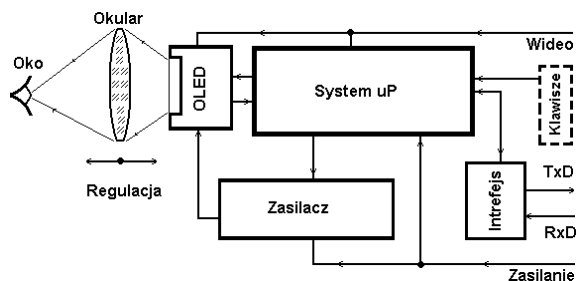


Rys. 1. Wyświetlacz montowany do hełmu  
Fig. 1. Head mount display (HMD)

W rozwiązaniu tym rozdzielono urządzenia obserwacyjne (kamera termowizyjna / TV) od prezentacji obrazu na wyświetlaczu. Jest to ogólna tendencja w tego typu systemach [2, 3]. Również w ramach prowadzonych w Instytucie Optoelektroniki WAT prac dotyczących celowników termowizyjnych [4] wynikała potrzeba wzbogacenia takiego celownika o zewnętrzny wyświetlacz. Przestrzenne rozdzielenie urządzenia termowizyjnego i obserwatora pozwala na realizację zadań z ukrycia. W przypadku celownika jest to prowadzenie ostrzału przy całkowitym ukryciu strzelca. Wyświetlacz taki jest pomocny w procesie dydaktycznym gdzie pozwala na szkolenie i weryfikację umiejętności operatora kamery termowizyjnej przez instruktora.

## 2. Założenia konstrukcyjne

Kamery termowizyjne używane są zarówno w pomieszczeniach jak i na zewnątrz. Z tego też względu wyświetlacz powinien zapewniać prace szerokim zakresie temperatur. Ze względów ergonomicznych można przyjąć zawężony zakres temperatur dla zastosowań przemysłowych od  $-20^{\circ}\text{C}$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ . Rozdzielczość wyświetlacza powinna zapewniać poprawne wyświetlenie obrazów wytwarzanych przez kamery z najczęściej spotykanymi rozmiarami matryc detektorów. Dla najpopularniejszych matryc mikrobolometrycznych jest to rozdzielczość od  $160 \times 120$  do  $640 \times 480$  (VGA) punktów. Miniaturowe wyświetlacze składają się z dwóch głównych elementów - zobrazowującego i układu optycznego. Elementami wyświetlającymi w miniaturowych wyświetlaczach mogą być zarówno matryce OLED jak i LCD [1, 2]. Inne technologie takie jak sterowane zwierciadła (DLP) wykonane w technologii MEMS ze względu na ich znaczną cenę w porównaniu do kosztów całego urządzenia jest nie uzasadnione. Biorąc pod uwagę wszystkie te czynniki wstępnie wytypowano elementy obrazujące to jest OLED firmy eMagin [5] lub wyświetlacz LCD firmy Kopin [6]. Ostatecznie ze względu na dostępność w miniaturowym wyświetlaczu zastosowano element typu OLED. Elementy takie dostępne są zarówno w wersji monochromatycznej jak i kolorowej. Dopuszczalne formaty wideo obejmują zarówno sygnały RGB jak i zespolony sygnał wizji w standardach PAL i NTSC. Schemat blokowy miniaturowego wyświetlacza współpracującego z celownikiem termowizyjnym CTS-1, opracowanym w Instytucie Optoelektroniki WAT w ramach projektu celowego MNiSW, zamieszczono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy miniaturowego wyświetlacza obrazu termowizyjnego  
Fig. 2. Miniature thermo image display – block diagram

Elementem wytwarzającym obraz jest wyświetlacz OLED. Jego powierzchnia jest rzutowana na siatkówkę oka za pomocą układu optycznego. Dla obserwatorów z lekką wadą wzroku przewidziano regulację położenia okularu. Ostry obraz jest uzyskiwany w zakresie  $\pm 2$  dioptrii. Wszystkie zespoły elektroniczne kontrolowane są i sterowane za pomocą lokalnego systemu mikroprocesorowego. Opracowano i wykonano dwie wersje wyświetlacza. Pierwsza jest dedykowana do CTS-1, druga jest w pełni autonomiczna. Zawiera baterie zasilające (Zasilanie), wyposażona jest w Klawisze i interfejs szeregowy (TxD, RxD).

Konstrukcja mechaniczna i optyczna miniaturowego wyświetlacza obrazu termowizyjnego uwzględnia fakt, że będzie między innymi związana z głową użytkownika. Na etapie projektowania minimalizowano wagę elementów optycznych i korpusu. Ponadto konstrukcja korpusu zapewnia odpowiednią sztywność oraz tłumienie zakłóceń elektromagnetycznych.

## 3. Zespoły elektryczne

Głównym elementem zespołu elektrycznego jest system mikroprocesorowy. Steruje on rozbudowanym zasilaczem. Złożona konstrukcja zasilacza wynika z szczególnych wymagań narzuconych przez element wyświetlający. Dotyczy to zarówno wyświetlacza OLED jak i wyświetlacza LCD. W przypadku urządzenia autonomicznego źródłem zasilania jest akumulator Li-Ion, ze względu na potrzebę miniaturyzacji gabarytów i wagi. Napięcia

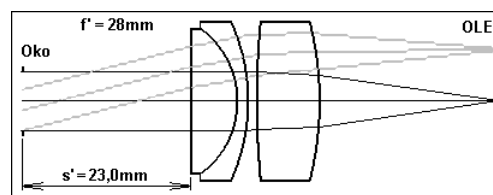
zasilające wytwarzane są za pomocą przetwornic DC-DC. We wszystkich przetwornicach zwrócono szczególną uwagę na to, aby poziom zakłóceń elektromagnetycznych był minimalny. Uzyskano to poprzez odpowiedni dobór układów elektronicznych jak i projekt prowadzenia ścieżek. Jest to istotne ze względu na dopuszczalne poziomy promieniowania w okolicy głowy operatora, wpływ zakłóceń na jakość obrazu na wyświetlaczu oraz ewentualne wykrycie użytkownika na podstawie promieniowania elektromagnetycznego w przypadku aplikacji militarnych. W przypadku wersji miniaturowego wyświetlacza dedykowanego do celownika CTS-1, zasilanie pobierane jest kablem razem z sygnałem wideo. W obu przypadkach zastosowano układ sekwencyjnego załączania napięć zasilających. Całością procesu zasilania steruje mikroprocesor. Takie rozwiązanie umożliwia bezpieczne podłączenie zasilacza do kamery termowizyjnej, gdy jest ona już włączona. Funkcja ta (ang. hot-swap) jest wzorowana na złączu USB. Zwalnia to użytkownika od wykonywania sekwencji załączania poszczególnych urządzeń całego systemu termowizyjnego, co czyni system ten bardziej niezawodnym.

Układ elektroniczny wyświetlacza realizuje także funkcje sterowania cyfrowego, w tym obsługę występujących interfejsów oraz elementu wyświetlającego. W tym ostatnim przypadku zapewnia on kontrolę parametrów elektrycznych i optycznych elementu wyświetlanego. Są to między innymi format sygnału wideo, sposób wyświetlania obrazu jego jasność i kontrast. Układ cyfrowy odpowiada też za obsługę kanału komunikacji, zgodny ze standardem RS-485. Wersja autonomiczna wyświetlacza posiada ponadto uproszczoną klawiaturę składającą się z dwóch elementów. Obsługę tych klawiszy realizuje bezpośrednio mikroprocesor. Zapewnia ona użytkownikowi możliwość ręcznej zmiany kontrastu oraz jasności obrazu.

## 4. Układ optyczny

Obliczenia gabarytowe oraz aberracyjne zostały wykonane przy użyciu specjalizowanego programu do komputerowego projektowania układów optycznych ZEMAX. W wersji Engineering Edition pozwala on również na badanie wpływu promieniowania rozproszonego. Dotyczy to zarówno podświetlenia twarzy (okolice oka) użytkownika jak i zmniejszenia kontrastu obserwowanego obrazu.

Jednym z kluczowych parametrów wpływających na ocenę użyteczności układu jest jego waga. Z tego też względu wykonano obliczenia wagi układu z handlowo dostępnymi elementami optycznymi wykonanymi z tworzyw sztucznych. Analizowane elementy nie spełniają wymagań aberracyjnych w pełnym zakresie temperatur. Z tego też względu zostały odrzucone w końcowym projekcie konstrukcji. Rozpatrzono również projekt układu z użyciem elementów optycznych o powierzchniach asferycznych. Jednak jest to rozwiązanie zbyt kosztowne. Ostatecznie zaproponowano w wersji autonomicznej zespół trzysoczewkowy. Schemat układu optycznego z przebiegiem promieni zamieszczono na rys. 3.

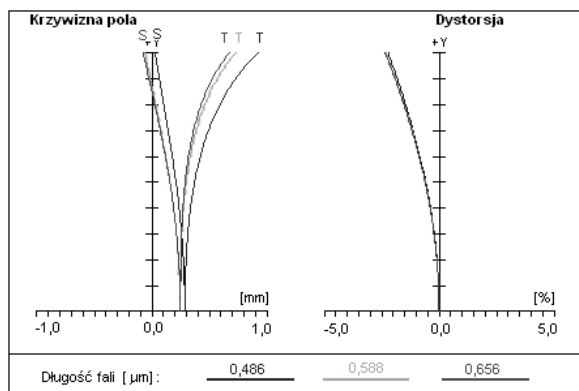


Rys. 3. Bieg promieni w układzie optycznym  
Fig. 3. Ray traces in optical system

Ogniskowa układu optycznego wynosi  $f' = 28\text{mm}$  przy średnicy czynnej  $D_{\text{max}} = 22\text{mm}$ . Ze względu na dopasowanie do oka ważnym parametrem jest podano odległość od ostatniej soczewki do źrenicy oka, która wynosi  $s' = 23,0\text{mm}$ . Jest ona około dwa razy mniejsza niż w przypadku układu obserwacyjnego celownika CTS-1. W celownikach zarówno termowizyjnych jak i optycznych

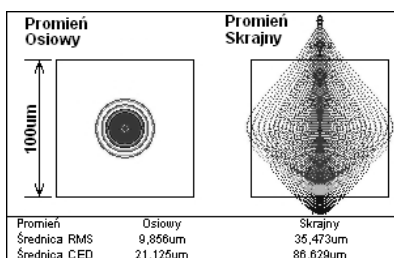
odległości te są konstrukcyjne znaczne ze względu na spodziewany odrzut broni po strzale.

W przypadku obserwacji obrazu za pomocą oka istotne są aberracje układu optycznego, które powodują zniekształcenia obrazu. Najważniejszymi są krzywizna pola oraz dystorsja. Krzywizna pola powoduje, że układ optyczny nie daje obrazu leżącego idealnie w płaszczyźnie obrazowej. W rzeczywistości obraz jest zakrzywiony i leży na tzw. powierzchni Petzvala. Powoduje to, że pewne fragmenty obrazu są nieostre. Stopień korekcji tej wady zależy od typu detektora. Szczególnie dobrze powinna być skorygowana krzywizna pola dla płaskich detektorów takich jak np. matryce CCD. W przypadku oka dopuszczalne są zdecydowanie większe wartości krzywizny pola. Dystorsja natomiast jest wadą układów optycznych wynikającą z różnego powiększenia w zależności od położenia punktu w polu widzenia. W układach o znacznej dystorsji obraz prostokąta jest zniekształcony do postaci „poduszki” lub „beczki” w zależności o kierunku zmian powiększenia. Wynik obliczenia dla tych aberracji w postaci graficznej zamieszczono na rys. 4. Dla krzywizny pola wyznaczono jej wartości w płaszczyznach południkowych ( $S$ ) i równoleżnikowych ( $T$ ).



Rys. 4. Krzywizna pola i dystorsja  
Fig. 4. Field curvature and distortion

Krzywizna pola zgodnie z oczekiwaniami osiąga maksimum na brzegach pola widzenia jednak jej wartości ( $<1\text{mm}$ ) są akceptowalne w układzie obserwacyjnym. Podobnie jest z dystorsją, która nie przekracza 2%. Aberracje chromatyczne są dobrze skorygowane. Rozkład energii w plamce dla trzech przypadków zamieszczono na rys. 5. Dla promienia osiowego energia jest skupiona w środku. Całość energii zawarta jest w punkcie o promieniu  $22\mu\text{m}$ . W skrajnym położeniu nastąpiło rozmycie, plamka ma średnicę ponad  $80\mu\text{m}$ . Dla układów optycznych współpracujących z okiem jest to wartość dopuszczalna.



Rys. 5. Rozkład energii w plamce  
Fig. 5. Spot diagram

Układ optyczny wersji dedykowanej dla celownika *CTS-1* jest przewidywany do zgłoszenia do Urzędu Patentowego RP.

## 5. Dane techniczne

Zaprezentowany miniaturowy wyświetlacz obrazu termowizyjnego został przebadany z celownikiem *CTS-1*. Sprawdzono również współpracę wersji autonomicznej z kamerą termowizyjną P-35. Podstawowe parametry techniczne zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Dane techniczne miniaturowego wyświetlacza obrazu termowizyjnego  
Tab. 1. Technical data of miniature thermo image display

Parametr	Wartość	Uwagi
Standard sygnału we. 1	PAL, NTSC	Wybór automatyczny
Standard sygnału we. 2	RGB	Tylko wersja autonomiczna
Rozdzielczość	852 x 600	SVGA
Format obrazu	4:3 lub 16:9	
Luminancja	400 cd/m <sup>2</sup>	
Kontrast	800:1	
Jednorodność	>80%	
Zasilanie	2 x 3,6V	Tylko wersja autonomiczna
Zakres temperatur pracy	-20°C ÷ +60°C	
Waga	50g	Bez przewodu sygnałowego

Główną różnicą między obiema wersjami wyświetlacza jest liczba dostępnych sygnałów na złączu. W wersji dedykowanej do *CTS-1* na złączu wejściowym występuje sygnał *Wideo* oraz linie zasilające. Tym samym nie jest dostępny tryb *RGB* w wyświetlaczu *OLED*. W wersji autonomicznej oprócz wspomnianego już sygnału *Wideo* dostępne są również sygnały *RGB* co pozwala wykorzystać wszystkie dostępne tryby pracy wyświetlacza *OLED*.

## 6. Wnioski

Zaprezentowany miniaturowy wyświetlacz obrazu termowizyjnego pozwala zwiększyć funkcjonalność kamer termowizyjnych. Możliwa jest obserwacja scenarii z kamery zamocowanej na stanowisku technologicznym niedostępnym dla operatora. Podobnie, gdy użytkownik musi mieć „wolne ręce” np. w przypadku wersji na przykład dla strażaków. Wybrany element wyświetlający oraz zaprojektowany układ optyczny zapewniają obraz o dobrej jakości i dużej jasności zarówno monochromatyczny jak i kolorowy.

## 7. Literatura

- [1] D. Armitage, I. Underwood, S. Wu, Introduction to Microdisplays, John Wiley & Sons, 2006.
- [2] Barre, F., Chiquard, A., Faure, S. et al., OLED study for military applications, Proc SPIE, vol. 5961, 09-1–09-11, 2006.
- [3] K. Low, S. K. Jones, O. Prache, D. A., Active matrix OLED for rugged HMD and viewfinder applications, Proc. SPIE, vol. 5442, 280, 2004.
- [4] H. Madura i in, Sprawozdanie z realizacji prac badawczo-rozwojowych projektu celowego nr 296/BO/A, sprawozdanie z projektu celowego, WAT, 2008.
- [5] eMagin Corporation, Washington, Bellevue, WA 98004, www.emagin.com.
- [6] Kopin Corporation, Rugged Solutions 225, Technology Circle Scotts Valley, CA, www.kopin.com.