



DETEKCJA OPTOELEKTRONICZNA W SYSTEMIE OBRONY AKTYWNEJ

OPTOELECTRONIC DETECTION IN ACTIVE DEFENSE SYSTEM

Roman OSTROWSKI, Marek ZYGMUNT, Jacek WOJTANOWSKI, Piotr KNYSAK,
Andrzej MŁODZIANKO, Marcin JAKUBASZEK
Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Optoelektroniki
Military University of Technology, Institute of Optoelectronics

Streszczenie: W pracy zaprezentowano głowicę optoelektroniczną do wykrywania i rozpoznawania nadlatujących pocisków kumulacyjnych z napędem raketowym (typu RPG), której funkcjonowanie oparte jest na koncepcji pasywnej kutyny podczerwieni. Ostatnie konflikty zbrojne pokazały, że bojowe środki tego typu są szczególnie skuteczne w zwalczaniu wozów bojowych. Najefektywniejszym sposobem ochrony pojazdów przed RPG jest zastosowanie systemów obrony aktywnej (ASOP), które pozwalają automatycznie neutralizować zagrożenie w pewnej odległości od obiektu. Ważne z punktu widzenia skuteczności takiego systemu jest wczesne wykrycie i identyfikacja zagrożenia, najlepiej momentu samego wystrzelenia. Badania pokazały, że najlepsza do tego celu jest detekcja emisji w paśmie „solar-blind”. Z kolei wykrywanie i śledzenie już lecącego pocisku najlepiej realizować w paśmie średniej podczerwieni (MWIR). Pozyskiwanie i gromadzenie danych o emisji UV czy MWIR w formie tzw. sygnałów optycznych jest bardzo ważne. Znajomość takich sygnałów pozwala w efekcie końcowym wyeliminować fałszywe alarmy i wyeliminować błędne decyzje w automatyce inicjującej stosowne przeciwdziałania.

Słowa kluczowe: system obrony aktywnej, sygnał optyczny, głowica optoelektroniczna

Abstract: The paper presents optoelectronic head for detection and identification of approaching shaped charge missiles with rocket propulsion (such as RPG) that operates on the concept of a passive infrared curtain. Recent conflicts have shown that combat means of this type are especially effective in fighting combat vehicles. The most efficient vehicle's protection against RPG is the use of active defence systems (ASOP) which can neutralise the threat automatically at certain distance from the object. The early detection and identification of the threat or even a moment of its firing is very important for the system effectiveness. The investigations have shown that detection of solar-blind emission is the best for this purpose. On the other hand the detection and identification of already flying missile is better to realize in mid-infrared region (MWIR). The acquisition and storing data of UV or MWIR emissions in the form of so called optical signatures is very important. In effect the knowledge of such signatures eliminates the false alarms and thus the incorrect decisions in automated systems initializing suitable counteractions.

Keywords: active defence system, optical signature, optoelectronic head

1. Wstęp

Ostatnie konflikty zbrojne pokazały, że tradycyjne myślenie o działaniach wojennych, jako regularnych walkach w obrębie frontu przestało być poprawne. Zagrożenie ze strony przeciwnika może pojawić się każdej chwili, a co ważniejsze w dowolnym miejscu i z dowolnego kierunku. Jedną z głównych ról odgrywają tu różnego rodzaju środki bojowe z napędem raketowym i ładunkami kumulacyjnymi (przykładowo RPG), szczególnie skuteczne w zwalczaniu wozów bojowych. Do ochrony przed takim zagrożeniem stosowane są powszechnie grube, kompozytowe pancerze właściwe, pancerze reaktywne lub pancerze prętowe. Dotyczy to tylko ciężkich wozów bojowych. Lekkie pojazdy, ze względu na przeznaczenie, nie mogą być wyposażone w takie pancerze, skąd wynika brak skutecznego przeciwdziałania. Liczne przykłady na to mieliśmy podczas misji w Iraku i Afganistanie.

Jednym ze skuteczniejszych sposobów zwiększenia poziomu ochrony pojazdów jest zastosowanie systemu obrony aktywnej (ASOP), który pozwoli zniszczyć w sposób zautomatyzowany zagrożenie w pewnej odległości od ochranianego obiektu. Ze względu na zwykle małą odległość (poniżej 100 m) od miejsca wystrzelenia pocisku RPG do ochranianego pojazdu i związany z tym krótki czas na możliwe przeciwdziałanie, system obrony aktywnej powinien być układem sektorowym i w pełni zautomatyzowanym. Biorąc to pod uwagę, system ASOP powinien składać się z następujących zasadniczych podzespołów: modułu odpowiedzialnego za wykrycie momentu startu pocisku, modułu śledzenia toru lotu pocisku i określenia, w które miejsce uderzy, elektronicznego modułu decyzyjnego oraz modułu destruktora (antypocisku).

Z punktu widzenia skuteczności systemu ASOP ważne jest wczesne wykrycie i zidentyfikowanie zagrożenia, najlepiej momentu samego wystrzelenia RPG. Moduł detekcji startu pocisków może być oparty na detektorach promieniowania ultrafioletowego. Detektory te będą reagowały na charakterystyczne widmo promieniowania występujące przy wystrzeliwaniu pocisków kumulacyjnych z granatów typu RPG [1]. Pozwoli to na możli-

1. Introduction

Recent military conflicts have shown that the traditional way of thinking about military activities as regular combat activities in the front line is not correct. The threat from the side of enemy may appear at any moment and what is more important at any place and from any direction. It is because of different types of munitions propelled by rocket motors and having shaped charge warheads (like RPG) which are especially effective at fighting combat vehicles. The protection against these threats usually exploits the main thick composite armours, reactive armours or rod armours. It refers only to heavy combat vehicles. The light vehicles because of their designation cannot be equipped with such armours and it results in the lack of effective counteraction what was clearly visible at Iraq and Afghanistan missions.

One of the most effective ways of increasing the vehicle protection level is the application of an active defence system (ASOP) that may destroy in an automatic way the threat at certain distance from the protected object. As the distance between the fired RPG missile and the protected object is very short (less than 100 m) then the time of possible counteraction is also short and the active defence system has to be a sector type and completely automated system. Taking the above into consideration ASOP system has to consist of following components: module responsible for missile launching detection moment, module for tracking missile trajectory and predicting its hitting point, electronic decision module and destructor's module (antimissile).

The effectiveness of ASOP system depends on the early detection and identification of the threat and the best case is to detect the moment of firing RPG. The module detecting the missile launching moments may be based on ultraviolet radiation detectors. These detectors react on the characteristic band of radiation occurring at firing shaped charge missiles RPG from launchers [1]. It provides a possibly

wie najszybsze wykrycie startu pocisku i wstępne określenie obszaru zagrożenia. Informacja o starcie pocisku zostanie przekazana do układu decyzyjnego, który wysteruje radar krótkiego zasięgu bądź optoelektroniczny system śledzący.

Powszechnie wiadomo, że zwiększona temperatura podczas odpalenia granatu, czy w trakcie pracy jego silnika marszowego, jest stosunkowo silnym źródłem promieniowania podczerwonego [2]. Dlatego należało zbadać możliwości wykrywania startu i śledzenia toru lotu pocisku RPG w dwóch dodatkowych zakresach spektralnych, przy pomocy kamer pracujących w paśmie bliskiej (NWIR, 0.9-1.7 μm) i średniej podczerwieni (MWIR, 3-5 μm).

W pracy opisano wyniki badań przeprowadzonych w celu weryfikacji założeń odnośnie optoelektronicznych systemów wykrywania i śledzenia, sformułowanej na ich podstawie koncepcji pasywnej kurtyny podczerwieni i jej praktycznej realizacji w formie optoelektronicznej głowicy detekcyjnej. Na zakończenie zademonstrowano poligonowe wyniki badań głowicy detekcyjnej sprzężonej z pozostałymi modułami tworzącymi razem demonstrator technologii systemu ASOP.

2. Badania wstępne

Wstępne badania możliwości wykrywania i śledzenia trajektorii lotu oraz sygnatur termalnych obiektów z napędem raketowym przeprowadzono w ramach badań poligonowych, związanych z opracowaniem aktywnego systemu obrony wozów bojowych przed pociskami przeciwpancernymi. Badania te pokazały, że ze względu na dużą ilość potencjalnych źródeł zakłócających (sztuczne źródła światła, promieniowanie słoneczne, płomień, etc.), skuteczne i bezobsługowe wykrywanie momentu i kierunku do miejsca odpalenia pocisku z napędem raketowym w paśmie NWIR jest możliwe, ale wiąże się z dużym prawdopodobieństwem fałszywego alarmu. Obecność silnych zakłóceń powoduje, że nie jest możliwe skuteczne śledzenie trajektorii lotu takiego pocisku.

Możliwe jest natomiast wykrywanie momentu i kierunku do miejsca odpalenia pocisku z napędem raketowym w paśmie MWIR.

quick detection of missile launching and preliminary determination of the threat zone. The information about missile launching has to be sent to the decision system that has to aim the short range radar or optoelectronic tracking system.

It is well known that the increase of temperature at launching the grenade or its marching motor operation is a relatively strong source of infrared radiation [2]. For this reason the possibilities of launching detection as well as tracking RPG missile trajectory had to be investigated on two additional spectral bands by cameras operating on near (NWIR, 0.9-1.7 μm) and medium (MWIR, 3-5 μm) infrared bands.

The paper presents the results of tests carried out to verify the assumptions concerning optoelectronic detection and tracking systems and a concept of passive infrared barrier formulated on the base of them and its practical realisation in the form of optoelectronic detecting head. Finally the results of range tests of detecting head integrated with other modules creating the technology demonstrator of system are presented.

2. Initial tests

The initial tests were carried out on thermal signatures of objects propelled by rocket motors and on detection and trajectory tracking capacities in the frame of range tests linked to development of active protection system against antitank missiles for combat vehicles. The tests have proved that because of a great number of potential interfering sources (artificial sources of light, sun radiation, flames, etc.) the effective and unmanned detection on NWIR band of the moment and bearing to the spot where a rocket propelled missile is launched is possible but is linked with a high level of false alarm. The presence of strong interferences causes that the effective tracking of such missile trajectory is not possible.

Instead the detection of the moment and bearing to the place where the rocket propelled missile is launched is still possible on MWIR band. Here the observation of

Możliwa jest tu także obserwacja trajektorii lotu za pomocą kamery. Należy zaznaczyć, że wymóg bardzo szybkiej i zautomatyzowanej w wysokim stopniu reakcji na zagrożenie pociąga za sobą dużą szybkość pracy systemów śledzenia. Kryterium to można zaspokoić przez zastosowanie dwuwymiarowych matryc FPA (z ang. *Focal Plane Array*), gdzie obraz całej obserwowanej scenarii odwzorowywany jest jednoetapowo na powierzchni detektora. Niestety tracona jest przy tym informacja o odległości do śledzonego obiektu. Dlatego, w wyniku śledzenia nie jest uzyskiwana trajektoria przestrzenna, a tylko kątowna.

2.1. Sygnatury termalne

W fazie badań wstępnych, stanowisko pomiarowe usytuowano najpierw w odległości $L = 100$ m od wyrzutni i $l = 10$ m od osi strzelania. Pole widzenia kamery zorientowano prostopadle do osi strzelania. Chodziło tu o wykrywanie lecącego obiektu, śledzenie toru lotu i pomiar temperatury granatu w fazie lotu, gdy pracuje silnik marszowy. Następnie, stanowisko pomiarowe przesunięto na odległość $L = 200$ m od wyrzutni, aby dalsze badania przeprowadzić w fazie lotu granatu, w której silnik marszowy nie pracuje. Zwiększono także odległość od osi strzelania do $l = 18$ m, tak, aby łatwiej było tor lotu umieścić w polu widzenia kamery. Początkowo pola widzenia zorientowane były prostopadle do osi strzelania, po czym zmieniano kąt obserwacji. Miało to na celu zbadanie, jaki jest wpływ przesłania czepcem na możliwość wykrywania i śledzenia toru lotu pocisku.

Przykłady uzyskanych tym sposobem sygnatur termalnych granatu z napędem rakiety pokazano na rysunkach 1 i 2.

Z zaprezentowanych przykładowych termogramów oraz analizy pozostałych, uzyskanych w trakcie badań poligonowych wynika, że najgorętszymi elementami granatu, a zarazem najsilniejszymi źródłami promieniowania podczerwonego, są przedział silnikowy i lotki.

Ich emisja po zaprzestaniu pracy silnika marszowego nie ulega wyraźnej zmianie (przynajmniej w ramach długości toru lotu stosowanych w badaniach), gdyż temperatura

flying trajectory by camera is also possible. It has to be stressed that the requirement for rapid and in great degree automated reaction demands the tracking systems have to operate rapidly. This criterion may be met by using two dimensional matrixes FPA (Focal Plane Array) where the picture of the whole observed scenery is reflected in the same stage on the surface of the detector. Unfortunately the information about the distance to the tracked object is lost in such situation. For this reason in the result of tracking only angular instead of space trajectory is received.

2.1. Thermal signatures

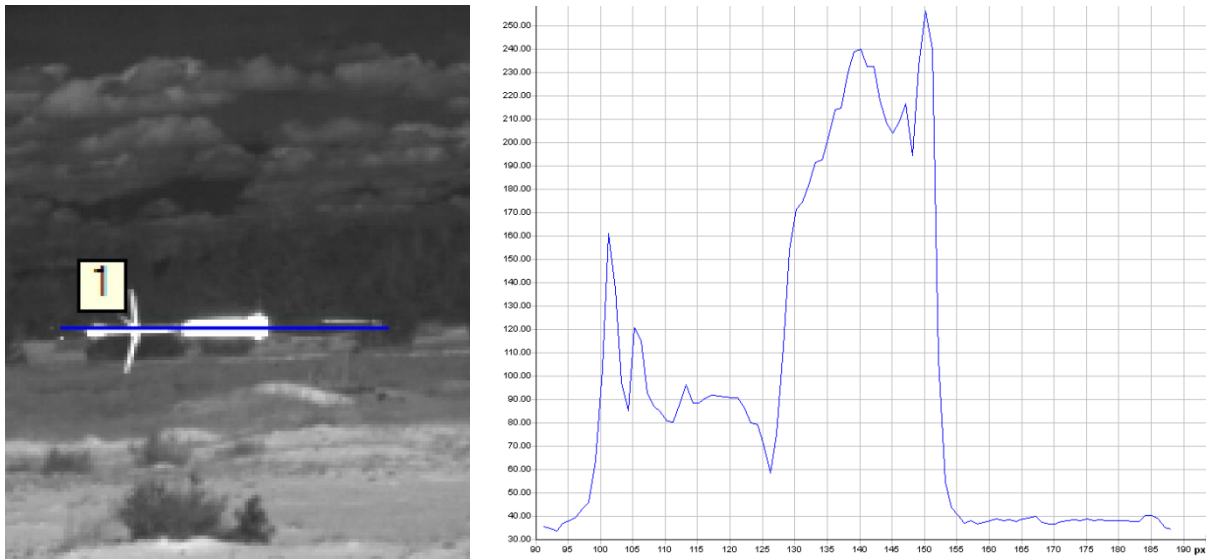
In the phase of initial tests the first measurement set-up was placed in distance $L = 100$ m from the launcher and $l = 10$ m aside from the firing line. The camera field of view was set perpendicularly to the axis of firing. The reason of it was to detect flying object, track its trajectory and measure grenade's temperature at flight when the marching motor operates. Next the measurement set-up was shifted to the distance $L = 200$ m from the launcher to perform tests in the flying path of the missile when the marching motor does not operate. The distance to the firing axis has been also increased to $l = 18$ m to set easier the trajectory in the camera field of view. At the beginning the field of view was oriented perpendicularly to the firing axis and then the angle of observation has been changed. It was made to check if the screening by the ballistic cap influences the effectiveness of missile detection and tracking.

Some examples of rocket propelled grenade thermal signatures received in this way are presented in figures 1 and 2.

Basing on presented examples of thermograms and analysis of other ones which were received at the range tests it may be found that the hottest points of the grenade i.e. the strongest sources of infrared radiations are the fins and motor compartment. Their emission do not change significantly after the marching motor stops (at least at lengths of paths used in tests) as the tem-

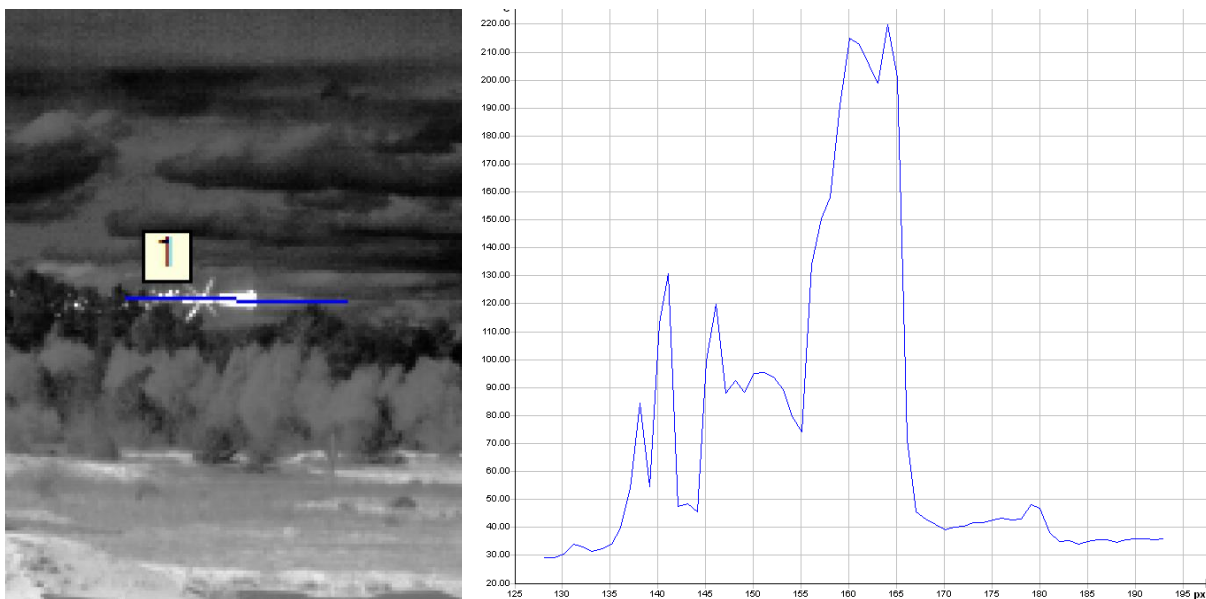
pozostaje wysoka, ponad 200°C. Czepiec jest natomiast wyraźnie chłodniejszy i jego temperatura mieści się na poziomie 40°C do 50°C.

perature still remains high above 200°C. The ballistic cap is significantly cooler with temperatures between 40°C to 50°C.



Rys. 1. Lecący granat (po lewej) i rozkład temperatury na jego powierzchni (po prawej) przy niepracującym silniku marszowym: $L = 200$ m, $l = 10$ m

Figure 1. Flying grenade (left) and distribution of temperature on its surface (on the right) at idle marching motor: $L = 200$ m, $l = 10$ m



Rys. 2. Lecący granat (po lewej) i rozkład temperatury na jego powierzchni (po prawej) przy pracującym silniku marszowym: $L = 200$ m, $l = 10$ m

Figure 2. Flying grenade (left) and distribution of temperature on its surface (on the right) at operating marching motor: $L = 200$ m, $l = 10$ m

Wynika stąd natychmiast wniosek, że z punktu widzenia śledzenia pocisku w podczerwieni nie ma znaczenia, czy silnik marszowy pracuje, czy nie. Nie widać specjalnych różnic w obrazie termograficznym granatu

The simple conclusion is that for the tracking the missile in infrared band the fact of marching motor operation does not matter. There are no special differences in thermograms of the grenade in two cases.

w obu przypadkach. Jedyna występująca różnica pochodzi od piku emisji od lotek i jest wywołana wirowaniem pocisku wokół swojej osi i związanym z tym cyklicznym zmianom ich skutecznej powierzchni emisyjnej.

Zatem wykrycie przelatującego granatu jest praktycznie zawsze możliwe. Warto tu zaznaczyć, że pomiary robione pod różnymi kątami obserwacji pokazały minimalny efekt przesłaniania przez czepiec gorących fragmentów granatu.

2.2. Sygnatury UV

W trakcie wstępnych badań sprawdzona została także możliwość detekcji sygnałów optycznych w paśmie „solar-blind” (promieniowanie UV z zakresu spektralnego od 200 nm do 285 nm). Badania te miały na celu wyłonienie istotnych cech pozwalających na jednoznaczną identyfikację zdarzeń. Zbadane zostały sygnatury optyczne, rozumiane tu jako przebiegi w czasie emisji promieniowania, towarzyszące różnym zdarzeniom mogącym zaistnieć na współczesnym polu walki (eksplozja materiału wybuchowego, odpalenie granatów dymnych, odpalenia pocisku RPG, itp.). W badaniach wykorzystano opracowany w Instytucie Optoelektroniki WAT radiometr UV, który charakteryzuje się dużą czułością w zakresie spektralnym „solar-blind” [3].

Na rysunku 3 przedstawione zostały przykładowe przebiegi czasowe emisji w ultrafiolecie, towarzyszące różnym zdarzeniom mogącym pojawić się na polu walki. Kształty czasowe emisji, a przede wszystkim czasy charakterystyczne z nią związane, stanowią sygnatury optyczne. Przykładowo odpaleniu pocisku towarzyszy emisja promieniowania ultrafioletowego o czasie trwania 2-3 ms. W przypadku detonacji kostki trotylu czas ten jest rzędu 30 ms, wybuchu po trafieniu pocisku w tarczę 5-7 ms, a wystrzelenie granatów dymnych wywołuje emisję o bardzo długich czasach trwania, ponad 300 ms.

Na podstawie zaprezentowanych sygnatur widać, że specyficzna dynamika czasowa sygnałów rejestrowanych w paśmie „solar-blind” przy odpaleniu granatów RPG pozwala skutecznie odróżnić tego typu zdarzenie od innych, stanowiących źródła czynników zakłócających. Ich sygnatury w zakresie ultrafioletu UV mają zdecydowanie inny charakter, o znacząco różniących

The only one existing difference comes from fins emission peaks and is caused by the rotation of the missile around its axis what causes cyclical changes of fin effective emission cross section. It means that the detection of passing grenade is always possible. It is worth to notice that the measurements carried out at different angles have shown the minimal effect of screening hot areas of grenade by the ballistic cap.

2.2. UV signatures

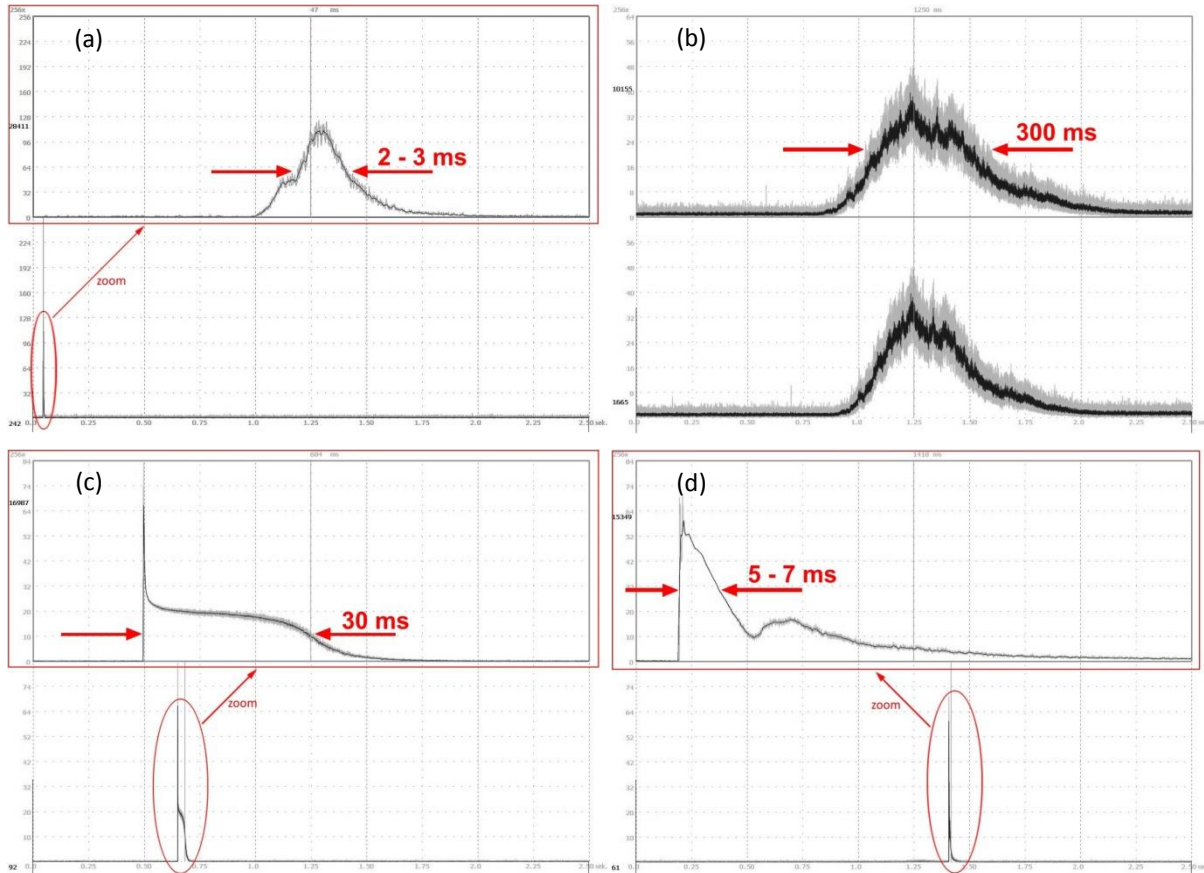
Possibilities for detection of optical signals on “solar-blind” band (UV radiation on 200-285 nm band) was also examined at initial tests. These tests were aimed find out important characteristics for doubtless identification of events. There were investigated optical signatures which are understood here as the emission of radiation in the function of time that accompanies different events which can occur at the contemporary battle field (explosion of explosive material, launching smoke grenades, launching RPG missile, etc.). The tests were carried out by using the UV radiometer developed in the Institute of Optoelectronics of the Military University of Technology that has a high level of sensitivity on „solar-blind” band [3].

Some exemplary time graphs of ultraviolet emission presented in figure 3 usually accompany different events of the combat field. Emission time shapes and most of all its specific times create the optical signatures. For example the launching of the missile generates the emission of ultraviolet radiation with duration of 2-3 ms. In the case of detonating a bar of TNT this time is ca. 30 ms, explosion after hitting the target by projectile 5-7 ms and firing the smoke grenade gives long time durations above 300 ms.

Presented signatures indicate that there is possible to distinguish time signals occurring at launching RPG missiles and recorded on „solar-blind” band from other interfering sources. Their UV signatures have significantly different character and

się czasach charakterystycznych. Znajomość takich sygnatur pozwoliłaby w efekcie końcowym wyeliminować fałszywe alarmy i tym samym wyeliminować błędne decyzje w automatyce inicjującej stosowne przeciwdziałania.

different specific times. The knowledge of these signatures would finally eliminate the false alarms and erroneous decisions in automatic systems which initiate specific counteractions.



Rys. 3. Sygnal rejestrowany przez radiometr UV podczas: (a) odpalenia granatu RPG, (b) odpalenia zasłony dymnej, (c) eksplozji kostki trotylu o masie 400 g, (d) trafienia pocisku w tarczę
Figure 3. Signal recorded by UV radiometer at: (a) firing RPG, (b) firing smoke screen, (c) explosion of 400 g trotyl, (d) hitting the target by a projectile

3. Koncepcja pasywnej kurtyny podczerwieni

Spośród trzech badanych pasm promieniowania elektromagnetycznego, pasmo MWIR wydaje się najbardziej perspektywiczne, ale ze względu na duże koszty i praktyczną nieosiągalność detektorów matrycowych, należało znaleźć inne rozwiązania. Biorąc pod uwagę całość wniosków wynikających z przeprowadzonych badań wstępnych, narodziła się koncepcja pasywnej kurtyny podczerwieni, która pozwalałaby na wykrywanie i śledzenie szybko poruszających się, rozgrzanych obiektów (pociski), w bliskiej i bardzo bliskiej odległości od pojazdu.

3. Concept of passive infrared barrier

MWIR band is the most perspective from among three tested bands of electromagnetic radiation but because of high costs and practical inaccessibility of matrix detectors other solutions had to be found. Taking into account all conclusions provided by initial tests a concept of passive infrared barrier was prepared that would detect and track the heated objects moving with great velocity (missiles) at near and close distance from the vehicle.

The general idea of operation for the passive infrared barrier is presented in figure 4. Units made of passive infrared sensors will

Ogólną ideę działania pasywnej kurtyny podczerwieni przedstawiono na rysunku 4. Na wozie bojowym umieszczone zostaną zespoły pasywnych czujników podczerwieni. Zespoły te będą tak rozmieszczone, aby środki ich pól widzenia znajdowały się w pewnej odległości, przykładowo 15 m i 25 m od burt pojazdu. Usytuowanie takie zapewnia odpowiedni czas, liczony od momentu wykrycia przelotu przez strefę, w celu podjęcia decyzji przez moduł decyzyjny i uruchomienia modułu destruktora.

Typowa wysokość wozów bojowych mieści się w przedziale 2,5 do 3 m. Przyjmiemy, że wysokość tarczy wynosi 3 m. Żeby usytuowanie detektorów było zbliżone do rzeczywistego, należy umieścić je około 1,5 m za tarczą, co odpowiada ich lokalizacji na osi wozu, oraz około 1 m ponad tarczą, czyli na wysokości 4 m od powierzchni ziemi. Możliwe wtedy będzie uzyskanie pierwszej strefy w odległości około 15 m od tarczy (burty wozu bojowego), co odpowiada kątowni obserwacji $13,6^\circ$. Ponieważ kąt pola widzenia detektora w azymucie wynosi 2° , to lecący na wysokości 1 m granat przebędzie w polu widzenia drogę o długości 1,9 m. Dla wysokości lotu 2 m droga ta skróci się natomiast do wartości około 1,3 m.

Druga strefa ulokowana będzie w odległości około 25 m od tarczy (burty wozu bojowego), odpowiadającej kątowni obserwacji $8,6^\circ$. Podobnie do strefy pierwszej, dla kąta pola widzenia detektora w azymucie 2° , lecący na wysokości 1 m granat przebędzie w polu widzenia drogę o długości 4,8 m, natomiast dla wysokości lotu 2 m droga wyniesie około 3,2 m.

W przyjętej geometrii układu pomiarowego, odległość między środkami stref dla wysokości lotu 1 m wynosi 7,5 m, natomiast dla wysokości 2 m maleje do 5 m.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że dla przyjętej wysokości wozu bojowego, wysokość toru lotu granatu będzie się najczęściej mieściła między jej skrajnymi wartościami wynoszącymi 1 m i 2 m.

Przyjmując 250 m/s, jako prędkość lotu pocisku, dla wysokości lotu 1 m, czas potrzebny na pokonanie drogi od drugiej strefy do tarczy wynosi 73,6 ms, natomiast od pierwszej strefy tylko 43,6 ms. Przy wysokości lotu 2 m czasy te skracają się odpowiednio do 53 ms i 33 ms.

be placed on the combat vehicle. These units have to be placed in such way that the centres of their fields of view are in certain distance e.g. 15 m and 25 m from the sides of the vehicle. Such positioning provides a relevant time that is counted from the moment of flying by the zone to take a decision in the decision module and activate the destructor's module.

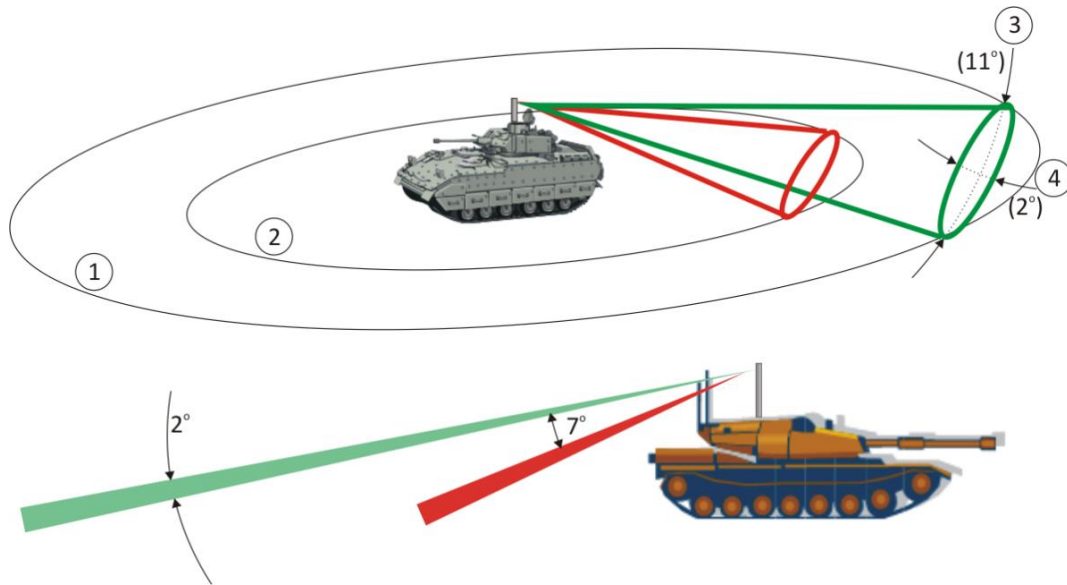
Typical height of combat vehicles is between 2.5 and 3 m. It was assumed therefore that the height of the barrier is 3 m. In order to reflect the real position of detectors they has to be placed ca. 1.5 m behind the barrier what corresponds their localisation on the vehicle axis and ca. 1 m above the barrier i.e. at the height of 4 m from the ground. Then it is possible to get the first zone at the distance of ca. 15 m from the barrier (side of the combat vehicle) corresponding the observation angle of 13.6° . As the detector angular field of view in azimuth is 2° then a missile flying on the height of 1 m covers within the field of view the path of 1.9 m. For the height of 2 m this path decreases to ca. 1.3 m.

The second zone is placed in distance ca. 25 m from the barrier (side of the combat vehicle) corresponding the observation angle 8.6° . Similarly to the first zone for the detector azimuth angular field of view of 2° the object flying on the height of 1 m covers within the field of view the path of 4.8 m whereas for the flying height of 2 m this path is ca. 3.2 m.

For the accepted geometry of the measurement set-up the distance between centres of zones for the flying height of 1 m is 7.5 m and for the height of 2 m it decreases to 5 m.

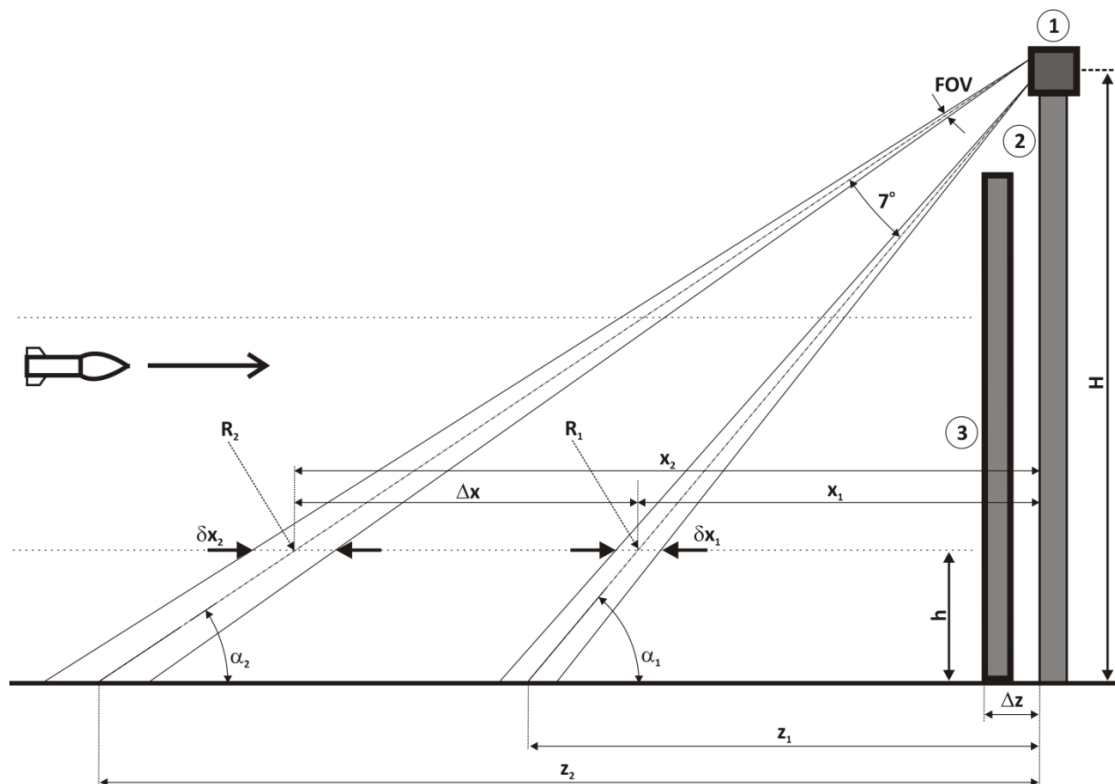
Basing on performed analysis it can be seen that for the accepted height of the combat vehicle the height of grenade flying path usually is within its extreme values of 1 m and 2 m.

Taking 250 m/s as the missile velocity then for the flying height of 1 m the time needed to cover the distance from the second zone to the barrier is 73.6 ms whereas to the first zone it is only 43.6 ms. When the height of the fly is 2 m then these times decrease respectively to 53 ms and 33 ms.



Rys. 4. Idea działania pasywnej bariery podczerwieni: (1) strefa obserwacji dalsza, (2) strefa obserwacji bliższa, (3) azymutalne pole widzenia, (4) elewacyjne pole widzenia

Figure 4. Concept of operation for the passive infrared barrier: (1) far observation zone, (2) close observation zone, (3) azimuth field of view, (4) elevation field of view



Rys. 5. Widok z boku usytuowania wzajemnego tarczy, detektorów i poszczególnych stref wykrywania: (1) głowica detekcyjna, (2) rampa, (3) tarcza

Figure 5. A side view of mutual positioning of barrier, detectors and particular detecting zones: (1) detecting head, (2) platform, (3) barrier

Wszystkie wyżej wymienione wartości łatwo obliczyć biorąc za punkt wyjścia wysokość H , na której umieszczony jest detektor, wysokość toru lotu pocisku h , kąt pola widzenia detektora FOV oraz wielkość przesunięcia osi detektora względem tarczy Δz . Wtedy, zgodnie z rysunkiem 5, kąt obserwacji α wynosi:

$$\alpha_{1,2} = \tan^{-1} \frac{H}{z_{1,2}}$$

gdzie z_1 jest odległością środka pola widzenia od lokalizacji osi detektora na powierzchni ziemi.

Odległość środka pierwszej bądź drugiej strefy (środku pola widzenia) od lokalizacji osi detektora liczona horyzontalnie na wysokości toru lotu h jest dana przez:

$$x_{1,2} = \frac{H-h}{H} z_{1,2}$$

Wtedy odległość między środkami stref wynosi:

$$\Delta x = \frac{H-h}{H} (z_2 - z_1)$$

Jednym z najważniejszych parametrów jest szerokość strefy δx na danej wysokości lotu h dana przez:

$$\delta x_{1,2} = R_{1,2} \sin\left(\frac{FOV}{2}\right) \left[\frac{1}{\sin(\alpha_{1,2} - FOV/2)} + \frac{1}{\sin(\alpha_{1,2} + FOV/2)} \right]$$

gdzie FOV jest polem widzenia detektora w elewacji, $\alpha_{1,2}$ jest kątem obserwacji, a $R_{1,2}$ jest odległością środka strefy od detektora.

$$R_{1,2} = \frac{H-h}{\sin \alpha_{1,2}}$$

Oczywiście, kąt obserwacji każdej ze stref i związany z nim czas przelotu granatu od danej strefy do tarczy będzie w trakcie badań dobierany pod kątem maksymalizacji skutecz-

All the above mentioned values may be easily calculated by taking as the starting point the height H where the detector is placed, the height h of missile trajectory, the angle of the field of the view FOV and the value of shifting the detector axis with respect to the barrier Δz . Then according to figure 5 the angle of observation α is:

where z_1 is the distance between the centre of the field of view and the localisation of the detector axis on the ground surface.

The distance between the centre of the first or second zone (centre of the field of view) and the localisation of the detector's axis calculated horizontally at the flying path h is given by:

Then the distance between centres of zones is:

One of the most important characteristic is the width of the zone δx at the given flying height h described by:

where FOV is the detector's field of view in elevation, $\alpha_{1,2}$ is an observation angle and $R_{1,2}$ is the distance between the centre of the zone and detector.

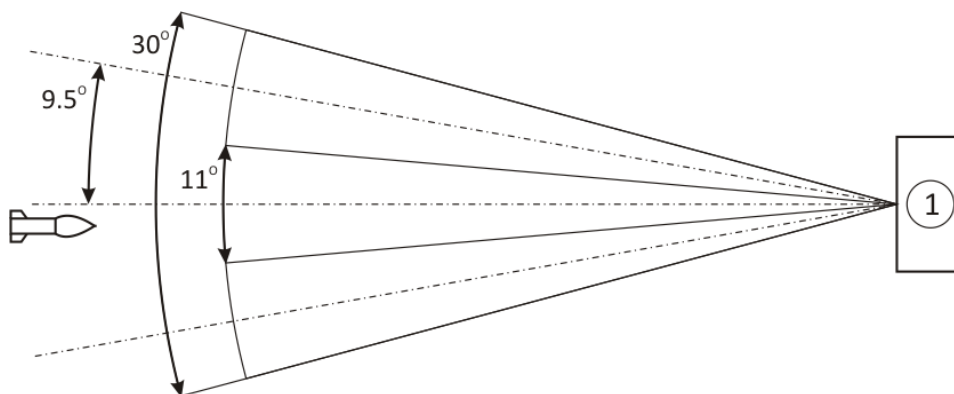
It is obvious that the angle of observation for each zone and referring to it the grenade flying time from the specific zone to the barrier has to be matched at testing to

ności działania destruktora.

Zgodnie z wnioskami, po wstępnych badaniach poligonowych zdecydowano, że układy detekcyjne będą wyposażone tylko w detektory podczerwieni typu PVI (detektor fotowoltaiczny). Ponieważ horyzontalny kąt pola widzenia detektorów wynosi 11° , to żeby zaspokoić zakładaną w projekcie 30° strefę ochrony pojazdu, zdecydowano się na zastosowanie trzech torów detekcyjnych, których pola widzenia częściowo się pokrywają. Sytuację tę zobrazowano schematycznie na rysunku 6.

maximise the efficiency of destructor action.

According to the initial test conclusions it has been decided that the detecting systems will be equipped only with infrared detectors PVI (photovoltaic detector). As the horizontal field of view of detectors is 11° then it has been decided to use three detecting channels with partially overlapping fields of view to get the assumed in the design a 30° protecting zone of the vehicle. This situation is outlined in the figure 6.



Rys. 6. Struktura pola widzenia głowicy detekcyjnej (widok z góry): (1) głowica detekcyjna
Figure 6. Structure of detection head field of view (view from the top): (1) detection head

4. Optoelektroniczna głowica detekcyjna

Głowica detekcyjna wchodząca w skład demonstratora technologii ASOP zaprojektowana została w oparciu o głowice z torami optycznymi wyposażonymi w pryzmaty rozszczepiające pole widzenia (dwie strefy obserwacji). Ideą nadrzędną w pracach projektowych była możliwość zapewnienia obserwacji dookólnej, w pełnym kącie azymutalnym. Na rysunkach 7, 8 i 9 zaprezentowano fotografie nowej wersji głowicy detekcyjnej.

W toku badań okazało się, że pasywna kurtyna podczerwieni powinna mieć dwa pola widzenia, zorientowane w elewacji pod różnymi kątami. Najprostszym rozwiązaniem byłoby zastosowanie dwóch głowic detekcyjnych rozsuniętych na pewną odległość i zorientowanych pod różnymi kątami. Dużo efektywniejszym rozwiązaniem jest jednak pojedyncza głowica ze zmodyfikowanym torem odbiorczym.

4. Optoelectronic detection head

Detection head is a part of technology demonstrator ASOP and was designed on the base of heads with optical channels equipped with prisms for splitting the field of view (two zones of observation). The general idea in designing work was a possibility for providing all directional observation within the whole azimuth angle. The pictures of a new version of detection head are presented in figures 7, 8 and 9.

It has been proved at the range tests that the passive infrared barrier has to have two fields of view oriented at different angles in elevation. The simplest solution would be the application of two detection heads shifted at a distance and oriented at different angles. But the single head with a modified receiving channel is a more effective solution.

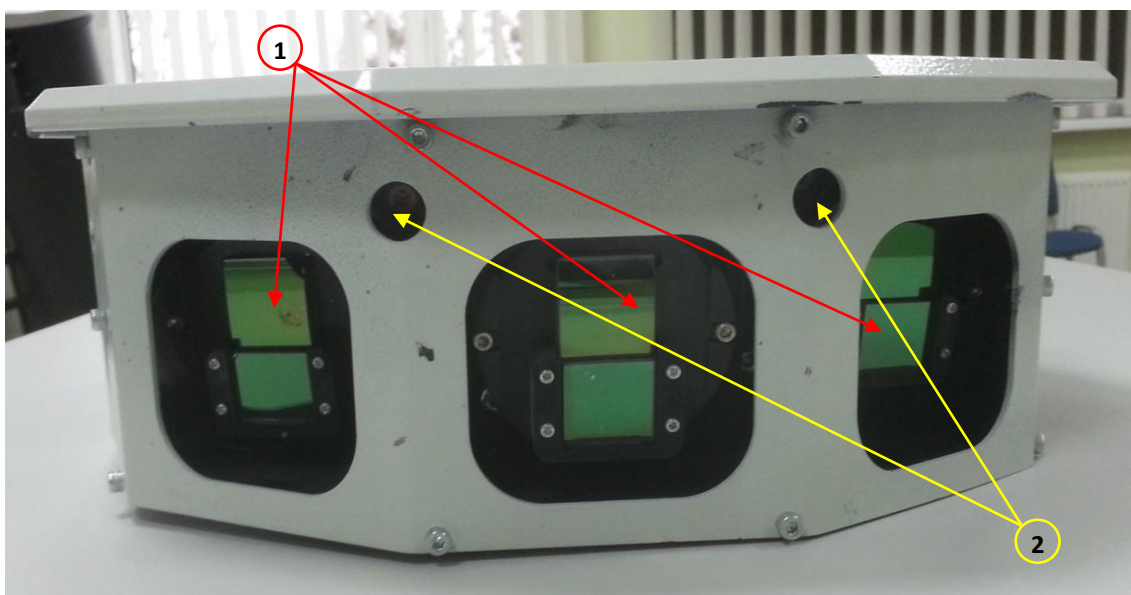
Dlatego, przed soczewkami wejściowymi w każdym z torów detekcyjnych umieszczone zostały pryzmaty tak, aby przykrywały połowę ich apertur. Zadaniem pryzmatów jest wytworzenie drugich pól widzenia, których osie nachylone są pod kątem 7° do osi normalnych pól widzenia. Tym sposobem, pojedynczy tor optyczny ma dwa rozseparowane i zorientowane w elewacji pod różnymi kątami pola widzenia.

For this reason in front of the input optics the prisms were placed and they screen the half of its aperture. The task of the prisms is to create second fields of view with the axes tilted under the angle of 7° against the normal axes of fields of view. In this way the singular optical channel has two fields of view which are separated and oriented in elevation at different angles.



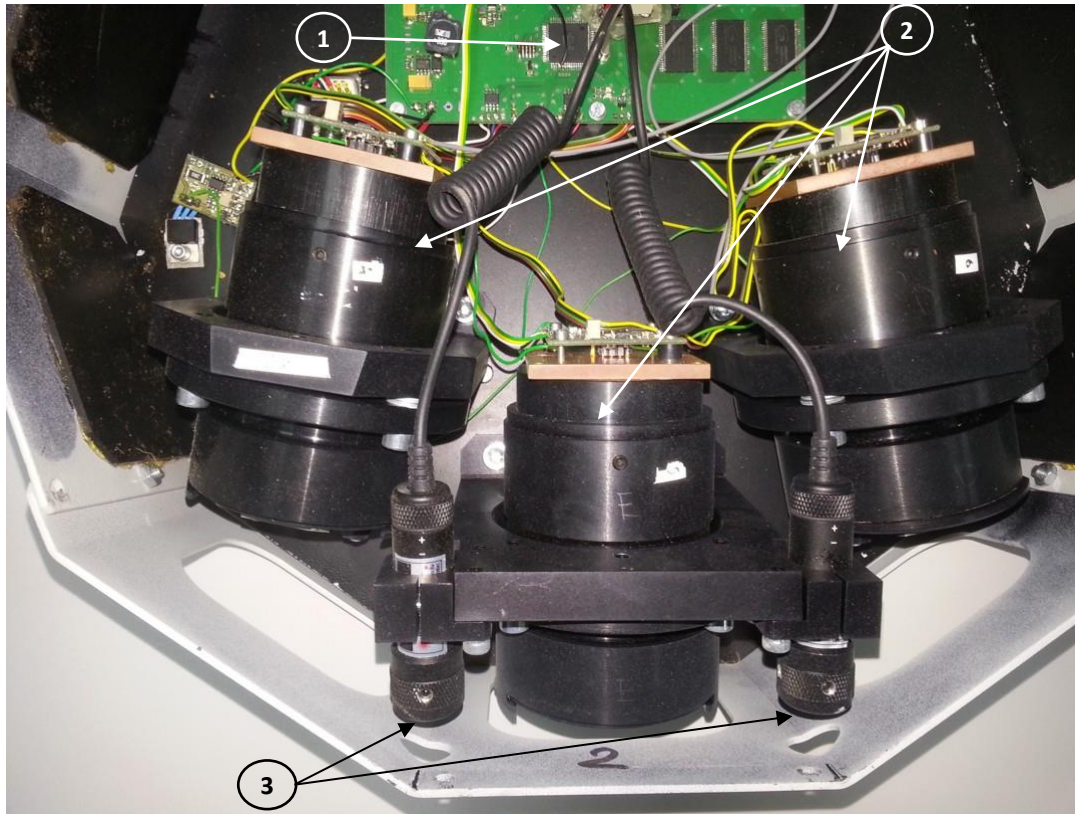
Rys. 7. Widok ogólny głowicy detekcyjnej

Figure 7. General view of detection head



Rys. 8. Widok głowicy detekcyjnej od frontu: (1) tor detekcyjny z pryzmatami, (2) wskaźnik laserowy

Fig. 8. Front view of detection head: (1) detection channel with prisms, (2) laser pointer



Rys. 9. Widok wnętrza głowicy detekcyjnej: (1) układy elektroniczne sterowania i akwizycji, (2) tor detekcyjny, (3) wskaźnik laserowy

Figure 9. The inside view of detection head: (1) electronic units of control and acquisition, (2) detection channel, (3) laser pointer

5. Wyniki badań

Badania poligonowe miały na celu sprawdzenie poprawności funkcjonowania głowicy (wiarygodnego wykrywania lecącego granatu), jej współdziałania z modułem decyzyjnym oraz możliwości właściwego w czasie inicjowania destruktora sygnałem pochodzącym z pasywnej kurtyny podczerwieni. Głowica zamontowana została na rampie o wysokości 4 m, która umieszczona była w odległości około 170 m od wyrzutni. Kąt ustawienia głowicy w elewacji dobrano tak, aby środek pola widzenia bliższego znajdował się około 10 m od rampy (na poziomie gruntu). Granat lecący na wysokości 1,5 m wyjdzie wtedy z tej strefy w odległości 7-8 m od rampy.

Przelot granatu od wyrzutni do tarczy monitorowany był za każdym razem w zakresie widzianym przy pomocy szybkiej kamery wizyjnej, ustawionej w odległości około 10m od osi strzelania. Pole widzenia kamery zorien-

5. Results of tests

The range tests were aimed to examine the correctness of head's operation (reliable detection of flying grenade) and its interface with the decision module and possibilities to initiate the destructor by signal from the passive infrared barrier properly in time. The head was integrated in the platform with 4 m height placed ca. 170 m from the launcher. The head was set in elevation in such a way that the centre of close field of view was ca. 10 m from the platform (on the surface of the ground). The grenade flying on the height of 1.5 m leaves the zone in the distance 7-8 m from the platform.

The path of the grenade to the barrier was monitored each time on the optical visible range by high speed camera that was set ca. 10 m from the firing axis. The field of view of the camera was oriented

towano prostopadle do osi strzelania ze środkiem umiejscowionym 10 m od tarczy. Dzięki temu możliwe było określenie czasu przelotu i momentu wyjścia ze strefy obserwacji i korelowanie tych danych z wynikami sczytywanymi z głowicy detekcyjnej. Pozwalało to weryfikować poprawność współdziałania głowicy z modułem decyzyjnym i wypracowywać odpowiednie czasy do inicjacji destruktora. Kamera rejestrowała filmy z szybkością kadrowania 1000 fps (z ang. frame per second).

W pierwszym etapie badań poligonowych testowano samą kurtynę podczerwieni, przy czym do modułu decyzyjnego podłączone zostały głowki zapalcze imitujące działanie modułu destruktora. Zaimplementowany w module decyzyjnym algorytm miał odpalać główkę zapalczą w chwili, gdy lecący granat wyjdzie z bliższej strefy obserwacji głowicy detekcyjnej. Na rysunku 10 zaprezentowano przykładowe wyniki badań w formie wybranych kadrów jednego z zarejestrowanych filmów. Na pierwszym z kadrów widać lecący granat w chwili opuszczania strefy bliższej (7-8 m od rampy), zaznaczonej przerywanymi liniami. Na kolejnym kadrze, opóźnionym o 1 ms, widać przemieszczony granat i moment odpalenia głowki zapalczej. Przelot granatu przez obie strefy obserwacji monitorowany był także przez samą głowicę detekcyjną.

Na rysunku 11 pokazano przykładowy sygnał z kanału 2 głowicy, gdzie kolejne impulsy odwzorowują przelot granatu przez odpowiadającą im strefę obserwacji. Wyjście ze strefy bliżej nastąpiło po 819 ms od momentu odpalenia granatu, natomiast zapłon głowki zapalczej nastąpił 1 ms później. Opóźnienie to spowodowane jest z jednej strony nieokreślonością pochodzącą od szybkości kadrowania kamery (1 ms), z drugiej natomiast, bezwładnością inicjacji i spalania materiału wybuchowego w głowce zapalczej. Dalsze badania pokazały, że opóźnienie to waha się od 1 ms do 2 ms.

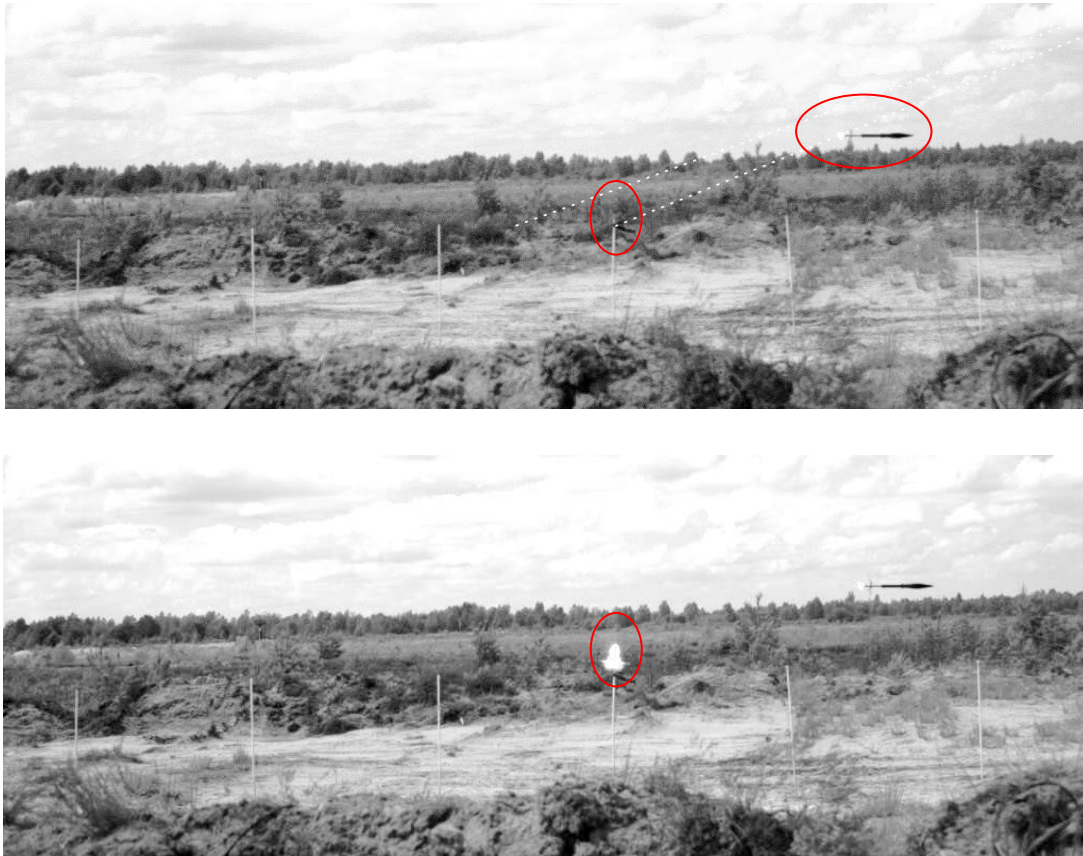
W kolejnym etapie badań sprawdzeniu podlegało współdziałanie modułu detektora, modułu decyzyjnego i modułu destruktora oraz osiągnięcie ich odpowiedniej synchronizacji czasowej, pozwalającej skutecznie chronić przed ręcznymi granatnikami przeciwpancernymi.

perpendicularly to the firing axis with the centre placed 10 m from the barrier. It provided the determination of the flying by time and the moment of leaving the observation zone and the correlation of this data with the results received from the detecting head. It enabled to work out the relevant times to initiate the destructor and to verify compatibility between the head and the decision module. The camera has recorded films with the rate 1000 fps (frames per second).

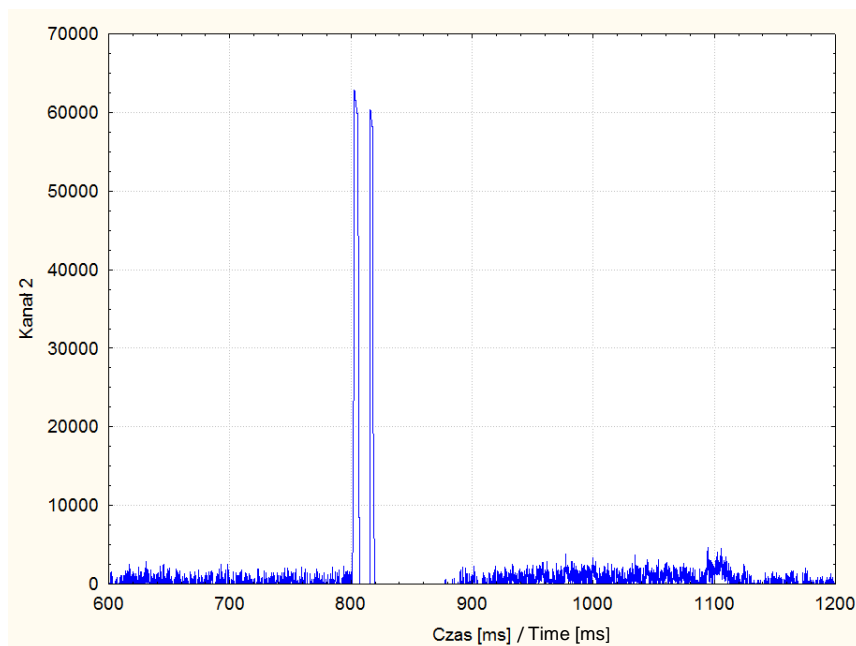
In the first stage of range tests the infrared barrier was tested itself and the igniting heads were connected to the decision module to simulate the action of destructor module. The algorithm implemented in the decision module had to fire the igniting head in the moment when the flying grenade left the detection head close observation zone. The exemplary results of tests are presented in figure 10 in the form of some selected frames of recorded pictures. The first frame presents the flying grenade in the moment of leaving the close zone (7-8 m from the platform) marked by dotted lines. On the next frame that is delayed by 1 ms the shifted grenade and the moment when the igniting head is fired are visible. The flow of the grenade by two observation zones was also monitored by the detecting head itself.

The exemplary signal from channel 2 of the head is presented in figure 11 where the consecutive pulses represent the flow of the grenade through the respective observation zone. The close zone was left by 819 ms from the moment of grenade launching and 1 ms later the igniting head was fired. This delay is caused from the one side by the ambiguity resulting from the camera rate of framing (1 ms) and from the other side by the inertia of initiation and burning the explosive material within the igniting head. The further tests have proved that this delay is between 1 ms to 2 ms.

In the next stage of tests the compatibility and time synchronisation of detector module, decision module and destructor module providing the effective protection against the portable antitank missiles were tested.



Rys. 10. Kadry z filmu zarejestrowanego dla strzału Nr 3 z dnia 25.06.2013 r.: (a) wyjście granatu ze pola widzenia głowicy, (b) moment zapłonu główki zapalczej względem lecącego granatu
Figure 10. Pictures recorded for shot No 3 on 25.06.2013: (a) grenade leaving the head's field of view, (b) moment of firing the igniting head in reference to flying grenade



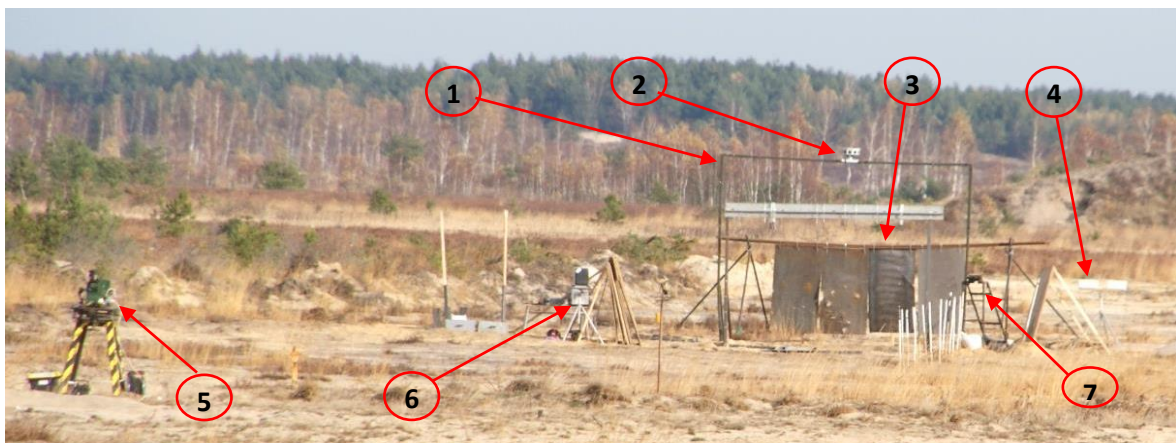
Rys. 11. Przebieg sygnału z kanału 2 głowicy detekcyjnej, strzał Nr 3 z dnia 25.06.2013 r.
Figure 11. Signal from channel 2 of detecting head, shot No 3 from 25.06.2013.

Tak jak w pierwszym etapie, rampę z umocowaną na niej głowicą detekcyjną ustawiono w odległości około 170 m od wyrzutni. Głowicę zorientowano tak, aby lecący na wysokości 1.8 m granat wychodził ze stref obserwacyjnych w odległości 20 m i 11 m od rampy. Przed rampą, w odległości 2 m rozwieszono stalowe płyty imitujące burtę wozu bojowego. Całość poligonowego stanowiska badawczego pokazana została na rysunku 12.

Zniszczenie granatu przez destruktory kulkowy osiągnięto po przekonfigurowaniu kurtyny podczerwieni, polegające na przesunięciu bliższej strefy obserwacji głowicy detekcyjnej w kierunku rampy. Granat lecący na wysokości od 1,5 m do 1,8 m opuszcza teraz pole widzenia głowicy w odległości 5-6 m od rampy. Ukazuje to wyraźnie kadr (a) na rysunku 13, gdzie zamieszczono sekwencję wybranych kadrów z filmu zarejestrowanego dla jednego ze strzałów. Lecący granat opuszcza strefę bliższą (oznaczoną liniami kreskowanymi) 825 ms od chwili wystrzelenia. Na kolejnym kadrze (b), opóźnionym w czasie o 1 ms w stosunku do poprzedniego, widać moment odpalenia główki zapalczącej. Inicjacja destruktora następuje 827 ms od chwili wystrzelenia granatu, co pokazuje kadr (c). Kilka milisekund później granat wchodzi w strefę oddziaływania destruktora i następuje jego detonacja. Zobrazowuje to kadr (d), uchwycony 831 ms od chwili wystrzelenia granatu.

In the same way as in the first stage the platform with fixed detecting head was set in the distance ca. 170 m from the launcher. The head was oriented in a way to secure the observation zones were left by the grenade flying on the height of 1.8 m at the distances of 20 m and 11 m from the platform. In front of the platform at the distance of 2 m two steel plates were put to imitate the side of a combat vehicle. The whole range experimental set-up is presented in figure 12.

The destruction of the grenade by a projectile destructor was achieved after the re-configuration of the infrared barrier by shifting the head close observation zone towards the platform. The grenade flying within the heights of 1.5 m to 1.8 m leaves now the head's field of view in distance of 5-6 m from the platform. It is clearly presented in picture (a) in figure 13 where a sequence of selected frames recorded for a shot is presented. The flying grenade leaves the close zone (marked by interrupted lines) 825 ms after the launching. In the next frame (b) that is delayed by 1 ms against the former one the moment of firing the igniting head is visible. The initiation of the destructor occurs 827 ms after launching the grenade what is presented in the frame (c). A few milliseconds later the grenade enters in the zone of destructor's action and its detonation takes place. It is presented in the picture (d) captured 831 ms after launching the grenade.



Rys. 12. Poligonowe stanowisko badawcze: (1) rampa, (2) głowica detekcyjna, (3) tarcza, (4) radar szumowy, (5) wyrzutnia, (6) radar impulsowy, (7) destruktory lufowy

Figure 12. Testing set-up on the range: (1) platform, (2) detecting head, (3) target (barrier), (4) noise radar, (5) launcher, (6) pulse radar, (7) gun (destructor)



Rys. 13. Kadry z filmu zarejestrowanego dla strzału nr 4 z dnia 01.10.2013 r.: (a) wyjście granatu ze pola widzenia głowicy detekcyjnej, (b) zapłon główki zapalczącej sygnałem z głowicy, c) odpalenie destruktora, (d) zniszczenie granatu przez destruktora

Figure 13. Pictures recorded for shot No 4 on 01.10.2013: (a) exit of the grenade from detection head field of view, (b) ignition of the igniting head by the signal from the head, c) firing the destructor, (d) destruction of the grenade by destructor

6. Wykrywanie pocisków podkalibrowych

Opracowana do potrzeb ASOP głowica detekcyjna wykorzystana została także w badaniach zjawisk towarzyszących procesom wystrzelenia i przelotu pocisku podkalibrowego. Głównym celem było sprawdzenie możliwości wykrywania szybko lecących pocisków (prędkość ok. 1800 m/s).

Pomiary odbywały się w sąsiedztwie osi strzeleckiej o długości 1000 m, gdzie na jednym

6. Detection of kinetic projectiles

Detecting head developed for ASOP was also used to investigate phenomena occurring at firing and flying kinetic projectiles. The main aim was to examine the possibilities of detecting the projectiles moving with high velocity (ca. 1800 m/s).

The measurements were carried out in the vicinity of firing axis having the distance of 1000 m where at one end was placed the tank

końcu umieszczono armatę czołgową, a na drugim - tarczę. W odległości 205 m od armaty ustawiono rampę, na której została zamocowana głowica detekcyjna. Przy takiej konfiguracji, lecący pocisk wchodzi w strefę obserwacji głowicy na wysokości około 2 m. Stanowisko pomiarowe usytuowano około 15 m od osi strzeleckiej.

W trakcie pomiarów, oprócz głowicy detekcyjnej, wykorzystano dodatkowo szybką kamerę MWIR (pracująca w paśmie 3-5 μm) do zarejestrowania przelotu pocisku przez strefę obserwacji głowicy detekcyjnej i wyznaczenia wielkości i rozkładu temperatury na powierzchni lecącego pocisku, oraz radiometr UV do rejestracji emisji w paśmie „solar-blind” podczas wystrzału z armaty.

Przykładowy wynik w postaci przebiegu sygnału z jednego z torów detekcyjnych głowicy detekcyjnej pokazany został na rysunku 14. Usytuowanie głowicy względem toru lotu pozwalało wykrywać lecący pocisk tylko w kanałach 2 i 3, przy czym w kanale trzecim pocisk detektowany był w obydwu strefach obserwacyjnych. Potwierdza to rysunek 15, na którym widać rozciągnięty w czasie wyraźnie zaznaczony pik z rysunku 14.

W kanale 1 głowicy można było natomiast zaobserwować tylko sygnał pochodzący od promieniowania podczerwonego w paśmie 3-5 μm emitowanego podczas wystrzału armatniego.

Nie udało się zmierzyć temperatury ani jej rozkładu na powierzchni lecącego pocisku podkalibrowego. Kamera została skonfigurowana do pomiarów temperatur w zakresie do 300 °C.

W trakcie badań okazało się, że temperatura w kilku miejscach na powierzchni lecącego pocisku znacznie przewyższa tą wartość, w efekcie czego matryca detektorów wchodziła w obszar pracy z częściowym nasyceniem. Widać to wyraźnie na rysunku 16, przedstawiającym dwa kolejne kadry z filmu zarejestrowanego kamerą MWIR podczas strzelania pociskami podkalibrowymi. Obraz na pierwszym z nich jest wyraźnym i typowym obrazem termowizyjnym. W momencie, gdy w polu widzenia kamery pojawił się pocisk podkalibrowy, obraz uległ diametralnej zmianie, świadcząc o zdecydowanym przesterowaniu detektorów w matrycy.

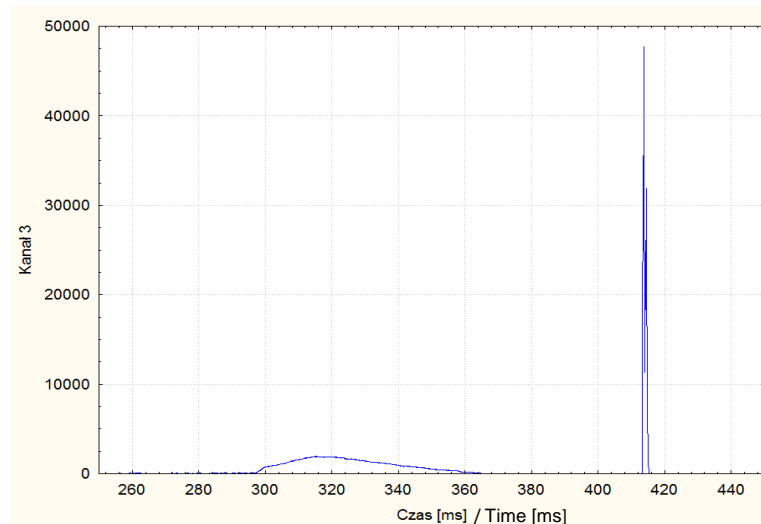
gun and at the other there was the barrier (target). Within the distance of 205 m from the gun the platform was set with fixed detecting head. At such configuration the flying projectile enters the head observation zone at the height of ca. 2 m. The measurement set-up was placed ca. 15 m from the firing axis.

During the measurements apart of the detection head there was additionally used the high speed camera MWIR (operating on 3-5 μm band) to record the flying of the projectile through the detection head observation zone and distribution of temperature on the surface of flying projectile, and moreover the UV radiometer to record the emission on „solar-blind” band at gun firing.

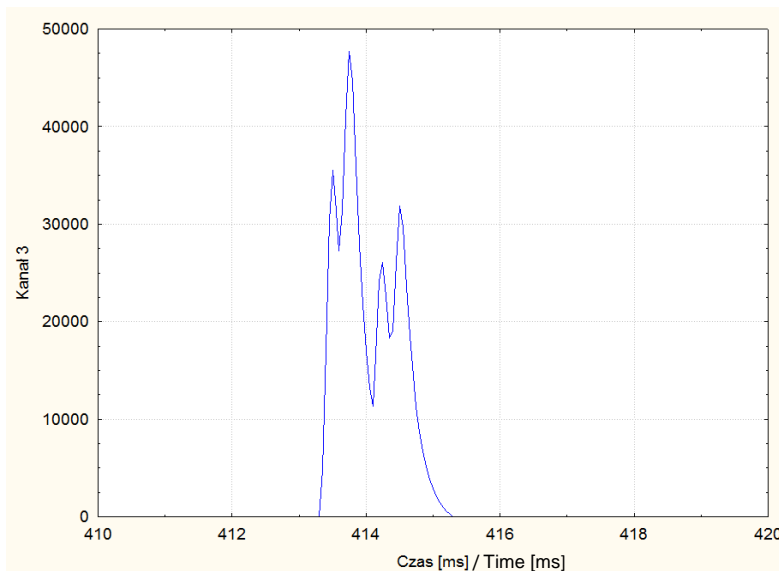
An exemplary result in the form of a signal in one of detecting head channels is presented in figure 14. The position of the head in reference to flying path has secured the detection of flying projectile only in channels 2 and 3 whereas in the third channel the projectile was detected in two observation zones. It is confirmed by figure 15 where the peak of time extended signal marked in figure 14 is clearly visible.

In channel 1 of the head it was observed only a signal originating from the infrared radiation on 3-5 μm band that is emitted at the gun shot.

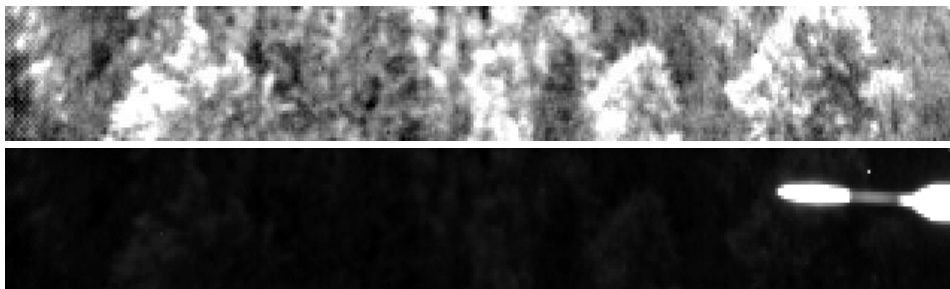
The flying of the projectile through the observation zones was also monitored by a thermo vision camera operating on 3-5 μm band. Unfortunately the temperature and its distribution on the surface of flying kinetic projectile were not measured. The camera was set for measurements temperatures up to 300 °C. As it proved at testing the temperature of a few places exceeded significantly this value and in the result of this the matrix of detectors operated in the region of partial saturation. It is clearly visible in figure 16 that presents two consecutive frames recorded by MWIR camera at firing kinetic projectiles. The picture of the first one is a clear and typical thermo vision example. When the kinetic projectile appeared within the field of view of the camera the picture has changed completely as the detectors in the matrix were overloaded.



Rys. 14. Przebiegi sygnałów z kanału 3 głowicy detekcyjnej dla pocisku podkalibrowego
Figure 14. Signals from channel 3 of detecting head for a kinetic projectile



Rys. 15. Rozciągnięty w czasie przebieg sygnału z kanału 3 głowicy detekcyjnej dla pocisku podkalibrowego
Figure 15. Extended in time signal from channel 3 of detecting head for a kinetic projectile



Rys. 16. Dwa kolejno po sobie następujące kadry z filmu zarejestrowanego szybką kamerą termowizyjną (MWIR): pocisk podkalibrowy
Figure 16. Two consecutive pictures taken by high speed thermo vision camera (MWIR): kinetic energy projectile

Analizując dane z kamery termowizyjnej można stwierdzić, że lecący pocisk podkalibrowy ma bardzo gorącą przednią część, chłodniejszy środek i bardzo gorącą część tylną, gdzie znajdują się lotki. Nie można określić dokładnej temperatury gorących obszarów, można jednak stwierdzić, że wynosiła ona ponad 300 °C. Charakterystyczne jest ponadto, że każdy z obszarów ma mniej więcej taką samą długość, dzieląc pocisk na trzy równe strefy. Zostało to także odwzorowane w przebiegach sygnałów z głowicy detekcyjnej. Istotnie, na rysunku 15 maksima i minima w pikach związanych z przelotem pocisku przez strefy obserwacji głowicy, odpowiadają przejściu gorącej, chłodnej i ponownie gorącej części pocisku przez strefę obserwacji.

Każdy wystrzał z armaty monitorowany był także w paśmie „solar-blind” przy pomocy radiometru UV. Rejestracja emisji promieniowania ultrafioletowego przy wystrzale miała na celu znalezienie jej cech charakterystycznych (tzw. sygnatura optyczna), pozwalających na jednoznaczną identyfikację zdarzenia. Ma to duże znaczenie przy opracowywaniu automatycznych systemów obrony, ponieważ umożliwia redukcję prawdopodobieństwa fałszywych alarmów. Na rysunku 17 pokazany został przebieg sygnału z radiometru UV zarejestrowany podczas jednego ze strzałów. Widać wyraźnie silny i wąski pik na początku emisji. Jego średni czas trwania na połowie wysokości (FWHM) wynosi 0,45 ms. Po pikie następuje zasadnicza emisja odzwierciedlona w postaci szerokiego impulsu o czasie trwania 36 ms (FWHM). Czas trwania mierzony u podstawy (między punktami, w których sygnał osiąga 10% wartości w maksimum) wynosi średnio 60 ms.

7. Podsumowanie

Uzyskane z badań wyniki potwierdziły słuszność idei pasywnej kurtyny podczerwieni i jej przydatność w systemie aktywnej obrony wozów bojowych przed ręcznymi granatnikami przeciwpancernymi. Głowice optoelektroniczne z pasywnymi czujnikami podczerwieni mogą stanowić cenne uzupełnienie dla radarów mikrofalowych lub nawet być dla nich pełnowartościową alternatywą w systemach ASOP. Ważne przy tym jest, że tylko na podstawie geometrii kurtyny, tzn. wzajemne-

Analysing data from thermo vision camera it is seen that the flying kinetic energy projectile has the hot front part, the cooler centre and very hot rear part where the fins are. The accurate measurement of hot parts was not possible apart that it was above 300 °C. An interesting thing is that each of these areas has the similar length what divides the projectile on three equal zones. This was also reflected in characters of signals from the detecting head. Actually the maximum and minimum of the curve in figure 15 correspond the passing by the hot, cool and again hot parts of the projectile through the observation zone.

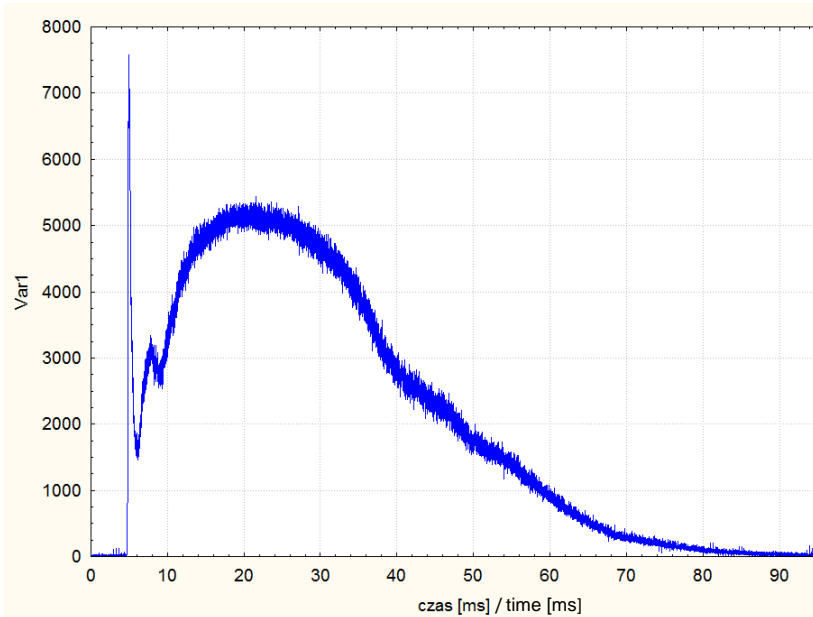
Each shot from the gun was also monitored on „solar-blind” band by UV radiometer. The ultraviolet radiation occurring at the shot was recorded to find out its specific characteristics (so called optical signature) which could secure unambiguous identification of the event. It has a great meaning at the development of automatic defence systems as it reduces the levels of false alarms. The signal from UV radiometer recorded at one of the shots is presented in figure 17. A strong and narrow peak is clearly visible at the start of emission. Its mean time of duration on the half of its value (FWHM) is 0.45 ms. After the peak the main part of the emission occurs in the form of the wide pulse with time of duration 36 ms (FWHM). The duration time measured at the base (between points where the signal has 10% of its maximum) is on average 60 ms.

7. Conclusions

The results received at experiments confirmed the concept of passive infrared barrier for active defence of combat vehicles against antitank portable grenade launchers. The optoelectronic heads with passive infrared sensors may be used as an important addition to microwave radar systems or as a complete alternative in ASOP systems. The important factor is that only basing on the geometry of the barrier i.e. the mutual positioning of ob-

go usytuowania stref obserwacji i ich skorelowania z polem rażenia destruktora, można w module decyzyjnym wypracować sygnały o takich parametrach czasowych, aby destruktor inicjowany był do działania w czasie optymalnym z punktu widzenia zniszczenia granatu. Nie jest zatem konieczna znajomość prędkości lotu granatu, a tym bardziej jej wektora, co w efekcie przyspiesza działanie systemu, znacząco go upraszcza i obniża cenę.

servation zones and their correlation with the destructor hitting area it is possible to work out such time signals in the decision module which provide the initiation of the destructor in the optimal time for destruction of the grenade. There is no need to know the velocity of the grenade, and especially its vector, and it finally speeds the operation of the system but also simplifies it and reduces its price.



Rys. 17 . Emisja w ultrafiolecie towarzysząca wystrzeleniu pocisku podkalibrowego
Figure 17. Ultraviolet emission occurring at firing kinetic energy projectile

Należy podkreślić, że mimo iż prezentowana w niniejszym opracowaniu głowica optoelektroniczna opracowana została w celu wykrywania wolno lecących obiektów typu granaty RPG, to okazała się także przydatna do detekcji szybko lecących pocisków podkalibrowych. Badania pokazały, że jej rozdzielczość przestrzenna i czasowa jest wystarczająca w tym względzie.

Wstępne badania sygnatur optycznych dały bardzo obiecujące wyniki, jeśli chodzi o rozpoznawanie zdarzeń na podstawie emisji promieniowania ultrafioletowego. W eksperymencie uzyskano na tyle specyficzne charakterystyki czasowe sygnałów rejestrowanych w paśmie „solar-blind” przy odpalaniu pocisków typu RPG (czas trwania emisji 2 – 3 ms), że możliwa staje się skuteczna ich identyfikacja oraz odróżnienie od różnych zdarzeń stanowiących źródła zakłóceń (czas

It has to be stressed that in spite of the fact that the optoelectronic head presented in the paper was developed to detect slow flying objects like RPGs it proved to be useful for detection of high speed flying kinetic energy projectiles. The tests proved that its space and time resolution is sufficient for this reason.

The initial tests of optical signatures provided some promising results concerning the recognition of events on the base of ultraviolet radiation emission. The experiment provided sufficiently specific time characteristics of recorded signals recorded on „solar-blind” band at launching RPG type missiles (emission duration time 2 – 3 ms) that their identification and discerning among different events creating the interference signals can become effective (emission duration time

trwania emisji powyżej 6 ms). To samo tyczy się strzelania pociskami podkalibrowymi.

W sposób naturalny rodzi się wniosek, że należy kontynuować badania nad sygnaturami optycznymi w paśmie „solar-blind”. Ich pełna znajomość pozwoli rozpoznawać niemal bezbłędnie sygnały o zagrożeniach, pozwalając szybko podejmować odpowiednie przeciwdziałania neutralizujące samo zagrożenie lub minimalizujące jego skutki. Jeśli jeszcze detekcja w ultrafiolecie wsparta zostałaby czujnikami pracującymi w innych pasmach spektralnych lub działających na innych zasadach, to prawdopodobieństwo wykrycia i poprawnej identyfikacji zagrożenia mogłoby osiągnąć wartość stu procentową.

above 6 ms). The same refers to firing kinetic energy projectiles.

It is a quite natural conclusion that optical signatures on „solar-blind” band have to be more investigated. The complete knowledge of them can help to recognise almost without any errors the signals of threats to undertake relevant counteractions which may neutralise or minimise the effects of these threats. If the ultraviolet detection was supported by sensors operating on other spectral bands or other rules then the probability of detection and correct identification of threats would reach the value of hundred percent.

Literatura / Literature

- [1] *The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook, Vol. 2: Atmospheric Propagation of Radiation*, Ed. F.G. Smith, SPIE, Bellingham Washington 1993
- [2] *Technical Information SD-12, Characteristics and use of infrared detectors*, Hamamatsu, 2004
- [3] http://www.ioe.wat.edu.pl/data/zalaczniki/page212/06_radiometr-UV/karta%20katalogowa%20radiometr%20UV.pdf

Praca częściowo dofinansowana przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu Nr DOBR-BIO4/031/13249/2013 „Inteligentny pocisk do zwalczania pocisków przeciwpancernych”

The work has been partly funded by the National Centre of Research and Development under project No DOBR-BIO4/031/13249/2013 „Smart Missile Fighting Anti-tank Missiles”

