

Stanisław MILEWSKI, Tomasz PRACZYK

AKADEMIA MARYNARKI WOJENNEJ, INSTYTUT UZBROJENIA OKRĘTOWEGO I INFORMATYKI
ul. Śmidowicza 69, 81-137 Gdynia

Wybrane aspekty procesu wyznaczania sygnatur termicznych jednostek pływających

Dr inż. Stanisław MILEWSKI

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (1993). Specjalność optoelektronika. Adiunkt w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego i Informatyki Wydziału Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Działalność naukowa jest związana z zastosowaniem systemów podczerwieni w morskich systemach uzbrojenia.



e-mail: s.milewski@amw.gdynia.pl

Dr hab. inż. Tomasz PRACZYK

Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (1996). Specjalność informatyka. Adiunkt w Instytucie Uzbrojenia Okrętowego i Informatyki Wydziału Nawigacji i Uzbrojenia Okrętowego Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Główne zainteresowania naukowe obejmują: neuroewolucje, sieci neuronowe, automatyzację nawigacji morskiej, nawigację podwodną, robotykę podwodną, identyfikację obiektów.



e-mail: t.praczyk@amw.gdynia.pl

Streszczenie

Jednym z wielu zastosowań kamer termowizyjnych na morzu jest poszukiwanie oraz identyfikacja jednostek pływających. Skuteczna realizacja wymienionych zadań wymaga wcześniejszego pozyskania i opracowania określonych zasobów informacji, które są zgromadzone i dostępne np. w bazie sygnatur termicznych. W artykule przedstawiono dedykowaną aplikację komputerową wspomagającą proces wyznaczania sygnatur termicznych jednostek pływających.

Słowa kluczowe: podczerwień, poszukiwanie, identyfikacja, sygnatura termiczna.

Selected aspects of the process of determining ship thermal signatures

Abstract

Thermal imaging systems (IR systems) are used in many areas at sea. In maritime applications, their task is mainly to search for objects and to identify them. In order to effectively search and identify maritime objects based on measurements made by IR systems, it is necessary to represent them and measurement conditions (also parameters of the systems themselves) in the form of thermal signatures. The signatures should exclusively include parameters important from the point of view of further processing, other parameters should be neglected in the signatures. To effectively calculate thermal signatures for ships, a specialized computer program has been implemented. The program enables an operator to indicate parameters of ships, measurement and sensor, to select image of the ship, to extract it from the image, to analyze the image, to calculate signature, and finally to memorize it in a database. Functionality of the program is shortly described in the paper.

Keywords: infrared, search, identification, thermal signature.

1. Wprowadzenie

W aplikacjach morskich kamery termowizyjne znajdują szerokie zastosowanie zarówno w dziedzinach militarnych, jak i cywilnych. Główne i najbardziej interesujące obszary zastosowań to:

1. Kierowanie Ogniem morskiego uzbrojenia, a w tym naprowadzanie pocisków raketowych.
2. Nawigacja morska i ochrona portów.
3. Poszukiwanie i Ratownictwo Morskie.

W najbardziej uogólnionym przypadku, w każdym z wymienionych obszarów zastosowania kamer termowizyjnych występują dwa podstawowe procesy tj.:

1. Proces poszukiwania - którego ostatnim elementem jest wykrycie obiektu.
2. Proces śledzenia - w którym, na podstawie cech obiektu następuje jego identyfikacja.

Wskazane procesy są realizowane automatycznie lub półautomatycznie (z udziałem człowieka) w oparciu o dedykowane algorytmy poszukiwania i śledzenia. Ich skuteczność jest oceniana na

podstawie uzyskiwanych zasięgów, odpowiednio: wykrycia i identyfikacji obiektów. W warunkach morskich, obiektami poszukiwania są najczęściej jednostki pływające.

Głównymi czynnikami wpływającymi na zasięgi wykrycia i identyfikacji obiektów w warunkach morskich są specyficzne warunki meteorologiczne - determinujące właściwości transmisyjnej atmosfery oraz dystynktywne cechy obiektów - charakteryzujące je w zakresie podczerwieni. W projektowanych aplikacjach, a w szczególności w systemach rozpoznania, do osiągnięcia dużych zasięgów wykrycia i poprawnej identyfikacji jednostek pływających jest więc wymagana wiedza na temat właściwości transmisyjnych atmosfery, jak również cech optycznych i termicznych obiektów. Cechy obiektów lub też zgodnie z [1] „zbiór widmowych i przestrzennych charakterystyk jednej lub kilku wielkości fizycznych opisujących pole cieplne obiektu, które umożliwiają jego wyróżnienie z tła” - przyjęło się określać mianem sygnatur termicznych.

Wyznaczenie sygnatury termicznej jednostki pływającej wymaga wykonania szeregu pomiarów, w tym pomiarów pola cieplnego z wykorzystaniem kamer termowizyjnych, w różnych warunkach meteorologicznych oraz wykonania obliczeń numerycznych. Obliczenia numeryczne dotyczą, przede wszystkim, oceny wpływu warunków propagacji promieniowania podczerwonego. Są one realizowane z wykorzystaniem dostępnych modeli transmisji atmosfery [2, 3].

Jak wcześniej wspomniano, odpowiedni zasób i opis charakterystyk pola cieplnego jednostek pływających są podstawą do konstrukcji ich sygnatur termicznych. Przy czym, w procesie tym, a zwłaszcza w warunkach morskich, należy również uwzględnić następujące czynniki: podstawowe parametry sensora (spektralny zakres pracy, czułość termiczna, pole widzenia oraz rozdzielczość), parametry obiektu (geometria oraz emisyjność), odległość, kąt i wysokość obserwacji, pora roku, pora dnia, stan morza oraz widzialność.

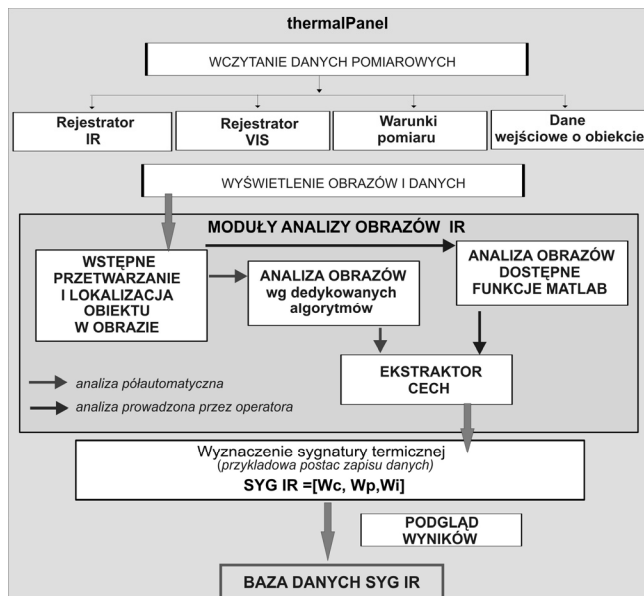
Przedstawiona problematyka związana z zastosowaniem kamer termowizyjnych na morzu posiada uniwersalny charakter, a jej główne aspekty powinny być analizowane przed przystąpieniem do projektowania i budowania systemów poszukiwania i identyfikacji obiektów. Poza tym, określenie warunków pracy oraz charakteru i właściwości obiektów zainteresowania decyduje i wspomaga proces wyboru optymalnych parametrów technicznych kamery termowizyjnej (systemu).

W artykule zaprezentowano aplikację o roboczej nazwie „thermalPanel”, która wspomaga proces związany z wyznaczaniem sygnatur termicznych obiektów morskich. Funkcjonalność aplikacji pozwala na uwzględnienie wszystkich - wymienionych powyżej - czynników mających wpływ na jakość sygnatury i tym samym na jej użyteczność w projektowanych systemach. Opracowane dane i wyniki działania programu mogą być archiwizowane w bazach danych sygnatur termicznych jednostek

plywających i wykorzystywane w różnorodnych obszarach zastosowania.

2. Opis aplikacji wspomagającej wyznaczenie sygnatur termicznych jednostek pływających

Aplikacja „thermalPanel” została zaimplementowana w środowisku Matlab, co oznacza, że podczas pracy wykorzystuje ona funkcje dostarczone przez ww. oprogramowanie narzędziowe. Konsekwencją tego jest również to, iż do poprawnego uruchomienia aplikacji wymagana jest instalacja środowiska Matlab. Algorytm działania aplikacji został zaprezentowany na rys. 1.



Rys. 1. Algorytm działania programu do konstrukcji sygnatur termicznych jednostek pływających

Fig. 1. The algorithm of the computer program for building thermal signatures of objects

3. Model wyznaczenia sygnatury termicznej

Podstawą wyznaczenia sygnatury termicznej w prezentowanej aplikacji „thermalPanel” są obrazy termiczne obiektów zarejestrowane w znanych warunkach pomiarowych, z uwzględnieniem parametrów określających: warunki meteorologiczne, parametry urządzenia rejestrującego, odległości rejestracji oraz położenia obiektu względem układu rejestrującego (dla obiektów pływających jest to tzw. kąt kursowy lub biegu).

Wstępne przetwarzanie (poprawa i unormowanie luminancji obrazów, lokalizacja obiektu, skalowanie obrazu) oraz operacje obliczeniowe na obrazach termicznych pozwalają na wyznaczenie wartości określonych wielkości fizycznych, charakterystycznych dla obiektu i tła oraz ich zapis w postaci wektora cech (Wc):

$$Wc = [SNR_{qc}, T_{maxu}, T_{sru}, Tb_{sru}, \Delta T_{sru}] \quad (1)$$

gdzie: SNR_{qc} – stosunek mocy sygnału obiektu do mocy sygnału tła; T_{maxu} – maksymalna, unormowana temperatura okrętu; T_{sru} – średnia, unormowana temperatura okrętu; Tb_{sru} – średnia, unormowana temperatura tła; ΔT_{sru} – średnia, unormowana różnica (kontrast) temperatury okrętu i tła.

Z informacji zawartych w obrazach termowizyjnym obiektów ekstrakcji podlegają tylko te dane, które jako wzorcowe - reprezentują obiekt, w danej klasie i typie. Dane te są zapisane w postaci przedstawionego już wektora cech. Ekstrakcja cech ma na celu zredukowanie wymiaru wektora danych. Proces ten jest przepro-

wadzany w taki sposób, aby nowo powstała przestrzeń cech była optymalna dla późniejszego wykorzystania, np. do klasyfikacji wykrytych obiektów.

Proces śledzenia prowadzący do identyfikacji obiektu wymaga bardziej złożonych danych identyfikacyjnych. Dlatego też, do pełnego opisu sygnatury termicznej obiektu jest niezbędne uzupełnienie wektora cech Wc o dane, które dotyczą warunków pomiaru oraz inne (dostępne) - wyróżniające obiekt spośród obiektów tej samej klasy i typu. W wersji roboczej aplikacji, przyjęto stosować zapis parametrów sygnatury termicznej w postaci wektora SYGIR:

$$SYGIR = [Wc, Wp, Wi] \quad (2)$$

gdzie: Wp – parametry określające warunki pomiaru, np.: temperatura otoczenia (powietrza i wody), siła i kierunek wiatru, kąt kursowy, kąt i wysokość obserwacji; Wi – inne, dostępne dane identyfikacyjne, np.: dane techniczne jednostki, nazwa, nr burto- wy, bandera, itp.

4. Opis działania aplikacji „thermalPanel”

Pierwszym etapem procesu wyznaczenia sygnatury jest wczytanie danych pomiarowych, dotyczących parametrów: obiektu, sensora i warunków pomiaru. Obraz obiektu, dla którego generowana jest sygnatura jest prezentowany na ekranie głównym programu. W kolejnym etapie działania programu następuje wstępne przetworzenie obrazu, a także lokalizacja obiektu w obrazie. Następnie, na podstawie dedykowanych algorytmów są generowane cechy obiektu, które będą służyły do opisu jego sygnatury termicznej. Wyniki działania algorytmów programu są wizualizowane w odpowiadających im zakładkach w oknie głównym.

Szczegółowy opis poszczególnych etapów konstrukcji sygnatur zaprezentowano poniżej - na przykładzie pomiarów przeprowadzonych dla statku badawczego Akademii Marynarki Wojennej m/v Puck. Podstawowe dane jednostki, w tym jego wymiary geometryczne zostały przedstawione na rys. 2.



Rys. 2. Widok m/v Puck oraz jego podstawowe cechy

Fig. 2. The general view of m/v Puck and its basic features

W prezentowanej aplikacji, wyznaczenie sygnatury termicznej jednostki pływającej m/v Puck, jest realizowane na podstawie obrazów rejestrowanych w paśmie LW ($8-12 \mu m$). Działanie aplikacji rozpoczyna się w momencie uruchomienia panelu głównego, który składa się z trzech podstawowych funkcji:

- dodawanie jednostek,
- dodawanie danych pomiarowych,
- analiza obrazów.

Funkcja "dodawanie jednostek" (rys. 3) pozwala na wprowadzanie informacji o jednostkach, dla których mają być generowane sygnatury termiczne. Do informacji tych należą, między innymi:

1. Klasa, typ, nazwa, nr burtowy;
2. Typ konstrukcji, podstawowe wymiary, rodzaj i typ napędu, wyposażenie.

Dodawanie jednostek jest również związane z wczytaniem do roboczej bazy danych zdjęć i obrazów termicznych zarejestrowanych w określonych warunkach pomiaru.

Kolejna funkcja "dodawanie danych pomiarowych" (rys. 2) pozwala na wprowadzenie danych dotyczących warunków pomiaru, między innymi:

- rodzaj, typ i parametry techniczne sensora;
- warunki meteorologiczne, a w tym stan morza i widzialność;
- odległość, kurs i prędkość jednostki.

"Analiza danych pomiarowych" to funkcja, która zapewnia:

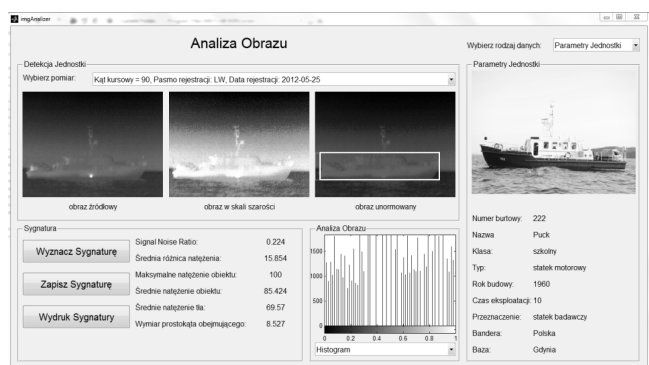
- 1) wczytanie do przestrzeni roboczej aplikacji i wyświetlenie wszystkich dostępnych danych dotyczących jednostki;
- 2) uruchomienie modułu Analiza Obrazów IR (rys. 1).

Z punktu widzenia tematyki artykułu najbardziej interesujący jest panel „Parametry pomiaru” (rys. 3) oraz „Analiza Obrazu” (rys. 4), w którym jest dokonywana analiza danych pomiarowych oraz wyznaczenie i zapis sygnatury.



Rys. 3. Opis warunków pomiaru sygnatury termicznej
Fig. 3. Conditions of thermal signature measurement

Funkcjonalność aplikacji umożliwia pracę w dwóch trybach: automatycznym lub półautomatycznym. Jednakże, w każdym z dwóch trybów, wyboru obrazu obiektu (warunków pomiaru), dokonuje operator aplikacji.



Rys. 4. Interfejs analizy danych pomiarowych
Fig. 4. The interface of the data analysis measurement

Po etapie wstępnego przetwarzania, którego efektem jest m.in. poprawa i unormowanie jasności obrazu następuje jego analiza. Analiza obrazu jest prowadzona dla prostokątnego fragmentu obrazu zawierającego sam obiekt - bez dodatkowych elementów występujących w obrazie (tło). Wspomniany fragment może być wyznaczony w sposób automatyczny lub ręczny. W trybie auto-

matycznym obiekt wyróżniany jest z tła poprzez wyszukiwanie jego konturu lub końców z lewej i prawej strony, a także z dołu i z góry obrazu. W trybie ręcznym, operator programu zaznacza interesujący fragment obrazu, który będzie analizowany. W obydwu przypadkach, algorytm wyznaczania prostokątnego ekwiwalentu obiektu jest oparty na wiedzy i doświadczeniu związanym z wykonywaniem pomiarów w warunkach morskich (rys. 4).

Aplikacja „thermalPanel” zapewnia również prowadzenie analizy obrazów przez operatora z wykorzystaniem funkcji dostępnych w Matlabie, umożliwiających analizę statystyczną oraz np.:

- detekcję linii prostych;
- detekcję krawędzi;
- analizę częstotliwościową (transformaty DCT, FFT);

Dostęp do narzędzi programu Matlab stwarza możliwość zastosowania aplikacji „thermalPanel” jako wygodnego narzędzia badawczego przeznaczonego do analizy obrazów w szerszym zastosowaniu niż samo wyznaczanie sygnatur.

Ważnym aspektem w procesie opracowywania sygnatur termicznych jednostek pływających jest potrzeba uwzględnienia zmian kluczowych parametrów sygnatury w funkcji odległości rejestracji i kąta biegu. Przy określonym polu widzenia układu rejestrującego (FOV), odległość rejestracji wpływa na wielkość zobrazowywanej sceny, a tym samym na rozmiary i położenie jednostki w obrazie. Z kolei, kąt biegu określa położenie jednostki względem kierunku obserwacji, co również wpływa na jej rozmiary w obrazie. Wskazane wielkości mają zasadniczy wpływ na wartość podstawowych parametrów sygnatury, jakimi są: różnica temperatury pomiędzy obiektem i tłem ΔT oraz stosunek mocy sygnału obiektu do mocy sygnału tła SNR_{qc} (w elektronice stosowane oznaczenie to SNR – ang. Signal to Noise Ratio).

W prezentowanej aplikacji thermalPanel, wartość parametru SNR_{qc} jest wyznaczana zgodnie z zależnością [2, 4, 5]:

$$SNR_{qc} = Sp \frac{\Delta T \tau(R)}{NETD} \quad (3)$$

$$Sp = \begin{cases} \frac{A_T}{(R \cdot FOV)^2} & \text{dla } A_T \leq FOV \\ 1 & \text{dla } A_T > FOV \end{cases} \quad (4)$$

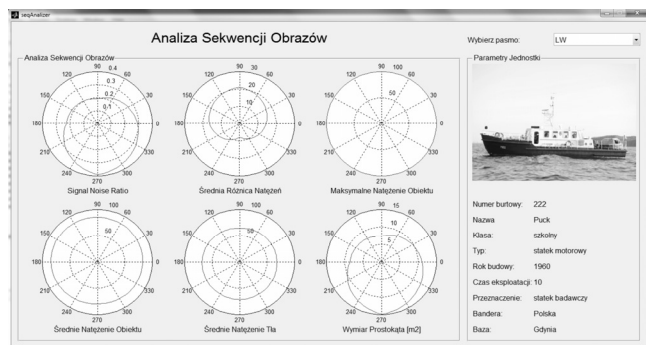
gdzie: ΔT – różnica temperatury pomiędzy obiektem a tłem; A_T – liczba pikseli obrazu należących do obiektu; $\tau(R)$ – transmisja atmosfery na drodze (R); FOV – kąt pola widzenia układu rejestrującego.

Jak wykazano powyżej, wartość parametru (SNR_{qc}) w bardzo dużym stopniu zależy od kąta kursowego jednostki pływającej oraz odległości rejestracji obrazów termicznych i jest zmienna w czasie. Jednakże, ze względu na fakt, że łączy kilka istotnych czynników określających cechy układu: kamera – warunki rejestracji – obiekt, to parametr ten jest niezwykle istotny w procesach poszukiwania i śledzenia jednostki pływającej [2, 6].

W procesie poszukiwania parametr SNR_{qc} służy min. do ustalania wartości progu wykrycia jednostki pływającej. Z kolei, w procesie śledzenia zapewnia możliwość wyznaczenia wartości tzw. progów rozpoznania jednostki pływającej np. według kryteriów: cywilna/wojskowa, klasa, typ, aż do pełnej jej identyfikacji, która obejmuje: typ, nazwę, numer burtowy, banderę. Uogólnione podejście dotyczące wyznaczania kryteriów rozpoznania jednostek pływających na podstawie obrazów termowizyjnych można znaleźć w literaturze [2, 4].

Analiza wartości parametrów sygnatury termicznej, w tym SNR_{qc} w funkcji kąta kursowego jednostki m/v Puck zostały przedstawiane na wykresach - (rys. 5).

Wyniki analizy sygnatury termicznej przedstawione w postaci graficznej (rys. 5) opisują zmianę wartości poszczególnych parametrów wektora cech W_c w funkcji kąta biegu.



Rys. 5. Wyniki analizy sygnatury termicznej m/v Puck w funkcji zmiany kąta kursowego

Fig. 5. Analysis of the thermal signature m/v Puck as a function of angle exchange rate

Wartości liczbowe parametrów wektora W_c , wyznaczone na podstawie analizy obrazów termicznych - dla poszczególnych katów biegu - są prezentowane w oknie „AnalizaObrazu” (rys. 4).

Efektom końcowym działania aplikacji „thermalPanel” jest zapis parametrów sygnatury termicznej, w postaci wektora SYGIR, w osobnym pliku tekstowym.

5. Wnioski

Sygnatura termiczna jest podstawowym zbiorem informacji pozyskiwanej w drodze rejestracji i analizy obrazów termicznych jednostek pływających. Metodyka poprawnego wyznaczenia sygnatur termicznych obiektów, a następnie przygotowania odpowiedniej bazy danych jest podstawą projektowania i budowy systemów automatycznego rozpoznania obiektów ATR (ang. Automatic Target Recognition). Systemy ATR pracują w oparciu o dedykowane algorytmy poszukiwania i śledzenia, w których sygnatury termiczne są podstawowym źródłem informacji o obiektach.

Zaprezentowany w niniejszym artykule program komputerowy „thermalPanel” posiada zbiór funkcji pozwalający na efektywną konstrukcję sygnatur termicznych jednostek pływających. Zapewnia możliwość ich analizy w dowolnym czasie oraz przygotowanie formatu zapisu parametrów sygnatur w taki sposób, aby było możliwe ich gromadzenie w dedykowanych bazach danych.

Przedstawiona aplikacja jest jednym z elementów systemu przeznaczonych do wyznaczania i analizy parametrów pól fizycznych okrętów - opracowanego w ramach projektu rozwojowego nr O R00 008909 i finansowanego przez NCBiR ze środków na naukę w latach 2009÷2012.

6. Literatura

- [1] NO A501-7 Pola fizyczne okrętu – Część 7: Metodyki pomiarów kontrolnych parametrów pola cieplnego okrętu. MON, Warszawa 2009 r.
- [2] Holst Gerlard C.: Electro-optical imaging system performance, SPIE Optical Engineering Press, Washington 2003.
- [3] Milewski S., Zieliński M.: Analiza wpływu warunków meteorologicznych obserwacji na zasięg wykrycia obiektów na morzu. Materiały VI Konferencji Krajowej TTP, 2004 r.
- [4] Camapana S.B.: Passive electro-optical systems. The Infrared & Electro-Optical Systems Handbook vol.5, SPIE OE Press, Waszyngton, 1993 r.
- [5] Davis Engineering Limite: User Manual for the Naval Threat/Countermeasures Simulator, Ottawa, 1999 r.
- [6] Milewski S.: Model promieniowania termicznego obiektów morskich. VII Szkoła-Konferencja Naukowa nt. Metrologia Wspomagana Komputerowo, str. 189–194, Waplewo 2005 r.

otrzymano / received: 14.06.2013

przyjęto do druku / accepted: 01.08.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Procedura recenzowania artykułu w miesięczniku PAK

1. Wszystkie artykuły naukowe zgłoszone do publikacji w miesięczniku PAK podlegają procedurze recenzowania.
2. Artykuł recenzowany jest przez dwóch niezależnych Recenzentów.
3. Recenzentami są samodzielni pracownicy nauki lub pracownicy ze stopniem naukowym doktora, kompetentni w danym zakresie merytorycznym, spoza ośrodka, z którego jest autor/-rzy.
4. Recenzentów wskazuje redaktor naczelny lub redaktorzy tematyczni.
5. Artykuł w języku innym niż język polski jest recenzowany conajmniej przez jednego recenzenta z instytucji zagranicznej innej niż narodowość autora publikacji.
6. Okres oczekiwania na recenzje wynosi 1 miesiąc.
7. Dla autorów poszczególnych artykułów recenzenci są anonimowi.
8. Recenzent przygotowuje recenzje na formularzu recenzji (2012-formularz-recenzji.doc) opracowanym przez redakcję.
9. Recenzja jest w formie pisemnej i kończy się jednoznacznym wnioskiem co do dopuszczenia artykułu do publikacji lub jego odrzucenia.
10. Nazwiska recenzentów poszczególnych artykułów nie są ujawniane. Pełna lista recenzentów zostaje opublikowana w ostatnim numerze miesięcznika PAK w danym roku oraz na stronie internetowej (www.pak.info.pl).
11. Recenzje przechowywane są w redakcji PAK w Gliwicach przez okres 5 lat.