AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

ZESZYTY NAUKOWE

Ppłk rez. dr inż. Andrzej GAŁECKI

ŹRÓDŁA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ ORAZ METODY JEJ POZYSKIWANIA

Rozprawa habilitacyjna

Dodatek

Warszawa 2005

59644

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

59644

ZESZYTY NAUKOWE

Ppłk rez. dr inż. Andrzej GAŁECKI

ŹRÓDŁA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ ORAZ METODY JEJ POZYSKIWANIA

Rozprawa habilitacyjna

Dodatek

Warszawa 2005

KOMITET NAUKOWY

gen. broni w st.sp. dr hab. pil. Jerzy Gotowała – przewodniczący, płk dr Marek Obrusiewicz – zastępca przewodniczącego, ppłk mgr Marek Jarząbek, ppłk dr Leszek Kanarski, płk dr Marek Kinasiewicz, prof. dr hab. Piotr Sienkiewicz, płk rez. dr inż. Dominik Strasburger, prof. dr hab. Bogdan Szulc, prof. dr hab. Ryszard Wróblewski, prof. dr hab. Eugeniusz Zabłocki, płk dr hab. Bogdan Zdrodowski

Zespół redakcyjny: mgr Anna Doraczyńska (tel. 6/814-664), mgr Ewa Kostka (tel./fax 6/814-032), mgr Dorota Piórkowska (tel. 6/814-019), płk rez. dr inż. Dominik Strasburger – redaktor naczelny (tel. 6/813-516)

Adres redakcji: 00-910 Warszawa 72
al. gen. Antoniego Chruściela 103, bl. 25
tel./fax: (6)813-356
e-mail: zn@aon.edu.pl

Nakładem Akademii Obrony Narodowej

Druk i oprawa: Akademia Obrony Narodowej – Wydział Wydawniczy, zam. nr 1338/2005, nakład 50 egz.

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW 5

WSTĘP 7

1. OGRANICZENIA MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ 28

1.1. Strefa rozpoznania przestrzeni powietrznej i jej parametry 28

1.2. Ograniczenia spowodowane uwarunkowaniami terenowymi 32

1.3. Ograniczenia wynikające z zakłóceń elektronicznych 47

1.4. Ograniczenia wynikające ze stosowanej w technice lotniczej technologii STEALTH 52

1.5. Wnioski z rozdziału 57

2. ŹRÓDŁA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ 59

2.1. Konwencjonalne źródła informacji o sytuacji powietrznej 59

2.2. Optyczne źródła informacji o sytuacji powietrznej 74

2.3. Źródła informacji o sytuacji powietrznej detekujące dźwięk 87

2.4. Weryfikacja możliwości zastosowania wybranych urządzeń akustycznych i optycznych w procesie wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych 94

2.5. Zastosowanie nowych technologii do pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej dla potrzeb systemu obrony powietrznej 111

2.6. Wnioski z rozdziału 116

3. METODY POZYSKIWANIA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ 118

3.1. Sposoby pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej 118

3.2. Intuicja w rozwiązywaniu problemów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej 126

3.3. Heurystyka w rozwiązywaniu problemów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej 129

3.3.1. Pojęcie heurystyki 129

3.3.2. Reguły algorytmiczne a reguły heurystyczne 135

3.3.3. Zastosowanie wybranych metod heurystycznych do rozwiązywania problemów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej 137

3.3.4. Metoda skojarzeń sygnatur obiektów powietrznych 145

3.4. Zastosowanie heurystyki w informatycznym pozyskiwaniu i opracowaniu informacji o sytuacji powietrznej 157

3.5. Wnioski z rozdziału 168

4. IDENTYFIKOWANIE OBIEKTÓW POWIETRZNYCH 170

4.1. Systemy identyfikujące obiekty powietrzne 170

4.2. Eksperymentalny model, algorytm i program IDENTYFIKACJA do zweryfikowania metody skojarzeń sygnatur obiektów powietrznych 174

4.3. Sprawozdanie z eksperymentu naukowego przeprowadzonego z wykorzystaniem techniki komputerowej w oparciu o program IDENTYFIKACJA 186

4.4. Wnioski z rozdziału 198

ZAKOŃCZENIE 199

WYKAZ LITERATURY 202

ZAŁĄCZNIKI 210

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH SKRÓTÓW

ACCS - system dowodzenia i kierowania SP (Air Command and Control System);
ASOC - ośrodek bezpośredniego wsparcia lotniczego (Air Support Operations Center);
ATO - zadania dla lotnictwa (Air Task Order);
BD - baza danych;
brt - batalion radiotechniczny;
BRt - brygada radiotechniczna;
CAT - cywilna kontrola ruchu lotniczego (Civilian Air Traffic Control);
CD - centrum dowodzenia;
CIR - centrum informacyjno-rozpoznawcze;
CKOP - centrum koordynacji operacji powietrznych;
CRC - centrum kierowania i wykrywania (Control and Reporting Centre);
CSD - centralne stanowisko dowodzenia;
dr - dywizjon rakietowy;
EMC - elektroniczna maszyna cyfrowa;
ESWD - eksperckie systemy wspomagania decyzji;
GBAD - naziemna OP (Ground Based Air Defence);
KOP - korpus obrony powietrznej;
krt - kompania radiotechniczna;
LM - lotnictwo myśliwskie;
MW - Marynarka Wojenna;
ODN - ośrodek dowodzenia i naprowadzania;
OKRL - ośrodek kierowania ruchem lotniczym;
OP - obrona powietrzna;
OPL - obrona przeciwlotnicza;
OW - okręg wojskowy;
PD - punkt dowodzenia;
PłSD - połączone stanowisko dowodzenia;
RCC - regionalne centrum dowodzenia (Regional Command Center);
RLP - posterunek radiolokacyjny;
SD - stanowisko dowodzenia;

SPO - skuteczna powierzchnia odbicia;

SP - siły powietrzne;

SZ - siły zbrojne;

ŚNP - środki napadu powietrznego;

WLOP - Wojska Lotnicze i Obrony Powietrznej;

WR - wojska rakietowe;

WRLP - wysunięty posterunek radiolokacyjny;

WRt - wojska radiotechniczne;

ZODN - zapasowy ODN;

ZSD - zapasowe stanowisko dowodzenia;

ZT - związek taktyczny;

ZtSyD - zautomatyzowany system dowodzenia.

WSTĘP

Do prawidłowego funkcjonowania praktycznie wszystkich dziedzin współczesnego świata niezbędna jest wiarygodna i terminowa informacja. Informacja ma kluczowe znaczenie w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych, a w szczególności tych najbardziej złożonych (trudno - przewidywanych, o strukturze dotąd niespotykanej). Brak informacji o otaczającej nas rzeczywistości powoduje, że człowiek staje się bezradny, a tym samym nieskuteczny w swoich działaniach. W takich warunkach nawet konsekwentne poszukiwanie wszelkich możliwych rozwiązań w zakresie podejmowania racjonalnych decyzji nie przynosi oczekiwanych rezultatów, a jedynie utrzymuje i tak wysoki potencjał nieokreśloności sytuacyjnej.

Szczególne znaczenie posiada informacja w dowodzeniu wojskami, które podporządkowane jest celom walki zbrojnej i ma zapewnić efektywne, racjonalne, o ile możliwe optymalne wykorzystanie sił i środków na polu walki. Dowodzenie stanowi również pewien złożony proces informacyjno-zasileniowy. Podstawowymi funkcjami tego procesu według większości teoretyków i praktyków organizacji i zarządzania są: ewidencjonowanie, analizowanie, prognozowanie, normowanie, kontrolowanie, organizowanie, planowanie, programowanie, koordynowanie oraz decydowanie.

Ewidencjonowanie obejmuje: zbieranie informacji o sytuacji powietrznej i naziemnej, wstępne opracowanie informacji, opracowanie zestawień, dokonywanie elementarnych operacji logicznych i numerycznych, wydawanie informacji w różnych przekrojach rodzajowych. Finalnym produktem ewidencjonowania jest sprawozdawczość i statystyka (np. sprawozdanie z wykonania zadania bojowego, meldunek o stanie sił i środków obrony powietrznej).

Analizowanie obejmuje opracowanie informacji dla ustalenia zależności istniejących między zmianami w elementach systemu a oddziaływaniem na system. W wyniku analizy otrzymujemy informacje o stanie rzeczywistym systemu na przykład w postaci: obiegu informacji w systemie obrony powietrznej, organizacji wykorzystania sił i środków obrony powietrznej na polu walki, organizacji łączności, organizacji logistycznego zabezpieczenia.

Prognozowanie polega na opracowaniu informacji w celu określenia przyszłych, możliwych kierunków działania systemu obrony powietrznej oraz na określeniu prawdopodobieństwa ich wystąpienia. Prognozowanie powinno dostarczać danych np. o oczekiwanych stratach w ludziach i sprzęcie, zużyciu środków materiałowych.

Normowanie polega na opracowaniu zbioru dopuszczalnych wartości istniejących zmiennych, dla których system funkcjonuje normalnie oraz zasad, reguł i ustaleń normujących użycie pododdziałów, oddziałów i związków taktycznych wojsk OP (obrony przeciwlotniczej) w działaniach bojowych.

Kontrolowanie polega na zbieraniu informacji, na podstawie których można określić odchylenia od stanu normalnego funkcjonowania systemu. Dotyczy najczęściej stanu gotowości bojowej wojsk OP (obrony przeciwlotniczej), sprawności technicznej sił i środków tych wojsk, znajomości postawionych zadań oraz sposobu ich realizacji, a także stopnia logistycznego zabezpieczenia.

Organizowanie to tworzenie nowych struktur systemu lub doskonalenie struktur istniejących. W ramach funkcji organizowania dokonuje się budowy modeli struktur organizacyjnych. Organizowanie może też obejmować opracowanie aktów normatywnych, określających zasady projektowania, algorytmizacji i produkcji oprogramowania dla systemów informatycznych. Do organizowania trzeba również zaliczyć tak złożone przedsięwzięcia, jak organizacja współdziałania wojsk z bronionymi (osłanianymi) obiektami czy wybór najkorzystniejszego ugrupowania.

Planowanie obejmuje opracowanie nowego (pożądanego) modelu działania systemu obrony powietrznej oraz dokonanie podziału sił i środków dla zbudowania tego systemu, na podstawie informacji analitycznej i prognostycznej. Obejmuje także wybór celu (celów) działania systemu i kryterium (kryteriów), według którego oceniana jest (będzie) efektywność systemu obrony powietrznej.

Programowanie polega na opracowaniu programu opisującego kolejność i wzajemne powiązanie czynności, które należy wykonać dla realizacji planu. W wyniku programowania osiąga się obraz czynności i przedsięwzięć, które należy wykonać dla osiągnięcia ściśle określonego celu. Programowanie cechuje się dłuższym przedziałem czasowym realizacji przedsięwzięć i zamierzeń i może dotyczyć: szkolenia wojsk w zakresie opanowania nowych środków obrony powietrznej, wyposażenia wojsk w nowe typy środków walki, badań możliwości bojowych elementów systemów w warunkach poligonowych itp.

Koordynowanie obejmuje zbiór czynności podejmowanych przez wszystkie szczeble dowodzenia dla zapewnienia harmonijnego współdziałania poszczególnych podsystemów funkcjonalnych lub poszczególnych elementów systemu w celu osiągnięcia założonego efektu całościowego.

Decydowanie jest jedną z najważniejszych funkcji dowodzenia. Można z pewnym uproszczeniem oczywiście stwierdzić, że nie ma dowodzenia bez decydowania.

Przedstawione funkcje przenikają się wzajemnie i tworzą w sprawnie funkcjonującym systemie jednolity i ciągły proces dowodzenia. Dowodzenie zatem jest to proces planowania, organizowania, przewodzenia i kontrolowania działań wojsk oraz wykorzystania przydzielonych im zasobów dla osiągnięcia określonych celów, związanych z przygotowaniem oraz bezpośrednim prowadzeniem walki. Dowodzenie bowiem zarówno w czasie przygotowania, jak i prowadzenia walki stanowi (w ramach spełnianych funkcji) ciągłą realizację problemów informacyjno-decyzyjnych, jest permanentnym procesem rozwiązywania problemów decyzyjnych. W praktyce mamy do czynienia z nieskończonym ciągiem decydowania. Można zatem jednoznacznie stwierdzić, że istotą dowodzenia jest decydowanie. Czynności decydowania zawsze powinny uwzględniać zasady logiki, metody, procedury, a nie sprowadzać się tylko do intuicji, przeczucia czy wyczucia, co niejednokrotnie ma miejsce w praktyce.

Dowodzenie w obronie powietrznej w ujęciu systemowym identyfikuje się z podsystemem sterującym, jaki stanowią wojska w ogóle, a wojska systemu obrony powietrznej w szczególności. Podsystem sterujący stanowi uporządkowaną całość złożoną z organów oraz technicznych środków dowodzenia, rozmieszczonych na SD i realizujących procesy informacyjno-decyzyjne, niezbędne do osiągnięcia celów walki (operacji). Podsystem sterujący, jako system podejmowania decyzji, na który delegowano uprawnienia dokonywania celowych (świadomych) wyborów, stanowi właśnie system dowodzenia[1].

Skuteczność działania tego systemu zależy od:

- umiejętności decydentów w zakresie rozwiązywania problemów decyzyjnych;
- motywacji decydenta;
- ilości i stanu posiadanych informacji o stanie systemu i jego otoczenia.

Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje problemów dotyczących podejmowania decyzji:

- dobrze określone (standardowe);
- niejednoznacznie (źle) określone, niepewne (niestandardowe).

Nieokreśloność (niepewność) informacji i jej częściowy brak sprawia, że w procesie decyzyjnym powstaje tzw. luka informacyjna.

Identyfikując termin *informacja*, nie sposób nie wspomnieć o twórcach teorii informacji. Robert Hartlej w 1928 roku podjął próbę zdefiniowania jednostki informacji.

---

[1] Zespół pod kierunkiem S. Antczaka, *Podstawy dowodzenia wojskami w systemie obrony powietrznej*, Warszawa, AON 1993.

W 1948 roku N. Wiener[2]i C. E. Shannon[3] opracowali matematyczną teorię informacji. Na rozwój teorii informacji miały wpływ również prace A. Kołmogorowa (1947), który między innymi opracował tzw. statystyczną teorię informacji[4].

Występująca w literaturze przedmiotu mnogość różnorodnych terminologicznych określeń pojęcia informacji wynika miedzy innymi ze specyfiki środowiska, w którym znajduje zastosowanie. Znamiennym tego przykładem jest definicja, której autorem jest Carl von Clausewitz (za [90], s. 15), *uznający informację jako całą wiedzę, posiadaną o nieprzyjacielu i jego kraju, a więc podstawę wszystkich własnych idei i działań.* Z kolei Juliusz L. Kulikowski stwierdził, że pojęcie informacji *wykroczyło poza wąskie granice definicji i określeń, a stało się kategorią filozoficzną niemal tak obszerną jak pojęcie materii* [69].

Pojęcie *informacja* według W. Kopalińskiego oznacza *wiadomość, wieść, nowinę, rzecz zakomunikowaną; miarę wiedzy o jakimś zdarzeniu* ([119], s. 429). Niezwykle przydatne dla podjętych badań wydają się poczynione wysiłki przez M. Mazura w kierunku dokonania typologii procesów informowania, w których uwzględnił kryteria semantyczne, to jest informowanie i dezinformowanie ([84], s. 12). Bardzo ciekawą analizę prowadził w tym obszarze G. Nowacki ([90], s. 16), postrzegający informację w kategoriach korelacji percepcji odbieranych zdarzeń, obrazów, znaków oraz „instrukcji" wymaganej do ich znaczeniowej interpretacji. Ten sam autor przedstawia również interpretację tego terminu przez L. Ciborowskiego, który informację określa jako *bodziec oddziałujący na układ recepcyjny człowieka, powodujący wytwarzanie w jego wyobraźni przedmiotu myślowego, odzwierciedlającego obraz rzeczy materialnej lub abstrakcyjnej (przedmiotu, procesu, zjawiska, pojęcia itp.), który w jego przekonaniu (świadomości) kojarzy się jakoś z tym bodźcem* ([90], s. 16).

W innym ujęciu, do którego z racji podjętej problematyki autor rozprawy się skłania[5], informację postrzega się jako *tylko te doznania, które są możliwe do rejestrowania zmysłami ludzkimi* ([6], s. 6). Z pewnością to ostatnie określenie terminologiczne najbardziej odpowiada potrzebom analiz dokonywanych w zakresie prowadzonych badań, stąd w szerszym znaczeniu informację można traktować jako percepcję otaczającej nas rzeczywistości.

---

[2] Twórca podstaw cybernetyki.

[3] Prowadził badania w zakresie warunków przenoszenia informacji.

[4] Jednostka informacji – bit.

[5] Percepcja informacji była zasadniczym wyznacznikiem poszukiwań badawczych.

W obronie powietrznej można wyróżnić wiele kategorii informacji. Ze względu na szczebel organizujący jej pozyskiwanie wyodrębnia się informację o znaczeniu: taktycznym, operacyjnym oraz strategicznym. Z kolei inna kategoria klasyfikacji dotyczy stanu polityczno-militarnego państwa, to jest: pokoju, kryzysu oraz wojny [80]. Informacje stanu pokoju obejmują zbiory danych (uzupełniane na bieżąco) dotyczące potencjalnego przeciwnika, a także wojsk własnych. Informacja o potencjalnym przeciwniku powinna między innymi zawierać treści dotyczące:

- taktyki użycia sił powietrznych w czasie działań wojennych, konfliktów zbrojnych oraz ćwiczeń;
- szczegółowej charakterystyki środków napadu powietrznego;
- rozpoznania przestrzeni powietrznej;
- naziemnych OP;
- taktyki użycia sił powietrznych w czasie działań wojennych, konfliktów zbrojnych oraz dyslokacji wojsk (ważniejszych zgrupowań);
- dyslokacji lotnisk lotnictwa myśliwskiego oraz uderzeniowego;
- położenia ważnych obiektów politycznych, administracyjnych oraz przemysłowych.

Z kolei informacja o wojskach własnych odnosi się przede wszystkim do:

- stanu sił i środków własnego lotnictwa;
- dyslokacji oraz zamiaru WR własnej OP;
- dyslokacji ZT, oddziałów i pododdziałów OPL wojsk lądowych.

Grupa informacji zagrożenia wojennego oraz wojny głównie dotyczy:

- aktualnej dyslokacji (zmian bazowania) jednostek przeciwnika;
- stanu gotowości bojowej systemów dowodzenia i rozpoznania;
- składu zgrupowań uderzeniowych pierwszego rzutu przeciwnika powietrznego;
- kierunków działania (zamiaru) [79].

Szczególny wymiar dla systemu obrony powietrznej stanowi informacja o sytuacji powietrznej[6], w której czynnik czasu ma decydujące znaczenie. Informacja ta, obejmująca różnorodne czynniki występujące w obszarze powietrznym, służy między innymi do powiadamiania o zagrożeniu ze strony środków napadu powietrznego,

[6] Określenie terminu *informacja o sytuacji powietrznej* przedstawiono w dalszej części niniejszej rozprawy.

a przede wszystkim do zabezpieczenia kierowania aktywnymi środkami walki obrony powietrznej.

Zapewnienie informacji ciągłej i dostarczanej bez opóźnień do systemu dowodzenia OP jest podstawą do podejmowania decyzji o charakterze deterministycznym [68][7]. Jednakże niepewność informacyjna [5] obniża potencjał racjonalności podejmowanych decyzji. Stwierdzenie to odnosi się do informacji, która często jest obarczona błędami lub deficytem poszczególnych jej elementów składowych (np. identyfikacja, miejsce położenia, prędkość, kurs obiektu powietrznego).

Obrona powietrzna zasilana jest informacją, bez której jej prawidłowe (zgodnie z przeznaczeniem) funkcjonowanie byłoby wręcz niemożliwe. Dla obrony powietrznej niezwykle istotne znaczenie ma informacja o różnorodnych czynnikach, kształtujących sytuację w przestrzeni powietrznej [13]. Za zasilanie informacyjne OP odpowiedzialny jest system rozpoznania przestrzeni powietrznej, a jego istotnym komponentem funkcjonującym już w okresie pokoju jest rozpoznanie radiolokacyjne [1, 3, 13, 48, 49, 50, 51, 52, 83, 96, 105, 106, 107]. Wytwarza on strefę rozpoznania, w granicach której możliwe jest wykrywanie, śledzenie obiektów znajdujących się w przestrzeni powietrznej.

Z uwagi na to, że uzyskane przez system dowodzenia OP parametry obiektów znajdujących się w przestrzeni powietrznej zawężają stopień nieznajomości (nieokreśloności), należy uznać, iż stanowią one podstawową bazę parametryczną informacji o sytuacji powietrznej. Mając powyższe na względzie, jak również to, że w dostępnej literaturze przedmiotu autor rozprawy nie znalazł jednoznacznego określenia znaczenia pojęcia *informacja o sytuacji powietrznej*, dokonanie takiej próby uznał za stosowne.

Źródła systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej[8] wytwarzają strefę informacji, w granicach której możliwe jest wykrywanie, śledzenie oraz określanie parametrów (cech) obiektów powietrznych tworząc tzw. *informację o sytuacji powietrznej*. Podążając tym tokiem

---

[7] Pod względem sposobu sformułowania celu wyróżnia się problemy konwergencyjne i problemy dywergencyjne. W przypadku tych pierwszych cel jednocześnie określa końcowy wynik, co powoduje, że problemy te mają tylko jedno poprawne rozwiązanie. W problemach dywergencyjnych cel dopuszcza wiele poprawnych rozwiązań. Problemy te nie ograniczają swobody poszukiwań podmiotu, nie krępują jego inwencji i oryginalności, w czasie ich rozwiązywania można przemieszczać się w dowolnych kierunkach. Wytwarzanie kowergencyjne, określane przez Guilforda jako zbieżne, (związane jest z myśleniem konwencjonalnym, rutynowym), ma charakter odtwórczy. Natomiast wytwarzanie dywergencyjne, określane jako rozbieżne, odpowiada za myślenie o charakterze twórczym [68].

[8] Pod tym pojęciem należy rozumieć zarówno źródła konwencjonalne (stacje radiolokacyjne, urządzenia rozpoznania elektronicznego) oraz niekonwencjonalne.

rozumowania, *informację o sytuacji powietrznej* można postrzegać przez pryzmat źródeł jej wytwarzania, a także treści, którą ona zawiera.

Uzyskane przez system dowodzenia OP informacje o obiektach znajdujących się w przestrzeni powietrznej zawężają stopień nieznajomości (nieokreśloności). Z kolei, występujący popyt na informację o tym, co się znajduje (dzieje) w przestrzeni powietrznej, jest swoistym dążeniem do minimalizowania tzw. luki informacyjnej[9]. Uwzględniając te uwarunkowania oraz dokonując pewnej analogii w stosunku do zjawisk zachodzących w przestrzeni powietrznej, można określić *informację o sytuacji powietrznej* jako doznania rejestrowane zmysłami ludzkimi, zmniejszające stopień nieznajomości sytuacji panującej w tej przestrzeni. Można także definiować to pojęcie jako wszelkie odebrane zmysłami ludzkimi bodźce, których identyfikacja umożliwia udzielenie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy w przestrzeni powietrznej znajduje się obiekt?
2. Gdzie się znajduje?
3. Jakie są jego parametry (cechy)?
4. Kto (co) to jest?

Efektywność rozpoznania powietrznego determinowana jest głównie możliwościami źródeł oraz metod w zakresie pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej. Zastosowane w systemie obrony powietrznej metody pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej[10] funkcjonują praktycznie od wielu lat w niezmienionej strukturze. Niewielkie modyfikacje w tym zakresie, zauważalne między innymi w rozwiązaniach algorytmiczno-programowych zautomatyzowanych systemów dowodzenia[11], nie wpłynęły na poprawę możliwości pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

W ostatnich latach można zaobserwować przerodzenie się pozyskiwania informacji w swoisty wyścig za informacją. We współczesnym świecie, zdominowanym szybkimi zmianami i rozwojem nowoczesnych technologii, istotne staje się otrzymywanie informacji wiarygodnej, terminowej i o określonych parametrach. Niestety, jak mawia E. Kofler [63], *żyjemy w świecie niepewności, której cechą charakterystyczną jest zmienność w czasie*, co wiąże się z występowaniem wielu przeszkód uniemożliwiających uzyskiwanie[12] informacji

---

[9] W literaturze przedmiotu można spotkać również określenie *deficyt informacyjny*.

[10] W postaci zbioru informacji.

[11] Możliwości w tym zakresie przedstawiono na przykładzie systemu DUNAJ w podrozdziale 2.1.

[12] Dla celów rozprawy przyjęto termin pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej.

w tak oczekiwanej postaci. Taka właściwość określana jest szeroko rozumianym pojęciem zakłóceń informacyjnych.

W wielu dziedzinach naszego życia obserwuje się z jednej strony dążenie do pozyskiwania informacji, z drugiej zaś do pozbawianie jej rywala (przeciwnika)[13]. Problem ten dotyczy także informacji o sytuacji powietrznej, której pozyskiwanie w warunkach konfliktów oraz wojen było i jest ograniczane tzw. działaniami celowymi przeciwnika [137, 83, 121, 113]. Ich charakter przejawia się między innymi w stosowaniu wszelkich zakłóceń elektronicznych oraz taktyce pokonywania systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej (np. lot na małych wysokościach[14]). Wymienione czynniki determinują bowiem możliwości skutecznego wykrywania, a także identyfikowania obiektów powietrznych. Również nie bez znaczenia jest stosowanie nowych technologii obniżających skuteczną powierzchnię odbicia[15] obiektów powietrznych. W tym względzie na pierwszy plan wysuwają się małogabarytowe bezpilotowe środki rozpoznania, niezwykle trudne do wykrycia i śledzenia. Inny problem stanowią samoloty wykonane w technologii STEALTH[16] o specyficznej geometrii przestrzennej, wykonane z materiału pochłaniającego energię elektromagnetyczną. Istnieje ponadto wiele różnorodnych niecelowych[17] czynników obniżających potencjał możliwości pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

Doświadczenia z wojen i konfliktów zbrojnych (między innymi [113, 93, 121, 30]) potwierdzają tezę o istotności informacji we wszelkich działaniach, w tym także w działaniach obronnych. Dokonując nawet pobieżnej analizy dotychczasowych wojen i konfliktów zbrojnych, można łatwo dojść do wniosku, że bez informacji o sytuacji powietrznej system obrony powietrznej staje się bezużyteczny. Przykładem tego są między innymi ostatnie działania wojenne w rejonie Zatoki Perskiej, które obnażyły słabość systemu obrony powietrznej Iraku. Kompleksowe użycie sił i środków wojny elektronicznej oraz wprowadzenie do walki przez Amerykanów samolotów F-117, trudnych do wykrycia środkami radiolokacyjnymi, spowodowało załamanie podstawowych założeń konstrukcyjnych, strukturalnych i organizacyjnych wynikających z koncepcji irackiego

---

[13] Rozumiana jako dążenie do uzyskania przewagi informacyjnej.

[14] Problem małych wysokości dotyczy nie tylko samolotów czy śmigłowców, ale także innych obiektów powietrznych, np. rakiet samosterujących.

[15] Pojęcie *skutecznej powierzchni odbicia* wyjaśniono w dalszej części rozprawy.

[16] Samoloty, w których zastosowano rozwiązania technologii niskiej wykrywalności.

[17] Utrudnienia propagacyjne, takie jak uwarunkowania terenowe, warunki atmosferyczne, linie energetyczne.

systemu OPL[18]. Rozbicie przez samoloty F-117 systemu dowodzenia i łączności Wojsk Lotniczych i OPK praktycznie wyeliminowało ten rodzaj sił zbrojnych Iraku z wojny. Sytuację lotnictwa irackiego systemu OP dodatkowo komplikował brak sprawnego systemu „swój - obcy".

Radiolokacyjny podsystem wczesnego ostrzegania i śledzenia celów powietrznych oraz nadajniki naprowadzania pocisków rakietowych zestawów DŹWINA (SA-1), WOŁCHOW (SA-2), NEWA (SA-3), KUB (SA-6) i OSA (SA-8), zostały zakłócone i fizycznie zniszczone kierowanymi pociskami przeciwradiolokacyjnymi. Zestawy te pozwalały jednak na przechodzenie w warunkach zakłóceń do telewizyjnego śledzenia celu w przypadku jego widoczności optycznej i umożliwiały, chociaż w ograniczonych warunkach, podjęcie walki. Ponadto wykorzystywane były pociski samonaprowadzające się na źródło promieniowania podczerwonego, takie jak: STRZAŁA-1 (SA-7), STRZAŁA-2 (SA-9), STRZAŁA-10 (SA-13), STRZAŁA-3 (SA-14), IGŁA (SA-16). Ta broń przeciwlotnicza do końca wojny stanowiła poważne zagrożenie dla lotnictwa koalicji działającego na wysokościach do 4000 metrów. Wyeliminowanie pracy podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego Iraku i ograniczenie rozpoznania powietrznego do zasięgu obserwacji wzrokowej tej groźnej broni znacząco obniżyło jej możliwości bojowe.

Jedynymi środkami OP i OPL wojsk Iraku aktywnie przeciwstawiającymi się lotnictwu sprzymierzonych do końca konfliktu okazała się artyleria przeciwlotnicza małego kalibru i przenośne przeciwlotnicze pociski kierowane, szczególnie najnowszej generacji, uodpornione na zakłócenia termiczne.

Przebieg działań w rejonie Zatoki Perskiej skłania do wyciągnięcia wniosków na potrzeby obrony powietrznej państwa i obrony przeciwlotniczej wojsk:

1. Walka z przeciwnikiem powietrznym stanowi ważki element ogólnowojskowej operacji (bitwy) powietrzno-lądowej.
2. Obrona powietrzna państwa i OPL wojsk powinna spełniać między innymi następujące kryteria:
   - kompleksowość w zakresie wykrywania, rozpoznania i rażenia przeciwnika powietrznego na różnych odległościach i wysokościach;
   - elastyczność w manewrze siłami i środkami rażenia oraz zapasami rakiet i amunicji na zagrożone uderzeniami środków napadu powietrznego wojska;

---

[18] Szereg wniosków z działań wojennych w Iraku przedstawił T Jauer, *Tarcza przeciwlotnicza*, Towarzystwo Wiedzy Obronnej, Warszawa 2003.

- skuteczność w walce z rozmaitymi ŚNP;
- zapewnienie bezpiecznego działania własnych sił powietrznych.

3. Obrona powietrzna państwa i OPL wojsk i obiektów powinna zapewnić możliwość zwalczania rakiet, samolotów, śmigłowców, desantów powietrznych, małogabarytowych samolotów bezpilotowych różnego przeznaczenia oraz innych aparatów i bomb latających, w przedziale skutecznego rażenia rakietowych i artyleryjskich środków przeciwlotniczych.
4. Proces dowodzenia (kierowania ogniem) wsparty zautomatyzowanymi systemami dowodzenia i sztuczną inteligencją decyduje o czasie reakcji różnych systemów broni i skuteczności ich użycia.
5. Automatyzacja procesu kompleksowego rozpoznania przeciwnika na lądzie i w przestrzeni powietrznej oraz niezawodna, utajniona i szybka transmisja informacji stwarzają warunki zwalczania przeciwnika w czasie zbliżonym do rzeczywistego.
6. Pojawienie się we współczesnej przestrzeni walki nowoczesnych systemów rozpoznania urzeczywistniło koncepcję „głębokich uderzeń".
7. Realny podział wysiłku w zwalczaniu, obezwładnianiu i myleniu przeciwnika powietrznego pomiędzy SP, WOPL, WR i Art., oddziały walki elektronicznej, maskowania oraz laserowego oślepiania pilotów stwarza warunki do wywalczenia panowania w powietrzu.
8. Sprawny i skuteczny system obrony powietrznej państwa i OPL wojsk musi mieć odporne na zakłócenia elektromagnetyczne (elektroniczne) podsystemy wykrywania, rozpoznania ŚNP, dowodzenia i łączności oraz rażenia rakietami, ogniem artylerii i energią elektromagnetyczną.
9. Ograniczenie możliwości wykrycia przez środki rozpoznania radiolokacyjnego, szczególnie małogabarytowych samolotów bezpilotowych[19], wymaga zorganizowania pododdziałów rozpoznawczo-dowódczo-ogniowych w składzie każdego pułku rakietowego.
10. Wszechstronne zabezpieczenie działań lotnictwa, poprzez prowadzenie obserwacji z powietrza samolotami E-3 systemu AWACS oraz samolotami A-8 systemu JOINT STARS, zakłócanie elektroniczne z powietrza oraz użycie indywidualnych środków walki elektronicznej, pozwoliło na osiągnięcie wysokich rezultatów działań i uniknięcie strat własnych[20].

---

[19] Operacja „Iracka Wolność" potwierdziła rosnące znaczenie na polu walki bezzałogowych aparatów latających, służących głównie do prowadzenia długotrwałego rozpoznania obrazowego w czasie rzeczywistym. Podczas pierwszej wojny w rejonie Zatoki Perskiej siły koalicyjne stosowały tylko dwa typy bezzałogowych aparatów latających, w kampanii wojennej w Afganistanie – trzy, a w czasie wojny w Iraku – dziesięć, m.in.: Hunter, Pointer, Shadow, Pioneer, Global Hawk i Predator. Zob. M., Dukaczewski [29].

[20] S. Zajas [143].

elektronicznej, pozwoliło na osiągnięcie wysokich rezultatów działań i uniknięcie strat własnych[20].

Również w warunkach pokoju nieodosobnione są przypadki utraty informacji o sytuacji powietrznej. Sprzyjają temu głównie ograniczone możliwości źródeł rozpoznania w stosunku do uwarunkowań terenowych[21], warunków atmosferycznych lub zakłóceń aktywnych niezorganizowanych.

Z powyższych konstatacji wynikających z praktyki działania systemów OP można wysnuć wnioski, że:

1. Aktualne metody pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej są niewystarczające. W oparciu o te metody niemożliwe jest efektywne kierowanie aktywnymi środkami walki systemu obrony powietrznej.

2. Dotychczasowe źródła informacji nie są w stanie zapewnić ciągłej i wiarygodnej informacji w całym przedziale wysokości lotu obiektów powietrznych. Należy zatem doskonalić istniejące, a zarazem poszukiwać innych źródeł informacji. W innym przypadku systemy OP (aktywne środki walki) nie będą mogły być efektywnie użyte w walce z przeciwnikiem powietrznym.

Zakładając, że zasadniczym nurtem dociekań w procesie badawczym jest informacja o sytuacji powietrznej, konieczne było ustosunkowanie się do jej przydatności, w odniesieniu do stanowiska dowodzenia szczebla taktycznego systemu OP[22]. We wcześniejszym okresie były to połączone stanowiska dowodzenia, a obecnie ośrodki dowodzenia i naprowadzania. Potrzeba diagnozy parametrów strefy informacji systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej zaowocowała ciekawymi rezultatami badań. Dostrzegając potrzebę ich zweryfikowania przez pryzmat zmian dokonujących się w obszarze struktur, funkcji, zadań oraz wyposażenia bojowego obrony powietrznej, poddano analizie możliwości wybranych elementów systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Identyfikacja przyczyn występowania deficytu informacji o sytuacji powietrznej stała się podstawą do postawienia wstępnej diagnozy, że istnieje luka w wiedzy z zakresu pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej. Dostrzegając potrzebę jej uzupełnienia,

---

[20] S. Zajas [143].

[21] Ograniczenia możliwości pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej zostały przedstawione w [106, 107, 108] oraz w rozdziale 1 niniejszej rozprawy.

[22] Stanowisko dowodzenia szczebla taktycznego OP jest odpowiedzialne za kierowanie aktywnymi środkami walki.

w pierwszej kolejności dokonano identyfikacji możliwości źródeł rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Wśród znanych autorowi publikacji istotę informacji o sytuacji powietrznej prezentowało wielu autorów, (między innymi [6, 14, 23, 24, 52, 69, 70, 71, 79, 80, 81]). W wyniku „pogoni" za informacją obserwuje się (szczególnie w ostatnich latach) działania o charakterze ekspansywnym, które z jednej strony skierowane są na jej pozyskiwanie w jak największej ilości i o dużym potencjale jakościowym, z drugiej zaś – obronę przed jej zdobyciem przez potencjalnego przeciwnika. W środowisku wojskowym informacja ma olbrzymie znaczenie, niezależnie od szczebla dowodzenia. Zdaniem L. Ciborowskiego [24], żaden ze szczebli dowodzenia nie może się ograniczać jedynie do pozyskiwania informacji, ale także musi prowadzić aktywną obronę informacyjną i zakłócać systemy informacyjne przeciwnika.

W odniesieniu do obszaru objętego problematyką badań wielu autorów eksponowało znaczenie rozpoznania radiolokacyjnego jako źródła informacji o sytuacji powietrznej. Bardzo ciekawą pracą w tym zakresie jest rozprawa habilitacyjna E. Zabłockiego i S. Antczaka, w której autorzy między innymi przedstawili cel i zadania rozpoznania przeciwnika powietrznego ([141] s. 77). Wyszczególnili źródła pozyskiwania informacji, a także scharakteryzowali rozpoznanie radiolokacyjne, jako najważniejszy rodzaj rozpoznania taktycznego wojsk OP, oraz rozpoznanie radioelektroniczne. W dysertacji zwrócili również uwagę na możliwość obniżenia skuteczności systemu OP, w tym efektywności rozpoznania środków napadu powietrznego i zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych środków walki wojsk OP w wyniku stosowania przez przeciwnika wszelkiego rodzaju zakłóceń. Ponadto wskazali, że zdobywanie informacji radiolokacyjnej o działalności ŚNP przeciwnika jest procesem losowym, stąd informację tego rodzaju uzyskuje się z określonym prawdopodobieństwem ([141] s. 81). Wielkość tego prawdopodobieństwa, zdaniem autorów rozprawy, jest determinowana prawdopodobieństwem znajdowania się środków napadu powietrznego w zasięgu wykrywania stacji radiolokacyjnych, wielkością skutecznej powierzchni odbicia wykrytych obiektów powietrznych, wysokości ich lotu, stosowania celowych zakłóceń radioelektronicznych przez przeciwnika oraz liczbą stacji radiolokacyjnych prowadzących rozpoznanie radiolokacyjne. Ponadto w podrozdziale dotyczącym rozpoznania radioelektronicznego wyszczególnili te czynniki, które decydują o zmienności losowej otrzymanej informacji, między innymi: prawdopodobieństwo znajdowania się przeciwnika powietrznego w strefie rozpoznania radioelektronicznego,

prawdopodobieństwo promieniowania energii elektromagnetycznej przez samolotowe urządzenia pokładowe, prawdopodobieństwo jej odbioru, treść i sposób przekazywania przesyłanych danych, a także liczbą liczbę urządzeń rozpoznania radioelektronicznego.

Z kolei A. Adamczyk w swojej rozprawie doktorskiej [1] podkreślił, że informacja jest obiektem badań, który podlega pomiarowi. Ponadto zwrócił on szczególną uwagę na wymagania w zakresie potrzeb informacyjnych pod kątem parametrów jakościowych (wyróżniając w tym względzie głównie czas opóźnienia informacji). Autor rozprawy dostrzegał w związku z tym potrzebę integracji systemów dowodzenia w celu uzyskania parametrów informacyjnych na miarę ówczesnych potrzeb. Odniósł się również do doświadczeń z wojen lokalnych[23], wskazując, że system OP można pokonywać między innymi przez obniżenie wysokości lotu lub stosowanie zakłóceń.

Problem zakłóceń informacji radiolokacyjnej był również przedmiotem rozważań S. Antczaka i A. Adamczyka w pracy [3] dotyczącej stosowania przez przeciwnika zakłóceń radioelektronicznych oraz sposobu ograniczenia wpływu ich destrukcyjnego oddziaływania na pracę urządzeń rozpoznania radiolokacyjnego. Autorzy dokonali ponadto określenia skuteczności wpływu zakłóceń na możliwości informacyjne stacji radiolokacyjnych oraz wielkości i parametry strefy informacji radiolokacyjnej. Zagadnieniami szeroko rozumianej odporności systemu radiolokacyjnego rozpoznania na zakłócenia radioelektroniczne zajmowało się wielu innych badaczy, między innymi M. Tołkacz [137] oraz T. Mikoś [83].

Wpływem innego rodzaju zakłóceń o charakterze biernym na możliwości propagacyjne stacji radiolokacyjnych autor niniejszej rozprawy zajmował się osobiście w ramach realizowanych w latach 1992 - 1994 kolejnych etapów pracy naukowo-badawczej [108, 105, 106, 107]. Wyselekcjonowane w niej problemy badawcze, takie jak: wpływ ukształtowania i pokrycia terenu na możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych, wpływ atmosfery i naturalnych niejednorodności ziemi na propagację fal radiowych, prognozowanie strefy wykrywania z wykorzystaniem oprogramowania komputerowego czy wnioski z ćwiczeń, stanowiły główny filar tej pracy. Uzyskane w trakcie procesu badawczego wyniki badań ujawniły przyczyny występowania luk informacyjnych w systemie rozpoznania radiolokacyjnego oraz umożliwiły wyznaczenie kierunków poprawy tego stanu rzeczy.

Znaczenie rozpoznania radiolokacyjnego w procesie zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej przedstawił J. Banaś w referacie

---

[23]Wymienione doświadczenia zostały opisane w opracowaniu pt.: Poglądy na prowadzenie operacji powietrznych na terytorium PRL przez siły powietrzne państw NATO, DWOPK, Warszawa, 1986, s. 36.

konferencyjnym [13]. Prezentując doświadczenia z poprzedniego konfliktu zbrojnego z Rejonu Zatoki Perskiej wyróżnił:

- prowadzenie przez siły koalicyjne kompleksowego rozpoznania (satelitarnego, lotniczego, radioelektronicznego);
- kompleksowe użycie środków do „oślepienia" systemu rozpoznania oraz łączności;
- stosowanie rozpoznania i niszczenia środków rozpoznania radiolokacyjnego;
- wykorzystanie do zakłóceń systemu rozpoznania pilotowych i bezpilotowych środków zakłóceń radioelektronicznych.

W końcowej części wystąpienia pokreślił potrzebę zintensyfikowania wysiłku w zakresie rozpoznania radiolokacyjnego, radioelektronicznego, powietrznego i wzrokowego ze względu na zmiany jakościowe technologii pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej i zwiększenie odporności systemu będącego jej źródłem.

Z kolei w studium operacyjnym pierwszego etapu badań Z. Groszek i A. Adamczyk określili między innymi wymagania w zakresie jakości i ilości informacji radiolokacyjnej ([47] s. 66) oraz wymiarów przestrzennych strefy rozpoznania radiolokacyjnego ([47] s. 84). Uzyskane wyniki badań sprzyjają porównaniu z aktualnie obowiązującymi wymaganiami informacyjnymi.

Stosunkowo dużo miejsca w literaturze przedmiotu poświęcono problemom rozpoznania radiolokacyjnego, między innymi prace naukowo-badawcze pod kierownictwem F. Mroczki [64, 105, 106, 107,]. W pracach tych eksponowano zwłaszcza problem wpływu czynników na strefę wykrywania stacji radiolokacyjnych, jak również wykorzystania mapy Polski do tworzenia radiolokacyjnego systemu informacyjnego.

Współcześnie proponowane poglądy odnoszą się do aktywnego uczestnictwa naszych sił zbrojnych w Sojuszu Północnoatlantyckim. Problemem pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej w kategoriach sojuszniczego i narodowego systemu OP, interesował się również M. Grzybowski [48, 49, 50, 51, 52]. Przedstawił on między innymi [50] System Rozpoznania i Kontroli Przestrzeni Powietrznej – ASACS (Air Surveillance and Control System) funkcjonujący w ramach Zintegrowanego Systemu Obrony Powietrznej – NATINADS (NATO Integrated Air Defence System). Zilustrował ponadto konieczność tworzenia rzeczywistego obrazu sytuacji powietrznej na podstawie informacji otrzymanych z naziemnych posterunków radiolokacyjnych RRP (Radar Remote Post) oraz z systemu wczesnego wykrywania AWACS (Airborne Warning and Control System).

Rozpoznanie przestrzeni powietrznej, zdaniem tego samego autora, powinno obejmować wykrywanie przez aktywne i pasywne systemy rozpoznania radiolokacyjnego, identyfikację i dystrybucję rzeczywistego obrazu sytuacji powietrznej. Otrzymane dane uzupełnia się o niezbędne do identyfikacji parametry. Taka informacja podlega ocenie i odpowiedniej rekomendacji, stanowiąc podstawę ostatecznej identyfikacji. Z kolei w materiale z naukowego sympozjum nt. *Informacji w obronie powietrznej* M. Grzybowski wyszczególnia zadania stanowisk dowodzenia CRC między innymi w zakresie rozpoznania obiektów w przestrzeni powietrznej, ich identyfikacji oraz walki z zakłóceniami radioelektronicznymi. Według tego autora rozpoznanie obiektów w przestrzeni powietrznej polega na ciągłym obserwowaniu wyznaczonego sektora przestrzeni powietrznej przez aktywne lub pasywne systemy rozpoznania radiolokacyjnego oraz wykrywaniu, śledzeniu i przekazywaniu informacji o obiektach powietrznych.

Natomiast identyfikacja ma na celu określenie typu i przynależności obiektu powietrznego. Wykorzystuje się do tego co najmniej jeden z poniższych czynników:

- korelację z planami lotów;
- elektroniczne zapytanie;
- zachowanie się obiektów w przestrzeni powietrznej;
- rozpoznanie wzrokowe [49].

Nie można pominąć faktu, że rozpoznanie wzrokowe jest przydatne nie tylko do wykrywania obiektów powietrznych wykonujących lot na małych i bardzo małych wysokościach, lecz także do identyfikacji. Rozważając problem identyfikacji, autor niniejszej rozprawy poszukiwał również w literaturze przedmiotu systemów wspomagających pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej. W tym obszarze dominują systemy ekspertowe, które wprawdzie znajdują liczne odwzorowania w literaturze przedmiotu (między innymi [20, 22, 46, 85, 94, 95, 132, 133, 134]), jednakże ich opis świadczy o tym, że nie znalazły dotychczas zastosowania w systemie obrony powietrznej.

Nie sposób oczywiście wymienić wszystkich opracowań związanych z podjętym problemem badań, dlatego ograniczono się jedynie do tych najbardziej zbliżonych w zakresie prowadzonych naukowych rozważań.

Mimo tak znacznego dorobku teoretycznego w analizowanym obszarze postrzega się głównie i to na przestrzeni wielu lat rosnące tendencje do formułowania wymagań informacyjnych (parametrów jakościowych oraz ilościowych). Ponadto na podstawie doświadczeń z wojen i konfliktów zbrojnych wskazuje się różnorodne kierunki zachowania

powietrznej, którego zasadniczą przyczyną są „słabe strony" obecnych źródeł rozpoznania przestrzeni powietrznej w kontekście celowych zamierzeń przeciwnika powietrznego.

Literatura przedmiotu dostarcza wybiórczych treści dotyczących rozwoju technologicznego źródeł rozpoznania radiolokacyjnego, będących jedynie zarysem ich wdrożenia, a nie przełożeniem ich potencjalnych możliwości na problemy deficytu informacyjnego. Oczekiwania w tym względzie uzasadniły potrzebę poszukiwania nowych[24] źródeł umożliwiających pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej. W konsekwencji otrzymanych rezultatów badań diagnostycznych skonkretyzowano kierunek prowadzonych badań.

Wymienione wyżej uwarunkowania pozwoliły na sformułowanie dwóch celów badawczych (diagnostycznego oraz utylitarnego), a mianowicie:

1. **Określenie przyczyn występowania deficytu informacji o sytuacji powietrznej.**
2. **Opracowanie koncepcji wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej, nowych technologii oraz metod dla zmniejszenia deficytu informacji o sytuacji powietrznej.**

Osiągnięcie celów badań było możliwe w wyniku rozwiązania podstawowego problemu badawczego: **Jakie źródła, technologie oraz metody należy wykorzystać do zwiększenia efektywności wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych?**

Z metodologicznego punktu widzenia podstawowy problem badawczy zdekomponowano na szczegółowe problemy badawcze, które przedstawiono w postaci następujących pytań:

1. **Czy źródła informacji wykorzystywane w obecnym systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej zapewniają z wymaganą efektywnością wykrycie i identyfikację obiektów powietrznych?**
2. **Czy zautomatyzowany system dowodzenia DUNAJ umożliwia pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej, niezbędną do kierowania aktywnymi środkami walki OP?**
3. **W jaki sposób można osiągnąć wyższą skuteczność w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej?**
4. **Jakie źródła, metody i technologie należy zastosować w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej dla potrzeb systemu OP?**

---

[24] Wszystkie źródła, które aktualnie (tj. na dzień 2.03.2005r.) nie znajdują zastosowania w systemie OP RP.

4. Jakie źródła, metody i technologie należy zastosować w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej dla potrzeb systemu OP?

W świetle tego nurtu badań **przedmiotem badań** były źródła informacji o sytuacji powietrznej (konwencjonalne i niekonwencjonalne), nowe technologie przeznaczone do wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych oraz metody umożliwiające pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej.

W celu rozwiązania wyżej wymienionych problemów nieodzowne było sięgnięcie do dorobku wielu dziedzin, dyscyplin oraz specjalności naukowych, zarówno w obszarze teorii, jak i rozwiązań mających wymiar pragmatyczny.

Poszukując nowych źródeł informacji o sytuacji powietrznej, należy się kierować następującymi kryteriami:

- skutecznością wykrycia oraz identyfikacji obiektów powietrznych;
- niewykrywalnością nowych źródeł informacji o sytuacji powietrznej;
- odpornością na zakłócenia;
- mobilnością.

W tym celu płaszczyznę poszukiwań powinna stanowić technika w powiązaniu z optyką oraz rozchodzeniem się fal radiowych i dźwiękowych. Z kolei w procesie poszukiwania metod nieodzowna wydaje się być heurystyka wraz z oferowanymi przez nią metodami i technikami, gdyż z racji jej twórczego charakteru powinna sprzyjać powstawaniu nowych pomysłów w tym względzie.

Ze względu na pragmatyczny wymiar rozprawy weryfikacja przyjętych hipotez roboczych powinna mieć charakter empirycznych badań (najlepiej eksperymentu naukowego).

Nie ulega wątpliwości, że prowadzone w trakcie procesu badawczego naukowe zamierzenia powinny być zdominowane oczekiwaniami systemu dowodzenia OP w odniesieniu do jakości informacji o sytuacji powietrznej.

Stosownie do celu badań oraz problemów badawczych w pracy przyjęto następujące hipotezy robocze:

1. Efektywność systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej bazującego na aktualnych źródłach informacji jest wysoce niewystarczająca dla efektywnego kierowania aktywnymi środkami OP.

2. Zautomatyzowany system dowodzenia DUNAJ nie wspomaga systemu OP w zakresie pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

3. Wyższy poziom skuteczności w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej można osiągnąć na skutek kompleksowego zastosowania dostępnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej.

4. Zastosowanie nowych źródeł oraz metod wydatnie zwiększy skuteczność systemu wykrywania i identyfikacji obiektów powietrznych.

Osobiste zainteresowania autora rozprawy problematyką dotyczącą problemu zasilania informacją o sytuacji powietrznej systemu dowodzenia OP, jak również wieloletnie doświadczenia zawodowe w tym zakresie sprzyjały określeniu zasadniczych kierunków badań. W ich efekcie przeprowadzono badania umożliwiające zidentyfikowanie przyczyn zakłóceń propagacji fal radiowych stacji radiolokacyjnych z uwzględnieniem czynników terenowych (w tym między innymi właściwości ziemi) oraz warunków atmosferycznych. Na podstawie wyników tych badań określono determinanty strefy rozpoznania radiolokacyjnego, które zaliczono do grupy naturalnych. Jak się później okazało, otrzymane rezultaty stały się inspiracją do poszukiwania rozwiązań w zakresie poprawy parametrów strefy rozpoznania radiolokacyjnego, problemu szczególnie istotnego w aspekcie wyboru pozycji bojowej dla stacji radiolokacyjnych.

Kierując się potrzebą uporządkowania procesu badawczego, dokonano jego ujęcia w trzech chronologicznie następujących etapach:

1. Diagnozy stanu teorii i praktyki w zakresie zagrożeń oraz przyczyn występowania deficytu informacji o sytuacji powietrznej.
2. Poszukiwania sposobów zmniejszenia deficytu informacji o sytuacji powietrznej.
3. W obszarze rozwiązań praktycznych diagnoza sprowadzała się do poszukiwania odpowiedzi na następujące pytania:
   - jakie obecnie źródła tworzą system rozpoznania przestrzeni powietrznej?
   - jak rozwiązany jest problem identyfikacji obiektów powietrznych?
   - czy obecnie funkcjonujący zautomatyzowany system dowodzenia DUNAJ umożliwia pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej?

Konfiguracja obiektu badań przyjęta w diagnostycznym etapie procesu badawczego wymagała uzyskania odpowiedzi na pytania natury ogólnej. Dopiero usytuowanie go w obrębie rozwiązań praktycznych wymusiło konkretyzację podejścia badawczego.

W procesie badawczym niezmiernie przydatne okazało się odniesienie do wniosków z ostatnich wojen i konfliktów zbrojnych do Systemu Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej RP, przede wszystkim w zakresie pokonywania tego systemu przez przeciwnika powietrznego. W ich następstwie można było wyróżnić niekonwencjonalne źródła oraz

metody służące pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej. W celu zweryfikowania przyjętych hipotez badawczych podjęto próbę eksperymentu naukowego, zarówno w obszarze zidentyfikowanych źródeł, jak i opracowanej metody pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej. Były to badania poligonowe (także laboratoryjne), prowadzone w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Badaniom poddano te pasywne źródła informacji, które dotychczas nie znalazły zastosowania w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej. Rezultatem tych badań była obserwacja i identyfikacja śmigłowców poniżej dolnej granicy strefy rozpoznania[25].

W obszarze poszukiwań metod pozyskiwania informacji założono na wstępie tego etapu badań (z uwagi na kryterium czasu w procesie podejmowania decyzji), iż opracowana metoda powinna znaleźć utylitarne odniesienie. Przyjęto zatem, że należy skonstruować taki program, który w kontekście poprawnej weryfikacji hipotezy przyjętej w procesie badawczym, byłby doskonałym uzupełnieniem wkładu do teorii.

Do rozwiązywania problemów badawczych i weryfikacji hipotez roboczych zastosowano następujące metody badawcze: analizę, syntezę, prognozowanie, metodę modelowania oraz obserwację naukową.

Analizę, jako główną metodę badawczą, zastosowano w trakcie studiowania literatury, wniosków z ćwiczeń, a także elementów składowych systemów dowodzenia obroną powietrzną i realizowanych w nich zadań.

Analiza morfologiczna posłużyła do identyfikacji systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej oraz do określenia znaczenia tego systemu w aspekcie kierowania środkami walki.

Analiza systemowa, jako złożona metoda rozwiązywania problemów naukowych i praktycznych, była przydatna w części diagnostycznej, formułowaniu założeń i kierunków badań. Analiza systemowa, zwłaszcza jej walory identyfikacyjne, była pomocna także w ocenianiu badanej rzeczywistości i sformułowaniu problemów badawczych. Analiza systemowa, będąca sztuką stawiania pytań i poszukiwania na nie odpowiedzi, formułuje dwa uniwersalne, adekwatne do systemu wspomagania dowodzenia obroną powietrzną, pytania:

1. Jak jest i dlaczego tak jest?
2. Jak być powinno i co należy uczynić, aby doprowadzić do pożądanego stanu?

Analizą wartości autor posiłkował się przy ocenie efektywności źródeł oraz metod pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznych.

---

[25] Wyniki badań przedstawiono w podrozdziale 2.4.

Syntezę zastosowano do opisu kierunków doskonalenia systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej oraz przedstawienia wniosków wynikających z całości pracy.

Metody prognozowania wykorzystano do modelowania i algorytmizacji procesów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

Metoda modelowania pozwoliła zweryfikować opracowaną metodę kojarzenia sygnatur obiektów powietrznych. **W tym celu opracowano model, algorytm i program IDENTYFIKACJA. W konstrukcji modelu, algorytmu oraz programu istotną rolę odegrała metoda analizy, syntezy, porównań oraz wnioskowania**.

Oprócz przedstawionych wyżej metod, autor w czasie kolejnych etapów badań stosował także inne metody badawcze. Wykorzystano je przede wszystkim jako uzupełnienie analizy systemowej, w poszczególnych etapach procesu rozwiązywania problemów badawczych. Takimi metodami były: analogia, porównanie i uogólnienie. Umożliwiły one dokonanie teoretycznej konfrontacji dotychczasowych poglądów dotyczących rozpoznania przestrzeni powietrznej oraz wyjaśnienie występujących w tym zakresie kontrowersji. Ponadto wymienione metody pozwoliły, przez pryzmat obrony powietrznej, ocenić aktualny stan i kierunki rozwoju źródeł informacji o sytuacji powietrznej oraz zautomatyzowanych systemów dowodzenia wspomagających dowodzenie wojskami OP.

Układ pracy stanowi odzwierciedlenie celu badań oraz wyróżnionych problemów badawczych. Rozprawa składa się z czterech rozdziałów, zakończenia, bibliografii i załączników.

We wstępnej części rozprawy przedstawiono interpretację pojęcia informacji o sytuacji powietrznej oraz jej znaczenie dla systemu obrony powietrznej. W dalszej części przedstawiono genezę podjęcia problematyki wraz opisem stanu wiedzy w literaturze przedmiotu. Ponadto sprecyzowano cele, problemy badawcze, hipotezy robocze oraz metody badawcze.

W rozdziale pierwszym zawarto charakterystykę strefy rozpoznania w kontekście zasilania informacyjnego systemu obrony powietrznej. Prowadzone dociekania pozwoliły wyselekcjonować zasadnicze czynniki, determinujące jej poszczególne parametry.

W rozdziale drugim zaprezentowano charakterystykę źródeł informacji o sytuacji powietrznej. Przedstawiono w nim między innymi niekonwencjonalne źródła pozyskiwania informacji, spośród których najwięcej uwagi poświęcono obserwacji optycznej (głównie termolokacji) oraz detekcji sygnałów akustycznych. Wskazano w nim także kierunki rozwoju technologicznego urządzeń, przeznaczonych do rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Ponadto w jego finalnej części przedstawiono przebieg oraz rezultaty badań empirycznych, które posłużyły do weryfikacji jednej z przyjętych hipotez roboczych.

W rozdziale trzecim zaprezentowano wybrane metody heurystyczne, których właściwości mogą być przydatne do pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej. Zasadniczą treścią tego rozdziału jest analiza metody skojarzeń sygnatur[26] obiektów powietrznych. Prowadzone prace badawcze w tym zakresie zaowocowały modelem oraz algorytmem programu IDENTYFIKACJA, którego opis przedstawiono w kolejnym, czwartym rozdziale rozprawy. Weryfikację przyjętych w niniejszym programie rozwiązań algorytmicznych przeprowadzono w 3 Brygadzie Radiotechnicznej[27]. Uzyskane rezultaty badań mają charakter praktycznych zastosowań pozwoliły na opracowanie wniosków oraz wytyczenie kierunków dalszych rozwiązań w tym zakresie. Większość opisów wyników badań wraz z algorytmami programowymi umieszczono w załącznikach.

W zakończeniu przedstawiono wnioski z całości pracy. Nie tylko podkreślono w nich wagę problemu, ale także zawarto uwagi i propozycje dotyczące zminimalizowania deficytu informacji o sytuacji powietrznej. Potwierdzono słuszność przyjętych hipotez roboczych. Wobec istniejącego zagrożenia wystąpienia deficytu informacji o sytuacji powietrznej wskazano na potrzebę zastosowania nowych, niekonwencjonalnych źródeł oraz metod pozyskiwania informacji.

Określono zakres wykorzystania pasywnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej, których zalety, zdaniem autora, stanowią o ich przydatności w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Uzyskane rezultaty, w wyniku zastosowania metody syntezy, pozwoliły na sformułowanie wniosków określających kierunki prowadzenia dalszych prac nad stosowaniem nowych źródeł, a także metod umożliwiających pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej.

---

[26] Autor rozprawy spotkał się z pojęciem sygnatur obiektów (między innymi [120, 122, 123, 114, 75]). Przez sygnaturę celu (ang. target signature) rozumie się zbiór charakterystycznych cech celu pozwalający wyróżnić go z tła przez dany układ detekcyjny w różnych warunkach meteorologicznych i terenowych oraz z różnych kierunków i odległości obserwacji.

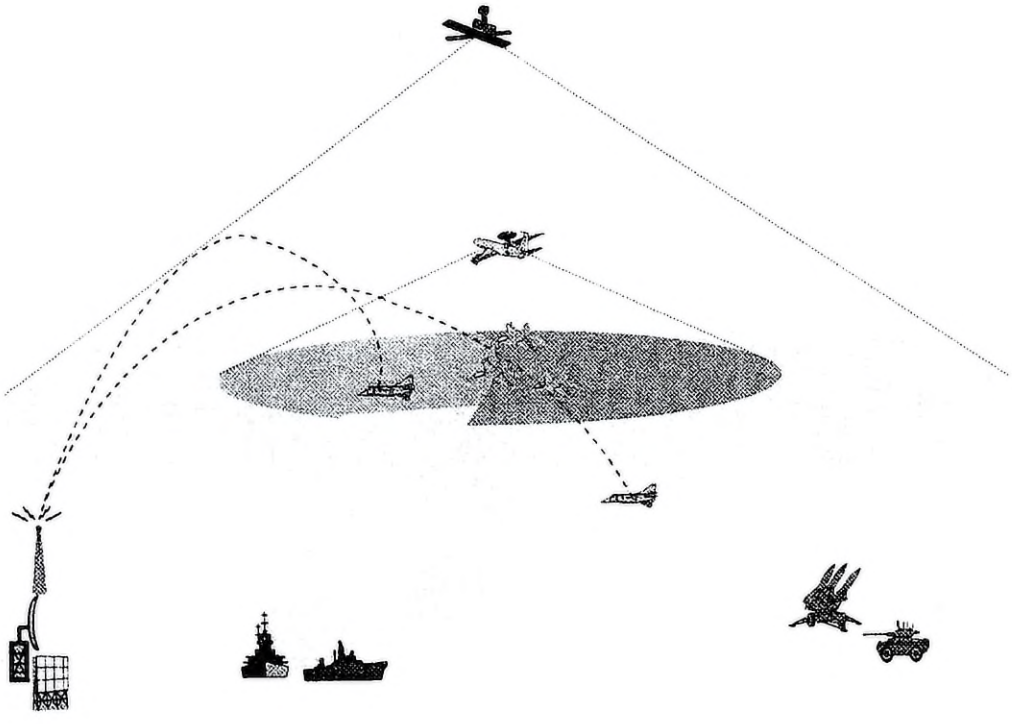
[27] Sprawozdanie z eksperymentu naukowego dotyczącego programu IDENTYFIKACJA przedstawiono w podrozdziale 4.3.

1. OGRANICZENIA MOŻLIWOŚCI POZYSKIWANIA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ

1.1. Strefa rozpoznania przestrzeni powietrznej i jej parametry

Możliwości źródeł rozpoznania zależą od ich parametrów oraz od środowiska, w którym są usytuowane. Obserwacja przestrzeni powietrznej z powietrza i lądu (morza) powoduje, że następuje rzeczywiste nakładanie się stref rozpoznania tych źródeł (rys. 1.1.1).

Systemy obronne korzystają z różnorodnych form prowadzonego w warunkach pokoju oraz wojny rozpoznania, skierowanego na pozyskiwanie informacji. Dla zapewnienia skutecznego funkcjonowania obrony powietrznej niezbędne jest jej zasilanie w informację o wymaganych parametrach zarówno ilościowych, jak i jakościowych. W dobie globalizacji systemów rozpoznania obrona powietrzna „korzysta" z wielu jego źródeł.



Rys. 1.1.1. Rozpoznanie przestrzeni powietrznej

W Systemie Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej Sił Zbrojnych RP, jak i w Systemie Rozpoznania i Kontroli Przestrzeni Powietrznej (ASACS[28]), główne źródło informacji o sytuacji powietrznej stanowią stacje radiolokacyjne, rozmieszczone na naziemnych posterunkach radiolokacyjnych.

W procesie badawczym dokonano analizy najważniejszych parametrów strefy rozpoznania[29] przestrzeni powietrznej, którą charakteryzują wskaźniki przestrzenne, jakościowe, a także ilościowe. Wśród zasadniczych parametrów przestrzennych strefy rozpoznania przestrzeni powietrznej wyróżniono:

- dolną granicę strefy rozpoznania;
- górną granicę strefy rozpoznania;
- granicę strefy rozpoznania na rozpatrywanej wysokości;
- współczynnik przekrycia lub warstwowości;
- głębokość strefy rozpoznania.

Literatura przedmiotu dość obszernie traktuje o parametrach strefy rozpoznania przestrzeni powietrznej, uwarunkowanych propagacją fal radiowych [27, 1, 3, 13, 54, 48, 105, 106, 107]. *Dolna granica strefy rozpoznania przestrzeni powietrznej,* będącą jednym z najważniejszych parametrów strefy informacji[30], jest określana jako najmniejsza wysokość, mierzona od powierzchni ziemi, od której środki rozpoznania mogą wykrywać i śledzić w sposób ciągły obiekty powietrzne.

Ten parametr ma zasadnicze znaczenie z punktu widzenia wykrywania obiektów nisko lecących. Zasięg radiolokacyjny dla obiektów znajdujących się na małych wysokościach jest zdeterminowany zjawiskami związanymi z propagacją fal elektromagnetycznych oraz krzywizną Ziemi. Powszechnie znanym zjawiskiem, który istotnie wpływa na zasięg radiolokacyjny jest refrakcja atmosferyczna. Dla tzw. standardowej refrakcji atmosferycznej zasięg radiolokacyjny zwany inaczej horyzontem radiolokacyjnym wynosi w przybliżeniu[31]:

---

[28] Centrum Operacji Powietrznych SP jest częścią natowskiego systemu obserwacji i kontroli przestrzeni powietrznej (Air Surveillance and Control System – ASACS). Ponadto realizuje zadania wynikające z celu funkcjonowania systemu narodowego.

[29] Strefę rozpoznania przestrzeni powietrznej tworzą środki rozpoznania radiolokacyjnego, elektronicznego i inne źródła informacji o sytuacji powietrznej.

[30] Szczególnie istotny w warunkach wojen oraz konfliktów zbrojnych, a także w warunkach pokoju (w dobie terroryzmu), ze względu na taktykę pokonywania systemu rozpoznania radiolokacyjnego, czyli lot obiektu powietrznego na małych wysokościach (poniżej dolnej granicy strefy informacji).

[31] Dla uśrednionych parametrów atmosfery.

$$R_H[km] < 4{,}12\left(\sqrt{h}[m] + \sqrt{H}[m]\right) \qquad [1.1.1]$$

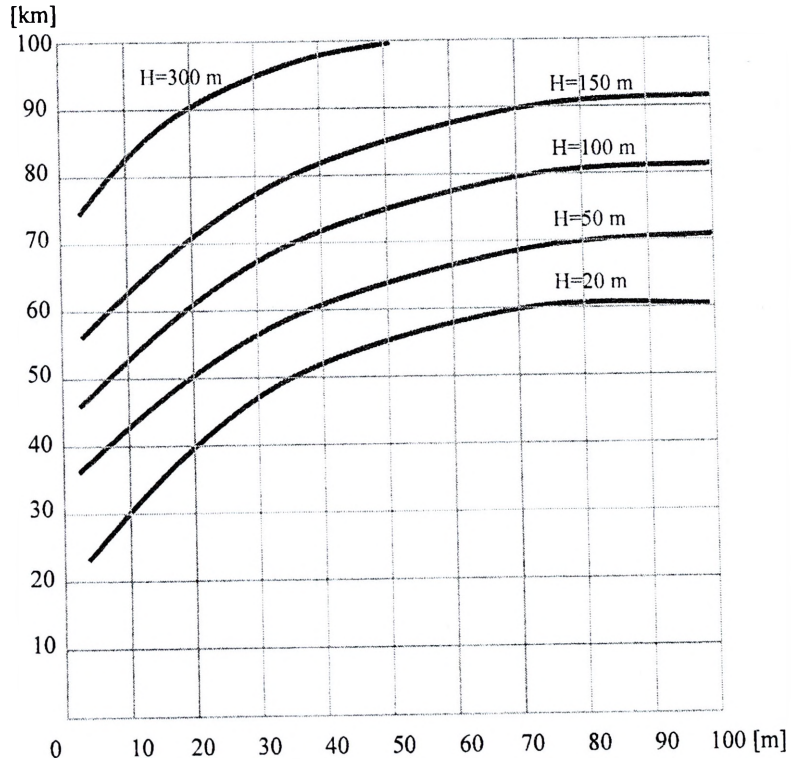
gdzie:

R_H – horyzont radiolokacyjny;

h – wysokość zawieszenia anteny stacji radiolokacyjnej;

H – wysokość lotu obiektu powietrznego.

Graficzną interpretację horyzontu radiolokacyjnego przedstawia rys. 1.1.2



Źródło: Praca zbiorowa pod kier. J. Kroszczyńskiego, Współczesne urządzenia radiolokacyjne, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2003.

Rys. 1.1.2. Zależność horyzontu radiolokacyjnego od wysokości położenia anteny oraz obiektu powietrznego

Następnym parametrem strefy rozpoznania, który ma olbrzymie znaczenie dla procesu wykrywania obiektów wysoko lecących, jest *górna granica strefy rozpoznania.* Jest to maksymalna wysokość mierzona od poziomu morza, na której środki rozpoznania mogą wykrywać i śledzić w sposób ciągły obiekty powietrzne.

Swoistą miarą gwarancji (potwierdzenia) wykrytego i śledzonego obiektu jest *współczynnik przekrycia* (warstwowości). Nazwa jego wywodzi się od wartości liczbowej, określającej liczbę źródeł jednocześnie śledzących ten sam obiekt powietrzny. Wyrażony jest on następującą zależnością:

$$K_p = 1{,}2\left(\frac{R_{ho}}{R_{hd}}\right)^2 \qquad [1.1.2]$$

gdzie:

R_{ho} – średni zasięg wykrywania na określonej wysokości;

R_{hd} – średni zasięg wykrywania dla wysokości dolnej granicy strefy rozpoznania.

Niezbędnym parametrem do określenia możliwości wykrywania obiektów na dowolnej wysokości jest *granica strefy rozpoznania na rozpatrywanej wysokości*, będąca obwiednią powierzchni, uzyskanej w wyniku „przecięcia" umowną płaszczyzną na zadanej wysokości strefy rozpoznania. Wielkość uzyskanej w ten sposób płaszczyzny można przedstawić w następujący sposób:

$$S_p = R_H N_{RLP} K \qquad [1.1.3]$$

gdzie:

S_p – powierzchnia powstała po „przecięciu" umowną płaszczyzną;

R_H – zasięg wykrywania określonych posterunków radiolokacyjnych dla wskazanej wysokości;

N_{RLP} – liczba posterunków radiolokacyjnych;

K – współczynnik sposobu rozlokowania posterunków (np. w kwadrat K=2, w trójkąt K = 2,6).

Poszukując głównego parametru, stanowiącego kryterium jakościowe możliwości bojowych stacji radiolokacyjnych autor rozprawy dotarł do *głębokości strefy rozpoznania*. Definiowana jest ona jako miara podwójnego maksymalnego zasięgu źródeł naziemnych, nawodnych lub powietrznych, mierzona od linii ich ugrupowania [105]. Określając czynniki determinujące możliwości bojowe stacji radiolokacyjnych, w pierwszej kolejności skupiono wysiłek na sprecyzowaniu tych czynników, które bezpośrednio wpływają na zasięg wykrywania (radiolokacyjny). Zasięg wykrywania w swobodnej przestrzeni stacji

radiolokacyjnych przedstawiono w postaci powszechnie przyjętej zależności [1, 13, 17, 96, 51, 105, 106, 107]:

$$R = \sqrt[4]{\frac{P_{nad} P_{odb} \lambda^2 \sigma}{P_o (4\pi)^3}} \qquad [1.1.4]$$

gdzie:

P – moc promieniowanej energii elektromagnetycznej;

λ – długość fali;

σ – skuteczna powierzchnia odbicia;

P_o – czułość odbiornika;

G – zysk kierunkowy anteny, który wyrażony jest zależnością:

$$G = 4\pi \frac{S_{sk}}{\lambda^2} \qquad [1.1.5]$$

Z równania zasięgu radiolokacyjnego wynika, że zasięg jest proporcjonalny do pierwiastka czwartego stopnia z mocy nadajnika, zysku i powierzchni anteny oraz skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego i jest odwrotnie proporcjonalny do czułości odbiornika. Proporcjonalność do czwartego stopnia pierwiastka oznacza, że dwukrotna zmiana jednej z wielkości (zależność 1.1.4) powoduje zmianę zasięgu zaledwie o około 19%.

1.2. Ograniczenia spowodowane uwarunkowaniami terenowymi

Autor rozprawy [105, 106, 107, 108] uczestniczył w badaniach dotyczących wpływu warunków terenowych na możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych. Uzyskane rezultaty badań potwierdziły przyjętą pierwotnie hipotezę, że warunki terenowe silnie determinują propagację fal elektromagnetycznych. Problem ten został rozwiązany zasadniczo w dwóch nurtach, to jest: wpływu naturalnych nierówności i niejednorodności oraz wpływu infrastruktury na możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych. W procesie badawczym konieczne było zdiagnozowanie tego, co proponuje w tym zakresie teoria rozchodzenia się fal radiowych.

Powszechnie wiadomo, że w przypadku anten wzniesionych pole w miejscu odbioru określa się jako wynik interferencji promienia bezpośredniego z promieniem odbitym od ziemi. Nierówności ziemi wpływają na wartości współczynnika odbicia, a więc i na natężenie pola promienia odbitego. Pojawienie się rozproszenia jest równoznaczne ze zmniejszeniem się wartości modułu współczynnika odbicia. Problem propagacji fal elektromagnetycznych nie istnieje, gdy powierzchnia odbijająca jest gładka i jednorodna. W takim wypadku zagadnienie, jaka właściwie część powierzchni uczestniczy w formowaniu promienia odbitego, nie ma zasadniczego znaczenia. Jeśli w obszarze odbicia fal znajduje się nierówna powierzchnia, to efektywnie uczestniczy ona w formowaniu fali odbitej (rys. 1.2.1). Charakter i stopień nierówności zmienia się w zależności od kąta padania wygenerowanej fali, dlatego do przeprowadzenia wnikliwych badań w tym zakresie konieczna jest znajomość tej części powierzchni ziemi.

Wobec tego błędne byłoby twierdzenie, że w przestrzeni swobodnej energia związana z falą przenoszona jest wzdłuż linii prostej łączącej punkt nadawania z punktem odbioru, a także, iż promień odbity od ziemi formuje się tylko w tym punkcie, w którym kąt padania równy jest kątowi odbicia. Do znajdowania obszaru, na którym formuje się promień odbity, należy skorzystać ze stref Fresnela[32].

Strefy Fresnela można konstruować nie tylko na powierzchni czoła fali (powierzchnia ekwifazowa), lecz i dowolnej powierzchni. Przy określaniu granic stref Fresnela należy brać pod uwagę zależności fazowe między poszczególnymi punktami na wybranej powierzchni.

Leontowicz wskazał, że strefy Fresnela można konstruować również na powierzchni ziemi, od której odbijają się fale ultrakrótkie. Ograniczając się do przypadku rozchodzenia się fal na niewielkie odległości, gdy powierzchnię tą można uważać za płaską i przypisać jej własności idealnego reflektora, można określić kształt i granice stref Fresnela.

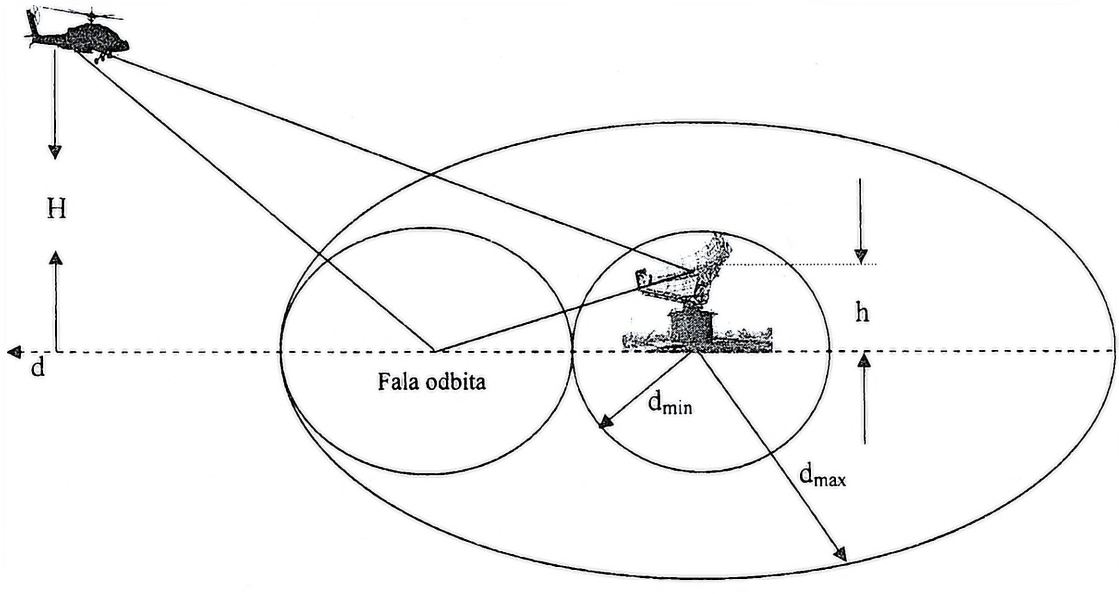
Tak samo jak przy swobodnym rozchodzeniu się fal radiowych można spodziewać się, że przy idealnie gładkiej powierzchni ziemi ujęcie „falowe" da taki sam rezultat, jak metoda optyki geometrycznej.

Obszar pierwszej strefy Fresnela (dokładniej połowy pierwszej strefy) jest tym obszarem, który odgrywa decydującą rolę w formowaniu się promienia odbitego.

---

[32] Strefami Fresnela nazywa część frontu fali o takich wymiarach, których faza fali rozchodzącej się od źródła przez początek strefy różni się o 180° od fazy przechodzącej przez jej kraniec. Pierwsza strefa Fresnela jest okręgiem, której środek leży na linii źródło - punkt obserwacji. Środek tego okręgu jest początkiem strefy. Druga i następne strefy są pierścieniami, z których każdy obejmuje poprzedni. Fazy pól na granicach dwu sąsiednich stref różnią się o 180°.

Przy założeniu, że wymagane jest osiągnięcie takiej intensywności promienia odbitego, jaką można otrzymać przy odbiciu od idealnie gładkiej powierzchni, przy czym zrealizować to należy przez wyrównanie powierzchni ziemi w rejonie odbicia. Znajomość rozmiarów i położenie pierwszej strefy Fresnela pozwala określić obszar ziemi, który powinien być gładki. Uważa się przy tym, że rozproszenie w dalszych strefach Fresnela nie wpływa na natężenie pola w miejscu odbioru.



Rys. 1.2.1. Obszar bezpośrednio wpływający na propagację fal radiowych

Wielkość pierwszej strefy Fresnela można wyrazić wzorem:

$$d_{min} = 0{,}72\frac{h^2}{\lambda}\ ,\ d_{max} = 23{,}3\frac{h^2}{\lambda} \qquad [1.2.1]$$

gdzie:

h – wysokość zawieszenia lustra anteny [m];

λ – długość fali [m].

Obie zależności są słuszne dla maksimum pierwszego listka charakterystyki promieniowania stacji radiolokacyjnej oraz dla warunku: $h \ll H$.

Zwiększenie strefy Fresnela następuje wraz ze zmniejszaniem długości fali oraz ze zwiększaniem wysokości zawieszenia anteny. Tak samo jak przy rozchodzeniu się fal w wolnej przestrzeni można uważać, że promień odbity formuje się w granicach połowy pierwszej strefy Fresnela. W takim razie pod uwagę brać należy charakter nierówności obszaru zawartego w tych właśnie granicach. W zakresie fal od 3 do 10 cm większość spotykanych rodzajów powierzchni ziemi wywołuje rozproszenie, wobec czego w płaszczyźnie pionowej listki charakterystyk kierunkowych anten zarysowane są niewyraźnie.

Jak dowodzą przeprowadzone badania, lustrzane odbicia zachodzą wyłącznie na równych miejscach, takich jak np. lotniska, pustynie i spokojna powierzchnia wód. Charakter odbić od morza zależny jest od stanu jego powierzchni i przy silnym falowaniu przechodzi w rozproszenie, co przejawia się silniej dla fal polaryzowanych poziomo. Wartości zmierzone bliższe są teoretycznym w przypadku polaryzacji pionowej; potwierdza to wniosek o silniejszym wpływie nierówności powierzchni na wartość współczynnika odbicia od polaryzacji poziomej. Ponieważ tylko w rzadkich przypadkach powierzchnia odbijająca jest w rejonie odbicia idealnie gładka, należy liczyć się z tym, że fale krótsze od 1 m, przy kątach wzniesienia większych od dwóch-trzech stopni, w zasadzie będą się rozpraszać.

Jak wiadomo, w obszarze bezpośrednio wpływającym na odbicie występuje zjawisko odbicia lustrzanego. Oznacza to, że dopuszczalne nierówności powierzchni odbijającej (Δh_1) powinny spełniać warunek:

$$\Delta h_1 = \frac{\lambda}{16 \sin \beta} \qquad [1.2.2]$$

gdzie:

β – kąt wzniesienia.

W wyniku odbicia fali elektromagnetycznej od powierzchni ziemi kształt wypadkowej charakterystyki kierunkowej anteny w płaszczyźnie pionowej jest „wielolistkowy", a w związku z tym zasięg zmienia się w funkcji kąta wzniesienia:

Zasięg w funkcji kąta β wynosi[33]:

$$R_{max}(\beta) = R_{max} f(\beta) \qquad [1.2.3]$$

[33] W przypadku gładkiej Ziemi oraz poziomej polaryzacji fali.

Wyrażenie to zwane charakterystyką zasięgową radaru pozwala na określenie zasięgu w funkcji kąta dla danej płaszczyzny. Dla określenia wpływu odbić od powierzchni Ziemi, uwzględniana jest charakterystyka kierunkowa radaru:

$$f(\beta) = 2 f_a(\beta) \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} h \sin\beta\right) \qquad [1.2.4]$$

gdzie:

fa(β) – pierwotna charakterystyka kierunkowa anteny.

Z wyrażenia tego wynika, że zasięg będzie się zmieniał w sposób oscylacyjny w zależności od kąta β.

Charakterystyka zasięgowa wyniesie wówczas:

$$R_{max}(\beta) = 2 R_{max} f_a(\beta) \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} h \sin\beta\right) \qquad [1.2.5]$$

Dla spełnionego warunku:

$$\frac{2\pi}{\lambda} h \sin\beta = n\pi, \qquad [1.2.6]$$

dla kątów β wynoszących:

$$\beta = \arcsin\frac{n\lambda}{2h}, \qquad [1.2.7]$$

gdzie:

n= 0, 1, 2, 3, ...,

zasięg radaru równy jest zeru.

Z kolei, gdy:

$$\frac{2\pi}{\lambda} h \sin\beta = \frac{2n+1}{2}\pi, \qquad [1.2.8]$$

czyli:

$$\beta = \arcsin\frac{(2n+1)\lambda}{4h}, \qquad [1.2.9]$$

to zasięg radaru będzie spowodowany odbiciami od powierzchni Ziem wyniesie:

$$R'_{max}(\beta) = 2R_{max} f_a(\beta) \qquad [1.2.10]$$

Istotnym czynnikiem wpływającym na zasięg stacji radiolokacyjnych są kąty spadu (nachylenia) terenu. Jeżeli teren w obszarze decydującym o odbiciu jest nachylony w stronę obiektu powietrznego pod niewielkim kątem, to cała charakterystyka jest odchylona o taki sam kąt. Analogiczny wzrost kąta nachylenia terenu spowoduje podniesienie charakterystyki stacji radiolokacyjnej.

Innym ważnym czynnikiem determinującym zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnych są kąty zakrycia powstałe na skutek występowania przeszkód terenowych. Rozpatrując wpływ kątów zakrycia na zasięg radiolokacyjny, należy zwrócić uwagę nie tylko na wielkość tych przeszkód, ale przede wszystkim na ich odległość od stacji radiolokacyjnych. Niejednokrotnie przeszkody o mniejszej wysokości, lecz znajdujące się bliżej, mogą bardziej decydować niż przeszkody znacznie wyższe, ale bardziej odległe.

Kąt zakrycia α obliczany jest z zależności:

$$\alpha = 57{,}3\left(\frac{h_{prz} - h_{poz} - h}{d_{prz}}\right) - \frac{d_{prz}}{2R_z}, \qquad [1.2.11]$$

gdzie:

R_z – promień ekwiwalentny Ziemi;

h_{prz} – wysokość przeszkody terenowej;

d_{prz} – odległość do przeszkody terenowej;

h_{poz} – wysokość (miejsce) rozwinięcia radaru.

Nierówności oraz przeszkody terenowe powinny znajdować się poza pierwszą strefą Fresnela, której rozmiary są uzależnione od wysokości zawieszenia anteny i częstotliwości roboczej stacji radiolokacyjnej. Wraz ze wzrostem wysokości zawieszenia anteny zwiększa się promień pierwszej strefy Fresnela i jednocześnie maleje wpływ nierówności terenu na kształt charakterystyki kierunkowej.

Ponieważ dolna granica strefy rozpoznania jest minimalną wysokością, na której środki rozpoznania radiolokacyjnego mogą wykrywać i śledzić obiekty powietrzne, zależy głównie od warunków terenowych. Najostrzejsze ograniczenia dla tego parametru,

związanego z wykrywaniem obiektów nisko lecących wynikają z tzw. kątów zakrycia posterunku radiolokacyjnego.

Zgoła innym problemem dla propagacji fal radiowych jest środowisko, w którym ta propagacja się odbywa. Ośrodek, w którym rozchodzą się fale elektromagnetyczne, stanowi połączenie niejednolitej atmosfery otaczającej kulę ziemską, niejednorodnej i mocno zróżnicowanej jej powierzchni. Takie otoczenie ma istotny wpływ na propagację fal elektromagnetycznych. Powoduje to osłabienie (tłumienie) rozchodzących się fal elektromagnetycznych, którego przyczyną są między innymi:

- opady atmosferyczne;
- absorpcja molekularna;
- rozproszenie na cząsteczkach;
- tłumienie w twardych cząsteczkach, których największe ilości znajdują się nad ośrodkami przemysłowymi i dużymi aglomeracjami miejskimi.

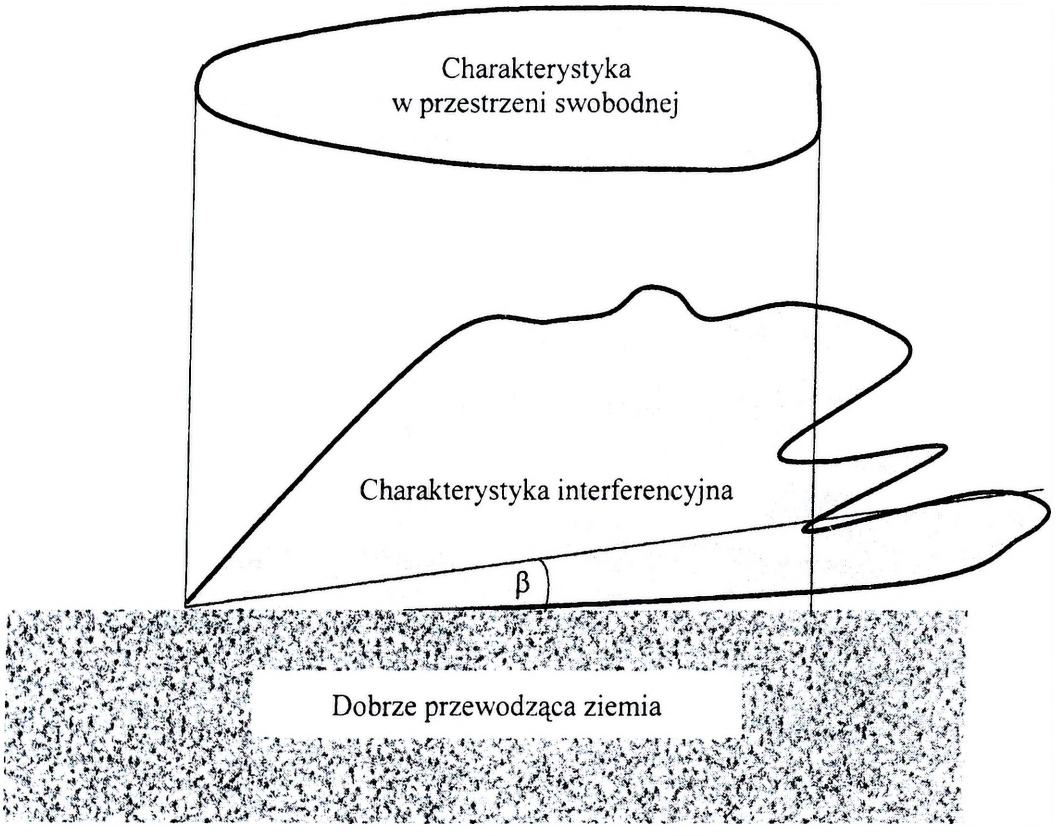
Wynikiem tłumienia jest zmniejszenie zasięgu wykrywania stacji radiolokacyjnych, który jest jednym z najbardziej istotnych jej parametrów. Przy jego obliczaniu należy uwzględnić nie tylko parametry techniczne stacji radiolokacyjnej, ale również charakter ośrodka, w jakim rozchodzi się fala elektromagnetyczna, oraz budowę terenu i przeszkody napotykane na drodze propagacji fal.

Powierzchnia Ziemi wpływa bezpośrednio na rozchodzenie się fal radiowych. Jeżeli chodzi o fale przyziemne powierzchniowe, to można je pominąć ze względu na silne tłumienie stosowanych w radiolokacji fal ultrakrótkich przez powierzchnię ziemi oraz stosunkowo nieznaczny wpływ dyfrakcji. Z tego względu bierze się pod uwagę fale przyziemne przestrzenne, rozchodzące się praktycznie prostoliniowo. Prostoliniowość ta jest przyczyną ograniczającą zasięg radiolokacyjny dla nisko lecących celów do optycznego horyzontu. Fala przyziemna przestrzenna ma dwie składowe – bezpośrednią i odbitą. Wskutek tego charakterystyka promieniowania anteny ma charakter interferencyjny o specyficznym kształcie wielu listków, których jest tym więcej, im wyżej zawieszona jest antena nad ziemią przy danej długości fali.

W górnej części rys. 1.2.2 przedstawiono charakterystykę promieniowania rzeczywistej kierunkowej anteny radiolokacyjnej o polaryzacji poziomej w swobodnej przestrzeni, zaś w dolnej - charakterystyka tej samej anteny nad dobrze przewodzącą powierzchnią idealnie równego obszaru.

Jak widać z powyższych rysunków, odbicie od powierzchni ziemi z jednej strony powoduje interferencyjny listkowy przebieg charakterystyki, a więc powstanie tzw. stref martwych, z drugiej zaś strony pozwala na uzyskanie nawet dwukrotnie większego zasięgu w porównaniu z zasięgiem w swobodnej przestrzeni, przy czym symetralna dolnego listka jest wniesiona nad powierzchnię ziemi o kąt:

$$\beta = \frac{\lambda}{4h} \qquad [1.2.12]$$



Rys.1.2.2. Przykładowa charakterystyka promieniowania anteny radiolokacyjnej

Jeżeli obiekt powietrzny będzie leciał nisko i znajdzie się poniżej tego kąta na skraju dolnego listka, to wówczas widać, że natężenie pola elektromagnetycznego jest mniejsze i zasięg będzie mniejszy. Można wykazać, że w takim przypadku zasięg będzie proporcjonalny do pierwiastka ósmego stopnia zamiast pierwiastka czwartego stopnia w równaniu radiolokacyjnym, a więc wzrost parametrów stacji radiolokacyjnej będzie miał

jeszcze mniejszy wpływ na zasięg radiolokacyjny. Dlatego też w przypadku konieczności zwiększania zasięgu dla wykrywania nisko lecących celów bardziej skuteczne jest zwiększenie wysokości zawieszenia anteny lub skracanie długości fali.

Czynnikiem, który umożliwia analityczne ujęcie zasięgu radiolokacyjnego w przypadku odbić od ziemi, jest współczynnik odbicia W_O. Można go określić ze wzoru:

$$W_o = \frac{E_o}{E_p} \leq 1 \qquad [1.2.13]$$

lub

$$W_o^2 = \frac{S_o}{S_p} \leq 1 \qquad [1.2.14]$$

gdzie:

E_O – natężenie pola fali odbitej;

E_p – natężenie pola fali padającej;

S_O – gęstość strumienia energii fali odbitej;

S_p – gęstość strumienia energii fali padającej.

Współczynnik W_O określa zmianę zarówno amplitudy, jak i fazy natężenia pola fali odbitej. Jego wartość zależy od polaryzacji fali padającej, długości fali oraz tzw. kąta spotkania i elektrycznych właściwości ziemi. Dla „idealnej" powierzchni ziemi, gdzie nie ma strat W_O 1, zaś faza odbitej fali albo nie zmienia się przy pionowej polaryzacji, albo zmienia się o 180^0 przy polaryzacji poziomej. Oznacza to, że charakterystyka promieniowania, gdy odbicie będzie niedoskonałe ($W_O < 1$), z jednej strony będzie nieco krótsza, zaś z drugiej strony będzie nieco „rozmyta-rozmazana".

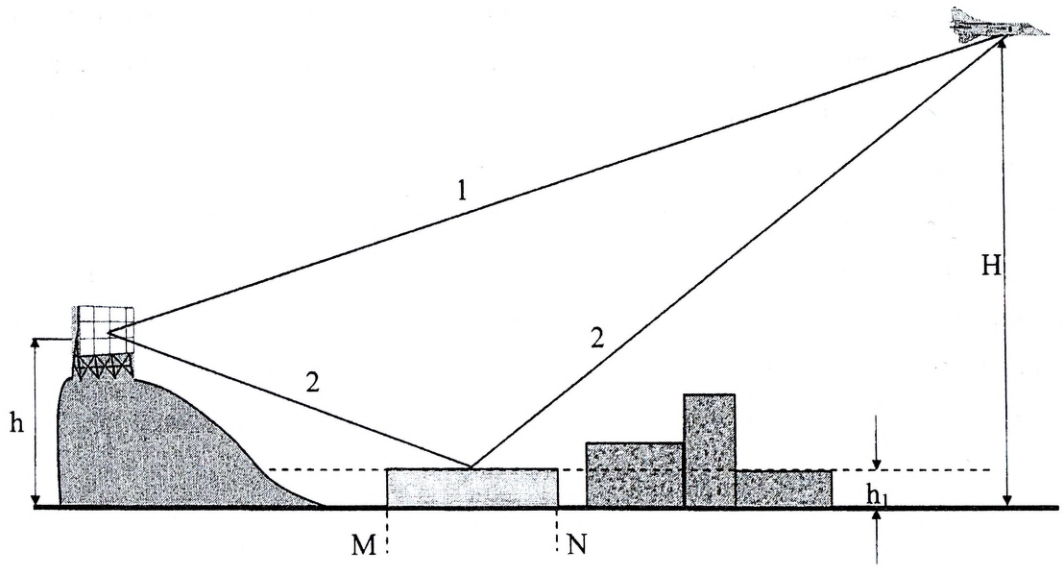
W dotychczasowych rozważaniach był pomijany wpływ kulistości Ziemi na charakterystykę promieniowania, a więc i zasięg radiolokacyjny, jednak przy większych odległościach celu od anteny stacji radiolokacyjnej wpływu tego nie można pominąć. Kulistość ta wpływa na dodatkową różnicę dróg fali bezpośredniej i odbitej. Powoduje to tym większe zmniejszenie się gęstości strumienia fali odbitej, im kąt spotkania jest mniejszy. Wskutek tego nastąpi dodatkowe rozproszenie pola zmniejszającego zasięg radiolokacyjny i powodujące „rozmywanie" charakterystyki.

Również w dotychczasowych rozważaniach zakładało się dostatecznie gładką powierzchnię ziemi w stosunku do długości fali, a więc odbicie lustrzane, gdy kąt odbicia jest równy kątowi padania. Założenie to jest spełnione z reguły dla fal metrowych. Dla fal decymetrowych należy się liczyć z nierównościami powierzchni ziemi, szczególnie w przypadku ostrych wiązek i polaryzacji poziomej. Dla fal centymetrowych odbicie z reguły ma charakter rozproszony (dyfuzyjny). Powoduje to również, analogicznie jak w przypadku uwzględnienia kulistości ziemi, zmniejszenie zasięgu i "rozmywanie-rozmazywanie" charakterystyki promieniowania. Im bardziej odbicie będzie miało charakter rozproszony, tym mniejszy będzie wpływ interferencji na kształt charakterystyki promieniowania; przebieg jej będzie się zbliżał do przebiegu w swobodnej przestrzeni.

Przy obliczeniu natężenia pola wpływ nierówności ziemi uwzględnia się przez wprowadzenie do wzorów interferencyjnych odpowiednio zmniejszonego współczynnika odbicia. Jeśli współczynnik odbicia staje się mniejszy od 0,95, to do obliczeń należy zastosować pełny wzór interferencyjny. Specjalną wagę ma uwzględnienie nierówności przy rozchodzeniu się fal radiowych nad miastem. Przede wszystkim należy rozpatrzyć rozchodzenie się nad miastem fal radiowych wypromieniowanych przez anteny stacji telewizyjnych i stacji radiofonicznych, pracujących z modulacją częstotliwości na falach ultrakrótkich, w warunkach gdy między anteną nadawczą a anteną odbiorczą zachodzi bezpośrednia widoczność.

Tak samo jak w warunkach rozchodzenia się fal nad równą powierzchnią ziemi, do anteny odbiorczej dociera fala bezpośrednia i fala odbita. Jeżeli wysokość anteny nadawczej i odbiorczej są znane, to należy przede wszystkim określić granicę połowy pierwszej strefy Fresnela. W kierunku wzdłużnym granice te oznaczone są na rys. 1.2.3 literami M i N. Jeśli połowa pierwszej strefy znajduje się na terenie zabudowanym, to należy określić średnią wysokość dachów h_1 w tym rejonie.

Natężenie pola może zostać obliczone za pomocą wzorów interferencyjnych, jednak wysokości anten należy określać od średniej wysokości dachów, a współczynnik odbicia można uważać za równy jedności. Przybliżenie takie jest uzasadnione, gdy przy padaniu fal pod niewielkimi kątami wzniesienia na metalowe dachy, te ostatnie uważać można za idealnie odbijające. Jeżeli interesująca strefa przypadnie na plac, rzekę, jezioro itp., wtedy wysokości h i H określać należy od poziomu ziemi, a współczynniki odbicia będą przyjmowały wartości odpowiadające charakterowi nierówności w strefie, w której formuje się promień odbity.



Rys.1.2.3. Rozchodzenie się fal w obszarze zurbanizowanym

1) w bezpośredniej bliskości powierzchni ziemi (fale powierzchniowe),
2) poprzez odbicie od powierzchni ziemi (fale odbite).

Parametry elektryczne niektórych odbijających powierzchni ziemi dla poszczególnych zakresów fal stacji radiolokacyjnych przedstawiają poniższe tabele [107].

Tabela 1.2.1

Dla stacji radiolokacyjnej zakresu metrowego i decymetrowego		
Rodzaj powierzchni	ε_r	σ (S/m)
woda morska 20 – 25°	80	0,66 – 6,6
wilgotna ziemia	5 – 20	$10^{-3} - 10^{-2}$
sucha ziemia	2 – 6	$10^{-4} - 10^{-3}$
słodka woda	80	$10^{-3} - 5 * 10^{-3}$

Tabela 1.2.2

Dla stacji radiolokacyjnej zakresu centymetrowego			
Rodzaj powierzchni	λ (m)	ε_r	σ (S /m)
woda morska 20 – 25°	10	69	6,5
wilgotna ziemia	10	79	2,06
sucha ziemia	9	2	0,03
słodka woda	9	24	0,6

gdzie:

λ – długość fali [m];

ε_r – rzeczywista przenikalność dielektryczna odbijającego podłoża ziemi;

σ – przewodność elektryczna odbijającego podłoża ziemi.

Stopień tłumienia powyższych fal w znacznej mierze uzależniony jest od parametrów elektrycznych ziemi, tzn. od wartości przenikalności dielektrycznej ziemi i przewodności elektrycznej. Powyższe tabele przedstawiają wartości ε_r i σ dla różnych rodzajów powierzchni ziemi przy założeniu, że powierzchnia jest całkiem gładka.

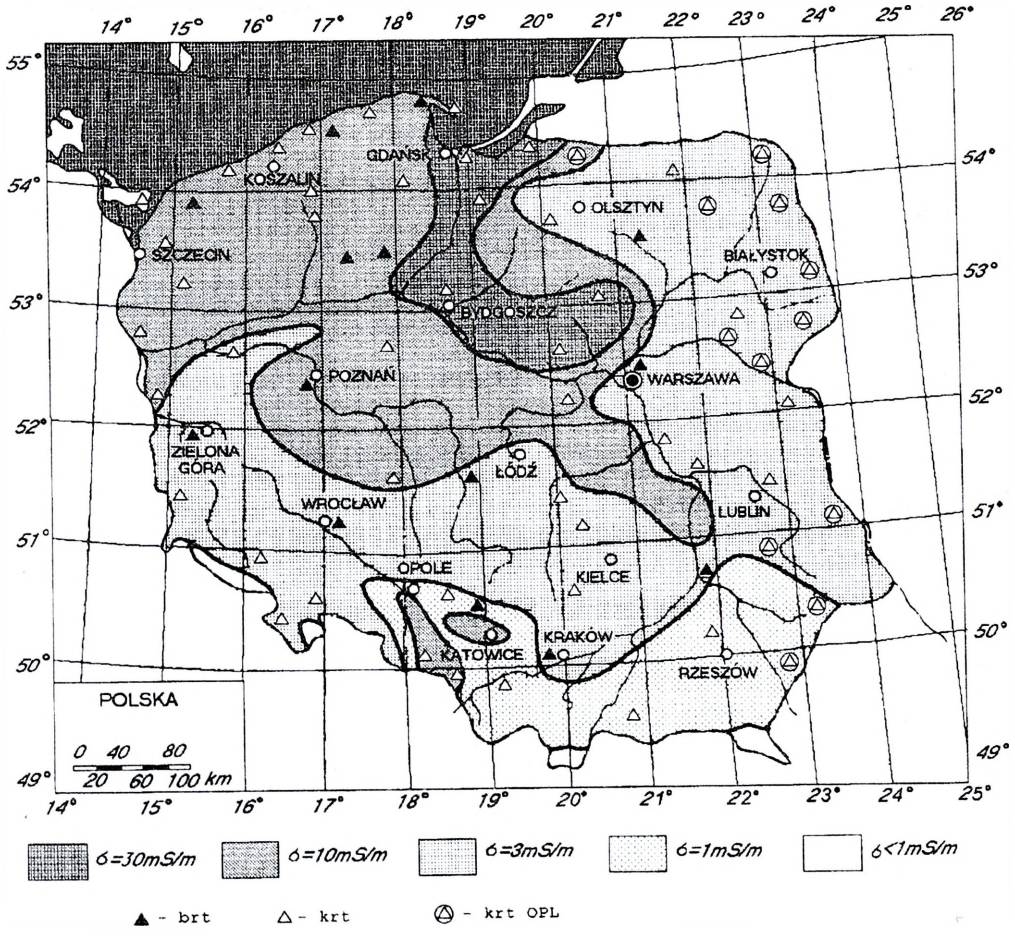
Do przeprowadzenia obliczeń propagacji fal radiowych niezbędne są dane dotyczące dokładnych wartości parametrów elektrycznych gruntu na różnych obszarach kraju. W wielu państwach prowadzone są prace mające na celu opracowanie map przewodności gruntu. Rysunek 1.2.4 przedstawia mapę przewodności elektrycznej gruntów na terenie Polski wraz z naniesionymi posterunkami radiolokacyjnymi. Z rysunku tego można wysnuć ogólny wniosek, że właściwości gruntu tworzą lepsze warunki propagacji fal radiowych w większości radiolokacyjnych posterunków położonych na kierunku północnym.

Właściwości gruntu[34] mają kolosalne znaczenie w propagacji fal radiowych i to zarówno z punktu widzenia jej poprawy, jak i osłabienia (zakłócenia). Autor rozprawy uczestnicząc w badaniach nad propagacją fal elektromagnetycznych, natrafił na zaskakujące rezultaty dotyczące obserwacji wykrytych i śledzonych obiektów powietrznych. Zakłócenia spowodowane właściwościami gruntu (prawdopodobnie złożami metali) występowały między innymi w obszarze Suwałk, gdzie następował zanik obiektów powietrznych znajdujących się na wysokości 5000 – 8000 m. Z kolei na posterunkach nadmorskich zaobserwowano,

[34] Badaniami objęte były także obszary styczne z akwenami wodnymi (jeziora, morze).

iż rzeczywisty zasięg wielu stacji radiolokacyjnych przewyższał jego wielkość wynikającą z dokumentacji tych urządzeń.

W trakcie analizy wpływu powierzchni Ziemi na możliwości rozpoznania radiolokacyjnego posłużono się teorią rozchodzenia się fal radiowych. Jednymi z pierwszych, którzy włączyli do obliczeń współczynnik osłabienia uwzględniający stratę energii rozchodzących się fal powstałą w wyniku przenikania fal w głąb ziemi byli: Sommerfeld i Fok, a także Szulejkin i van der Pol [106, 107].



Źródło: K. Graczyk, *Wpływ naturalnych niejednorodności ziemi na propagację fal radiowych*, [w: 107] Warunki terenowe a możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych WLOP i WOPL, WOSR, Jelenia Góra 1994, s. 25.

Rys. 1.2.4. Mapa przewodności elektrycznej gruntów na terenie Polski w roku 1994

Jeżeli źródła promieniowania danej trasy radiowej są umieszczone na odkrytym terenie, to występowanie lasu w środkowej części trasy nieznacznie tylko wpływa na

tłumienie fal. Na podstawie badań ustalono, że jeżeli do 80% trasy radiowej w jej środkowej części przechodzi przez las, to można nie brać pod uwagę spowodowanego tym tłumienia fal. Jednakże bardzo często sytuacja wymaga umieszczenia źródła fal w lesie (na polanie, przy wysuniętym maszcie antenowym) lub na skraju lasu. W takim wypadku las wywiera już znaczny wpływ na wartość współczynnika osłabienia. Taka sytuacja zachodzi szczególnie wyraźnie przy większości pozycji w posterunkach radiolokacyjnych na Pomorzu Środkowym oraz w północno–wschodniej Polsce).

W przypadku rozmieszenia stacji radiolokacyjnej w rzadkim lesie, na wzniesieniu lub polanie, obliczenia z wykorzystaniem parametrów skutecznych gruntu lasu dają jedynie średnie wartości natężenia pola w postaci tła, na którym stają się widoczne wpływy miejscowych niejednorodności lasu. Pnie drzew występują w tym wypadku jako pewnego rodzaju anteny bierne, pochłaniające i promieniujące na powrót energię elektromagnetyczną.

Zupełnie odmienny wpływ na natężenie pola wywiera nawilgocenie samych drzew. Im bardziej nawilgocone są drzewa, tym bardziej suchy okazuje się równoważny lasowi grunt. Przy bardzo wilgotnym lesie (wiosną podczas opadów mokrego śniegu, latem lub jesienią w czasie deszczu) występuje dodatkowe osłabienie natężenia pola, w porównaniu z osłabieniem pola, jakie ma miejsce w naturalnym suchym lesie.

W wyniku przeprowadzonych badań, którymi objęto posterunki radiolokacyjne wszystkich brygad radiotechnicznych, uzyskano rezultaty, które przyczyniły się do sformułowania wniosków związanych z uwarunkowaniami terenowymi w świetle osiągania maksymalnych możliwości taktycznych stacji radiolokacyjnych.

Decydujący udział w formowaniu fali odbitej ma pierwsza strefa Fresnela. Nierówności terenu (szczególnie dla zakresu metrowego i decymetrowego) znacznie wpływają na charakter i kierunek propagacji fal elektromagnetycznych, co w konsekwencji może ograniczyć zasięg stacji radiolokacyjnych. Pozycja, na której stacja radiolokacyjna ma być rozwinięta, powinna być „odkryta", ponieważ jej charakterystykę zasięgową kształtuje jedynie strumień bezpośredni. Kąty nachylenia terenu powinny być jak najmniejsze (najlepiej ujemne), ponieważ dolna krawędź charakterystyki zasięgowej jest odchylana w zależności od kąta wzniesienia terenu i decyduje o wykryciu i śledzeniu obiektów nisko lecących. Uzyskane rezultaty w zakresie wykrywania obiektów nisko lecących dowodzą, że przy kątach zakrycia wynoszących 15' w promieniu do 2000 m od stacji radiolokacyjnych trzykrotnie zmniejsza się zasięg radiolokacyjny. W badaniach zostały potwierdzone założenia teoretyczne, że poprawę zasięgu w takich warunkach gwarantuje zwiększenie zawieszenia lustra anteny (przy 8-ktrotnym zwiększeniu – zasięg wzrasta o około 40%).

Rozchodzeniu się fal towarzyszy zjawisko interferencji, które z reguły jest szkodliwe, gdyż w jego efekcie mogą się tworzyć „puste" obszary (nie oświetlone charakterystyką kierunkową). Charakterystyka w takich warunkach ma strukturę nieregularną („postrzępioną"), wskutek czego występują liczne przypadki niewykrycia lub zaniku śledzenia obiektów przez stację radiolokacyjną, mimo że jej teoretyczne parametry to umożliwiają. Zjawisko to nasila się w sytuacjach, gdy fala elektromagnetyczna odbija się o elementy terenu zurbanizowanego o dużym nasyceniu elementów przemysłowych i konstrukcji metalowych. Innym problemem, który dotyczy propagacji fali elektromagnetyczne w obszarze zurbanizowanym, jest zjawisko tłumienia i rozproszenia. W tym przypadku osłabienie sygnału wyrażane jest zależnością na tłumienie w swobodnej przestrzeni, z uwzględnieniem medianowych krzywych Okumury i poprawek do nich. Występujące zakłócanie propagacji fal radiowych jest wynikiem oddziaływania pola elektrycznego z sieci wysokiego napięcia, a także skondensowanej emisji gazów (zanieczyszczeń atmosfery). Źródłem tych ostatnich są między innymi: huty metali, elektrociepłownie, koksownie i inne zakłady przemysłowe, których produkcji towarzyszy wydzielanie się znacznej ilości zanieczyszczeń w postaci lotnej.

W terenie średnio ukształtowanym warunki do rozprzestrzeniania się fal metrowych, decymetrowych i centymetrowych są bardzo różnorodne. Jednakże teren ten można scharakteryzować za pomocą pewnych skutecznych parametrów gruntu, dzięki którym można określić średnią wartość natężenia pola elektrycznego, a co za tym idzie i zasięg wykrywania przez stacje radiolokacyjne. Obliczona średnia wartość natężenia pola istotnie występuje w rzeczywistości, gdy źródła fal elektromagnetycznych zostaną umieszczone na powierzchni ziemi w miejscach nie wyróżniających się ani pod względem parametrów elektrycznych gruntu, ani pod względem ukształtowania.

Na równym, odkrytym terenie celowe okazuje się umieszczanie stacji radiolokacyjnych w miejscach mających bardziej wilgotną glebę. Pamiętać przy tym należy, że zamarznięte zbiorniki słodkowodne są równoważne suchej glebie.

W przypadku umieszczania stacji radiolokacyjnych na skrajach lasów lub na dużych polanach (antena umieszczona powyżej drzew) niezbędny jest wybór miejsca na podstawie uzyskania najlepszego sygnału użytecznego w danym sektorze pracy. Gęsty las stwarza dla rozprzestrzeniania się fal radiowych takie warunki, jak bardzo suchy piaszczysty grunt.

Przy odległościach wykrywania powyżej 35 km, współczynnik osłabienia należy obliczać na podstawie wzorów podanych przez Foka. Wzory te uwzględniają parametry gruntu, krzywiznę Ziemi, długość fali roboczej oraz wysokość podwieszenia anten.

1.3. Ograniczenia wynikające z zakłóceń elektronicznych

Jednym z najważniejszych czynników ograniczających parametry strefy informacji radiolokacyjnej są **zakłócenia elektroniczne**. Stosowanie zakłóceń elektronicznych przez przeciwnika nie jest problemem nowym, stąd przeciwdziałanie z tym związane znajduje odzwierciedlenie zarówno w zabiegach taktycznych stosowanych w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej, jak też (a w zasadzie przede wszystkim) w rozwiązaniach technicznych[34].

Zgodnie z klasyką pokonywania systemu OP przeciwnika[35] stosowanie *zakłóceń celowych*[36] ogranicza możliwości systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej. Dlatego w pierwszym etapie badawczym autor rozprawy zajmował się analizą wpływu zakłóceń na strefę informacji radiolokacyjnej.

Odporność strefy informacji ocenia się na podstawie obliczonych parametrów danego ugrupowania, przy przewidywanej gęstości zakłóceń. Do parametrów strefy informacji w warunkach zakłóceń elektronicznych zalicza się:

- granice pola namiaru na określonej wysokości;
- wysokość dolnej granicy pola namiaru;
- wysokość górnej granicy pola namiaru.

Skuteczność oddziaływania zakłóceń na stacje radiolokacyjne charakteryzuje się prawdopodobieństwem wykrycia D oraz prawdopodobieństwem fałszywego alarmu F.

Dla stacji radiolokacyjnych z analogową obróbką sygnału i jego wizualnym zobrazowaniem na ekranie wskaźnika przyjmuje się wartość $F_o = 10^{-3}$-10^{-5}, natomiast dla współczesnych stacji (z obróbką cyfrową) wartość $F_o = 10^{-4}$-10^{-6}.

Parametry strefy informacji określa się na podstawie stref rozpoznania poszczególnych źródeł. Wpływ zakłóceń na system radiolokacyjny objawia się pogorszeniem prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia na określonych obszarach przestrzeni powietrznej. W praktyce oznacza to ściśnięcie strefy rozpoznania, czyli zmniejszaniem

---

[34] W stacjach radiolokacyjnych stosuje się różnorodne układy przeciwzakłóceniowe, które przeznaczone są do niwelacji zakłóceń aktywnych i pasywnych. W systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej stosuje się również namierzanie źródła zakłóceń aktywnych.

[35] Dowodzą temu liczne doświadczenia ze współczesnych wojen i konfliktów zbrojnych.

[36] W wielu materiałach źródłowych autor spotkał się z określeniem zakłócenia organizowane [13, 49, 83, 93, 137, 113].

obszaru, w którym następuje wykrywanie i śledzenie obiektów powietrznych z założonym prawdopodobieństwem[37].

Odporność strefy rozpoznania na zakłócenia ocenia się na podstawie obliczonych parametrów dla danego ugrupowania, przy przewidywanej widmowej gęstości zakłóceń. Widmowa gęstość pojedynczego źródła zakłóceń można przedstawić następująco:

$$q = \frac{P_z G_z}{\Delta f_z} \qquad [1.3.1]$$

gdzie:

P_z – moc nadajnika zakłóceń szumowych;

G_z – zysk antenowy urządzenia zakłócającego;

Δf_z – szerokość pasma zakłóceń.

Do określenia efektywności zakłócania pracy urządzeń i systemów elektronicznych stosuje się kryteria informacyjne i operacyjno-taktyczne. Kryteria informacyjne pozwalają określić jakość konkretnych sygnałów zakłócających i jakość przedsięwzięć skierowanych na pozbawienie przeciwnika użytecznej informacji. Kryteria operacyjno-taktyczne są punktem wyjścia przy opracowaniu zasad wyposażenia wojsk w urządzenia przeciwdziałania elektronicznego. Strata rozpoznania wywołana oddziaływaniem zakłóceń może przejawiać się między innymi w maskowaniu, imitowaniu, powstawaniu błędów lub przerw w otrzymywaniu informacji. Jako miarę utraty informacji przyjmuje się wielkość obszaru przestrzeni (dwu – lub trójwymiarowej) zamaskowanego za pomocą zakłóceń przed obserwacją radiolokacyjną. Utrata informacji może być również oceniana w jednostkach względnych, jako stosunek obszaru zamaskowanego zakłóceniami do całego obszaru obserwacji, wykorzystywanego przez podsystem rozpoznania radiolokacyjnego.

Kryterium utraty informacji radiolokacyjnej pod wpływem zakłóceń pozwala ocenić stopień zmniejszenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Dane te są zazwyczaj uśredniane i w niewielkim stopniu informują, jakie są możliwości wykrywania i śledzenia dużej liczby środków napadu powietrznego w warunkach oddziaływania zakłóceń elektronicznych, w szczególności w przypadku rozbudowanego ugrupowania wojsk radiotechnicznych, wyposażonego w różnorodne stacje radiolokacyjne.

---

[37] Z reguły 0,5 - 0,9 [137, 105].

Dotychczas do oceny efektów oddziaływania zakłóceń elektronicznych na elementy podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego wykorzystywano następujące wskaźniki:

- zasięg skutecznego zakłócania $R_{z\,max}$;
- stopień zmniejszenia zasięgu rozpoznania radiolokacyjnego w wyniku oddziaływania zakłóceń elektronicznych (współczynnik ściśnięcia $K_{ść}$);
- stopień zmniejszania prawdopodobieństwa wykrycia w wyniku stosowania zakłóceń;
- sektor skutecznego zakłócania;
- współczynnik zmniejszenia strefy rozpoznania pod wpływem zakłóceń K_{sp};
- wskaźnik utraty informacji radiolokacyjnej U_{IR}.

W wojskach radiotechnicznych stosuje się metodę analityczną obliczania odporności pola na zakłócenia elektroniczne. Według tej metody ocenia się stopień zmiany strefy rozpoznania radiolokacyjnego na skutek oddziaływania zakłóceń w stosunku do strefy bez oddziaływania zakłóceń.

W wyniku oddziaływania zakłóceń strefa rozpoznania ulega następującym zmianom:

- w kierunku na źródło zakłóceń na ekranie wskaźnika radaru wytwarza się sektor skutecznego tłumienia, w granicach którego obiekty powietrzne nie są obserwowane;
- na pozostałych kierunkach cele mogą być obserwowane, lecz na skutek oddziaływania przez listki charakterystyki promieniowania zasięg wykrywania tych obiektów ulega zmniejszeniu, strefa wykrywania zostaje jak gdyby ściśnięta.

Metoda ta służy do określenia szerokości sektora skutecznego tłumienia oraz współczynnika ściśnięcia strefy wykrywania. Szerokość sektora skutecznego tłumienia oraz stopień ściśnięcia zależą od następujących czynników:

- gęstości mocy zakłóceń;
- rubieży źródła zakłóceń;
- technicznych parametrów stacji radiolokacyjnych, charakteryzujących jej odporność na zakłócenia.

Techniczna odporność na zakłócenia radaru charakteryzuje się współczynnikiem S_d, który określa techniczne możliwości zwalczania zakłóceń[38]. Zasięg wykrywania radaru w warunkach stosowania zakłóceń można wyrazić wzorem:

---

[38] Wielkości te podane są w formularzach urządzeń radiolokacyjnych.

$$D_z = \frac{S_d}{\sqrt{\frac{q}{R_z^2}}} \qquad [1.3.2]$$

gdzie:

D_z – zasięg wykrywania w warunkach stosowania zakłóceń;

S_d – współczynnik określający możliwości zwalczania zakłóceń przez radar;

R_z – odległość od obiektu zakłócającego;

q – progowy stosunek sygnału do zakłóceń.

Jeżeli D_z jest znane, to można obliczyć współczynnik ściśnięcia strefy $K_{ść}$ według wzoru:

$$K_{ść} = \frac{D_z}{D_o} \qquad [1.3.3]$$

gdzie:

D_o – zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnej bez stosowania zakłóceń przy założeniu, że H_{ob} = const, S_d = const.

Z kolei, na podstawie współczynnika ściśnięcia można obliczyć zasięg wykrywania przy zakłóceniach dla wszystkich kątów położenia $D_z = D_o K_{ść}$ oraz określić nową strefę wykrywania w płaszczyźnie pionowej tj. ściśniętą, przy tym pułap zmniejsza się odpowiednio $K_{ść}$ razy. Przekrój poziomy idealnej strefy wykrywania radaru, na który oddziaływają zakłócenia szumowe, przedstawiono na rysunku 1.3.1.

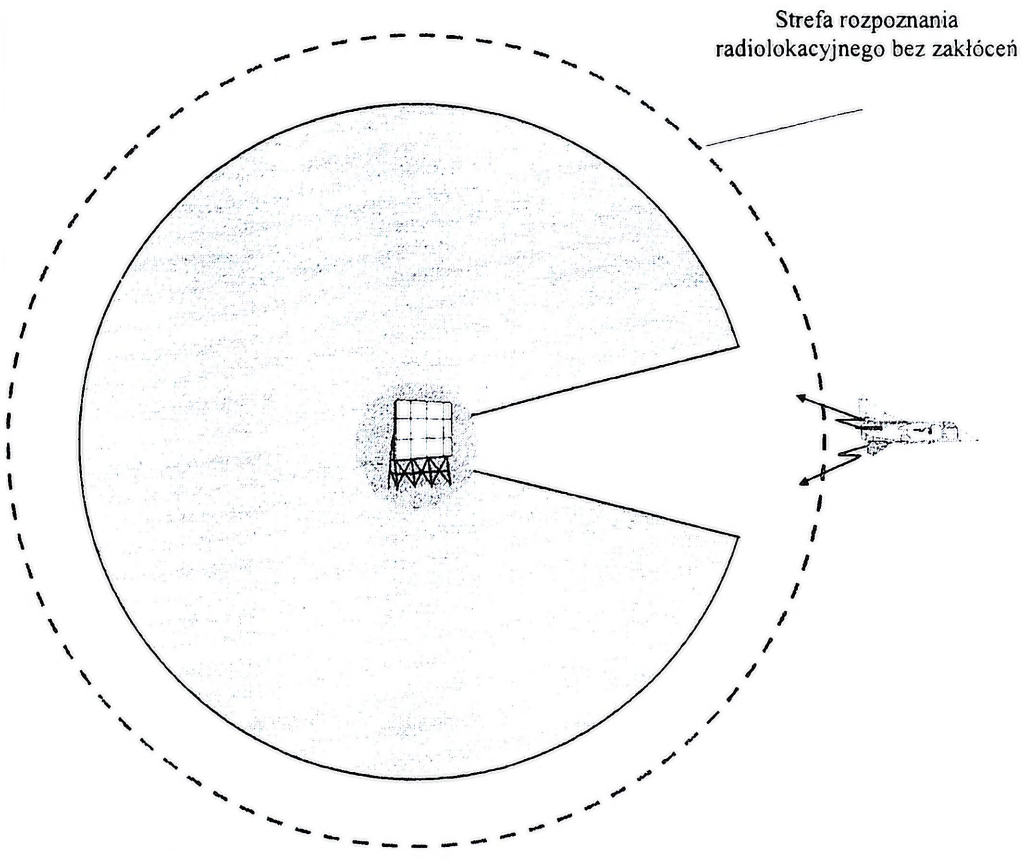
Uogólniona charakterystyka oddziaływania zakłóceń na strefę rozpoznania radiolokacyjnego wyraża się współczynnikiem zmniejszenia się pola przekroju na danej wysokości. Współczynnik zmniejszenia pola K_{sp} obliczany jest za pomocą następującego wzoru:

$$K_{sp} = 1 - \frac{S_z}{S} \qquad [1.3.4]$$

gdzie:

S_z – powierzchnia przekroju pola radiolokacyjnego w płaszczyźnie poziomej podczas oddziaływania zakłóceń na danej wysokości;

S – powierzchnia przekroju pola w płaszczyźnie poziomej bez oddziaływania zakłóceń.



Rys. 1.3.1. Przykład „ściśnięcia" strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Wskaźnik utraty informacji radiolokacyjnej (U_{IR}), którego wartość zawiera się w przedziale (0-1) daje odpowiedź na pytanie: o ile zmniejszą się możliwości wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych w warunkach stosowania przez przeciwnika zakłóceń elektronicznych?

Przyjmuje on następującą postać:

$$U_{IR} = 1 - \frac{L_1}{L_2} \quad \text{dla} \quad L_1 \leq L_2 \qquad [1.3.5]$$

gdzie:

L_1 – długość śledzonej trasy obiektu powietrznego w warunkach oddziaływania zakłóceń elektronicznych;

L_2 – długość śledzonej trasy obiektu powietrznego przy braku zakłóceń elektronicznych.

Przez zmianę ugrupowania wojsk radiotechnicznych można dążyć do minimalizacji wartości tego wskaźnika dla danego wariantu nalotu środków napadu powietrznego.

Wskaźniki te nie dają odpowiedzi na pytanie o zmniejszenie możliwości wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych w przypadku oddziaływania zakłóceń, pozwalają jednak stwierdzić, jak zmieniła się strefa rozpoznania radiolokacyjnego. Wyniki obliczeń wykorzystywane są najczęściej do analizy możliwości bojowych wojsk radiotechnicznych w warunkach stosowania przez przeciwnika zakłóceń elektronicznych.

1.4. Ograniczenia wynikające ze stosowanej w technice lotniczej technologii STEALTH

Równanie zasięgu radiolokacyjnego jest podstawowym wzorem wiążącym parametry strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Wynika z niego między innymi, że zasięg radiolokacyjny jest proporcjonalny do pierwiastka czwartego stopnia ze *skutecznej powierzchni odbicia* (SPO) obiektu powietrznego. Według K. Kokota skuteczna powierzchnia odbicia jest to *ekwiwalentna powierzchnia zorientowana normalnie do kierunku padania fali, która promieniując równomiernie we wszystkich kierunkach całkowitą padającą na nią moc pola pierwotnego wywołuje w punkcie odbioru (położenia radiolokatora) taką samą gęstość strumienia mocy jak rzeczywisty obiekt*[40]. Skuteczna powierzchnia odbicia jest więc miarą zdolności odbijania fal elektromagnetycznych od różnych obiektów. Zależy ona od wielkości, (kształtu obiektu), materiału, z jakiego on jest wykonany, przestrzennego usytuowania obiektu względem źródła promieniowania tej fali, a także długości fali elektromagnetycznej. Stanowi ona współczynnik charakteryzujący wszelkie straty związane z rozpraszaniem i pochłanianiem energii fali bezpośredniej przez dany obiekt.

Dużą barierę w wykrywaniu i śledzeniu obiektów powietrznych stanowi tzw. technologia STEALTH[41]. W wielu krajach prowadzi się kompleksowe prace badawcze w dziedzinie budowy obiektów o małych właściwościach odbijających sygnały radiolokacyjne. Zastosowanie technologii STEALTH omówiono w wielu publikacjach (między innymi [42, 44, 50, 93, 96, 121]). Samoloty wykonane w technologii STEALTH były

---

[40] Źródło: K. Kokot, Podstawy radiolokacji Część 2. Zasięg urządzeń radiolokacyjnych oraz przeciwdziałanie ich pracy, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa, 1968.

[41] STEALTH znaczy to samo, co tajemnica, sekret, sekretne postępowanie. W fachowej literaturze określenie to oznacza nazwę wielu już opracowanych oraz nadal opracowywanych i doskonalonych metod umożliwiających skuteczne zmniejszenie wykrywalności wojskowych obiektów latających przez przeciwnika.

wykorzystywane między innymi w poprzedniej wojnie w rejonie Zatoki Perskiej[42], jak również ostatniej – w Iraku.

Skuteczność działań prowadzonych do uzyskania klasy STEALTH może tylko zapewnić łączne, skoordynowane zastosowanie szeregu różnorodnych technik zapewniających osłabienie wszystkich sygnałów zdradzających dany obiekt powietrzny.

Wykrywanie radiolokacyjne stanowi dziś jeden z podstawowych środków wykrywania i rozpoznawania obiektów. W związku z tym najwięcej uwagi poświęcono znaczącemu zmniejszeniu zasięgu wykrywania obiektu przez stacje radarowe. W tym celu stosuje się kilka różnych metod zmniejszających wartość skutecznej powierzchni odbicia. Skuteczna powierzchnia odbicia jest wartością powierzchni obiektu (czyli samolotu lub okrętu) „wychwytywana" przez fale elektromagnetyczne stacji radiolokacyjnej. Dla tego samego obiektu wielkość skutecznej powierzchni odbicia może być różna w przypadku fal elektromagnetycznych o innych częstotliwościach, zależy też od kąta, pod jakim fale elektromagnetyczne padają na powierzchnię tego obiektu.

Aby zmniejszyć wielkość skutecznej powierzchni odbicia, używa się w samolotach i okrętach innych materiałów pozwalających na pochłanianie energii fali elektromagnetycznej oraz dopasowuje się kształt obiektu tak, aby fale elektromagnetyczne radaru nie odbijały się w stronę stacji radiolokacyjnej. Zasięg przeciętnej stacji radiolokacyjnej jest proporcjonalny do pierwiastka czwartego stopnia ze skutecznej powierzchni odbicia wykrywanego obiektu.

Oznacza to, że dla podwojenia zasięgu wykrycia obiektu należy 16-krotnie zwiększyć wartość mocy wypromieniowanej fali elektromagnetycznej. Ze względu na specyfikę propagacji (rozchodzenia się) fal elektromagnetycznych znaczne zmniejszenie odległości wykrywania przez stację radiolokacyjną otrzymuje się przy zmniejszeniu skutecznej powierzchni odbicia do wartości poniżej 1 m^2. W klasycznych samolotach myśliwskich skuteczna powierzchnia odbicia kształtuje się w granicach od 3 do 5 m^2, natomiast w samolotach o zmniejszonej wykrywalności parametr ten wynosi poniżej 0,1 m^2.

---

[42] „Pustynny Lis" (Desert Fox) to operacja militarna sił powietrznych i morskich USA oraz sił powietrznych Wielkiej Brytanii w Iraku w grudniu 1998 r. Był to atak na: obiekty związane z produkcją i przechowywaniem broni masowego rażenia, centra dowodzenia, stanowiska startowe rakiet obrony powietrznej, bazy lotnicze oraz koszary Gwardii Prezydenckiej. Użyto 415 pocisków manewrujących typu Cruise w tym 325 BGM-109 Tomahawk odpalonych z okrętów i 90 pocisków AGM-86 ALCM odpalonych z bombowców B-52. Atak wspierany był z powietrza przez "niewidzialne" samoloty F-117 oraz różne samoloty myśliwsko-bombowe, wyposażone w system nawigacyjno-celowniczy LANTRIN, umożliwiający działania nocne na małych wysokościach [105, 113].

Prace badawcze na wykorzystaniem technologii STEALTH do budowy samolotów skoncentrowane są w dwóch zasadniczych nurtach: kształtu oraz materiału, z którego mają być wykonane.

Przy rozpatrywaniu kształtu samolotu w aspekcie parametru skutecznej powierzchni odbicia należy uwzględnić: obrys bryły obiektu, liczbę ostrych krawędzi, elementy wystające, np.: belki podskrzydłowe, płaskie powierzchnie, elementy kokpitu oraz owiewka, łopatki turbin silników i wloty powietrza do komór silnikowych, nieciągłości poszycia obiektu.

Obrys bryły samolotów F-117 oraz F-22 jest łamany, dzięki czemu uzyskuje się od kilku do kilkunastu kątów, pod jakimi muszą padać fale elektromagnetyczne, aby zostać odbite pod kątem prostym od krawędzi skrzydeł. Padająca fala elektromagnetyczna jest wytłumiana poprzez wielokrotne odbicie od krawędzi.

Niektóre elementy stosowane w konstrukcjach STEALTH muszą być wycinkami tzw. brył obrotowych lub muszą być długie i proste[43]. Ponieważ ich wpływ na skuteczną powierzchnię odbicia jest znaczący, więc powierzchnię samolotu powleka się specjalnymi materiałami pochłaniającymi. W klasycznych konstrukcjach samolotów wpływ elementów długich i prostych na wielkość skutecznej powierzchni odbicia niweluje się przez zastosowanie krzywej łamanej.

W celu zmniejszenia wpływu podwieszenia zewnętrznego i przenoszonych na nim zasobników, umieszcza się je wewnątrz bryły obiektu, a dopiero w momencie ich użycia otwiera się drzwi komór.

Duże pionowe i płaskie powierzchnie stosowane zazwyczaj w statecznikach pionowych stanowią istotny problem dla specjalistów konstruujących obiekty STEALTH. Jednym z rozwiązań dla samolotów mających stery pionowe jest tzw. usterzenie Rudlickiego [98] (bardziej znane jako motylkowe), stosowane w polskich konstrukcjach lotniczych jeszcze przed II wojną światową. Inne rozwiązanie to „latające skrzydło", które znalazło zastosowanie w konstrukcji samolotu B-2.

W celu zmniejszenia wpływu łopatek turbin silników odrzutowych (będących przyczyną dużej wartości skutecznej powierzchni odbicia) między innymi: umieszcza się silniki w obrysie bryły płatowca, stosuje się osłony silników (kraty pokryte materiałem pochłaniającym promieniowanie elektromagnetyczne) oraz kręte wloty powietrza do komór silnikowych.

---

[43] Typowym przykładem takiego elementu są krawędzie natarcia skrzydeł.

Natomiast obniżenia wpływu wnętrza kokpitu samolotu na wielkość SPO dokonuje się poprzez napylenie na powierzchnię owiewki cienkiej warstwy metalu, powodując tym samym odbicia od powierzchni osłony kabiny pilota.

Problemem nieciągłości poszycia obiektu wiąże się z zastosowaniem wysoce kosztownych rozwiązań, których zasadniczy element stanowią wyspecjalizowane technologie.

Kolejnym, jakże istotnym czynnikiem, stanowiącym o jakości konstrukcji samolotów wykonanych w technologii STEALTH są materiały (RAM[44]) wykorzystane do ich budowy. Materiałami tymi pokrywa się całość powierzchni zewnętrznej obiektu, a także stosuje się je w wytrzymałościowych elementach konstrukcji i poszyciu.

Specyfiką absorbującego materiału jest to, że może pochłaniać fale elektromagnetyczne określonego pasma częstotliwości[45]. Charakteryzuje się także określonym współczynnikiem odbicia określającym stosunek mocy sygnału odbitego do mocy sygnału padającego. Współczynnik odbicia materiałów RAM jest także zależny od kąta, pod jakim pada na niego fala elektromagnetyczna. Koszty produkcji tych materiałów są bardzo wysokie, a ich ciężar właściwy stosunkowo duży. Stosuje się je zatem do pokrywania zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni samolotów, które mogłyby podlegać opromieniowaniu przez stacje radiolokacyjne.

Pochłonięta przez materiał RAM energia elektromagnetyczna jest zazwyczaj przekształcana na energię cieplną, której nie można już wykryć za pomocą stacji radiolokacyjnych.

Materiał tego typu tłumi fale elektromagnetyczne przez częściowe odbicie od powierzchni zewnętrznej oraz przez odbicie od warstwy wewnętrznej (odległość między warstwami wynosi 1/4 długości fali). Powstają wówczas fale o przeciwstawnych fazach, co powoduje ich wytłumienie. Zakres absorpcji szerokopasmowych materiałów RAM zawiera się w zakresie od 0,5 do 40 GHz. Innym, równie ważnym elementem są struktury materiałowe znane jako RAS (Radar Absorbent Structure), przeznaczone do rozproszenia promieniowania elektromagnetycznego wewnątrz konstrukcji samolotu. Struktury te służą do rozpraszania fal elektromagnetycznych o małej częstotliwości, które nie zostały zaabsorbowane przez

---

[44] RAM – Radar Absorbent Material, w języku polskim jest rozumiany jako materiał absorbujący (pochłaniający) promieniowanie elektromagnetyczne.

[45] Aby materiały RAM miały szerokie pasmo pochłaniania fal elekromagnetycznych, stosuje się je zazwyczaj w postaci struktur wielowarstwowych. Za górną częstotliwość zakresu absorpcji odpowiada grubość przekroju najcieńszej warstwy. Natomiast dolną częstotliwość pochłaniania widma fal elektromagnetycznych określa suma grubości wszystkich warstw powłoki [98].

materiały RAM. Klasyczną strukturą typu RAS jest „honeycomb" (tzw. plaster miodu), której zaletą jest jej niski współczynnik odbicia od powierzchni zewnętrznych.

Tego typu struktury stosuje się zazwyczaj w krawędziach natarcia skrzydeł, które są największymi elementami każdego samolotu. Krawędzie te są zazwyczaj podstawowym elementem wykrywanym przez radary wczesnego ostrzegania, pracujące zazwyczaj na mniejszych częstotliwościach niż większość innych stacji radarowych.

Inną właściwością, pozwalającą wykryć i śledzić samolot jest jego promieniowanie cieplne w zakresie podczerwieni[46]. Wśród najważniejszych elementów emitujących promieniowanie cieplne można wyróżnić:

- pracujący silnik;
- nagrzewające się pod wpływem tarcia poszycie samolotu;
- pracujące urządzenia pokładowe.

Dla obniżenia emisji promieniowania cieplnego w podczerwieni, wydzielanego przez silnik i gazy wylotowe, konieczne jest wykonanie szeregu zabiegów. Za najważniejsze z nich należy uznać ekranowanie cieplne całego zespołu napędowego. Z kolei, nagrzewanie się poszycia samolotu może być zminimalizowane poprzez stosowanie ekranów termicznych, oraz odpowiednio wykończonych powierzchni. Temperatura urządzeń pokładowych jest obniżana przez skonstruowane do tego celu specjalne układy chłodzenia.

Technologia niskiej obserwowalności jest rozwijana od ponad dwudziestu lat i mimo, że należy do niezwykle kosztownych, znajduje coraz szersze zastosowanie na współczesnym polu walki. Należy zatem liczyć się z dalszym rozwojem technologicznym w tym zakresie.

---

[46] Problem wykrycia i obserwacji obiektów powietrznych w paśmie podczerwieni szerzej przedstawiono w podrozdziale 2.2 niniejszej rozprawy.

1.5. Wnioski z rozdziału

W odniesieniu do rezultatów przeprowadzonych badań dotyczących określenia przyczyn występowania ograniczeń pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej wskazane jest ich ujęcie w dwóch zasadniczych grupach: niezorganizowanych oraz celowych.

Pierwszą grupę tworzą głównie takie ograniczenia, które wpływają na propagację fal radiowych urządzeń rozpoznania przestrzeni powietrznej. W tym obszarze szczególnego znaczenia ma środowisko, w którym ta propagacja ma miejsce. Stąd można z całą pewnością stwierdzić, że zarówno warunki terenowe, jak i właściwości atmosferyczne są najsilniej determinującymi czynnikami w tym względzie.

Nie sposób pominąć w tym samym obszarze zakłóceń aktywnych niezorganizowanych, których źródłem emisji są np. linie energetyczne, a także urządzenia radiowe.

Drugą grupę ograniczeń stanowią celowe działania uniemożliwiające prowadzenie skutecznego rozpoznania obiektów powietrznych. Można je ująć w dwóch nurtach:

- taktyki pokonywania Systemu Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej;
- technologii obniżających skuteczną powierzchnię odbicia obiektów powietrznych.

W pierwszym przypadku będzie to głównie wykonywanie lotu na małych wysokościach[46] (poniżej dolnej granicy strefy informacji o sytuacji powietrznej) oraz stosowanie zakłóceń zorganizowanych.

Z kolei w drugim przypadku mamy do czynienia z całą gamą przedsięwzięć, których efektem są między innymi małogabarytowe, bezpilotowe środki rozpoznania oraz samoloty wykonane w technologii STEALTH.

Ostatnie konflikty zbrojne (w byłej Jugosławii oraz w Iraku) dostarczyły jakże istotnych doświadczeń w zakresie skutecznego pokonywania obrony powietrznej przez samoloty wykonane w tej technologii. Stały się one przyczynkiem wielu poszukiwań badawczych, skierowanych na pokonanie bariery „niewidzialnych" obiektów powietrznych. Jeden z kierunków badawczych dotyczy poprawy wykrywalności obiektów powietrznych o obniżonych parametrach „odbijających".

Poprawę zasięgu wykrywania obiektów można w niewielkim zakresie uzyskać poprzez:

- zastosowanie wyższych systemów antenowych radarów;

---

[46] W dobie zagrożenia terroryzmem powietrznym może mieć miejsce także w okresie pokoju.

– wybór pozycji bojowej pod rozwinięcie posterunku radiolokacyjnego, ze szczególnym uwzględnieniem nierówności terenu, kątów zakrycia, kątów spadu i wzniesienia terenu. W dalszym ciągu poważnym problemem jest ograniczona zdolność wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych na małych i bardzo małych wysokościach. Klasyczne źródła pozyskiwania informacji często nie mogą sprostać temu zadaniu.

Problem obrony przed zakłóceniami elektronicznymi jest dość dobrze zidentyfikowany. Uzyskane wieloletnie doświadczenia w tym zakresie posłużyły konstruktorom na stworzenia coraz to doskonalszych układów przeciwzakłóceniowych.

Na podstawie przedstawionych uwarunkowań autorowi niniejszej rozprawy nasunął się wniosek, że poprawę skuteczności wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych można uzyskać w wyniku doskonalenia istniejących oraz poszukiwania nowych, niekonwencjonalnych źródeł informacji. To przeczucie stało się głównym przyczynkiem wnikliwej analizy treści oferowanych przez literaturę przedmiotu, jak również stanu badań nad rozwiązaniami praktycznymi w tym zakresie.

2. ŹRÓDŁA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ

2.1. Konwencjonalne źródła informacji o sytuacji powietrznej

Analiza literatury dotyczącej obiektu badań [1, 3, 13, 17, 48, 49, 50, 83, 102, 108] pozwala na dokonanie następującej klasyfikacji źródeł informacji o sytuacji powietrznej:

- naziemne;
- nawodne;
- powietrzne;
- kosmiczne (rys. 2.1.1).

Do naziemnych źródeł rozpoznania przestrzeni powietrznej zalicza się: naziemne stacje radiolokacyjne, środki rozpoznania elektronicznego, stacje radiolokacyjne kontroli ruchu lotniczego oraz posterunki obserwacji wzrokowej.

Rozpoznanie radiolokacyjne w warunkach pokoju jest podstawowym rodzajem rozpoznania obiektów powietrznych w systemie obrony powietrznej RP. Z tego też względu zarówno w prowadzonych badaniach, jak i w niniejszej rozprawie habilitacyjnej poświęcono temu rozpoznaniu dużo uwagi. Polega ono na ciągłej obserwacji przestrzeni powietrznej przez stacje radiolokacyjne, wykrywaniu i śledzeniu obiektów powietrznych, określaniu ich położenia i charakterystyk oraz przekazywaniu tych informacji do stanowisk dowodzenia systemu OP RP. Prowadzenie rozpoznania radiolokacyjnego można podzielić na następujące etapy: zdobywanie informacji, opracowanie informacji i dystrybucję (udostępnianie) informacji.

Literatura przedmiotu badań (między innymi [118]) określa zdobywanie informacji jako czynność poszukiwania oraz wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych z wykorzystaniem aktywnych i pasywnych systemów radarowych [96]. Z kolei opracowanie informacji jest czynnością polegającą na określeniu parametrów wykrytych i śledzonych obiektów. Natomiast za dystrybucję uważa się dostarczanie decydentom systemu dowodzenia obrony powietrznej informacji o sytuacji powietrznej.

Wraz ze wzrostem możliwości bojowych środków napadu powietrznego następowała transformacja urządzeń rozpoznania przestrzeni powietrznej, w tym także stacji radiolokacyjnych. Tendencje rozwojowe skierowano na poprawę możliwości wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych, maskowania radioelektronicznego oraz opracowanie

(przetwarzanie) informacji o sytuacji powietrznej. Znajdujące się w wyposażeniu bojowym Wojsk Radiotechnicznych w latach osiemdziesiątych stacje radiolokacyjne[47] (rys. 2.1.2) produkcji polskiej, stanowiące podstawowy komponent Systemu Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej, klasyfikowano głównie według przeznaczenia (wysokościomierze i odległościomierze[48]) oraz zakresu generowanych przez urządzenia nadawcze fal elektromagnetycznych, tj. centymetrowego, decymetrowego i metrowego. Zbiór i opracowanie informacji o sytuacji powietrznej następował na poszczególnych szczeblach systemu dowodzenia obrony powietrznej. Większość współczesnych naziemnych środków rozpoznania występuje w wersjach mobilnych (rys. 2.1.3), jednak z racji przeznaczenia oraz rozmieszczenia skonstruowano także stacjonarne stacje radiolokacyjne (rys. 2.1.4).

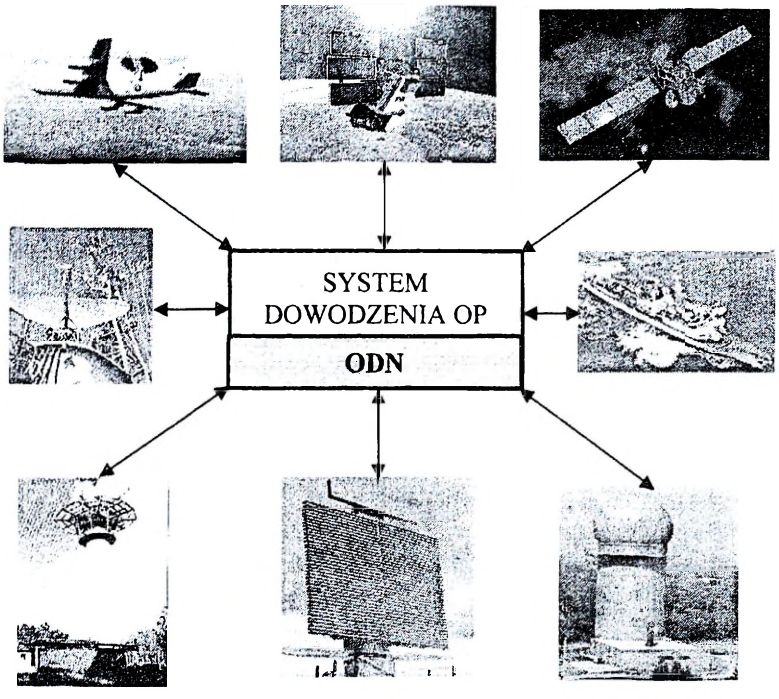
Wybór pozycji dla posterunku radiolokacyjnego musi spełniać głównie wymagania natury topograficznej[49] ze względu na najefektywniejsze wykorzystanie ich możliwości bojowych. Za najważniejszy parametr określający możliwości bojowe uznaje się zasięg radiolokacyjny (między innymi [1, 3, 13, 17, 27, 48, 50, 64, 105, 106, 107, 108]). Możliwości zasięgowe rozpoznania radiolokacyjnego są ograniczone przede wszystkim uwarunkowaniami terenowymi, a także zakłóceniami atmosferycznymi, przemysłowymi (stanowiącymi zakłócenia pasywne o charakterze przypadkowym).

---

[47] Zamiennie stosowane – radiolokatory lub radar (radio detecting and ranging).

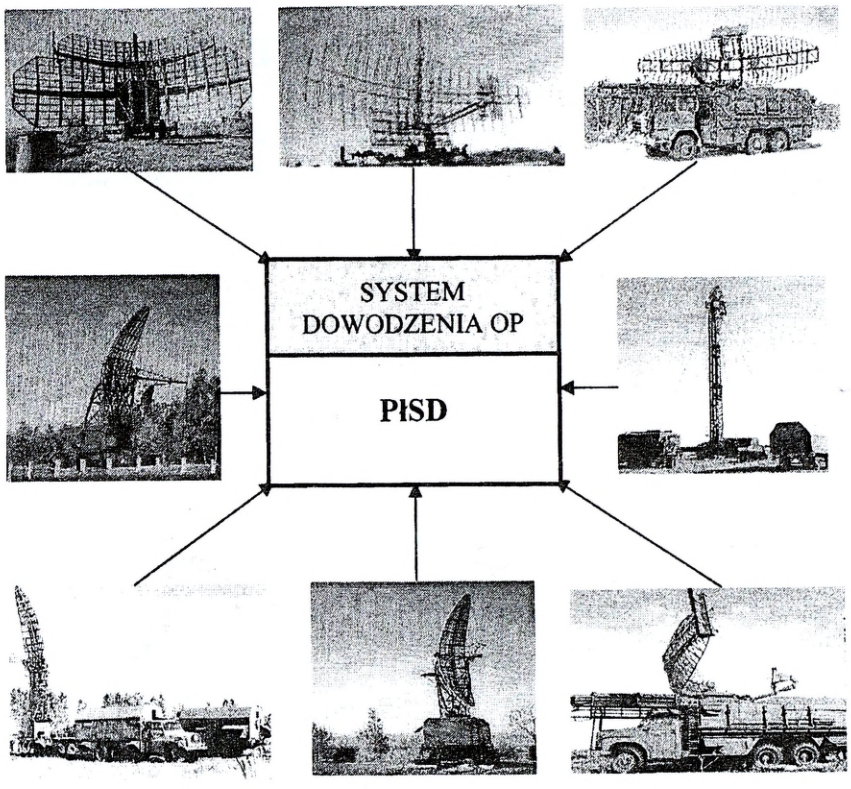
[48] Obecne radary takie jak NUR-11 czy NUR-12, są trójwspółrzędne.

[49] Do takich wymagań można między innymi zaliczyć: dopuszczalne kąty zakrycia, nierówności oraz kąty wzniesienia i spadu terenu.

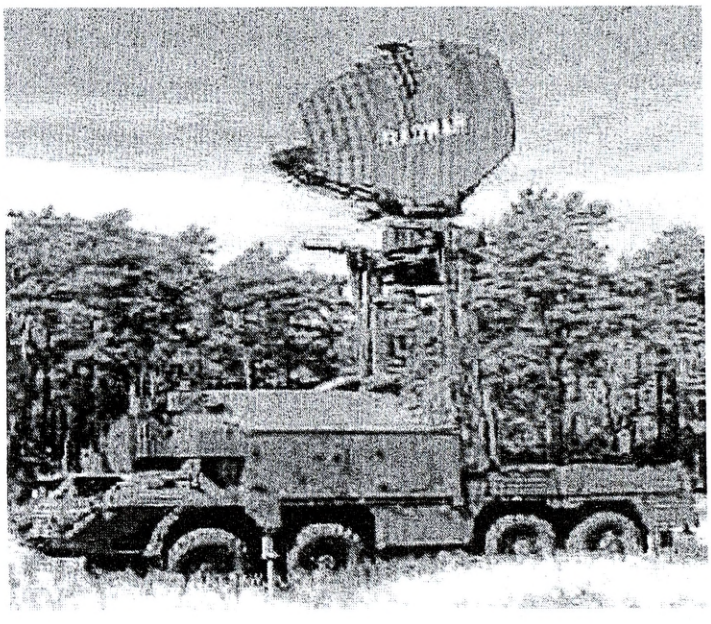


Rys. 2.1.1. Źródła rozpoznania przestrzeni powietrznej

Ukształtowanie terenu wpływa bezpośrednio na możliwości propagacji fal radiowych, szczególnie dla wysokich częstotliwości, a zatem i na możliwości bojowe urządzeń radioelektronicznych rozwiniętych w tym terenie. W przypadku wyboru pozycji bojowej w terenie równinnym i płaskim zapewniona jest swobodna propagacja fal radiowych, pod warunkiem że otoczenie pozbawione jest wszelkich przeszkód terenowych, takich jak zabudowania, drzewa itp., które zaburzają lub uniemożliwiają propagację tych fal. W tym wypadku dopuszczalna odległość ustawionych na pozycji urządzeń od przeszkody terenowej zależy od wysokości przeszkody i jej rozmiaru kątowego w azymucie. Należy przyjąć, że kąt zakrycia nie powinien być większy niż $0{,}5^0$, szczególnie na kierunku zagrożenia. Warunek ten nie musi być spełniony w przypadku większych pojedynczych przeszkód o małym rozmiarze kątowym (wieże, kominy fabryczne). W terenie falistym lub płaskim należy pod rozwinięcie pozycji wybrać wzniesienie, które zwłaszcza na kierunku zagrożenia powinno dominować nad pozostałymi.

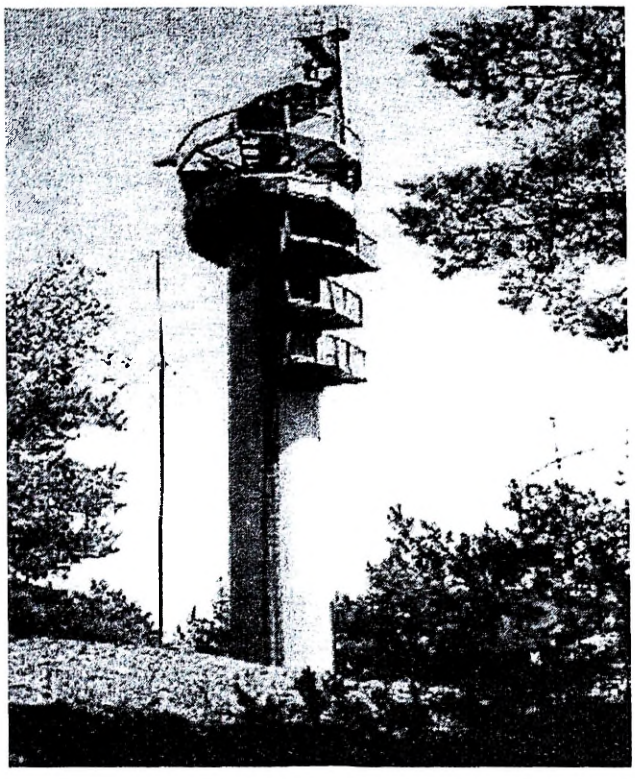


Rys. 2.1.2. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego z lat 80



Źródło: S. Babiarz, Konferencja szkoleniowo-metodyczna kierowniczej kadry WRt, Kiekrz, 2003.

Rys. 2.1.3. Radar obserwacyjny NUR – 22



Źródło: H. Woźniak, Historia radarów, Jelenia Góra, CSR, 2000.

Rys. 2.1.4. Radar obserwacyjny typu stacjonarnego NUR-23

Drugim, bardzo istotnym naziemnym źródłem informacji o sytuacji powietrznej jest **rozpoznanie elektroniczne**. Ze względu na znacznie większy zasięg w stosunku do zasięgu rozpoznania radiolokacyjnego umożliwia ono uzyskiwanie wcześniejszych (uprzedzających) informacji o obiektach powietrznych. Zdobywanie informacji w tym przypadku sprowadza się do wykrywania i identyfikacji emisji pokładowych środków elektronicznych, ustaleniu miejsca położenia, przynależności i przeznaczenia środków radioelektronicznych oraz charakteru działania wykrytych obiektów powietrznych. Na podstawie analizy literatury przedmiotu (między innymi [118, 81, 82]) można stwierdzić, że podobnie jak rozpoznanie radiolokacyjne, tak i rozpoznanie elektroniczne ma na celu zdobywanie, opracowanie i dystrybucję informacji o sytuacji powietrznej.

Na czynność zdobywania informacji rozpoznawczych składa się poszukiwanie, przechwytywanie, śledzenie i namierzanie środków pokładowych obiektów powietrznych.

Analiza wszelkich zjawisk i właściwości towarzyszących promieniowaniu energii elektromagnetycznej, realizowana przez stanowiska i posterunki rozpoznawcze, grupy analizy danych oraz stanowiska dowodzenia w oddziale i pododdziałach rozpoznania

elektronicznego, umożliwia ustalenie przynależności rozpoznawanych źródeł promieniowania do odpowiednich systemów elektronicznych i obiektów rozpoznania, ich miejsca i składu, przeznaczenia i roli, jaką spełniają w tych systemach, a także ich charakterystyki operacyjno–technicznej. W rezultacie następuje opracowanie uzyskanej informacji: co to jest za obiekt i jaka jest jego działalność (zamiar). Dystrybucja opracowanej informacji polega na jej przekazywaniu do stanowisk dowodzenia OP.

Zadania informacyjne w interesie obrony nakazanych obiektów przed atakiem z powietrza realizują środki rozpoznania i walki radioelektronicznej OP, które wspólnie z wydzielonymi środkami rozpoznania marynarki wojennej oraz posterunkami wzrokowo–technicznymi Straży Granicznej tworzą System Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej SZ RP. System ten to zbiór elementów rozpoznania radiolokacyjnego, radioelektronicznego i wzrokowego, ogniw przetwarzających informację i kanałów jej przesyłania oraz środków zakłóceń i obezwładniania radioelektronicznego, rozmieszczonych na ziemi, wodzie i w powietrzu, obejmujących pewne terytorium i funkcjonalnie związanych ze sobą w celu prowadzenia obserwacji działalności przeciwnika powietrznego, własnych obiektów powietrznych oraz radioelektronicznego obezwładniania wybranych środków i systemów radioelektronicznych przeciwnika.

Zadania związane z rozpoznawaniem elektronicznym wykonują pododdziały, stale prowadząc:

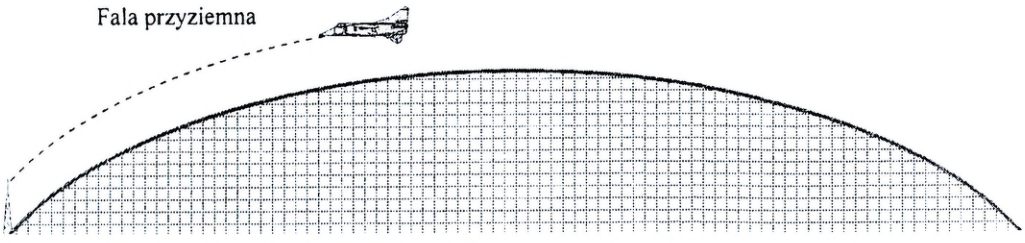
- poszukiwanie, śledzenie i przechwytywanie łączności radiowej pomiędzy obiektem powietrznym a innym obiektem z odbiornikami radiowymi zakresu |KF (EK-890) oraz UKF (ESM-500)
- namierzanie pokładowych radiostacji, które pracują z zautomatyzowanymi systemami namierzania radiowego KF (600), UKF (ODF 051);
- poszukiwanie i namierzanie pracujących pokładowych systemów radionawigacyjnych, radiolokacyjnych, a także systemów kierowania uzbrojeniem.

Rozpoznanie pokładowych radiostacji zapewniają namierniki radiowe ODF-051, których zakres pracy mieści się od 30–1300 MHz.

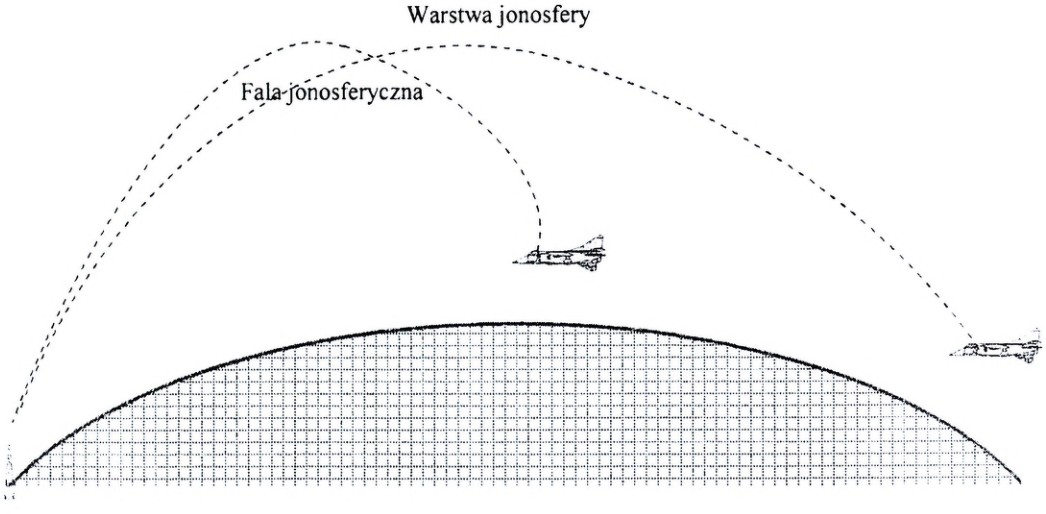
Pokładowe systemy radiolokacyjne są rozpoznawane za pomocą stacji BREŃ-2B [73, 74, 78], która zapewnia wykrywanie sygnałów radiolokacyjnych w zakresie 0,5-18 GHz[50]. Cechą charakterystyczną tej stacji jest rozpoznawanie parametrów odbieranych

[50] Istnieje możliwość rozszerzenia tego pasma do 40 GHz.

sygnałów radiowych (między innymi częstotliwość nośna, szerokość widma), dzięki którym możliwe jest zidentyfikowanie typu obiektu powietrznego i stopnia zagrożenia.



Zasięg wykrywania do kilkudziesięciu km



Zasięg wykrywania do kilkuset km

Rys. 2.1.5. Propagacja fal radiowych zakresu KF

Fale radiowe (zakresu KF) pokładowych urządzeń elektronicznych w przestrzeni rozchodzą się w dwojaki sposób: jako fale powierzchniowe oraz jonosferyczne (odbite od jonosfery), co ilustruje rys. 2.1.5. Zasięg wykrywania tych pierwszych jest znacznie ograniczony ze względu na duże tłumienie spowodowane powierzchnią ziemi, jak również krzywizną Ziemi [17]. Dla fal jonosferycznych wyżej wymienione problemy nie istnieją, ponieważ fale krótkie odbijają się od jonosfery, w związku z czym zasięg jest rzędu kilkuset kilometrów.

Dla fal ultrakrótkich musi być spełniony warunek bezpośredniej widzialności urządzeń nadawczych i odbiorczych.

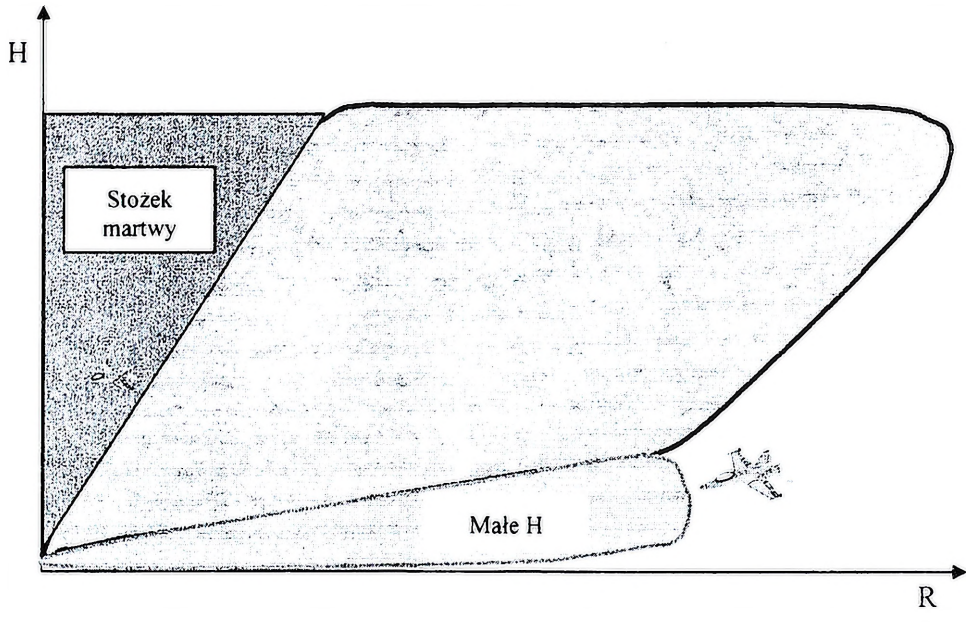
Radary ruchu lotniczego, ze względu na ciągłą, całodobową pracę, charakteryzują się niskim wskaźnikiem awaryjności. Do kontroli ruchu lotniczego wykorzystuje się: radary kontroli tras przelotów (zasięg wykrywania zawiera się w granicach 150–400 km), radary kontroli rejonu lotniska (zasięg wykrywania wynosi 50–110 km) oraz radary kontroli lądowania. Jednym z radarów lotniskowych jest AVIA (rys. 2.1.6).



Źródło: H. Woźniak, Historia radarów, Jelenia Góra, CSR, 2000.

Rys. 2.1.6. Radar kontroli ruchu lotniczego AVIA

Rozpoznanie wzrokowe stanowi uzupełniające źródło informacji o sytuacji powietrznej. Czynność tę realizują obserwatorzy wzrokowi, którzy przekazują meldunki o wykrytych obiektach powietrznych do stanowiska dowodzenia pododdziału radiotechnicznego[51]. Ten sposób pozyskiwania informacji jest niezwykle przydatny, gdy obiekty powietrzne znajdują się poniżej dolnej granicy strefy rozpoznania (obiekty nisko lecące) lub w tzw. stożku martwym (rys. 2.1.7).



Rys. 2.1.7. Luki przestrzenne w strefie wykrywania radaru

Strefa martwa, zwana powszechnie stożkiem martwym [13, 83, 105] jest określana jako przestrzeń (ograniczona kątem wzniesienia charakterystyki) powstała wokół generującej fale stacji radiolokacyjnej. Promień powstałego stożka martwego można wyznaczyć z zależności:

$$r_{sm} = H \ \mathrm{tg}_{\varepsilon \max} \qquad [2.1.1]$$

gdzie:

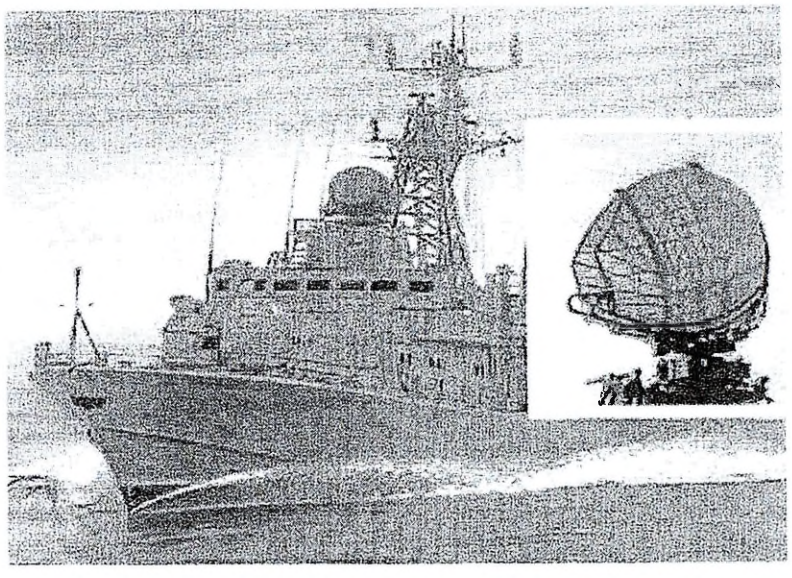
r_{sm} – promień stożka martwego;

[51] Posterunki obserwacji wzrokowej wystawiane są w wyższych stanach gotowości bojowej w rejonie rozmieszczenia pododdziałów, oddziałów i związków taktycznych wszystkich rodzajów wojsk i sił zbrojnych. Ponadto system OP zasilany jest informacją o sytuacji powietrznej z posterunków Straży Granicznej.

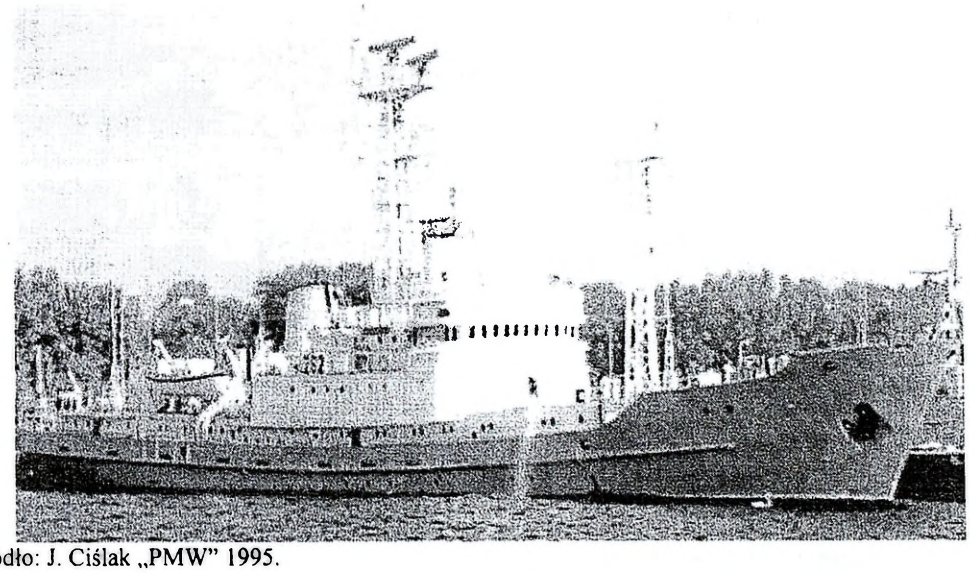
ε_{max} – maksymalny kąt wzniesienia charakterystyki promieniowania stacji radiolokacyjnej;

H – wysokość przyjęta do obliczeń.

Rozpoznanie nawodne zapewniają stacje radiolokacyjne (rys. 2.1.8 a) pracujące na okrętach dozoru radiolokacyjnego oraz rozpoznania elektronicznego (rys. 2.1.8 b).



Rys. 2.1.8 a. Okrętowa stacja radiolokacyjna



Źródło: J. Ciślak „PMW" 1995.

Rys. 2.1.8 b. Okręt rozpoznania radioelektronicznego ORP „NAWIGATOR"

Stanowią one uzupełnienie strefy informacji radiolokacyjnej na obszarze morskim. Ich rozmieszczenie jest uwarunkowane głównie potrzebami zabezpieczenia działań bojowych sił i środków biorących udział w obronie powietrznej kierunku nadmorskiego.

W zintegrowanym systemie OP NATO **rozpoznanie powietrzne** zapewniają samoloty wczesnego wykrywania i naprowadzania (AWACS) wykonujące loty nad terytorium kraju w określonych strefach dyżurowania. Zasięgi wykrywania ich urządzeń radiolokacyjnych oraz możliwości rozpoznawcze urządzeń radioelektronicznych mogą stanowić główne źródło informacji zarówno o obiektach powietrznych działających na dalekich podejściach do bronionych rejonów, jak i o systemach oraz środkach radioelektronicznych rozmieszczonych w głębi ugrupowania przeciwnika. Powietrzny system wczesnego wykrywania i naprowadzania (rys. 2.1.9) jest podstawowym źródłem zdobywania informacji o sytuacji powietrznej w zintegrowanej OP NATO w czasie konfliktu i wojny. System ten powstał na bazie samolotów E-3 Sentry i przeznaczony jest między innymi do: wykrywania oraz określania współrzędnych oraz identyfikacji obiektów powietrznych, wykrywania i identyfikowania urządzeń emitujących energię elektromagnetyczną (między innymi pokładowych urządzeń elektronicznych), a także naprowadzania samolotów własnych na cele powietrzne [117, 118].



Źródło: http://greenfordarmy.republika.pl/usaf/awacs.html.

Rys. 2.1.9. Samolot E-3 Sentry systemu wczesnego wykrywania i naprowadzania AWACS

Jego podstawowe wyposażenie stanowi doplerowska stacja radiolokacyjna AN/APY-2 umożliwiająca wykrywanie i śledzenie obiektów powietrznych na tle ziemi. Ponadto w jego wyposażeniu znajduje się stacja rozpoznania radioelektronicznego AN/AYR-1, która w sposób pasywny rozpoznaje urządzenia pokładowe obiektów powietrznych. Przekazywanie informacji o celach powietrznych do wybranych abonentów naziemnych lub powietrznych następuje z udziałem zautomatyzowanego systemu JTIDS.

Jednym z warunków otrzymywania przez system dowodzenia OP ciągłej, wiarygodnej informacji o sytuacji powietrznej jest posiadanie źródeł jej pozyskiwania, które w czasie pracy tworzą strefę informacji o określonych parametrach. Cały problem polega na tym, aby uzyskanie pożądanych parametrów nie wymagało stawiania przed Systemem Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej nierealnych (np. z punktu ekonomicznego) celów do osiągnięcia. Jest to o tyle istotne, że deficyt informacji występuje nie tylko w warunkach wojny czy zagrożenia, ale również w okresie pokoju.

O ile w okresie zagrożenia oraz wojny obezwładnienie środkami walki elektronicznej środków rozpoznania jest wręcz działaniem klasycznym[52], prowadzącym do obezwładnienia systemu obrony powietrznej [113, 121, 137], o tyle w warunkach pokoju „pokonanie" systemu rozpoznania przez wykonanie lotu na bardzo małych wysokościach stanowi dla tego systemu pełne zaskoczenie (takie przypadki się zdarzały[53]). Za koniecznością rozwiązania problemów informacyjnych przemawia także wzmożone zagrożenie terroryzmem powietrznym, jak również nielegalne przekraczanie granic powietrznych RP. Powyższy pogląd wydaje się tym bardziej zasadny, że przedstawione problemy informacyjne mogą wystąpić już w okresie pokoju, czyli wtedy, gdy funkcjonuje ograniczona ilość środków rozpoznania, a strefa informacji dla potrzeb zintegrowanego systemu OP jest zabezpieczana od wysokości 3000 m.

W celu obniżenia dolnej granicy strefy informacji, w warunkach zagrożenia przewiduje się utworzenie wysuniętych posterunków radiolokacyjnych, a ponadto do dyżuru bojowego planuje się okresowe użycie radiolokacyjnego systemu AWACS. Z punktu widzenia rozpoznania przestrzeni powietrznej posiadanie systemu AWACS, który w warunkach pokoju spełniałby wspomniane funkcje, byłoby niezwykle komfortowym

---

[52] Świadczą o tym liczne przykłady z wojen i konfliktów zbrojnych, szczególnie z obu wojen w rejonie Zatoki Perskiej.

[53] Między innymi to wydarzenie z 1987r., którego autorem był niemiecki pilot amator M. Rust, lądujący na Placu Czerwonym w Moskwie, jak również liczne przykłady nielegalnego przekraczania granic powietrznych RP (emigracja za granicy wschodniej).

rozwiązaniem. Jednakże ze względów ekonomicznych dysponowanie tym systemem przez nasze siły zbrojne w najbliższym czasie wydaje się nierealne.

Istniejące zapotrzebowanie wypełnienia luki w obszarze teorii informacji w zakresie rozwiązywania problemu deficytu informacji o sytuacji powietrznej przekłada się również z oczywistych względów na rozwiązania praktyczne. Pierwotne poszukiwania badawcze skierowane były na zbiór, opracowanie i dystrybucję informacji o sytuacji powietrznej na wszystkich szczeblach systemu dowodzenia obrony powietrznej[54]. W tym celu dokonano identyfikacji obiegu informacji o sytuacji powietrznej w systemie zautomatyzowanym[55], a w następnej kolejności – diagnozy możliwości taktyczno-technicznych urządzeń zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Pierwotnie badania w tym obszarze dotyczyły systemu DUNAJEC, a w ostatnich latach – systemu DUNAJ. Przedmiotem szczególnego zainteresowania autora rozprawy były rozwiązania algorytmiczne (proceduralne) dotyczące „zaników" śledzonych obiektów powietrznych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że zautomatyzowany system dowodzenia DUNAJEC zapewniał wykrywanie obiektów powietrznych[56] przy pomocy JMP (jednostki mikroprocesorowej) oraz urządzenia MAW-20 (moduł automatycznego wykrywania). Jednostka mikroprocesorowa znajduje się w składzie ekstraktora urządzenia MAW-21, tworząc strukturę jak na rys. 2.1.10.

Mechanizm wykrywania obiektów powietrznych w MAW-21 polega na uwzględnieniu następujących parametrów określonych dla tego urządzenia:

- wizyjnych ustalonych dla każdego sygnału (amplitudowego i TES[57]) „progów";
- reguł wykrycia początku paczki impulsów;
- reguł wykrycia końca paczki impulsów.

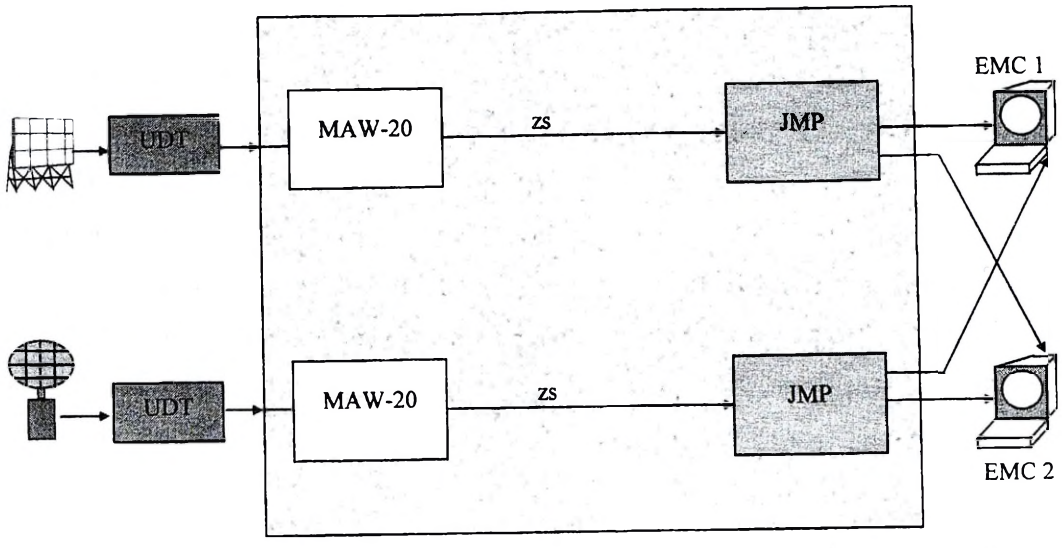
---

[54] Badania te dotyczyły poprzedniej struktury systemu dowodzenia OP.

[55] W latach dziewięćdziesiątych praca bojowa na stanowiskach dowodzenia systemu OP odbywała się także w systemie niezautomatyzowanym (tzw. systemie foniczno-ręcznym).

[56] Na podstawie otrzymywanego zobrazowania analogowego ze źródeł informacji o sytuacji powietrznej, które były sprzężone z tym systemem.

[57] TES – tłumienie ech stałych stosuje się powszechnie w stacjach radiolokacyjnych do obniżenia potencjału zakłóceń o charakterze pasywnym (przede wszystkim do niwelacji tzw. odbić terenowych, które w bliższej strefie obserwacji uniemożliwiają wykrywanie obiektów powietrznych).



Źródło: opracowano na podstawie: W. Brylski, Opis oprogramowania jednostki mikroprocesorowej urządzenia MAW-21, PIT.

Rys. 2.1.10. Struktura urządzenia MAW-21

Funkcje oprogramowania użytkowego jednostki mikroprocesorowej podzielono na dwie grupy [19]:

- otrzymywanie wykryć z ekstraktora MAW-20, obliczanie parametrów tych wykryć i kodowanie tych parametrów w formaty przeznaczone dla EMC;
- sterowanie pracą ekstraktora MAW-20 bądź to na podstawie poleceń otrzymywanych z EMC, bądź na podstawie własnych procedur sterujących.

Przestrzeń wykrywania stacji radiolokacyjnych podlega podziałowi w urządzeniu MAW-20 na pewne obszary. Obszary te są określone przy pomocy tzw. bramek. Urządzenie MAW-20 umożliwia w obszarze bramki:

- wykrywanie obiektów (są to tzw. bramki robocze – amplitudowe, TES, cyfrowe);
- pomiar liczby przekroczeń ustalonego progu (są to tzw. bramki szumowe – amplitudowe, TES).

Struktura programu operacyjnego systemu DUNAJ, podobnie jak jego poprzednika, uniemożliwia poszukiwania „utraconej" informacji o sytuacji powietrznej. Stąd zobrazowanie syntetyczne śledzonych obiektów jest możliwe tylko pod warunkiem śledzenia ich przez źródła pierwotne. Gdy śledzenie obiektu powietrznego przez źródło pierwotne zostało przerwane, następuje zanik informacji wtórnej na ekranach wskaźników systemu

zautomatyzowanego. Brak programowych rozwiązań w tym zakresie utwierdził autora rozprawy w przekonaniu, że diagnozowane systemy pozwalają jedynie na zbiór, opracowanie i dystrybucję informacji o sytuacji powietrznej.

Jak potwierdziły przeprowadzone badania, klasyczne środki rozpoznania przestrzeni powietrznej nie zawsze gwarantują wykrywanie i ciągłe śledzenie obiektów powietrznych, dlatego konieczne jest skorzystanie z innych rozwiązań w tym względzie. Niezwykle przydatne do tego celu mogą się okazać pasywne źródła rozpoznania przestrzeni powietrznej, takie jak: kamery, urządzenia termowizyjne oraz systemy detekujące dźwięk.

2.2. Optyczne źródła informacji o sytuacji powietrznej

Jednym ze sposobów identyfikowania typu obiektów powietrznych jest obserwacja wzrokowa, lecz jej zastosowanie w systemie obrony powietrznej nie zawsze daje oczekiwane rezultaty. Stanowi ona uzupełniające źródło informacji o sytuacji powietrznej, szczególnie przydatne w okresie deficytu informacyjnego[58]. Występujące w tym rozpoznaniu zagrożenia co do właściwej oceny typów wykrytych obiektów można w zasadzie ująć w dwóch zasadniczych grupach:

- predyspozycji obserwatora;
- zakłóceń występujących w sektorze obserwacji.

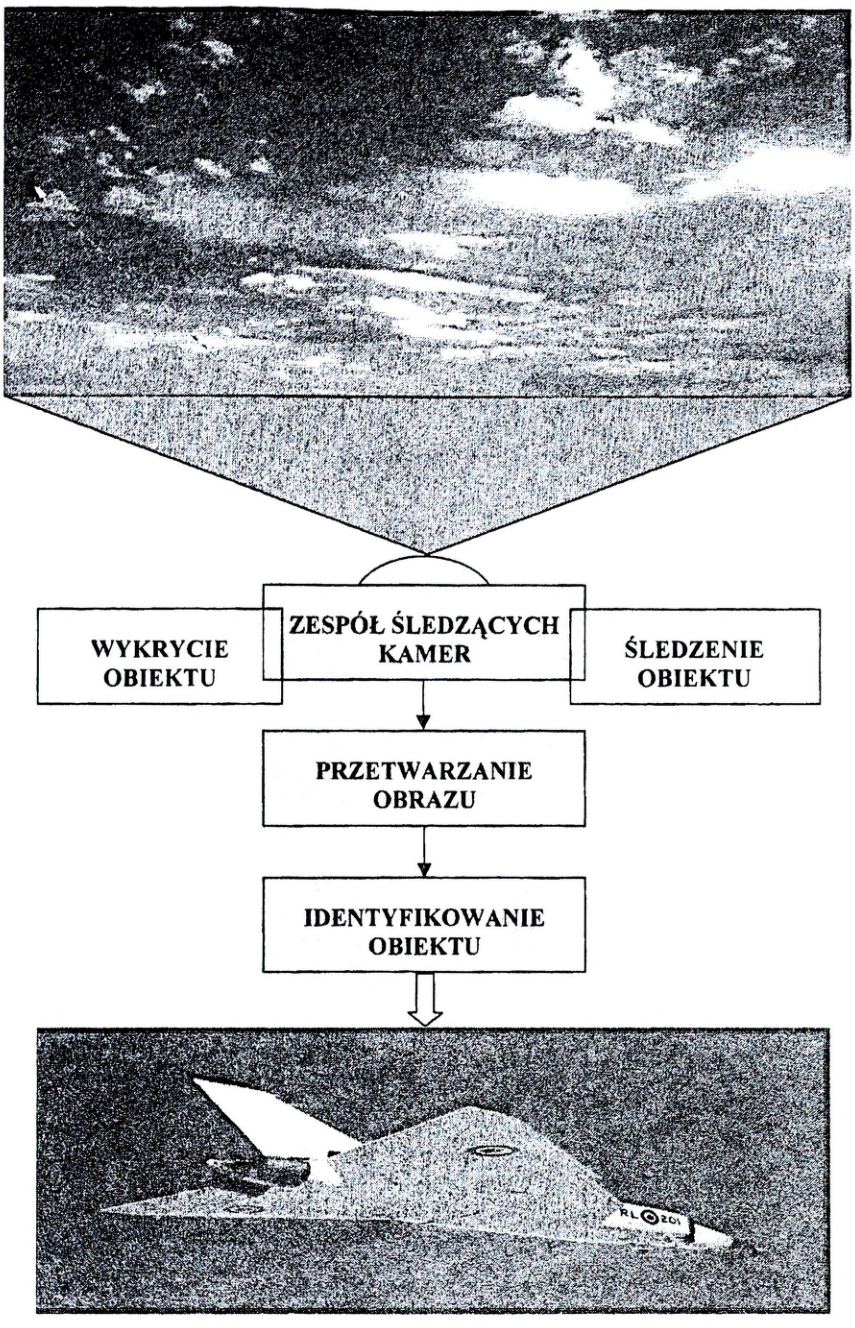
W pierwszej grupie za najważniejsze można uznać predyspozycje wzrokowej oceny obserwatora oraz jego właściwości psychofizyczne. Z kolei w drugiej grupie można wyróżnić wszelkie zakłócenia (np.: atmosferyczne, przemysłowe) W niektórych przypadkach także promienie słoneczne będą przeszkodą w wykrywaniu i prowadzeniu obserwacji obiektów powietrznych.

Występowanie czynników ludzkich, jak i pozostałych czynników utrudniających trafną identyfikację typu obiektów powietrznych powinno skłaniać do poszukiwań rozwiązań, które mogłyby je choćby po części wyeliminować.

W jednej z propozycji zakłada się, że dotychczasowe źródło bezpośredniej obserwacji (ludzkie oko) można zastąpić kamerą lub zestawem kamer według schematu przedstawionego na rys. 2.2.1. Wówczas zasadne byłoby zastąpienie terminu *rozpoznanie wzrokowe* terminem ***rozpoznanie optyczne***. Liczba wykorzystanych kamer byłaby zależna głównie od usytuowania oraz od ich możliwości optycznych (np. kąta widzenia). Przetwarzanie obrazu informacji o sytuacji powietrznej może być realizowane z wykorzystaniem systemu ekspertowego.

---

[58] Przyczyną deficytu może być na przykład mała wysokość lotu obiektu powietrznego.



Rys. 2.2.1. Schemat procesu wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych

Jeśli prowadzona przez zespół kamer obserwacja optyczna nie daje pożądanych rezultatów[59], należy wykorzystać identyfikację innego rodzaju, np. termiczną lub akustyczną (albo jedną i drugą).

Już w okresie powojennym można było zaobserwować rozwój wielu alternatywnych urządzeń, przeznaczonych do wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych. W ostatnich latach coraz większą rolę w tym zakresie odgrywa technika podczerwieni. W porównaniu z radarami urządzenia pracujące w podczerwieni są przede wszystkim:

- trudne do wykrycia przez przeciwnika;
- odporne na zakłócenia elektroniczne;
- dokładne w zakresie pomiaru kąta azymutu i elewacji położenia celu;
- pasywnym źródłem informacji.

Ponadto o coraz szerszym wykorzystaniu tych urządzeń decyduje ich zdolność do obserwacji w nocy i częściowo w trudnych warunkach atmosferycznych, a także ograniczona możliwość maskowania obserwowanych obiektów.

W pracy rządzeń pracujących w paśmie podczerwieni wykorzystywana jest emisai promieniowania cieplnego ciał[60] o temperaturze większej niż 0^0 K (minus 273° C), które stanowią źródło promieniowania elektromagnetycznego Rozkład widmowy tych obiektów jest charakteryzowany przez ich temperaturę. Natomiast rozkład przestrzenny temperatur na powierzchni danego obiektu najczęściej istotnie wyróżnia go od jego otoczenia[61].

W praktyce tło obserwowanego obiektu będzie zróżnicowane i wywierać będzie różny wpływ na możliwości jego wykrycia. Poza tym obiekt może być zamaskowany, a tło może zawierać także cele pozorne. Sygnały od właściwego obiektu, rejestrowane przez czujnik podczerwieni, mogą być bardzo podobne do sygnałów od tła[62]. Zatem aby zwiększyć prawdopodobieństwo wykrycia i rozpoznania obiektu, konieczna jest znajomość jego charakterystycznych cech, które pozwolą go odróżnić od innych obiektów. Zbiór tego rodzaju cech określa się mianem *sygnatury obiektów*. Posiadanie bazy możliwych sygnatur obiektów powietrznych umożliwia nie tylko ich wykrycie, ale również identyfikację.

---

[59] Zasadniczą przeszkodę w wykrywaniu i śledzeniu obiektów powietrznych stanowią chmury oraz opady atmosferyczne.

[60] Obiekty powietrzne.

[61] Obraz (kształt obiektu powietrznego) rejestrowany przez urządzenie obserwacyjne jest zależny od ustawienia tego obiektu względem kierunku obserwacji.

[62] Rezultaty z badań kamerą termowizyjną przedstawiono w podrozdziale 2.4.

Możliwości wykrycia obiektów powietrznych w zakresie podczerwieni są determinowane zjawiskami fizycznymi zachodzącymi w atmosferze. Obecność cząsteczek wody powoduje absorpcję i rozpraszanie promieniowania podczerwonego, co w konsekwencji ogranicza jego transmisję. Podobnie zmiany temperatury powietrza, kąta padania promieni słonecznych nie pozostają bez wpływu na możliwości wykrycia obiektu powietrznego. Spadek temperatury powietrza powoduje, iż energia zgromadzona w powierzchni będącej tłem dla celu jest niższa, tworzy zatem większy kontrast i lepsze warunki wykrycia. Natomiast odbicia promieniowania otoczenia od powierzchni skośnych obiektu powodują różne deformacje i zakłócenia w rejestracji obrazu.

W celu zmniejszenia negatywnego wpływu atmosfery na możliwości pracy termowizyjnych urządzeń obserwacyjnych wykorzystywane są różne zakresy długości fal, a tym samym kamery o różnym zakresie spektralnym. Wojskowe urządzenia termalne pracują w zakresie 3 – 5 μm lub 8 – 12 μm. Jak dowodzą przeprowadzone badania w paśmie 8 – 12 μm, przy uwzględnieniu negatywnego oddziaływania atmosfery, warunki wykrycia są najlepsze. Urządzenie optoelektroniczne jest znacznie mniej podatne na warunki atmosferyczne niż ludzkie oko[63], ale nie są one obojętne dla jakości zobrazowania[64].

Ze względu na charakter pracy i zakres wykorzystywanych fal elektromagnetycznych urządzenia obserwacyjne pracujące w paśmie optycznym można sklasyfikować w sposób następujący:

- aktywne, pracujące w paśmie fal elektromagnetycznych promieni laserowych, np. lokatory laserowe – LIDAR (Light Detektion and Ranging);
- półaktywne, wykorzystujące zewnętrzne oświetlenie promieniowaniem widzialnym, np. kamery do pracy przy słabym oświetleniu LLLTV (Low Light Level Television) i kamery optoelektroniczne (Elektro-optical cameras);
- pasywne, rejestrujące obraz w paśmie podczerwieni – termowizja, np. urządzenia obserwacji w podczerwieni FLIR (Forward Looking Infrared), urządzenia poszukiwania i śledzenia w podczerwieni IRST (Infrared Search and Track).

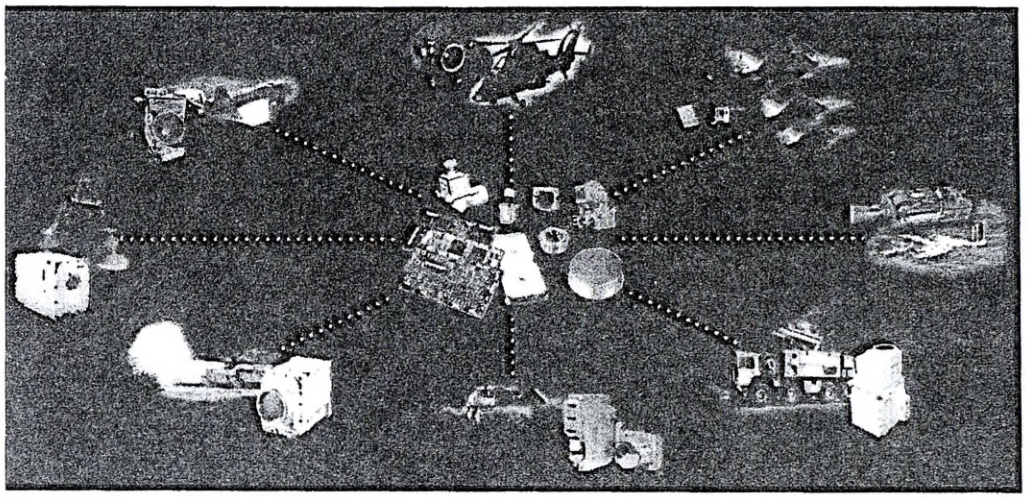
Do pasywnych zaliczymy również urządzenia pracujące w zakresie noktowizji, np. okulary obserwacji nocnej NVG (Night Vision Gogles).

---

[63] Podobnie jak zwykłe urządzenia optyczne.

[64] Zwiększona wilgotność powietrza obniża skuteczność wykrywania obiektów powietrznych w podczerwieni.

Spośród szerokiej gamy urządzeń obserwacyjnych pracujących w paśmie optycznym najskuteczniejszymi stają się urządzenia pracujące w zakresie termowizji. Znajdują one obecnie różnorodne zastosowanie zarówno w pokładowych, jak i naziemnych systemach obserwacyjnych (rys. 2.2.2).



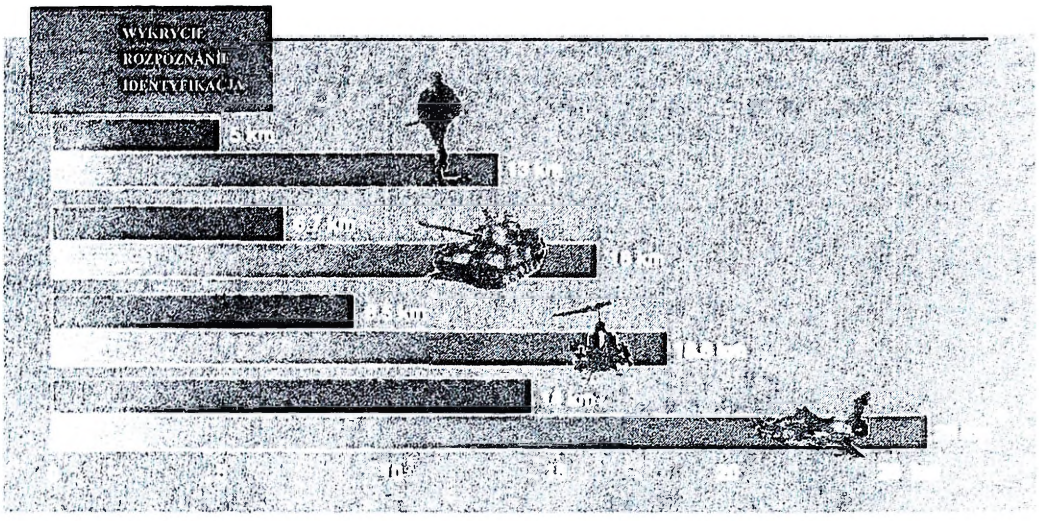
Źródło: materiały firmy SAGEM.

Rys. 2.2.2. Przykłady zastosowań zobrazowania termalnego

Pewnym ograniczeniem w powszechnym stosowaniu tych urządzeń był ich niewielki zasięg skutecznego działania. Kolejne ich modele w coraz większym stopniu zacierają różnice między radarowymi a termalnymi metodami wykrycia. Współczesne urządzenia poszukiwania i śledzenia w podczerwieni (IRST), planowane do wykorzystania w nowoczesnych systemach obserwacyjno-celowniczych samolotów wielozadaniowych najnowszych generacji, pozwalają na poszukiwanie obiektów powietrznych w odległości do 20 km.

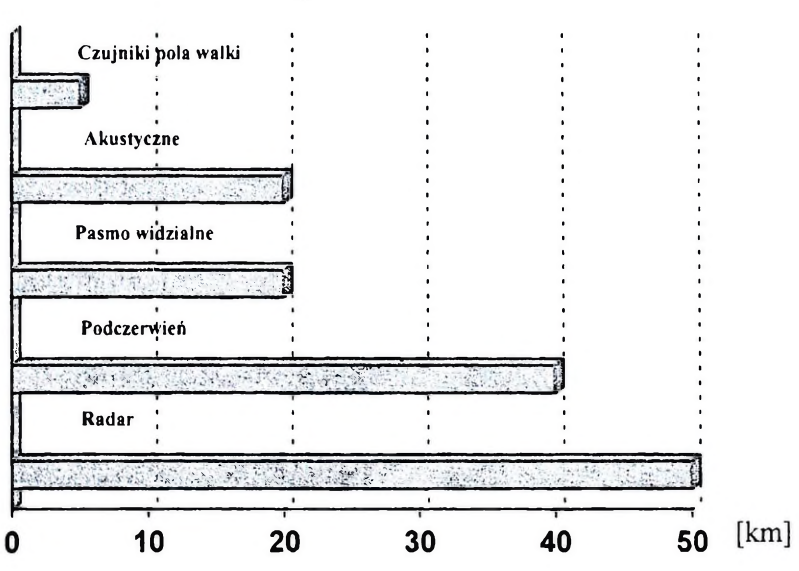
Z dużą uwagą należy śledzić również rozwój urządzeń pracujących w paśmie podczerwieni, znajdujących zastosowanie w systemach wykrywania, klasyfikowania zagrożeń i wskazywania położenia obiektów nisko i wolno lecących. Mogą one służyć jednocześnie do wykrywania i śledzenia nie tylko obiektów powietrznych, ale także lądowych i morskich. Z uwagi na jeszcze niewielki zasięg wykrycia (rys. 2.2.3) mogą być doskonałym uzupełnieniem konwencjonalnych źródeł systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Dotychczasowe rozwiązania techniczne oraz właściwości wykorzystywanych zjawisk fizycznych powodują, że urządzenia pasywne mają mniejsze zasięgi wykrycia i rozpoznania obiektów (rys. 2.2.4) od klasycznych urządzeń radiolokacyjnych. Możliwości te zależą od sygnatur obiektów powietrznych, oraz możliwości urządzeń obserwacyjnych.



Źródło: materiały reklamowe firmy SAGEM.

Rys. 2.2.3. Przykładowe możliwości urządzenia obserwacyjnego pracującego w paśmie podczerwieni (system IRIS)

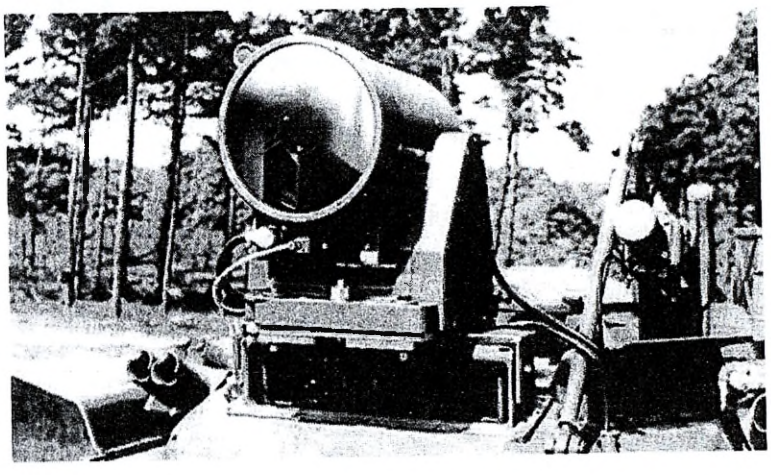


Źródło: Analiza możliwości wykrycia śmigłowców w podczerwieni, Dęblin 2004.

Rys. 2.2.4. Orientacyjne zasięgi wykrycia obiektów nisko lecących

Pierwotnie w optoelektronicznych urządzeniach obserwacyjnych wykorzystywano głównie kamery telewizyjne, mające duże ograniczenia z uwagi na przejrzystość powietrza oraz porę doby. W latach osiemdziesiątych skuteczność tych kamer wzrosła na skutek zastosowania kamer niskiego poziomu oświetlenia jako urządzeń do prowadzenia obserwacji w warunkach nocnych. Stanowią one połączenie noktowizorów pasywnych i kamer TV. Kamery te nie zostały jednak wprowadzone na szeroką skalę do wyposażenia wojsk, bowiem zdecydowano się na znacznie bardziej skuteczne urządzenia, jakimi okazały się kamery termowizyjne.

W 1952 roku opracowano dla celów wojskowych pierwszą kamerę termowizyjną. W kolejnych latach (1956–1960) powstało kilka typów kamer z detektorami termicznymi. Do zasadniczych wad tych kamer można zaliczyć ich ciężar i gabaryty (rys. 2.2.5).



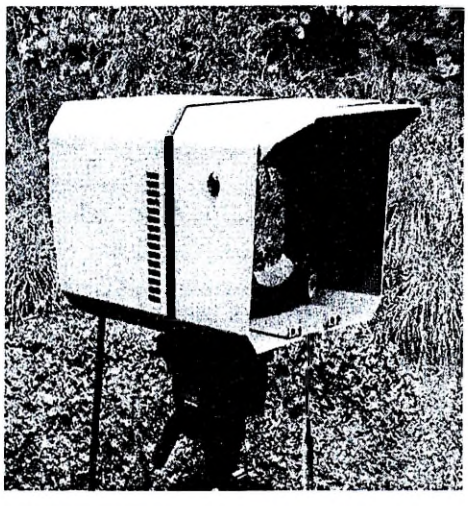
Źródło: Pomiary termowizyjne w praktyce, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2004.

Rys. 2.2.5. Wojskowa kamera termowizyjna firmy AGA/Bofors opracowana w latach 1958 – 1963

Wykorzystanie detektorów podczerwieni o dużej czułości i szybkości działania sprzyjało uzyskiwaniu obrazów o większej rozdzielczości temperaturowej niż w wypadku detektorów termicznych [111]. Ponieważ przydatność kamer termowizyjnych w zastosowaniach militarnych okazała się obiecująca, do 1973 roku opracowano kilkadziesiąt typów kamer termowizyjnych. Dalszym ich rozwojem stymulował postęp w dziedzinie elektroniki. Osiągnięciem ostatniego okresu są kamery: z różnymi detektorami, sposobami rejestracji obrazu termicznego oraz przetwarzania i zobrazowania odbieranej informacji.

Konstrukcja i parametry techniczne kamer termowizyjnych są zależne od ich przeznaczenia. W celu wykrywania obiektów powietrznych z odpowiednio dużej odległości konstruuje się kamery o dużych średnicach obiektywów (teleobiektywów), a także dużej rozdzielczość termicznej (co najmniej 0,01 ^{0}C) oraz przestrzennej. Zespół tego typu urządzeń tworzą system obserwacji przestrzeni powietrznej.

Tego typu systemy stanowią podstawową grupę środków do prowadzenia obserwacji, wykrywania i rozpoznawania obiektów (nisko lecących) w dzień i nocy, w różnych warunkach atmosferycznych. Wytwarzany w kamerach termowizyjnych dwuwymiarowy obraz widzialny jest przedmiotem jego oceny, której efektem finalnym etapem jest podjęcie decyzji o wykryciu i zidentyfikowaniu danego obiektu. Przykładem urządzenia spełniającego wymagania do takich zastosowań jest kamera SENTRY firmy FLIR Systems (rys. 2.2.6). Kamery o takich wartościach parametrów są stosowane do wykrywania i śledzenia samolotów i śmigłowców oraz w systemach naprowadzania rakiet przeciwlotniczych. Kamera wykrywa obiekt powietrzny z odległości kilkunastu kilometrów.



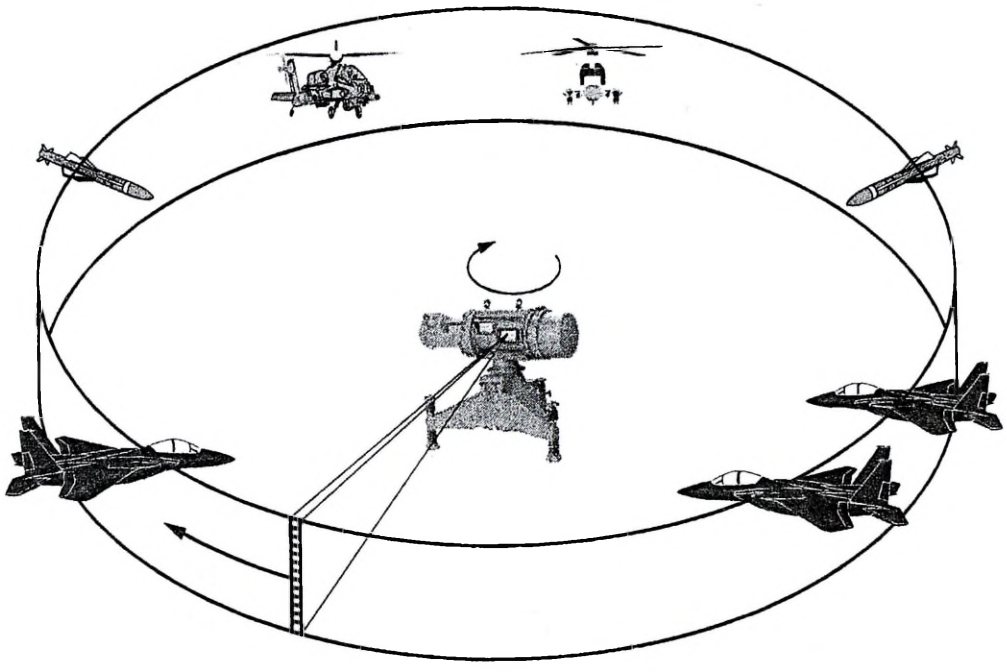
Typ detektora	QWIP (320x240)
Zakres widmowy	8÷9 μm
Czułość termiczna	0.03°C
Kąty pola widzenia	0.99° x 0.74° 6.0° x 4.5° 25° x 19°
Temperatura pracy	-32 do +55°C
Pobór mocy	20 W
Ciężar	18 kg

Źródło: materiały reklamowe firmy FLIR.

Rys. 2.2.6. Kamera SENTRY firmy FLIR Systems i jej główne parametry

Najnowsze rozwiązania, to przenośny system obserwacyjno-śledzący (śmigłowce, samoloty nisko lecące, rakiety), w którym stosuje się urządzenia pracujące na zasadzie szerokokątnych skanerów termowizyjnych. Kąt obserwacji w poziomie uzyskiwany jest przez obrót układu optycznego w urządzeniu lub obrót całego urządzenia (rys. 2.2.7). W systemie IRS-700 kąty obserwacji wynoszą odpowiednio 360° w poziomie i 20° w pionie, przy czasie

skanowania dwóch sekund. Zakres widmowy pracy tego typu urządzenia jest zawarty w przedziale 8–12μm lub 3–5 μm[65].



Źródło: Pomiary termowizyjne w praktyce, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2004.

Rys. 2.2.7. Zasada wykrywania obiektów na przykładzie systemu IRS-700

Spośród wielu systemów śledzących cele na małej wysokości na szczególną uwagę zasługują: system ADAD, SIRENE, IRS-700 i SAS 90 (tabela 2.2.1).

W rozwiązaniach konstrukcjach tych systemów uwzględniono, że obiekt powietrzny musi być wykrywany na niezbędnych do efektywnego użycia rakiet przeciwlotniczych odległościach.

Badania symulacyjne wykazały, że dołączenie tego typu systemu do zestawów przeciwlotniczych pozwala na kilkakrotne zwiększenie prawdopodobieństwa trafienia samolotu i śmigłowca [111]. Systemy te z powodzeniem zastępują urządzenia radarowe, w szczególności przeznaczone do wykrywania obiektów nisko lecących. Oparcie ich pracy na detektorach najnowszej generacji umożliwi zwiększanie zasięgów wykrycia oraz kąta

[65] Podobne parametry wykrywania mają inne systemy z wyjątkiem systemu ADAD, którego kąt obserwacji w poziomie wynosi 240 stopni.

widzenia w elewacji, uprości ich konstrukcję, a także pozwoli na pełną identyfikację wykrytych obiektów powietrznych.

Tabela 2.2.1

Dane taktyczne urządzeń wykrywająco-śledzących

Typ systemu	Obserwacja w azymucie	Obserwacja w elewacji	Zasięg * [km]	Uwagi
ADAD Air Defence Alerting Device	240^0	24^0	6	
SIRENE *SAT Sirene Infra-Red Search and Track System*	360^0	$5{,}5^0$	10	Możliwość zmiany ustawienia skanera w zakresie od -10° do +20° (w elewacji)
IRS-700 *Saab IRS-700 Air Defence Sensor*	360^0	20^0	6 – 8	Możliwość zmiany kąta nachylenia skanera w zakresie 45°
SAS 90 *System wczesnego wykrywania* i śledzenia	360^0	-	10 – *TV* 15 – *IR*	Dalmierz laserowy pracujący w paśmie 1,54 μm o zasięgu do 7 km wskazuje cel z dokładnością do 5 m i 1 mrd

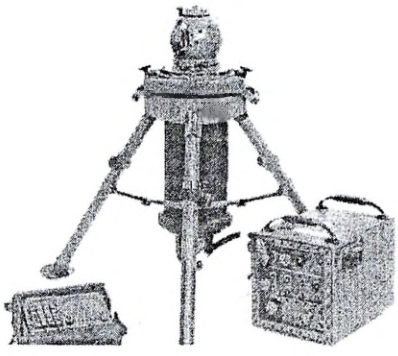
Źródło: materiały reklamowe firmy FLIR.

* Zasięg wykrycia celu uzależniony jest od przewyższenia temperatury celu nad temperaturą otoczenia i widzialności wzrokowej, a pułap wykrycia również od pułapu chmur.

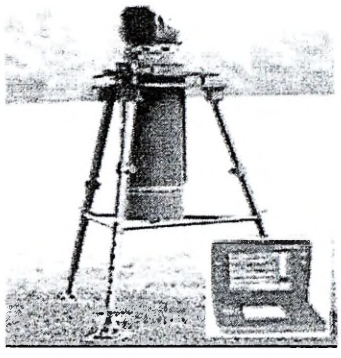
Najnowszej generacji kamery termowizyjne posiadają wieloelementowe detektory podczerwieni, zintegrowane z elektronicznymi układami odczytu. Dzięki temu wyeliminowany został skomplikowany mechaniczno-optyczny zespół przeszukiwania obrazu oraz znacznie wzrosła szybkość uzyskiwania termogramów.

Konstrukcja i parametry techniczne kamer termowizyjnych są zależne od ich przeznaczenia. W zastosowaniach wojskowych ważne jest wyróżnienie celu z tła z odpowiednio dużej odległości. Mają więc one najczęściej duże średnice obiektywów

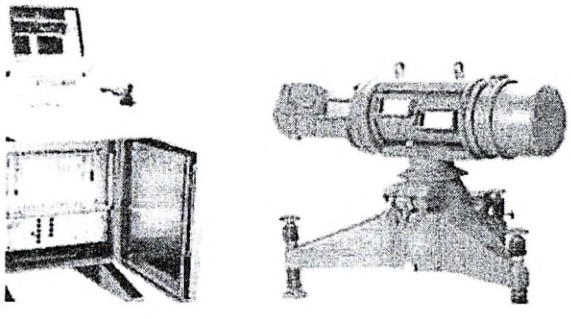
(teleobiektywów), dużą rozdzielczość termiczną (co najmniej 0,01 ^{0}C) i przestrzenną (np. 0,1 mrad) oraz specjalne obudowy.



System wykrywająco-śledzący ADAD



System powietrznego rozpoznania i śledzenia SIRENE



System ostrzegania powietrznego IRS-700

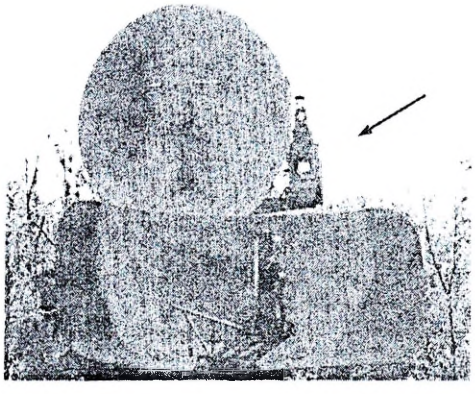
Źródło: *Pomiary termowizyjne w praktyce*, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2004.

Rys. 2.2.8. Przykłady systemów wykrywjąco-śledzących

Taktyka użycia lotnictwa w wyniku zdobytych doświadczeń w kolejnych wojnach i konfliktach lokalnych [143, 43, 44, 113] wciąż ewoluuje. Działania bojowe w Zatoce Perskiej prowadzone zgodnie z przyjętym scenariuszem udowodniły, iż loty na małej wysokości niosą duże zagrożenie ze strony coraz doskonalszych zestawów przeciwlotniczych. Bardziej bezpieczne okazały się loty (przy silnym zakłóceniu elektronicznym) na wysokościach powyżej 5000 m. Jednakże lotnictwo śmigłowcowe i część bezpilotowych aparatów latających realizują loty tylko na małej wysokości, stwarzając duże zagrożenie. Oznacza to, że wczesne wykrycie obiektu powietrznego i jego identyfikacja są niezmiernie

istotne dla systemu OP. Spośród wielu systemów śledzących obiekty powietrzne na małej wysokości na szczególną uwagę zasługują urządzenia wykorzystujące technikę termalną, w pełni pasywne i precyzyjnie określające miejsce położenia obiektu. Urządzenia tego typu z powodzeniem zastępują lub uzupełniają technikę radarową zarówno w zakresie obserwacji, jak i kierowania pocisków rakietowych na wykryty cel powietrzny. Przykładowe systemy wykrywania, rozpoznania, śledzenia oraz ostrzegania ilustruje rys. 2.2.8.

Przedstawione systemy należą do rozwiązań bardzo drogich, co znacznie ogranicza możliwość ich powszechnego stosowania. Dlatego w celu zwiększenia efektywności wykrywania i zwalczania celów nisko lecących dąży się również do modernizacji już istniejących systemów. Systemy obserwacyjne i zestawy przeciwlotnicze wykorzystujące technikę radiolokacji wyposaża się w urządzenia pracujące w zakresie podczerwieni (najczęściej dalekiej, tzn.8–12 μm). Przykładem takiego rozwiązania może być zestaw przeciwlotniczy KUB, w którym oprócz klasycznych radiolokacyjnych urządzeń wykrywania planuje się stosowanie kamery termowizyjnej (rys. 2.2.9).



Źródło: http://www.wzu.pl.

Rys. 2.2.9. Antena stacji radiolokacyjnej KUB z kamerą termowizyjną

W porównaniu z celem powietrznym urządzenia obserwacyjne oraz wyposażone w nie zestawy przeciwlotnicze są trudniejsze do wykrycia i przechwycenia. Ich sygnatura termalna jest niższa, a tło, na jakim się znajdują, powoduje niewielki kontrast[66]. Prowadzenie obserwacji w podczerwieni jest zatem bardziej efektywne w stosunku do obiektów

[66] Wyniki badań przedstawiono w podrozdziale 2.4.

obserwowanych na tle nieba niż na tle ziemi (tło nieba stwarza silniejszy kontrast)[67]. W nowoczesnych rozwiązaniach dąży się do tego, aby optoelektroniczne urządzenia obserwacyjne były w jak najmniejszym stopniu odróżniane od tła (kontrast termiczny maksymalnie do kilku stopni). W konsekwencji odległość wykrycia i przechwycenia celu powietrznego jest większa niż możliwości ogniowe pokładowych środków pracujących w zakresie termowizji.

Wobec wzrostu znaczenia technologii STEALTH wprowadzenie optoelektronicznych urządzeń obserwacyjnych w znacznym stopniu zwiększa możliwości w zakresie wykrywania, identyfikacji i śledzenia. Urządzenia te pozwalają prowadzić skuteczne rozpoznanie, same natomiast nie zostają wykryte. Konwencjonalne sposoby wykrywania celów powietrznych, oparte na klasycznych systemach radarowych, nie są w stanie podjąć skutecznej walki z coraz bardziej wyrafinowanymi środkami napadu powietrznego. Systemy te muszą być zasilane innymi źródłami informacji, do których między innymi należą czujniki podczerwieni. Z dostępnych opracowań[68] i ofert producentów broni wynika, że aktualnie w różnych urządzeniach rozpoznawczych i systemach uzbrojenia stosuje się: czujniki podczerwieni, mikrofalowe, akustyczne, magnetyczne oraz sejsmiczne.

Zakres od 2 do 14 mikrometrów to pasmo podczerwieni (InfraRed – IR), najczęściej wykorzystywane w pociskach inteligentnych. Urządzenia podczerwieni stosowane są w układach rozpoznawania celów ze względu na pasywny charakter detekcji oraz możliwość stosowania w nocy i w warunkach ograniczonej widoczności (np. mgła, dym). Wykorzystanie promieniowania cieplnego do rozpoznania celu jest szczególnie efektywne ze względu na fakt, że każdy obiekt o temperaturze wyższej od temperatury bezwzględnego zera wydziela pewną ilość energii cieplnej, której nie można całkowicie zamaskować.

Najnowsze osiągnięcia w tej dziedzinie to dwuwymiarowe matryce detektorów zintegrowanych z elektronicznymi układami odczytu w płaszczyźnie obrazowej układu optycznego czujnika (Focal Plane Array – *FPA*). Zaletą tej technologii jest duża rozdzielczość i właściwe pole obrazu oraz małe wymiary. Wadą czujników podczerwieni jest częściowa zależność od warunków atmosferycznych.

---

[67] Np. kamera termowizyjna rejestrowała temperaturę rozgrzanego silnika śmigłowca około + 62^0 C, natomiast błękit nieba -12^0 C. Jednocześnie ostudzony śmigłowiec na ziemi rejestrowany był w temperaturze + 8^0 C na tle trawy + 6^0 C (źródło: rezultaty badań uzyskanych w trakcie realizacji projektu celowego KBN nr 4867).

[68] H. Madura, Broń inteligentna - krajowe możliwości realizacji, (wykład wygłoszony w Wojskowej Akademii Technicznej), Warszawa 2000.

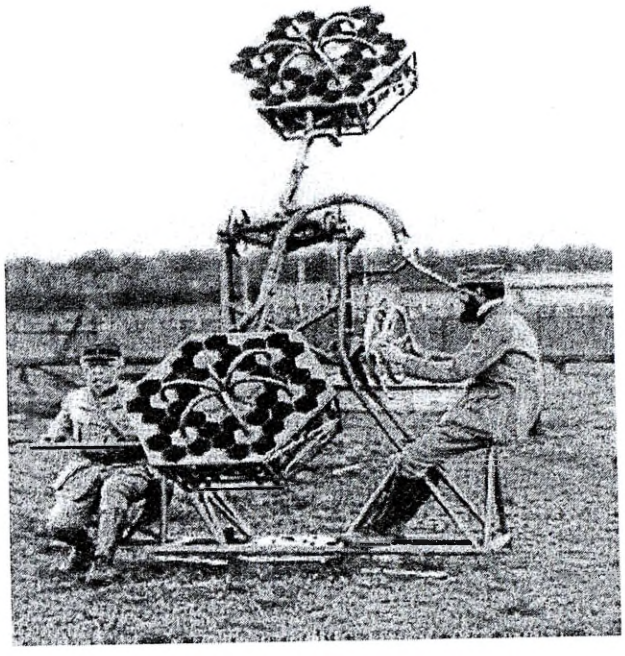
Kolejny rozważany zakres widmowy to mikrofale (MMW), czyli pasmo częstotliwości od 31 do 240 GHz. Urządzenia w technologii MMW działają głównie w trybie aktywnym (tryb pasywny może być zastosowany tylko dla małych odległości) i mogą być użyte przeciwko różnorodnym celom zarówno lądowym, jak i powietrznym. Do zalet MMW należą: niezależność od warunków atmosferycznych, przenikanie przez elementy zasłaniające widoczność oraz wysoka rozdzielczość. Wadą tego zakresu jest aktywny sposób pracy, a także ograniczona w niektórych zastosowaniach rozdzielczość, zakres i moc.

Inną grupę źródeł pozyskiwania informacji tworzą urządzenia (czujniki) akustyczne.

2.3. Źródła informacji o sytuacji powietrznej detekujące dźwięk

Do rozpoznawania dźwięku (ludzkiej mowy, częstotliwości pracujących maszyn itp.) wykorzystywany jest jeden z ważniejszych zmysłów – słuch. Współczesna myśl techniczna sprawiła, że wiele funkcji percepcyjnych człowieka, takich jak na przykład odbiór i analiza sygnałów dźwiękowych, mogą wypełniać skonstruowane do tego celu, wyspecjalizowane urządzenia. Rozpoznawanie obiektów przez człowieka jest jedną z wielu jego naturalnych zdolności. Metody wykrywania i identyfikacji obiektów, na podstawie różnych cech tych obiektów, znajdują zastosowanie w bardzo wielu dziedzinach, takich jak: systemy alarmowe, automatyczne systemy identyfikacji osób, systemy rozpoznawania obrazów, militarne systemy rozpoznania pola walki, amunicja inteligentna, itp. [122].

Historia prac dotyczących systemów akustycznego wykrywania obiektów sięga początku XX wieku. Jednym z przykładów jest użyty w latach 1915–1916 detektor akustyczny samolotów (rys. 2.3.1).



Źródło: J. Perrin, I wojna światowa. Podano za [122].

Rys. 2.3.1. Detektor sygnałów akustycznych do wykrywania samolotów

Początkowo zarówno skuteczność, jak i zasięg tych urządzeń nie były zbyt duże. Prowadzone wówczas badania skoncentrowano głównie na stworzeniu systemów wykrywania obiektów podwodnych wykorzystywanych w zwalczaniu łodzi podwodnych [85].

Pierwotnie analiza sygnału akustycznego w urządzeniach tego typu ograniczała się jedynie do pozyskiwania informacji na temat obiektu, a dokładnie jego stanu technicznego, co było przydatne w procesach diagnostycznych. Sygnały wibroakustyczne wykorzystywano także w celach identyfikacji źródeł wibracji w maszynach, umożliwiając tym samym prognozowanie uszkodzeń lub lokalizację niesprawnych elementów.

Obecnie urządzenia te posiadają większe możliwości w zakresie pomiaru i analizy sygnału akustycznego. W ostatnich latach wraz z identyfikacją obiektów technicznych, w szczególności militarnych (samolot, czołg), dynamicznie rozwinęła się inna dziedzina analizy sygnału akustycznego dotycząca rozpoznawania mowy i identyfikacji osób [12, 135, 138].

Systemy analizy sygnałów akustycznych są wykorzystywane między innymi do:

- wykrywania i identyfikacji zagrożeń akustycznych występujących w środowisku [122] oraz przewidywania dynamiki ich rozwoju;

– wykrywania ludzi, obiektów technicznych, zdarzeń akustycznych (w systemach ochrony) [56];

– określania natężenia ruchu komunikacyjnego [89];

– redukowania hałasu w halach przemysłowych, kabinach urządzeń o dużym natężeniu hałasu (np. koparka).

W ostatnim okresie zintensyfikowano badania (głównie w Niemczech, USA i Szwecji) w dziedzinie amunicji inteligentnej (smart amunition) i technicznych systemów rozpoznania pola walki. W pracach w tej dziedzinie[69] główny wysiłek skoncentrowano opracowaniu i produkcji pocisków samokierowanych – między innymi dla potrzeb obrony powietrznej.

Zarówno w rozpoznaniu, jak i w amunicji inteligentnej wykorzystywane są systemy wieloczujnikowe [62], w których znaczącą rolę spełniają czujniki akustyczne wraz z układami analizy sygnału akustycznego wytwarzanego przez obiekty techniczne [16, 32, 73, 74].

Zaletą tych czujników jest pasywny charakter ich pracy, dzięki czemu są trudne do wykrycia, a zarazem nie zakłócają innych czujników[70].

Wykrycie oraz identyfikacja obiektu na podstawie analizy sygnału akustycznego determinowana jest wieloma czynnikami oraz zjawiskami o charakterze losowym. Za najważniejsze można uznać: temperaturę, ciśnienie i wilgotność powietrza, kierunek i prędkość wiatru, wszelkie zjawiska refrakcji akustycznej, rodzaj podłoża, częstotliwości generowane przez obiekt powietrzny, jego wysokość i odległość od czujnika. Ponieważ większość zjawisk towarzyszących propagacji sygnału akustycznego w atmosferze i parametrów identyfikowanego obiektu zmienia się (czasami znacznie) w czasie, sygnał akustyczny rozchodzący się w przestrzeni otwartej ma charakter niestacjonarny (tzw. niestacjonarność długookresowa) [2, 67].

Integralny element czujnika akustycznego stanowi mikrofon niskoczęstotliwościowy, który na podstawie zmian ciśnienia akustycznego przekształca sygnał akustyczny na sygnał elektryczny[71].

---

[69] Początki sięgają początku lat 80-tych ubiegłego wieku [122].

[70] Równie istotny jest właściwy dobór widmowego zakresu analizy sygnału akustycznego, dzięki ogranicza się zakłócenia związane ze środowiskiem. Należy pamiętać, że źródłem sygnału akustycznego jest zarówno identyfikowany obiekt, jak i elementy otaczającego go środowiska.

[71] Wynik klasyfikacji i identyfikacji obiektu zależy od charakterystyk częstotliwościowych i szumowych układów elektronicznych.

Z kolei zasada działania czujnika akustycznego przeznaczonego do klasyfikacji i identyfikacji obiektów militarnych (czołgi, obiekty powietrzne itp.) sprowadza się do odebrania sygnału akustycznego w ustalonym zakresie widmowym, a następnie jego odpowiednim przetworzeniu. Odebrany przez mikrofon sygnał podlega wzmocnieniu (pasmo wzmacniaczy dobierane jest ze względu na oczekiwany rozkład widmowy identyfikowanego obiektu), a następnie przesyłany jest do układu analizy. Wykrycie dźwięku o określonej częstotliwości zapewnia układ komparatorów z ustalonymi na stałe progami detekcji[72]. W bardziej zawansowanych rozwiązaniach wykorzystany jest do tego celu odpowiednio oprogramowany system mikroprocesorowy, który nie tylko umożliwia określenie klasy obiektu (np. śmigłowiec, samolot), ale także jego identyfikację typu (np. Mi–8, Su–22). Jeśli w procesie wykrywania i identyfikowania wykorzystuje się więcej niż jeden mikrofon, wskazane jest wówczas użycie układów określających kierunek położenia oraz odległość od obiektu powietrznego.

Z analizą zjawisk akustycznych nierozerwalnie związane jest pojęcie propagacji fali akustycznej, której cechą charakterystyczną jest propagacja energii bez transportu masy ośrodka. Oznacza to, że cząsteczki ośrodka wykonują jedynie ruchy drgające, przemienne względem swego położenia. Drgania powietrza rozprzestrzeniają się w ten sposób, że jedna cząsteczka środowiska pobudza do drgań cząstkę sąsiednią. Układ wytwarzający lokalne zaburzenie stanu równowagi ośrodka jest nazywany *źródłem akustycznym*. W zależności od sposobu pobudzania, możemy rozróżnić falę: *płaską* (duża płaska powierzchnia), *cylindryczną* (powierzchnia cylindryczna) i *kulistą* (bardzo małe rozmiary źródła – punkt lub pulsująca kula). W dużej odległości od źródła dźwięku fala cylindryczna i kulista przechodzą w falę płaską [124].

Zgodnie z uzyskanymi z literatury przedmiotu zależnościami, propagację sygnału akustycznego można opisać za pomocą takich parametrów, jak prędkość akustyczna i ciśnienie akustyczne. *Prędkość akustyczna* jest to prędkość, z jaką drga cząstka środowiska w polu fali dźwiękowej [127]. *Ciśnieniem akustycznym* nazywamy ciśnienie wywołane drganiami akustycznymi, będące różnicą między ciśnieniem istniejącym w środowisku w danej chwili a ciśnieniem statycznym (atmosferycznym).

Wykrycie i identyfikacja obiektów powietrznych związana jest nierozerwalnie z propagacją sygnału akustycznego w przestrzeni otwartej na znacznej odległości. Dla takich warunków istotne są takie parametry, jak: prędkość i kierunek wiatru, temperatura oraz

[72] W prostych czujnikach.

wilgotność powietrza. Równie ważne w tym względzie wydają się być: pochłanianie sygnału akustycznego przez powietrze oraz zjawiska refrakcji i oddziaływanie powierzchni gruntu [67, 115]. Wyżej wymienione zjawiska mogą spowodować powstawanie cienia akustycznego (strefy gorszej słyszalności lub w ogóle brak słyszalności) i obszarów anormalnej słyszalności (obszarów, nieraz bardzo odległych od źródła fali akustycznej, oddzielonych strefą cienia akustycznego) [67, 115].Dotychczasowe rezultaty z badań pozwalają sądzić, że w atmosferze występują niestabilności powodujące, że parametry wpływające na propagację fali akustycznej mają wartości losowe, o bardzo skomplikowanych i słabo poznanych rozkładach statystycznych [67]. Wartość tłumienia sygnału akustycznego przez atmosferę zależy od: częstotliwości propagowanego sygnału, temperatury i ciśnienia powietrza, pory roku, położenia geograficznego [2, 72][73].

Ze względu na to, że obiekty militarne przemieszczają się często ze znacznymi prędkościami, na charakterystykę częstotliwościową odbieranego sygnału akustycznego ma znaczący wpływ zjawisko Dopplera. Sam proces analizy sygnałów akustycznych jest znacznie utrudniony, ponieważ wiele rozpatrywanych sygnałów ma charakter niestacjonarny.

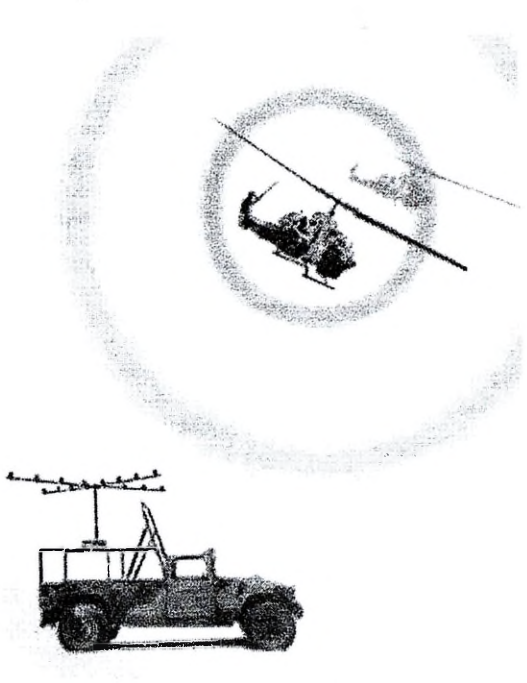
Aby dokonać jednoznacznego wykrycia identyfikacji obiektu powietrznego na podstawie rejestracji i analizy dźwięku, konieczne jest uwzględnienie różnych warunków terenowych i atmosferycznych, a także różnego tła akustycznego. W celu zwiększenia odporności systemu na zakłócenia akustyczne pola walki należy dokonać wielokanałowej rejestracji sygnału akustycznego obiektów powietrznych poruszających się w różnych kierunkach i w różnej odległości w stosunku do położenia czujników pomiarowych, a także dla różnych prędkości i wysokości.

Skuteczne wykrycie oraz identyfikację obiektów powietrznych można osiągnąć, jeżeli uwzględni się różnorodne przedsięwzięcia związane z oceną czynników zakłócających (temperatura powietrza, deszcz, wiatr), a także dokona się optymalnego doboru głównych elementów czujnika akustycznego (liczba mikrofonów, filtr pasmowy, układy przedwzmacniacza). Charakter propagacji sygnału w atmosferze, jej zależność od kierunku i prędkości wiatru, temperatury, wilgotności, parametrów ruchu źródła dźwięku itp., powoduje, że problem lokalizacji źródła dźwięku jest zagadnieniem bardzo złożonym [67, 72].

---

[73] Sygnały o wyższych częstotliwościach są bardzo silnie tłumione przez atmosferę. Z tego względu w analizie sygnału akustycznego generowanego przez obiekty powietrzne, znajdujące się w znacznych odległościach od obserwatora, mają znaczenie jedynie niskoczęstotliwościowe składowe sygnału akustycznego.

Analiza aktualnego stanu wiedzy [2, 115] oraz badań [32, 74, 75, 123] wskazuje, że obiekty militarne, takie jak samolot czy śmigłowiec, generują sygnał akustyczny zawierający składowe o charakterystycznych częstotliwościach.



Źródło: Pomiary termowizyjne w praktyce, Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa, 2004.

Rys. 2.3.2. System wykrywania śmigłowców w oparciu o analizę cech akustycznych *Helispot* firmy Rafael

Jednym z pasywnych systemów umożliwiających wykrycie śmigłowców na podstawie sygnałów akustycznych jest *Helispot*[74] (rys. 2.3.2). W pełni zautomatyzowany, nie wymagający obsługi system *Helispot* przeznaczony jest do ostrzegania przed potencjalnym zagrożeniem w strefie taktycznej. Jego zasadniczą konstrukcję tworzy zestaw czujników akustycznych zainstalowanych na samochodzie. Tego typu systemy zapewniają wykrycie śmigłowców z odległości 18–21 km, a ponadto prognozują trajektorię lotu śmigłowców (rejon działania).

Urządzenia umożliwiające analizę sygnału akustycznego znajdują także zastosowanie w rozpoznaniu pola walki. Przykładem tego jest automatyczny zestaw dźwiękowo-

[74] http://www.rafael.com.il.

pomiarowy AZK-5, przeznaczony jest do rozpoznania i określenia współrzędnych stanowisk ogniowych artylerii przeciwnika oraz kontroli celności i korekty ognia własnej artylerii. System składa się z trzech punktów pomiarowych i centrali. Głównymi elementami punktu pomiarowego są: aparatura odbioru sygnału akustycznego zawierająca zestaw trzech mikrofonów pojemnościowych, system łączności oraz aparatura obróbki pierwotnej sygnału z blokiem rozpoznania i przyrządem rejestrującym. Wyposażenie punktu pomiarowego uzupełnia aparatura autonomicznego dowiązania topogeodezyjnego, umożliwiająca ustawienie samochodu w punkcie o zadanych współrzędnych i wyznaczenie punktów ustawienia odbiorników dźwięku. W skład centrali wchodzi aparatura wtórnej obróbki informacji, aparatura łączności oraz aparatura meteorologiczna.

Dowiązane topogeodezyjnie punkty pomiarowe rozstawia się w odległości od 3 do 5 km jeden od drugiego. Odbiorniki (mikrofony z blokiem przekazywania) umieszcza się w odległości do 500 m od punktu pomiarowego. Informacja ze wszystkich punktów pomiarowych przekazywana jest drogą radiową do centrali, gdzie zostaje poddana obróbce wtórnej, w której uwzględnia się także dowiązanie topogeodezyjne oraz dane meteorologiczne. W wyniku wtórnej obróbki informacji otrzymuje się dane o współrzędnych celu, które przekazuje się do sztabu i stanowisk ogniowych. Powyższa metoda pozwala również na wykrycie i identyfikację celów powietrznych takich jak śmigłowce.

2.4. Weryfikacja możliwości zastosowania wybranych urządzeń akustycznych i optycznych w procesie wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych

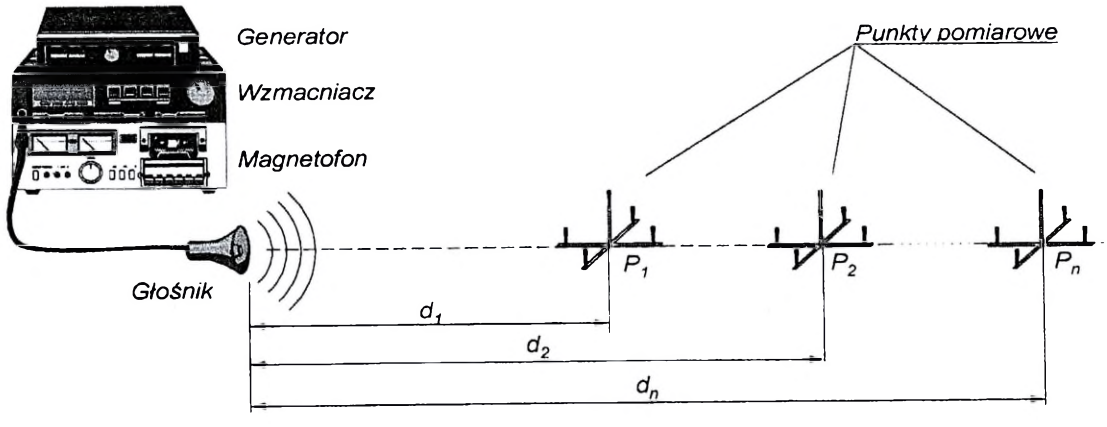
Autor rozprawy, uczestnicząc w pracach badawczo-rozwojowych[75] realizowanych przez Instytut Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej, dokonał częściowej weryfikacji hipotezy roboczej, dotyczącej zastosowania nowych źródeł do wykrywania i identyfikacji obiektów powietrznych. Pierwsze badania dotyczyły przydatności czujnika akustycznego pod kątem wykrycia oraz identyfikacji obiektów.

Badania czujnika akustycznego

Do testowania czujnika akustycznego (w warunkach poligonowych) wykorzystano sygnały akustyczne generowane przez: dwa typy śmigłowców, dwa typy czołgów, transporter gąsienicowy, transporter kołowy i samochód ciężarowy[76]. Dodatkowo, w jego trakcie stosowano różnorodne z sygnały zakłócające. Jednakże w pierwszej kolejności testowano czujnik akustyczny za pomocą wzorcowych sygnałów akustycznych.

Testowanie czujnika za pomocą sygnału wzorcowego

W celu przeprowadzenia testowania czujnika akustycznego wykorzystano następujący zestaw badawczy: wzmacniacz LX800, magnetofon M9108, generator 432 oraz kolumnę głośnikową. Testowanie zostało przeprowadzone dla różnych odległości czujnika akustycznego od wzorcowego źródła dźwięku. Schemat sytuacji pomiarowej został przedstawiony na rys. 2.4.1.



Rys. 2.4.1. Schemat sytuacji pomiarowej do statycznego pomiaru parametrów czujnika akustycznego

[75] W ramach realizacji projektu celowego nr 4867.

[76] Autora, z racji podjętej w rozprawie problematyki, interesowały głównie obiekty powietrzne.

Pierwsza grupa generowanych sygnałów wzorcowych wytwarzana była za pomocą generatora G-432 firmy MERA TRONIK. Częstotliwość generowanych sygnałów była zmienia w zakresie od 5 Hz do 20 kHz. W czasie tego eksperymentu testowano wrażliwość czujnika akustycznego na sygnały o częstotliwościach charakterystycznych dla różnych obiektów militarnych.

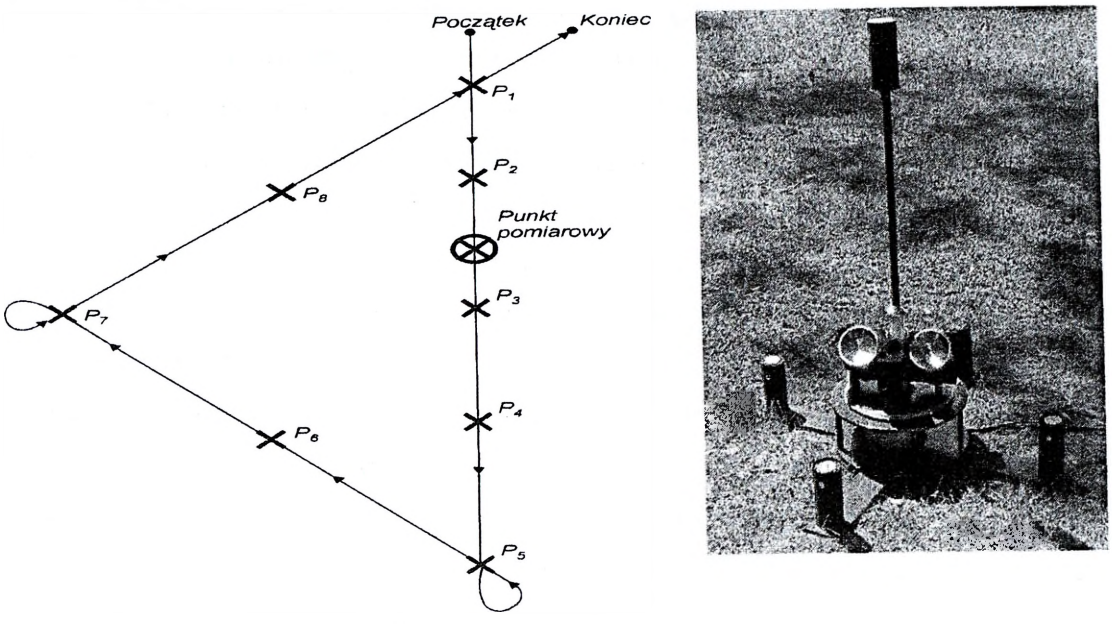
Kolejna grupa sygnałów wzorcowych (zarejestrowana na taśmach magnetofonowych) pochodziła od rzeczywistych obiektów powietrznych (śmigłowców). Odtwarzane sygnały stanowiły wyselekcjonowane próbki sygnałów zarejestrowanych podczas badań poligonowych różnych obiektów militarnych takich, jak śmigłowce, czołgi, samochody itp. W początkowej fazie tej części eksperymentu skoncentrowano się na przetestowaniu czujnika ze względu na skuteczność rozpoznawania obiektów militarnych. Następnie powtarzano pomiary parametrów czujnika dla różnych odległości od źródła dźwięku (kolumny głośnikowej). W tej fazie eksperymentu testowano teoretyczny zasięg wykrywania czujnika akustycznego.

Na zakończenie eksperymentu zastosowano różnego rodzaju sygnały zakłócające, takie jak: wybuch petardy, wystrzał, hałas wywołany chodzeniem, bieganiem, rozmową itp. Celem tej części badań było określenie wrażliwości czujnika na: dźwięki typowe dla pola walki (np. wybuch, wystrzał), charakterystyczne dźwięki wydawane przez człowieka (np. rozmowa, chodzenie), a także sygnały akustyczne związane z warunkami atmosferycznymi (np. wiatr). Zastosowanie w eksperymencie różnych sygnałów wzorcowych pozwoliło wyznaczyć wartości podstawowych parametrów dla znanych, ściśle zdefiniowanych sygnałów, dzięki czemu możliwe było określenie reakcji czujnika akustycznego w zależności od rodzaju odbieranego sygnału.

Testowanie czujnika za pomocą sygnału generowanego przez śmigłowce

Eksperyment przeprowadzono na lotnisku w Białej Podlasce. Do wyznaczenia rzeczywistych wartości parametrów czujnika akustycznego, takich jak prawdopodobieństwo wykrycia śmigłowca czy zasięg wykrywania, wykorzystano śmigłowce Mi–8 oraz Sokół, które miały ustaloną trasę, pułap oraz prędkość. Schemat trasy przelotu śmigłowców wraz z naniesionymi punktami orientacyjnymi został przedstawiono na rys. 2.4.2.

W czasie prowadzenia badań zarejestrowano sygnały dwóch typów śmigłowców przelatujących na wysokościach 50 i 100 m przy prędkościach 100 i 200 km/h.

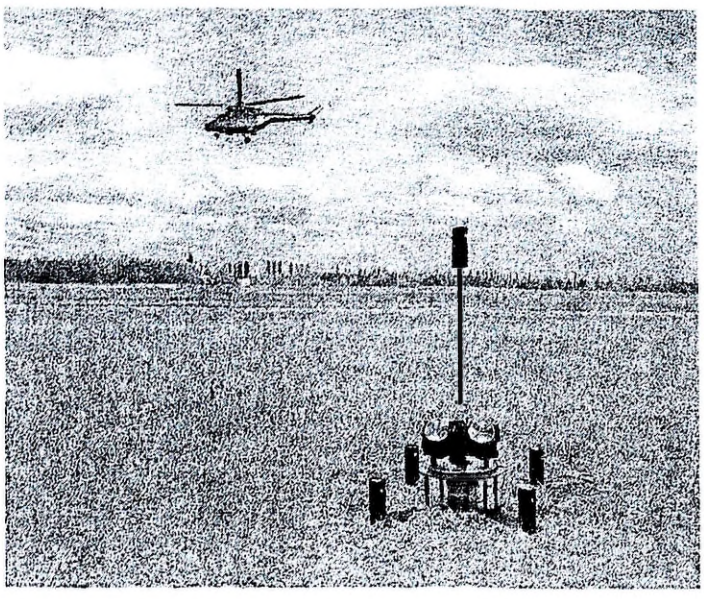


Rys. 2.4.2. Plan lotów śmigłowców z naniesionymi punktami orientacyjnymi oraz widok czujnika akustycznego zintegrowanego z pozostałymi zespołami miny

Eksperyment uzupełniono testowaniem czujnika za pomocą sygnału akustycznego generowanego przez śmigłowce będące „w zawisie" (dla różnych wysokości). Dokonano również zakłócenia odbieranego sygnału akustycznego wykorzystując do tego celu agregat zasilający. W czasie każdego lotu testowego pilot podawał przez radio punkty orientacyjne (terenowe), nad którymi się znajdował (rys. 2.4.2).

W czasie testowania czujnika za pomocą rzeczywistego sygnału akustycznego generowanego przez śmigłowiec były badane i rejestrowane parametry umożliwiające wyznaczenie prawdopodobieństwa i zasięgu wykrywania śmigłowca oraz ocenę prawidłowości określania parametrów jego lotu.

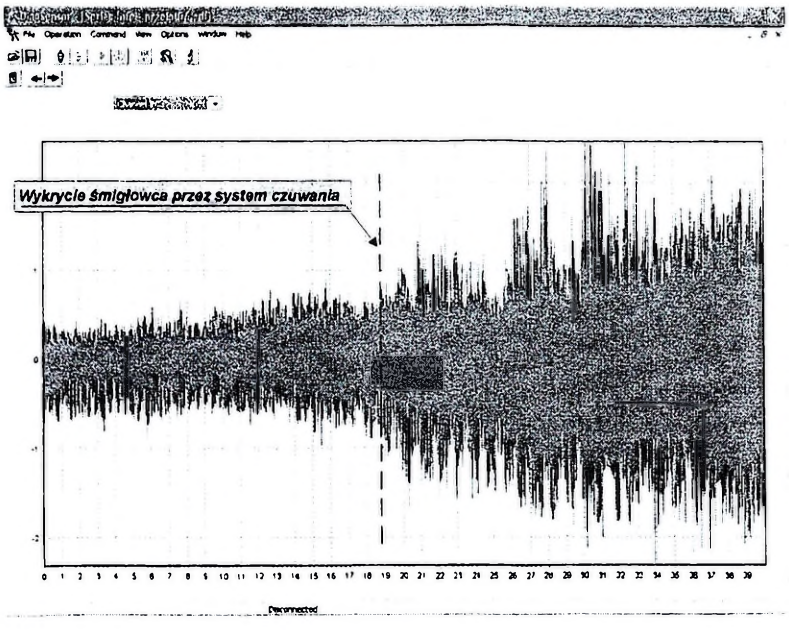
Na rysunku 2.4.3 przedstawiono widok scenerii pomiarowej. Na pierwszym planie widoczna jest mina wyposażona w czujnik akustyczny (złożony z pięciu mikrofonów) oraz czujniki optyczne, w głębi widoczny jest przelatujący śmigłowiec Sokół.



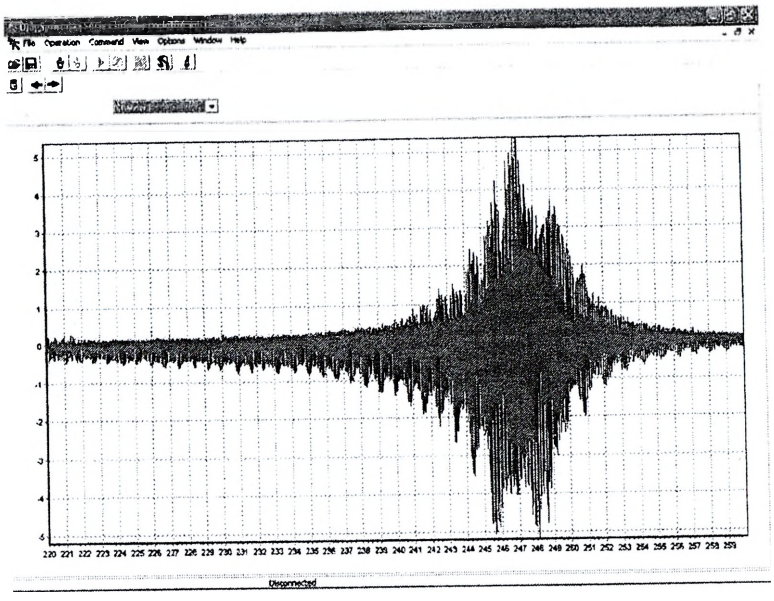
Rys. 2.4.3. Rozwinięte stanowisko do badania czujnika akustycznego

Wyniki badań poligonowych czujnika akustycznego

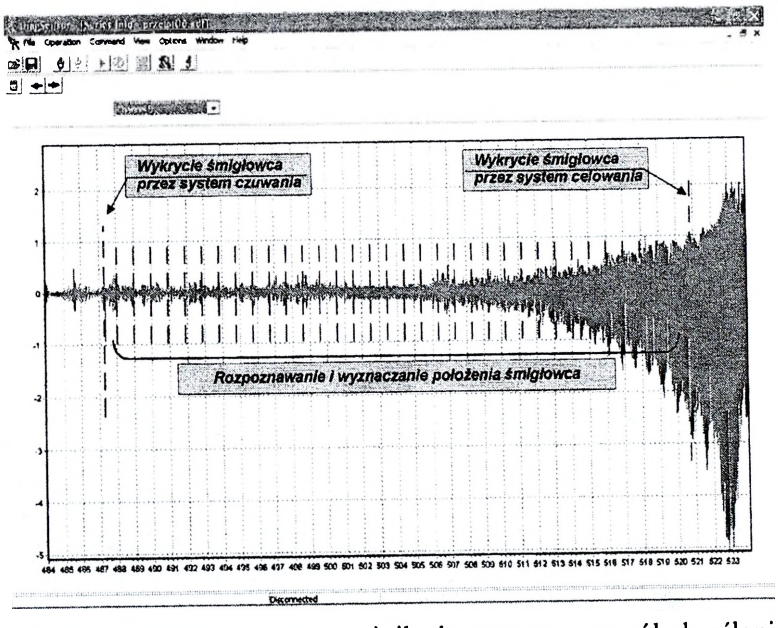
Przykładowe wyniki badań zarejestrowane przez czujnik akustyczny przedstawiono na rys. 2.4.4 – 2.4.6.



Rys. 2.4.4. Sygnał zarejestrowany przez czujnik akustyczny – śmigłowiec w odległości od 900 m do 800 m od miny, prędkość lotu 150 km/h)

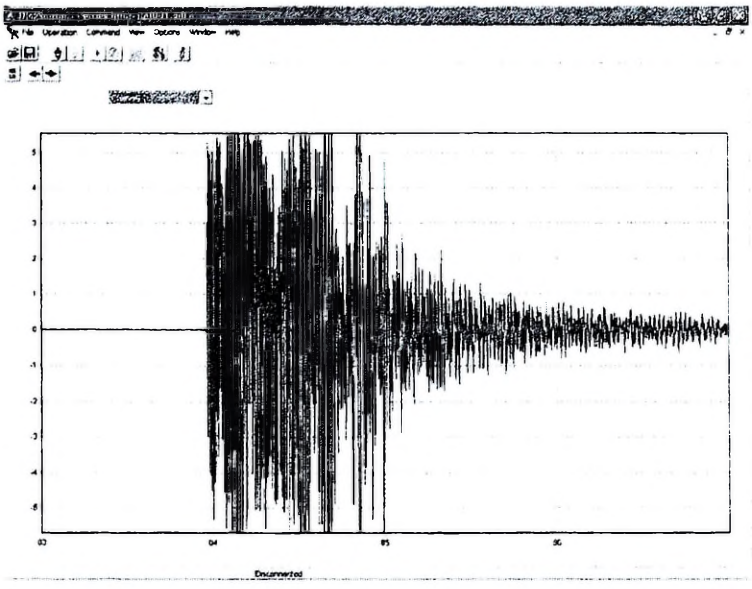


Rys. 2.4.5. Sygnał zarejestrowany przez czujnik akustyczny – prędkość śmigłowca 130 km/h, przelot nad miną

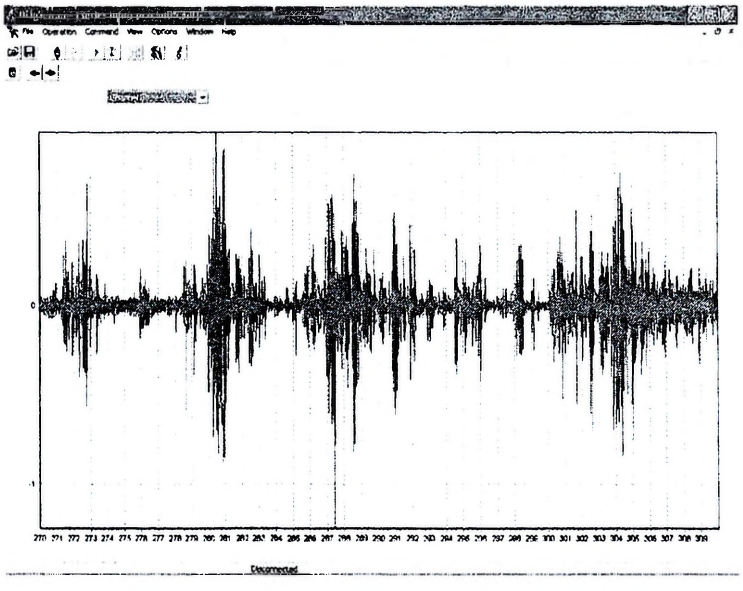


Rys. 2.4.6. Sygnał zarejestrowany przez czujnik akustyczny – zespół określania parametrów lotu - śmigłowiec w odległości od 500 m do 100 m od miny, prędkość lotu 120 km/h

Jednocześnie wykonano rejestracje akustycznych sygnałów zakłócających w celu określenia prawdopodobieństwa fałszywego alarmu. Jako sygnały zakłócające wykorzystano wybuchające petardy oraz przejeżdżające pojazdy mechaniczne. Wyniki rejestracji przedstawiono na rys. 2.4.7 i rys. 2.4.8.



Rys. 2.4.7. Sygnał zarejestrowany przez czujnik akustyczny – wybuch petardy w odległości 20 m od miny



Rys. 2.4.8. Sygnał zarejestrowany przez czujnik akustyczny – sygnał od przejeżdżającego samochodu ciężarowego z prędkością 50km/h, w odległości 60 m od miny

Na podstawie zarejestrowanych sygnałów wyznaczono parametry czujnika akustycznego, a następnie określono prawdopodobieństwo wykrycia obiektu i fałszywego alarmu. Otrzymane rezultaty parametrów, które zarejestrowano przez zintegrowany układ celowniczo-decyzyjny (przedstawiono w tabelach 2.4.1 – 2.4.4) świadczą o poprawności działania czujnika w aspekcie pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej[77].

[77] W zakresie wykrywania i identyfikowania (klasyfikowania) obiektów powietrznych.

Tabela 2.4.1

Prawdopodobieństwo wykrycia celu w zależności od unormowanego poziomu wykrywania

Parametr	Unormowany poziom wykrywania				
	0,50	0,75	0,80	0,85	0,90
Prawdopodobieństwo wykrycia celu	0,51	0,76	0,81	0, 78	0,62
Prawdopodobieństwo błędnego wykrycia	0,04	0,09	0,12	0,28	0,35

Tabela 2.4.2

Prawdopodobieństwo wykrycia celu w zależności od prędkości przelotu

Parametr	Prędkość przelotu [km/h]				
	80	100	120	150	180
Prawdopodobieństwo wykrycia celu	0,812	0,804	0,810	0,798	0,821
Prawdopodobieństwo błędnego wykrycia	0,114	0,102	0,098	0,088	0,121

Tabela 2.4.3

Prawdopodobieństwo rozpoznania celu w zależności od prędkości przelotu

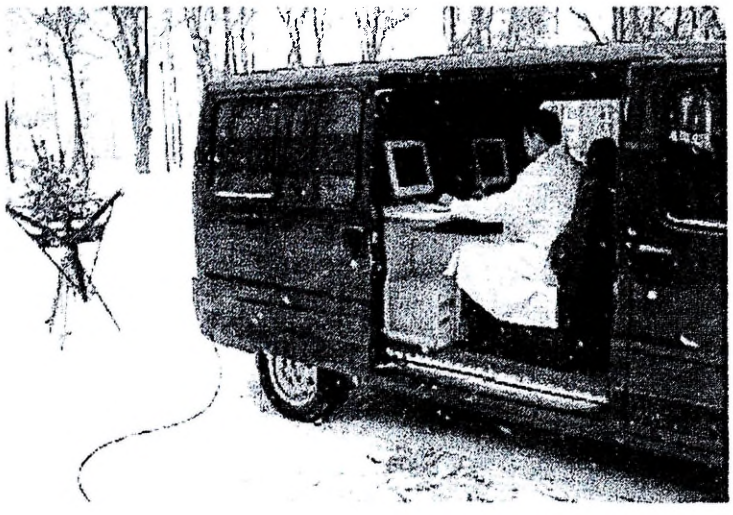
Parametr	Prędkość przelotu [km/h]				
	80	100	120	150	180
Prawdopodobieństwo rozpoznania	0,915	0,907	0,901	0,899	0,902
Prawdopodobieństwo błędnego rozpoznania	0,041	0,022	0,048	0,028	0,012

Tabela 2.4.4

Prawdopodobieństwo poprawnego określenia trasy przelotu
w zależności od prędkości przelotu

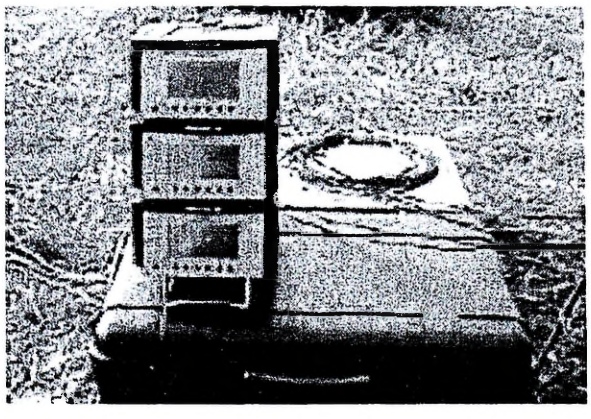
Parametr	Prędkość przelotu [km/h]				
	80	100	120	150	180
Prawdopodobieństwo poprawnego określenia trasy przelotu	0,921	0,903	0,891	0,881	0,874
Prawdopodobieństwo błędnego określenia trasy przelotu	0,021	0,032	0,047	0,088	0,092

W innym eksperymencie skonfigurowano zestaw aparatury do pomiarów akustycznych. Rejestrację przeprowadzano w kilku torach akustycznych, w których sygnały zapisywano cyfrowo i analogowo. Aparaturę pomiarową i rejestrującą zainstalowano w samochodzie (rys. 2.4.9).



Rys. 2.4.9. Stanowisko do badań akustycznych

Kluczowe dla prawidłowej rejestracji sygnału elementami systemu pomiarowego były mikrofony. W celu zapewnienia odpowiednich parametrów rejestrowanego sygnału, takich jak pasmo przenoszenia i minimalna wartość czułości, w eksperymentach wykorzystano dwa rodzaje mikrofonów pomiarowych firmy Brüel & Kjaer.

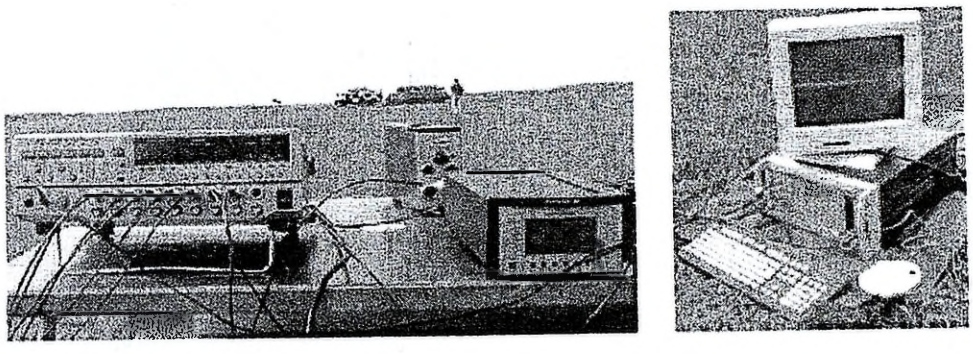


Rys. 2.4.10. Dwukanałowe wzmacniacze pomiarowe typu 2691A-OS2

W badaniach poligonowych wykorzystano zestaw pomiarowy zbudowany z sześciu mikrofonów typu 4197 firmy Brüel & Kjaer umieszczonych prostopadle względem siebie (w układzie kartezjańskim).

Z kolei do zapisu analogowego użyto magnetofonu pomiarowego Brüel & Kjaer typu 7006, którego zapis analogowy wynosił 381 mm/s[78].

Cyfrową rejestrację sygnału akustycznego zapewnił 8-kanałowy rejestrator cyfrowy TEAC RD 135T firmy Teac Corporation. Do rejestracji zastosowano także cyfrowy system LMS Roadrunner, który został zbudowany na bazie komputera klasy PC. Oba zestawy urządzeń rejestrujących sygnały akustyczne przedstawiono na rys. 2.4.11.

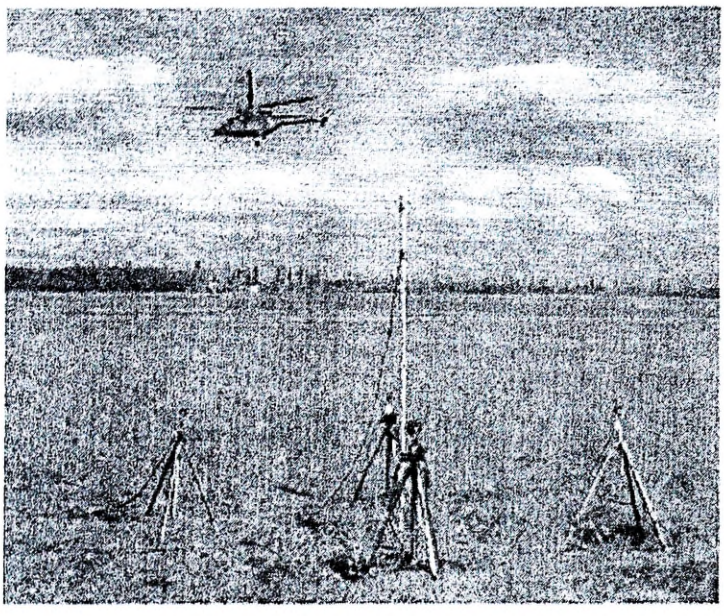


Rys. 2.4.11. Wielokanałowe rejestratory sygnału. Po lewej – ośmiokanałowy rejestrator TEAC RD 135T firmy Teac Corporation, po prawej – cyfrowy system LMS Roadrunner

Przeprowadzono dwa eksperymenty różniące się sposobem rozmieszczenia mikrofonów pomiarowych. Zarejestrowano sygnały dwóch typów śmigłowców przelatujących (zgodnie z ustalonymi trasami lotu) nad stanowiskiem pomiarowym. Śmigłowce nadlatywały z czterech kierunków, na trzech pułapach i z trzema prędkościami. W pełnym cyklu badań przyjęto kombinację wymienionych parametrów i typów maszyn. Eksperymenty uzupełniono o rejestracją sygnału maszyn „w zawisie" (dla kilku wysokości) oraz kilku wybranych wariantów nalotu zakłóconych innymi źródłami hałasu (traktor, agregat zasilający).

[78] Przy takiej prędkości przesuwu jest zapewnione prawie liniowe odwzorowanie amplitudy składowych harmonicznych do 16 kHz [122].

Na pierwszym planie scenerii badawczej (rys. 2.4.12) widoczny jest zestaw pomiarowy złożony z czterech mikrofonów.



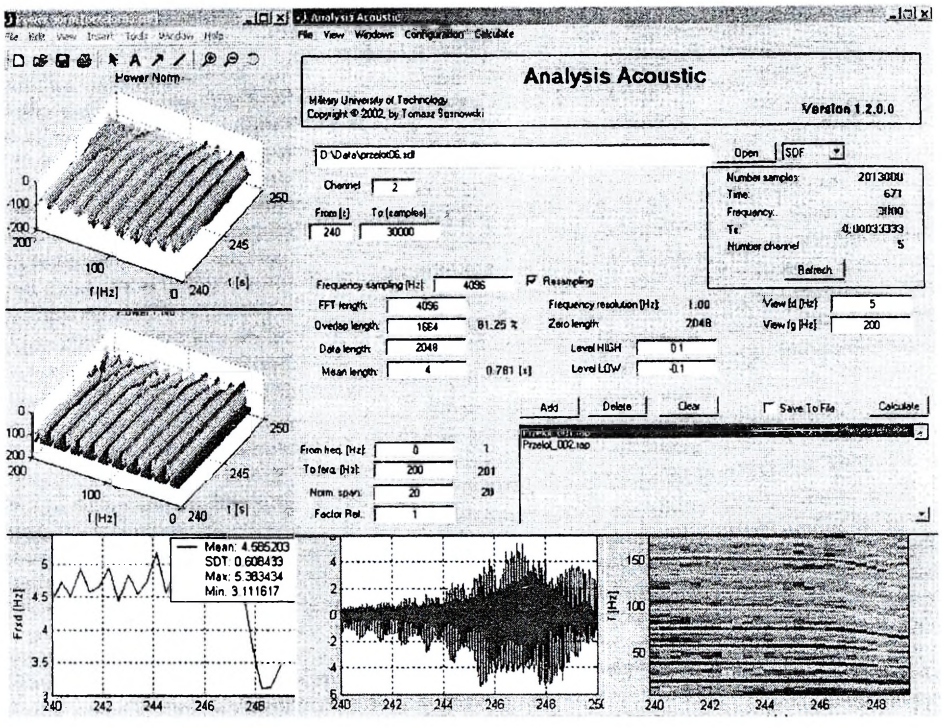
Rys. 2.4.12. Widok zestawu mikrofonów pomiarowych do rejestracji sygnału akustycznego śmigłowców

Przelot śmigłowców po zaplanowanej trasie zarejestrowano niezależnie: dla dwóch różnych prędkości i dwóch wysokości lotu oraz dla dwóch typów śmigłowców. Ponadto zarejestrowano także sygnał akustyczny generowany w trakcie przelotu obu śmigłowców jednocześnie. Uzyskane rezultaty uzupełniono informacjami dotyczącymi warunków atmosferycznych (ciśnienie atmosferyczne, temperatura, kierunek i prędkość wiatru), w jakich eksperyment był przeprowadzony.

Analiza zgromadzonego materiału badawczego została przeprowadzona przy pomocy programu umożliwiającego wyselekcjonowanie podstawowych informacji o kolejnych sekwencjach pomiarowych oraz wstępną analizę zarejestrowanych sygnałów akustycznych. Dzięki niemu możliwe było wyznaczenie parametrów sygnału akustycznego w dziedzinie czasu i częstotliwości. Na podstawie otrzymanych danych program ten wyznaczył parametry sygnału akustycznego.

Charakterystyki gęstości prawdopodobieństwa parametrów czujnika akustycznego zostały wyznaczone przy pomocy oprogramowania Analysis Acoustic (rys. 2.4.13)

pracującego w środowisku MatLab. Oprogramowanie to umożliwiło wykonanie obliczeń niezbędnych do weryfikacji skuteczności działania testowanego czujnika akustycznego.



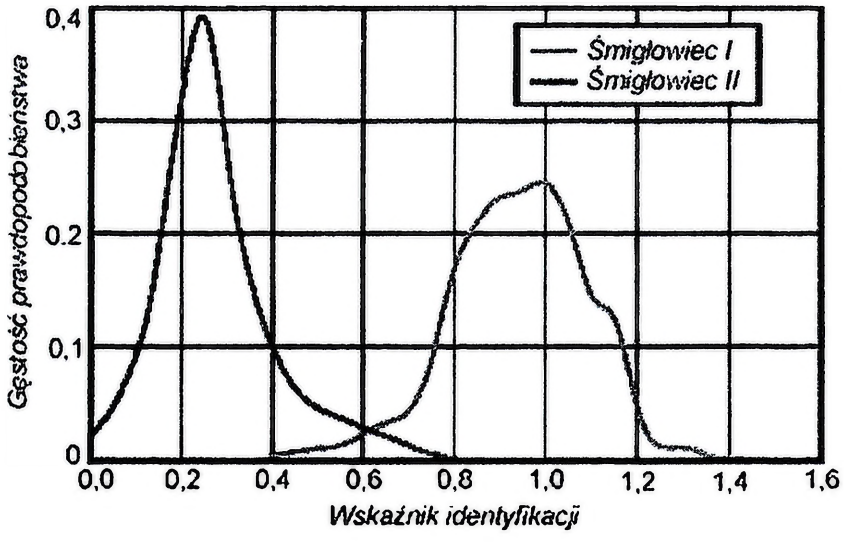
Rys. 2.4.13. Przykładowe zobrazowanie oprogramowania Analysis Acoustic

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić że jest możliwe określenie takiego przedziału wartości wskaźnika, dla którego wystąpi duże prawdopodobieństwo prawidłowej klasyfikacji obiektów powietrznych. Na podstawie otrzymanych wyników analizy można wnioskować, że wartości wskaźnika klasyfikacji mogą być podzielone na przedziały, w których możliwe jest uzyskanie wymaganej skuteczności klasyfikacji. Określono, że jeśli wartość wskaźnika zawiera się w przedziale od 90 do 300, to obiekt należy sklasyfikować do klasy śmigłowców. Gdy wartość wskaźnika znajduje się w przedziale od 400 do 3000, to obiekt należy do klasy pojazdy. Przy tak dobranych przedziałach zostały wyznaczone prawdopodobieństwa, a ich wartości zostały przedstawione w tabeli 2.4.5.

W przypadku zaklasyfikowania obiektu do klasy śmigłowców konieczne jest zidentyfikowanie typu śmigłowca.

Tabela 2.4.5

Klasa obiektu	Wartość parametru klasyfikacji	Prawdopodobieństwo poprawnej klasyfikacji	Prawdopodobieństwo fałszywej klasyfikacji
Śmigłowiec	90–300	99,81%	0,00%
Pojazd	400–3000	99,78%	0,00%



Źródło: H. Madura, T. Sosnowski, Rozpoznawanie wybranych obiektów militarnych na podstawie cech akustycznych, X Konferencja Naukowa Wibrotechniki i Wibroakustyki, V Ogólnopolskie Seminarium Wibroakustyka w Systemach Technicznych, WIBROTECH 2003, 24–25.03.2003 Kraków.

Rys.2.4.14. Wykres gęstości prawdopodobieństwa wartości wskaźnika identyfikacji dla śmigłowców

W przypadku zaklasyfikowania obiektu do klasy śmigłowców wyznaczony został wskaźnik identyfikacji umożliwiający rozróżnienie śmigłowców. Z przedstawionego na rys. 2.4.14 rozkładu prawdopodobieństwa wartości wskaźnika identyfikacji i danych statystycznych zawartych w tabeli 2.4.6 wynika, że istnieje znaczne prawdopodobieństwo rozróżnienia śmigłowców przy niezbyt dużym prawdopodobieństwie fałszywego alarmu.

W celu oszacowania skuteczności metody identyfikacji w stosunku do badanych sygnałów śmigłowców wyznaczone zostały wartości prawdopodobieństwa poprawnej klasyfikacji.

Tabela 2.4.6

Obiekt	Wartość min.	Wartość max	Wartość śr.	Odchylenie standardowe	Przedział ufności
Śmigłowiec I	0,40	1,46	0,97	0,32	(0,93 1,01)
Śmigłowiec II	0,05	0,78	0,27	0,25	(0,18 0,34)

W celu oszacowania skuteczności identyfikacji w stosunku do badanych sygnałów śmigłowców wyznaczone zostały wartości poprawnej identyfikacji i fałszywego alarmu (tabela 2.4.7).

Tabela 2.4.7

Identyfikowany obiekt	Prawdopodobieństwo poprawnej identyfikacji	Prawdopodobieństwo fałszywej identyfikacji
Śmigłowiec I	91,6%	9,62%
Śmigłowiec II	90,08%	10,20%

Przedstawione rezultaty dowodzą, że identyfikacja śmigłowców za pomocą wskaźnika klasyfikacji [122] cechuje się dużym prawdopodobieństwem prawidłowej identyfikacji (ponad 90%) i małym prawdopodobieństwem fałszywego wyniku (ok. 10%).

Badania w zakresie podczerwieni (wykrywanie oraz identyfikowanie śmigłowca typu W-3 Sokół).

Pierwsze badania weryfikujące możliwości wykrywanie oraz identyfikowania obiektów powietrznych dotyczyły śmigłowca znajdującego się na Ziemi w dwu wariantach:

- z silnikami wyłączonymi (zimnymi);
- z silnikami włączonymi.

Jak widać na zdjęciu (załącznik 1) rozkład temperatur pracującego silnika pozwala na wyróżnienie śmigłowca na tle Ziemi. Z kolei w drugim wariancie badań wykrywano śmigłowiec na tle nieba przy temperaturze tła wynoszącej -12, 4^0 C (załącznik 2).

W kolejnym przypadku wykrywano śmigłowiec typu W-3 Sokół znajdujący się na ziemi i w powietrzu z odległości 1500 m (załącznik 3)[79].

Do przeprowadzenia badań wykrycia śmigłowca W-3 Sokół użyto dwóch kamer termowizyjnych, pracujących w różnym zakresie długości fal. Aby czytelnie przedstawić wyniki badań oraz móc wyciągnąć trafne wnioski, skorzystano z programu komputerowego do analizy termogramów Therma GRAM 95 v. 1.61. Równocześnie dla potrzeb dokumentacyjnych poszczególne ujęcia rejestrowano w zakresie widzialnym przy pomocy aparatu cyfrowego.

Tabela 2.4.8

Podstawowe parametry kamer termowizyjnych

Parametr	**Kamera typu 760 BB**	**Kamera typu SC 1000**
Zakres widmowy pracy	8–12 μm, 3–5 μm, 3-12 μm	3–5 μm
Detektor	HgCdTe schłodzony do temperatury 77 K	matryca PtSi/CMOS 256x256 FPA
Minimalna wykrywalna różnica temperatur MDTD	0,1 ^{0}C (8–12 μm, 3–12 μm) 0,2 ^{0}C (3–5 μm)	0,07 ^{0}C
Różnica temperatur równoważna szumom NETD	Mniej niż 0.2 ^{0}C (8–12 μm, 3–5 μm) Mniej niż 0,4 ^{0}C (3–5 μm)	Mniej niż 0,1 ^{0}C
Rozdzielczość pozioma	1.8 mrad, 256 Pixele/Linię (8–12 μm) 3,5 mrad, 256 Pixele/Linię (3–5 μm)	252 Pixele/ Linię
Dokładność pomiaru	±2 ^{0}C (±2 %)	±2 ^{0}C (±2 %)
Zakresy mierzonych temperatur	-20 ÷ 400 ^{0}C (zakres normalny) 20 ÷ 1500 ^{0}C (zakres rozszerzony)	-20 ÷ 450 ^{0}C
Pole widzenia (FOV)	20 ^{0} poziomo, 15 ^{0} pionowo	17 ^{0} poziomo, 16 ^{0} pionowo
Rodzaje obiektywów	kąt pola widzenia 20^0 kąt pola widzenia 7^0 kąt pola widzenia 2^0	kąt pola widzenia 20^0 kąt pola widzenia 7^0 kąt pola widzenia 2^0

[79] Zarówno w obrazie optycznym, jak i termowizyjnym.

Ponadto do maskowania śmigłowców wykorzystano siatki maskujące oraz wytwornice dymu WD–2. Badania były prowadzone w różnych warunkach atmosferycznych (w zależności od potrzeb), ze stanowiska naziemnego oraz powietrznego.

W wyborze kamer termowizyjnych brane były pod uwagę takie kryteria, jak:

- rozdzielczość temperaturowa [K];
- rozdzielczość przestrzenna [mrad];
- stabilność czasowa [%/h];
- szybkość (częstotliwość obrazu) [Hz];
- jednorodność parametrów pola widzenia [%];
- możliwość zmiany kąta pola widzenia;
- zakres spektralny [μm].

Podstawowe parametry kamer termowizyjnych używanych w czasie badań przedstawiono w tabeli 2.4.8.

Warunki prowadzonych badań:

W trakcie prowadzenia badań[80] zanotowano następujące warunki atmosferyczne: temperatura powietrza + 4–6^0 C; widzialność 1–10 km; wilgotność powietrza od 37–97%; temperatura powierzchni trawiastej do + 8^0 C.

Obserwacja była prowadzona z ziemi oraz pokładu śmigłowca – z odległości skośnej do 2000 m.

Z uwagi na to, że eksperymentowi towarzyszyło silne nasłonecznienie, niektóre powierzchnie śmigłowca (np. część ogonowa, oszklenie kabiny) emitowały dużą ilość energii odbitej[81]. W rezultacie uzyskano widmo (w termowizji) znacznie wyższe od rzeczywistego zobrazowania tych elementów. Panujące warunki atmosferyczne sprawiały, że kontrast pomiędzy zimnym śmigłowcem i tłem (trawą) był słaby (różnica temperatur kształtowała się w granicach 1–2^0 C).

---

[80] Dla ułatwienia samego procesu badawczego obserwację prowadzono w warunkach dziennych.

[81] W zależności od kąta padania promieni słonecznych.

Etapy badań

Badania podzielono na kilka etapów. W pierwszym badano zależność warunków (możliwości) wykrycia śmigłowca w technice podczerwieni od intensywności źródła ciepła[82].

W kolejnym etapie sprawdzono wpływ maskowania[83] obiektu na jakość wykrywania śmigłowca przy użyciu kamery termowizyjnej.

Następny etap badań dotyczył oceny wpływu otoczenia[84] na jakość obserwacji w technice podczerwieni. Badania prowadzono zarówno z odległości 2000 m, 1500 m i 800 m.

W finalnym etapie dokonano diagnozy możliwości obserwacji śmigłowca w zależności od panujących warunków atmosferycznych oraz typów obiektywów kamer termowizyjnych.

Porównanie otrzymanych obrazów było możliwe na podstawie zastosowanych do tego celu wzorców zobrazowania śmigłowca (optycznego i termalnego), uwzględniających aktualnie panujące warunki atmosferyczne.

Mimo stosowanych zakłóceń obserwacji, wykorzystywanie kamery o najlepszych parametrach[85] umożliwiło wykrycie oraz zidentyfikowanie śmigłowa.

Wyniki badań poligonowych czujników optycznych

Każdy z czujników optycznych testowany był osobno, przy czym sprawdzano reakcję pozostałych czujników w momentach wykrywania obiektu powietrznego. Działanie tego czujnika detekcji badano w czasie przelotu (nad czujnikiem) śmigłowców z różnymi prędkościami i na różnych pułapach lotu. Wyniki badań w postaci rejestracji sygnału z detektora podczerwieni wraz z progami detekcji obiektu powietrznego przedstawiono na rys. 2.4.15 i rys. 2.4.16. Zarówno w jednym, jak i drugim przypadku zaobserwowano „impuls wykrycia" (po wyżej ustalonego progu detekcji), co świadczy o poprawności działania czujnika, a tym samym o możliwości jego wykorzystania do wykrywania nisko lecących obiektów powietrznych.

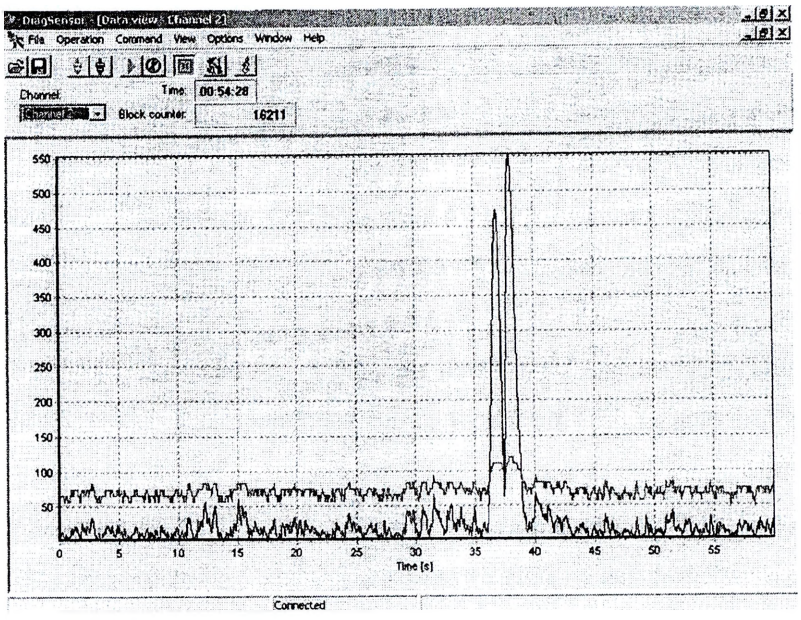
---

[82] Każdy obiekt powietrzny emituje określoną ilość energii, możliwą do zarejestrowania przez kamerę termowizyjną.

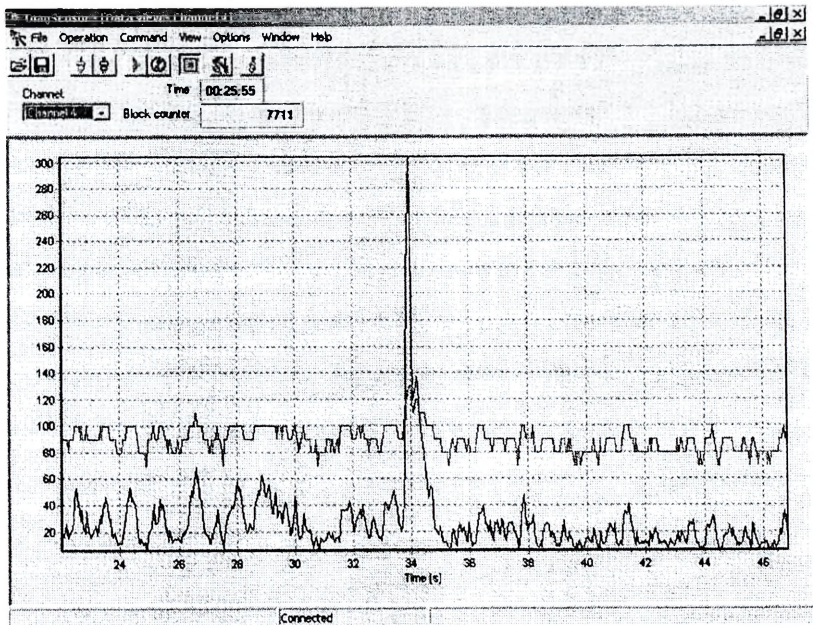
[83] Stosowano zadymienie.

[84] Prowadzono obserwację na tle: chmur, błękitu, lasu, ugoru oraz terenu zurbanizowanego.

[85] Patrz tabela 2.4.8.



Rys.2.4.15. Sygnał zarejestrowany przez czujnik detekcji obiektu powietrznego – śmigłowiec na wysokości około 80 m, prędkość lotu 120 km/h (wykres niebieski jest sygnałem z detektora, wykres zielony ilustruje próg detekcji czujnika)

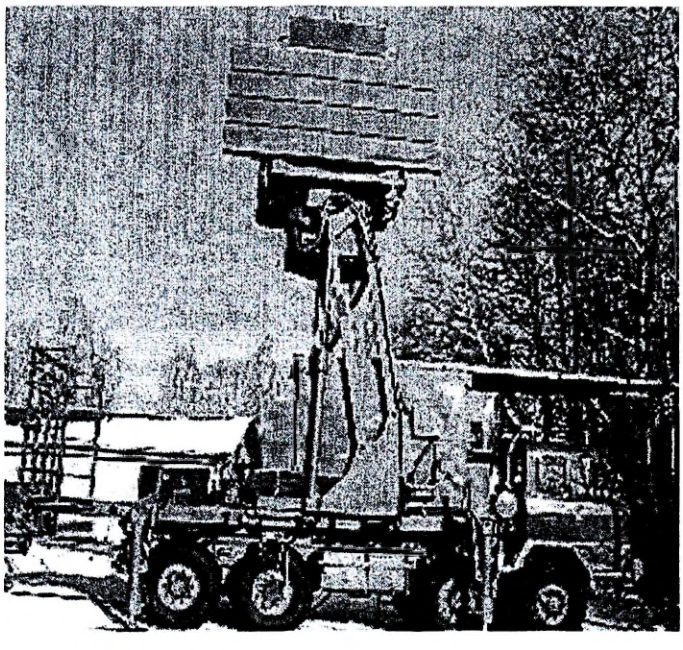


Rys. 2.4.16. Sygnał zarejestrowany przez czujnik detekcji obiektu powietrznego – śmigłowiec na wysokości około 100 m, prędkość lotu 150 km/h

2.5. Zastosowanie nowych technologii do pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej dla potrzeb systemu obrony powietrznej

Dynamiczny rozwój nowych technologii zauważalny jest także w radiolokacji, w której polski przemysł zbrojeniowy zajmuje wysoką pozycję na świecie. Systematyczne wprowadzanie do uzbrojenia wojsk radiotechnicznych nowych radarów ma na celu poprawę żywotności systemu rozpoznania (zwiększona odporność na zakłócenia oraz zidentyfikowanie miejsca pracujących stacji) oraz poprawę parametrów strefy informacji o sytuacji powietrznej. Do zasadniczych zmian w tym zakresie można zaliczyć wprowadzanie do uzbrojenia radarów typu ODRA, BRDA, NUR–12M, a ponadto adaptacyjnych systemów antenowych, radarów dwupasmowych oraz systemów pasywnych.

Trójwspółrzędny radar ODRA (rys. 2.5.1) zastąpi wyeksploatowane urządzenia radiolokacyjne średniego zasięgu. Jest on również przewidziany do wykorzystania jako źródło informacji dla systemu ASOC. Przyjęte założenia konstrukcyjne i techniczne nie odbiegają od rozwiązań światowych w tym zakresie. Planuje się, że do 2008 roku wojska radiotechniczne zostaną wyposażone w osiem egzemplarzy stacji radiolokacyjnych tego typu.



Źródło: S. Babiarz, Konferencja szkoleniowo-metodyczna kierowniczej kadry WRt, Słupsk, 2005.

Rys. 2.5.1. Radar ODRA

Według pierwotnych prognoz radar typu BRDA (rys. 2.5.2) miał zstąpić dotychczas eksploatowane radary. Ten nowoczesny radar wyposażony w nie stosowany jeszcze w polskich radadiolokatorach systemem EPP (elektroniczne przeszukiwanie przestrzeni) Jest to radar „cichy", gdyż jego maksymalna moc promieniowania w impulsie wynosi około 10 kW.



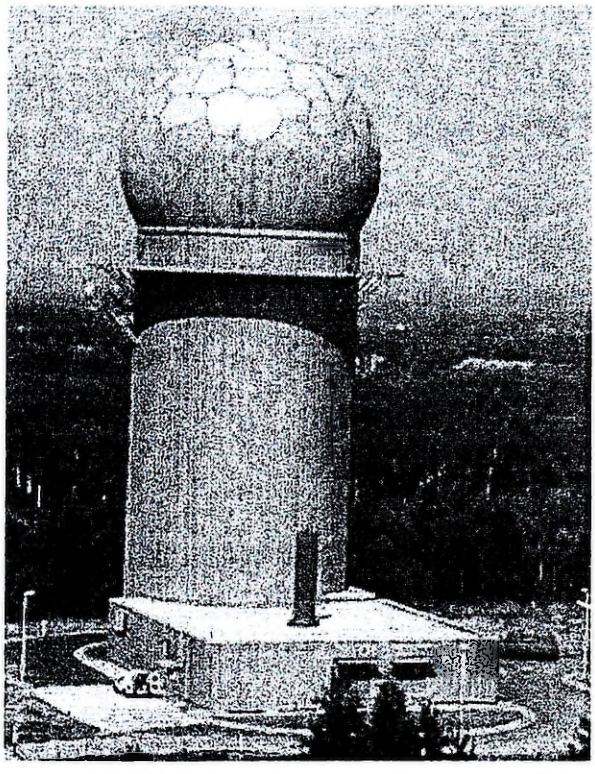
Źródło: S. Babiarz, Konferencja szkoleniowo-metodyczna kierowniczej kadry WRt, Kiekrz, 2003.

Rys. 2.5.2. Radar BRDA

Prace nad nowoczesnym stacjonarnym radarem trójwspółrzędnym NUR–12M (rys. 2.5.3) dalekiego zasięgu są prowadzone w ramach zobowiązań przyjętych w pakiecie inwestycyjnym CP5A0044. Będzie on stanowił podstawowe źródło informacji radiolokacyjnej dla systemu OP NATO.

W sytuacji ciągle rosnącej liczby użytkowników coraz więcej uwagi poświęca się efektywniejszemu wykorzystaniu przydzielonego poszczególnym operatorom i służbom pasma częstotliwości i możliwości filtracji adaptacyjnej przestrzeni z wykorzystaniem liniowego szyku antenowego, układu N anten o takiej samej charakterystyce, umiejscowionych wzdłuż linii prostej i równoodległych od siebie, czyli *„Antena aktywna = Antena inteligentna"*. Podstawowe zalety anteny adaptacyjnej są następujące:

- możliwość określenia azymutów źródeł sygnałów;
- zdolność do śledzenia i nadążania wiązki głównej charakterystyki kierunkowości za kierunkiem źródła sygnału pożądanego;
- zdolność do tłumienia sygnałów niepożądanych;
- lepsze wykorzystanie dostępnego widma częstotliwości;
- poprawa sprawności energetycznej systemu;
- możliwość łatwego montażu elementów promieniujących na nieregularnych powierzchniach promieniujących.



Źródło: S. Babiarz, Konferencja szkoleniowo-metodyczna kierowniczej kadry WRt, Słupsk, 2005.

Rys. 2.5.3. Radar NUR–12M

Do podstawowych wad anteny adaptacyjnej zalicza się natomiast:

- stosunkowa dużą złożoność matematyczna algorytmów adaptacyjnych, co wymaga zastosowania specjalizowanych procesorów sygnałowych o dużych mocach obliczeniowych;

- małą tolerancję systemu na własności amplitudowo-fazowe kanałów odbiorczo–nadawczych;
- dużą czułość układu antenowego na błędy rozstawienia szyku antenowego;
- konieczność zapewnienia dobrej separacji kanałów odbiorczo-nadawczych.

Dotychczas adaptacyjne systemy antenowe nie są powszechnie wykorzystywane w systemach radioelektronicznych. Główną przyczyną tego stanu rzeczy są praktyczne problemy wynikające z częstotliwościowych zakresów pracy systemów i wielokanałowego charakteru systemów antenowych. Jednak rozwój układów scalonych umożliwia już realizację cyfrowych torów radiowych, w których cyfrowa forma sygnału występuje na częstotliwości pośredniej lub nawet radiowej.

Ze względu na istniejący problem wykrywania obiektów typu LOT (low observabletarget), takich jak obiekty typu Stealth, cruise missiles, UAV (unmanned air vehicles), oraz obiektów nisko lecących na tle zakłóceń biernych, opracowano dwie ogólne koncepcje systemów radarowych[86]. Wymagają one stosowania najnowocześniejszych technologii w celu wykrywania, śledzenia i identyfikacji obiektów typu LOT (o małej skutecznej powierzchni odbicia). Są to:

- systemy pasywne typu PCL;
- radary dwupasmowe.

Jednym z pasywnych systemów służących do wykrycia i śledzenia obiektów są sensory (PCL – passive coherent location sensor), które wykorzystują energię promieniowaną na co dzień przez tzw. nadajniki okazyjne (ToO). Do klasycznych źródeł promieniowania zalicza się:

- nadajniki radiowych sygnałów analogowych FM;
- nadajniki TV sygnałów analogowych;
- nadajniki cyfrowych sygnałów radiowych (DAB);
- nadajniki cyfrowych sygnałów TV (DTB);
- stacje bazowe telefonii komórkowej;
- nie kooperujące radary aktywne.

Efektem zastosowania nowych technologii będzie:

---

[86] S. Babiarz., Sympozjum naukowe nt. „Rozpoznanie radiolokacyjne w zintegrowanej rozszerzonej obronie powietrznej NATO", AON, 2005.

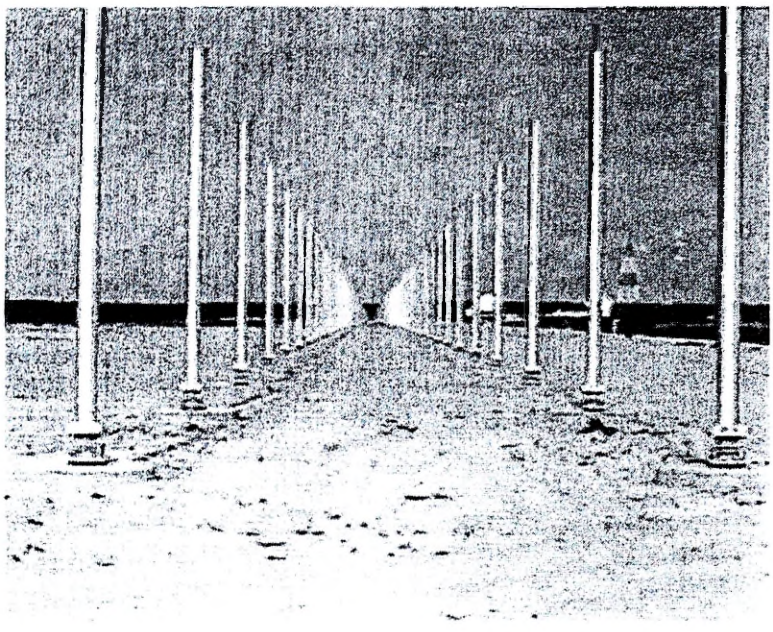
– zwiększony zasięg wykrycia obiektów z racji wzrostu jego bistatycznej/multistatycznej powierzchni skutecznej rozproszenia;

– niemożność wykrycia systemu poprzez przechwycenie jego sygnału LPI;

– wzrost prawdopodobieństwa wykrywania obiektów typu STEALTH;

– znaczne zmniejszenie prawdopodobieństwa zniszczenia systemu rozpoznania[87].

Propozycją rozwiązań w zakresie zwiększenia zasięgu mogą być radary pozahoryzontalne, nad którymi prace projektowe są szczególnie zdynamizowane w USA.



Źródło: H. Woźniak, Historia radarów, CSR, Jelenia Góra, 2000.

Rys. 2.5.4. Przykład systemu antenowego radaru pozahoryzontalnego

Przedstawiony na rys. 2.5.4 system antenowy zawiera 246 dipoli o wysokości 20 m. Wielkość obszaru zajmowanego przez anteny odbiorcze wynosi 1517 na 230 m., natomiast częstotliwość urządzenia odbiorczego zawiera się w granicach 5 MHz – 28 MHz. Wielkość zasięgu dla tego radaru kształtuje się od 800 do 2880 km.

Konstruktorzy współczesnych radarów, zdają sobie sprawę, że różnorodne trudności wykrywania obiektów powietrznych wynikają między innymi: z technologii, w jakiej są

[87] S. Babiarz, Konferencja szkoleniowo-metodyczna kierowniczej kadry WRt, Kiekrz, 2003.

wykonywane obiekty powietrzne (STEALTH) oraz stosowania zakłóceń elektronicznych, a także stosowania przez przeciwnika pocisków antyradarowych.

Jeżeli chodzi o użycie pojedynczego radaru, to przeciwdziałanie typowym skutkom występowaniu w przestrzeni powietrznej obiektów klasy STEALTH można realizować w rezultacie:

- pracy radaru monostatycznego na różnych długościach fali;
- zwiększenia ilości impulsów echa poddawanych przetwarzaniu koherentnemu;
- obserwacji obiektów klasy STEALTH z góry lub z boku;
- zastosowania radaru bistatycznego [96].

Innym problemem jest przeciwdziałanie stosowanym przez przeciwnika powietrznego zakłóceniom skierowanym. Współczesne radary z tzw. sygnałem złożonym są bardziej odporne na zakłócenia w porównaniu z radarami z sygnałem prostym.

Kolejne zagrożenia wynikają z możliwości wykrywania radarów przez środki rozpoznania radioelektronicznego przeciwnika. Aby temu przeciwdziałać konstruuje się radary trudno wykrywalne, które cechują się między innymi:

- generacją sygnałów sondujących o: stosunkowo małej mocy lecz dużej energii;
- kodowaniem wewnątrzimpulsowym oraz polaryzacją;
- stosowanie systemu antenowego[88] z wiązką (wiązkami) sterowaną elektronicznie na wybrany kierunek w strefie informacji, kształtującej wiązkę elektronicznie.

2.6. Wnioski z rozdziału

Uzyskane rezultaty badań empirycznych w zakresie możliwości taktyczno–technicznych stacji radiolokacyjnych, jak również systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej stały się przyczynkiem do poszukiwań niekonwencjonalnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej. Parametry testowanych obecnie stacji radiolokacyjnych takich jak: NUR–12 M, ODRA i BRDA, nie poprawią skuteczności wykrywania obiektów powietrznych na małych i bardzo małych wysokości. Jednakże na uwagę zasługują walory „cichego" radaru

[88] Współcześnie jakość radaru określa jakość systemu antenowego.

typu BRDA, którego nieruchomy system antenowy znacząco utrudnia jego wykrycie w rezultacie rozpoznania powietrznego[89].

Do wykrywania obiektów o małej skutecznej powierzchni odbicia oraz obiektów nisko lecących na tle zakłóceń biernych wskazane jest miedzy innymi wykorzystanie systemów pasywnych typu PCL oraz radarów dwupasmowych.

W konsekwencji prowadzonych dociekań, wyłonił się finalny obszar poszukiwań badawczych, obejmujący źródła optyczne i detektory akustyczne. Przeprowadzone badania z urządzeniami akustycznymi oraz optycznymi potwierdziły przypuszczenia autora rozprawy, iż mogą one skutecznie wykrywać oraz identyfikować (klasyfikować) obiekty powietrzne. Uzyskane wyniki badań dowiodły, że efektywność rozpoznania przestrzeni powietrznej za pomocą tych źródeł jest wysoka, jednakże w stosunku do obiektów nisko lecących oraz o niewielkich prędkościach przelotu. Jeżeli weźmie się także pod uwagę inne zalety, takie jak: wysoka mobilność, pasywność rozpoznania (duża żywotność) oraz małe gabaryty, to propozycja ich wykorzystanie w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej jest w pełni uzasadnione. Należy ponadto podkreślić, że ich zastosowanie w zakresie pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej nie kolidowałoby ze współcześnie stosowanymi oraz perspektywicznymi rozwiązaniami technologicznymi. Dlatego dla zwiększenia poziomu skuteczności wykrywania i identyfikowania obiektów powietrznych konieczne jest kompleksowe zastosowanie wszystkich dostępnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej.

Przedstawione i uzasadnione w rozdziale pierwszym problemy dotyczące ograniczenia pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej utwierdziły autora rozprawy w przekonaniu, o konieczności prowadzenia dalszych prac nad alternatywnymi źródłami rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Następnym kierunkiem naukowych poszukiwań były metody pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej, których treści przedstawiono w kolejnym rozdziale niniejszej rozprawy.

---

[89] Zastosowanie tzw. elektronicznego przeszukiwania wiązką.

3. METODY POZYSKIWANIA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ

3.1. Sposoby pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej

Sytuację powietrzną, w zależności od charakteru działania środków napadu powietrznego określają takie parametry, jak: intensywność, dynamika i złożoność, które determinują proces podejmowania decyzji o zwalczaniu celów powietrznych.

Istniejące luki informacyjne są częstą przyczyną podejmowania decyzji ryzykownych, których skutki można jedynie określić z określonym prawdopodobieństwem. W takich warunkach (tzw. niepewności) często dominuje doświadczenie oraz intuicja.

Trudno wyobrazić sobie działanie na przykład systemu dowodzenia OP bez informacji o własnych i współdziałających siłach i środkach czy też o sytuacji powietrznej. Informacja w ogóle, a przede wszystkim informacja o sytuacji powietrznej dla systemu dowodzenia OP jest niezbędnym czynnikiem jego prawidłowego funkcjonowania. Każdy system, w tym również system dowodzenia OP, realizujący funkcję decyzyjną określa potrzeby dotyczące zasadniczych parametrów informacji, takich jak ilość czy też jej jakość. Jednakże należy zaznaczyć, że byłoby dużym uproszczeniem, a zarazem błędem, traktowanie informacji o sytuacji powietrznej głównie w kategoriach ilościowych. W realnym procesie oceny potrzebna jest informacja selektywna, pozbawiona zbędnych sprzężeń i fluktuacji, utrudniających jej zidentyfikowanie zgodnie z przyjętymi kryteriami jej oceny. Stąd dąży się do otrzymywania jej (z niewielu źródeł) w takiej postaci, aby była pozbawiona błędów, które istotnie wpływają na jakość podejmowanych decyzji. Rozpatrując problem jakości informacji o sytuacji powietrznej, należy przede wszystkim mieć na względzie jej dokładność, dyskretność, a także czas opóźnienia, który w zdecydowanej mierze decyduje o wykonaniu (bądź niewykonaniu) określonego zadania.

Wysokim stopniem złożoności oraz niepewności (ryzyka) charakteryzuje się zwłaszcza informacja o środkach napadu powietrznego. Stąd odbierana na stanowiskach dowodzenia systemu obrony powietrznej informacja o sytuacji powietrznej jest obarczona różnorodnymi błędami wpływającymi na strukturę rozwiązywanych problemów decyzyjnych. Poziom nieokreśloności jest na tyle wysoki, na ile w przypadku konkretnego problemu nastąpiło zniekształcenie rzeczywistego obrazu informacyjnego. Owo zniekształcenie może być spowodowane wieloma czynnikami, spośród których za najważniejsze można uznać:

- brak (luki) informacji;

- zakłócenia informacji;
- zbytnie nasilenie informacji (brak selektywności).

Dwa pierwsze z wymienionych czynników związane są z bezpośrednim zasilaniem informacyjnym systemu dowodzenia OP. Za jakością i sprawnością tego systemu przemawiają głównie względy techniczne urządzeń rozpoznania radiolokacyjnego i elektronicznego oraz szeroko rozumiane okoliczności propagacyjne fal radiowych.

Nie bez znaczenia są właściwości terenu szczególnie „deformujące" informację radiolokacyjną, gdyż jego cechy naturalne (np. wszelkie nierówności, wzniesienia, góry) oraz sztuczne z całą infrastrukturą budowlano-przemysłową stanowią o poziomie ograniczenia zasięgu radiolokacyjnego[90]. Równie ważnym czynnikiem w propagacji fal radiowych jest przestrzeń, w której się ta propagacja odbywa, dotyczy to zarówno warunków oraz zanieczyszczeń atmosferycznych. Niepoślednią rolę w propagacji fal radiowych odgrywają także niejednorodności ziemi. Bogate złoża metali i innych pierwiastków mogą bowiem znacznie zakłócić proces propagacji fal radiowych.

Dla systemu dowodzenia obrony powietrznej niezbędna jest selektywna informacja umożliwiająca jej racjonalną ocenę. Zbytnie nasilenie informacyjne jest w tym wypadku zjawiskiem ze wszech miar niepożądanym, utrudniającym osobom funkcyjnym systemu dowodzenia OP właściwą diagnozę istniejącej sytuacji bojowej. Tego rodzaju problem w dużej mierze zależy od odpowiednio zorganizowanego i będącego pod ciągłą kontrolą obiegu informacji o sytuacji powietrznej.

Bardzo ważne w procesie zbioru i opracowania informacji jest odpowiednie odebranie, a następnie właściwa ocena tych treści, które stanowią o istotności danej informacji. Do cech informacji o sytuacji powietrznej, decydujących o jej przydatności w procesie dowodzenia, można zaliczyć miedzy innymi: aktualność, kompletność, wiarygodność, relewantność[91] oraz przyswajalność. O ile pierwsze z wymienionych czynników są oczywiste, to ostatni z nich zasługuje na krótkie wyjaśnienie.

Nieokreśloność (niepewność) informacji lub jej częściowy brak sprawia, że w procesie decyzyjnym powstaje luka informacyjna, czyli brak pełnej i wiarygodnej informacji w ograniczonym przedziale czasowym. Jakie ma to znaczenie w praktyce? Wyobraźmy sobie brak informacji o sytuacji powietrznej, np. w momencie gdy do granic naszego kraju zbliża

---

[90] Wpływ czynników terenowych został szczegółowo opisany w pracy naukowo–badawczej nt. „Warunki terenowe a możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych WLOP i WOPL", Jelenia Góra, WOSR, 1994.

[91] Termin relewantny określa cechy istotne dla funkcji komunikatywności. Zob. M. Grzybowski, *Podstawowe cechy informacji o sytuacji powietrznej*. PWLiOP 1996/5.

się samolot, który z przyczyn technicznych nie został zidentyfikowany i którego celu lotu nie znamy. Taka sytuacja po pierwsze może budzić wątpliwości co do niezawodności środków rozpoznania radioelektronicznego czy też radiolokacyjnego, po drugie tworzy czynnik stresu dla określonej grupy osób funkcyjnych systemu dowodzenia, odpowiedzialnej za ocenę sytuacji powietrznej.

W jaki sposób w związku z powstałą sytuacją można dokonać identyfikacji wspomnianego obiektu powietrznego oraz jak określić jego zamiar działania?

Znaczącą rolę w systemie OP odgrywają Ośrodki Dowodzenia i Naprowadzania. Są one zasadniczymi organami wykonawczymi w zakresie realizacji zadań wykrywania i kierowania systemami uzbrojenia, czyli realizują zadania podobne do CRC. Przewiduje się, że spoczywające na ODN zadania mogłyby być wykonywane przez następujące zespoły:

1. zespół kierowania;
2. zespół kierowania aktywnymi środkami walki, obejmujący:
   - grupę zarządzania wykorzystaniem przestrzeni powietrznej sektora i podległe jej sekcje: kierowania lotnictwem i naprowadzania oraz kierowania wojskami OPL;
   - grupę kierowania WE;
3. zespół rozpoznania:
   - grupa analizy i uogólniania informacji o sytuacji powietrznej;
   - grupa kierowania środkami wykrywania i rozpoznania [4, 78].

Podstawę funkcjonalnej i technicznej integracji systemów dowodzenia: narodowego i koalicyjnego stanowi zautomatyzowany system dowodzenia DUNAJ, który jest w wyposażeniu Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania. System ten zapewnia realizację:

- zbioru i przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej ze wszystkich środków radiolokacyjnych niezależnie od ich przeznaczenia i organizacyjnej podległości oraz przekazywanie jej w czasie rzeczywistym i w niezbędnym zakresie wszystkim ogniwom elementów dowodzenia i kierowania aktywnymi środkami walki oraz do SD szczebla nadrzędnego;
- wspomagania dowódców w procesie podejmowania i przekazywania decyzji do działań bojowych;
- wspomagania scentralizowanego kierowania ogniem wszystkich sił i środków OP rozwiniętych w sektorze odpowiedzialności ODN;
- zbioru i przekazywania informacji o stanach i stopniach gotowości bojowej i rezultatach działań bojowych.

Poszukując rozwiązań w zakresie pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej, dokonano identyfikacji reguł (procedur) postępowania w warunkach występowania deficytu informacyjnego. Badania prowadzone na stanowisku dowodzenia ODN obejmowały wybrane dokumenty, których niejawny charakter uniemożliwiał zaprezentowanie w obszerniejszym zakresie w niniejszej rozprawie.

Przeprowadzone badania dotyczące procedur postępowania w przypadku wystąpienia deficytu informacji o sytuacji powietrznej dowiodły, że możliwości osób funkcyjnych Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania w tym zakresie są mocno ograniczone. Stosowane w takich sytuacjach proceduralne działania zgodnie z dokumentem 2460 SAPLAN DELTA 1P, 2461 SAPLAN–M dotyczą między innymi: organizacji zarządzania przestrzenią powietrzną, współdziałania poszczególnych komórek, procedur identyfikacji w warunkach pokoju, kryzysu oraz wojny, środków kontroli przestrzeni powietrznej, ruchu lotniczego, elementów przestrzeni powietrznej (korytarzy powietrznych, specjalnych stref). Algorytm identyfikacji obiektów powietrznych realizowany jest w oparciu o MATRYCĘ MATRIX. Z kolei PROCEDURĘ RENEGADE stosuje się w tzw. przypadkach „niejasnych". Analiza tych dokumentów jak również przeprowadzony wywiad z dowódcą i szefem sztabu 21 Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania utwierdziły autora rozprawy w przekonaniu, że wszystkie reguły proceduralne[92] są jedynie algorytmem postępowania, sprowadzającym się tylko do **nadania określonego statusu** obiektom powietrznym:

- wykonującym lot poza FLY PLAN[93];
- gdy przestały być śledzone z różnych przyczyn;
- gdy ich identyfikacja[94] była niemożliwa.

Ponadto nie znalazły jak dotąd zastosowania rozwiązania systemowe w postaci niekonwencjonalnych metod pozyskiwania informacji powietrznej, zarówno w rozwiązaniach programowych urządzenia DUNAJ, jak i poza nim. Funkcjonujący w systemie obrony powietrznej obieg informacji o sytuacji powietrznej również nie gwarantuje pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

---

[92] Miejsce pracy kontrolerów obszaru powietrznego wyposażone w stanowisko do nadzoru proceduralnego (tablicę sytuacji ruchowej) wykorzystuje się w przypadku wystąpienia awarii radaru lub braku zobrazowania radiolokacyjnego, zwłaszcza obiektów powietrznych wykonujących lot na małych wysokościach. Nie zawierają one systemów wspomagających pozyskiwanie utraconej informacji.

[93] Opracowanego na okres danej doby.

[94] W tym przypadku istotne jest określenie „kto to jest". Nadanie statusu rozpoznania z IFF Mark XII jest wysoce niewystarczające.

Jedynym rozsądnym postępowaniem w przypadkach zaniku śledzonych tras obiektów powietrznych jest włączenie dodatkowych źródeł informacji, jak również ich „nakierowanie" na określony sektor obserwacji.

Problem podejmowania decyzji w warunkach niepełnej informacji lub całkowitej jej utraty wymagał kolejnych poszukiwań badawczych. W ich wyniku możliwe było wskazanie kierunków, a następnie wyselekcjonowanie metod pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

Ze względu na dostępność informacji można wyróżnić decyzje o charakterze deterministycznym i niedeterministycznym [110, 68]. W pierwszym przypadku, gdy decyzje podejmowane są na podstawie otrzymanej w odpowiednim czasie, pełnej informacji, towarzyszą jej tzw. warunki pewności. Z punktu widzenia procesu decyzyjnego jest to sytuacja komfortowa, która niestety nie zawsze ma miejsce. Zazwyczaj, gdy z różnych względów informacja jest niepełna bądź utracona, mamy do czynienia ze stanami niepewnymi (nieokreślonymi).Podejmowanie decyzji będzie wtedy mocno ograniczone wartością chwilową ilości oraz jakości posiadanej informacji.

W obszarze podejmowania decyzji można wyróżnić dwa podstawowe stanowiska, tj. matematyczne (racjonalne) oraz psychologiczne (heurystyczne) [68, 100, 97]. Zgodnie z pierwszym – charakter procesów decyzyjnych umożliwia pełną ich kwantyfikację i formalizację, natomiast w myśl stanowiska drugiego – procesów tych nie można przedstawić w sposób formalny, gdyż opierają się one na indywidualnych i dynamicznych mechanizmach postępowania, mają charakter adaptacyjny, zaś wybór decyzji jest zawsze subiektywny i obciążony skłonnością do ryzyka.

Jest to podział, który ze względu na istotę funkcjonowania człowieka związany jest z powstawaniem tzw. układu samodzielnego, poprzedzonego:

- procesem poznawczym, którego celem jest zdobycie i zarejestrowanie informacji niezbędnych układowi do podjęcia decyzji;
- procesem decyzyjnym, którego celem jest dokonanie wyboru sposobu działania układu [68].

Deficyt informacji w procesie decyzyjnym jest oczywiście zjawiskiem niepożądanym. Występujące przypadki deficytu informacyjnego (luki informacyjne) bądź też działania dezinformacyjne (zakłóceniowe) na współczesnym polu walki nie są czymś odosobnionym. Dlatego w takich sytuacjach nie należy tylko opierać się na określonych „szablonach" (regułach) postępowania – konieczne jest skorzystanie z rozwiązań niekonwencjonalnych.

Jeden ze sposobów prowadzi do **intuicji**, uważanej za szósty zmysł człowieka. Jest ona tym czynnikiem, który nadaje pewien potencjał twórczy wszelkim działaniom, niekoniecznie decyzyjnym. Wytworzony w umyśle człowieka obraz wizualizacji sprzyja zdolności przewidywania, umożliwiając tym samym (w formie przekonania) odniesienie się do określonego problemu. Takie wyobrażenie jest nieodłącznym atrybutem działania intuicyjnego, odnoszącego się do obrazów wytworzonych w przeszłości, lecz które mogą zaistnieć w obecnej chwili. Z empirycznego punktu widzenia wizualizacja jest bardziej logiczna niż wyobraźnia, gdyż wizualizować można coś, co jest już znane lub co już było, natomiast wyobraźnia dopuszcza wszystko, co człowiek może sobie wymyślić. Niestety istnieje wielu sceptyków stosowania intuicji w procesach decyzyjnych, ponieważ uznają ją za coś mało namacalnego, „niewytłumaczalnego" i dlatego wolą się opierać na jednoznacznie sprawdzonej informacji.

Innym sposobem w okresie deficytu informacyjnego jest **kreatywne myślenie**, wspierające określone metody poszukiwania pomysłów, których zastosowanie jest pewną szansą rozwiązania trudnych problemów decyzyjnych.

Dane naukowe zebrane między innymi przez O. Tichomirowa wskazują, że zasadniczą rolę w myśleniu człowieka odgrywają reguły heurystyczne, czyli myślenie jest czynnością heurystyczną [41]. Przewidując przyszłe stany rzeczy, konstruując nowe urządzenia techniczne, ludzie wykorzystują system reguł heurystycznych, który decyduje o uporządkowaniu operacji umysłowych. Myślenie jest **czynnością heurystyczną** [100], ponieważ nieznane są algorytmy, za pomocą których można by z całą pewnością przewidzieć przyszłość, wynaleźć urządzenie techniczne czy też sformułować hipotezę naukową. Wykrycie algorytmu rozwiązania jakiegoś zadania powoduje, że ludzie zaczynają wykonywać to zadanie automatycznie, bez angażowania procesów myślowych.

W procesie myślenia[95] informacje — zakodowane między innymi w pojęciach i mowie — są przetwarzane za pomocą operacji umysłowych (wnioskowanie dedukcyjne i indukcyjne, porównywanie, abstrahowanie, uogólnianie) i reguł sterujących łańcuchami operacji. Reguły algorytmiczne (algorytmy) zapewniają rozwiązanie pod warunkiem

---

[95] Myślenie, w szerokim, potocznym znaczeniu — przebieg wszelkich, świadomych procesów psychologicznych, czynność umysłu; w znaczeniu węższym, przyjętym w psychologii — proces rozwiązywania przez człowieka problemów, polegający na przetwarzaniu informacji; celem i wynikiem tego procesu jest poznawanie relacji między zjawiskami lub ich reprezentacjami poznawczymi, tj. spostrzeżeniami, wyobrażeniami, pojęciami, sądami. Myślenie jest więc także procesem wytwarzania nowych informacji, które służą albo poznaniu, albo podejmowaniu decyzji, a więc działaniu; w procesie rozwiązywania problemów. Nowa Encyklopedia Powszechna PWN, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa, 2003.

odpowiedniego ich zastosowania, natomiast reguły heurystyczne zwiększają prawdopodobieństwo znalezienia rozwiązania problemu i kształtują strukturę procesu myślenia w sytuacjach, w których nie są znane ich algorytmy (większość problemów, z którymi człowiek ma do czynienia ma taki właśnie charakter). Rozwiązywanie trudnych problemów wspomaga także intuicja, wyobraźnia, swobodna gra skojarzeń, a nawet (i to nie tylko w dziecięcej fazie myślenia obrazowo-ruchowego) manipulacje z przedmiotami, a zwłaszcza modelami badanych zjawisk. Myślenie, które prowadzi do rozwiązań oryginalnych (obiektywnie nowych), a zarazem odznaczających się użytecznością (estetyczną, poznawczą, techniczną), nazywamy myśleniem twórczym. Przebieg procesów myślenia może ulegać różnego rodzaju zakłóceniom pod wpływem stanu emocjonalnego, motywacyjnego, oczekiwań jednostki (zjawisko „samopotwierdzającej się hipotezy"), ponadto wielorakie zaburzenia toku i treści myślenia obserwuje się w wielu chorobach psychicznych.

Na proces twórczy składają się cztery fazy [8]:

1. Preparacja (przygotowanie) – zewnętrzne czynności przygotowawcze do znalezienia pomysłu (rozwiązania), jak zbieranie i klasyfikowanie informacji i sformułowanie problemu,
2. Inkubacja (wylęganie się pomysłu) – poszukiwawcze czynności w mózgu w celu znalezienia pomysłu, nabranie dystansu do istniejących, znanych rozwiązań, dojrzewanie i klarowanie się oraz zrozumienia istoty problemu.
3. Olśnienie – moment pojawienia się (narodzin) pomysłu. Nowe rozwiązanie problemu, nowa idea powstaje nagle (skok intuicji) lub drastycznie zmienia się sposób widzenia problemu, który prowadzi do przeformułowania zbioru jego rozwiązań.
4. Weryfikacja – czynności oceny, przemodelowania, modyfikacji przystosowującej pomysł do wariantu rozwiązania problemu [8].

Wykorzystując do tego celu prace wielu psychologów (między innymi J. Dewey'a), można przy zastosowaniu reguł heurystycznych wyróżnić kilka głównych faz rozwiązywania problemów [26]. W fazie początkowej dostrzegany jest problem, czyli następuje uświadomienie, że posiadany zasób wiedzy nie wystarcza do osiągnięcia planowanych celów. Psychologowie opracowali różnorodne techniki kształtowania umiejętności dostrzegania problemów. Jedna z nich polega na zapoznaniu ludzi z regułami heurystycznymi, które odgrywają szczególną rolę w tej fazie. Jane Asher sformułował trzy wskazówki ułatwiające odkrywanie problemów [110].

Pierwsza nakazuje wykonać schemat sytuacji (zjawiska, urządzenia), który ułatwia zidentyfikowanie problemu. W schemacie tym należy określić obszar niewiedzy danej sytuacji. Druga wskazówka dotyczy zbadania przebiegu procesu zapoznawania się z daną sytuacją w celu ewentualnego pozbycia się błędnych założeń. Trzecia wskazówka, związana jest ze stworzeniem alternatywnej sytuacji, gdyż nowa sytuacja często zupełnie nierealna, może pozwolić dostrzec błędne założenia i wady sytuacji. Po odkryciu problemu następuje przejście do drugiej fazy, czyli do aktywnego badania celu oraz danych początkowych, zawartych w sytuacji problemowej. W fazie tej zasadniczą rolę odgrywa myślenie reproduktywne [68].

W sytuacji problemowej zawarte są różnorodne dane początkowe, czyli informacje zakodowane w postaci spostrzeżeń, wyobrażeń i pojęć. W celu rozwiązania problemu należy wyodrębnić ważne dane, natomiast nieważne odrzucić. Ważne dane[96] są informacjami, które po wprowadzeniu do bloku pamięci krótkotrwałej, podlegają przetwarzaniu w procesie myślenia.

W sytuacjach problemowych istotne dane często są zamaskowane, a w ich wykrywaniu ważną rolę odgrywają czynności interpolacyjne i ekstrapolacyjne. Pierwsze z nich polegają na wypełnianiu luk i przerw w środku bezpośrednio dostępnych układów danych. Czynności ekstrapolacyjne natomiast umożliwiają odkrywanie brakujących danych końcowych określonego układu.

Kolejny krok w rozwiązaniu problemu stanowi faza wytwarzania pomysłów, w której powstają nowe hipotezy i metody. W tej fazie nie można jednoznacznie zidentyfikować przebiegu heurystycznego łańcucha operacji. Według opracowanego przez niemieckiego psychologa K. Dunckera modelu wytwarzania pomysłów, pomysły rozwiązań powstają stopniowo [68]. W procesie tym można wyróżnić trzy zasadnicze części, zwane też poziomami. W pierwszej części wybierany jest ogólny kierunek poszukiwań rozwiązania, co w pewnym ogranicza sensie rejon poszukiwań i decyduje o dalszym przebiegu procesu wytwarzania pomysłów. Kierunek poszukiwań jest wyznaczony przez reguły heurystyczne. Dla większości problemów istnieje możliwość wyboru spośród wielu kierunków poszukiwań pomysłu rozwiązania. Wybór, lub inaczej mówiąc – odkrycie właściwego kierunku poszukiwań, jest kluczową operacją w wytwarzaniu pomysłu, decydującą o powodzeniu w rozwiązywaniu problemów. Zgodnie z wybranym kierunkiem tworzone są pomysły cząstkowe, które stanowią zarys rozwiązania (to drugi poziom w omawianym modelu).

[96] O tym, co jest ważne w sytuacji problemowej, decyduje cel, jaki należy osiągnąć.

Pomysł cząstkowy nie jest w pełni określony i sprecyzowany, zawiera on luki, które w przyszłości powinny zostać uzupełnione.

W trzecim poziomie następuje skonstruowanie ostatecznego pomysłu, którego odrzucenie wiąże się z koniecznością stworzenie kolejnych pomysłów cząstkowych oraz pomysłu końcowego. Jeżeli to nie daje pozytywnego rezultatu, trzeba zmienić kierunek poszukiwań. Postępując zgodnie z nowym kierunkiem, ponownie definiuje się różnorodne pomysły cząstkowe i końcowe. W fazie tej dopuszcza się dowolność w zakresie kierunku poszukiwań.

W końcowym etapie procesu rozwiązywania problemów następuje weryfikacja pomysłów, polegająca na ocenie (ewolucji) efektów myślenia w świetle posiadanych informacji. W wyniku tej weryfikacji następuje przyjęcie bądź odrzucenie pomysłu. Wśród metod weryfikacji można wyróżnić: weryfikację sukcesywną oraz weryfikację jednoczesną. Pierwsza z nich polega na wysuwaniu pomysłu wraz z jednoczesną jego weryfikacją. Jeśli jego ocena da wynik negatywny, to tworzony jest następny pomysł, także podlegający weryfikacji. Proces weryfikacji trwa tak długo, aż jeden z pomysłów zostanie zaakceptowany jako ostateczne rozwiązanie.

W kolejnych podrozdziałach przedstawiono treści obejmujące analizę przyjętych w procesie badawczym kierunków pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej.

3.2. Intuicja w rozwiązywaniu problemów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej

Znanych jest pięć zmysłów: wzrok, słuch, węch, dotyk oraz smak. Za szósty zmysł uważa się intuicję (między innymi [91, 92]). Wrażliwość wszystkich zmysłów kształtuje niejako intuicję, co ma kolosalne znaczenie z punktu widzenia percepcji czynników zewnętrznych i wewnętrznych.

Jak dowodzą przeprowadzone badania [9, 21, 8,] wiele odkryć naukowych powstało w rezultacie połączonych „działań" intuicji i racjonalnego myślenia[97]. Ten trop naukowych poszukiwań emanował na kształt metody (przedstawionej w podrozdziale 3.3.4) umożliwiającej pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej.

---

[97] Między innymi: Einstein, Skłodowska, Leonardo da Vinci.

Diagnozując walory intuicji pod względem przedmiotu poznania, nie można było pominąć funkcjonowania mózgu w tym obszarze rozważań. Otóż istnieje ogólny podział funkcji, jakie realizuje mózg. Prawa półkula mózgu umożliwia intuicyjny wgląd w strukturę i prawa natury, z kolei lewa jego część jest w stanie przetłumaczyć to na język logiki i matematyki [91, 92]. Zdaniem E. Nowaka wszyscy posiadamy ten sam instrument, który zależnie od sposobu wykorzystania decyduje, czy działamy intuicyjnie, racjonalnie, albo po części intuicyjnie i racjonalnie.

Zgodnie z definicją intuicja to przyglądanie się, przeczucie, zdolność przewidywania, twórcza wyobraźnia. To również narzucające się przekonanie, trudne do uzasadnienia, powstające w wyniku nieświadomego przeniesienia postaw wytworzonych w stosunku do podobnych sytuacji w przeszłości lub do wyniku działania bardzo słabych bodźców [135]. To co znamienne dla przedstawionej definicji, to swego rodzaju powiązanie intuicji z wyobraźnią i wizualizacja [91, 92].

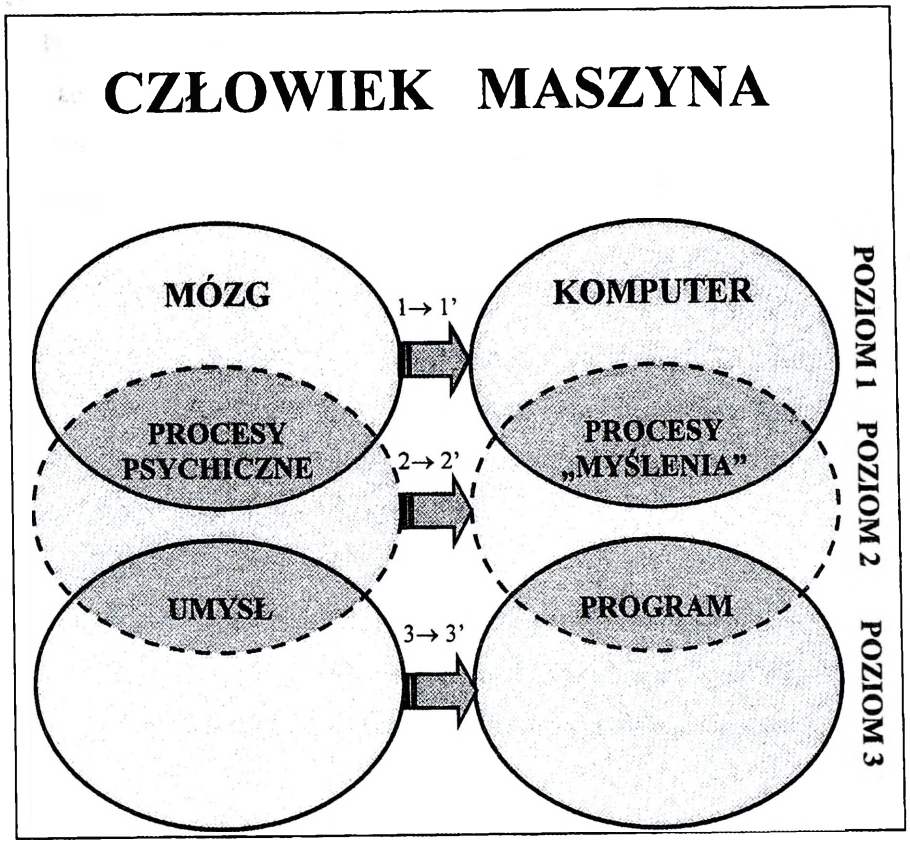
Tworzenie obrazów mentalnych w mózgu na podstawie wcześniejszych doświadczeń absorbujących nasze zmysły jest określane mianem wizualizacji. Na przykład zarejestrowany uprzednio przez zmysły kształt samolotu (celu powietrznego), widziany podczas ostatnich ćwiczeń.

Z kolei wyobraźnia nie korzysta z bezpośrednich doświadczeń zmysłowych i dzięki temu możemy sobie w dosłownym tego znaczeniu wyobrazić wszystko. Zarówno wizualizacja, wyobraźnia, jak i intuicja są domeną prawej półkuli i są bardzo subiektywne. Wyobraźnia odrzuca logikę, natomiast wizualizacja jest bardziej akceptowalna przez logikę. Cechą znamienną jest to, że rozwijając wyobraźnię aktywizowana jest prawa półkula, a tym samym rozwijana intuicja. Dzięki takiemu funkcjonowaniu, w trakcie rozwiązywania wszelkich problemów, w tym także informacyjnych, angażowana jest nie tylko lewa logiczna półkula, ale przede wszystkim prawa, która wzbogaca nasze decyzje o elementy podświadome.

Dzięki intuicji i instynktowi, jak twierdzi L. Day[98] udaje się przetrwać najcięższe chwile. Zdaniem autora rozprawy dotyczy to rozwiązywania trudnych problemów o strukturze trudno przewidywalnej, której charakter losowy wymusza podejmowanie decyzji o charakterze niezdeterminowanym. Stąd nie ulega wątpliwości, że intuicja wraz ze swoimi pochodnymi może w sytuacjach deficytu informacji o sytuacji powietrznej okazać się niezastąpiona. Jedynym problemem jest „wdrożenie" w systemy inteligentne.

---

[98] Autorka *Praktycznej intuicji.*



Rys. 3.2.1. Poziomy odwzorowania układu „człowiek i maszyna"

Innym, równie ważnym problemem jest to, czy komputery w prostych taktycznie sytuacjach będą jedynie pełnić rolę zwykłych „podpowiadaczy", czy też będą mogły „myśleć", rozwiązując złożone (np. nieprzewidywalne) problemy współczesnego pola walki? Trudno przecież wyobrazić sobie taki komputer, który cechowałby się umysłem, odznaczającym się świadomością, intencjonalnością [116], subiektywnością czy też zdolnością do przyczynowego oddziaływania. Stany umysłowe człowieka są jedynie właściwościami mózgu, a zarazem jego procesami psychicznymi, powstałymi na skutek jego działania. Dlatego dosłowne przełożenie stanów funkcjonowania ludzkiego mózgu i komputera jest przez wielu ekspertów uznawane za bardzo wątpliwe lub co najmniej kontrowersyjne. Stąd jedynie w skrajnie dużym uproszczeniu można pozwolić sobie na analogię mózgu i komputera oraz umysłu i programu komputerowego. Optymiści wyrażają pogląd, że wprawdzie nie stworzono jeszcze odwzorowań umysłów w postaci programów komputerowych, ale jest to możliwe, tylko wymaga wielu badań oraz czasu. Wśród grupy

specjalistów propagujących powyższy pogląd znajdują się między innymi psychologowie, którzy w swoich badaniach nad konstrukcją programów symulujących [68][99] wykorzystują tzw. zdobycze cybernetyki. Przykład struktury tego rodzaju odwzorowania zaprezentowano na rys. 3.2.1.

Dotychczasowe osiągnięcia w tym zakresie doprowadziły do skonstruowania takich modeli myślenia, które na tym poziomie umożliwiają logiczne wnioskowanie lub podejmowanie prostych decyzji. Przyczyną tej „ułomności" jest brak możliwości jednoznacznego i wyczerpującego (zgodnie z przeznaczeniem programu) pełnego opisu struktur myślenia człowieka. Rozwiązanie tego problemu jest bardzo złożonym, a jednocześnie trudnym zadaniem. Wymaga on w pierwszej kolejności dokonania identyfikacji systemu, w którym tego rodzaju rozwiązanie będzie zastosowane, a następnie rozeznania specyfiki myślenia (podejmowania decyzji) ludzi funkcjonujących w tym systemie. Zgodnie z tą teorią, należy dopasować urządzenie (program komputerowy) do sposobu myślenia człowieka, a nie odwrotnie.

Samodzielne działania programistów w celu odwzorowania procesów psychicznych człowieka w programowych procesach „myślenia" nie dają oczekiwanych rezultatów. W tym celu konieczne jest zaangażowanie psychologów oraz specjalistów (ekspertów) systemu, w którym tzw. sztuczna inteligencja będzie zastosowana.

3.3. Heurystyka w rozwiązywania problemów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej

3.3.1. Pojęcie heurystyki

Zdając sobie sprawę z „bezsilności" proceduralnych metod postępowania w warunkach deficytu informacji o sytuacji powietrznej, autor niniejszej rozprawy postanowił wyraźnie zdeklarować kierunek dalszych poszukiwań, których nurt stanowi heurystyka wraz z oferowanymi przez nią metodami oraz technikami[100]. Najogólniej heurystyka spotykana jest w sytuacjach, gdy:

---

[99] Program odtwarzający rzeczywiste myślenie człowieka.

[100] W wielu publikacjach dotyczących teorii zarządzania zaobserwowano tendencje różnorodnego (często zamiennego) stosowania terminów metod i technik heurystycznych. Z uwagi na podjętą problematykę badań ostatecznie odniesiono się do metod heurystycznych.

– nie ma jeszcze wystarczająco dobrej teorii dla danej dziedziny pozwalającej na otrzymywanie zadowalających rozwiązań (zazwyczaj w dziedzinach młodych) i można się oprzeć jedynie na doświadczeniu (zdobywanym często metodą „prób i błędów");

– istnieje otrzymane na gruncie teorii rozwiązanie, ale nie jest ono satysfakcjonujące, stąd dąży się do uzyskania lepszego wyniku.

Heurystyka obejmuje swoim zasięgiem bardzo duży obszar. Jej zastosowanie w życiu codziennym jest bardzo szerokie aczkolwiek nie zawsze świadome, często występuje bez nazywania procesów odkrywania i tworzenia oraz sposobów ich wspomagania mianem "heurystycznych".

Heurystyka jest umiejętnością wykrywania nowych faktów i związków miedzy nimi, prowadzi do formułowania hipotez umożliwiających odkrycie nowych prawd naukowych, jest przeciwieństwem logiki, która uczy je udowadniać [20, 100, 8, 10, 112].

Heurystyką nazywa się też podejście mające na celu twórcze rozwiązanie problemu, zarówno logicznego, kierowniczego, jak i matematycznego (np. rozwiązanie zadania, zbudowanie definicji), szczególnie przez eksperyment, często przy pomocy metody prób i błędów, odwoływania się do analogii i uogólnień. Słowo *heurystyka* wywodzi się od greckiego słowa heurisco, co oznacza odkrywać, znajdować. Początków heurystyki można doszukiwać się już w starożytności. Pierwsze, najbardziej znane użycie pierwowzoru tego słowa zawdzięczamy Archimedesowi. Podczas słynnej kąpieli, w trakcie której miał odkryć podstawowe prawo hydrostatyki (zwane od jego imienia prawem Archimedesa), wykrzyknął „heureka!". Zostało to błędnie rozpowszechnione jako „eureka!", co oznaczało „odkryłem", „znalazłem". Innych elementów początków heurystyki można się doszukiwać w działalności sofistów, doskonalących sztukę dyskutowania oraz przede wszystkim u Sokratesa, w jego metodzie nauczania samodzielnego rozwiązywania problemów. Tematyką tą zajmowali się również: Euklides – interesujący się sztuką odkrywania, czy Pappus, który w 300 r. n.e. w dziele „Collectiones" mówił o analyomenos, czyli o sztuce rozwiązywania zadań [100].

Do grona wybitnych heurystyków zaliczamy między innymi: Kartezjusza, G.W. Leibniza, B. Bolzano oraz G. Polya.

R. Descartes (1596–1650) bardziej znany jako wielki filozof niż matematyk, miał pomysł rozważenia faktu, że często dzieła poskładane z wielu osobno powstałych części i wykonywane ręką rozmaitych mistrzów są mniej doskonałe niż te, nad którymi pracował tylko jeden człowiek. Ta myśl przewijająca się przez „Rozprawa o metodzie" staje się

krokiem w rozwoju heurystyki. Kartezjusz cały czas poszukuje metody uniwersalnej, jakiegoś uniwersalnego „heurystycznego algorytmu" prowadzącego do wszechogarniającego poznania w granicach ludzkich możliwości. Miał to opisać w książce „Reguły kierowania umysłem", której jednak nigdy nie ukończył.

Swój wkład w tę naukę ma również **G.W. Leibniz** (1646–1716), jeden z najtęższych i najwszechstronniejszych umysłów wszechczasów. Pisał on: *Nie ma nic ważniejszego niż ujrzeć źródła odkrycia, które moim zdaniem są bardziej ciekawe niż samo odkrycie*. Dążył on do zrozumienia *wszystkiego, co daje się zinwentaryzować*. O swoich przemyśleniach na ten temat miał napisać książkę „Sztuka dokonywania odkryć". Niestety, nigdy nie powstała. Możemy się o nich dowiedzieć z innych prac, gdyż liczne fragmenty jego rozważań są temu poświęcone.

Dokładny opis heurystyki przedstawił **B. Bolzano** (1781–1848). Nie zamierzał on jak jego poprzednicy sformułować uniwersalnej metody heurystycznej, ale dokonać systematycznego uporządkowania i jasnego zaprezentowania metod zastosowanych z powodzeniem w praktyce naukowej. Punktem wyjścia jego praktyki i doświadczeń naukowych są dane, które zbiera, analizuje ich cechy charakterystyczne, porównuje oraz klasyfikuje zgodnie ze swoim logicznym i krytycznym sposobem myślenia. Cały zarys problematyki heurystycznej znajdujemy w „Sztuce odkrywania". Autor wyjaśnia w niej elementarne pojęcia heurystyczne, a następnie przedstawia ogólne reguły heurystyczne.

Specyficzną dla heurystyki formą myślenia powinno być „rozmyślanie". Bardzo ważny jest dla tego rozmyślania element woli, świadomy i określony cel, powód lub zamiar tego rozmyślania. Rozmyślanie to, nie jest działaniem zwyczajnym, lecz złożonym z wielu elementów. Tu zagadnieniem metodologicznym powinno być udzielenie odpowiedzi na pytanie, w jaki sposób można zapoczątkować, sterować i określać wolną złożoną działalność umysłową tak, aby doprowadzić do zamierzonego sukcesu. Odpowiedzi na postawione pytania Bolzano uważa za reguły lub przepisy metodologiczne. Metody heurystyczne mają służyć inicjacji rozmyślania. Należy oczekiwać, że będzie ono uwarunkowane formą i treścią zadania lub pytania. Z każdym pytaniem wiąże się element zadania, z każdym zadaniem związany jest element pytania, a z każdym pytaniem i zadaniem wiąże się pragnienie, życzenie rozwiązania problemu.

Możliwość zrozumienia i formułowania ważnych zagadnień wiąże Bolzano ze świadomym poszukiwaniem pożytecznego sposobu formułowania pytań i wyodrębnianiem czegoś nieznanego. Uważa, że zadaniem koniecznym jest precyzowanie i rozwijanie rdzenia problemu, aż do jednoznacznego postawienia zagadnienia. Następnym

koniecznym krokiem jest postawienie pytania dotyczącego rozwiązywalności tego problemu, aby nie zapędzić się w ślepą uliczkę poszukiwań. Często rozstrzygnięcie tego pytania pojawia się dopiero w chwili uzyskania pozytywnego wyniku pracy nad rozwiązaniem. Po ujawnieniu krytycznego pytania wstępnego Bolzano przechodzi do pytań wstępnych lub zagadnień pomocniczych, przy czym kontynuuje wyjaśnianie problemu. Poszukiwane rozwiązanie problemu rzadko jest osiągane wprost. Mogą tu być pomocne pytania wstępne, dotyczące wstępnych problemów pomocniczych. Jednak by one miały sens muszą być logicznie podporządkowane problemowi zasadniczemu.

Bolzano rozróżnia dwa podstawowe rodzaje postępowania heurystycznego: bezpośrednie i pośrednie. Postępowanie bezpośrednie określa się jako działanie wprost lub naturalne. Składa się z prób wyprowadzenia „poszukiwanego" z danych lub z tego wszystkiego, co ma z nim nierozerwalny związek. Postępowanie pośrednie polega na wydedukowaniu „poszukiwanego" w sposób regresywny – od „tworu" do „tworzywa". Początkowo poszukuje się, więc czegoś, z czego można wydedukować „poszukiwane". Trudność tego postępowania polega na odkrywaniu obiecujących, prowadzących do pozytywnego wyniku hipotez. Do tego rodzaju postępowania Bolzano zalicza indukcję całkowitą i niecałkowitą oraz postępowanie „przez analogie". Jednak za lepsze i doskonalsze postępowanie uważa Bolzano kombinacje postępowań podstawowych. Istotne znaczenie dla postępowań heurystycznych mają następujące problemy:

1. Krytyczna refleksja nad wszystkimi faktami i sądami, dotyczącymi znajdowania poszukiwanego rozwiązania problemu.
2. Celowe znaki lub oznakowania
3. Unaocznienie sobie przedłożonego problemu w jego decydujących aspektach, przede wszystkim w logicznych związkach między jego pojedynczymi elementami.
4. Konieczność krytycznego sprawdzania znalezionego rozwiązania.
5. Sposób myślenia w toku czynności heurystycznych.

Bolzano nie podaje ogólnego schematu postępowania heurystycznego, jednak można w jego przemyśleniach doszukać się głównych faz takiego schematu:

1. Odkrycie pytania celowego.
2. Wstępne rozważanie, np. czy przedłożone pytanie nadaje się w ogóle do rozwiązania, oraz postawienie pytań wstępnych.
3. Właściwe rozwiązywanie (postępowanie pośrednie, bezpośrednie lub kombinowane).
4. Kontrola rozwiązania, jego uzasadnienie.

Twórcą nowoczesnej heurystyki jest **G. Polya**. W trakcie swojej wieloletniej pracy dużą część czasu poświęcił na badania sposobów rozwiązywania zadań. Aż trzy książki poruszają ten problem: „Zadania i twierdzenia z analizy", „Jak to rozwiązać", „Odkrycie matematyczne". Dla Polya badanie heurystyki ma znaczenie praktyczne. Uważa, że lepsze zrozumienie operacji myślowych najczęściej użytecznych przy rozwiązywaniu zadań może mieć dodatni wpływ na nauczanie, a szczególnie na nauczanie matematyki. Polya swoje badania i prace poświęca problemom rozwiązywania zadań przede wszystkim z matematyki. W książce „Jak to rozwiązać" przedstawia nowoczesne ujęcie heurystyki.

Tradycyjne teorie poznania i nauki przez długi okres traktowały marginalnie fakt istnienia heurystyki. Nie zajmowano się nią przez kilkanaście wieków. Problemem dokonywania odkryć zajął się dopiero mało znany mnich z Majorki, Ramon Lull (Raimundus Lullus). Żył on w latach 1235–1316 i skonstruował „maszynę myślącą" [21]. Składała się ona z koncentrycznych, ruchomo sterowanych tarcz, na których umieszczone były figury symbolizujące określone, podstawowe pojęcia. W wyniku odpowiedniego przemieszczenia tarcz dawały się one ustawić w pożądanej kolejności. Poprzez takie kombinatoryczne postępowanie było możliwe otrzymanie wszystkich możliwych kombinacji.

Następnie zagadnieniem tym zajęli się dopiero: Kartezjusz („Reguły kierowania umysłem"), angielski filozof Francis Bacon („Novum organon") oraz niemiecki matematyk i filozof Gottfried Wilhelm Leibniz („Sztuka dokonywania odkryć"). Leibniz kładł nacisk na kombinatoryczne aspekty myśli twórczej, Bernard Bolzano zaczął uprawiać heurystykę normatywną w ramach szeroko pojętej logiki[101]. W dziewiętnastym i w początkach dwudziestego wieku wyobraźnia, nieodzownie związana z procesem twórczym, była do tego stopnia podejrzana, że nieomal przeciwstawiano ją samej koncepcji poznania naukowego. Nie była ona doceniona nawet mimo opinii Alberta Einsteina, który mówił, że "wyobraźnia jest ważniejsza niż wiedza". Niestety, nadal dominowało przywiązywanie uwagi do samej wiedzy oraz traktowania marginalnie procesu twórczego ludzkiego umysłu.

Dużo czasu minęło zanim wyobraźnię i jej efekty ponownie zaczęto odkrywać i akceptować w badaniach. Heurystyka jako nauka ukształtowała się jednak dopiero w latach sześćdziesiątych XX wieku, a samo pojęcie *heurystyka* przeszło długą drogę w historii. Metody heurystyczne są coraz częściej stosowane nie tylko w filozofii, psychologii, logice,

---

[101] Praca zbiorowa pod redakcją S. Jedynaka, Mała encyklopedia filozofii, Oficyna Wydawnicza Branta, Bydgoszcz, 1996

Ogólnie w historii rozwoju heurystyki można wyszczególnić następujące okresy:

- okres działalności filozofów w starożytności;
- okres od średniowiecza aż do początków współczesności, kiedy to podejmowane były pierwsze próby stworzenia heurystyki; mówiono wtedy o nauce o odkryciach, odkrywaniu procesu uczenia, uniwersalnych reguł pozwalających na dokonywanie odkryć naukowych;
- lata pięćdziesiąte i sześćdziesiąte XX wieku to okres dominacji przekonania, że niemożliwe jest stworzenie systemu, który gwarantowałby dokonywanie odkryć naukowych, że celem nie powinno być odkrywanie uniwersalnych metod, ale pojedynczych reguł heurystycznych, które na podstawie doświadczenia upraszczają proces dochodzenia do rozwiązania;
- lata siedemdziesiąte, czyli okres prób, które zaprowadziły porządek w nieprzejrzystych dotąd zbiorach reguł tak, by mogły być one przydatne w większej mierze dla potrzeb pracy naukowej;
- lata osiemdziesiąte – okres rozczarowania brakiem efektywnych zastosowań metod heurystycznych, również na skutek wzrostu zainteresowania gwałtownie rosnącymi możliwościami obliczeniowymi komputerów i wzrostem ich dostępności (pod względem cenowym i łatwości obsługi);
- lata dziewięćdziesiąte – lata „ukrytego" rozwoju heurystyki jako metody i techniki wykorzystywanych między innymi w sztucznej inteligencji.

W algorytmice heurystyką nazywa się „niepełnowartościowy" algorytm, który umożliwia znalezienie w akceptowalnym czasie przynajmniej „dostatecznie dobrego", przybliżonego rozwiązania problemu, choć nie gwarantuje tego we wszystkich przypadkach[102].

[102] Za [100].

3.3.2. Reguły algorytmiczne a reguły heurystyczne

Występuje zasadnicza różnica w osiąganiu wyników na drodze heurystycznej oraz algorytmicznej. Są to dwa przeciwstawiane sobie pojęcia. Algorytm można zdefiniować jako procedurę prowadzącą do rozwiązania problemu. Pojęcie algorytmu jest w praktyce stosowane w dwóch potocznych znaczeniach:

- całkowicie mechaniczna sekwencja kroków;
- ogólna procedura prowadząca do celu.

Heurystyka jest regułą myślenia, którą czasem należy wykorzystywać, mimo braku gwarancji uzyskania rozwiązania. Postępując zgodnie z pierwszym znaczeniem, zawsze otrzymamy odpowiedź. Heurystyka nie daje takiej pewności.

Przykładem pierwszego określenia sensu słowa algorytm mogą być algorytmy stosowane w matematyce, np. znajdowanie pierwiastków równania kwadratowego, najmniejszej wspólnej wielokrotności dwóch liczb (sprowadzanie do wspólnego mianownika dwóch ułamków zwykłych). Drugi sens słowa algorytm pochodzi z informatyki i jest pojęciem o ogólnej procedurze postępowania. W związku z tym każdy program komputerowy (nieważne jak skomplikowany), jest algorytmem w tym sensie.

Tak więc główna różnica między podejściem rutynowym (stosując algorytmy), a twórczym (stosując heurystykę) polega na tym, że pierwsze podejście zawsze daje rozwiązanie (czas oczekiwania na nie może być bardzo lub nieskończenie długi), podczas gdy podejście twórcze nie zawsze jest skuteczne, może się okazać zawodne. Algorytmy zakładają deterministyczne podejście do zjawiska, a heurystyka – po części stochastyczne.

Tak jak to zostało wcześniej zasygnalizowane, heurystyka jest wszędzie tam, gdzie występuje zjawisko twórczości. Najzwięźlejszą i dość często stosowaną definicją tego pojęcia jest: „twórcze rozwiązywanie problemów". Element twórczości jest tu silnie przeciwstawiany postępowaniu rutynowemu. Każde bowiem odkrycie, wynalazek czy nowa idea powstaje w wyniku twórczych cech i twórczej działalności człowieka. Choć powstały techniki zmierzające do wymuszania twórczości, do ujęcia jej w sztywne ramy proceduralne, to jednak nie da się ich sformułować w postaci algorytmu postępowania zawsze dającego pozytywne, oczekiwane efekty [63].

Heurystykę cechują następujące właściwości:

- odkrywanie i tworzenie nowych rzeczy i zjawisk;
- rozwiązywanie problemów w sposób twórczy;

- wspieranie procesu tworzenia oraz rozwój cech z tym związanych;
- wykrywanie powiązań między faktami;
- samodzielne dochodzenie do prawdy;
- tworzenie hipotez;
- brak gwarancji uzyskania najlepszego rozwiązania.

Twórcze rozwiązywanie zadań, a więc stosowanie heurystyki, wymaga odejścia od rutyny krępującej twórczość oraz przyjęcia postawy nastawionej na innowacyjność (oczekiwanie i przygotowywanie się na zmiany). Dzięki temu można odkrywać nieznane dotąd rzeczy, zjawiska oraz tworzyć „nowe", np. przez wykrywanie cech łączących fakty, uogólnianie ich i rozwijanie. Można też korzystać z analogii i rozwiązań stworzonych przez innych oraz je udoskonalać. Najlepsze jednak efekty osiąga się przy wspomaganiu samodzielnego dochodzenia do odnalezienia rozwiązania, co nie tylko daje satysfakcję, ale również pomaga w rozwiązywaniu kolejnych problemów w rezultacie zdobytego doświadczenia. Czynności umysłowe człowieka są regulowane przez reguły algorytmiczne, bądź przez reguły heurystyczne. Obie te grupy charakteryzują się trzema głównymi cechami.

Reguły heurystyczne, po pierwsze, są regułami zawodnymi. Stosowanie ich nie gwarantuje rozwiązania zadania. Z punktu widzenia rozwiązania zadania można wyróżnić heurystyki słabe i heurystyki mocne. Wykorzystując te ostatnie, dość często można osiągnąć rozwiązanie zadania.

Kolejną właściwością reguł heurystycznych jest to, że są one mniej określone niż algorytmy. Nie zawsze wskazują one dokładnie, jaki łańcuch operacji należy wykonać, pozostawiając człowiekowi dużą swobodę w wyborze kolejnych operacji.

Po trzecie heurystyki są bądź ogólne, bądź szczegółowe. Heurystyki ogólne, czyli niespecyficzne, można stosować do większości zadań. Tak na przykład reguły: „Rozpoczynaj pracę od analizy celu" czy też „Próbuj wykorzystać dotychczasową wiedzę", mogą sterować procesem planowania wydatków rodzinnych, jak też procesem konstruowania ogólnej teorii naukowej. Heurystyki szczegółowe, czyli specyficzne, są adekwatne tylko w określonych zadaniach. Należą do nich reguły szachowe czy reguły dowodzenia plutonem.

Reguły algorytmiczne również mają trzy cechy. Po pierwsze, są one niezawodne, czyli, że gwarantują rozwiązanie każdego zadania danej klasy, eliminują ryzyko niepowodzenia. Po drugie, algorytmy są dobrze określone, to znaczy wskazują one jednoznacznie, jaki skończony łańcuch operacji należy wykonać w danym zadaniu.

Ponadto, algorytmy są przepisami masowymi, a więc za ich pomocą można rozwiązać nie jedno, lecz całą klasę zadań.

Uzasadnienie stosowania heurystyki w różnych dziedzinach naszego życia można znaleźć między innymi w pracach J. Feldmana (1972), K. Millera (1971), A. Nowella i H.A. Simona (1972).

Reasumując, można uznać (w pewnym uproszczeniu) postępowanie proceduralne (szablonowe) – za algorytmiczne oraz rozwiązanie nieproceduralne – za heurystyczne.

Reguły heurystyczne zdaniem J. Kozieleckiego odgrywają znaczącą rolę w rozwiązywaniu zadań złożonych[103], niekonwencjonalnych i twórczych. Ponieważ nieznane są algorytmy formułowania nowych hipotez naukowych, rozwiązywanie z tym związanych problemów odbywa się dzięki metodom heurystycznym [68][104].

3.3.3. Zastosowanie wybranych metod heurystycznych do rozwiązywania problemów pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej

Istnieje wiele metod opartych na regułach heurystycznych, które prowadzą do wytworzenia określonych rozwiązań danej sytuacji, zweryfikowania ich, a następnie wprowadzenia ich w życie. Metody te mogą być wykorzystywane zarówno przez pojedyncze osoby, jak też przez grupy osób. Poniżej dokonany zostanie przegląd i krótka charakterystyka najczęściej spotykanych i jednocześnie najbardziej reprezentatywnych pod względem heurystycznym metod.

Jak już wcześniej wspomniano, myślenie jest nieodłączną czynnością heurystyczną, dzięki której powstają różnorodne pomysły. Jednym z bardziej specyficznych zjawisk występujących w fazie wytwarzania pomysłów jest olśnienie. Polega ono na nagłym odkryciu nowego kierunku poszukiwań czy końcowego pomysłu. Olśnienia pojawiają się przeważnie w przerwie między fazami myślenia. Często po wielu bezskutecznych próbach rozwiązania problemu człowiek odkłada go na pewien czas lub w ogóle przestaje się nim interesować. Właśnie w takiej przerwie może powstać odpowiedni pomysł. Jednak wbrew dość powszechnej opinii tak osiągnięty wynik nie zawsze jest poprawny i użyteczny. Istnieją dwie główne teorie wyjaśniające zjawisko olśnienia. Pierwszą z nich jest teoria inkubacji, zgodnie z którą pojawienie się pomysłu związane jest z nieświadomym procesem myślenia.

---

[103] Do takich można zaliczyć sytuacje, w których występuje deficyt informacji o sytuacji powietrznej.

[104] J. Kozielecki, Psychologiczna teoria decyzji, PWN, Warszawa 1967.

Po porzuceniu problemu proces wytwarzania pomysłu trwa dalej, z tym że jest on nieświadomy. W procesie tym następuje powstawanie pomysłu rozwiązania. Po sformułowaniu go dostaje się on do świadomości człowieka.

Druga teoria związana jest z wygasaniem błędnych nastawień. Po przeprowadzeniu pracy nad danym problemem następuje okres wypoczynku, kiedy to człowiek uwalnia się od błędnych kierunków poszukiwań. Dzięki świeżości umysłu związanej z wypoczynkiem mózgu może spojrzeć na problem z nowego punktu widzenia, może odkryć właściwy kierunek myślenia.

Jedną z najbardziej znanych metod tworzenia nowych pomysłów w celu rozwiązywania problemów stanowi **burza mózgów**, wymyślona w 1936 roku przez **A. Osborna**. Metoda ta składa się ona z dwóch zasadniczych etapów: sesji twórczej oraz sesji oceniającej. W czasie sesji twórczej obowiązują trzy zasady:

- liczy się liczba pomysłów;
- brak krytyki;
- pomysły podane przez innych mogą być podchwycone i rozwijane.

W skład zespołu w czasie pierwszej sesji powinno wchodzić około dwunastu osób, w tym 1/3 stanowić powinni laicy. Nie może być osób pozostających w związkach przełożony–podwładny. Należy zapewnić, aby poziom inteligencji i zdolności komunikacyjnych był jednakowy. Sesja nie powinna trwać dłużej niż godzinę.

W drugiej sesji uczestniczą 3 osoby, które znają strategię firmy, potencjał branży i nie są zbyt konserwatywne. W czasie drugiej sesji dzieli się pomysły na gorące (do zastosowania w 1 tydzień), uzależnione od dodatkowych badań i analiz (1 miesiąc) i nieużyteczne (ponad 6 miesięcy).

Niektórzy autorzy proponują, aby przed rozpoczęciem sesji każdy ustosunkował się do problemu w celu sprawdzenia jednakowego zrozumienia problemu. Szef przedsiębiorstwa powinien pojawić się na początku i odpowiedzieć na pytania zadawane przez uczestników. Powinno się wcześniej poinformować uczestników, co będzie tematem burzy mózgów. W przypadku braku pomysłów animator powinien posłużyć się listą pytań kontrolnych lub przedstawić swoje pomysły.

Możliwe zahamowania to: zaniedbanie warunków materialnych spotkań grupowych, brak przygotowania grupy do dyskusji, dominacja innych, obawa przed ośmieszeniem się, kompleks niższości. Problem powinien być postawiony tak, aby wywołał krytykę. W 24 godziny po sesji lista z pomysłami powinna wrócić do uczestników celem uzupełnienia. Rezultaty powinny być podane do wiadomości.

Odmianą burzy mózgów jest metoda **Philips 66 BuzzSession** polegająca na tym, że występuje kilka zespołów 6–osobowych pracujących przez 6 minut, po czym robi się sesję grupową. Jeśli nie osiągnie się celów, to procedurę się powtarza.

Następnym przykładem zastosowania reguł heurystycznych jest **metoda delficka**, zwana także metodą szacunku ekspertów. W metodzie tej wykorzystuje się doświadczenie i intuicję wysoko kwalifikowanych specjalistów.

Stosowanie tej metody jest celowe, gdy:

- brak jest danych statystycznych lub gdy ich liczba jest niewystarczająca;
- nie istnieją wystarczająco pewne metody statystyczne oceny zdarzeń na podstawie doświadczeń uzyskanych w minionym okresie;
- występują w rozwoju prognozowanego procesu ostre zmiany, których charakterystyki są mało znane lub w ogóle nieznane [9, 100].

W metodzie szacunku ekspertów zbiera się opinie znawców problemu, który podlega badaniu. Stosowanie tej metody nie ma na celu dostarczenia materiałów umożliwiających późniejsze zbadanie problemu, ale rozwiązanie problemu. Opiera się na założeniu, że im większą wiedzę o przedmiocie posiada dana osoba, tym szybciej i trafniej może ujawnić jego najbardziej istotne aspekty i związki przyczynowo–skutkowe [112].

Kolejną z rozpatrywanych metod jest **metoda morfologiczna**, opracowana przez **Franka Zwicky'ego**. Składa się ona z kilku etapów. Pierwszym etapem jest rozpoznanie problemu (wytyczenie problemu oraz jego definiowanie). Następnie dokonuje się analizy problemu, czyli identyfikacji parametrów problemu (wzajemnie uniezależnionych czynników, cech funkcji lub elementów produktu), np. źródła energii, sposobu wykonania czynności. W dalszej kolejności następuje synteza poszczególnych czynników problemu przez budowę tablicy morfologicznej, która podlega redukcji metodą Molesa. Metoda ta polega na wybraniu losowo dwóch parametrów i zbudowania tablicy. W kolejnej fazie następuje redukcja możliwości nie przedstawiających znaczących wartości. Później wyniki tej tabeli zostają zestawione z kolejnym parametrem itd., aż zostaną użyte wszystkie parametry. W wyniku tego uzyskuje się kilka rozwiązań do zastosowania. Metoda morfologiczna może być wykorzystana w działaniach menedżerskich, głównie do efektywnego podejmowania decyzji. Szczególnego znaczenia nabiera wówczas, gdy należy uwzględnić składniki decyzyjne pochodzące z różnych grup wyznaczających funkcjonowanie firmy ([10] s.182). Dotąd literatura przedmiotu nie dostarczyła żadnych treści potwierdzających jej zastosowanie w strukturach wojskowych. Specyfiką procesu podejmowania decyzji w systemie dowodzenia

OP jest rozwiązywanie zadań złożonych, o dużym poziomie ryzyka, dlatego zastosowanie tej metody może przynieść korzystne rezultaty.

Inną metodą, która zasługuje na zaprezentowanie w niniejszej rozprawie jest **metoda synektyczna**, mająca na celu zestawienie pozornie niezależnych okoliczności. Wykorzystuje ona metafory i podobieństwa pobierane np. z natury. Składa się ona z następujących części:

1. Intensywne zajmowanie się problemem – przedstawienie zagadnienia, pogłębianie zrozumienia problemu, zanotowanie rozwiązań spontanicznych, utworzenie i wybranie definicji zagadnień.
2. Przerwa.
3. Budowanie połączeń przez utworzenie i wybranie analogii bezpośrednich:
   - jeśli można uogólnić, to: należy przeanalizować analogie, ustalić stosunek do zagadnienia, zanotować propozycje rozwiązań;
   - jeśli nie można, to: należy tworzyć i wybrać analogie indywidualne oraz symboliczne po czym jeszcze raz przejść przez punkt 3.
4. Tworzenie rozwiązań.

Synektyka (synectics) to metoda podejmowania decyzji opracowana przez **W.J. Gordona.** Polega na świadomym wymuszonym poszukiwaniu podobieństw (analogii) pomiędzy danym obiektem (przedmiotem, wyrobem, faktem, zdarzeniem, nakładem, efektem, rozwiązaniem organizacyjnym, zarządzaniem itp.) a innymi obiektami w celu poznania, przeniesienia i wykorzystania informacji z opisu obiektu znanego na nieznany (wyjściowy). Słowo *synektyka* wywodzi się z języka greckiego i oznacza łączenie idei i przedmiotów, które nigdy przedtem nie współdziałały i wydaje się, że nie pasują do siebie.

Praktyka decyzyjna dostarcza wiele przykładów na to, że istniejące luki informacyjne są częstą przyczyną podejmowania decyzji ryzykownych, których skutki nie są do końca przewidywalne. Stąd w warunkach tzw. niepewności informacyjnej zasadniczymi narzędziami twórczego rozwiązywania zadań decyzyjnych powinno być: kojarzenie sytuacyjne, odkrywanie faktów, przewidywanie wydarzeń, z czego ostatni z wymienionych czynników oparty byłby na mechanizmie ekstrapolacji zdarzeń. Jednym ze sposobów praktycznego rozwiązania tego problemu byłoby utworzenie w systemie dowodzenia OP komórki (zespołu wytwarzania pomysłów), w skład której wchodziłyby osoby funkcyjne o określonych dla tego typu zadań predyspozycjach. Na rysunku 3.3.1 pokazano powiązania funkcjonalne podstawowych elementów tego zespołu.

Zespół wytwarzania pomysłów powinien wykorzystywać w tego typu działaniach metodę **synektykyczną**, której istotą jest odsunięcie od siebie na pewien czas schematów, logiki oraz metodologii w celu zbadania różnych, pozornie nie związanych ze sobą problemów; przy czym świadomie symuluje się proces działalności twórczej, czyli wywołuje się stany psychiczne, które przyczyniają się do łatwiejszego łączenia ze sobą różnych niezależnych rzeczy [96]. Zastosowanie metody synektycznej do rozwiązywania problemów, z którymi spotykamy się po raz pierwszy jest ze wszech miar pożądane. Zgodnie z tą tezą T. Proctor nie uznaje tej właściwości jako ograniczenie w jej zastosowaniu, a jedynie właściwość[105] stanowiącą stymulator twórczych poszukiwań.

Analogie posłużyły do opracowania metod wyróżniających się cechami heurystycznymi [9, 10][106]. W. Gordon wyróżnił cztery rodzaje analogii (między innymi [112, 97]):

- analogię bezpośrednią (prostą) – poszukiwanie w otoczeniu obiektów podobnych do siebie ze względu na jakąś cechę lub funkcję (najbogatszym źródłem analogii bezpośrednich jest biologia);
- analogię symboliczną – wykorzystywaną najczęściej do oznaczania problemu za pomocą symbolu, który może ułatwić użycie innych analogii i uzyskanie niekonwencjonalnego rozwiązania;
- analogię personalną (antropomorficzną) – osobista identyfikacja z elementami badanego problemu i poszukiwanie rozwiązań przez analizę zdarzeń między poszczególnymi elementami problemu określanymi w kategoriach właściwych dla ludzkich doznań;
- analogię fantastyczną (wyobrażeniową) – poszukiwanie rozwiązań w abstrakcyjnym w świecie fantazji stworzonym przez osoby rozwiązujące problem. Wyobrażenie sobie sytuacji baśniowych, nieskrępowanych żadnymi ograniczeniami, jakie niesie rzeczywistość i tworzenie rozwiązań oryginalnych, niespotykanych w realnym życiu.

Według teorii G. Gordona trudno liczyć na opracowanie czegoś nowego, jeśli nie stosuje się myślenia narzucającego się przez analogie. Jan Antoszkiewicz, akcentując

---

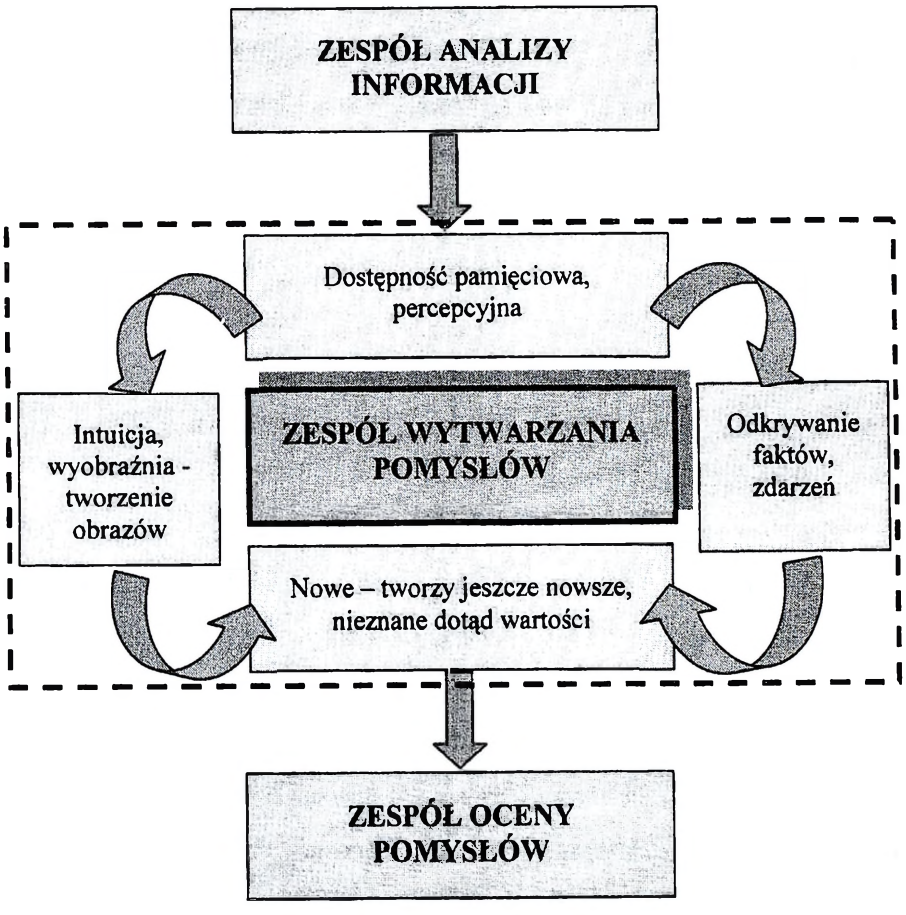
[105] W ocenie autora rozprawy należy uznać to za zaletę w stosunku do poszukiwania rozwiązań o charakterze nowatorskim, w otoczeniu niezbadanych dotąd sytuacjach problemowych.

[106] Dostrzeżone także w pracy: G. Gigerenzer'a, P. Todd'a, Simple heuristic that make us smart, Oxford University Press, 1999.

znaczenie analogii w rozwiązywaniu problemów firmy, stwierdził, że *analogie inicjują, podtrzymują, wznawiają i dynamizują proces twórczy* ([10] s. 171).

Czynnikiem stymulującym proces powstawania nowych pomysłów jest funkcja kojarzenia. Skojarzenie poszczególnych elementów badanego procesu uzyskuje się przez:

- ustalenie płaszczyzny porównawczej;
- kojarzenie przez porównanie;
- gromadzenie uzyskanych rezultatów.



Rys. 3.3.1. Powiązania funkcjonalne zespołu wytwarzania pomysłów

Finalnym etapem wytwarzania pomysłów przy pomocy tej analogii jest weryfikacja wytworzonego pomysłu.

Analogie, czyli inaczej mówiąc porównania, są stare jak świat i praktycznie towarzyszą człowiekowi w każdej jego dziedzinie życia. Intuicyjna skłonność do porównań znajduje zastosowanie także w systemie obrony powietrznej, również w trakcie trwania procesu zbioru i opracowania informacji o sytuacji powietrznej czy też podejmowania decyzji. Jednakże nie mają one odzwierciedlenia w literaturze przedmiotu.

Analogie znajdują również zastosowanie w **myśleniu lateralnym**, którego twórcą jest **Edward De Bono**. Metoda, pozwalająca wyzwolić się z konwencjonalnego sposobu traktowania problemu, sprowadza się w najogólniejszym zarysie do przerwania stereotypowych wzorców działania. Niemal pozbawiony logiki losowy wybór sposobu rozwiązania jest przeciwieństwem logicznych wzorców myślenia, przez co stwarza doskonałe podstawy do tworzenia nowych pomysłów. Myślenie lateralne obejmuje działanie w trzech zasadniczych obszarach: świadomości, alternatywy i metod prowokujących. W metodach bezpośrednich zawiera się między innymi rozwiązywanie pośrednie niemożliwe [112], wymagające wyobraźni w wyszukiwaniu niemożliwych rozwiązań problemu. Znamienną cechą myślenia lateralnego jest tworzenie listy skojarzeń, stanowiące wspólną cechę większości prezentowanych metod heurystycznych. Powyższe właściwości utwierdzają w przeświadczeniu o zasadności wykorzystania tej metody do rozwiązywania problemu deficytu informacyjnego (nawet w przypadkach całkowitej utraty informacji).

Metoda superpozycji polega na łączeniu ze sobą co najmniej dwóch obiektów, aby po odpowiedniej modyfikacji otrzymać nowy obiekt. Należy do najprostszych metod i nie wymaga dużych nakładów. Według teorii [8, 9] cykl poszukiwania pomysłów za pomocą tej metody składa się z kilku czynności, które dla osiągnięcia celu należy powtarzać do skutku. Wśród wspomnianych czynności można wyróżnić:

- ustalenie obiektu wyjściowego;
- utworzenie obiektów skojarzonych (skojarzeń);
- przeprowadzenie superpozycji poprzez dokonanie (w myśli) połączenia kilku obiektów, zakładając uzyskanie nowego sposobu rozwiązania problemu;
- opracowanie wariantów rozwiązania na podstawie wniosków superpozycji.

W metodzie tej na uwagę zasługuje **funkcja kojarzenia**, będąca motorem napędowym powstawania nowych pomysłów i odkryć.

Inną propozycją jest tzw. heurystyka dostępności (znajomości), której idea sprowadza się do automatycznego wnioskowania na podstawie dostępności śladów pamięciowych. Jej walory szczególnie podkreślał G. Gigerenzer (1999), uznając ją za metodę uniwersalną w każdych warunkach sytuacyjnych. Udowodnił, że jej zaletą jest nie tylko szybkość, ale także skuteczność stosowania. Ten sam autor, prezentując w swoich pracach[107] bardziej zaawansowaną wersję heurystyki dostępności pod nazwą *Take the best*, wykazał jej przewagę nad metodami matematycznymi.

Metody heurystyczne znalazły zastosowanie w wielu dziedzinach współczesnego świata, między innymi do:

- prognozowania kryzysu gospodarczego [8, 9, 100];
- określenia zapotrzebowania energetycznego;
- zagrożenia pożarowego;
- rozwiązywania problemów firmy;
- efektywnego zarządzania[108];
- prognozowania rozwiązań technicznych;
- zarządzania informacją;
- wspomagania procesów podejmowania decyzji.

Jedną z pochodnych metod heurystycznych jest **prognozowanie heurystyczne**, czyli przewidywanie nowych obrazów rzeczywistości, które nie zawsze da się opisać za pomocą analizy przeszłości. Często też nazywa się je intuicyjnymi gdyż opierają się one na zdrowym rozsądku i wyobraźni człowieka.

Sednem metod heurystycznych jest dochodzenie do nowych rozwiązań poprzez formułowanie hipotezy. Wykorzystują one opinie specjalistów – oparte tak na intuicji, jak i doświadczeniu do stworzenia odpowiedniej prognozy.

Połączenie w prognozowaniu heurystycznym świadomego wymyślania przyszłości oraz nieświadomego porządkowania i **kojarzenia informacji** dotyczących zajmującego nas fragmentu rzeczywistości, pokazuje nam możliwy obraz przyszłości, niekoniecznie będący tym, co dotychczas sprawdziliśmy. Myślenie systematyczne to akt świadomego umysłu, zaś

---

[107] G. Gigerenzer, D.G. Goldstein, Reasoning the Fast and Frugal Way: Models of Bounded Rationality, Psychological Review, 103 (4), 1996 oraz G. Gigerenzer P. Todd, Simple heuristic that make us smart, Oxfort University Press, 1999.

[108] Między innymi w pracy: P. Fraisse'a , J. Piaget'a, Inteligencja, PWN, Wraszawa 1967.

myślenie intuicyjne to dar naszej podświadomości. Intuicja i przeczucie mogą doprowadzić do powiązania ze sobą wielu odległych faktów.

Metody prognostyczne są wykorzystywane do takich celów prognostycznych jak:

- wskazywanie daty zajścia interesującego nas zdarzenia;
- określenie poziomu badanego zjawiska;
- określenie punktów zwrotnych w przebiegu zmiennych;
- określenie prawdopodobieństwa występowania danego zdarzenia
- określenie natężenia występowania nowych zjawisk
- tworzenie ocen faktów determinujących przyszłość;
- ocena przydatności utworzonych modeli do prognozowania.

Wnikliwa analiza tego, co oferuje heurystyka, utwierdziła autora w przekonaniu, że określona implementacja niektórych z przedstawionych metod do celu rozwiązywania problemów deficytu informacji o sytuacji powietrznej jest możliwa. Przeprowadzone badania dowodzą, że najbardziej temu celowi sprzyjałaby: **analiza morfologiczna**, **myślenie lateralne**, **superpozycja**, ale przede wszystkim **analogia symboliczna i bezpośrednia** oraz **metoda synektyczna**.

3.3.4. Metoda skojarzeń sygnatur obiektów powietrznych

Mimo powszechności stosowania metody heurystyczne są raczej znane nielicznym osobom. Różnorodne przejawy można zauważyć miedzy innymi w takich dziedzinach, jak: dydaktyka, nauki historyczne, filozofia, wspomaganie podejmowania decyzji, metody organizatorskie, konsulting, optymalizacja, prognozowanie oraz przeszukiwanie, programowanie komputerów, finanse, medycyna, gry logiczne, marketing.

Z punktu widzenia potrzeby osiągnięcia drugiego celu badawczego, konieczne było posiłkowanie się właściwościami heurystyki w zakresie przeszukiwania oraz prognozy. Prognozowanie przy pomocy heurystyki sprowadza się do przewidywania nowych obrazów rzeczywistości, niekoniecznie dających się opisać za pomocą analizy przeszłości.

Wśród celów prognostycznych, do jakich wykorzystuje się metody heurystyczne, na uwagę zasługują między innymi:

1. Określenie poziomu badanego zjawiska.
2. Określenie prawdopodobieństwa wystąpienia jakiegoś zdarzenia.

3. Określanie punktów zwrotnych w przebiegu zmiennych.
4. Określenie natężenia występowania zjawisk nowych.
5. Tworzenie ocen faktów determinujących przyszłość.
6. Ocena przydatności utworzonych modeli do prognozowania.
7. Wskazanie miejsca, a także daty zajścia interesującego nas obiektu (zdarzenia).

Z kolei przeszukiwanie heurystyczne umożliwia identyfikowanie miejsca poszukiwanego obiektu. Przeszukiwanie na ślepo spotykane w teorii sztucznej inteligencji stosowane jest w przypadkach, gdy nie mamy żadnej informacji[109].

Dla osiągnięcia drugiego celu niniejszej rozprawy konieczne było określenie podstawowego warunku: opracowanie metody wymaga choćby znikomej (śladowej) informacji o sytuacji powietrznej. Informacja ta może np. zawierać dotychczasowe wskazania miejsca znajdowania się obiektu powietrznego, jego poszczególne parametry (parametry lotu) oraz parametry odbieranego sygnału przez urządzenia rozpoznania przestrzeni powietrznej.

W procesie badawczym skoncentrowano się na wyselekcjonowanych w podrozdziale 3.1 sposobach pozyskiwania informacji, wyznaczając na wstępie dwa zasadnicze nurty:

- poszukiwania miejsca znajdowania się („zagubionych") obiektów powietrznych;
- identyfikowania ich typu.

W konsekwencji podjętego wątku poszukiwań badawczych, zdeterminowanych właściwościami wybranych metod heurystycznych, potwierdziła się rola percepcji w procesach poznawczych. Mając na względzie często subiektywną ocenę odbieranych przez nas informacji, autor niniejszej rozprawy postanowił odnieść się do obiektywnej oceny tych zjawisk. Znaczenie percepcji podkreślał między innymi P. Lasoń ([145] s. 6), który zwrócił uwagę na to, że skoro może następować tzw. złudzenie wizualne, to również myślenie może być obarczone różnego rodzaju odchyleniami od obiektywności. Zdaniem tego samego autora, często decyzje podejmowane są na podstawie tzw. heurystyk poznawczych– wskazówek ukierunkowujących wynik myślenia, lecz go nie determinujących.

O ile normatywne techniki podejmowania decyzji konstruowane są jako algorytmy, o tyle myślenie człowieka wykorzystuje często heurystyki zamiast algorytmów. Jednakże

---

[109] Z badań psychologicznych wiadomo, że człowiek stosuje „zmodyfikowane progresywne pogłębianie", ograniczone poszukiwanie w głąb oparte na heurystykach związanych z doświadczeniem i zdolnością oceny przewagi danej sytuacji. Ekspert pamięta 50–100 tysięcy „prototypowych" wzorców lub struktur. Mechanizm "porcjowania" przy pamiętaniu złożonych struktur. W. Duch, Katedra Informatyki Stosowanej UMK, wykłady nt. *Sztuczna inteligencja. Szukanie heurystyczne.*

używanie zamiennie słowo *inklinacja*[110] ze słowem *heurystyka* jest w ocenie autora niniejszej rozprawy zbyt dużym uproszczeniem. Wprawdzie heurystyki mogą być wyuczone w treningu twórczości (De Bono, 1998), jednakże *inklinacja* bardziej odnosi się do wrodzonych i zarazem stosowanych mechanizmów człowieka.

Uniknięcie ślepego przeszukiwania jest głównym zadaniem metod heurystycznych[111]. Procedurę szukania w głąb należy więc zmodyfikować, wprowadzając funkcje oceny przydatności poszczególnych ruchów i porządkując węzły na danym poziomie według oceny ich „atrakcyjności". Takie procedury stosowane są często w grach planszowych, np. przy grze w warcaby czy szachy. Zadanie często sprowadza się do maksymalizacji funkcji oceny statycznej i można w tym przypadku stosować różne metody maksymalizacji. Najprostszym rozwiązaniem jest „wspinanie do góry" (hill climbing), czyli metoda gradientowa, polegająca na wybraniu (na każdym kroku) maksymalnie korzystnego rozwiązania. Funkcja heurystyczna ocenia tu, jak bardzo dany stan oddalony jest od celu, czyli stanu pożądanego.

Jest to więc szukanie w głąb ukierunkowane przez funkcję celu. Ponieważ nie gwarantuje to znalezienia absolutnego maksimum, modyfikuje się tę metodę tak, by na każdym kroku mieć listę kilku najbardziej obiecujących węzłów. Taką modyfikację określa się mianem „**najpierw najlepszy**".

Ciekawe podejście do rozwiązywanego problemu proponuje teoria w obszarze obliczeń ewolucyjnych. Przedstawiona w publikacji „Polowanie na muchy"[112] analiza jest jednym z wyznaczników w obszarze podjętych problematyką badań.

Lokalizacja miejsca znajdowania się muchy w pomieszczeniu stanowi przestrzeń naszych poszukiwań. Jej zdefiniowanie nie stwarza żadnych problemów z uwagi na określony i skończony rozmiar. W przestrzeni tej istnieje tzw. funkcja przystosowania, określana mianem odległości naszego ucha od muchy (kierujemy się tylko brzęczeniem). Problem ten można skomplikować przez wprowadzenie do pomieszczenia większej liczby much (różnych rozmiarów), wydających dźwięki o różnych częstotliwościach. Wówczas funkcja przystosowania komplikuje się, gdyż każda z much stanowi mniejsze lub większe „lokalne" optimum, a tylko jedna z nich stanowi globalne. Wobec tego jak rozwiązać zaistniały problem identyfikacji miejsca znajdowania się „poszukiwanej" muchy?

---

[110] P. Lasoń , Rola inklinacji poznawczych w podejmowaniu decyzji konsumenckich, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2000.

[111] Z. Mikołajczyk, Techniki organizatorskie w rozwiązywaniu problemów zarządzania, PWN, Warszawa 2002.

[112] P.B. Myszkowski, Polowanie na muchy, czyli o obliczeniach ewolucyjnych mniej poważnie. IT nr 10 (29) 08.11.2004.

Można to uczynić metodą prób i błędów. Trudna to rzecz, więc na pomoc zwołujemy domowników. Każdy ustawia się w innej części pokoju i próbuje niezależnie znaleźć owada – każdy reprezentuje potencjalne rozwiązanie – w ten sposób mamy już kilka różnych rozwiązań (populacja). W takiej sytuacji owocna może być współpraca miedzy łowcami i wpływanie na innych poprzez komunikację (krzyżowanie rozwiązań).

Z czasem w takiej grupie możemy mieć problemy z różnorodnością rozwiązań – gdy wszyscy są w jednym miejscu i nie sposób dojść, gdzie jest ta mucha. Jeśli w takiej sytuacji została zlokalizowana mniejsza mucha, możemy mówić o zbieżności do optimum lokalnego. Aby temu zapobiec, możemy zrobić „niewielkie" założenie i powielić X razy nasze pomieszczenie wraz z muchami i naszymi domownikami. W tych niezależnych pokojach odbywa się poszukiwanie TEJ muchy (model wyspowy algorytmu genetycznego lub jak kto woli: równoległe przetwarzanie algorytmu genetycznego). Aby ułatwić rozwiązanie, osoby z różnych pokoi cyklicznie komunikują się ze sobą (migracja rozwiązań).

Przedstawiona metoda immanentnie związana jest z metodą będącą przedmiotem poszukiwań badawczych, z tą różnicą, że obszarem poszukiwań jest otwarta przestrzeń powietrzna, w której występują różnorodne zakłócenia. Tego typu model można dalej rozbudowywać, np. o taktykę działania lotnictwa, możliwości pilotażu, wartości chwilowe odbieranych przez urządzenia odbiorcze sygnałów, głosu pilota itp.

Z kolei podejście D. Harela[113] do problemu poszukiwania może być pewnym wzorcem do rozwiązywania problemu nie wykrytych lub „zagubionych" obiektów powietrznych. Na podstawie tej teorii obiektów tych można poszukiwać „na ślepo", w przypadkowy i nieuporządkowany sposób, lub można to również uczynić systematycznie, np. skierowując środki rozpoznania kolejno sektor po sektorze. Można również obliczyć położenie obiektu z zastosowaniem podejścia analitycznego, w którym uwzględnione zostanie ostatnie wykrycie (namiar), kurs oraz przypuszczalna prędkość obiektu. Mimo że oba sposoby postępowania wydają się racjonalne, rozsądek nakazuje zastosować rozwiązanie heurystyczne, w którym dominującą rolę będzie odgrywać doświadczenie oraz intuicja. Choć istnieje obawa, że powyższe poszukiwania okażą się nieskuteczne, to istnieje też duże prawdopodobieństwo poprawnego oszacowania miejsca znajdowania się (na podstawie pierwotnego kursu, prędkości, itp.) oraz zidentyfikowania „poszukiwanego" obiektu. Owo pozyskiwanie, a w zasadzie poszukiwanie (bądź uzupełnienie) informacji o sytuacji

[113] D. Harel na przykładzie zagubionych szkieł kontaktowych przedstawia sposoby ich poszukiwania z wykorzystaniem podejścia heurystycznego. Wyróżnia on miedzy innymi rozwiązanie sekwencyjne (uporządkowane), losowe oraz mieszane.

powietrznej z pewnością powinno się sprowadzać do procesu myślowego, którego podstawą powinna być podstawowa funkcja heurystyczna – **funkcja kojarzenia**.

Podkreślając rolę heurystyk, należy podkreślić rolę heurystyk decyzyjnych, gdyż finalnym etapem oceny odbieranego przez człowieka obrazu (np. przestrzeni powietrznej) jest decyzja – co obserwuje. Stąd w teorii ograniczonej racjonalności (Simmon 1955) rezygnuje się z poszukiwana optimum wyboru na rzecz odnalezienia wyboru satysfakcjonującego[114]. Dlatego heurystyki decyzyjne stanowią swoisty skrót myślowy, zdeterminowany czasem podejmowania decyzji , a także działaniem w warunkach natłoku informacji. Heurystyki tego rodzaju wprawdzie sprawdzają się w warunkach wyżej wymienionych ograniczeń, jednakże myślenie na „skróty" niesie za sobą zwiększone ryzyko popełniania błędów oceny określonej sytuacji. Ten przykład jest znamienny dla oceny informacji o sytuacji powietrznej w warunkach występowania różnorodnych ograniczeń w jej odbiorze[115]. Oczywistość wpływu percepcji informacji na jakość jej wykorzystania w procesie podejmowania decyzji w zasadzie nie powinna budzić żadnych wątpliwości. Potwierdzeniem tego stwierdzenia są rezultaty z przeprowadzonych badań (między innymi [21, 68, 26]), z których wynika, że za pomocą wzroku człowiek wchłania 83% informacji, natomiast za pośrednictwem słuchu tylko 11%. Przy analizie cech percepcyjnych nie sposób pominąć umiejętność zapamiętywania odbieranych informacji. Przekazana informacja w postaci:

- mówionej po trzech godzinach jest zapamiętywana w 70%, po trzech dniach– zaledwie w 10%;
- wizualnej – odpowiednio w 72% i 20%;
- mówionej i wizualnej zwiększa się do 85% i 65% [91].

Czy w związku z tym ma znaczenie wielkość określana mianem zapamiętywania odbieranej informacji? Z pewnością ma i to duże, chociażby ze względu na możliwość aktualnego w danej chwili odniesienia się do zachodzących uprzednio zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości. Tego typu korelacja w przypadku obrony powietrznej może dotyczyć np. charakteru lub specyfiki działania przeciwnika powietrznego, wykorzystania środków zakłóceń radioelektronicznych. Można więc uznać, że zapamiętana informacja lub jej cechy

---

[114] P. Lasoń, Rola inklinacji poznawczych w podejmowaniu decyzji konsumenckich, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2000.

[115] W rozdziale 1 przedstawiono główne przyczyny ograniczeń w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej.

charakterystyczne mające znamiona „bazy wiedzy informacyjnej" mogą być szczególnie przydatne w trakcie analizy i przetwarzania obrazu informacji o sytuacji powietrznej.

Zasygnalizowane w poprzednim podrozdziale właściwości wybranych metod heurystycznych potwierdziły celowość prowadzonych w tym zakresie badań. Zidentyfikowanie wspólnej cechy (kojarzenia) u większości z analizowanych metod zawęziło obszar poszukiwań badawczych, przez co zarysowały się nadzieje osiągnięcie drugiego celu niniejszej rozprawy.

Konsekwentne działania w kontekście poszukiwań badawczych doprowadziły autora niniejszej rozprawy do metody synektycznej i przyniosły potwierdzenie jej walorów i oczekiwań z nią związanych. Rekomendowanie tej metody wynikało przede wszystkim z jej walorów i możliwego zastosowania w złożonych procesach produkcyjnych, technologicznych, procesach zarządzania jednostkami gospodarczymi, badaniach naukowych i pracach koncepcyjnych. Ponadto skuteczność tej metody odnotowuje się nawet w takich przypadkach, gdy zawodzą inne metody poszukiwania nowych pomysłów czy też lepszych rozwiązań ([10] s. 184). Na podkreślenie zasługuje fakt, że generalną zaletą synektyki jest możliwość integracji pozornie nie mających związku elementów w nowe jakościowe całości.

Proponowana metoda jest także po części zbieżna z metodą dowolnych skojarzeń[116] (Taylor, 1961). To jedna z najważniejszych metod tworzenia pomysłów przyjmuje dwie formy, a mianowicie:

- tworzenie dowolnych skojarzeń bez określonej struktury;
- tworzenie dowolnych skojarzeń zgodnie z przyjętą strukturą.

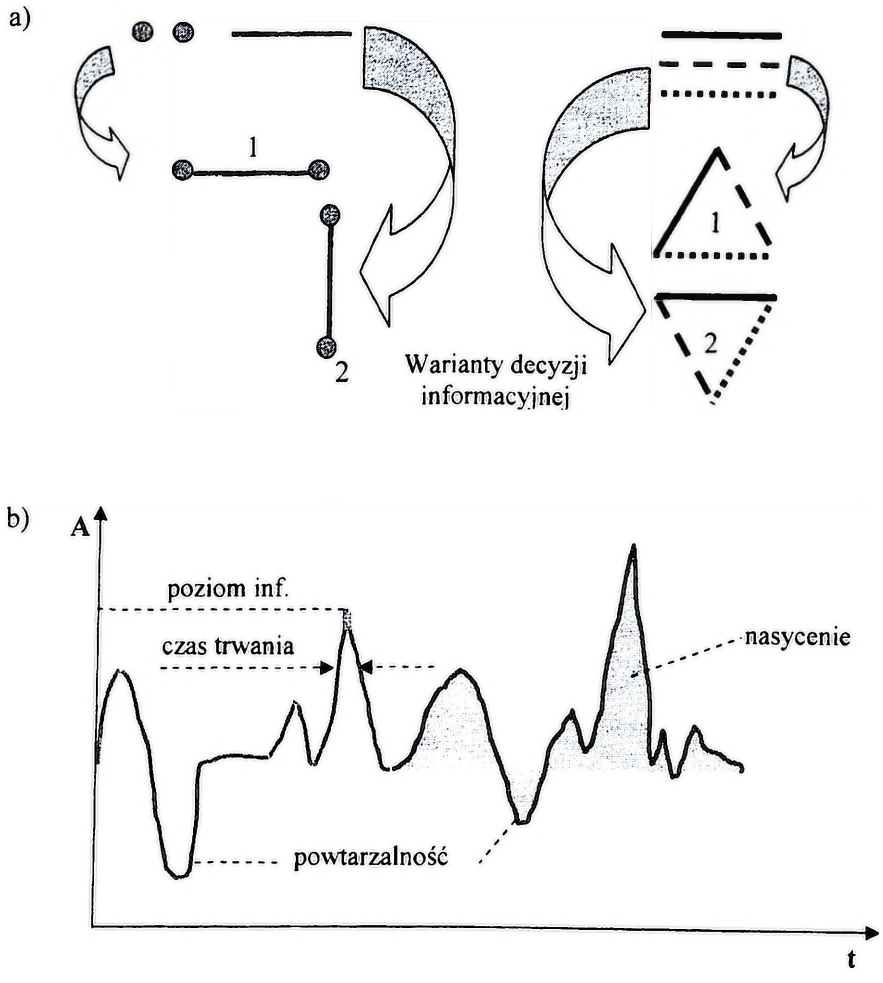
Postulat kojarzenia elementów w nową całość był zbyt ogólny, aby możliwe było zastosowanie tych metod na gruncie problemów deficytu informacji o sytuacji powietrznej. Dlatego w ich miejsce zaproponowano w dalszej części rozprawy parametry cechy (sygnatury) obiektów znajdujących się w przestrzeni powietrznej.

Traktując informację o sytuacji powietrznej jako informację o wielowymiarowej przestrzeni sygnałów, w procesie kojarzenia należy uwzględnić również parametry odbieranych sygnałów. Kojarzenie tego typu może być również oparte na przykład o symbole (rys. 3.3.2 a), parametry, sygnatury itp. (rys. 3.3.2 b).

Wśród wspomnianych parametrów informacyjnych, traktowanych jako sygnatury, podlegające kojarzeniu można między innymi wyróżnić (algorytm genetyczny):

---

[116] J. Penc wyróżnia metodę wymuszonych oraz pośrednich skojarzeń [97].



Rys. 3.3.2. Wybrane parametry informacji o sytuacji powietrznej

1. Miejsce startu (kraj, lotnisko).
2. Parametry lotu.
3. Indeks pilota.
4. Język korespondencji.
5. Taktyka pokonywania systemu wykrywania.
6. Częstotliwości pracy pokładowych urządzeń.
7. Rodzaj zakłóceń.
8. Parametry występujących (stosowanych) zakłóceń.
9. Stosowanie określonych manewrów.
10. Skuteczna powierzchnia odbicia.
11. Sylwetka (kształt) obiektu powietrznego.
12. Uzbrojenie.

13. Ewentualny czas i miejsce obserwacji.
14. Widmo optyczne.
15. Widmo akustyczne.
16. Głos (częstotliwość akustyczną) pilota.
17. Miejsce (wykrycia) ostatniego położenia w przestrzeni powietrznej.

Mechanizm praktycznego zastosowania metody kojarzenia cech w zakresie identyfikacji miejsca znajdowania się w przestrzeni powietrznej obiektów oraz ich typu sprowadza się do:

- stworzenia bazy cech obiektów powietrznych (zdarzeń panujących w przestrzeni powietrznej);
- odbioru rzeczywistych parametrów z różnych źródeł informacji o sytuacji powietrznej;
- skojarzenia tych sygnatur;
- porównania z istniejącą bazą cech;
- wyselekcjonowaniem (odrzuceniem fałszywych) właściwych rezultatów;
- o ile to konieczne, kolejne powtórzenie operacji kojarzenia i porównania.

W trakcie prowadzenia rozpoznania przestrzeni powietrznej powinno się dążyć do uzyskania jak największej liczby danych (cech rozpoznawczych) informacyjnych. Jednakże należy pamiętać, że wśród odbieranych danych mogą się znaleźć te mało istotne (zbędne, które utrudniające selekcję), ale również, co jest ważniejsze – mogą być błędne.

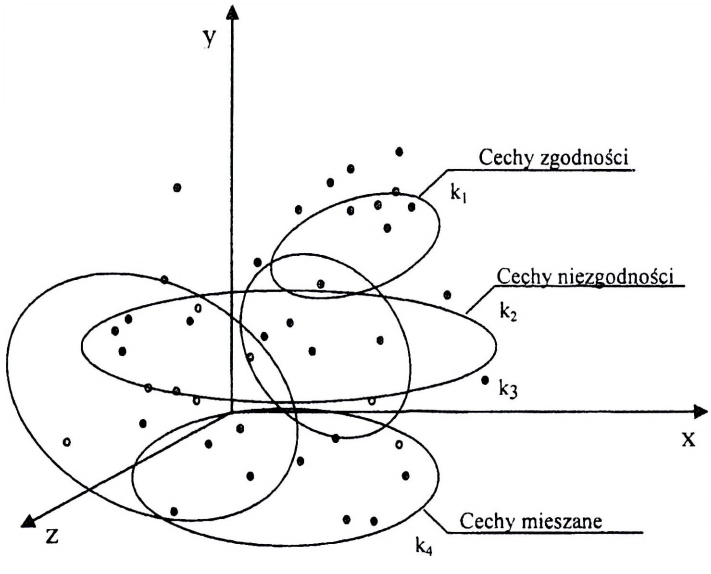
Stosując swoiste przełożenie do metody morfologicznej, która sprzyja zidentyfikowaniu między innymi różnego rodzaju produktów [112, 8, 9], po utworzeniu jak najszerszej listy sygnatur obiektów, należy w dalszej kolejności sporządzić tabelę sygnatury.

W kolejnym etapie powinno nastąpić skojarzenie powiązanych wzajemnymi relacjami cech, w wyniku czego możliwe będzie wygenerowanie pewnego obrazu identyfikującego obiekty powietrzne oraz ich trasę. Nowe doświadczenia w zakresie kojarzenia cech rozpoznawczych pozwalają tworzyć następne wzorce, zasilające już istniejącą bazę danych – w myśl zasady „nowe – tworzy nowsze". Podobny mechanizm można wykorzystać do wyróżnienia poszukiwanych obiektów spośród licznych celów pozornych lub zakłóceń o charakterze kombinowanym.

Dociekliwość w obszarze metody kojarzenia dopingowała do identyfikacji tej funkcji, której sedno sprowadza się między innymi do postrzegania teraźniejszości przez pryzmat doświadczenia związanego z przeszłością. Funkcja tego typu może być realizowana dzięki

właściwościom układu poznawczego człowieka, tzw. primingu[117]. W ogólnym rozumieniu „priming" jest jednym z najistotniejszych komponentów myślenia. Dzięki posiadanemu doświadczeniu jesteśmy w stanie **kojarzyć nowe informacje** z tymi, które już posiadamy. Heurystyka znajomości (dostępności) jest najprostszą i najszybszą inklinacją występującą w procesie identyfikacji obiektów. Jej nieświadomy charakter pozwala również wnioskować, iż jest najczęściej wykorzystywaną przez człowieka heurystyką, choć jak wykazuje G. Gigerenzer, nie jest uniwersalna. Sprzyja ono także tworzeniu spójnej struktury wiedzy, co jest bardzo istotne dla rozwiązywania problemów informacyjnych.

W przedstawionej na rys. 3.3.3 kompozycji kojarzenia sygnatur obiektów powietrznych każda informacja, nawet ta chwilowa (śladowa), może być albo potwierdzeniem wykrytego i obserwowanego już obiektu, albo (co jest szczególnie istotne) jego pierwszym wykryciem. Ten rodzaj pozyskiwania informacji jest ważny, gdyż wykrycie i śledzenie obiektów powietrznych (głównie na małych wysokościach) ze względu na wspomniane uwarunkowania terenowe, techniczne oraz atmosferyczne okazuje się mocno ograniczone.

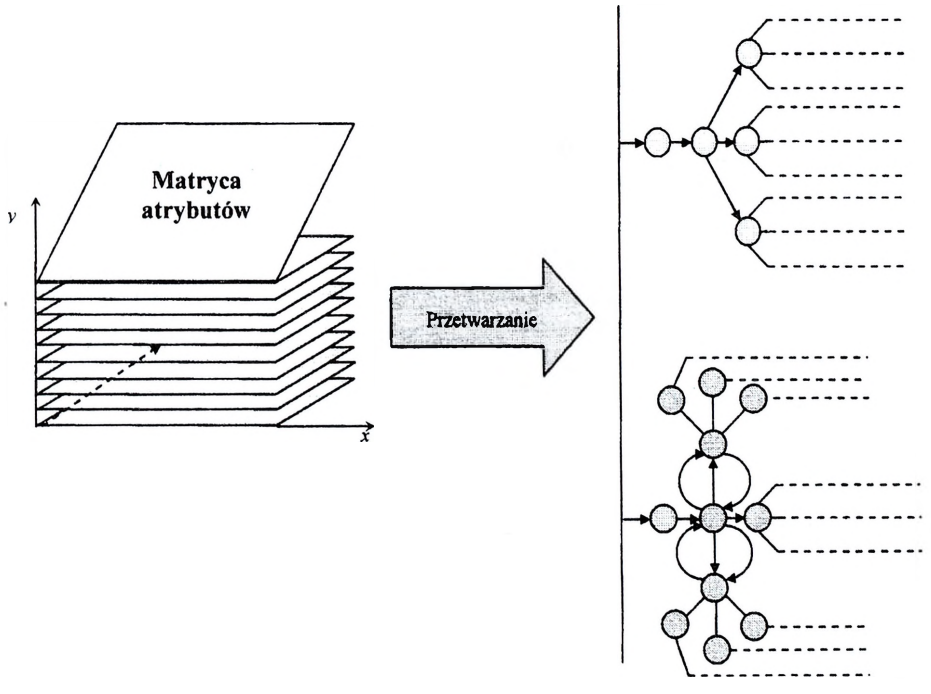


Rys. 3.3.3. Przykład kojarzenia sygnatur informacyjnych

[117] Priming może być powodowany przez bodźce zmysłowe występujące w teraźniejszości lub przez cechy sytuacji, w których zapamiętujemy dany ślad lub go przywołujemy – P. Lasoń, Rola inklinacji poznawczych w podejmowaniu decyzji konsumenckich, Politechnika Wrocławska, Wrocław, 2000. s. 16.

Analizując literaturę przedmiotu (między innymi [9, 10, 100, 112]), a także stosując analogię problemów firmy w warunkach ograniczonej informacji, autor niniejszej rozprawy uznał, że słuszne jest wykorzystanie do rozwiązania problemu pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej: listy atrybutów w połączeniu z metodą kojarzenia sygnatur.
Ze względu na specyfikę problemów decyzyjnych w obronie powietrznej nieodzowna w tym procesie wydaje się **analogia bezpośrednia** oraz **symboliczna**. Celowe również wydaje się wykorzystanie techniki **porównań** wraz z **metodą morfologiczną**.

Brak informacji lub jej zakłócenie są to między innymi te czynniki, które zagrażają podejmowaniu racjonalnych decyzji. W okresie dezinformacji nie lada problemem jest podejmowanie jakichkolwiek decyzji, a co dopiero racjonalnych. Nie trzeba w tym miejscu nikogo przekonywać, że dla systemu dowodzenia OP informacja o sytuacji powietrznej jest niezbędna do jego prawidłowego funkcjonowania, a jej choćby chwilowe zakłócenia mogą mieć nieodwracalne skutki w zakresie skutecznego dowodzenia, czy też utraty określonych sił i środków walki. Dlatego w tego typu sytuacjach problemowych, wydaje się słuszne sięgnięcie do rozwiązań niekonwencjonalnych, których konstrukcja byłaby oparta na sposobach twórczego rozwiązywania problemów.



Rys. 3.3.4. Dwutorowy system rozwiązujący problemy informacyjne

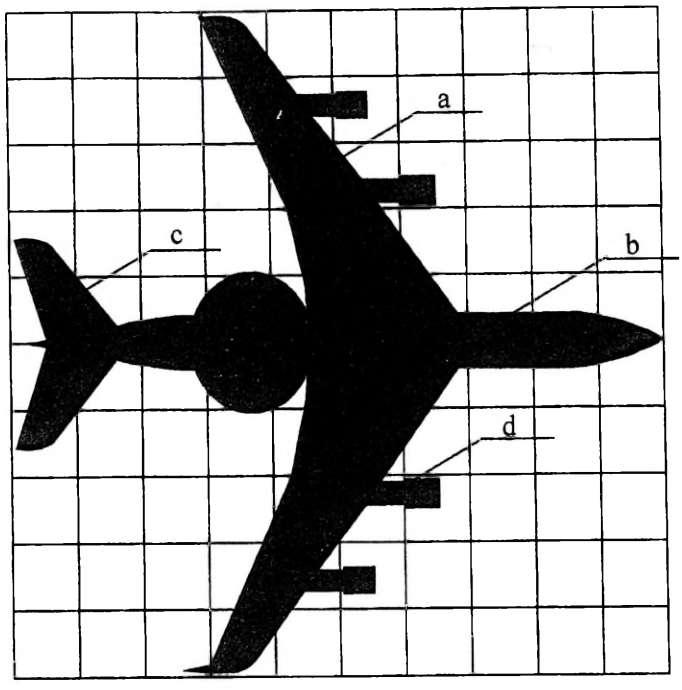
Celowe wydaje się także powiązanie logicznego (dobrze określone struktury uzyskiwanej informacji) oraz niekonwencjonalnego sposobu myślenia, w którym problemy otwarte będą rozwiązywane za pomocą intuicji i wyżej wymienionych metod heurystycznych.

Z przeprowadzonych badań wynika, że do rozwiązywania problemów dobrze określonych (zdeterminowanych) wskazane jest korzystanie z reguł algorytmicznych. Natomiast zastosowanie reguł heurystycznych wydaje się niezbędne w sytuacjach niezdeterminowanych. Stąd uważa się, że kompromisem byłoby zastosowanie systemu rozwiązującego problemy informacyjne na podstawie jednych i drugich reguł[118] (rys. 3.3.4). Wydaje się zasadne w procesie rozwiązywania deficytu informacji o sytuacji powietrznej, aby kojarzenie określonych cech obiektów powietrznych odbywało się na podstawie o wzorców (parametrów) przechowywanych w bazie wiedzy. Bazę tę powinny stanowić przede wszystkim cechy odwzorowujące zobrazowanie istniejących obiektów powietrznych (w różnych położeniach przestrzennych), ich poszczególne charakterystyczne elementy składowe (uskrzydlenie, uzbrojenie, liczba silników itp. rys. 3.3.5). Kolosalne znaczenie w procesie wykrycia i identyfikacji mają także cechy termalne (opisane w podrozdziale 2.2.). Ponadto cechy akustyczne dla różnych typów obiektów powietrznych i różnych odległości. Równie zasadne wydaje się uzupełnienie bazy o taktykę pokonywania OP przez potencjalnego przeciwnika.

W procesie wnioskowania niezwykle przydatne mogą się okazać tzw. **tablice decyzyjne** z nadanymi dla określonych cech parametrami. Porównywanie tablic decyzyjnych może być dokonywane w sekwencji szeregowej (zależnej) bądź równoległej. Pierwszą z nich można porównać do cyklu produkcyjnego, w którym występujący na wejściu półfabrykat podlega w ustalonym trybie kolejnym transformacjom. Niezbędnym warunkiem prawidłowego funkcjonowania tego cyklu jest posiadanie informacji w kolejnych etapach prowadzonej analizy identyfikacyjnej. Z kolei w drugim cyklu, bardziej uniwersalnym, analiza tablic decyzyjnych dokonywana jest niezależnie od kolejności otrzymywanej informacji.

---

[118] Według J. Kozieleckiego [68] zadania standardowe można rozwiązywać za pomocą reguł algorytmicznych i heurystycznych.



Rys. 3.3.5. Wybrane optyczne sygnatury obiektu powietrznego

Najogólniej idea konstrukcyjna procesu wnioskowania zmierza do wielostopniowej selekcji (im więcej, tym korzystniej), aż do „zawężenia" identyfikacji do poziomu rodzaju obiektu powietrznego, a następnie uszczegółowienia jego parametrów statycznych i dynamicznych.

Na przykład: jeśli pierwsza z tablic zawiera ogólne sylwetki obiektów, to po określeniu, czy jest to obiekt typu śmigłowiec, samolot transportowy itp., konieczne jest dalsze uszczegółowione selekcjonowanie. Stąd porównywanie cech określonego obrazu z zawartymi w bazie systemu ekspertowego wzorców powinno być dokonywane z uwzględnieniem dokładniejszych sygnatur obiektu takich jak: kształt skrzydeł, usterzenia, usytuowanie silnika (liczba silników), czy też uzbrojenie.

Wskazane jest sukcesywne uzupełnianie sygnatur obiektów powietrznych, aby odzwierciedlały wszelkie nowe absorbowane przez zmysły użytkownika parametry.

Heurystyka oferuje całe spektrum mechanizmów myślenia. Racjonalność postępowania w tym względzie nie leży w istocie heurystyki lecz w jej dopasowaniu do sytuacji problemowej. Wybór jak zawsze należy do człowieka, który tak naprawdę
na co dzień posługuje się tymi niektórymi metodami oraz technikami. Właściwości metody kojarzenia gwarantują pozyskiwanie informacji o sytuacji powietrznej w warunkach

częściowego deficytu. Dowodem tej tezy jest skonstruowany model oraz algorytm programu IDENTYFIKACJA, który został zweryfikowany[119]. Algorytm oraz opis programu zawarto w kolejnym rozdziale niniejszej rozprawy.

Z kolei w warunkach całkowitej utraty informacji możliwe jest jej pozyskanie głównie na skutek wykorzystania intuicji, doświadczenia oraz metody synektycznej.

Zupełnie innym zagadnieniem procesu decyzyjnego jest przekształcanie (transformacja) informacji w decyzję. Przekształcenie to może dokonywać się zarówno w umyśle jednej osoby, jak i grupy osób. Tony Buzan dokonał porównania myślenia tradycyjnego z twórczym myśleniem równoległym. Oczywiście tego typu transformacji nie należy pojmować jako przetwarzanie informacji (danych) za pomocą komputera, który jest jedynie pomocniczym elementem w procesie decyzyjnym. W tak pojmowanym procesie dowodzenie jest podejmowaniem decyzji, które oparte jest na rezultatach myślenia twórczego, stanowiącym ciąg rozwiązań określonych sytuacji decyzyjnych.

3.4. Zastosowanie heurystyki w informatycznym pozyskiwaniu i opracowaniu informacji o sytuacji powietrznej

Dotychczasowa klasyczna rola komputera sprowadzała się do wykonywania kolejnych obliczeń według ściśle określonego algorytmu, jednak tam, gdzie zwykłe obliczenia nie wystarczają, bo nie jest znany algorytm, przychodzi z pomocą heurystyka. Próby rozszerzenia zastosowań komputerów o dziedziny dotąd typowo ludzkie, a tym samym rozbudowania ich aparatu wnioskowania o doświadczenie i intuicję, doprowadziły do powstania tzw. heurystyk.

Zasady postępowania heurystycznego nie opierają się na ścisłej naukowej analizie problemu. Są one raczej próbą przeniesienia w cyfrową rzeczywistość subtelności i zawiłości rozumowania człowieka. Metody heurystyczne stają się niezastąpione dla wielu problemów, w których albo nie znamy rozwiązania analitycznego (tj. matematycznych wzorów), albo są one zbyt kosztowne i pracochłonne. Heurystyka opiera się na praktycznych, intuicyjnych regułach. Decydując się na jej użycie, świadomie wyposaża się komputer w ogólne zasady, jakie zdają się wynikać z dotychczasowego doświadczenia, mimo iż często nie jest wiadomo, czy są faktycznie poprawne.

---

[119] Sprawozdanie z eksperymentu naukowego przedstawiono w podrozdziale 4.3.

Reguły heurystyczne znalazły zastosowanie w informatyce głównie w zakresie sztucznej inteligencji oraz w naukach organizacji i zarządzania, m.in. w ramach badań operacyjnych. Metody te są stosowane tam, gdzie wymagane są duże ilości obliczeń, jak np. przy metodach drzew decyzyjnych. Używa się ich do redukcji liczby branych pod rozwagę możliwości, np. poprzez wykluczenie wariantów pozbawionych szans powodzenia. Metody heurystyczne znajdują szersze zastosowanie m.in. w systemach eksperckich i systemach wspomagania decyzji. Wynalezienie komputerów i krytyka umiejętności człowieka związanych z rozwiązywaniem problemów wymagających wielu czynności obliczeniowych zapoczątkowały pogląd, że komputery mogłyby rozwiązywać problemy. W 1955 roku A. Newell, C. Shaw i H. Simon zaprezentowali koncepcję „myślących" maszyn, natomiast w 1957 roku opublikowali opis programu, który prowadził do rozwiązania problemów z dziedziny logiki matematycznej. Programowi temu nadano nazwę „Logik-Teoretyk" (Logic Theorist). Jednak heurystyka obarczona jest ludzką ułomnością, w związku z czym komputer przestaje być nieomylny, gdyż jej zastosowanie nie gwarantuje sukcesu. Praktyczna zasada może po prostu w szczególnym przypadku całkowicie zawieść. Z tego powodu byłoby mało rozsądne powierzać życie komputerowi [144]. Tam, gdzie wchodzi ono w rachubę, zwykle werdykt programu nie jest ostateczny i odpowiedzialność bierze na siebie „żywy" ekspert. Dobrym tego przykładem jest proces podejmowania decyzji na stanowiskach dowodzenia, gdzie maszyny służą tylko do pomocy, a ostateczne rozwiązanie należy do człowieka.

W 1959 roku Anthony Samuel napisał jeden z pierwszych i najbardziej znanych programów będących przejawem sukcesów w rozwoju sztucznej inteligencji. Był to program Checker, służący do gry w szachy[120]. Wraz ze wzrostem mocy obliczeniowej komputerów rósł stopień zaawansowania ich oprogramowania. W 1980 roku pierwszy raz program komputerowy o nazwie The Moor zwyciężył w grze z szachowym mistrzem świata. Znany z ostatnich lat komputer Deep Blue firmy IBM wygrał pojedynek szachowy z Garrim Kasparowem.

Programy szachowe przeznaczone do rozwiązywania złożonych problemów są coraz lepsze, a stało się to możliwe właśnie dzięki zastosowaniu heurystyk. Odnosząc się do rysunku 3.2.1[121] można stwierdzić, że program tego typu po prostu stara się naśladować myślenie człowieka i z wszystkich możliwych posunięć wybiera do analizy tylko te, które są logicznie najlepsze.

---

[120] Słownik pedagogiczny wyd. 2. Warszawa, PWN, 1981.

[121] Przedstawionego na str. 128.

Oprócz zastosowań technik heurystycznych w technologii komputerowej opracowane zostały metody, które w pewien, ograniczony jednak sposób, imitują twórcze umiejętności człowieka. Wchodzą one w skład metod sztucznej inteligencji, spośród których najbardziej znane stały się: algorytmy genetyczne oraz techniki i elementy heurystyczne w sieciach neuronowych, logice rozmytej.

Celem jest tutaj użycie mocy obliczeniowych maszyny i specjalnego oprogramowania do zdobywania wiedzy i rozwiązywania skomplikowanych problemów. Dyskusyjne może być zaliczenie metod „twórczości" komputerów do heurystyki, ale patrząc na ich efekty (a nie na podmiot realizujący), się można pokusić o takie stwierdzenie.

Wraz z powstaniem tego „przyjaznego narzędzia" nasunęło wiele pytań związanych z ludzką egzystencją we współczesnych uwarunkowaniach techniczno-technologicznych. Do dzisiaj nie wiadomo, na ile „inteligencja" komputerów jest w stanie pomóc człowiekowi w wielu różnorodnych sytuacjach. Równie ważnym problemem jest to, czy człowiek w obecnej dobie stał się w pełni „uzależniony" od wytworu własnej wyobraźni. Trudno jest jednoznacznie ustosunkować się do tych problemów, ponieważ nie dotyczą one jedynie obszarów wiedzy informatycznej, ale również psycho-socjo-społecznej. Można w tym miejscu rozważań zaledwie z określonym prawdopodobieństwem określić zakres ich ekspansji w najważniejsze dziedziny funkcjonowania człowieka. Powyższy problem dotyczy znanej powszechnie zależności „człowieka i maszyny".

Komputery z roku na rok stają się coraz bardziej skomplikowanym, a jednocześnie doskonalszym tworem systemów, w których znalazły zastosowanie. Przyczyną tak szybkich zmian w tym zakresie jest niezmiernie dynamiczny postęp w zakresie technologii komputerowej i „myśli programowej".

Wielu znanych autorytetów analizowało możliwość wykorzystania zaawansowanych technologii informatycznych w różnorodnych dziedzinach życia człowieka, a w szczególności w tych, które cechują się wysoką złożonością rozwiązywanych problemów. Wśród takich dziedzin z pewnością można wyróżnić system obrony powietrznej RP, podlegający z racji wstąpienia naszego kraju do paktu NATO intensywnym przeobrażeniom.

Dowodzenie w systemie obrony powietrznej związane jest z wieloma niekorzystnymi uwarunkowaniami (ograniczeniami), wśród których można m.in. wyróżnić:

- przetwarzanie dużej ilości o różnorodnym skomplikowaniu informacji;
- wypracowanie i podejmowanie decyzji na podstawie niekompletnej, niepewnej (mało wiarygodnej) oraz szybko zmieniającej się sytuacji bojowej;
- podejmowanie decyzji w bardzo krótkim czasie.

Tego rodzaju uwarunkowania determinują racjonalność wypracowanych i podejmowanych decyzji. Dlatego w celu poprawy tego parametru zastosowanie systemów informatycznych[122] w systemie dowodzenia OP wydaje się ze wszechmiar zasadne i korzystne.

Większość współcześnie konstruowanych programów zawiera trzy strukturalne składniki, będące warunkiem czynności myślenia, a mianowicie: dane informacyjne, transformacje oraz reguły (rys. 3.4.1). Dane informacyjne stanowią to wszystko, co jest przydatne w procesie transformacji. Sposób przetwarzania tego, co określane jest mianem danych informacyjnych, określone jest mianem transformacja. Natomiast reguły stanowią swoisty magazyn zasad, norm, procedur czy też metod postępowania. Cały problem dotyczący opracowania inteligentnych programów polega na tym, aby skonstruować takie reguły (metody), które imitowałyby rzeczywiste procesy myślenia.

W procesie myślenia biorą udział trzy składniki: informacje, czyli materiał, operacje umysłowe oraz reguły heurystyczne. Czynność myślenia polega na wykonywaniu łańcucha operacji umysłowych, za pomocą których człowiek kolejno przekształca informacje zakodowane w spostrzeżeniach, wyobrażeniach i pojęciach. Łańcuch ten można przedstawić następująco:

$$\mathbf{m_1 \rightarrow q_1 \rightarrow m_2 \rightarrow q_2 \rightarrow m_3 \ldots\ldots q_m \rightarrow m_k} \qquad [3.4.1]$$

gdzie:

m_1 – informacja początkowa;

$m_1, m_2, \ldots, m_k$ – kolejne informacje;

$q_1, q_2, \ldots, q_m$ – operacje dokonywane na informacjach.

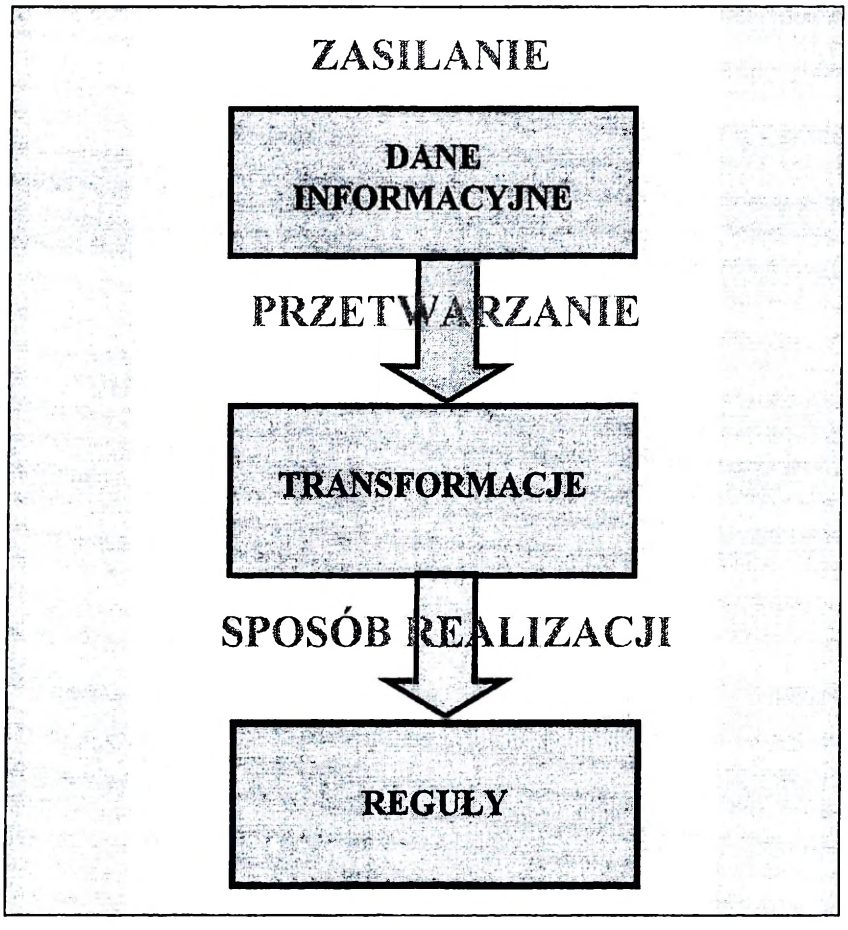
Tak więc transformacja informacji początkowej m_1 za pomocą łańcucha operacji q daje informację m_k, która stanowi ostateczne rozwiązanie zadania.

Zgodnie ze współczesną wiedzą myślenie odbywa się w pamięci krótkotrwałej [68, 116]. W trakcie wykonywania czynności umysłowych w pamięci tej zawsze znajduje się cel lub konkretny podcel, który określa kierunek myślenia. Aby osiągnąć dany cel, jednostka wprowadza do pamięci krótkotrwałej określone pojęcia, operacje umysłowe i heurystyki, które drastycznie redukują liczbę możliwych operacji i decydują o metodzie poszukiwania rozwiązania. Należy dodać, że źródłem wiedzy o świecie jest nie tylko pamięć długotrwała, lecz również środowisko zewnętrzne, które może zawierać dane o tym, jakie informacje

---

[122] Nazywanych inaczej urządzeniami wspomagania podejmowania decyzji.

należy przetwarzać i za pomocą jakich operacji. Jednak możliwości bloku pamięci krótkotrwałej są ograniczone. Nie może znajdować się w nim jednocześnie więcej niż 5–9 elementów, takich jak: heurystyki, operacje i pojęcia. Dlatego też blok ten pobiera z pamięci długotrwałej, czyli aktualizuje, jedynie kilka operacji i pojęć. Po przetworzeniu ich zwraca zbędne elementy, następnie aktualizuje inne dane z tego bloku.

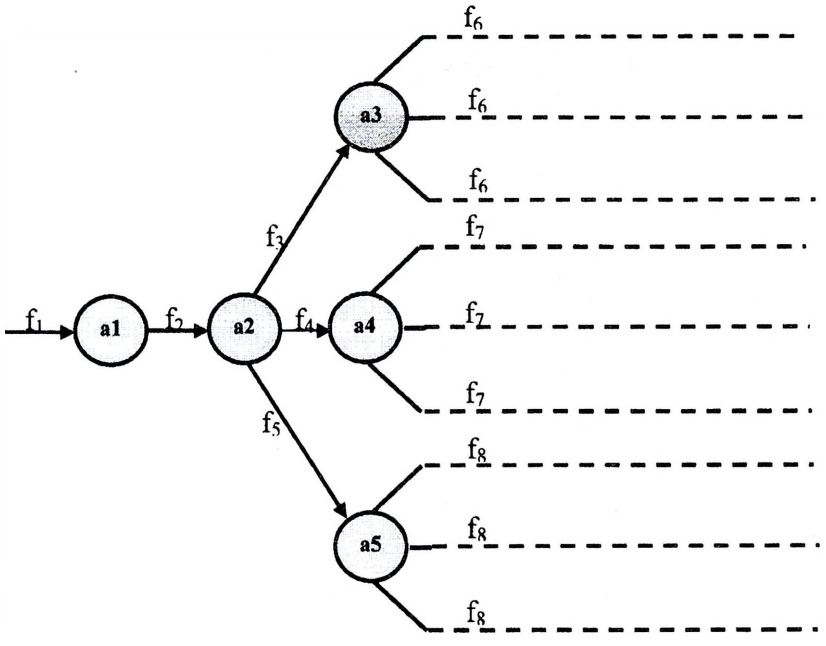


Rys. 3.4 1. Strukturalne czynniki myślenia

W toku czynności rozwiązywania problemu system heurystyk steruje łańcuchem operacji, decyduje on o tym, jakie pojęcia i operacje będą wprowadzane do bloku operacyjnego i jakie będą z niego usuwane. Powodzenie w rozwiązywaniu problemu zależy w dużej mierze od skuteczności reguł heurystycznych stosowanych przez ludzi.

Łańcuch operacyjny składa się z mniejszej lub większej liczby operacji, które są jego ogniwami. W łańcuchu można wyróżnić operacje ważniejsze, czyli kluczowe, mające wpływ na rozwiązanie zadania. Wykonanie tych operacji jest niezbędnym warunkiem osiągnięcia

celu. W skład łańcucha operacji wchodzą też często tak zwane pętle, które powstają w związku z cofaniem się w toku myślenia do faz poprzednich. Wyróżnia się dwa rodzaje pętli. Pętla pierwszego rodzaju wiąże się z wykonywaniem operacji odwrotnych, czyli na przykład materiał m_2 przekształcono za pomocą operacji q_2 w materiał m_3, a następnie poprzez operację q_3 zmieniono materiał m_3 znów w materiał m_2. Pętla drugiego rodzaju powstaje po wykonaniu operacji zerowej q_0, czyli operacji, która nie zmienia materiału początkowego. Najczęstszą przyczyną występowania pętli jest to, że ludzie powracają do poprzednich faz, ponieważ mają poczucie wykonania złego kroku.

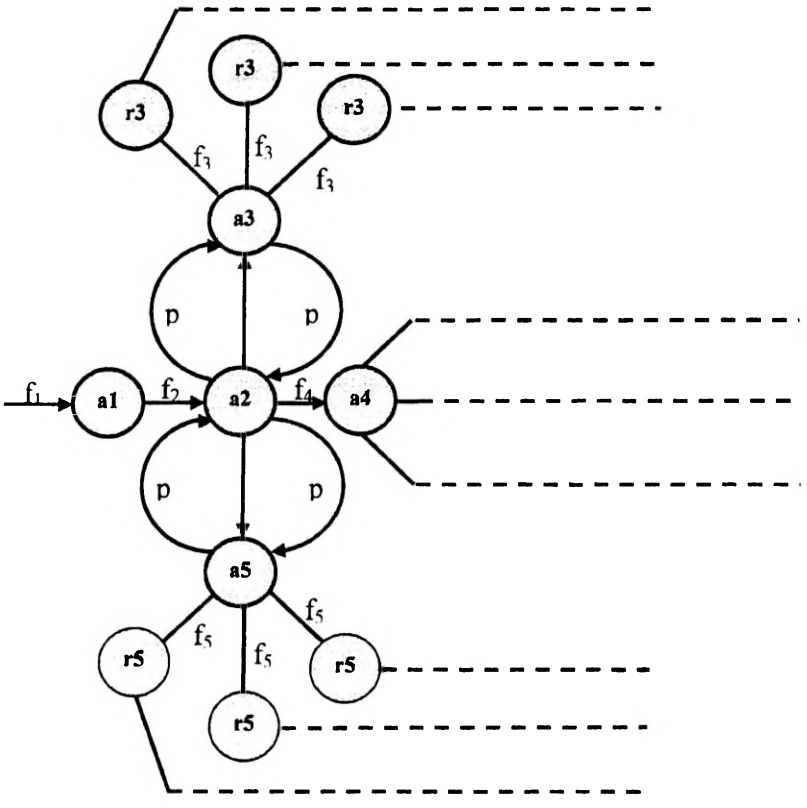


Rys. 3.4.2. Łańcuch operacji rozgałęzionych

W łańcuchu operacji występują również tzw. rozgałęzienia, które według wielu psychologów uznawane są za najbardziej charakterystyczne cechy myślenia. W łańcuchu tym wynik poprzedniej operacji decyduje o operacjach wykonywanych w dalszej kolejności. Jeśli po operacji q_1 otrzymamy informację m_2, to wykonujemy operację q_2, zaś gdy q_1 daje informację m_3, to w następnym kroku przeprowadzimy operację q_3 itd. Sytuacja ta została przedstawiona na rysunku 3.4.2.

Wielowarstwowość rozwiązań każdej sytuacji jest cechą, która szczególnie wyróżnia metody heurystyczne od innych metod. Wyróżnikiem najbardziej rozbudowanych struktur jest uwidocznienie licznych rozgałęzień, będących przyczyną stosowania problemów otwartych, których rozwiązania alternatywne uszczegółowiają proces podejmowania decyzji.

Przykład takiego rozwiązania, w którym wynik poprzedniej operacji wpływa na wykonanie następnej przedstawiono na rys. 3.4.3.



Rys. 3.4.3. Problemy otwarte w strukturze złożonej

Przedstawione rozgałęzienia problemów otwartych są cechą charakterystyczną reguł heurystycznych, w których myślenie produktywne stanowi podstawę rozwiązywania problemów.

Dyskusyjne może być zaliczenie metod „twórczości" komputerów do heurystyki, ale patrząc na ich efekty (a nie na podmiot realizujący), można się pokusić o takie stwierdzenie. W zakresie wykonywania obliczeń według ściśle określonego algorytmu „maszyna" przerasta człowieka szybkością, dokładnością i nieomylnością. Gdyby jeszcze komputer, niczym żywy ekspert, mógł kierować się doświadczeniem i intuicją. Tam, gdzie zwykle rachowanie nie wystarcza, bo nie znamy algorytmu, przychodzi z pomocą heurystyka.

Wiele, nawet bardzo złożonych żądań daje się doskonale sformalizować – przełożyć na matematyczny język komputera. Na podstawie serii zdjęć rentgenowskich zrobionych pod rożnymi kątami komputerowy tomograf potrafi stworzyć dowolny przekrój mózgu, a nawet

w pełni trójwymiarowy obraz. Trudno sobie wyobrazić, by te wszystkie obliczenia byli w stanie wykonać ludzie. Dla komputera są to jednak tylko ściśle określone (choć dosyć złożone) matematyczne przekształcenia, czyli coś, do czego został stworzony.

Próby rozszerzenia zastosowań komputerów o dziedziny dotąd typowo ludzkie, a tym samym rozbudowania ich aparatu wnioskowania o doświadczenie i intuicje, doprowadziły do powstania tzw. heurystyk.

Algorytm heurystyczny nie opiera się na ściślej naukowej analizie problemu. Jest to raczej próba przeniesienia w suchą cyfrową rzeczywistość subtelności i zawiłości rozumowania człowieka. Metody heurystyczne staja się niezastąpione dla wielu problemów, w których albo nie znamy rozwiązania analitycznego (tj. matematycznych wzorów), albo są one zbyt kosztowne. Algorytm heurystyczny opiera się na zasadach praktycznych, intuicyjnych regułach. Decydując się na użycie heurystyki, świadomie wyposażamy komputer w ogólne zasady, jakie zdają się wynikać z naszego dotychczasowego doświadczenia, mimo iż często nie wiemy, czy są faktycznie poprawne.

Dużą zaletą heurystyki jest to, że możemy jej użyć wtedy, gdy jeszcze nie znamy analitycznego rozwiązania problemu. Intuicyjna zasada (hipoteza) może z czasem okazać się kompletnie chybiona. Wtedy po prostu wymienimy ja na inną. Często okazuje się, iż ta pierwsza była całkowicie poprawna lub wymagała tylko niewielkich modyfikacji. W taki sposób heurystyka przyczynia się do poznania prawidłowego rozwiązania.

Trudno bez heurystyki wyobrazić sobie współczesny system ekspertowy (zwany tudzież doradczym). Systemy takie zastępują bądź wspomagają wykwalifikowanych ekspertów w pewnych wąsko określonych dziedzinach. Typowym przykładem jest komputerowy lekarz – program stawiający często diagnozę na podstawie zaledwie kilku objawów. Systematyczna analityczna wiedza łączy symptomy z wszelkimi chorobami.

Znamiennym przykładem wyrafinowanych metod heurystycznych jest popularny program antywirusowy TbScan. Aby wykryć dotąd nie znane wirusy, analizuje on działanie podejrzanego programu tak, jak gdyby robiłby to fachowiec. Nie istnieje jednak matematyczna definicja, kiedy dana sekwencja instrukcji jest wirusem.

Heurystyka stanowi dziś nieodłączny element tzw. sztucznej inteligencji. Być może już wkrótce pozwoli komputerom rozpoznawać obrazy, orientować się w otoczeniu, rozumieć ludzką mowę. Żadnej z tych zdolności nie uda się bowiem w najbliższym czasie wyrazić w postaci matematycznych formułek [53].

Na wstępie można nawiązać do tzw. „inteligencji" programów komputerowych i „sztucznej inteligencji", której aplikacją są m.in. właśnie systemy ekspertowe.

Uważa się, że pierwszą „udokumentowaną" osobą wskazującą na możliwości wyposażania komputerów w „inteligentne" programy, co wcześniej określano mianem „inteligencja maszynowa", był naukowiec angielski Alan Turing (1912–1954), który w 1950 roku opublikował pracę pt. „Computing Machinery and Intelligence". W pracy tej wskazał bezpośrednio na możliwości takiego oprogramowania komputera, że będzie on (komputer) wykazywał cechy zachowania się zbliżone do zachowania się człowieka inteligentnego. Z tej pracy pochodzi też słynny „Test Turing'a", spełnienie którego wskazywałoby na inteligentne zachowanie się komputera wyposażonego w odpowiedni program.

Doświadczenia historyczne i prognozowany rozwój systemów inteligentnych upoważniają do stwierdzenia, że ogromny postęp w sferze informatyki sprawił, iż komputery stały się powszechnym elementem użytkowania w wielu dziedzinach naszego życia. Obecnie są one podstawowym atutem poruszania się w czasie i przestrzeni, ułatwiając tym samym funkcjonowanie człowieka w prostych i złożonych sytuacjach.

Można w tym miejscu rozważań, zaledwie z określonym prawdopodobieństwem określić zakres ich ekspansji w najważniejsze dziedziny funkcjonowania człowieka. Wiele znanych autorytetów analizowało możliwość wykorzystania zaawansowanych technologii informatycznych w różnorodnych dziedzinach życia człowieka, a w szczególności w tych, które cechują się wysoką złożonością rozwiązywanych problemów. Wśród takich dziedzin z pewnością można wyróżnić system obrony powietrznej, podlegający szczególnie w ostatnim okresie dynamicznym przeobrażeniom.

Heurystyka jest również wykorzystana w systemach ekspertowych, których „wiedza" obejmuje znamienne jej cechy charakterystyczne, takie jak:

- odkrywanie i tworzenie nowych rzeczy i zjawisk;
- rozwiązywanie problemów w sposób twórczy;
- wykrywanie powiązań między faktami;
- tworzenie hipotez;
- brak gwarancji uzyskania najlepszego rozwiązania.

Mówiąc o systemach ekspertowych, nie sposób pominąć terminu ekspert. Ekspert (łc. *expertus* 'doświadczony w czymś') jest to specjalista w danej dziedzinie [119]. Według M. Białki, ekspertem jest *człowiek, który nabył dogłębną wiedzę teoretyczną o danej dziedzinie poprzez naukę, wiedzę praktyczną – poprzez długoletnią pracę praktyczną (zastosowaniową) w danym wąskim wycinku wiedzy, jest obdarzony intuicją i ma dar*

stosowania tzw. skrótów myślowych i innych "tricków" pozwalających na "przeskoki" w czasie rozumowania i wybór najkrótszych dróg dojścia do celu, przy rozwiązywaniu danego problemu. Mówimy wówczas, że ekspert posiada dogłębną wiedzę heurystyczną [6]. Natomiast system ekspertowy jest pojęciem z zakresu sztucznej inteligencji. Jest to program komputerowy, którego konstrukcja jest pomocna w procesie podejmowania decyzji oraz umożliwia dostarczanie użytkownikowi (decydentowi) oczekiwanych przez niego informacji. Poziom realizacji zadań stawianych systemowi eksperckiemu powinien odpowiadać poziomowi wiedzy eksperta dziedziny, której to zadanie dotyczy. W ogólny zarysie idea systemu ekspertowego sprowadza się do transformacji wiedzy eksperta w program komputerowy, posiadający odpowiednią bazę wiedzy, reguły wnioskowania oraz język komunikacji z użytkownikiem lub interfejs graficzny na taką komunikację pozwalający. Bazy wiedzy są tworzone na podstawie wiedzy ekspertów-ludzi, w pewnych wypadkach mogą również być generowane automatycznie. Odpowiedzi i ich uzasadnienia tworzone są, przez zgodne z zasadami logiki manipulacje, na znanych systemowi regułach [11, 22]. Struktura systemu zawiera następujące główne komponenty:

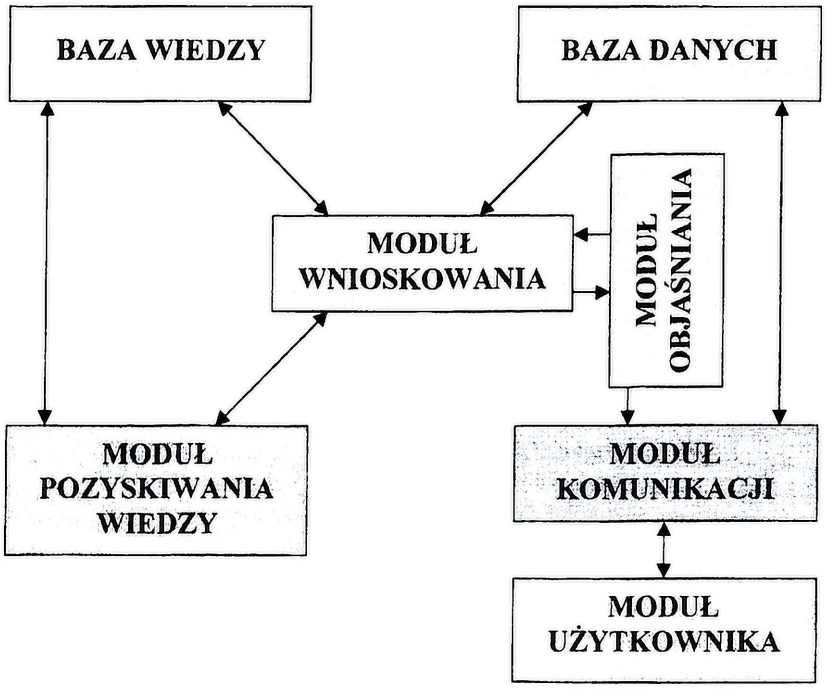
- bazę wiedzy;
- bazę danych;
- moduł wnioskowania;
- moduł pozyskiwania wiedzy;
- moduł objaśniający;
- moduł komunikacji;
- moduł użytkownika.

Powiązania strukturalne wyszczególnionych komponentów systemu ekspertowego zaprezentowano na rys. 3.4.4.

W przedstawionej konstrukcji systemu ekspertowego bardzo istotną rolę pełni baza wiedzy oraz baza danych. Pierwsza z nich obejmuje głównie wiedzę pozyskaną od eksperta, która jest najczęściej zapisana w postaci reguł, np. przez tablice decyzyjne lub język perceptów[123]. Z kolei baza danych zawiera odpowiednio zinterpretowane dane o faktach (normatywne, książkowe) stanowiące informację reprezentatywną w stosunku do informacji

[123] Percepcja jest to odzwierciedlanie przez człowieka przedmiotów, zjawisk i procesów zachodzących w wyniku działania na narządy zmysłów określonych bodźców. Reakcje na bodźce będące wynikiem percepcji nazywamy perceptami. Percept jest parą (Parametr, Wartość), gdzie parametr charakteryzuje bodźce wytwarzające z wartością, która jest drugim elementem perceptu. Elementy są to cechy opisujące obiekt i wartość najbardziej szczegółowego atrybutu. Obiekt który jest opisywany przez percept nazywamy kontekstem.

w bazie wiedzy. Tak skonstruowany system ekspertowy może być przydatny w systemie obrony powietrznej, pod warunkiem iż w bazie wiedzy i bazie danych będzie zawarta wiedza wystarczająca do istniejących w danym momencie potrzeb.



Rys. 3.4.4. Struktura systemu ekspertowego

Dlatego współczesne systemy eksperckie, „pochłaniając" nową wiedzę, uczą się i przeciwdziałają nadmiernemu rozrastaniu się bazy poprzez samoistną ich analizę oraz syntezę. W procesie pozyskiwania nowej wiedzy w oparciu o istniejącą bazę, wykorzystywana jest funkcja kojarzenia faktów, zjawisk, danych, wiedzy, która „stwarza warunki" do twórczego wnioskowania.

Wiedza w bazie może być przedstawiona w formie symbolicznej, odpowiedniej dla przetwarzania jej w komputerze, są tzw. KRS[124] [58]. Jest to tablicowe przedstawienie wiedzy. Modyfikacją KRS jest tablica decyzyjna.

W tabeli decyzyjnej należy przedstawiać te cechy (parametry), które w wyniku skojarzenia mogą tworzyć nowy obraz identyfikujący obiekt powietrzny. Liczba tego rodzaju tablic będzie zależna od liczby parametrów (cech) obiektów powietrznych takich jak:

[124] Jest to tablicowe przedstawienie wiedzy. Modyfikacją KRS jest tablica decyzyjna.

sylwetka, uzbrojenie, prędkość itp., bądź dotyczących taktyki działania przeciwnika powietrznego.

W zależności od przeznaczenia można wyróżnić się trzy zasadnicze grupy rodzajów systemów ekspertowych, które umożliwiają:

- diagnozowanie;
- prognozę;
- planowanie.

Poszukując rozwiązań w kierunku pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej, należałoby połączyć dwie pierwsze grupy systemów ekspertowych, gdyż do tego celu będzie wskazana zarówno diagnoza sytuacji, jak i prognoza działania (np. przeciwnika powietrznego). Niestety, w systemie dowodzenia OP brakuje systemów ekspertowych, których spektrum możliwości z pewnością mogłoby przyczynić się do „podpowiadania" wariantów rozwiązań w warunkach występowania deficytu informacyjnego.

3.5. Wnioski z rozdziału

Heurystyka, mimo że znajduje odzwierciedlenie w wielu publikacjach, nie jest wystarczająco opisana. Być może pokutuje tu powszechne przekonanie o przewadze wiedzy uznawanej za naukową, logiki czy metod deterministycznych nad wyobraźnią, intuicją i metodami stochastycznymi. Teorie powszechnie uznawane za naukowe cechują się często bardzo sformalizowanym zapisem. Dyskusyjne wydaje się wykorzystanie elementów twórczości w obszarze zastosowań komputerowych, gdyż samo pojęcie heurystyki jest typowym i charakteryzującym wyłącznie gatunek *homo sapiens*. Stąd rozdzielenie twórczości ludzi od „twórczości" komputerów jest w pełni uzasadnione. Wielu teoretyków (między innymi A. Nowell, H. A, Simon, J. Kozielecki, B. Puszkin) postrzegali heurystykę przez pryzmat twórczego rozwiązywania problemów i widzieli jej zastosowanie głównie w procesach decyzyjnych.

W świetle rozważań dotyczących przydatności metod heurystycznych (między innymi [8, 9, 10, 41, 45, 55, 60, 68, 95, 100, 112, 133]) można stwierdzić, że mogą być także wykorzystane do pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej w warunkach jej częściowego deficytu. Potwierdzeniem powyższego jest teza, że w sytuacjach, w których nie

znane są algorytmy do rozwiązywania problemów złożonych (o strukturze dotąd nie spotykanej[125]) stosuje się metody heurystyczne. Uzyskane rezultaty badań utwierdziły autora rozprawy, że w przypadku gdy dysponujemy pełną informacją o sytuacji powietrznej, w procesie podejmowania decyzji mogą być stosowane metody proceduralne (algorytmiczne), których niewątpliwą zaletą jest prostota i skuteczność osiągnięcia celu. Natomiast w okresie deficytu informacyjnego należy skorzystać z intuicji, doświadczenia oraz metod heurystycznych. Spośród wielu z nich na szczególną uwagę zasługują te, których właściwościami są jak najdalej posunięte skojarzenia i analogie, gdyż to właśnie one stały się podstawą **metody skojarzeń sygnatur obiektów powietrznych**. Zaletą tej metody jest możliwość pozyskania informacji[126] o sytuacji powietrznej nawet wówczas, gdy jej źródła dostarczają nieliczne (ograniczone) parametry wykrytych i śledzonych obiektów.

Wzorując się na metodzie badania procesów heurystycznych polegających na tworzeniu heurystycznych programów, które symulują określone czynności człowieka, autor niniejszej rozprawy opracował model oraz algorytm programu pod nazwą IDENTYFIKACJA.

---

[125] Sytuację panującą w przestrzeni powietrznej cechuje wysoki stopień nieokreśloności.

[126] P. Fraisse, J. Piaget zwracają uwagę na trudności reprodukcji obiektów znajdujących się w ruchu. Źródło: Fraisse P., Piaget J., Inteligencja, PWN, Warszawa, 1967.

4. IDENTYFIKOWANIE OBIEKTÓW POWIETRZNYCH

4.1. Systemy identyfikujące obiekty powietrzne

Skuteczność systemów obronnych w dużej mierze zależy od szybkiego i prawidłowego ustalenia przynależności państwowej obiektów (oznaczenia obiektów powietrznych). Systemy takie określa się nazwą radary wtórne, w języku angielskim noszą one nazwę IFF (IDENTYFICATION FRIEND OR FOE).

Koncepcja tego typu radarów wtórnych pochodzi z okresu II wojny światowej. Pierwsze zachodnie rozwiązanie zostało wprowadzone podczas wojny koreańskiej i nosiło nazwę IFF MARK X. System ten opierał się na zasadzie aktywnego zapytania i aktywnej odpowiedzi. Wszystkie dalsze modyfikacje systemu stosują tę samą zasadę, wyznaczone zostały stałe częstotliwości nośne dla zapytania 1030 MHz i odpowiedzi 1090 MHz. W połowie lat pięćdziesiątych XX wieku wprowadzono modyfikacje w postaci rodzajów pracy (MODE 1, 2, 3) z możliwością używania kodów. Później system ten został uzupełniony o automatyczną zmianę kodów, w wyniku czego powstał system IFF MK 10A. Na początku lat sześćdziesiątych Stany Zjednoczone dodały czwarty rodzaj pracy MOD4, umożliwiając tym samym kodowanie kryptograficzne w systemie IFF. Tak poprawiony system radaru wtórnego uzyskał nazwę IFF MK.12. Rodzaje pracy oraz struktura sygnałów zapytujących i odpowiedzi została określona normą STANAG 4193.

System IFF MK 12 spełnia podwójną rolę, gdyż nie tylko umożliwia identyfikację dla celów militarnych, ale również ułatwia współpracę z cywilnymi systemami ruchu lotniczego, odpowiadając na zapytania radarów wtórnych. System ten posiadał jednak szereg wad:

- częstotliwości zapytania i odpowiedzi są wspólne dla całego systemu i mogą być zakłócone w stosunkowo prosty sposób,
- sygnał odzewowy nadawany przez antenę dookólną może być odebrany i skopiowany,
- sygnały mogą być odebrane przez przeciwnika i wykorzystywane do śledzenia obiektu,
- różnorodność systemów może doprowadzić do powstania zakłóceń kompatybilności.

Na początku lat siedemdziesiątych rozpoczęła się dyskusja nad założeniami nowego systemu rozpoznania „swój-obcy", który nie posiadałby tych wyżej wymienionych wad. Nowy system został nazwany NIS (NATO Identification System).

W połowie lat osiemdziesiątych uzgodniono w krajach NATO normę STANG 4196. W 1989 roku Stany Zjednoczone na podstawie normy STANG 4162 rozpoczęły pracę nad projektem MARK 15, z którego w wyniku zmieniającej się sytuacji politycznej w 1991 roku zrezygnowały. Aktualnie czołowe firmy europejskie pracują nad koncepcją systemu europejskiego EURONIS, bazującego na normie STANG 4162.

System identyfikacji KREMNIj-2 oraz PAROL

W przestrzeni, w której prowadzone są działania militarne, występują różne zjawiska utrudniające identyfikację obiektów, co niekiedy prowadzi do niebezpiecznych skutków. Do zjawisk tych można zaliczyć:

- zbyt długi czas reakcji człowieka lub zautomatyzowanego systemu;
- ograniczenie widzialności w obszarze walki przez niekorzystne warunki pogodowe lub działania celowe;
- ograniczenia prędkości porozumiewania się kanałem głosowym;
- wykorzystywanie przez przeciwnika cudzej emisji sygnału dla wykrywania obiektów i określenia ich pozycji.

W wyniku występowania tych zjawisk może dojść do tego, że:

- własne obiekty będą zniszczone przez własne siły;
- obiekty przeciwnika spowodują zniszczenie własnych obiektów;
- własne obiekty będą wykryte i zidentyfikowane przez przeciwnika oraz skutecznie zniszczone.

Z powyższego wynika, że jednym z podstawowych warunków skutecznej ochrony jest zapewnienie identyfikacji obiektów z dużym poziomem ufności i w bardzo krótkim czasie. W krajach należących do byłego Układu Warszawskiego obowiązywały normy UWD (Uprawlenije Wozdusznym Dwiżeniem) i dla celów wojskowych stosowano system rozpoznania pod nazwą Kremnij–2. W drugiej połowie lat osiemdziesiątych opracowano system PAROL. W ramach pierwszego systemu były wykorzystywane między innymi takie urządzenia jak: NRZ-12, NRZ-14, NRZ-20. Różnice w ich budowie i zasadzie działania wynikały z wprowadzania do wojsk radiotechnicznych coraz to nowszych typów stacji jak również nowych technologii.

Naziemne radiolokacyjne urządzenie zapytujące NRZ-20 było przeznaczone do określania przynależności własnych obiektów powietrznych i nawodnych, wyposażonych w urządzenia odpowiadające. Zapytanie w układzie „ziemia–samolot" mogło być wysyłane sposobem dwukanałowym lub jednokanałowym.

W warunkach zapytania dwukanałowego równocześnie z impulsem sondującym stacji radiolokacyjnej zostaje wypromieniowany jednoimpulsowy sygnał urządzenia zapytującego. W warunkach zapytania jednokanałowego zostaje wypromieniowany tylko jeden sygnał urządzenia zapytującego, lecz składa się on z kilku impulsów.

Urządzenie odpowiadające (odzewowe) odbiera sygnały urządzenia zapytującego i w odpowiedzi wysyła sygnały kodowe na częstotliwości zbliżonej do częstotliwości pracy urządzenia zapytującego. Aparatura odbiorcza urządzenia zapytującego zapewnia odbiór i automatyczne dekodowanie wszystkich sygnałów urządzenia odpowiadającego w czasie jednokrotnego opromieniowania obiektu powietrznego przez urządzenie zapytujące.

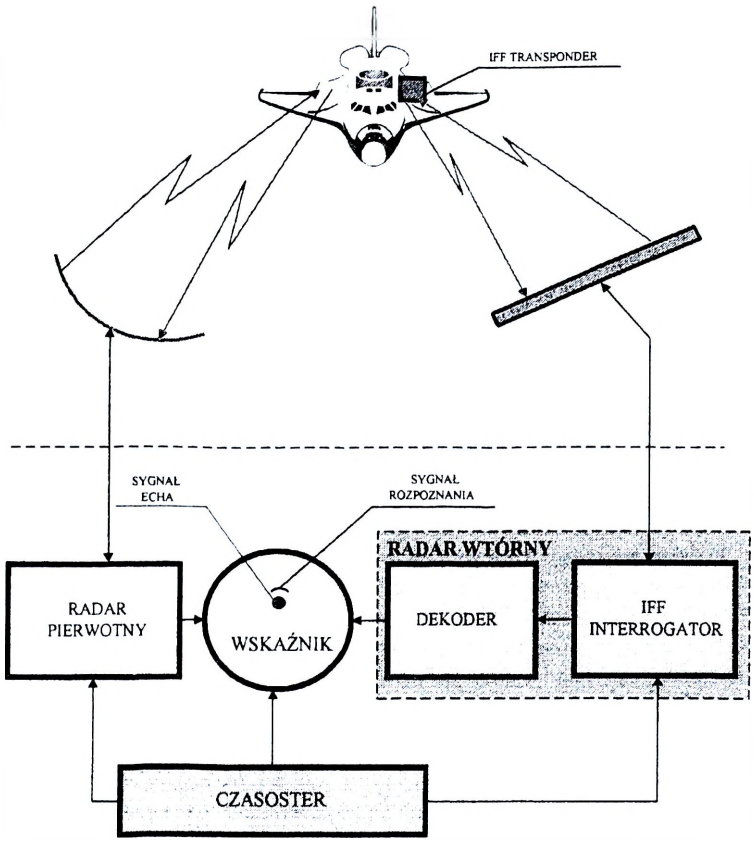
Nowszym wschodnim systemem przeznaczonym do określenia przynależności państwowej obiektów jest system „PAROL". Oprócz przynależności pozwala uzyskać dodatkową informację, taką jak:

- wysokość samolotu;
- numer identyfikacyjny samolotu;
- procentowy zapas paliwa;
- sygnał niebezpieczeństwa.

System ten pracuje metodą „aktywna z aktywną odpowiedzią" w zakresie częstotliwościowym około 1500 MHz. Ma możliwość sześciu rodzajów pracy. Sygnały zapytania i odpowiedzi kodowane są zarówno w częstotliwości, jak i w czasie.

System identyfikacji IFF MARK XII

System IFF jest systemem zapytań i odpowiedzi, których celem jest szybkie i pewne ustalenie przynależności państwowej. Zapytanie jest nadawane w formie modulacji kodowo–impulsowej w paśmie D w kierunku statków powietrznych, których rozpoznanie jest wymagane. System transpondera zainstalowany na statku powietrznym odbiera sygnały i odpowiada innym zmodulowanym kodowo-impulsowym sygnałem w paśmie „D". Odpowiedzi te odebrane przez interrogator podlegają detekcji w celu określenia przynależności statku powietrznego.



Rys. 4.1.1. Współpraca IFF z radarem pierwotnym

Naziemne urządzenie zapytujące pracuje synchronicznie z radarem pierwotnym (rys. 4.1.1) i dostarcza do systemu zdekodowane informacje otrzymane z transpondera, które mogą zawierać:

- numer kodowy zapytywanego obiektu;
- wysokość;
- dodatkowe informacje np. stan zagrożenia.

W związku z tym, że system antenowy urządzenia IFF emituje niepożądane promieniowanie listkami bocznymi, jak również może nimi odbierać odpowiedzi z transponderów, zastosowano w nim dwie funkcje: I-SLS oraz R-SLS.

Zapytanie jest nadawane w formie kodowo-impulsowej w paśmie D na częstotliwości 1030MHz w kierunku statków powietrznych, których rozpoznanie jest wymagane.

Struktura sygnałów zapytania ściśle wiąże się z rodzajem pracy urządzenia IFF (modem pracy). W urządzeniu MARK XII wykorzystywane są następujące mody:

- Mod 1 – zastosowanie wojskowe, wykorzystywane do działań taktycznych z 32 możliwościami kodowanymi odpowiedziami,
- Mod 2 – zastosowanie wojskowe, wykorzystywany do indywidualnej identyfikacji obiektów ruchomych z 4096 możliwymi kodowanymi odpowiedziami,
- Mod 3/A – zastosowanie wojskowe z 4096 możliwymi kodowanymi odpowiedziami, kompatybilny z rodzajem A w cywilnych systemach radarów wtórnych,
- Mod 4 – (SECURE) zastosowanie wojskowe, służy do potwierdzenia identyfikacji, zapytania są kodowane szyfrowo, wykorzystywany jest tylko w przypadku konfliktów,
- Mod C – wykorzystywany przez cywilne i wojskowe systemy do kodowanej transmisji wysokości lotu obiektu.

Rodzaje pracy (1, 2, 3/A, C) są zapytaniami trójimpulsowymi, w skład sygnału zapytującego wchodzą impulsy P_1, P_2, P_3. O rodzaju pracy decyduje odległość pomiędzy impulsami P_1 i P_3. Impuls P_2 jest wykorzystywany jako impuls kontrolny do blokowania odpowiedzi, gdy zapytanie wysyłane było w listkach bocznych anteny interrogatora.

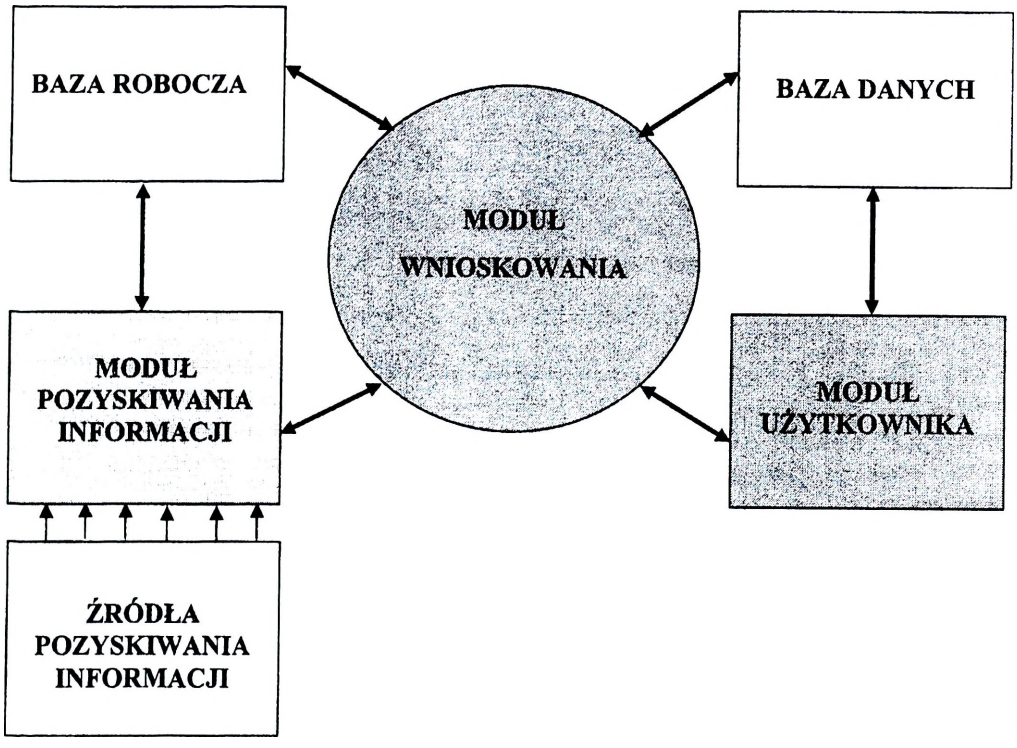
Zarówno jeden, jak i drugi przedstawiony system uniemożliwia rozpoznawać typy niezidentyfikowanych obiektów powietrznych. Stąd dalszy wysiłek autor rozprawy skupił na stworzeniu algorytmu, a następnie programu realizującemu tą funkcję. Niezwykle pomocne w tym względzie okazały się rezultaty analizy sygnatur obiektów powietrznych, które w połączeniu z funkcją kojarzenia przyniosły oczekiwany rezultat identyfikacyjny.

4.2. Eksperymentalny model, algorytm i program IDENTYFIKACJA do zweryfikowania metody skojarzeń sygnatur obiektów powietrznych

W systemie obrony powietrznej rozpoznanie obiektów powietrznych polega na wytworzeniu obrazu sytuacji powietrznej na wskaźnikach stacji radiolokacyjnych i zautomatyzowanych systemach dowodzenia. Istotnym problemem, nawet w przypadku nowoczesnych stacji radiolokacyjnych i rozpoznania elektronicznego, jest brak możliwości jednoznacznej identyfikacji wykrytych obiektów. Skuteczność systemów obronnych zależy w dużej mierze od szybkiego i prawidłowego rozpoznania obiektów powietrznych. W rzeczywistości w procesie identyfikacji tych obiektów korzysta się z różnych,

uzupełniających się wzajemnie źródeł informacji, dążąc jednocześnie do automatyzacji (wspomagania) procedur składających się na ten proces.

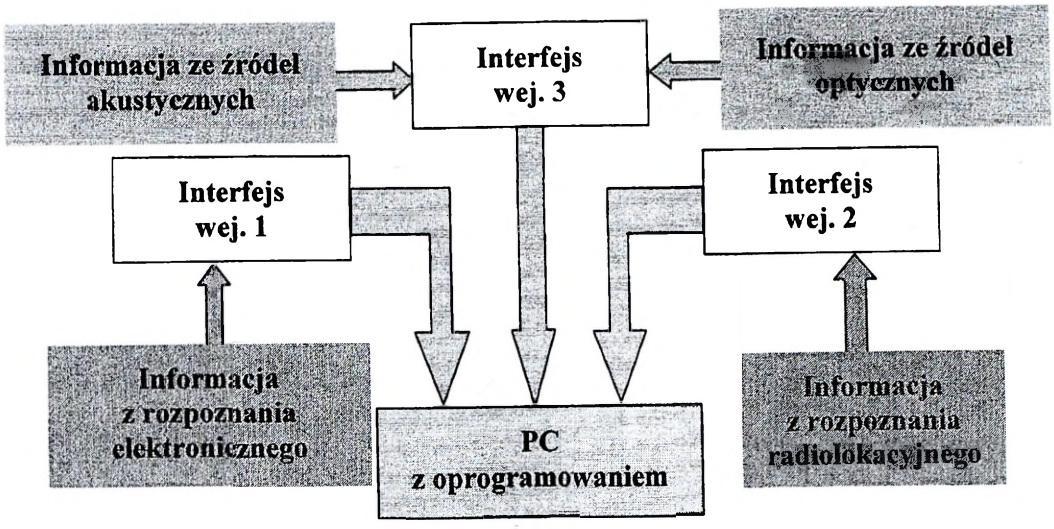
W celu zweryfikowania opracowanej metody kojarzenia sygnatur obiektów powietrznych opracowano model oraz algorytm programu IDENTYFIKACJA. Ogólny schemat modelu przedstawiono na rysunku 4.2.1.



Rys.4.2.1. Ogólny model programu IDENTYFIKACJA

Strukturę modułu pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej przedstawia rysunek 4.2.2. Zasady uaktualniania i zabezpieczenia baz danych obejmują:

- interfejsy wejściowe;
- zasady oprogramowania;
- kodowanie baz danych.



Rys.4.2.2. Struktura modułu pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej

Baza danych, niezbędna do funkcjonowania procedury wspomagania identyfikacji, zawiera:

- dyslokację środków napadu powietrznego oraz ich skład;
- przeznaczenie bojowe elementów ugrupowania bojowego ŚNP rozmieszczonych w rejonie rozpoznania;
- dane z oceny przeciwnika powietrznego i naziemnego zawarte w rozkazach bojowych oraz informacjach rozpoznawczych i wywiadowczych;
- parametry taktyczno-techniczne ŚNP;
- wyposażenie i uzbrojenie ŚNP;
- normatywne relacje wynikające z taktyki działania ŚNP[127].

Zastosowana *w module wnioskowania* funkcja kojarzenia sygnatur obiektów powietrznych zapewnia określenie (z założonym prawdopodobieństwem) typu nierozpoznanego obiektu powietrznego.

Zakres analizy informacji obejmuje ocenę przeciwnika powietrznego w trakcie lotu i umożliwia określenie takich elementów jak:

- przeznaczenie środków napadu powietrznego;

---

[127] Wybrane algorytmy programu przedstawiono w załączniku 9.

- kierunek lotu obiektu powietrznego;
- elementy ugrupowania bojowego przeciwnika;
- możliwości dolotu środków napadu powietrznego do rejonu rozpoznania wojsk własnych;
- zasady identyfikacji obiektu powietrznego obejmujące:
  - cechy identyfikacyjne statków powietrznych, środków napadu powietrznego;
  - metodykę określania przynależności;
- inicjacja procedury identyfikacji, a w niej:
  - sposób inicjacji procedury identyfikacji,
  - sposób prezentacji wyników dokonanej analizy środków napadu powietrznego.

Strukturę modelu obejmuje rozpoznanie elektroniczne, radiolokacyjne, optyczne oraz akustyczne (załączniki 10 – 13). Na podstawie przyjętych założeń każe z wymienionych rozpoznań modelujemy za pomocą funkcji liniowej, której ogólna postać wyrażona jest w postaci:

$$f:\{X_1, X_2, \ldots, X_n\} \rightarrow \langle 0,1 \rangle$$

gdzie:

$X_1, X_2, \ldots, X_n$ – zmienne z cechami analizowanymi w danym rozpoznaniu.

W założeniach opracowanego modelu jako pierwsze przyjęto rozpoznanie elektroniczne[128], dla którego wyznaczono następujące zmienne:

X_1 – częstotliwość pokładowych środków obiektu powietrznego;

X_2 – namiar (kurs);

X_3 – język korespondencji;

X_4 – lotnisko bazowania obiektu powietrznego,

$X_i \in \{0,1\}$ $\quad i = 1,2,3,4$

Funkcję rozpoznania elektronicznego przedstawiono w postaci:

$$f_E(X_1, X_2, X_3 X_4) = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4$$

Dla współczynników a_1, a_2, a_3, a_4, które są liczbami z przedziału (0,1) i wynoszą:

$a_1 - 0,7;$

$a_2 - 0,1;$

$a_3 - 0,1;$

$a_4 - 0,1;$

---

[128] Ustalono kolejność poszczególnych rodzajów rozpoznania według kryterium zasięgu rozpoznania przestrzeni powietrznej.

funkcja rozpoznania elektronicznego przyjmuje postać:

$$f_E(X_1, X_2, X_3, X_4) = 0,7X_1 + 0,1X_2 + 0,1X_3\ 0,1X_4$$

Z kolei dla rozpoznania radiolokacyjnego przyjęto następujące zmienne:

X_1 – zakłócenia elektroniczne[129];

X_2 – wielkość zobrazowanego echa obiektu;

X_3 – prędkość;

X_4 – wysokość.

$X_i \in \{0,1\}$ $\quad i = 1,2,3 \ldots 4$

Funkcję rozpoznania radiolokacyjnego przedstawiono w postaci:

$$f_R = \begin{cases} a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 & \text{dla } x1 = 0 \\ a_1X_1 + aX_2 + a_3X_3 + a_4X_4 & \text{dla } x1 = 1 \end{cases}$$

Dla współczynników a_1, a_2, a_3, a_4, które są liczbami z przedziału (0,1) i wynoszą:

- w przypadku wystąpienia zakłóceń radiolokacyjnych:

$$\begin{cases} a_1 = 0,7 \\ a_2 = 0,1 \\ a_3 = 0,1 \\ a_4 = 0,1 \end{cases}$$

- przy braku zakłóceń radiolokacyjnych:

$$\begin{cases} a_2 = 0,5 \\ a_3 = 0,25 \\ a_4 = 0,25 \end{cases}$$

funkcja rozpoznania radiolokacyjnego przyjmuje postać:

$$f_R = \begin{cases} 0,5X_2 + 0,25X_3 + 0,25X_4 & \text{dla } a1 = 0 \\ 0,7X_1 + 0,1X_2 + 0,1X_3 + 0,1X_4 & \text{dla } a1 = 1 \end{cases}$$

Dla rozpoznania optycznego przyjęto następujące zmienne niezależne:

X_1 – obraz (widmo) obiektu powietrznego;

X_2 – prędkość;

---

[129] Jeśli wykryty obiekt powietrzny je generuje.

X_3 – kurs;

X_4 – wysokość.

$X_i \in \{0,1\}$ $i = 1,2,3 \ldots 4.$

Funkcję rozpoznania optycznego przedstawiono w postaci:

$$f_O (X_1, X_2, X_3 X_4) = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4$$

Dla współczynników a_1, a_2, a_3, a_4, które są liczbami z przedziału (0,1) i wynoszą:

a_1 – 0,7;

a_2 – 0,1;

a_3 – 0,1;

a_4 – 0,1.

funkcja rozpoznania optycznego przyjmuje postać:

$$f_O (X_1, X_2, X_3, X_4) = 0,7X_1 + 0,1X_2 + 0,1X_3\ 0,1X_4$$

Dla rozpoznania akustycznego przyjęto następujące zmienne niezależne:

X_1 – widmo obiektu powietrznego;

X_2 – prędkość;

X_3 – kurs;

X_4 – natężenie dźwięku.

$X_i \in \{0,1\}$ $i = 1,2,3 \ldots 4.$

Funkcję rozpoznania akustycznego przedstawiono w postaci:

$$f_A (X_1, X_2, X_3 X_4) = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4$$

Dla współczynników a_1, a_2, a_3, a_4, które są liczbami z przedziału (0,1) i wynoszą:

a_1 – 0,7;

a_2 – 0,1;

a_3 – 0,1;

a_4 – 0,1;

funkcja rozpoznania akustycznego przyjmuje postać:

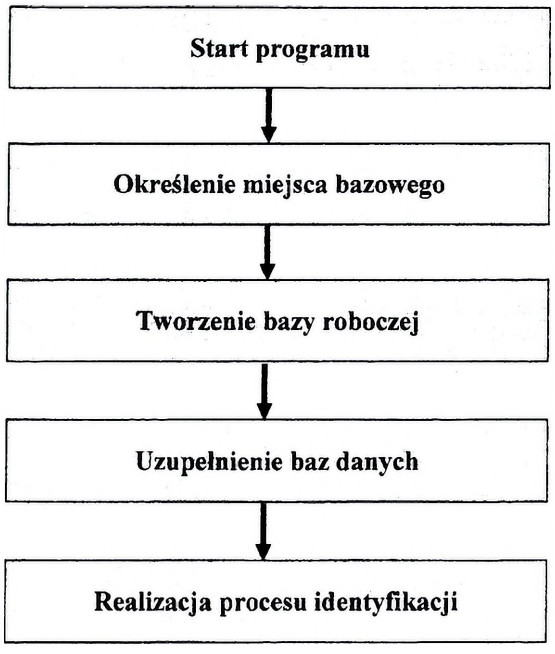
$$f_A (X_1, X_2, X_3, X_4) = 0,7X_1 + 0,1X_2 + 0,1X_3\ 0,1X_4$$

Przyjęty dla modelu ustalony próg poprawnej identyfikacji f_E ,f_R, f_O, f_A wynosi $\geq 0,7$.

W koncepcji modelu przyjęto założenie, że rozwiązania w zakresie architektury technicznej i oprogramowania powinny umożliwiać integrowanie organizacyjno-funkcjonalne „narzędzia" i jego rozbudowę minimalnym kosztem. Dla zapewnienia realizacji różnych funkcji programu zaproponowano rozwiązanie dynamicznego uaktualniania niezbędnych baz danych w celu poprawnej pracy programu. Schemat funkcjonowania programu przedstawia rys. 4.2.3.

W strukturze modułu bazy danych znajdują się:

- baza „dane";
- baza „dyslokacja";
- baza „strefa";
- baza „gotowość bojowa";
- baza „rozpoznanie";
- baza „WRt";
- baza czujników akustycznych;
- baza czujników optycznych.



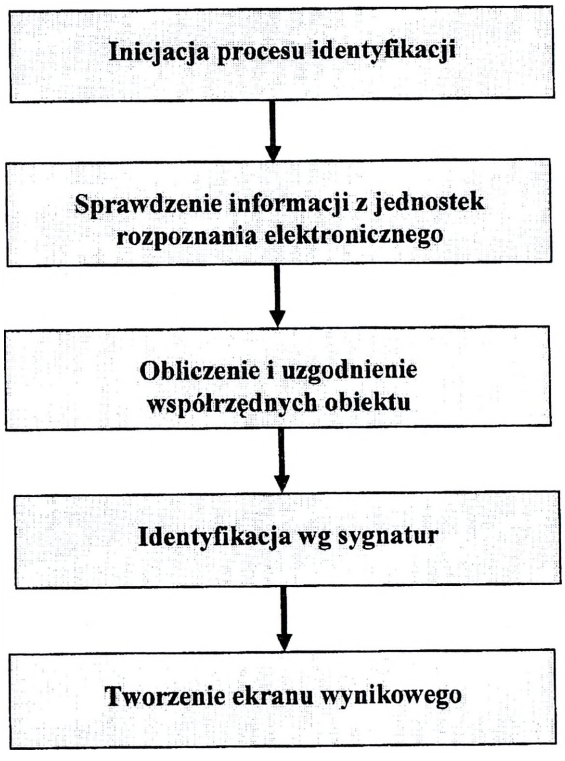
Rys.4.2.3. Ogólny schemat funkcjonowania programu

Pierwsze uruchomienie programu[130] wymaga od użytkownika podania: hasła dostępu, współrzędnych geograficznych miejsca bazowego oraz zakresu prowadzonego rozpoznania. Określone i wpisane miejsca Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania, traktowane jest jako miejsce bazowe dla pozostałych obliczeń. W oparciu o bazę „dyslokacja" – przykładowy ekran, tworzona jest w sposób automatyczny baza robocza środków napadu powietrznego. Na jej podstawie dokonuje się analizy niezidentyfikowanego obiektu. Zmiana położenia miejsca bazowego lub zmiana zakresu odległości do miejsca bazowania środków napadu powietrznego jest wykonywana automatycznie i nie stwarza trudności dla oprogramowania w tworzeniu nowej bazy roboczej. Proces tworzenia bazy roboczej uwzględnia zmiany odległości wynikające z krzywizny Ziemi. Zmiana zakresu rozpoznania powoduje automatycznie zweryfikowanie bazy roboczej potencjalnych środków napadu powietrznego. W analogiczny sposób wprowadzane są współrzędne dyslokacji elementów ugrupowania jednostki rozpoznania elektronicznego.

Aktualizacja baz następuję w sposób automatyczny. Po tym okresie program jest gotowy do pracy i czeka na inicjację procedury identyfikacji, która może być zrealizowana w sposób automatyczny lub ręczny po otrzymaniu informacji radiolokacyjnej. Każda

[130] Wybrane „okna dialogowe" programu przedstawiono w załącznikach 4–6.

zakładka programu posiada wyświetlany czas systemowy, co pozwala jednocześnie określić niezgodności czasowe między czasem wykrycia (czas z urządzenia lub systemu) a czasem systemowym. Zgodność czasowa jest ważnym elementem procesu identyfikacji, ponieważ czas jest również jednym z elementów prognozowanego przylotu obiektu powietrznego (środków napadu powietrznego). Podstawowe dane ze stacji radiolokacyjnej pobierane są do programu.



Rys. 4.2.4. Ogólny schemat procesu identyfikacji

Uruchomienie procesu identyfikacji obiektu następuje automatycznie po zapisaniu „zakładki WRt" i realizowane jest zgodnie z określonymi algorytmami według schematu przedstawionego na rys. 4.2.4. W pierwszej kolejności analizowane są informacje z jednostek rozpoznania radioelektronicznego w określonym przedziale czasowym z uwzględnieniem rejonu, w jakim został wykryty obiekt powietrzny przez WRt. Pod uwagę brane jest położenie lub namiary z poszczególnych posterunków rozpoznania elektronicznego. W procesie wykrywania i identyfikowania uwzględnia się parametry akustyczne oraz optyczne (pasywne źródła informacji o sytuacji powietrznej).

Na podstawie namiarów oblicza się położenie i rejon prawdopodobnego przelotu obiektu powietrznego. Kolejne czynniki poddawane analizie to: przynależność, indeks, ćwiczenia wojsk w strefie odpowiedzialności ODN, praca środków radiolokacyjnych i łączności.

W wyniku analizy wyżej wymienionych danych możliwe jest określenie (z założonym prawdopodobieństwem) typu nierozpoznanego obiektu lub możliwych (prawdopodobnych) obiektów powietrznych i zobrazowanie uzyskanego rezultatu na ekranie wynikowym.

Ważnym ogniwem w poprawnej pracy programu jest ciągłe uzupełnianie bazy danych z rozpoznania. Stanowisko dowodzenia rozpoznania znajduje się w znacznej odległości od ODN, w związku z tym występują trudności w bieżącym aktualizowaniu danych. Analizowane były następujące rozwiązania przesyłania danych:

- łącze telefoniczne (modem);
- sieć typu LAN;
- łącze radiowe.

Dane na SD pododdziałów rozpoznania wprowadzane są przy pomocy odrębnej zakładki programu, w sposób automatyczny szyfrowane i w takiej postaci przekazane między stanowiskami dowodzenia (komputerami). Przy podaniu np. adresu internetowego program automatycznie będzie wysyłał zaszyfrowany plik pod wskazany adres. Dla sieci lokalnych wystarczy podać ścieżkę dostępu do określonego folderu.

Tabela 4.2.1

Algorytm	Długość klucza	Szybkość szyfrowania i odszyfrowania[131]
GOST	256 bitów	1,5 MB/s
CAST	128 bitów	1,8 MB/s
Potrójny DES	168 bitów	1,0 MB/s
BLOWFISH	448 bitów	2,2 MB/s

[131] Dla PENTIUM II – 350 MHz.

Użytkownik ma do dyspozycji kilka algorytmów kryptograficznych, które dodatkowo przełączane są losowo i dynamicznie w czasie pracy, przez co znacznie ogranicza się dostęp osób postronnych. Własna szybka implementacja algorytmów kryptograficznych nie powoduje zauważalnych opóźnień w przekazywaniu danych. Rodzaje algorytmów przedstawia tabela 4.2.1

Program SecFile charakteryzują następujące elementy:

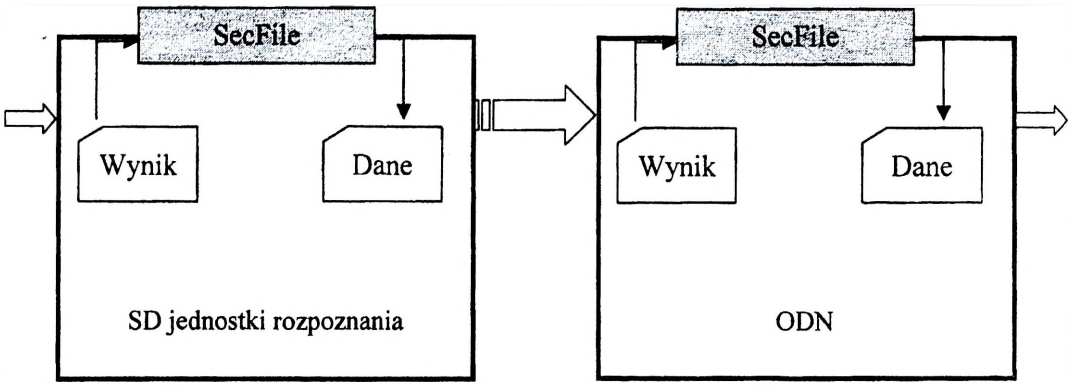
- klucz szyfrujący jest generowany na podstawie hasła. W wersji podstawowej hasło podawane jest z klawiatury. Może być również pobierane z „pastylki informacyjnej" (opcja SecButton) lub z karty pamięciowej (opcja SecAccess), po wpisaniu tzw. pinu;
- przed zaszyfrowaniem pliki mogą być poddane kompresji o zmiennym stopniu, pozwala to na zwiększenie możliwości ochrony danych;
- podczas odszyfrowywania pliku program automatycznie rozpoznaje algorytm i długość klucza, którym plik był szyfrowany, a także zastosowany stopień kompresji;
- zaszyfrowane pliki mogą być umieszczane w folderach, gdzie były przechowywane ich oryginały, bądź przenoszone do tzw. bezpiecznych folderów, wydzielonych przez zastosowanie systemowych mechanizmów praw dostępu;
- program zwiera funkcję, pozwalającą na wyspecyfikowanie ścieżek do katalogów, które mają być szyfrowane przy zakończeniu pracy i odszyfrowane przy jej rozpoczęciu;
- program posiada mechanizm generowania klucza awaryjnego służącego do odzyskiwania danych w wypadku utraty hasła. Klucz nadrzędny generowany jest opcjonalnie podczas instalowania programu. Można go utworzyć w całości, w 2 lub 4 fragmentach, które powinny być przechowywane przez różne osoby w różnych miejscach. Tylko posiadanie wszystkich fragmentów klucza pozwala na awaryjne odtworzenie plików;
- program nie narzuca ograniczeń na rodzaj plików przeznaczonych do zaszyfrowania.

Sposób wykorzystania SecFile w programie IDENTYFIKACJA przedstawia rys. 4.2.5. Natomiast konfigurację programu szyfrującego Secfile (z rozpoznania) ilustruje załącznik 8.

Program pracuje na własnych bazach danych, które można modyfikować zgodnie z potrzebami użytkownika. Bazy danych zabezpieczone są hasłem przed dostępem osób nieuprawnionych w zakresie dopisywania, usuwania i poprawiania rekordów.

Program ten nie wymaga znacznych nakładów finansowych i umożliwi:

- skrócenie czasu identyfikacji nierozpoznanego obiektu;
- ciągły dostęp do pełnej informacji w zakresie bazowania, ćwiczeń i możliwości środków napadu powietrznego.



Rys. 4.2.5. Schemat procesu szyfrowania i przesyłania danych

Zastosowanie programu IDENTYFIKACJA w praktyce mimo, że nie wymaga specjalizowanych komputerów, posiada jednak ważne uwarunkowania decydujące o poprawności i skuteczności jego działania, a mianowicie:

- dobre niezawodne łącza telefoniczne;
- udostępnienie baz danych o potencjalnym przeciwniku przez poszczególne rodzaje wojsk;
- skuteczne zabezpieczenie baz danych zawarte w bazach.

Architektura przedstawionego pokrótce narzędzia identyfikującego obiekty powietrzne umożliwia jego wszechstronną rozbudowę oraz bezinercyjnie uaktualnianą w niezbędne dane informacyjne bazę danych. Dalsze rozwinięcie myśli konstrukcyjnej programu z pewnością, podobnie jak wybrane systemy eksperckie, umożliwiłyby formułowanie wniosków np. o zamiarze przeciwnika powietrznego.

4.3. Sprawozdanie z eksperymentu naukowego przeprowadzonego z wykorzystaniem techniki komputerowej w oparciu o program IDENTYFIKACJA

Weryfikacja programu została przeprowadzona na stanowisku dowodzenia 3 Brygady Radiotechnicznej w dniu 02.10.2003 we Wrocławiu. Wprowadzane trasy obiektów powietrznych zgodne z treningiem 030301 pozwalały na identyfikowanie wszystkich celów powietrznych i określanie ich miejsca znajdowania się.

Przed rozpoczęciem treningu zapoznano się z zobrazowaniem tras na monitorach ekranowych typu Trynitron P-111-00 systemu zautomatyzowanego JAWA[132] oraz ze zbiorem i opracowaniem informacji o sytuacji powietrznej. Następnie dokonano wprowadzenia do komputera typu PC (na którym zainstalowany był program IDENTYFIKACJA) współrzędnych geograficznych SD, na którym odbywał się trening.

Idea eksperymentu polegała na wprowadzaniu danych z rozpoznania radiolokacyjnego oraz elektronicznego.

Informacja z rozpoznania radioelektronicznego zawierała:

- czas wykrycia;
- współrzędne wykrytego celu powietrznego;
- rozpoznanie z IFF .

W założeniach programowych współrzędne wykrycia obiektu powietrznego są niezbędne do wykreślenia promienia „poszukiwania" obiektu, który będzie identyfikowany (określany typ). Konstrukcja algorytmu, pozwala skojarzyć takie sygnatury z rozpoznania elektronicznego, jak:

- czas wykrycia;
- namiar (położenie);
- indeks pilota;
- język korespondencji;
- częstotliwość pracy środków łączności.

Trening rozpoczął się o godz. 9.00 i trwał około 61 minut[133]. Przebieg treningu ilustrują uzyskane w jego trakcie raporty oraz tabela (załącznik 7).

---

[132] Obecnie wersją rozwiniętą tego systemu jest ORCHIDEA.

[133] Ponieważ trening nie uwzględniał informacji z rozpoznania optycznego i akustycznego, dokonano modyfikacji programu IDENTYFIKACJA. Wówczas źródło informacji o sytuacji powietrznej stanowiło rozpoznanie elektroniczne oraz radiolokacyjne.

RAPORT 1

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO[134]:

Cel 101

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:00:15	118	139 Baza Lotnicza	Biełaja Cierkiew

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
30^0 01' 30" wsch.	49^0 47' 40" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:03	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość
5224-2305	90	700

Identyfikacja - A-50

RAPORT 2

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 102

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:12:30	128	44 plb	Kanatowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
32^0 23' 20" wsch.	48^0 39' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:14	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość		skład
5218-2101	30	600	30	4

Identyfikacja - Su-24

RAPORT 3

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 103

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:12:45	116	44 plb	Kanatowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
32^0 23' 20" wsch.	48^0 39' 30" płn.

---

[134] Obecnie rozpoznanie elektroniczne.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:			
09:15	OBCY			
Współrzędne celu	wysokość	prędkość		skład
5050-1855	30	600	30	2

Identyfikacja - Su-24

RAPORT 4

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 104

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:12:45	116	44 plb	Kanatowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
32^0 23' 20" wsch.	48^0 39' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:			
09:15	OBCY			
Współrzędne celu	wysokość	prędkość		skład
5215-2134	30	600	30	4

Identyfikacja - Su-24

RAPORT 5

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 105

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:13:10	128	790 plm	Chotiłowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
30^0 06' 00" wsch.	57^0 39' 20" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:		
09:16	OBCY		
Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5111-2012	40	900	2

Stosuje zakłócenia zakresu cm na całej trasie lotu

Identyfikacja - MiG-25F

RAPORT 6

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 106

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:17:20	118	62 plm	Belbek

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
33^0 34' 30" wsch.	44^0 41' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:19	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5156-2115	20	900	4

Identyfikacja - MiG-29

RAPORT 7

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 111

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:26:55	121	642 plm	Martynowskaja

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
31^0 15' 30" wsch.	47^0 30' 40" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:24	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5050-2017	20	900	4

Identyfikacja – MiG-29

RAPORT 8

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 107

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:21:30	116	831 plm	Mirgorad

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
33^0 38' 40" wsch.	49^0 45' 50" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:22	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5157-2127	03	900	8

Identyfikacja – Su-27

RAPORT 9

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 108

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:21:35	126	786 plm	Frewinsk

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
43^0 29' 00" wsch.	56^0 31' 10" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:23	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5122-2135	05	900	4

Identyfikacja – Su-24

RAPORT 10

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 109

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:22:05	126	786 plm	Frewinsk

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
43^0 29' 00" wsch.	56^0 31' 10" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:

09:24 OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5151-2142	05	900	8

Identyfikacja – Su-24

RAPORT 11

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 112

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:22:25	121	61BLM	Baranowicze

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
26^0 02' 50" wsch.	53^0 05' 40" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia: Rozpoznanie:

09:26 OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5151-2158	03	900	6

Identyfikacja –6 Su-17

RAPORT 12

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 122

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:24:10	128	44 plmb	Kanalowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
32^0 23' 20" wsch.	48^0 33' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia: Rozpoznanie:

09:26 OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5222-1925	01	720	6

Identyfikacja – 8 Su-22

RAPORT 13

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 121

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:22:45	121	786 plm OP	Fradwinsk

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
43^0 29' 00" wsch.	56^0 31' 10" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:25	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5217-1930	02	720	8

Identyfikacja – Su-22

RAPORT 14

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 114

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:24:30	128	790 plm	Chotiłowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
34^0 06' 00" wsch.	57^0 39' 20" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:27	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5148-2325	40	900	4

Stosuje zakłócenia zakresu dcm na całej trasie lotu

Identyfikacja – MiG-25F

RAPORT 15

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 113

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:26:50	118	185 plbc	Połtawa

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
34^0 29' 29" wsch.	49^0 37' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:		
09:29	OBCY		
Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5153-2134	03	900	6

Identyfikacja – Su-17

RAPORT 16

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 123

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:27:10	126	786 plm OP	Fradwinsk
Długość geograficzna	Szerokość geograficzna		
43^0 29' 00" wsch.	56^0 31' 10" płn.		

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:		
09:30	OBCY		
Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5213-1936	01	720	4

Identyfikacja – Su-22

RAPORT 17

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 119

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:28:15	116	786 plm OP	Fradwinsk
Długość geograficzna	Szerokość geograficzna		
43^0 29' 00" wsch.	56^0 31' 10" płn.		

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:		
09:31	OBCY		
Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5226-1900	50	1200	4

Identyfikacja – MiG-25R

RAPORT 18

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 124

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:29:20	116	54 plm OP	Sawostiejka

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
42^0 18' 10" wsch.	55^0 26' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:32	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5214-1926	01	720	6

Identyfikacja – Su-22

RAPORT 19

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 125

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:30:20	116	54 plm OP	Sawostiejka

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
42^0 18' 10" wsch.	55^0 26' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:33	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5227-1930	01	720	6

Identyfikacja – Su-22

RAPORT 20

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 125

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:30:20	116	54 plm OP	Sawostiejka

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
42^0 18' 10" wsch.	55^0 26' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:

09:33 OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5227-1930	01	720	6

Identyfikacja – Su-22

RAPORT 21

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 110 (odłączył się od celu 109)

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:32:05	131	4pmsz	Czerniachowsk

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
43^0 29' 00" wsch.	56^0 31' 10" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia: Rozpoznanie:

09:34 OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5104-2128	05	900	4

Identyfikacja – Su-24

RAPORT 22

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 115 (odłączył się od celu 114)

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:32:05	131	790plm	Chotiłowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
34^0 06' 00" wsch.	57^0 39' 20" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia: Rozpoznanie:

09:34 OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5218-1926	40	900	2

Stosuje zakłócenia dcm

Identyfikacja – MiG-25F

RAPORT 23

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 117

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:33:10	131	44 plb	Konatowo

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
33^0 23' 20" wsch.	48^0 33' 30" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:35	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5234-1905	06	900	8

Stosuje zakłócenia dcm

Identyfikacja – Su-24

RAPORT 24

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 120 (odłączył się od celu 119)

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:33:15	131	61 BLM	Baranowicze

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
26^0 02' 50" wsch.	53^0 05' 40" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:
09:36	OBCY

Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5226-1651	50	1200	2

Identyfikacja – MiG-25R

RAPORT 25

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 118 (odłączył się od celu 119)

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:33:25	131	116 BLR	Ross

Długość geograficzna	Szerokość geograficzna
24^0 22' 10" wsch.	53^0 18' 10" płn.

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:		
09:36	OBCY		
Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5224-1910	06	900	10

Identyfikacja – MiG-25R

RAPORT 26

DATA: 02-10-03

DANE z ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO:

Cel 116

Czas wykrycia	Częstotliwość	Typ ugrupowania	Miejsca bazowania
09:33:45	131	116 BLR	Ross
Długość geograficzna	Szerokość geograficzna		
24^0 22' 10" wsch.	53^0 18' 10" płn.		

DANE z WRT :

Czas wykrycia:	Rozpoznanie:		
09:37	OBCY		
Współrzędne celu	wysokość	prędkość	skład
5154-2042	06	900	8

Identyfikacja – Su-24

4.4. Wnioski z rozdziału

Potrzeba zweryfikowania opracowanej metody kojarzenia sygnatur obiektów powietrznych, jak również poprawności opracowanego modelu oraz algorytmu stała się przyczynkiem stymulującym do przeprowadzenia powyższego eksperymentu naukowego, w rezultacie którego uzyskano wyniki uprawniające do sformułowania następujących wniosków:

1. Ze względu na brak parametrów z pasywnych źródeł informacji, wprowadzane w czasie zbliżonym do rzeczywistego dane z rozpoznania radiolokacyjnego (współrzędne obiektów) oraz z rozpoznania elektronicznego stanowiły podstawę weryfikacji poprawności działania programu IDENTYFIKACJA.
2. Należy przypuszczać, że dane ze źródeł akustycznych oraz optycznych poprawiłyby (stanowiąc dodatkowe źródło informacji) obszar identyfikacji obiektów powietrznych zarówno w zakresie określenia typu, jak i miejsca znajdowania się obiektów w przestrzeni powietrznej.
3. W trakcie eksperymentu wystąpił błąd w identyfikacji wykrytego w tym samym czasie celu powietrznego 107 ze 108, wynikający ze byt dużego zadeklarowanego zakresu pomiaru.
4. Brak w bazie samolotu MiG-25R nie pozwolił na jego pojawienie się na ekranie monitora, jednakże jego typ został określony prawidłowo.
5. Brak sprzężenia programu z istniejącym obiegiem informacji skutkował koniecznością ręcznego wprowadzania danych do komputera, przez co identyfikacja następowała z ok. 1–2 minutowym opóźnieniem.

Program IDENTYFIKACJA jest jednym z przykładów w zakresie wspomagania pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej. Uzyskane rezultaty z przeprowadzonego eksperymentu z wykorzystaniem tego programu potwierdzają poprawność opracowanej metody kojarzenia sygnatur obiektów powietrznych, a także wskazują na możliwość jej praktycznego zastosowania w systemie obrony powietrznej. Dlatego w kolejnych pracach badawczych należy uwzględnić bogate walory heurystyki i wykorzystać je w projektowaniu inteligentnych systemów, umożliwiających identyfikowanie obiektów powietrznych. Natomiast architektura tych systemów powinna zapewnić uzyskanie pełnej kompatybilności z istniejącym systemem zbioru i opracowania informacji o sytuacji powietrznej.

ZAKOŃCZENIE

Osiągnięcie pierwszego założonego celu badań o charakterze diagnostycznym było możliwe w wyniku przeprowadzonych badań dotyczących:

- ograniczeń w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej w warunkach pokoju;
- ograniczeń w pozyskiwaniu informacji o sytuacji powietrznej w warunkach konfliktów zbrojnych oraz wojen.

W pierwszym przypadku autor niniejszej rozprawy prowadził badania w kierunku określenia możliwości zasięgowych stacji radiolokacyjnych wszystkich posterunków radiotechnicznych z uwzględnieniem szeroko rozumianych uwarunkowań terenowych oraz atmosferycznych. W kolejnym etapie badaniami objęto system rozpoznania przestrzeni powietrznej wraz z elementami zbioru i opracowania informacji o sytuacji powietrznej.

W drugim przypadku głównie doświadczenia z rejonu Zatoki Perskiej ujawniły przyczyny występowania deficytu informacji o sytuacji powietrznej. Do najważniejszych można zaliczyć:

- niedobór elementów informacyjnych w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej;
- niesprawność (niska niezawodność) struktury systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej;
- niedobór kanałów informacyjnych lub ich zbyt niska przepustowość;
- nieefektywność wykrywania obiektów powietrznych:
  - na małych wysokościach,
  - wykonujących lot pod przykryciem zakłóceń elektronicznych,
  - wykonanych w technologii STEALTH,
- wysoką podatność źródeł pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej na oddziaływanie przeciwnika powietrznego (niski poziom żywotności);
- małą mobilność źródeł pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej;
- nieefektywność technicznych środków zbierania, przetwarzania, przesyłania, przechowania i udostępnienia informacji o sytuacji powietrznej;

– nieefektywność metod (procedur, algorytmów) pozyskiwania i przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej.

Skutki tej bariery przejawiają się w:

– niepełnej identyfikacji potrzeb informacyjnych stanowisk dowodzenia systemu obrony powietrznej;

– działaniu na pseudoinformacji lub dezinformacji;

– wydłużonym obiegu informacji o sytuacji powietrznej;

– wzroście niepewności i ryzyka w systemie dowodzenia obroną powietrzną;

– niewykonaniu zadania bojowego przez aktywne środki walki systemu obrony powietrznej (nikły procent wykrytych i zniszczonych celów powietrznych, duże straty w osłanianych wojskach i obiektach).

Usunięcie tej bariery (zminimalizowanie skutków) jest możliwe poprzez:

– zastosowanie w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej nowych, niekonwencjonalny (pasywnych) źródeł oraz metod pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej;

– racjonalizację struktury systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej;

– optymalizację procesów informacyjnych;

– informatyzację (automatyzację) systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej.

Zaproponowana w rozprawie koncepcja zastosowania w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej nowych źródeł oraz metod pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej została poparta empirycznymi badaniami, w których wyniku uzyskano rezultaty świadczące dobitnie o potrzebie ich wykorzystania w celu zmniejszenia deficytu informacji o sytuacji powietrznej. W opracowanym modelu oraz algorytmie programu IDENTYFIKACJA sprawdziły się założenia skierowane na kojarzenie parametrów informacyjnych z rozpoznania radiolokacyjnego i elektronicznego. Nie weryfikowano natomiast kojarzenia informacji ze źródeł akustycznych oraz optycznych z uwagi na ich rzeczywisty brak w Systemie Rozpoznania Przestrzeni Powietrznej RP. Również nie poddano weryfikacji możliwości wykrywania obiektów o małej skutecznej powierzchni odbicia, jak również obiektów nisko lecących na tle zakłóceń biernych poprzez systemy pasywne typu PCL (np. Passive Coherent Location Sensor) oraz radary dwupasmowe. Przyjęto, że tego typu rozwiązania[135] mają charakter perspektywiczny, a uzyskane dane na ich temat są wiarygodne.

---

[135] Prace badawczo-rozwojowe w tym zakresie są aktualnie kontynuowane.

Wydaje się zasadne, aby dalsze prace badawcze koncentrowały się w obszarze wdrożenia w systemie rozpoznania przestrzeni powietrznej wieloczujnikowych urządzeń pasywnych, umożliwiających wykrywanie obiektów powietrznych na małych wysokościach, a także o niewielkiej skutecznej powierzchni odbicia. Istnieje również potrzeba prowadzenia prac badawczych w zakresie opracowania inteligentnych systemów, w których strukturach znalazłyby zastosowanie reguły heurystyczne, niezbędne do zmniejszenia deficytu informacji o sytuacji powietrznej.

Przyjmując w rozprawie dość rozległą perspektywę metodologiczną, autor zdawał sobie sprawę z tego, jak wiele problemów zostanie, siłą rzeczy, tylko zasygnalizowanych. Jednakże, jeżeli udało się wnieść do problematyki pozyskiwania informacji o sytuacji powietrznej nowe i wartościowe elementy, to świadomość tego stanowi dostateczny powód do satysfakcji dla autora. Z nadzieją tą idzie w parze także przekonanie, że podjęta problematyka należy do grupy problemów, których rozwiązanie może mieć znaczący wpływ na doskonalenie systemu rozpoznania przestrzeni powietrznej.

W tym miejscu autor pragnie podziękować wszystkim osobom, bez których opracowanie niniejszej rozprawy byłoby niemożliwe, przede wszystkim z: Wojskowej Akademii Technicznej, Wydziału Lotnictwa i Obrony Powietrznej oraz Wydziału Wojsk Lądowych Akademii Obrony Narodowej, Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych, Dowództwa Sił Powietrznych, 3 Brygady Radiotechnicznej, 21 Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania, a także Centrum Szkolenia Sił Powietrznych oraz byłej Wyższej Oficerskiej Szkoły Radiotechnicznej.

WYKAZ LITERATURY

1. Adamczyk A., Informacje radiolokacyjne w procesie dowodzenia wojskami w systemie dowodzenia obrony powietrznej na terytorium kraju, rozprawa doktorska, ASG, Warszawa 1990.
2. Akhtar S., Elshafei-Ahmed M., Shahgir Ahmed M.: Detection of Helicopters Using Neutral Nets, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No. 3, June 2001.
3. Antczak S., Adamczyk A., System radiolokacyjny obrony powietrznej jako obiekt zakłóceń radioelektronicznych, AON 1992.
4. Antczak S., Koliński K., Dowodzenia siłami powietrznymi, Warszawa, AON 2001.
5. Antczak S., Systemy kierowania i uzbrojenia w polskich siłach powietrznych, AON 1996.
6. Antczak S., Zarządzanie zasobami informacyjnymi w siłach powietrznych – materiały z Sympozjum, AON 2001
7. Anti-Helicopter Munitions (AHM), http://jmmc.janes.com.
8. Antoszkiewicz J. D., Metody heurystyczne, Warszawa 1982.
9. Antoszkiewicz J. D., Metody heurystyczne. Twórcze rozwiązywanie problemów,, ORGMASZ, Warszawa 1996.
10. Antoszkiewicz J. D., Rozwiązywanie problemów firmy. Praktyka zmian. Poltext, Warszawa, 1998.
11. Badźmirowski K., Systemy ekspertowe, PIE, Warszawa 1991.
12. Banachowicz T., Wiśniewski A. M.: Procedury identyfikacji i weryfikacji mówców na bazie ukrytych modeli Markowa, Biuletyn IAiR WAT, nr 13, 2000.
13. Banaś J., Rozpoznanie radiolokacyjne jako element zabezpieczenia bojowego WOPK. Materiały z konferencji naukowej nt.: Organizacja systemu wykrywania i zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych rodzajów wojsk i sił zbrojnych rozwiniętych na terytorium kraju, Biuletyn WOSR 2 (13), Jelenia Góra 1994.
14. Barczak A. Tendencje rozwojowe systemów informatycznych - systemy ekspertowe. Konferencja naukowa nt.: „Rozwój telekomunikacji a perspektywy społeczeństwa informacyjnego". WSOWŁ Zegrze 1990.
15. Basztura C.: Komputerowe systemy diagnostyki akustycznej, PWN, Warszawa 1996.
16. Becker G., Gudesen A.: Passive sending with acoustics on the battlefield, Applied Acoustics 59 (2000) 149-178.
17. Bem D. J., Anteny i rozchodzenie się fal radiowych, WNT, Warszawa 1973.
18. Bright J., Schoeman M., Prognozowanie w technice, WNT Warszawa 1978.
19. Brylski W., Opis oprogramowania jednostki mikroprocesorowej urządzenia MAW-21, PIT, Warszawa 1993.
20. Bubnicki Z., Wstęp do systemów ekspertowych, PWN, Warszawa 1990.
21. Buzan T., Rusz głową, Rawi, Łódź 1996.

22. Chwiałkowska E., Sztuczna inteligencja, ZNI, Warszawa 1991.

23. Ciborowski L., Rola i miejsce rozpoznania w systemie obronnym RP, AON, Warszawa 1993.

24. Ciborowski L., Mechanizmy i przestrzenie walki informacyjne - Materiały z sympozjum naukowego nt.: Informacja w walce zbrojnej, AON, Warszawa 2002.

25. Cieślarczyk M., Metody, techniki i narzędzia badawcze oraz elementy statystyki, AON, Warszawa 2003.

26. Dewey J., Jak myślimy?, KiW, Warszawa 1987.

27. Dołuchanow M. P., Propagacja fal radiowych, WKŁ, Warszawa 1975.

28. Duch W., Katedra Informatyki Stosowanej UMK, Cykl wykładów nt.: Sztuczna inteligencja. Szukanie heurystyczne, http://www.phys.uni.torun.pl/~duch/Wyklady/AI/AI1-2.ppt.

29. Dukaczewski M, Informacyjne zabezpieczenie operacji „Iracka wolność", Konferencja Naukowa nt.: „Iracka Wolność", AON, Warszawa 2003.

30. Dulski R., Dąbrowski M., Computer faceted thermal model of helicopter, Quantitative Infrared Thermography, Conference QIRT`2002, Dubrovnik 2002.

31. Dulski R., Dąbrowski M., Sosnowski T., Piątkowski T.: Symulacja obrazów termicznych śmigłowca dla różnych odległości i kątów obserwacji, VI Krajowa Konferencja Termografia i Termowizja w Podczerwieni, Ustroń-Jaszowiec 2004.

32. Dulski R., Madura H., Sosnowski T., i inni: Modelowanie, analiza i weryfikacja eksperymentalna dla potrzeb konstrukcji wieloczujnikowego, pasywnego systemu wykrywania śmigłowców, Sprawozdanie końcowe grant KBN nr T00A 006 15, Warszawa 2000.

33. Dulski R., Niedziela T., Polakowski H.: Application of thermal-scene modeling to testing of decision algorithms, Journal of Technical Physics, 42, 2, Warszawa 2001.

34. Dulski R., Niedziela T.: Verification of the correctness of thermal imaging modelling, Optica Applicata, Vol. XXXI, No 1, Warszawa 2001.

35. Engel Z., Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, PWN, Warszawa 2001.

36. Engeln-Müllges G., Uhlig F., Numerical Algorithms with C, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996.

37. Gałecki A. Wykorzystanie reguł heurystycznych w procesie dowodzenia, CSR, Jelenia Góra 2001.

38. Gałecki A. Tabaczniuk T., Zastosowanie metod heurystycznych w procesie doboru kadr systemu dowodzenia OP Materiały z XI Naukowej Konferencji „Sterowanie i regulacja w radiolokacji i obiektach latających" t. III, Jelenia Góra 2000.

39. Gałecki A., Psychologiczne uwarunkowania procesów decyzyjnych, 2001r., Praca badawcza statutowa 640 pt.: „Wspomaganie procesów decyzyjnych w systemie dowodzenia obrona powietrzną RP", Jelenia Góra 2001.

40. Gałecki A., Reguły heurystyczne twórczy sposobem rozwiązywania problemów decyzyjnych, Materiały z Naukowego Sympozjum nt.: „Zarządzanie zasobami informacyjnymi w siłach powietrznych, AON, Warszawa 2001.

41. Gasparski W., Projektowanie. Koncepcyjne przygotowanie działań, PWN, Warszawa 1978.

42. Gotowała J., Lotnictwo XXI wieku, AON, Warszawa 2002.

43. Gotowałą J., IRAQI FREEDOM – pustynna szachownica, Konferencja Naukowa nt.: „Iracka Wolność", AON Warszawa, 2003.

44. Gotowała J., Technologiczny boom a wojskowa skuteczność lotnictwa wojskowego, PWLiOP 4/2003.

45. Góralski A., Metoda-propozycja definicji, Referaty na III Sympozjum – Metody heurezy, zeszyt 1, Wyd. PTC Warszawa 1976.

46. Graczyk K.., Przyszłe wojskowe systemy informatyczne wspomagające dowodzenie, PBS 603 pt.: Wybrane problemy OP RP w nowych uwarunkowaniach militarnych, Jelenia Góra 2000.

47. Groszek Z., Adamczyk A., Rozpoznanie radiolokacyjne dla potrzeb dowodzenia wojskami w systemie OP – obecnie i w przyszłości – studium operacyjne, I etap badań, AON, Warszawa 1995.

48. Grzybowski M., Aktualne tendencje i wymagania w zakresie rozpoznania radiolokacyjnego w systemach OP Polski i NATO, DWLOP 2000.

49. Grzybowski M., Informacja o identyfikacji jako podstawowy element decyzji użycia uzbrojenia, Materiały z sympozjum naukowego nt. Informacje w obronie powietrznej – potrzeby, wymagania, zagrożenia, AON, Warszawa 2002.

50. Grzybowski M., Rozpoznanie radiolokacyjne w przestrzeni powietrznej Polski i NATO, DWLOP 2002.

51. Grzybowski M., Wymagania informacyjne wobec potrzeb kontroli przestrzeni powietrznej w ramach systemu OP NATO, Materiały z sympozjum naukowego nt. Informacje w obronie powietrznej – potrzeby, wymagania, zagrożenia, AON, Warszawa 2002.

52. Grzybowski M., Zdobywanie informacji o sytuacji powietrznej o sytuacji powietrznej w strukturach sojuszniczych i narodowych, Materiały z sympozjum naukowego nt. Informacje w obronie powietrznej – potrzeby, wymagania, zagrożenia, AON, Warszawa 2002.

53. *http.gazeta.pl/Iso/plus/KOMPUTER/Andrzej/180and.html.*

54. Halama A., Kozioł J., Aproksymacja zasięgów wykrywania stacji radiolokacyjnych, AON, Warszawa 1994.

55. Harel D., Rzecz o istocie informatyki, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2001.

56. Hoja J., Tlaga W.: Mikrosystem detekcji zdeterminowanych sygnałów akustycznych, Czujniki Optoelektroniczne COE 1996.

57. Hornet Autonomous Anti-Armour Ground Munition, Textron Systems, http://www.systems.textron.com/ hornet.htm.

58. http://republika.pl/skowi_magik/sysexp/index.html.

59. Jach K., Madura H., Mroczkowski M., Surażyński L. : Amunicja precyzyjnego rażenia. Przegląd Wojsk Lądowych, nr 9 (507), str. 110-115, 2001.

60. Jagielski J., Zastosowanie metod heurystycznych w modelowaniu jakości obiektów wielocechowych na przykładzie środków napadu powietrznego. Metodyka i sprawozdanie z wstępnego badania ankietowego, wyd. WOSR, Jelenia Góra 1985.

61. Kastek M., Madura H., Powiada E.: Metoda analizy sygnału w czujniku podczerwieni, V Konferencja Krajowa „Termografia i Termometria w Podczerwieni" Ustroń 2002.

62. Klein L.A., Sensor and Data Fusion Concepts and Applications, SPIE Press, Belling-ham 1999.

63. Kofler E., Podejmowanie decyzji przy niepełnej informacji, Uniwersytet w Zurychu, Real Publishers 1993.

64. Koncepcja radiolokacyjnego systemu informacyjnego RP, Sprawozdanie merytoryczne z realizacji pracy badawczej statutowej nr 580, Jelenia Góra 1999.

65. Kopaliński W., Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych, Wiedza Powszechna, Warszawa 1980.

66. Kossecki J., Tajniki sterowania ludźmi, Krajowa Agencja Wydawnicza, Warszawa 1984.

67. Kostrow R., Lipowczan A. i inni: Opracowanie metody i aparatury oceny wpływu parametrów środowiskowych na propagację sygnałów akustycznych w przyziemnej warstwie atmosfery dla detekcji i lokalizacji wojskowych obiektów latających, Sprawozdanie końcowe grant KBN nr 0 T00A 016 17, Warszawa 2001

68. Kozielecki J., Percepcja. Myślenie. Decyzje, PWN, Warszawa 1992.

69. Kulikowski J. L., Informacja i świat w którym żyjemy, Wiedza Powszechna, Warszawa, 1978.

70. Kwećka R., Nowak A., Budowa modelu rozpoznania wojskowego w aspekcie organizacyjnym i informacyjnym (rozprawa doktorska), AON, Warszawa 1994.

71. Kwećka. R., Informacja w walce zbrojnej, AON, Warszawa 2002.

72. Larsson C.: Atmospheric Absorption Conditions for Horizontal Sound Propagation, Applied Acoustics, Vol. 50, No 3, 231-245 1997.

73. Leight A., Doskonałe podejmowanie decyzji, Dom Wydawniczy Rebis, Poznań 1999.

74. Madura H. Sosnowski T., i inni: Opracowanie i testowanie telemetrycznego, biernego systemu wykrywania i identyfikacji wybranych obiektów militarnych (śmigłowców, czołgów, pojazdów) na podstawie ich cech fizycznych: promieniowania cieplnego i fal akustycznych, Sprawozdanie końcowe grant KBN nr T00A 016 11, Warszawa 1998.

75. Madura H., Dąbrowski Z., Sosnowski T., i inni: Sprawozdanie z realizacji prac badawczo-rozwojowych projektu celowego nr 4867. Zadanie nr 8. Eksperymentalne pomiary i analiza cech akustycznych śmigłowców oraz cech akustycznych zakłóceń pola walki. Opracowanie i testowanie algorytmu identyfikacji, Warszawa 2002.

76. Madura H., Dulski R., Dąbrowski M.: Simulations of radiative properties of a helicopter in IR. 7-th International Workshop on Advanced Infrared technology and Applications, 9-11 September Pisa, Italy 2003.

77. Madura H., Polakowski H., Sosnowski T., i inni: Sprawozdanie z realizacji prac badawczo-rozwojowych projektu celowego nr 4867. Zadanie nr 16. Wykonanie mikroprocesorowego czujnika akustycznego, Warszawa 2003.

78. Makowski P., Ośrodki Dowodzenia i Naprowadzania jako ogniwo interoperacyjności, Materiały z sympozjum nt. Natowski i narodowy system dowodzenia siłami powietrznymi, AON, Warszawa 1999.

79. Maślak Z., Kategoryzacja informacji obrony powietrznej – materiały z Sympozjum, AON, Warszawa 2001.

80. Maślak Z., Podstawy teorii informacji obrony powietrznej, AON, Warszawa 2002.

81. Materiały z naukowego sympozjum nt. Informacje w obronie powietrznej – potrzeby, wymagania, zagrożenia, AON, Warszawa 2002.

82. Materiały z naukowego sympozjum nt.: Wsparcie informacyjne obrony powietrznej, AON, Warszawa 2003.

83. Mikoś T. Odporność ugrupowania bojowego WRt WLOP na zakłócenia radioelektroniczne oszacowane metodą symulacji komputerowej, Myśl Wojskowa 3/90.

84. Mordarski Z., Środki rozpoznania i obezwładniania radioelektronicznego SP, AON, Warszawa 1997.

85. Nakielski G., Wspomaganie procesów decyzyjnych w systemie dowodzenia obroną powietrzną RP, Rozprawa doktorska, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa. 1997.

86. Namorato M. V.: A concise history of acoustics in warfare, Applied Acoustics 59 (2000) 101-135.

87. Niedziela T., Dulski R., Madura H., Sikorski Z.: Modelowanie układów termodetekcyjnych dla amunicji inteligentnej, Zeszyty Naukowe Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, Technika Lotnicza, Zeszyt nr 10, 2000.

88. Niedziela T., Dulski R.: Metoda testowania algorytmów decyzyjnych układów automatycznego rozpoznania, Prace naukowe ITWL, Zeszyt nr 10, 2000.

89. Nooralahiyan A. Y., Kirby H. R., McKeown D.: Vehicle Classification by Acoustic Signature, Mathematical and Computer Modelling Vol. 27, No. 9-11, pp. 205-214, 1998

90. Nowacki G., Informacja w walce zbrojnej – materiały z sympozjum naukowego, AON Warszawa 2002.

91. Nowak E., Tezy do seminarium nt. „wykorzystanie intuicji (poznania pozazmysłowego) w podejmowaniu decyzji wojskowych, AON, Warszawa 2001.

92. Nowak E., Zintegrowany model poznania zmysłowego i pozazmysłowego w podejmowaniu decyzji, Warszawa 2003.

93. Ocena wykorzystania uzbrojenia i sprzętu wojskowego w wojnie w rejonie Zatoki Perskiej, WSI, Biuro Studiów i Analiz, Warszawa 1992.

94. Osowski S.: Sieci neuronowe do przetwarzania informacji, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

95. Osowski S.: Sieci neuronowe w ujęciu algorytmicznym, Wyd. II, WNT, Warszawa 1996.

96. Paradowski L., Pietrasiński J., Brenner T, Istota oraz właściwości radaru wielofunkcyjnego, XXXIX Konferencja Naukowo-Techniczna Radiolokacji, Pieczyska 1997.

97. Penc J., Leksykon biznesu wyd. I., Warszawa 1997.

98. Perliński J., Stealth – niewidzialny samolot?, WPT nr 2, Warszawa 1997.

99. Pham T., Sadler B., Fong M. Messer D.: High-resolution acoustic direction-finding algorithm to detect and track ground vehicles, US Army Research Laboratory, Adelphi 1998.

100. Piech K., Wprowadzenie do heurystyki, wyd. SGH, Warszawa 1998.

101. Płoski Z., Słownik Encyklopedyczny – Informatyka, Wydawnictwa Europa, Warszawa 1999.

102. Podstawy użycia wojsk radiotechnicznych – szkic teoretyczny, Poznań 1999.

103. Polakowski H., Kastek M., Morawski M. : Stanowisko do wyznaczania kątów pola widzenia czujników podczerwieni, VI Krajowa Konferencja Termografia i Termowizja w Podczerwieni, Ustroń-Jaszowiec 2004.

104. Popularna Encyklopedia Powszechna Wydawnictwo Fogra.

105. Praca naukowo-badawcza na temat: Koncepcja radiolokacyjnego systemu informacyjnego RP, Sprawozdanie merytoryczne z realizacji pracy badawczej statutowej nr 580, Jelenia Góra 1999.

106. Praca naukowo-badawcza na temat "Warunki terenowe a możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych WLOP i WOPL" - rozdział 1 - "Wpływ ukształtowania i pokrycia terenu na możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych", WOSR, Jelenia Góra 1994.

107. Praca naukowo-badawcza pod nauk. kier. Mroczko F, Warunki terenowe a możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych WLOP i WOPL, WOSR, Jelenia Góra 1994.

108. Praca naukowo-badawcza na temat "Warunki terenowe a możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych WLOP i WOPL" - zadanie badawcze - "Wpływ terenu równinnego i górzystego na możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych":

- opracowanie I, WOSR, Jelenia Góra 1992.
- opracowanie II, WOSR, Jelenia Góra 1993.
- opracowanie III, WOSR, Jelenia Góra 1994.

109. Praca pod nauk. kier. W. Scheffsa, Radiolokacja w wojskach lądowych wschodnich sąsiadów Rzeczpospolitej Polskiej, Studium teoretyczne, AON 2002.

110. Praca pod redakcja Tadeusza Tomaszewskiego. Psychologia ogólna, Warszawa 1992.

111. Praca zbiorowa pod redakcją Henryka Madury, Pomiary termowizyjne w praktyce, Agenda Wydawnicza PAKu, Warszawa 2004.

112. Proctor T., Zarządzanie twórcze, Felberg Sja, Warszawa 2001.

113. Przebieg oraz doświadczenia i wnioski w rejonie Zatoki Perskiej, MON, Warszawa, 1991.

114. Raport końcowy z realizacji projektu celowego nr 4867 (Numer umowy 148302/C-T00/2001): Inteligentna mina zdalnego rażenia do niszczenia śmigłowców i obiektów niskolecących, WAT, Warszawa 2004.

115. Ross Ch. D.: Outdoor sound propagation in the US Civil War, Applied Acoustics 59 (2000) 137-147.

116. Searle J. R.,. Umysł, mózg i nauka, PWN, Warszawa 1995.

117. Skwarek Z., Powietrzne systemy wczesnego wykrywania i powiadamiania, AON, Warszawa 2002.

118. Skwarek Z., Zdobywanie informacji w obronie powietrznej, Materiały z sympozjum naukowego nt. Informacje w obronie powietrznej – potrzeby, wymagania, zagrożenia, AON, Warszawa 2002.

119. Słownik Wyrazów Obcych i Zwrotów Obcojęzycznych, Wiedza powszechna, Warszawa 1980.

120. Smolski R., Smolski M., Stadtmüller E. H., Słownik Encyklopedyczny Edukacja Obywatelska, Wydawnictwa Europa,1999.

121. Smólski B., Wpływ nowych technologii na przebieg i wynik operacji „Iracka wolność", Konferencja Naukowa nt.: „Iracka Wolność", AON, Warszawa 2003.

122. Sosnowski T, Metoda klasyfikacji i identyfikacji wybranych obiektów militarnych na podstawie cech akustycznych, WAT, Warszawa 2003.

123. Sosnowski T., Madura H.: Rozpoznawanie wybranych obiektów militarnych na podstawie cech akustycznych, X Konferencja Naukowa Wibrotechniki i Wibroakustyki, V Ogólnopolskie Seminarium Wibroakustyka w Systemach Technicznych, WIBROTECH, Kraków 2003.

124. Sosnowski T., Madura H.: System i oprogramowanie do analizy sygnału akustycznego, XII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowanie mikroprocesorów w automatyce i pomiarach", Warszawa, 2000.

125. Sosnowski T., Madura H.: System i oprogramowanie do analizy sygnału akustycznego, XII Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowanie mikroprocesorów w automatyce i pomiarach", Warszawa 2000.

126. Sosnowski T., Polakowski H., Powiada E.: Pasywna lokalizacja obiektów na podstawie pomiaru sygnału akustycznego, X Konferencja Naukowa Wibrotechniki i Wibroakustyki, V Ogólnopolskie Seminarium Wibroakustyka w Systemach Technicznych, WIBROTECH, Kraków 2003.

127. Sosnowski T., Sikorski Z., Madura H.: Identyfikacja obiektu na podstawie analizy sygnału akustycznego, VI Konferencja Naukowa Czujniki optoelektroniczne i elektroniczne COE2000, Gliwice 2000.

128. Sosnowski T.: Multisystemowe algorytmy operacji numerycznych na liczbach wielobajtowych do analizy wyników pomiarowych w systemach z licznikami czasu, Raport Badawczy PBS-604 Nr 2, Warszawa 1999.

129. Sprawozdanie z realizacji prac badawczo-rozwojowych projektu celowego nr 4867 (umowa nr 148302/C-T00/2001). Zadanie nr 8: Eksperymentalne pomiary i analiza

cech akustycznych śmigłowców oraz cech akustycznych zakłóceń pola walki. Opracowanie i testowanie algorytmu identyfikacji, WAT, Warszawa 2002.

130. Sprawozdanie z realizacji prac badawczo-rozwojowych projektu celowego nr 4867 (umowa nr 148302/C-T00/2001). Zadanie nr 12: Badanie termowizyjne i spektralne śmigłowców. Analiza widmowa i zasięgowa toru termodetekcyjnego oraz opracowanie założeń na wykonanie czujników podczerwieni dla wybranych przedziałów widmowych, WAT, Warszawa 2002.

131. Sprawozdanie z realizacji prac badawczo-rozwojowych projektu celowego nr 4867 (umowa nr 148302/C-T00/2001). Zadanie nr 18: Testowanie czujnika akustycznego w warunkach poligonowych. Wyznaczanie: zasięgu prawdopodobieństw wykrycia, prawdopodobieństw fałszywego alarmu, odporności na zakłócenia, odporności na warunki zewnętrzne, WAT, Warszawa 2003.

132. Świątnicki Z., Wantoch-Rekowski R.: Sieci neuronowe w zastosowaniach wojskowych, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 1998

133. Świątnicki Z., Wojskowe systemy ekspertowe, Bellona, Warszawa 1995.

134. Tadeusiewicz R., Sieci neuronowe, Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa 1993.

135. Tadeusiewicz R.: Sygnał mowy, WKŁ, Warszawa 1988.

136. Tichomirow O., Struktura czynności myślenia człowieka, PWN, Warszawa 1976.

137. Tołkacz M., Analiza wpływu zakłóceń radioelektronicznych na możliwości rozpoznawcze systemu radiolokacyjnego z wykorzystaniem symulacji komputerowej – rozprawa doktorska, ASG, Warszawa 1987.

138. Wiśniewski A., M.: Przegląd stanu technologii rozpoznawania mowy, Biuletyn IaiR WAT ,nr 7, Warszawa 1997.

139. Wpływ terenu równinnego i górzystego na możliwości taktyczne stacji radiolokacyjnych" - Biuletyn WOSR 4 (17), Jelenia Góra 1993.

140. Vavilov V. P., Klimov A. G., Studying the phenomena related to the thermografic detection of buried landmines, Proceedings of Internnational QIRT Conference, Dubrownik 2002.

141. Zabłocki E., Antczak S., Ocena efektywności działań bojowych WOPK – rozprawa habilitacyjna, ASG, Zeszyt naukowy nr 02/85.

142. Zabłocki E., Współczesne siły powietrzne, AON, Warszawa 2002.

143. Zajas S., Wnioski i doświadczenia z użycia sił powietrznych w operacji „Iracka wolność". Odniesienia do operacji „Pustynna burza" z 1991 roku, Konferencja Naukowa nt.: „Iracka Wolność", AON, Warszawa 2003.

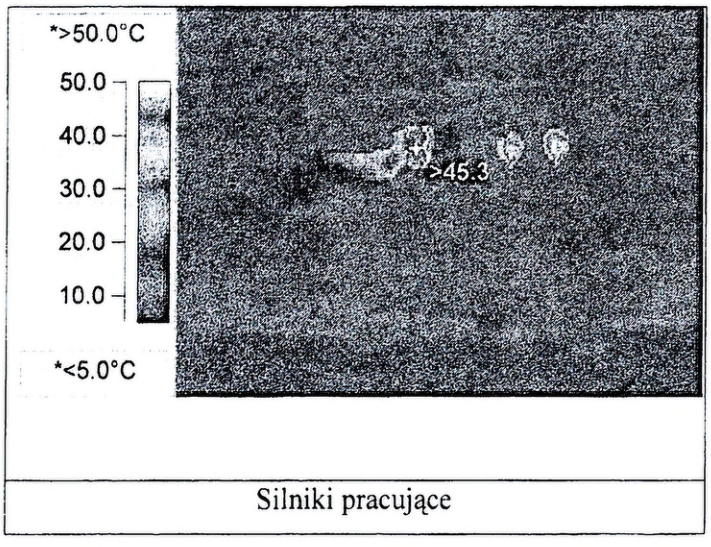
144. Zawadzki W., Majewski T., Prusiński N., Informacyjne uwarunkowania procesu decyzyjnego, AON, Warszawa 2002.

145. Zieliński M., Chłopak z Chicago i nasze wybory, Warszawa 2000.

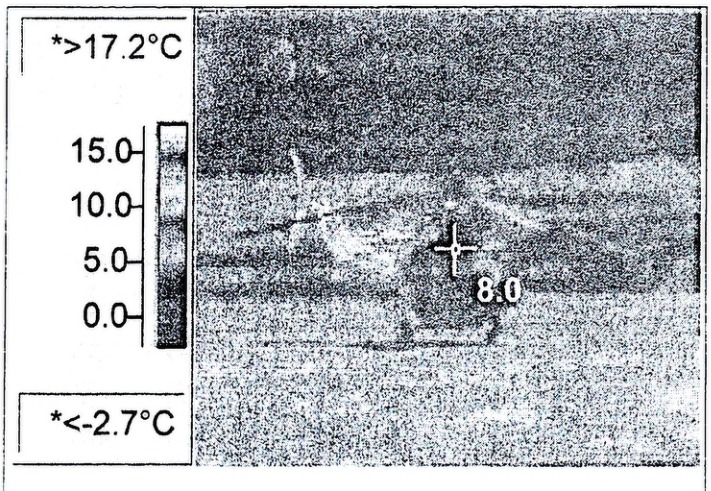
ZAŁĄCZNIKI

1. Przykładowy rozkład temperatur śmigłowca.
2. Obraz śmigłowca na tle nieba.
3. Porównanie warunków obserwacji z powietrza i z ziemi.
4. Okna dialogowe programu IDENTYFIKACJA – „Współrzędne ODN", „Dyslokacja".
5. Okna dialogowe programu IDENTYFIKACJA – „Współrzędne RLS", „Dane WRt".
6. Okna dialogowe programu IDENTYFIKACJA – „Dane z rozpoznania", „Identyfikacja (samolot)".
7. Współrzędne do treningu nr 030201.
8. Konfiguracja Secfile (rozpoznanie).
9. Wybrane algorytmy programu IDENTYFIKACJA.
10. Ogólna struktura modelu.
11. Model rozpoznania radiolokacyjnego i elektronicznego.
12. Model rozpoznania optycznego.
13. Model rozpoznania akustycznego.

Przykładowy rozkład temperatur śmigłowca



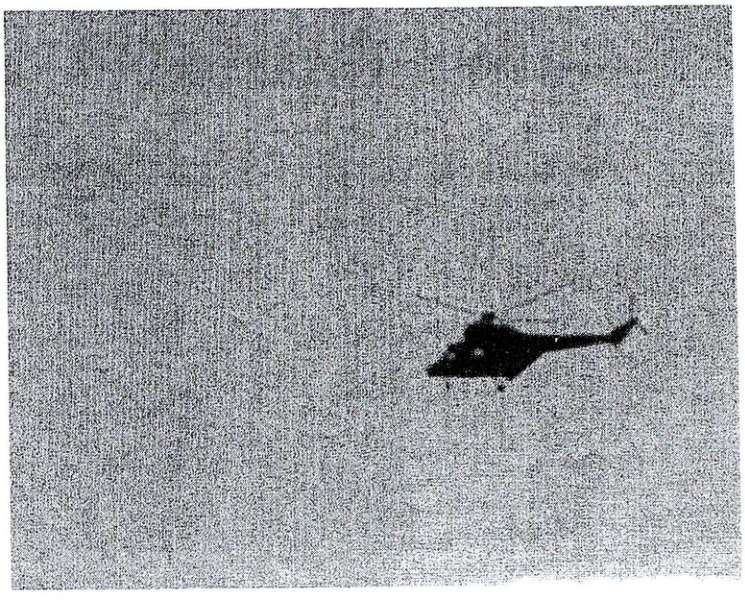
Silniki pracujące



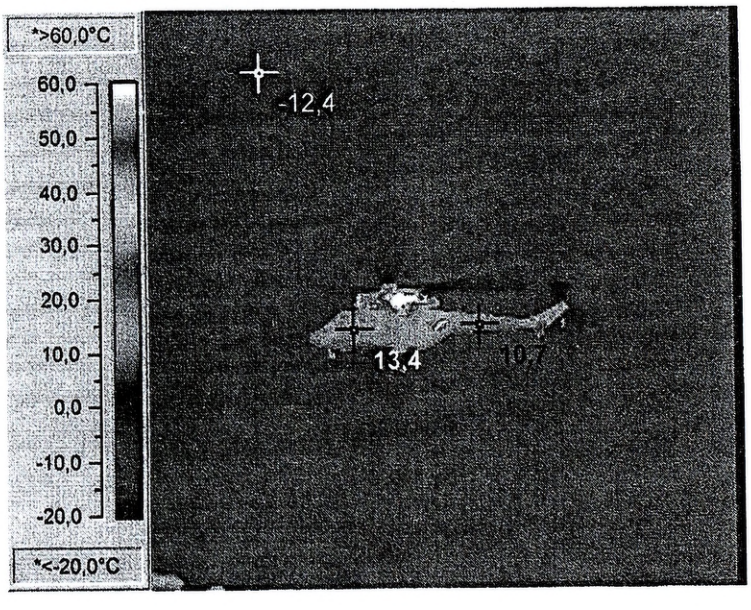
Silniki zimne

Załącznik 2

Obraz śmigłowca na tle nieba

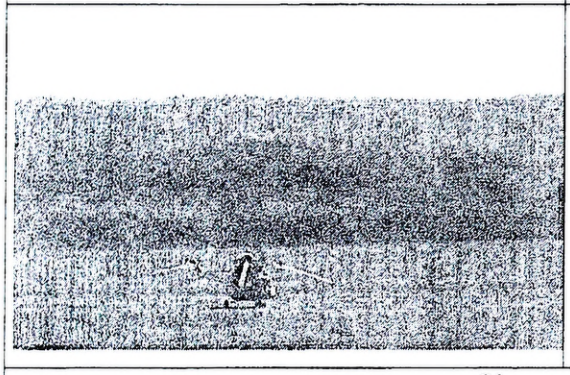
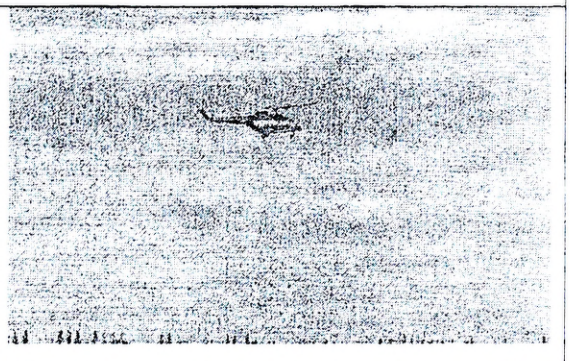
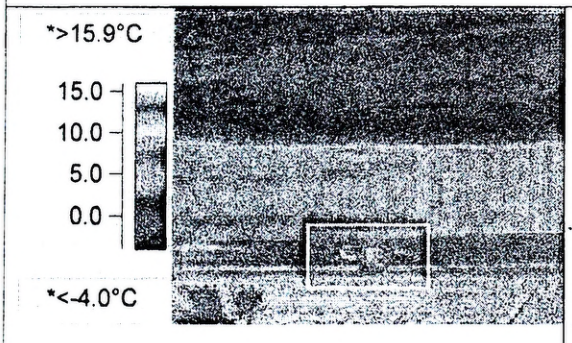
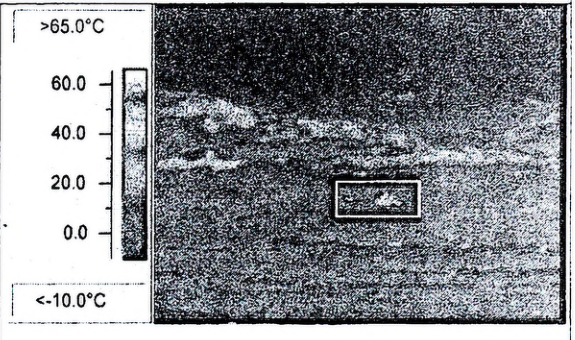


a) obraz optyczny



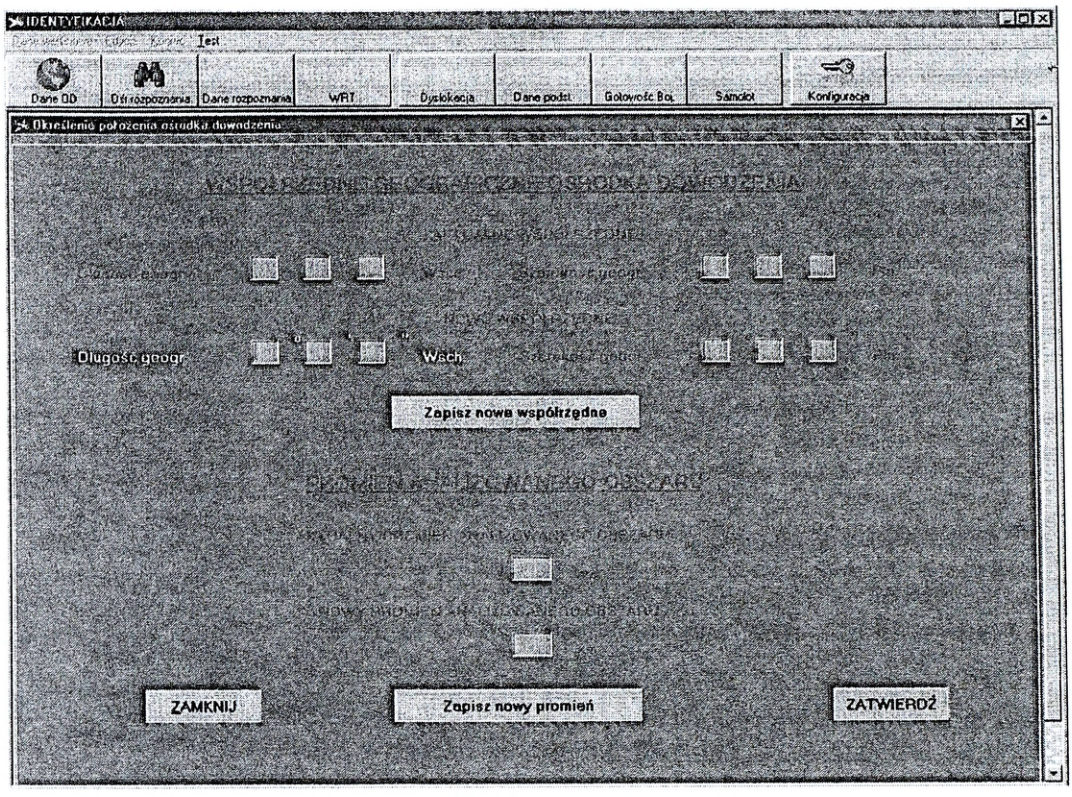
b) obraz z kamery termowizyjnej

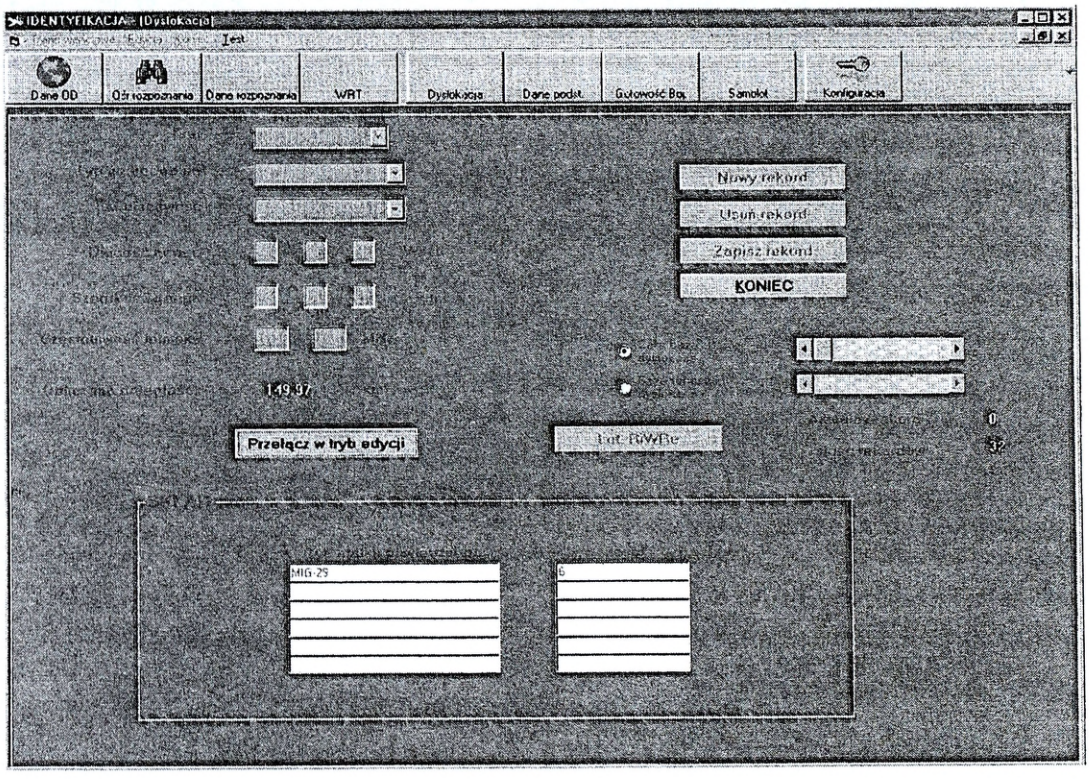
Porównanie warunków obserwacji z powietrza i z ziemi

POWIETRZE-ZIEMIA	ZIEMIA-POWIETRZE
	
Obraz optyczny	
	
Obraz w termowizji	

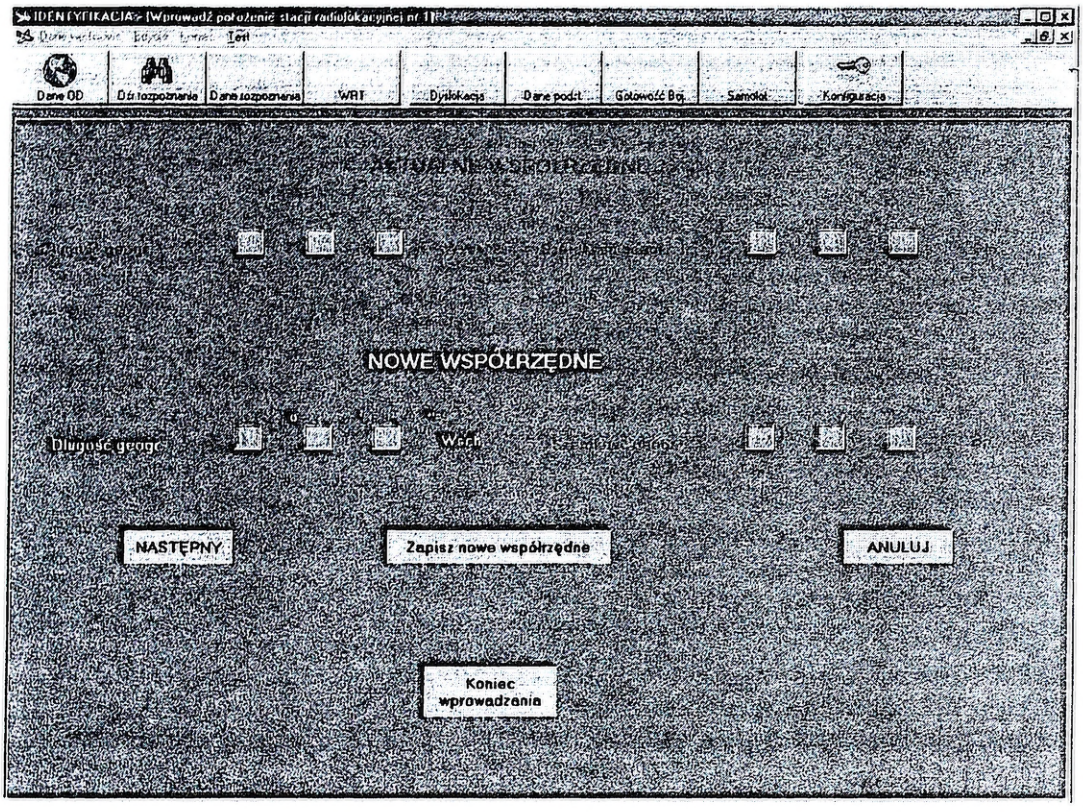
Zobrazowanie śmigłowca W-3 Sokół z odległości 1500 m

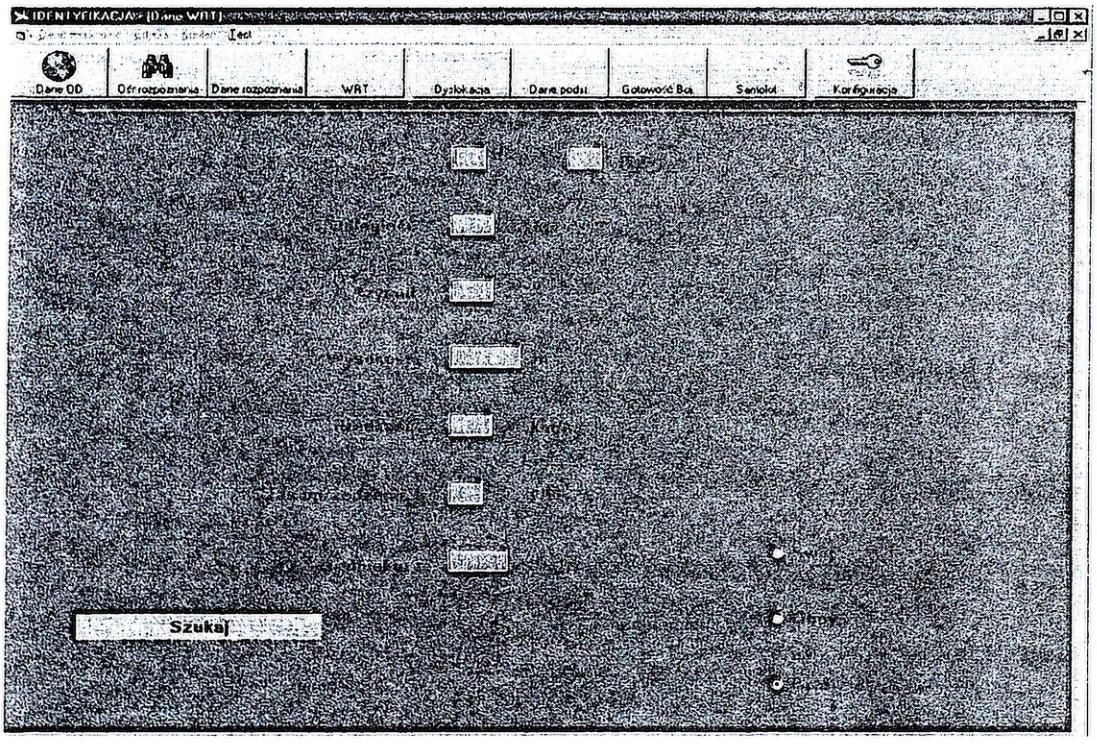
Załącznik 4


IDENTYFIKACJA
Test
Dane OD
Dane rozpoznania
WRT
Dyslokacja
Dane podst.
Gotowość Boj.
Samolot
Konfiguracja
Określenie położenia ośrodka dowodzenia
Długość geogr.
Wsch.
Zapisz nowe współrzędne
ZAMKNIJ
Zapisz nowy promień
ZATWIERDŹ

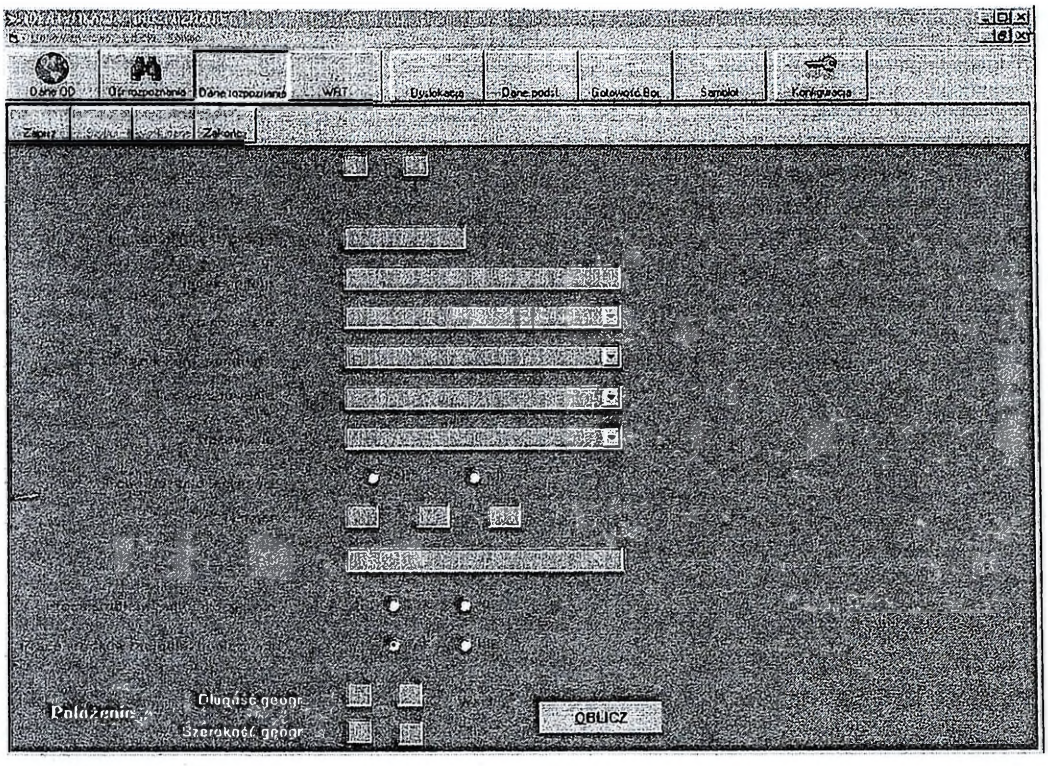

IDENTYFIKACJA - [Dyslokacja]
Test
Dane OD
Dane rozpoznania
WRT
Dyslokacja
Dane podst.
Gotowość Boj.
Samolot
Konfiguracja
Nowy rekord
Usuń rekord
Zapisz rekord
KONIEC
149.97
Przełącz w tryb edycji
MIG-29

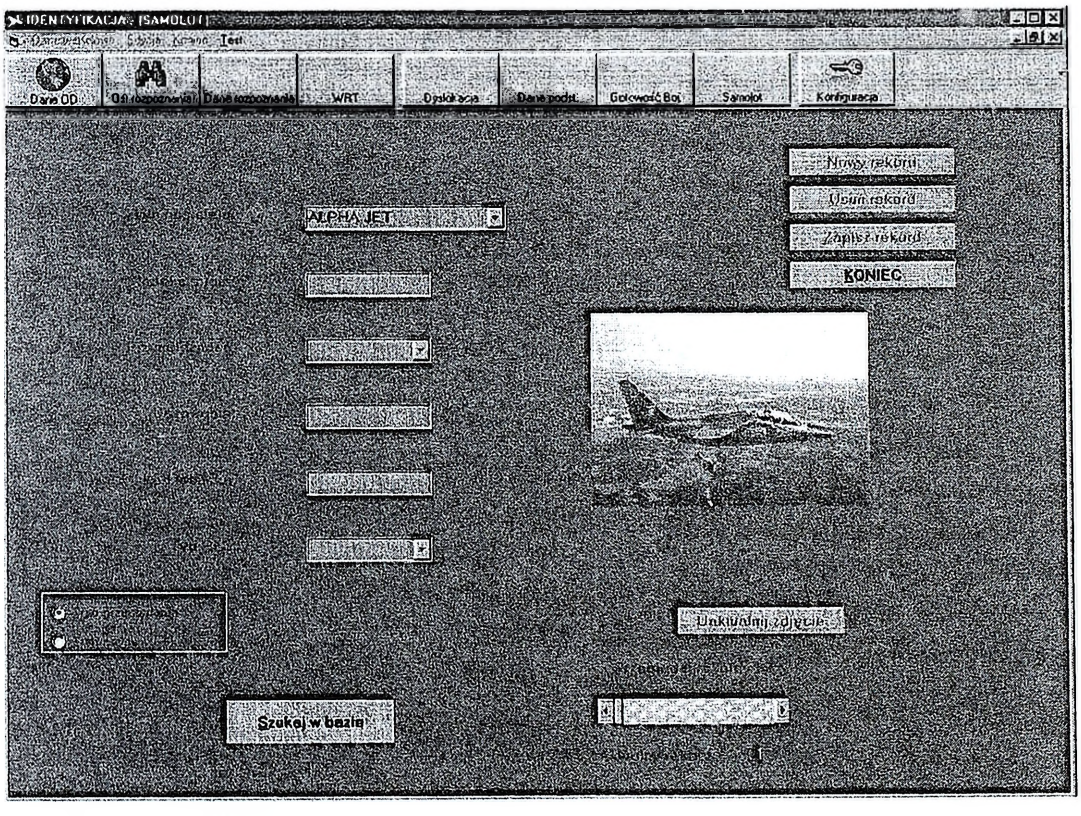
Załącznik 5


Dane OD
Dane rozpoznania
WRT
Dyslokacja
Dane podst.
Gotowość Boj.
Samolot
Konfiguracja
NOWE WSPÓŁRZĘDNE
Długość geogr.
NASTĘPNY
Zapisz nowe współrzędne
ANULUJ
Koniec wprowadzania


Dane OD
Dane rozpoznania
WRT
Dyslokacja
Dane podst.
Gotowość Boj.
Samolot
Konfiguracja
Szukaj

Załącznik 6


Dane OD
Dane rozpoznania
WRT
Dyslokacja
Dane podst.
Gotowość Boj.
Samolot
Konfiguracja
Położenie
Długość geogr.
Szerokość geogr.
OBLICZ

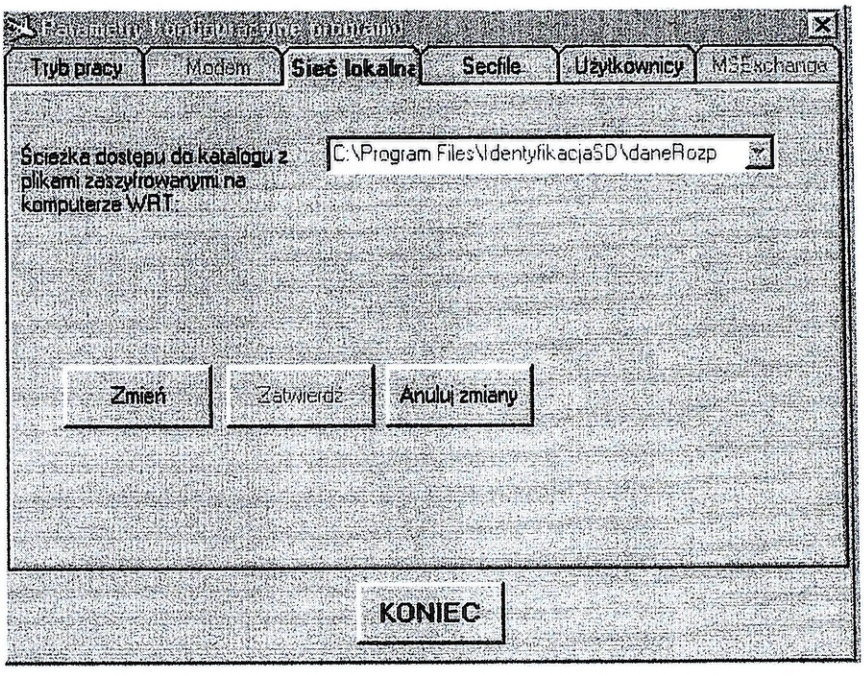

Test
Dane OD
WRT
Dyslokacja
Dane podst.
Gotowość Boj.
Samolot
Konfiguracja
Nowy rekord
Usuń rekord
Zapisz rekord
KONIEC
ALPHA JET
Szukaj w bazie

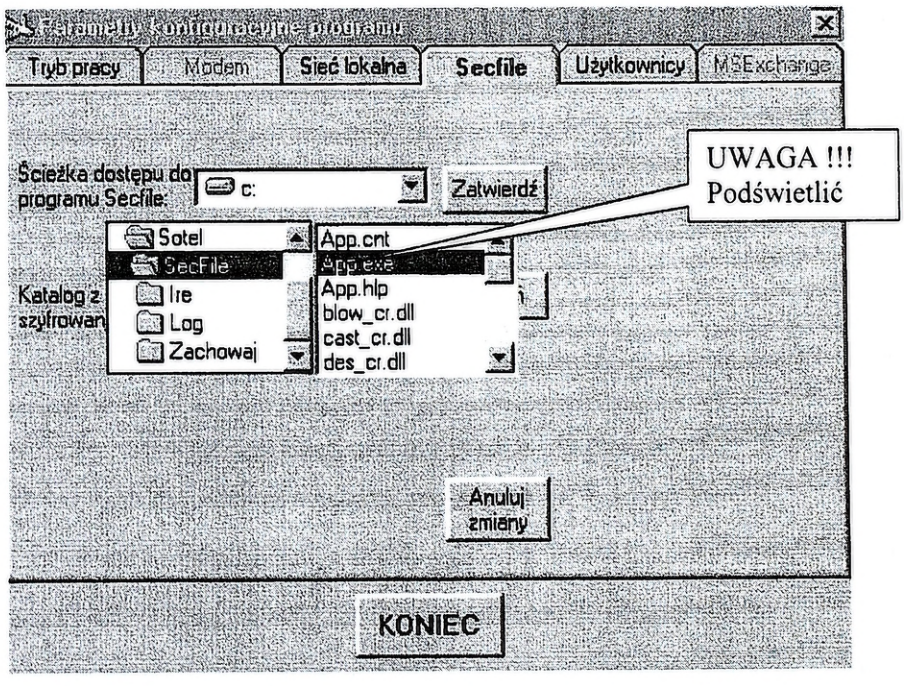
Współrzędne do treningu 030201

Nr celu	Współrzędne celu				
101	5224 – 2305	5258 – 1940	5245 – 1935	5215 – 2251	5229 – 2257
	5303 – 1930				
102	5218 – 2101	5035 – 1835	5010 – 2100	5140 –2300	
103	5050 – 1855	5150 – 1630	5220 – 1910		
104	5215 – 2134	5118 – 2010	5110 – 1830	5208 – 1614	5244 – 1908
105	5111 – 2012	5023 – 1839	4957 – 2113	5142 – 2340	
106	5156 – 2115	5128 – 2112	5128 – 2218	5147 – 2242	
107	5157 – 2127	5122 – 2105	5122 – 2125	5143 – 2221	
108	5122 – 2125	5126 – 2228	5143 – 2255		
109	5151 – 2142	5104 – 2128	5030 – 1843	5020 – 1838	5012 – 1848
	5008 – 1855	5006 – 1915	5145 – 2100		
110	5104 – 2128	5036 – 2142	5036 – 2153	5146 – 2151	
111	5050 – 2017	4955 – 1945	4951 – 2010	5148 – 2139	
112	5151 – 2158	5046 – 2140	5045 – 2159	5148 – 2139	
113	5153 – 2134	5007 – 1937	5012 – 1920	5152 – 2120	
114	5148 – 2325	5027 – 2150	5018 – 2208	5135 – 2335	
115	5218 – 1926	5210 – 1837	5150 – 1845	5203 – 1950	
116	5154 – 2042	5031 – 1841	5039 – 1740	5153 – 2022	
117	5234 – 1905	5243 – 1528	5233 – 1527	5230 – 1851	
118	5224 – 1910	5222 – 1645	5228 – 1645	5228 – 1905	
119	5226 – 1900	5226 – 1534	5235 – 1534	5232 – 1900	
120	5226 – 1651	5218 – 1651	5222 – 1910		
121	5217 – 1930	5114 – 1648	5040 – 1707	5157 – 2015	
122	5222 – 1925	5125 – 1650	5054 – 1708	5204 – 2000	
123	5213 – 1936	5134 – 1900	5122 – 2008	5150 – 2043	
124	5214 – 1926	5137 – 1858	5125 – 2004	5150 – 2032	
125	5227 – 1930	5204 – 1610	5140 – 1622	5220 – 1915	

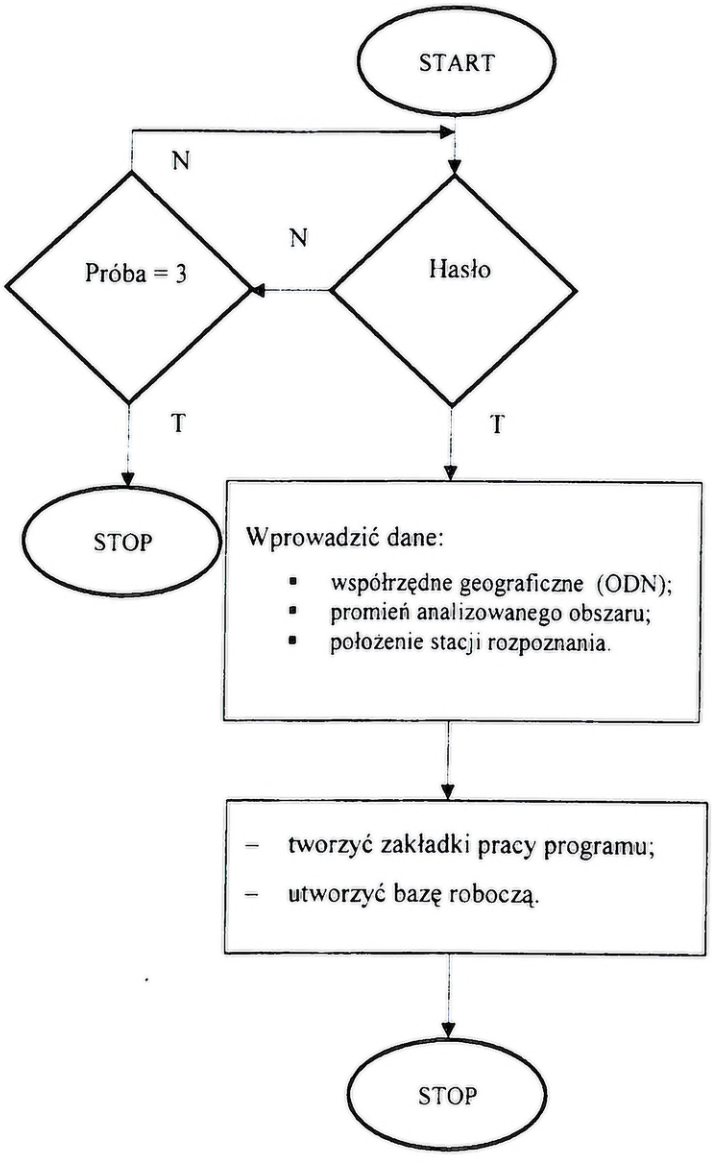
Załącznik 8

Konfiguracja Secfile (rozpoznanie)

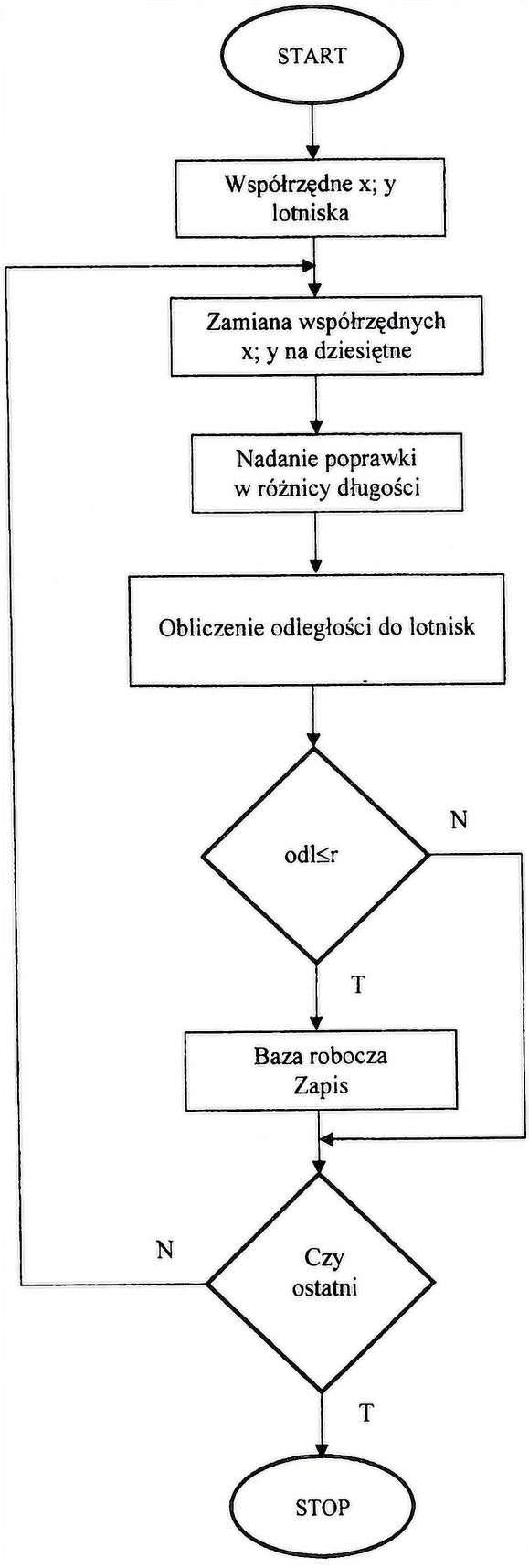




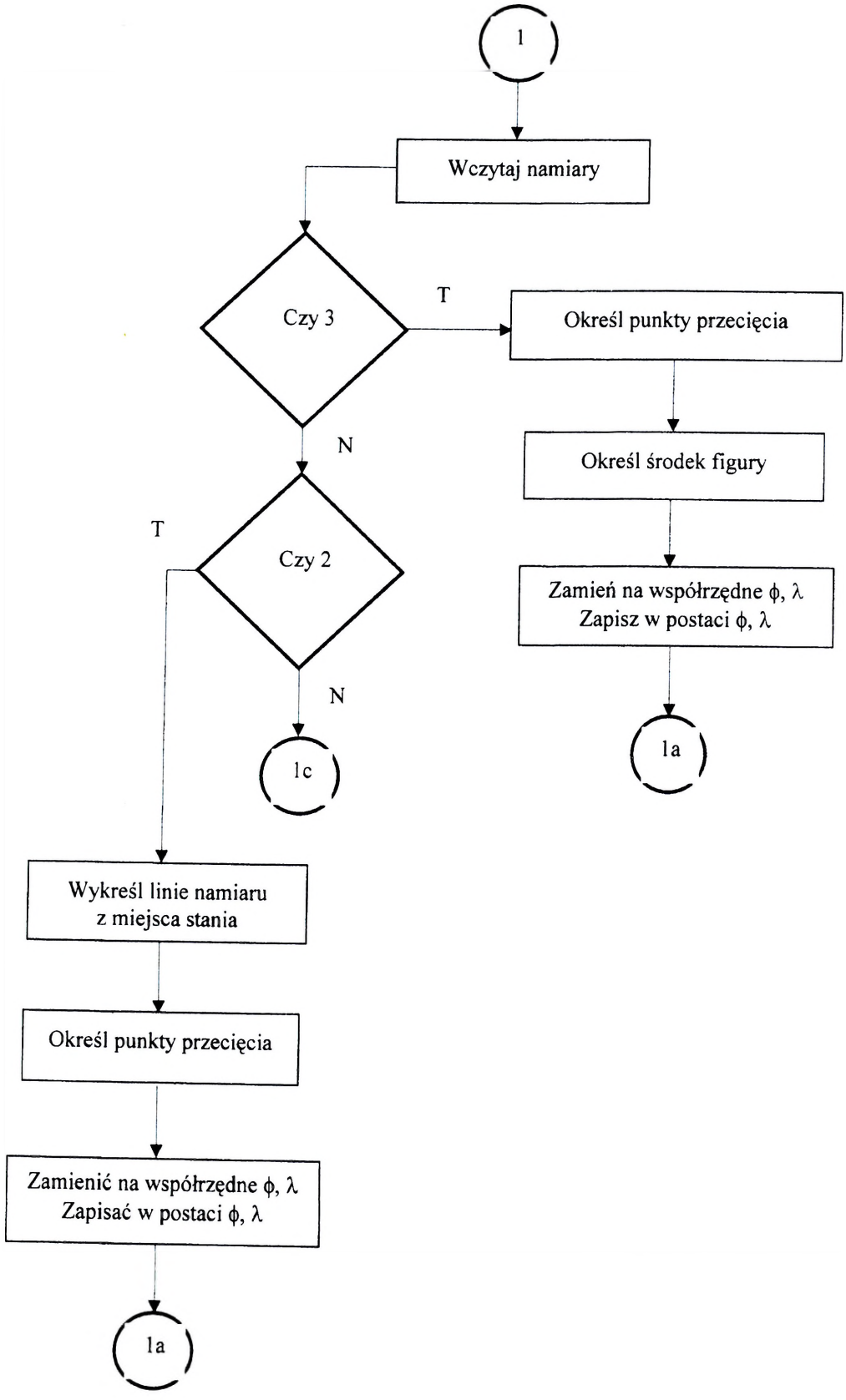
Algorytm „Gł-A"



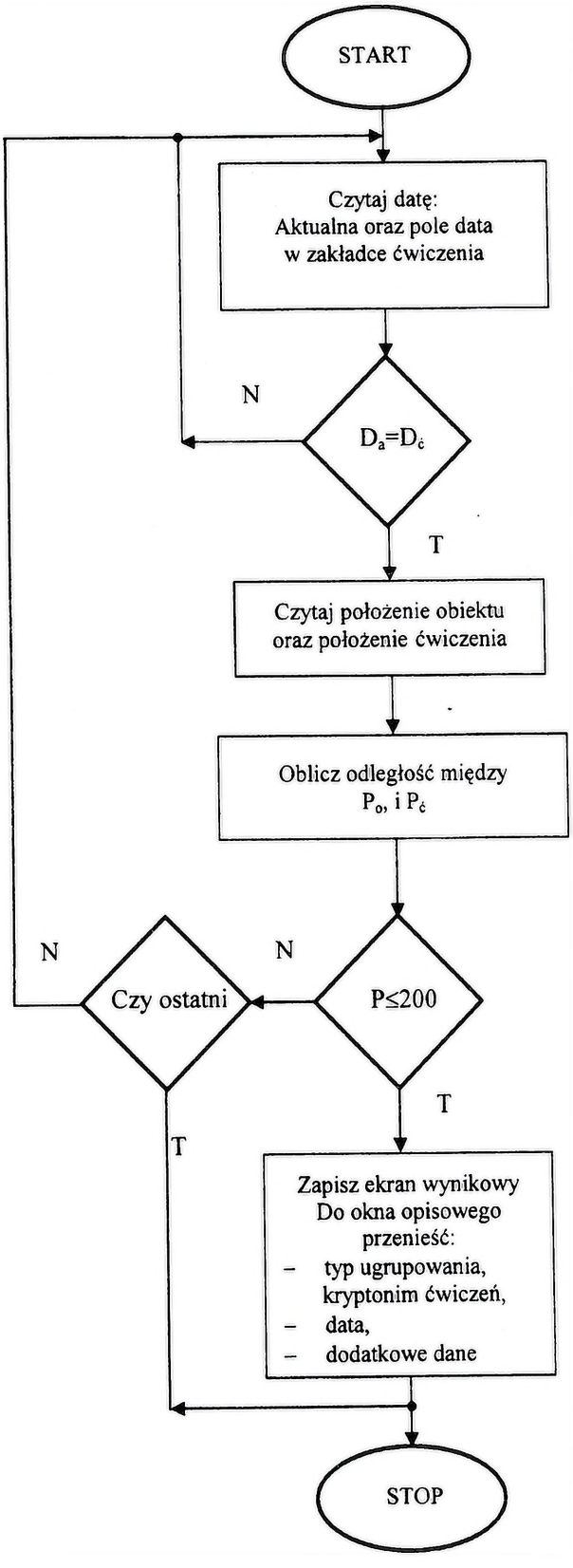
Algorytm „Strefa"



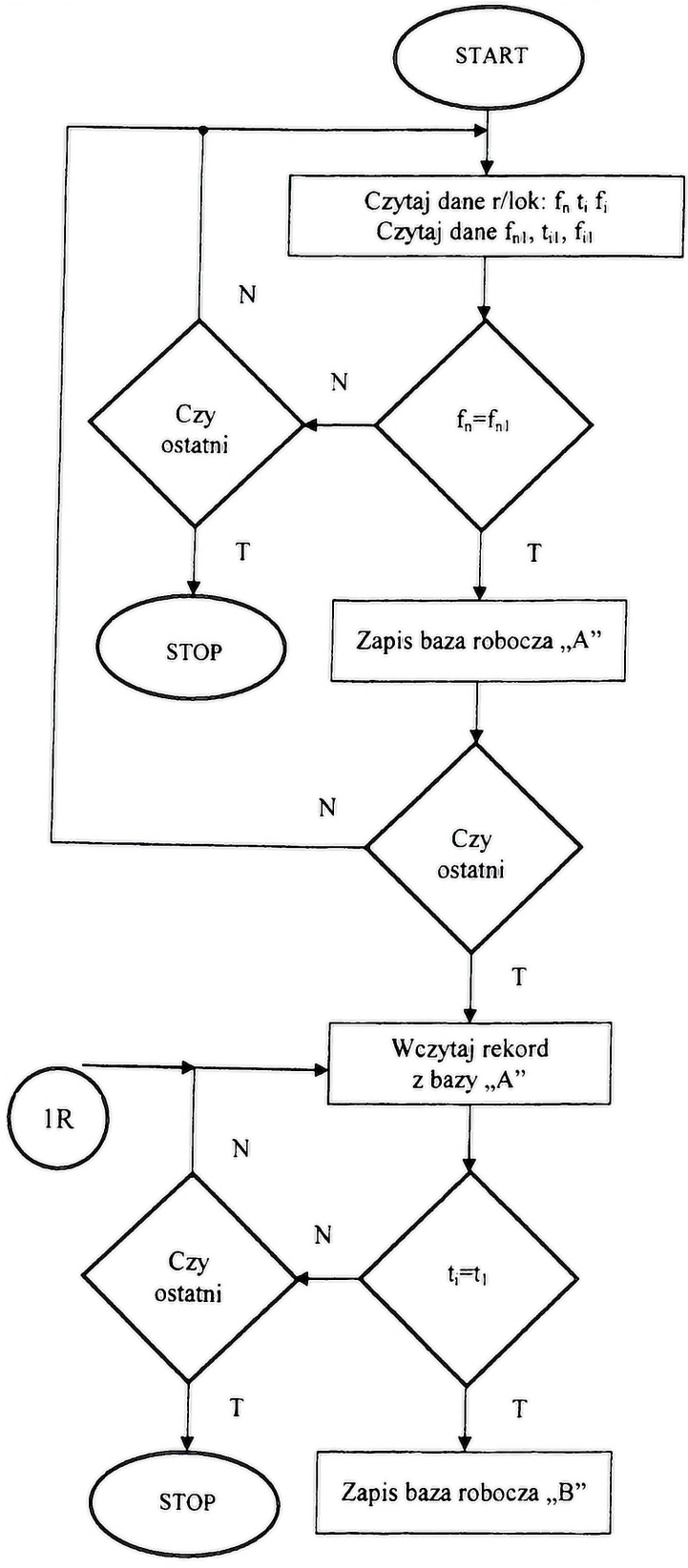
Algorytm „Położenie"



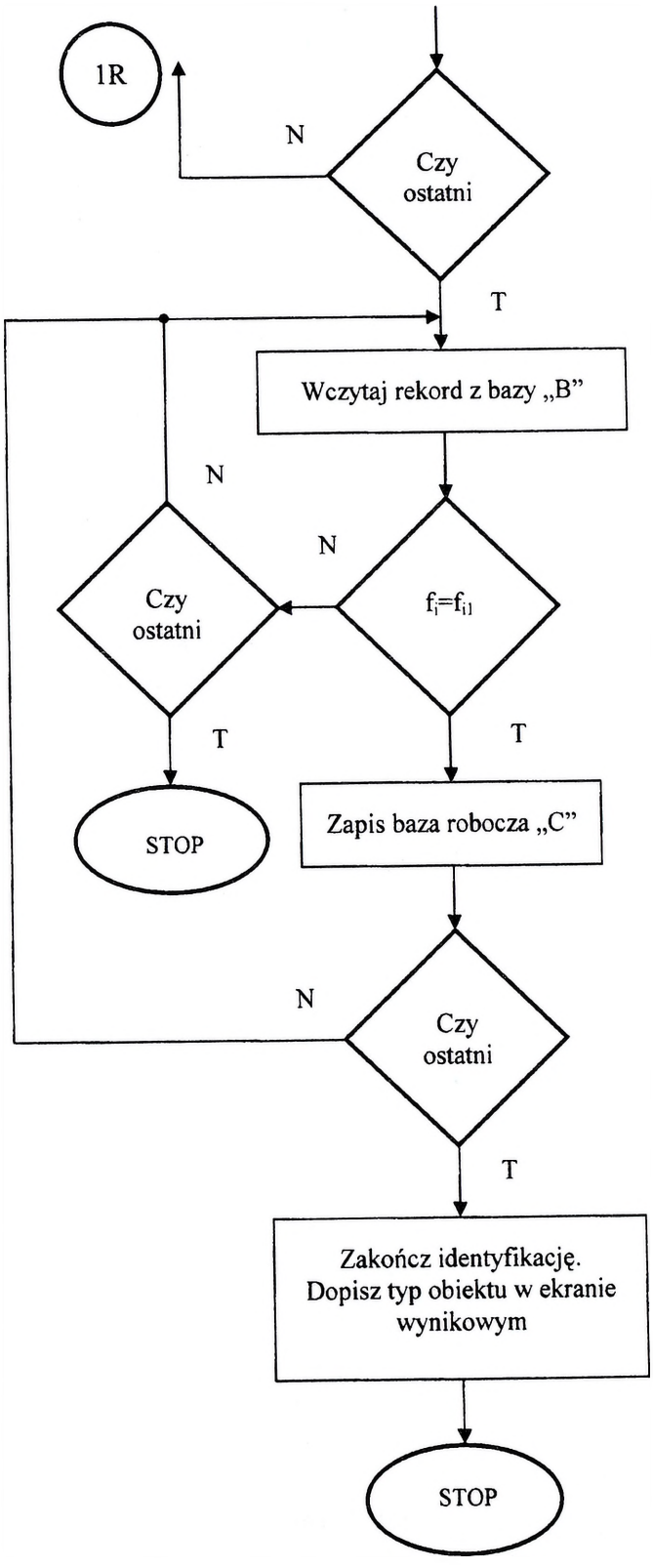
Algorytm ćwiczenia



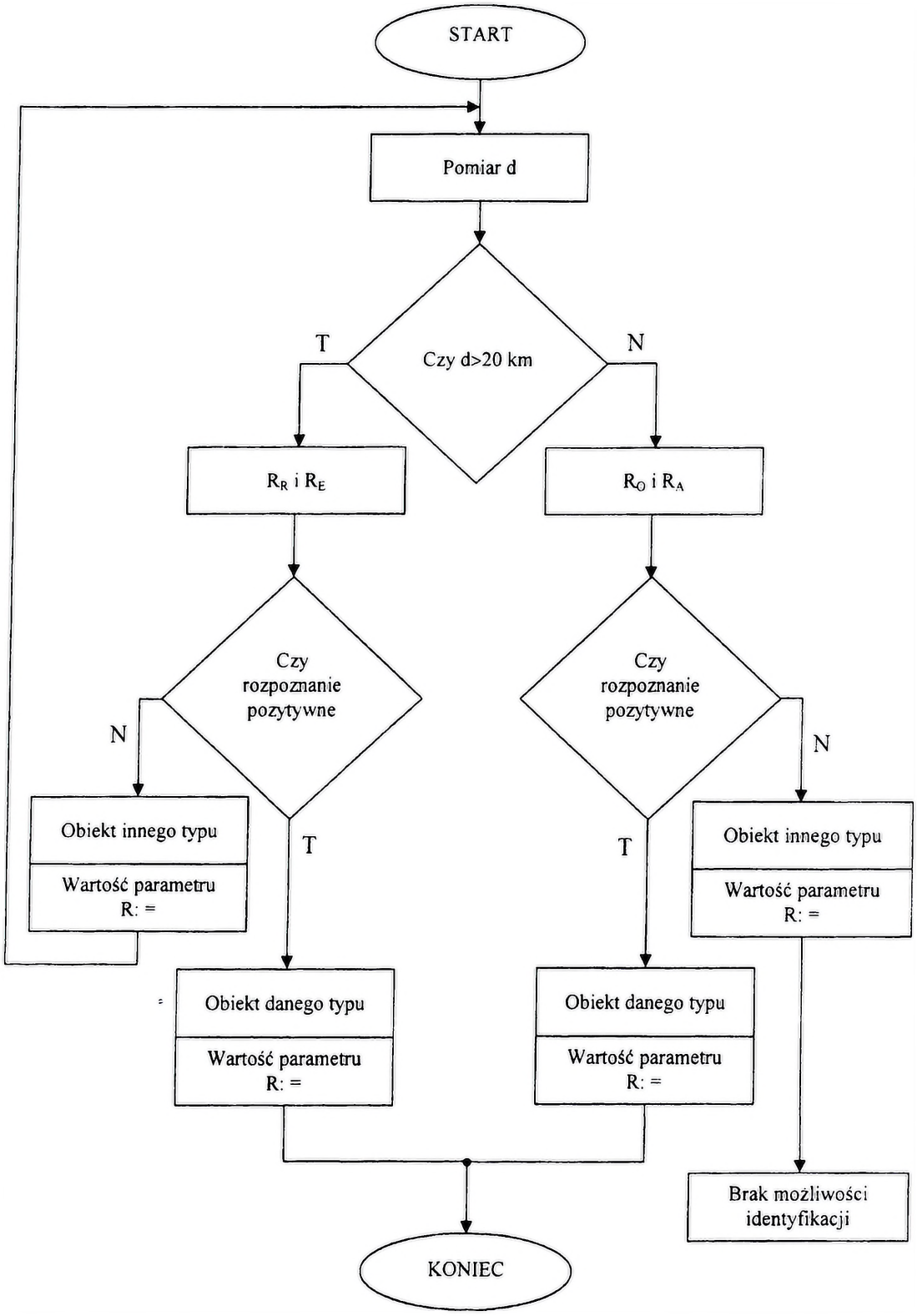
Algorytm radiolokacja



Algorytm wynikowy

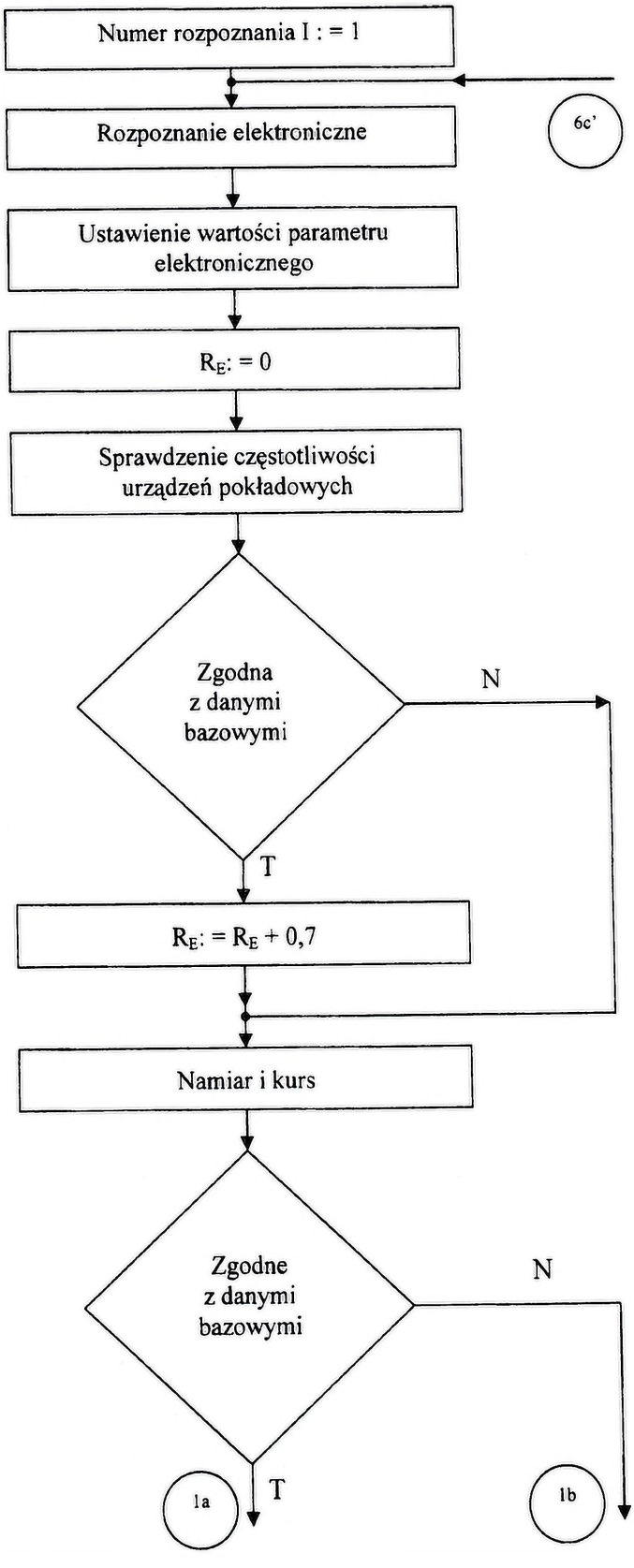


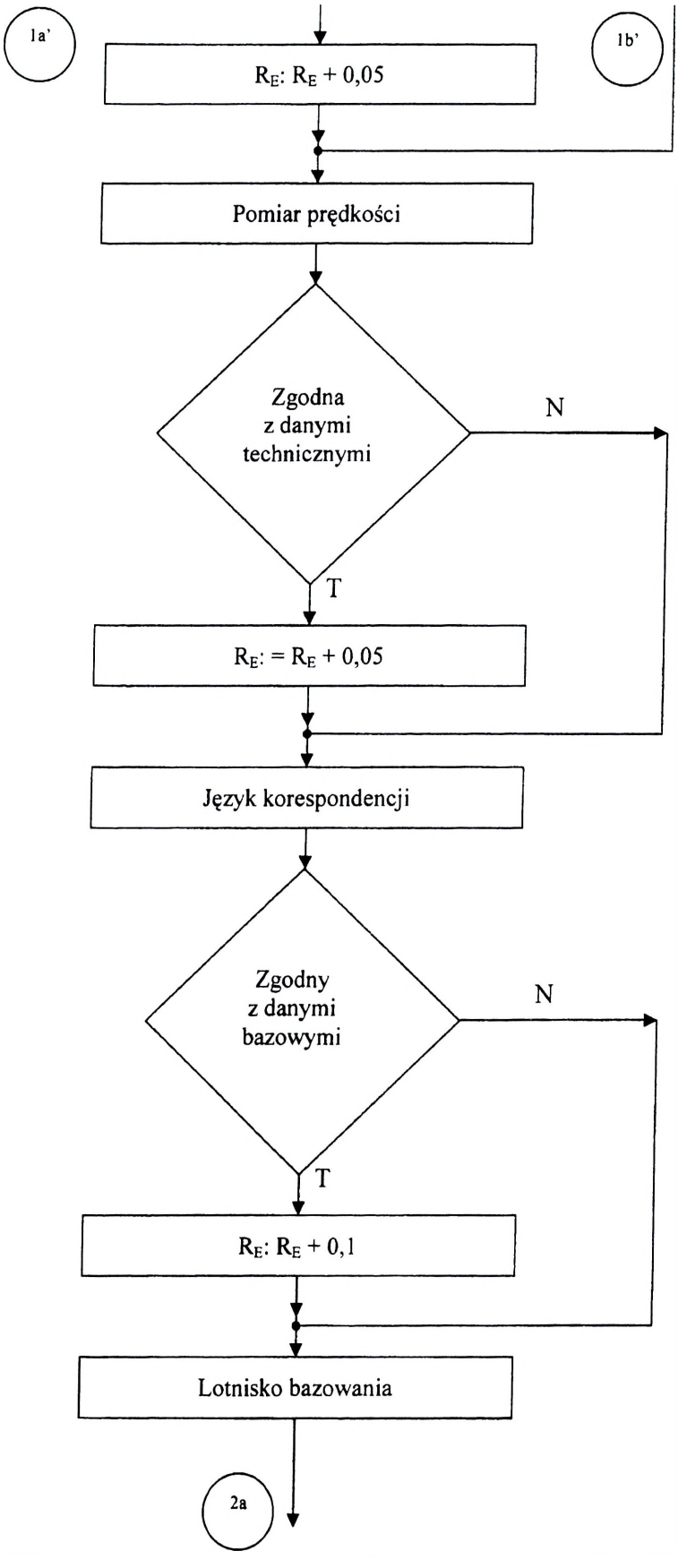
Ogólna struktura modelu

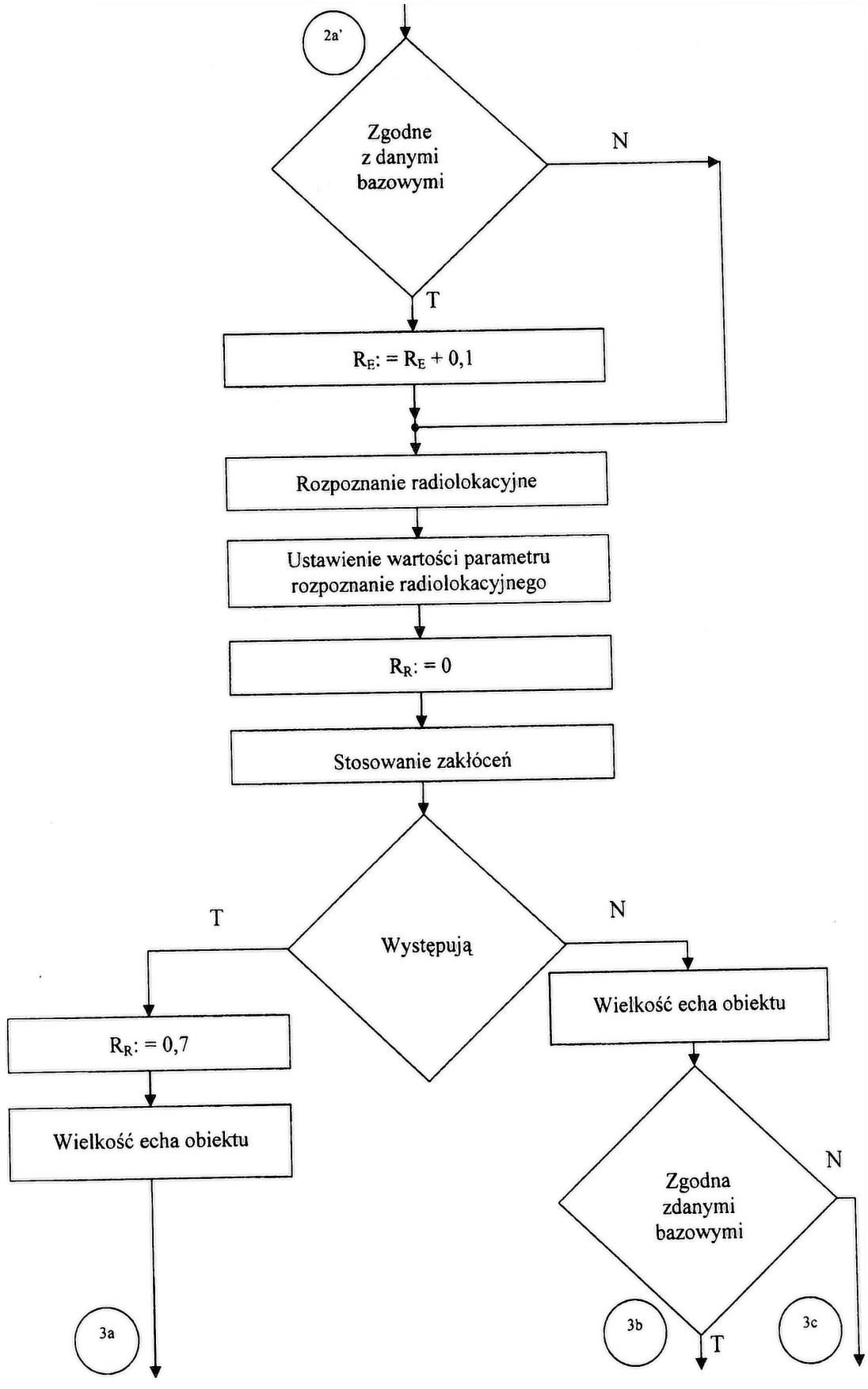


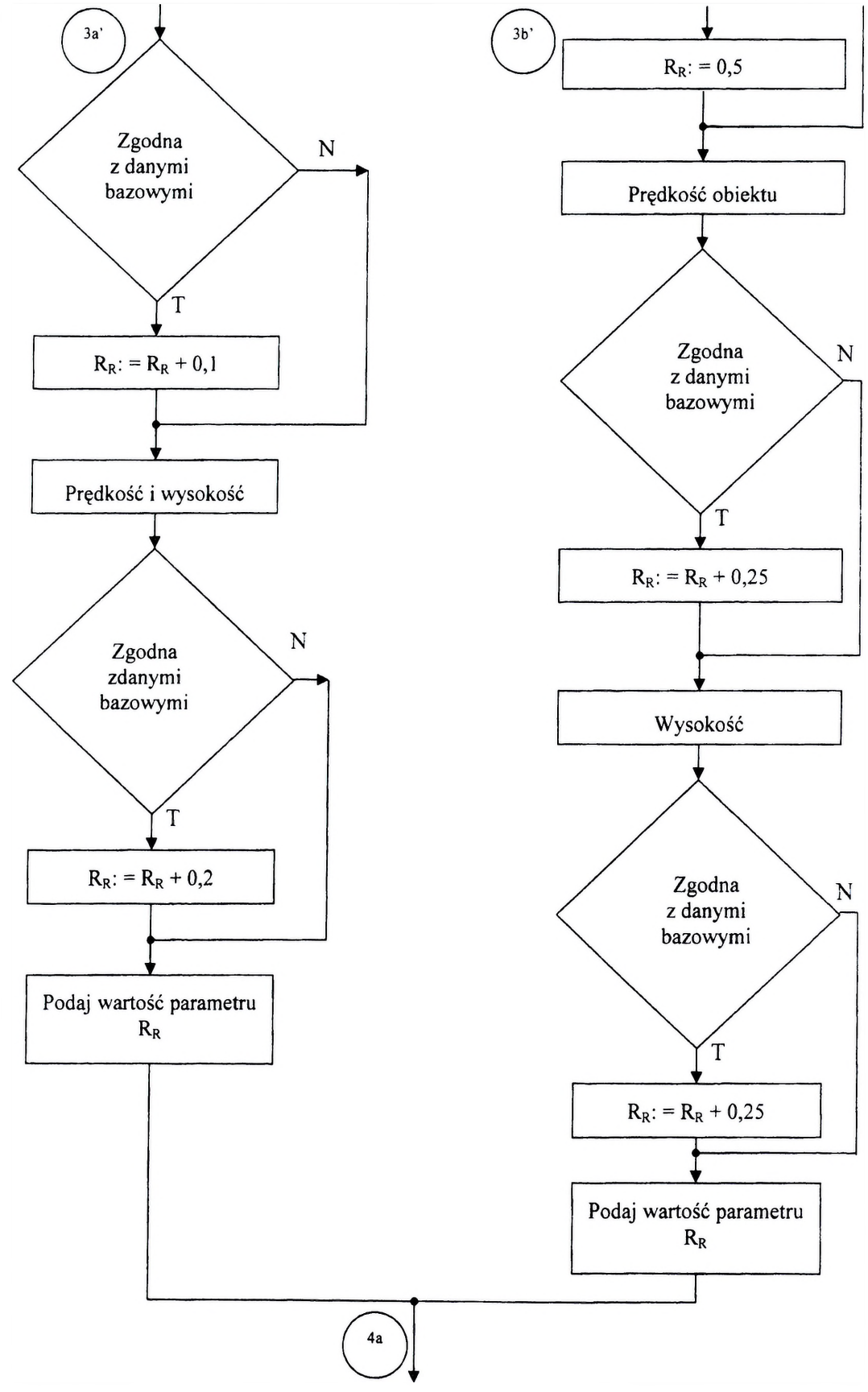
Załącznik 11

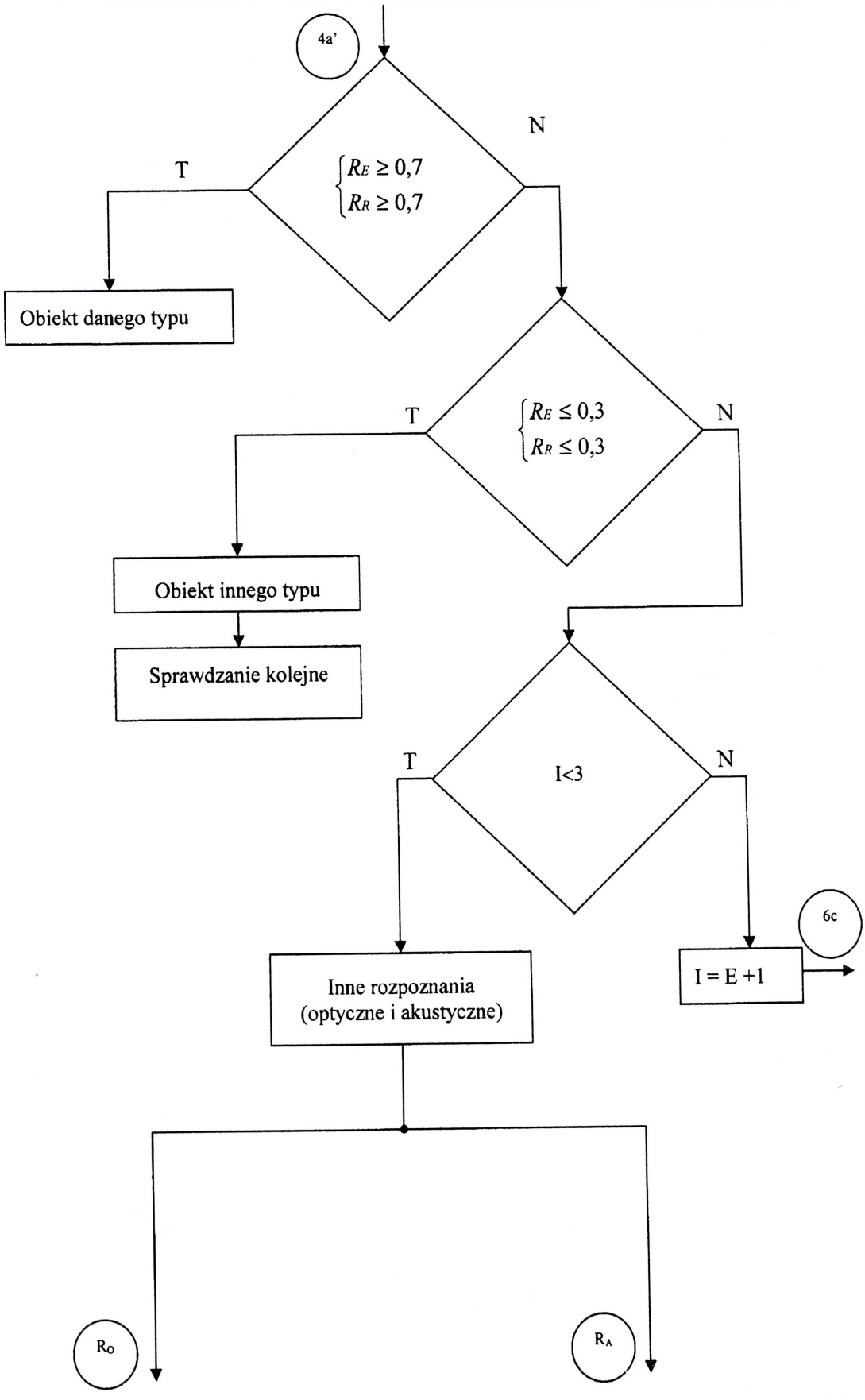
Model rozpoznania radiolokacyjnego i elektronicznego



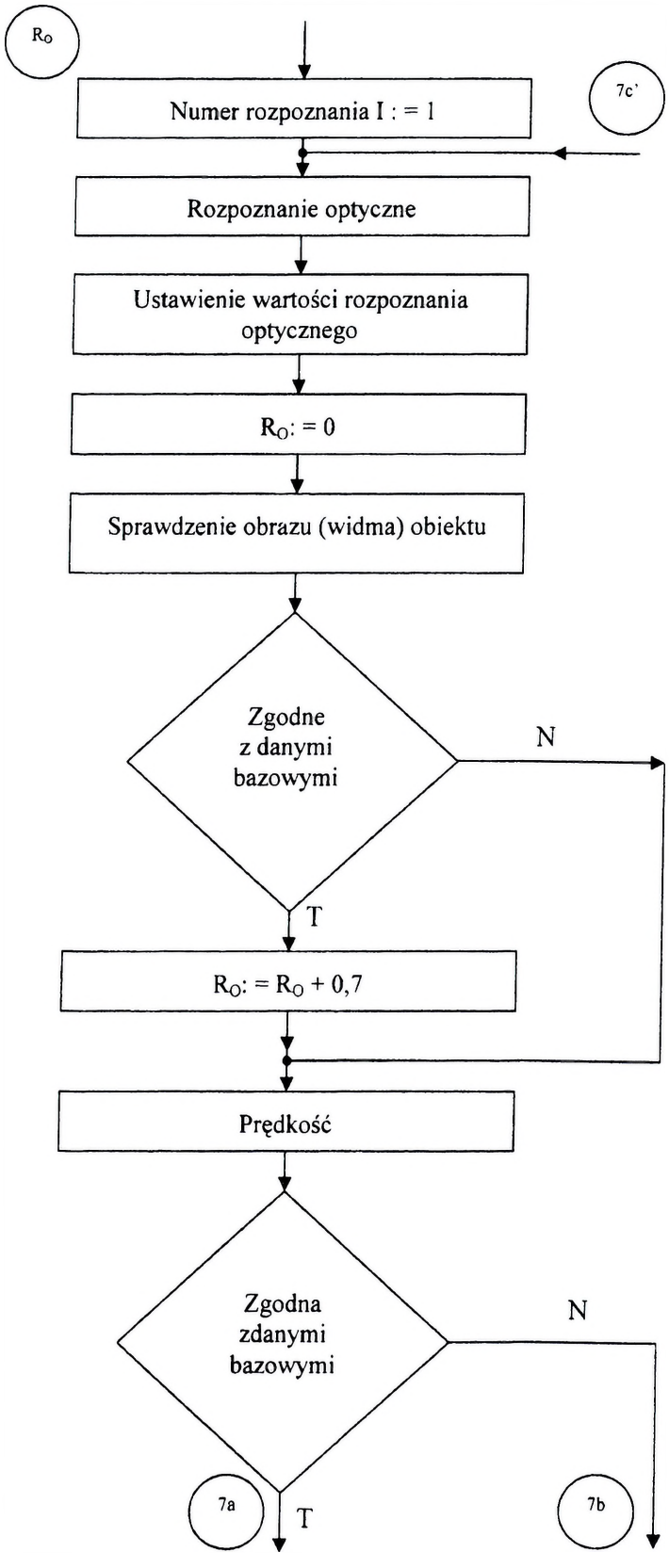

1a'
1b'
R_E: R_E + 0,05
Pomiar prędkości
Zgodna z danymi technicznymi
N
T
R_E: = R_E + 0,05
Język korespondencji
Zgodny z danymi bazowymi
N
T
R_E: R_E + 0,1
Lotnisko bazowania
2a

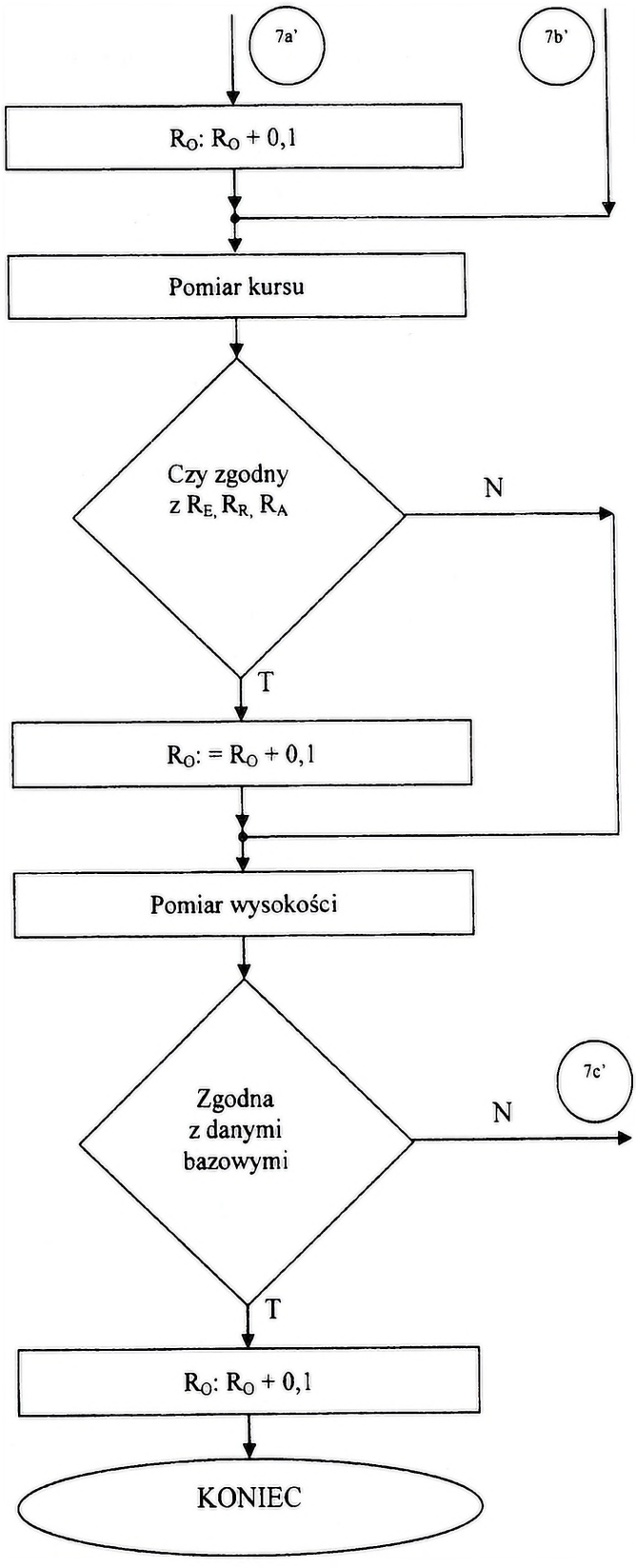

2a'
Zgodne z danymi bazowymi
N
T
R_E: = R_E + 0,1
Rozpoznanie radiolokacyjne
Ustawienie wartości parametru rozpoznanie radiolokacyjnego
R_R: = 0
Stosowanie zakłóceń
Występują
T
N
R_R: = 0,7
Wielkość echa obiektu
Wielkość echa obiektu
Zgodna zdanymi bazowymi
N
T
3a
3b
3c


3a'
Zgodna z danymi bazowymi
N
T
R_R: = R_R + 0,1
Prędkość i wysokość
Zgodna zdanymi bazowymi
N
T
R_R: = R_R + 0,2
Podaj wartość parametru R_R
3b'
R_R: = 0,5
Prędkość obiektu
Zgodna z danymi bazowymi
N
T
R_R: = R_R + 0,25
Wysokość
Zgodna z danymi bazowymi
N
T
R_R: = R_R + 0,25
Podaj wartość parametru R_R
4a

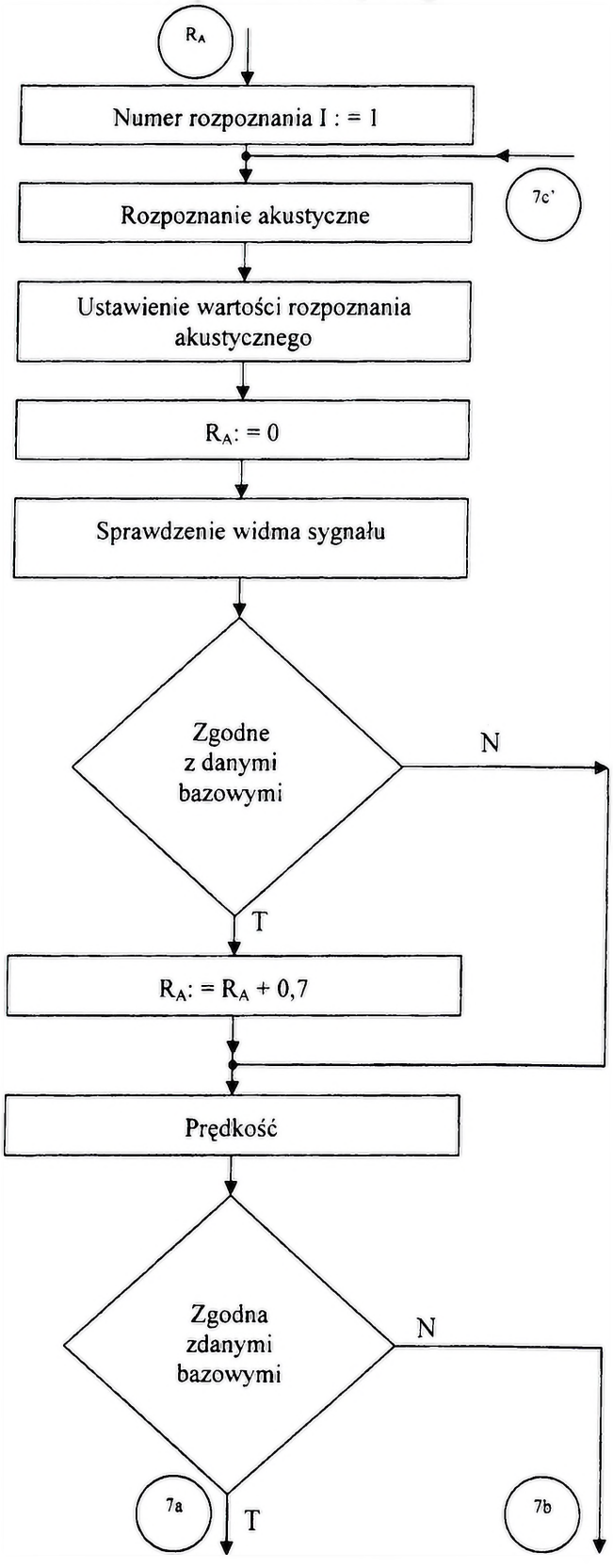

4a'
N
T
$R_E \geq 0,7$
$R_R \geq 0,7$
Obiekt danego typu
T
$R_E \leq 0,3$
$R_R \leq 0,3$
N
Obiekt innego typu
Sprawdzanie kolejne
T
I<3
N
6c
Inne rozpoznania
(optyczne i akustyczne)
I = E +1
R_O
R_A

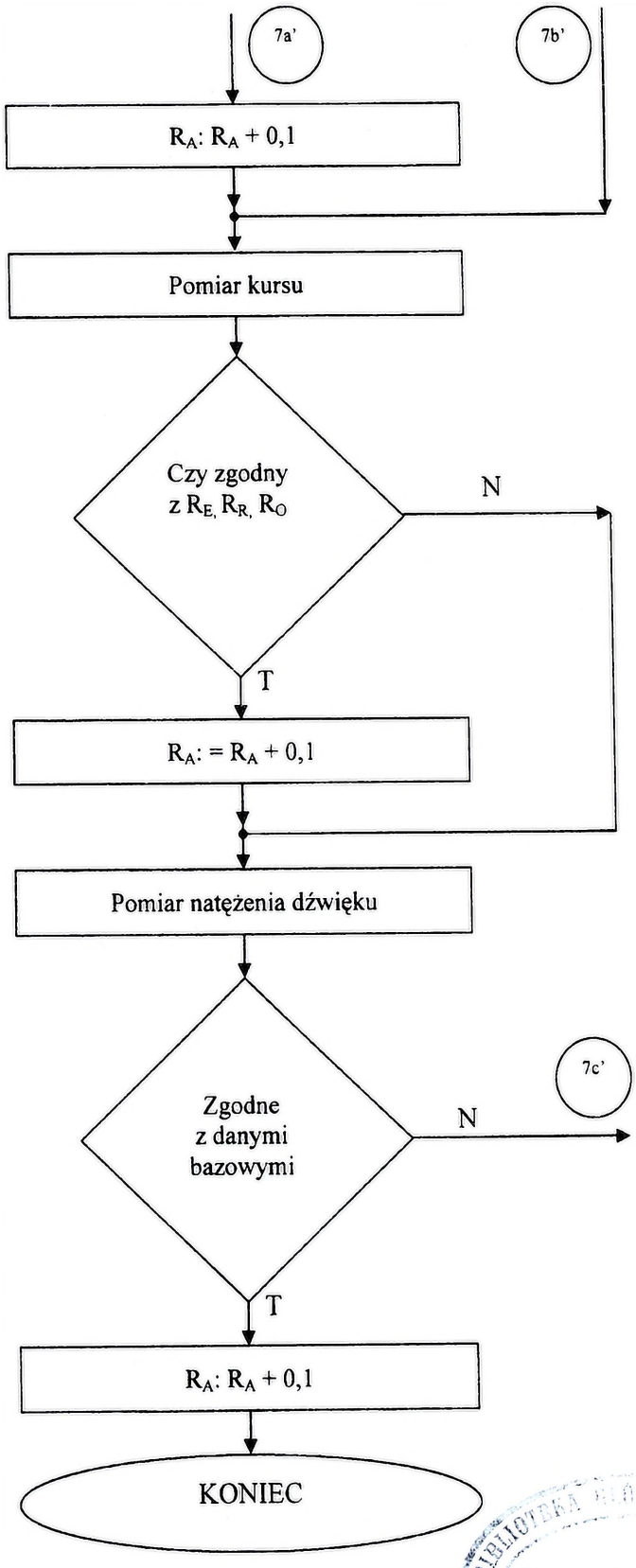
Model rozpoznania optycznego




7a'
7b'
R_O: R_O + 0,1
Pomiar kursu
Czy zgodny z R_E, R_R, R_A
N
T
R_O: = R_O + 0,1
Pomiar wysokości
Zgodna z danymi bazowymi
7c'
N
T
R_O: R_O + 0,1
KONIEC

Model rozpoznania akustycznego





BIBLIOTEKA GŁÓWNA AKADEMII OBRONY NARODOWEJ
59644