R G B WH GR BL Grey Scale #13 C M Y K
A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19
DANES-PICTA.COM

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

JAWNE

[redacted]

Egz. Nr 2

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 13075

Mjr mgr inż. Kazimierz DYMEK

DOSKONALENIE EFEKTYWNOŚCI ZAUTOMATYZOWANYCH SYSTEMÓW DOWODZENIA SIŁAMI OBRONY POWIETRZNEJ NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Rozprawa doktorska

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 49143

WARSZAWA 1990

Colour Chart #13
Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black
Inches Centimetres
DANES-PICTA.COM

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

JAWNE

[redacted]

Egz. Nr 2

3075

Mjr mgr inż. Kazimierz DYMEK

DOSKONALENIE EFEKTYWNOŚCI ZAUTOMATYZOWANYCH SYSTEMÓW DOWODZENIA SIŁAMI OBRONY POWIETRZNEJ NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Rozprawa doktorska

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid.

9F 49143

WARSZAWA 1990

A K A D E M I A O B R O N Y N A R O D O W E J

PRZEKLASYFIKOWANO
Protokół Nr 54305
PODSTAWA
Ustawa z dnia 22 stycznia 1999 roku
art. 86 ust. 2
(Dz.U. RP Nr 11 poz. 95)
.....
podpis

JAWNE

[redacted]

Egz. Nr.....2

Przekl. Prot. 779/21.08.95

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 3075
Akademii Obrony Narodowej

mjr mgr inż. Kazimierz DYMEK

DOSKONALENIE EFEKTYWNOŚCI ZAUTOMATYZOWANYCH SYSTEMÓW DOWODZENIA SIŁAMI OBRONY POWIETRZNEJ NA SZCZEBLU TAKTYCZNYM

Rozprawa doktorska

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. 49143
Akademii Obrony Narodowej

Opracowana pod kierownictwem naukowym
płk. prof. dr hab. inż. Romana KULCZYCKIEGO

Warszawa 1990

SPIS TREŚCI

WSTĘP 5

ROZDZIAŁ I

Ocena zagrożenia kraju atakiem z powietrza. 14

1.1. Realia i wymagania współczesnego pola walki. 15

1.2. Analiza zagrożenia atakiem sił powietrznych NATO. 20

1.3. Wymogi współczesnego pola walki w zakresie informacji o sytuacji powietrznej. 25

1.4. Funkcje zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia OP na współczesnym polu walki. 29

1.5. Efektywność systemu obrony powietrznej. 33

ROZDZIAŁ II

Analiza współczesnych ZSD obrony powietrznej pod kątem współpracy i wymiany informacji. 43

2.1. Obiekty automatyzacji wojsk OPL. 46

2.2. Charakterystyki obiektów systemu Dunajec-P. 49

2.3. Zautomatyzowane systemy WOPK. 57

2.4. Zautomatyzowane obiekty systemu rozpoznania i dowodzenia Wojsk Lotniczych "Orzyc". 64

2.5. Organizacja wymiany informacji między obiektami zautomatyzowanych systemów OP. 75

2.6. Problemy wynikające z różnorodności systemów OP. 79

2.7. Koncepcja automatyzacji i integracji współdziałania istniejących zautomatyzowanych systemów OP. 82

ROZDZIAŁ III

Dobór metod przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej podnoszących efektywność systemu OP. 85

3.1. Efektywność podsystemu przetwarzania informacji radiolokacyjnej. 87

3.2. Podstawowe problemy opracowywania informacji radiolokacyjnej. 104

3.2.1. Proces uogólniania meldunków głównym etapem przetwarzania informacji radiolokacyjnej. 110

3.3. Metoda przeliczania współrzędnych obiektów powietrznych do bazowego układu odniesienia. 118

3.4. Metoda wyznaczania i kodowania siatki OP-61. 128

3.5. Metoda uwzględniania poprawek justacyjnych w procesie przeliczania współrzędnych prostokątnych. 134

3.6. Metoda eliminacji błędów systematycznych SRL popełnianych przy wyznaczaniu współrzędnych prostokątnych obiektu. 137

ROZDZIAŁ IV

Metody oceny i podtrzymywania niezawodności działania zautomatyzowanych systemów dowodzenia. 143

4.1. Niezawodność zestawu urządzeń technicznych. 150

4.1.1. Funkcja niezawodności kompleksu technicznego RPPD. 153

4.1.2. Diagnostyka funkcjonowania kompleksu technicznego zautomatyzowanego systemu dowodzenia. 167

4.2. Niezawodność oprogramowania użytkowego zautomatyzowanego systemu obrony powietrznej. 172

4.2.1. Naprawialność oprogramowania. 176

4.2.2. Wskaźniki niezawodności oprogramowania. 178

4.2.3. Metody testowania i eliminacji błędów z oprogramowania użytkowego. 181

4.2.4. Problem doboru języka programowania. 188

4.3. Metody określania niezawodności pracy załóg bojowych zautomatyzowanych systemów dowodzenia. 191

4.3.1. Hipotetyczny model niezawodności działania operatora. 192

4.3.2. Matematyczne metody wyznaczania niezawodności działania załogi bojowej. 194

4.3.3. Praktyczne metody podnoszenia wskaźnika niezawodności działania załóg. 202

ROZDZIAŁ V

Model zautomatyzowanego podsystemu przetwarzania danych. 215

5.1. Model symulacji otoczenia zewnętrznego zautomatyzowanego obiektu obrony powietrznej. 215

5.1.1. Moduł kodowania depesz. 218

5.1.2. Moduł rozkodowania depesz systemowych. 222

5.2. Moduł zbierania i aktualizacji danych źródłowych o sytuacji powietrznej. 223

5.2.1. Dane wejściowe. 226

5.2.2. Dane wyjściowe. 234

5.2.3. Półautomatyczna wersja przetwarzania informacji radiolokacyjnej. 237

5.2.4. Algorytm przetwarzania depesz. 241

5.3. Uogólnianie danych o obiektach powietrznych. 255
5.3.1. Algorytm kasowania tras uogólnionych. 259
5.3.2. Algorytm selekcji tras uogólnionych. 261
5.3.3. Koncepcja testowania modułu przetwarzania informacji radiolokacyjnej w zautomatyzowanym obiekcie systemu OP. 262
5.4. Program diagnostyki pracy załóg bojowych ZSRiD. 265
5.4.1. Tryb pracy programu diagnostyki. 265
5.4.2. Dyrektywy operatorskie wykorzystywane przez program diagnostyczny. 267
5.4.3. Opis podstawowych elementów oraz modułów programu 270
5.4.4. Moduł wyznaczania charakterystyk niezawodnościowych. 272
5.4.5. Moduł zobrazowania. 273
5.4.6. Moduł wybierania trybu pracy programu. 273
5.4.7. Moduł wybierania typu wyświetlanej informacji. 273
5.4.8. Moduł generatora tras. 274
5.4.9. Moduł tworzenia danych wejściowych dla generatora tras. 274
5.4.10. Koncepcja zobrazowania wyników diagnostyki załogi bojowej. 275
5.4.11. Struktura danych. 278
5.4.12. Zmienne robocze. 279
5.4.13. Algorytmy. 279
ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI 285
LITERATURA 289
ZAŁĄCZNIKI 293

WSTĘP.

Przyjęta przez Komitet Obrony Kraju w lutym 1990 r. Doktryna Obronna Rzeczpospolitej Polskiej zakłada umacnianie i podwyższanie potencjału obronnego państwa. Wojskom lotniczym i obrony powietrznej postawiono priorytetowe zadanie: "...zapewnienie - we współdziałaniu z sojuszniczymi wojskami obrony powietrznej - szczelności osłony obszaru Rzeczpospolitej Polskiej, a przede wszystkim niedopuszczenie do prowadzenia rozpoznania i wykonania przez przeciwnika uderzeń z powietrza na ważne rejony, obiekty, ludność cywilną i wojska".

Doktryna obronna naszego państwa zakłada, że nie można całkowicie wykluczyć ryzyka konfliktu zbrojnego w Europie, mimo zasadniczego postępu w stosunkach międzynarodowych. Istnienie na terytorium Europy dwóch przeciwstawnych sobie koalicji militarnych, oraz rozbudzane co jakiś czas tendencje rewizjonistyczno-nacjonalistyczne w niektórych państwach, w pełni uzasadniają taki pogląd. Mając na uwadze powyższe fakty należy zakładać, że w przypadku konfliktu zbrojnego na naszym kontynencie "... Polska jako strategiczny obszar tranzytu oraz rozmieszczenia drugich rzutów i odwodów - nawet niezależnie od jej woli - zostałaby wciągnięta w orbitę wojny. Z tego względu każda wojna w Europie groziłaby wyniszczeniem polskiego społeczeństwa, gospodarki i kultury" [16].

W świetle cytowanej doktryny rola obrony powietrznej nabiera szczególnego znaczenia. W czasie pokoju system OP musi podlegać doskonaleniu w celu podwyższenia jego możliwości, aby w przypadku wojny spełnił postawione przed nim zadania. Podstawowymi kierunkami działań udoskonalających system OP powinno być, zdaniem autora, dążenie do pełnej integracji systemów OP wszystkich rodzajów wojsk, oraz podwyższenie ich efektywności działania.

W początkach lat 60-tych rozpoczął się proces automatyzcji obrony powietrznej w Wojsku Polskim. Wprowadzony w tym okresie system WOZDUCH-1p był wykonany w technice lampowej i jest aktualnie wycofywany z eksploatacji. Niektóre jego obiekty, po odpowiedniej modyfikacji, np WP-11, zostały wdrożone do

nowocześniejszego systemu WOZDUCH-1M. Pod koniec lat 70-tych wprowadzono krajowe obiekty automatyzacji obrony powietrznej RPT-21, RPT-11. W tym okresie na CSD DWOPK zainstalowano system Ałmaz-2, a na SD KOPK Ałmaz-3. Krajowym systemem automatyzacji obrony powietrznej na szczeblu operacyjnym jest system CYBER-W. Od początku lat 80-tych rozpoczął się dynamiczny rozwój automatyzacji wojsk obrony przeciwlotniczej. W efekcie powstał kompleksowy system ZENIT obejmujący swoim zasięgiem praktycznie wszystkie szczeble dowodzenia OPL: od szczebla szefa OPL pz/pcz, do PŁSD OPL A/F. Realizowane są również zaawansowane prace nad systemami OP dla Wojsk Lotniczych p/k ORZYC i Marynarki Wojennej p/k ŁEBA.

Przy takim stanie faktycznym prac nad zautomatyzowanymi systemami obrony powietrznej odczuwa się, zdaniem autora, brak kompleksowej i spójnej koncepcji funkcjonowania i współdziałania systemów OP różnych rodzajów wojsk i szczebli dowodzenia. W literaturze przedmiotu [49] wykazano jak trudny jest to problem nawet w ramach jednego rodzaju wojsk, a mianowicie WOPK. Oprócz różnorodności stosowanego sprzętu, istnieją problemy połączeń informacyjnych między obiektami systemów.

2. Aktualny stan prac naukowo-badawczych w poruszanym problemie.

W pracach naukowych zrealizowanych na Wydziale WL i OPK ASG, a dotyczących efektywności obrony powietrznej, podkreśla się, że barierą ograniczającą możliwości kompleksowo rozumianej obrony powietrznej, jest m.in. brak w pełni wiarygodnej i dostarczonej z odpowiednim wyprzedzeniem informacji o aktualnej sytuacji powietrznej [1] [21] [50]. Dotyczy to przede wszystkim informacji o liczebności, aktualnym położeniu i charakterystykach nalotu SNP. Aktualnie funkcjonujące, zautomatyzowane systemy OP, rozwiązują autonomicznie wymienione zagadnienia, nie istnieje natomiast ścisła i pełna wymiana informacji między systemami różnych rodzajów wojsk. Funkcjonalność i możliwości ilościowo -jako-

ściowe tych systemów są również ograniczone.

Zdaniem autora, zapewnienie swobodnego przepływu aktualnej informacji o sytuacji powietrznej między obiektami systemów dowodzenia wojsk OPL, OPK, MW i WL, spowoduje znaczny wzrost efektywności działania tych systemów. W tym celu należy zbudować zatomatyzowany system dowodzenia OP wg jednolitej zasady (idei), który po stosownej modyfikacji adaptacyjnej mógłby być zainstalowany na różnych szczeblach dowodzenia we wszystkich wymienionych rodzajach wojsk. Należy dążyć do pełnej kompatybilności systemów automatyzujących obronę powietrzną. W aktualnie funkcjonujących systemach, wszystkie procesy poddane automatyzacji, tzn: zbieranie i przetwarzanie informacji radiolokacyjnej, przyjmowanie i wysyłanie meldunków, rozdział celów, realizowane są wg różnych metod. Wymiana informacji jest utrudniona ze względu na różnorodną strukturę depesz (kodogramów) przesyłanych między obiektami systemów, oraz różne szybkości transmisji (od 40 do 1200 bodów). Wymienione problemy są powodem niespójności informacyjnej zautomatyzowanych sysytemów będących obecnie na wyposażeniu wojsk. Dążąc do likwidacji przyczyn ograniczających kompatybilność systemów OP, należy podjąć działania których celem będzie opracowanie metod i reguł podwyższających efektywność, oraz integrujących zautomatyzowane systemy OP różnych rodzajów wojsk, a ostatecznie pozwalających opracować model zautomatyzowanego systemu akceptowanego na kolejnych szczeblach dowodzenia OP różnych rodzajów sił zbrojnych.

W dobie dynamicznego rozwoju nowoczesnych ŚNP, komputerowe wspomaganie procesu decyzyjnego jest koniecznością. O sukcesie na współczesnym polu walki zdecydują szybkość i precyzja wykonania uderzenia. Starcia OP z lotnictwem, przeprowadzone w ostatnich latach w dolinie Beka i w Libii, potwierdzają w całej rozciągłości tezę że tylko doskonałe funkcjonalnie i niezawodnie działające zautomatyzowane systemy obrony powietrznej, mogą stawić czoła współczesnym ŚNP. W opracowaniach ASG [1], [2] wykazano że rezerwy tkwią w skróceniu czasu pracy SD OP różnych szczebli.

Aktualnie eksploatowane w wojskach zautomatyzowane systemy obrony powietrznej posiadają szereg wad. Do podstawowych należą: zbyt mała przepustowość systemów, wielokrotnie

mniejsza od liczności spodziewanego nalotu, zbyt mała wiarygodność wypracowanej informacji zbiorczej o nalocie, bardzo mała podatność diagnostyczna i modyfikacyjno-adaptacyjna, oraz za mała w porównaniu z wymaganiami, niezawodność działania. Analizie i poprawieniu każdej z wymienionych niedoskonałości poświęcono w pracy odpowiednią ilość uwagi.

3. Sformułowanie celu pracy oraz głównych hipotez roboczych.

Przez obronę powietrzną należy rozumieć: całokształt przedsięwzięć w skali państwa (koalicji państw) mających na celu odparcie napadu powietrznego nieprzyjaciela, załamanie jego operacji powietrzno-kosmicznych, niedopuszczenie do zniszczenia lub obezwładnienia uderzeniami z powietrza najbardziej istotnych dla prowadzenia wojny /operacji, walki/ i funkcjonowania państw /koalicji państw/ - obiektów. [2].
Obrona powietrzna składa się z obrony powietrznej kraju i obrony powietrznej wojsk.

Przez środki napadu powietrznego /ŚNP/ należy rozumieć wszelkie środki będące w dyspozycji nieprzyjaciela, zdolne do przenoszenia powietrznych ładunków bojowych i wykonywania nimi uderzeń z powietrza i przestrzeni kosmicznej, na obiekty położone na obszrze kraju /koalicji krajów/, oraz wojska operacyjne. Są to wszelkiego rodzaju, typu, charakteru oraz podporządkowania: lotnictwo, rakiety oraz bojowe środki kosmiczne.

Celem OP jest uniemożliwienie lotnictwu nieprzyjaciela oddziaływania /niszczenia, rozpoznania/ na osłaniane wojska /obiekty/. Realizowane jest to przez:

- wykrywanie i rozpoznawanie ŚNP w strefie (rejonie) odpowiedzialności,
- powiadamianie osłanianych wojsk o nalocie,
- niszczenie lotnictwa nieprzyjaciela w powietrzu,
- realizację innych przedsięwzięć mających na celu zmniejszenie skutków oddziaływania ŚNP.

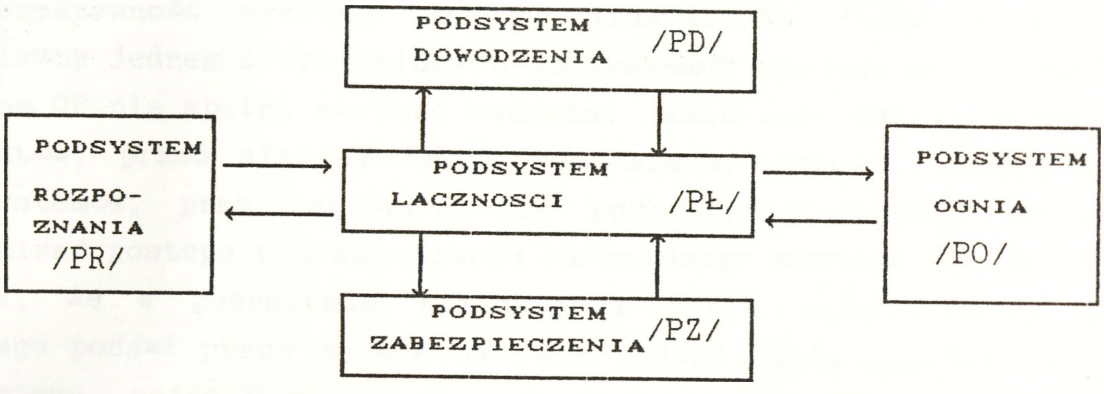
Obronę powietrzną powinna cechować:

- wysoka efektywność ognia,
- trwałość,
- ciągłość,

- aktywność ,
- żywotność w warunkach stosowania BMR i zakłóceń RE.

System OP to zbiór wszystkich elementów /sił i środków/, oraz istniejących między nimi zależności i powiązań, uniemożliwiający lotnictwu n-pla oddziaływanie na osłaniane wojska /obiekty/.

Struktura funkcjonalna systemu OP jest następująca:



Podsystem dowodzenia /PD/ to zbiór organów i środków dowodzenia, oraz istniejących między nimi powiązań /zależności/ informacyjno-decyzyjnych, którego zadaniem jest oddziaływanie /kierowanie, sterowanie/ na pozostałe podsysytemy /PR, PŁ, PZ, PO/ w celu ukierunkowania ich działania do walki z przeciwnikiem powietrznym. Podsystem ten powinna cechować wysoka gotowość bojowa, niezawodność, odporność na zakłócenia, żywotność, skrytość oraz ciągłość pracy.

Podsystem rozpoznania /PR/ jest to zbiór środków których zadaniem jest uzyskanie, przetworzenie /opracowanie/ i wysłanie informacji o ŚNP, oraz istniejących między nimi więzi inforacyjnych. Zadaniem PR jest pełne zabezpieczenie systemu OP w informację o sytuacji powietrznej w wyznaczonym rejonie /obszarze, strefie, sektorze/. Podsystem ten składa się ze środków rozpoznania: radiolokacyjnego (SRL), telewizyjnego, kosmicznego oraz punktów obserwacji przestrzeni powietrznej (POPP).

Podsystem ognia /PO/ składa się z aktywnych środków walki (lotnictwa i naziemnych), których zadaniem jest uniemożliwienie przeciwnikowi powietrznemu realizacji jego zadania bojowego.

Podsystem zabezpieczenia /PZ/ jest to zbiór przedsięwzięć i środków wyspecjalizowanych w zasilaniu materiałowym, techni-

cznym, osobowym, oraz więzi zachodzacych między nimi. Podsystem łączności /PŁ/ jest to zbiór środków łączności i istniejących między nimi powiązań, których zadaniem jest terminowe i wierne przekazywanie informacji (meldunków, komend) itp. PŁ powinien cechować się odpornością na zakłócenia, trwałością, wysoką gotowością bojową, skrytością i ciągłością pracy.

Powyższa analiza wykazała jak wiele czynników może wpływać na efektywność systemu obrony. Niewłaściwe funkcjonowanie chociażby jedneg z wymienionych podsystemów spowoduje, że cały system OP nie spełni swojego zadania, jakim jest osłona wojsk, obiektów, przed atakiem ŚNP. Podwyższając jakość jednego z podsystemów, przy założeniu nie pogarszania innych, można oczekiwać postępu w doskonaleniu nadrzędnego systemu OP. Autor uznał, że w posystemie rozpoznania tkwią duże rezerwy i dlatego podjął pracę mającą na celu podwyższanie jakości tego posystemu, mając nadzieję że podwyższy to efektywność całego systemu OP.

Celem rozprawy jest opracowanie szeregu metod podnoszących, zdaniem autora, efektywność działania zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia OP.

Analiza aktualnej struktury funkcjonalnej zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia, pozwoli wyszczególnić kolejne etapy opracowywania informacji o sytuacji powietrznej. Wynikiem analizy byłoby wskazanie najbardziej pożądanych kierunków doskonalenia systemu obrony powietrznej kraju.

Zrealizowanie tak określonego celu rozprawy autor chce osiągnąć poprzez weryfikację następujących hipotez roboczych:

- przewiduje się, że opracowanie komputerowych symulacyjnych modeli nalotu ŚNP i działania wojsk radiotechnicznych może być wykorzystane w procesie tworzenia, testowania i badania ZSRiDW OP, oraz w procesie dydaktycznym;
- przypuszcza się, że efektywność funkcjonowania zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia można poprawić zwiększając ilość i poprawiając jakość opracowanej informacji radiolokacyjnej, oraz podwyższając niezawodność działania podsystemu przetwarzania danych;
- zakłada się że opracowanie teoretycznych zasad szacowania i podnoszenia wskaźnika niezawodności kompleksu antropo-

techniczno-informatycznego, pozwoli przyjąć takie struktury i organizację pracy projektowanych podsystemów przetwarzania, które spełnią wysokie wymagania niezawodnościowe, stawiane zautomatyzowanym systemom rozpoznania i dowodzenia.

4. Treść rozprawy.

Rozprawa składa się z:

- części 1 - stanowiącej zasadniczą część rozprawy,
- części 2 - w formie załączników w których zawarto wybrane informacje stanowiące bazę do rozważań na temat obrony powietrznej, oraz wyniki niektórych badań zestawione w tabelach.

Część pierwsza składa się ze wstępu, pięciu rozdziałów i zakończenia.

We wstępie przedstawino przesłanki jakimi kierował się autor podejmując taki temat pracy. Analiza aktualnego stanu wiedzy w dziedzinie automatyzacji obrony powietrznej wykazała jak różnorodna i złożona jest ich struktura funkcjonalna. Potrzebę działań w kierunku podwyższania efektywności działania zautomatyzowanych systemów obrony odzwierciedlono w celu rozprawy, którego osiągnięcie wiąże się z weryfikacją hipotez roboczych. Hipotezy robocze zakładają że efektywność systemów obrony można podnieść przez doskonalenie podsystemów rozpoznania i dowodzenia. Autor zdając sobie sprawę z braku możliwości wpływu na poprawienie możliwości technicznych aktywnych środków walki i środków rozpoznania uznał za celowe podjęcie działań w obrębie podsystemu przetwarzania danych radiolokacyjnych o sytuacji powietrznej.

W rozdziale 1 przeprowadzono analizę zagrożenia Polski atakiem z powietrza. Możliwości współczesnych ŚNP zostały skonfrontowane z możliwościami stosowanych aktualnie środków rozpoznania. Wynikiem tej analizy są wymagania jakim powinien sprostać nowoczesny zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia OP. Na bazie przeprowadzonej analizy wysnuto następujące wnioski:

- należy dążyć do kompleksowo automatyzowanej obrony powietrz-

nej bo tylko taka może współcześnie gwarantować skuteczną osłonę,

- komputerowe wspomaganie procesu decyzyjnego na współczesnym polu walki jest koniecznością z powodu zbyt krótkiego czasu od momentu wykrycia ŚNP do momentu ich wejścia na rubież ataku,

generalnie istotnie wzrasta rola zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia.

W rozdziale tym przeprowadzono również rozważania na temat efektywności i skuteczności systemów OP i wyznaczono funkcje zależności tych cech od potencjału nalotu ŚNP, potencjału wytraconego przez system OP i zależność wzajemną.

Rozdział 2 zawiera kompleksową analizę współczesnych zautomatyzowanych systemów, ekspolatowanych w wojskach OPL, OPK, WL, ze szczególnym uwzględnieniem problemów wynikających z ich różnorodności strukturalno-informatycznej.
Wnioskami z przeprowadzonej analizy są stwierdzenia że: aktualnie występuje brak możliwości pełnej współpracy między systemami różnych rodzajów wojsk, za małe są, w stosunku do realiów współczesnego pola walki, możliwości tych systemów, występuje pilna potrzeba ujednolicenia prac nad modyfikacją systemów OP, (przy silnym zwróceniu uwagi na ich pełną kompatybilność).

Rozdział 3 zawiera opracowanie na temat wpływu ogólnie rozumianej jakości podsystemu przetwarzania danych na system obrony powietrznej. Dzięki temu zostały wyznaczone kierunki działania poprawiające podsysem przetwarzania, a tym samym nadrzędny system obrony. W efekcie opracowano szereg metod umożliwiających szybsze i dokładniejsze przetworzenie informacji o sytuacji powietrznej, umożliwiających równocześnie współpracę systemów OP różnych rodzajów wojsk.

Rozdział 4 jest poświęcony niezawodności działania kompleksu antropo-techniczno-programowego, jakim jest zautomatyzowany system dowodzenia obrony powietrznej. Opracowane zostały zagadnienia związane z niezawodnością działania zestawu urządzeń techniczych, szeroko rozumianego oprogramowania komputerowego, oraz niezawodnością załóg bojowych. W efekcie opracowano metody pozwalające śledzić i podtrzymywać niezawodność działnia trzech wymienionych elementów systemu.

W rozdziale 5 zaprezentowano hipotetyczny model zautomatyzowanego podsystemu przetwarzania danych, który po stosownej adaptacji mógłby, zdaniem autora, być zainstalowany w zautomatyzowanych systemach obrony powietrznej. Model ten, łącznie z komputerowym symulatorem sytuacji powietrznej może tworzyć stanowisko do przeprowadzania badań różnych metod dalszego przetwarzania danych o nalocie a dotyczących np. rozdziału celów i zobrazowania. Model ten może również znaleźć zastosowanie w procesie szkolenia i egzaminowania załóg bojowych zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia obrony powietrznej.

ROZDZIAŁ I.

OCENA ZAGROŻENIA KRAJU ATAKIEM Z POWIETRZA.

W rozdziale tym przedstawiono potencjalne zagrożenie kraju przez śNP państw NATO. Analiza sposobu przeprowadzenia i zestawienie ilościowo-jakościowe współczesnego nalotu określa tym samym wymagania jakie powinien spełniać nowoczesny, zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia. Współczesny system powinien uwzględniać ilość śNP biorących udział w nalocie, ich parametry lotu (szybkość, wysokość), oraz kompresję pola radiolokacyjnego spowodowanego postawieniem przez przeciwnika zakłóceń radioelektronicznych. Problem zorganizowania rozmieszczenia SRL i określenie ich stref wykrywania nabiera szczególnego znaczenia i dlatego został poruszony w tym rozdziale.

Omówione zostały również funkcje zautomatyzowanych systemów na współczesnym polu walki, do których należą przede wszystkim: zebranie istotnych informacji o przeciwniku powietrznym, szybkie ich opracowanie i przedstawienie propozycji decyzji.

W podpunkcie piątym niniejszego rozdziału poruszono problem zależności efektywności i skuteczności systemu OP od takich czynników jak: potencjał nalotu śNP, potencjał wytrącony z nalotu przez system OP i tzw potencjał krytyczny osłanianego obiektu. Efektywność jest tu rozumiana jako cecha systemu określająca zdolność wytrącania przez ten system potencjału z nalotu. Skutecznością nazwano cechę systemu określającą zdolność osłony określonego obiektu. Przeprowadzone zostały badania jak zależą te cechy od wymienionych powyżej potencjałów.

1.1 Realia i wymagania współczesnego pola walki.

Współczesne pole walki charakteryzować się będzie m.in. dużym nasyceniem wysoce skomplikowanych środków technicznych. Dynamiczny rozwój środków napadu powietrznego państw NATO determinuje działania zwiększające efektywność obrony powietrznej. Wzrost efektywności działań OP można osiągnąć przez:

- szeroko rozumianą modernizację uzbrojenia,
- doskonalenie taktyki działania,
- automatyzację systemu rozpoznania i dowodzenia.

Wyposażanie wojsk OP (OPK, OPL, LM, MW) w nowoczesne środki walki, ma na celu zwiększenie skuteczności zwalczania ŚNP, które charakteryzują się coraz lepszymi parametrami technicznymi (dużą prędkością, możliwością lotu na bardzo małych wysokościach, małą skuteczną powierzchnią odbicia).

Proces przezbrajania sił OP jest konieczny, ale również bardzo kosztowny. Łącznie z nim powinny być realizowane inne metody podnoszenia efektywności działania OP, ponieważ niewłaściwe lub zbyt późne zastosowanie najnowocześniejszych nawet środków ogniowych nie przyniesie oczekiwanych rezultatów.

Zagadnieniom optymalizacji działań jednostek OP poświęcono w literaturze przedmiotu wiele uwagi [15], [33].
Duże rezerwy i możliwości poprawy efektywności OP tkwią zdaniem autora, w podsystemie rozpoznania i dowodzenia. Różnorodność stosowanych /krajowych i zagranicznych/ zautomatyzowanych systemów dowodzenia, oraz funkcjonowanie systemów planszetowo fonicznych, jest powodem opóźnień w obiegu informacji o sytuacji powietrznej. Z tego powodu zaistniała konieczność podjęcia konkretnych działań zmierzających do kompleksowego opracowania metod organizacji obróbki informacji radiolokacyjnej i wypracowywania decyzji o zwalczaniu, spełniających wymagania stawiane zautomatyzowanym systemom dowodzenia OP pracującym w czasie rzeczywistym.

System taki musi uwzględniać wszystkie realia współczesnego pola walki, a przede wszystkim: ilość i prędkość ŚNP które mogą się znaleźć w pasie działania woisk, natężenie zakłóceń radioelektronicznych, możliwości niszczenia nieprzyjaciela powietrznego przez własne środki zwalczania, zarówno naziemne jak i lotnictwo myśliwskie.

Konfrontacja możliwości czasowych środków OP z możliwościami czasowymi środków napadu, pozwoli określić realny czas, jakim dysponuje system rozpoznania i dowodzenia na opracowanie i wydanie decyzji o zwalczaniu.

Oszacowanie spodziewanej, potencjalnej, ilości ŚNP w pasie działania wojsk, będzie podstawą do określenia przepustowości podsystemu rozpoznania, tzn urealni wymagania na ilość opracowanej informacji.

Uwzględnienie w podsystemie rozpoznania spodziewanej, z powodu zakłóceń radioelektronicznych, kompresji pola radiolokacyjnego jest potrzebne przy wyznaczaniu ugrupowania sieci SRL. Ugrupowanie to powinno być tak zorganizowane, aby zapewnić podsystemowi rozpoznania ciągły dopływ informacji radiolokacyjnej o nalocie, niezależnie od działań przeciwnika. Stratedzy NATO przywiązują dużą wagę do wykorzystania i rozwoju środków walki radioelektronicznej. Działalność w tym zakresie prowadzona jest w dwóch kierunkach.

Pierwszy z nich obejmuje kompleksowy rozwój techniczny ŚWRE polegający na zwiększeniu mocy, rozszerzeniu zakresu częstotliwości zakłócania, kierunkowaniu i koncentracji mocy sygnałów na wybranych obiektach przeciwnika (SRL, środkach naprowadzania rakiet). Wg poglądów NATO na współczesnym polu walki będą stosowane różnorodne /aktywne i pasywne/ środki walki radioelektronicznej, zwłaszcza podczas pokonywania obrony przeciwlotniczej przeciwnika. Celem stosowania tych środków jest zmniejszenie strat własnego lotnictwa, oraz zwiększenie zużycia aktywnych sił i środków OP strony przeciwnej. Do przenoszenia środków zakłócania mogą być użyte bezpilotowe samoloty /BQM-34, XQM-93A,YQM98A/, balony, rakiety oraz wszystkie typy samolotów lotnictwa strategicznego i około 85% typów samolotów lotnictwa taktycznego. Bezpilotowe środki przenoszenia są planowane do użycia w rejonach gdzie strona przeciwna dysponuje silną obroną przeciwlotniczą. W takiej sytuacji ich rola jest podwójna: przenoszenia środków walki radioelektronicznej, oraz pozorowanie rzeczywistego celu powietrznego. Funkcjonuje pogląd, że w przypadku wykorzystania lotnictwa strategicznego, gdzie jeden samolot może zabierać kilkanaście nadajników zakłóceń, zakłóceniami radioelektronicznymi objęte zostanie całe pasmo częstotliwości roboczych wykorzystywanych przez nasze

środki (SRL, ŚNR, itp).

Drugi kierunek rozwoju wykorzystania ŚWR zakłada opracowanie nowych metod i sposobów prowadzeneia walki radioelektronicznej. Polegało to będzie na poprawianiu struktur organizacyjnych i dążeniu do zwiększenia efektywności wykorzystania tych środków. Przewiduje się, że każdy nalot poprzedzony będzie osłoną bezpilotowych samolotów stawiających zakłócenia radioelektroniczne, oraz skupiających na sobie ogień środków OP przeciwnika. Dzięki temu zwiększone zostanie prawdopodobieństwo pokonania OP i wykonania zasadniczego zadania.

Przy organizowaniu obrony należy zwrócić szczególną uwagę na zagadnienie stosowania przez przeciwnika zakłóceń radioelektronicznych. Jedną z metod neutralizacji tych poczynań jest dążenie do optymalnego ugrupowania środków rozpoznania radiolokacyjnego.

Podstawową czynnością w tym zakresie, (na szczeblu taktycznym) jest wyznaczenie kątów zakrycia SRL będących w dyspozycji, a nastęnie pokrycia polem radiolokacyjnym przez sieć tych stacji rejonu działań bojowych. Wyznaczenie obwiedni pokrycia jest, zwłaszcza przy dużej ilościstacji, odrębnym złożonym problemem, któremu poświęcono w literaturze przedmiotu wiele miejsca. Poruszony problem, zdaniem autora, nabiera szczególnego znaczenia na szczeblu operacyjnym i nie wchodzi bezośrednio w zakres tematyczny niniejszej rozprawy. Na szczeblu taktycznym istotne znaczenie ma wspomniane wyznaczenie kątów zakrycia SRL. Poniżej przeprowadzona została analiza metod wyznaczania realnych stref wykrywania SRL, pod kątem możliwości i zasadności ich stosowania w praktyce. Realne strefy wykrywania SRL można wyznaczyć następującymi metodami:

- metodą oblotu,
- -"- wykreślną Golicewa,
- -"- stacjonarnej fazy,
- -"- średnich kątów nachylenia terenu,
- -"- wykorzystania promieniowania radiowego Słońca,
- -"- współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego.

Metoda oblotu daje najlepsze rezultaty, tzn pozwala w miarę dokładnie określić kąty zakrycia stacji. Można ją stosować wówczas gdy istnieją warunki do dokonania oblotu. W przypadku wojsk OPL metoda ta nie znajdzie zastosowania, ponieważ w tra-

kcie działań bojowych, przy dużej manewrowości wojsk nie będzie możliwe dokonywanie oblotu.
Metoda Golicewa nie uwzględnia wpływu rzeźby i przedmiotów terenowych i dlatego określane tą metodą strefy wykrywania SRL nie odpowiadają w pełni wymaganiom taktycznym. Z tego powodu metoda ta nie znalazła szerszego zastosowania.
Wyznaczenie stref wykrywania SRL metodą stacjonarnej fazy daje dobre rezultaty, niemniej wymaga zaangażowania dużej mocy obliczeniowej (wielogodzinnych obliczeń na EMC). Przyjęcie pewnych uproszczeń zdecydowanie obniża wartość tej metody.
Metoda średnich kątów nachylenia terenu wymaga znajomości pierwotnej charakterystyki kierunkowej SRL, oraz określonych pomiarów na pozycji rozwinięcia. Oznacza to, że stref wykrywania stacji nie można wyznaczyć przed zajęciem pozycji. Fakt ten czyni omawianą metodę mniej uniwersalną i w poważnym stopniu ogranicza zakres jej stosowania.
Metodą, która uwzględnia przedmioty terenowe i jego rzeźbę, oraz pozwala określić realne strefy wykrywania SRL wszystkich zakresów fal, jest metoda współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego. Jest to metoda najbardziej przydatna zwłaszcza w wojskach OPL. Nie wymaga przebywania w terenie i pozwala w sposób skryty wyznaczyć strefy wykrywania stacji.
Skondensowany opis analizowanych powyżej metod zawiera Załącznik 1.4.

Kolejnym bardzo silnym wymogiem współczesnego pola walki jest optymalizacja ugrupowania i dowodzenia aktywnymi środkami walki z nalotem SNP, oraz dążenie do wszechstronnego i mistrzowskiego wyszkolenia załóg bojowych. Każde z wymienionych zagadnień stanowi problem sam w sobie. Optymalizacja ugrupowania środków zwalczania musi uwzględniać zadania jakie ma do spełnienia OP, własne możliwości oraz przewidywany sposób działania przeciwnika. Pododdziały rakietowe mogą otrzymać zadanie obrony:

- obiektów (przeprawy, mosty, węzły komunikacyjne, SD, składnice, ważne ośrodki administracyjno-gosodarcze),
- rejonów (rej. dyslokacji Brygady Rakiet Taktycznych, zgrupowania wojsk pancernych, porty, lotniska),
- rubieży (granice państwa, linie styczności wojsk).

Każde z wymienionych zadań wymaga specyficznego potraktowania,

ponieważ posiada cechy charakterystyczne, nie występujące w innych. W literaturze przedmiotu zagadnieniu optymalizacji ugrupowania aktywnych środków walki poświęcono sporo uwagi [20] [33].

Dowodzenie rozumiane jako " całokształt celowej działalności realizowanej w ramach określonego systemu kierowania zapewniającego wysoką gotowość bojową i właściwe przygotowanie wojsk do jak najlepszego osiągnięcia celów walki, sprawne wypracowanie decyzji, organizacja współdziałania, zabezpieczenia działań, kontrola wykonania ", wymaga od dowódcy rozwiązywania wielu problemów w bardzo krótkim czasie. Współczesne pole walki, charakteryzujące się dużą zmiennością i dynamiką działań bojowych, narzuca konieczność wykorzystywania narzędzi wspmagających i ułatwiających dowodzenie. Realizując dowodzenie OP dowódca posługuje się zautumatyzowanym systemem dowodzenia odpowiedniego szczebla. Na podstawie informacji radiolokacyjnej o nalocie system taki wypracowuje decyzję podlegającą akceptacji przez dowódcę. Dzięki temu znacznie zmniejsza się ilość i uciążliwość pracy dowódcy, co pozwala mu skupić uwagę na najistotniejszych zagadnieniach. Do tych najważniejszych należy dokładne przeanalizowanie i ewentualna korekta wypracowanej już decyzji o zwalczaniu. Przy realiach współczesnego pola walki, tzn dużej ilości i prędkości ŚNP, srawne dowodzenie środkami OP będzie możliwe tylko wówczas, gdy wszystkie elementy i etapy procesu dowodzenia będą optymalizowane. Zadanie to może zostać zrealizowane poprzez ciągłe szkolenie i treningi dowódców i załóg bojowych, oraz dostarczanie coraz doskonalszych narzędzi dowodzenia. Podczas treningów należy ćwiczyć warianty nalotu najmniej korzystne, przewidując że przeciwnik znajdzie najsłabszy punkt w obronie i odpowiednio przeprowadzi atak. Trenując najgorsze dla siebie warianty, można mieć nadzieję, że w przypadku zaistnienia korzystniejszych warunków, OP spełni swoje zadanie. Dodatkową zaletą takich treningów będzie ujawnianie najsłabszych punktów systemu dowodzenia, a tym samym możliwość ich eliminacji. Z praktyki wiadomo, że strzelania poligonowe pododdziałów rakietowych oceniane są zazwyczaj na ocenę dobrą lub bardzo dobrą. Należy z całą bezwzględnością podkreślić, że zwalczanie nalotu w warunkach poligonowych jest tylko namiastką rzeczywistego pola walki.

Wynika to po pierwsze z faktu, że taktyki i warunków wykonania nalotu przez rzeczywistego przeciwnika nie da się do końca przewidzieć, po drugie w warunkach poligonowych nie wpływa na ćwiczących tak istotny czynnik jak strach, stres przed nadlatującym przeciwnikiem, a występują jedynie emocje związane z pewnego rodzaju egzaminem. Dowodem na powyższe stwierdzenia mogą być przykłdy współczesnych konfliktów lokalnych na Bliskim Wschodzie.

Ponieważ do doskonalenia umiejętności dowódców i załóg bojowych nie można w praktyce wykorzystywać własnego lotnictwa, w czasie pokoju należy wypracować inne metody pozwalające na prowadzenie treningów. Jedną z metod proponowaną przez autora jest symulacja komputerowa. Sposób ten, oprócz zastosowań szkoleniowych jest przydatny do oceny i testowania zautomatyzowanych systemów dowodzenia, będących jak już wspomniano niezbędnym narzędziem współczesnego dowódcy obrony powietrznej. Wykorzystując aparat symulacji, autor uczestniczył w kompleksowych badaniach niektórych wprowadzanych na wyposażenie wojsk, krajowych zautomatyzowanych systemów dowodzenia, zwracając uwagę przede wszystkim na ich charakterystyki ilościowo-czasowo- niezawodnościowe.

1.2 Analiza zagrożenia atakiem sił powietrznych NATO.

W przypadku konfliktu zbrojnego i działań wojennych w Europie, ataku powietrznego na Polskę mogą dokonać połączone siły powietrzne NATO bazujące na ŚETDW i obszarze CBiBZ. Na ŚETDW bazują 2 i 4 Połączone Taktyczne Siły Powietrzne, a na obszarze CBiBZ siły powietrzne Danii współdziałające z wydzielonymi jednostkami lotniczymi sił powietrznych RFN.
2 PTSP są złożone z jednostek lotniczych USA, Belgii, Holandii RFN, oraz Wielkiej Brytanii. W większości jednostki te stacjonują w rejonie PGA. W skład tych sił USA wydzielają 32 elm oraz połowę sił 3 ALT, RFN 3 DLT i 4 DLOP, Belgia i Holandia narodowe TSP, Wielka Brytania siły powietrzne bazujące w RFN.
Na 4 PTSP składają się siły powietrzne USA, RFN i Kanady. Siły te bazują w większości w rejonie CGA. W skład tych sił wchodzą następujące jednostki lotnicze: 50% sił 3 ALT i 17 ALT USA, 1 DLT i 2 DLOP RFN oraz GLT Kanady. W Tabeli 1.1 przed-

stawiona została struktura i skład sił powietrznych NATO na ŚETDW.[1]

Tabela 1.1.

Przynależność państwowa	Ilość eskadr	Ilość samolotów	Ilość wyrz. rakiet plot.
TSP Belgii	8	144	84
SP W.Bryt. w RFN	12	180	32
TSP Holandii	8	144	87
SP RFN 3 DLT i 4 DLOP	9	162	276
SP USA 50% 3ALT i 32elm	8	168	
2 PTSP	45	789	479
SP Kanady	3	54	
SP RFN 1 DLT i 2 DLOP	14	252	108
SP USA 50% 3ALT, 17ALT, 65 DLWRE	22	463	357
4 PTSP	39	769	465
Ogółem na ŚETDW	84	1567	944

Na obszarze CB i BZ siły powietrzne Danii liczą 96 samolotów i będą współdziałać z wydzielonymi jednostkami lotniczymi sił powietrznych RFN. Na wypadek wojny zostaną wzmocnione czterema eskadrami lotniczymi USA, czterema eskadrami z sił powietrznych RFN i dwiema eskadrami lotniczymi Wielkiej Brytanii. Ogółem siły powietrzne CB i BZ liczą 168 samolotów.

Strukturę organizacyjną i skład sił powietrznych niektórych państw NATO przedstawia Załącznik 1.1. Z analizy Tabeli 1.1 i Załącznika 1.1 wynika, że niektóre państwa Europy Zachodniej nie wydzielają całych swoich sił powietrznych do NATO. Wielka Brytania w dyspozycji D-twa Lot. Metropolii pozostawia około 60% swoich sił powietrznych. Rodzaj sprzętu lotniczego będącego na uzbrojeniu poszczególnych państw NATO przedstawia Załącznik 1.2. W celu określenia możliwości i realiów czasowo-przestrzennych potencjalnego nalotu, w Załączniku 1.3 przedsta-

---

[1] cowano na podstawie WPZ 5-6(177-178) 1987.

wiono dane taktyczno techniczne sprzętu lotniczego państw NATO.

W przypadku konfliktu zbrojnego należy brać pod uwagę fakt że na ETDW będą zaangażowane również francuskie siły zbrojne. Kierownictwo paktu NATO traktuje te siły jako potencjalny odwód strategiczny. W związku z tym, francuskie siły powietrzne stanowić mogą odwód dowództwa sił powietrznych NATO na ETDW. Przedstawiciele francuskich sił zbrojnych uczestniczą w ćwiczeniach dowódczo-sztabowych sił lądowych, morskich i powietrznych NATO, mimo faktu że Francja nie jest członkiem paktu.

Lotnictwo Francji składa się z:

- Strategicznych Sił Powietrznych (SSP),
- Taktycznych Sił Powietrznych (TSP),
- Wojskowego Lotnictwa Transportowego (WLT),
- Lotnictwa Obrony Powietrznej (LOP).

SSP tworzą 2 pułki lotnicze: strategicznych samolotów bombowych (Mirage IVP), oraz samolotów tankowania powietrznego (C-135F).

TSP liczą około 320 samolotów różnych typów z nosicielami broni jądrowej włącznie. Na uzbrojeniu tych sił znajdują się samoloty: Mirage 3, Mirage 5, Alpha Jet, Jaguar, Mirage 2000.

WLT liczy łącznie 270 samolotów i jest złożone z trzech pułków lotnictwa transportowego, czterech samodzielnych grup i 11 eskadr.

LOP jest wyposażone w samoloty bojowe Mirage 1, Mirage 3 i Mirage 2000. Łącznie siły te liczą 180 samolotów.

Według strategów z dowództwa NATO współczesna wojna może rozpocząć się zmasowanym atakiem lotnictwa, uzupełnionym uderzeniami rakiet operacyjno-taktycznych. Zastosowanie broni jądrowej może nastąpić w zależności od rozwoju sytuacji, w pierwszych lub następnych dniach działań wojennych. Celem pierwszej operacji powietrznej jest zdobycie i utrzymanie inicjatywy strategicznej. ŚETDW jest uważany za praktycznie najważniejszy teatr ewentualnych działań wojennych w Europie. Doktryna strategiczna NATO przewiduje w przypadku wojny prowadzenie wysoko manewrowych operacji powietrznych z zamiarem jednoczesnego rażenia przeciwnika na całej głębokości ugrupowania wojsk.

Według poglądów specjalistów wojskowych NATO powietrzna opera-

cja zaczepna może sięgać do 1000 km w głąb ugrupowania przeciwnika na szerokości 700 - 800 km.

Po otrzymaniu z USA wzmocnienia i uzupełnień, liczba samolotów operujących na ŚETDW może zwiększyć się do 2200 (1000 w pasie działania 2 PTSP, oraz 1200 w pasie działania 4PTST). W celu wykonania zadań specjalnych, planowane jest użycie na ŚETDW od 80 do 100 strategicznych samolotów bombowych B-52. Generalnie operację powietrzną przewiduje się przeprowadzić w dwóch rzutach:

- rzutu obezwładniania obrony powietrznej,
- rzutu uderzeniowego.

W ciągu doby można przewidywać 2, 3 zmasowane uderzenia lotnictwa NATO. Zadaniem pierwszego uderzenia będzie obezwładnienie systemu obrony plot na kilku kierunkach, maksymalne zniszczenie lotnictwa przeciwnika na ziemi i w powietrzu, oraz stanowisk dowodzenia i kierowania. Podczas takiego uderzenia tylko 25% samolotów uczestniczących w nalocie będzie wykonywało zadania na korzyść sił lądowych, a pozostałe będą wykonywały wymienione powyżej zadania. Rzut obezwładniania OP składać się może z grup (do 100) samolotów: myśliwskich osłony, WRE, myśliwsko-bombowych. Ich zadaniem jest zabezpieczenie dolotu grupy uderzeniowej przeznaczonej do niszczenia sysytemu rozpoznania radiolokacyjnego, stacji naprowadzania rakiet i lotnictwa myśliwskiego. W trakcie tego działania użyte będą samonaprowadzające się rakiety przeciwradiolokacyjne, oraz specjalnie przystosowane do zwalczania systemów rozpoznania samoloty F-4G. Przez cały czas trwania nalotu samoloty WRE będą intensywnie zakłócały stacje radiolokacyjne przeciwnika, w celu obniżenia efektywności jego systemu OP.

Wykonanie drugiego zmasowanego uderzenia ma na celu zdobycie i utrzymanie pełnej przewagi w powietrzu, oraz zadanie maksymalnych strat siłom lądowym, łącznie z drugimi rzutami i odwodami. Efektem takiego uderzenia powinno być zadanie przeciwnikowi strat, które nie pozwolą mu na szybkie odtworzenie zdolności bojowej swoich sił, oraz zniszczenie lotnisk na głębokości do 500 km od linii styczności wojsk. Podział samolotów biorących udział w uderzeniu, do poszczególnych zadań zmieni się. Do wywalczenia przewagi w powietrzu i utrzymaniu jej, wydziela się około 50% sił, a pozostałe przeznacza do

izolacji rejonów działań bojowych, bezpośredniego wsparcia lotniczego, rozpoznania i walki radielektronicznej. Liczba samolotów biorących udział w tym etapie operacji może sięgać do 700. Będą to samoloty różnego przeznaczenia, a przede wszystkim taktyczne samoloty myśliwskie: F4, F-16, F-104G, Tornado GR.1, Harrier GR.3. Do wykonywania bezpośrednich uderzeń na siły lądowe użyte zostaną lekkie samoloty bombowe typu Buccaner, samoloty szturmowe A-10, Alpha Jet, oraz myśliwsko-bombowe Jaguar i F-111.

Po zdobyciu przewagi w powietrzu, realizowane będą zadania izolacji rejonów działań, oraz bezpośredniego wsparcia. Izoloacja rejonu działań bojowych polega głównie na wykonaniu ataków na drugie rzuty i odwody sił lądowych przeciwnika, oraz na system dróg i zabezpieczenia logistycznego. Bezpośrednie wsparcie lotnicze będzie realizowane przez samoloty szturmowe poprzez wykonanie bezpośrednich ataków lotniczych na wojska operacyjne przeciwnika w rejonie działań na głębokość do 50 km od linii styczności.

Powodzenie powietrznej operacji zaczepnej jest, zdaniem ekspertów wojskowych NATO, podstawą powodzenia operacji strategicznej prowadzonej na ŚETDW.[1]

Zgodnie z przyjętymi w NATO normami i zasadami użycia lotnictwa, ugrupowanie bojowe w nalocie zmasowanym może składać się z grup 3-5 samolotów (w przypadku lotnictwa strategicznego), lub 4-12 samolotów (w przypadku lotnictwa taktycznego i pokładowego). Odległości czasowe między grupami samolotów są rzędu 1-3 min. Z punktu widzenia systemu dowodzenia OP, przeciwnika powietrznego należy oceniać przede wszystkim pod kątem jego potencjalnych możliwości wyrażających się:

- ilością samolotów w nalocie,
- czasowo-przestrzennymi możliwościami spodziewanego nalotu
- kompresją własnego pola radiolokacyjnego na skutek postawienia zakłóceń radioelektronicznych.

Ilość ŚNP mogących brać udział w nalocie można określić w oparciu o Tabelę 1.1 i przyjęte w NATO zasdy wykorzystania lotnictwa, a mianowicie:

Opracowano na podstawie: Powietrzna operacja zaczepna WPZ 3 (163) W-wa 1985.

- przyjęcie wswpółczynnik sprawności technicznej W = 0.8,
- w działanich bojowych weźmie udział około 70% stanu samolotów, pozostałe 30% pozostawione zostaje do wykonania nieprzewidzianych zadań,
- wykonując uderzenie konwencjonalnymi środkami, lotnictwo taktyczne i pokładowe działa w grupach od 2 do 12 samolotów,
- w przypadku uderzenia środkami jądrowymi, nalot wykonywany jest grupami od 4 do 8 samolotów.

Mając na uwadze powyższe reguły organizowania nalotu, oszacowano, że liczba samolotów biorących udział w nalocie zmasowanym, np w pasie działania Frontu Nadmorskiego, zawierać się będzie w przedziale 350-450 sztuk. Należy przewidywać, że nalot składać się może z trzech rzutów, a spodziewana gęstość nalotu wynosić będzie od 3 do 8 samolotów na min [24]. Na podstawie analizy literatury przedmiotu, oraz danych taktyczno-technicznych samolotów stosowanych obecnie i w niedalekiej przyszłości przez państwa należące do NATO, można przyjąć, że nalot może być wykonywany na małych wysokościach z prędkością do 400 m/sek, a na średnich i dużych z prędkością nawet do 900 m/sek. Za najbardziej prawdopodobną prędkość w trakcie nalotu przyjmuje się: 200 - 250 m/sek na małych, oraz 250 - 350 m/sek na średnich i dużych wysokościach.

W trakcie trwania nalotu należy się liczyć z zakłóceniami radioelektronicznymi stosowanymi przez specjalne samoloty. Postawienie zakłóceń ma na celu m.in. obezwładnienie środków rozpoznania radiolokacyjnego. Przewiduje się, że np w pasie działań Frontu Nadmorskiego, przeciwnik może wytworzyć kilka pasów zakłóceń, przez które wprowadzi kolejne grupy i rzuty nalotu zmasowanego. Kompresja pola radiolokacyjnego będzie się objawiała zmniejszeniem zasięgów stacji radiolokacyjnych średnio o około 40% [24].

1.3. Wymogi współczesnego pola walki w zakresie informacji o sytuacji powietrznej.

Stosowane współcześnie i wprowadzane na wyposażenie pododdziałów radiotechnicznych stacje radiolokacyjne charakteryzują się zmiennymi parametrami wykrywania (zasięgami), w zależności

od wysokości lotu obiektu powietrznego, oraz stopnia natężenia zakłóceń stosowanych przez przeciwnika. W oparciu o dane o możliwościach czasowych ostrzelania ŚNP przez aktywne środki walki wyznaczyć można dopuszczalny czas opóźnienia informacji o sytuacji powietrznej. Szczegółowa analiza tego zagadnienia została przeprowadzona w literaturze przedmiotu [14] [24].

Warunkiem skutecznego zwalczania ŚNP na wyznaczonej rubieży, może być tylko przewaga czasowa obrony powietrznej. Przewagę taką można uzykać tylko wówczas, jeżeli czas opracowania informacji o nalocie i wypracowania decyzji o zwalczaniu (czas postawienia zadania bojowego), będzie mniejszy od tzw czasu dysponowanego. Czas dysponowany jest to czas, w którym wykryty obiekt powietrzny osiągnie rubież zwalczania. Im dalej od nakazanej rubieży zwalczania wykryty zostanie cel, tym więcej czasu pozostanie na opracowanie informacji radiolokacyjnej, podjęcie decyzji i uruchomienie aktywnych środków walki. Ze względu na stosowanie przez n-pla taktyki dolotu do rubieży zwalczania na małych wysokościach, oraz stosowania zakłóceń radioelektronicznych, istnieje ryzyko, że cel zostanie wykryty bardzo blisko tej rubieży, a zatem czas dysponowany będzie krótki, rzędu kilkudziesięciu lub nawet kilkunastu sekund.

Możliwości czasowe aktywnych środków walki są znane (uzależnione m.in. od typu środka i gotowości bojowej), a o tym czy zostaną skutecznie zastosowane, decyduje przede wszystkim system rozpoznania i dowodzenia (Załącznik 1.5).

Przy określaniu średniego dopuszczalnego czasu opóźnienia informacji o sytuacji powietrznej, wzięto pod uwagę możliwości czasowe aktywnych środków walki, oraz realne zasięgi stosowanych i wprowadzanych na wyposażenie WRT, stacji radiolokacyjnych (Załącznik 1.6). Zasięgi te, w przypadku stosowania przez nieprzyjaciela zakłóceń radioelektronicznych, zmniejszają się o około 40%.

W literaturze przedmiotu [14], można znalźć szczegółową i wszechstronną analizę wymagań na czas opracowania informacji o nalocie. Jak wynika z przeprowadzonych tam obliczeń, wielkość średnią dopuszczalnego czasu opóźnienia informacji można oszacować następująco:

- dla brygady rakiet czas opóźnienia informacji wynosi:
  do 60 sek - dla wysokości lotu 300 - 500 m

60 - 93 sek dla wysokości lotu 3000 - 5000 m,

- dla lotnictwa myśliwskiego ze strefy dyżurowani odpowiednio:

48 sek dla wysokości lotu 3000 m,
74 sek -"- -"- -"- 4000 m,
94 sek -"- -"- -"- 5000 m,

Lotnictwo będące w położeniu "dyżurowanie na lotnisku" nie będzie w stanie wykorzystać do działań bojowych opracowanej przez sysytem rozpoznania informacji o sytuacji powietrznej. Na podstawie przedstawionych wartości dopuszczalnego czasu opóźnienia należy stwierdzić, że zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia powinien przetworzyć informację o wykrytym nalocie w czasie nie dłuższym niż 40 sek. W przeciwnym wypadku niemożliwym staje się uruchomienie i wprowadzenie do walki aktywnych środków OP, w tym lotnictwa myśliwskiego ze strefy dyżurowania.

W miarę rozwoju aktywnych środków napadu powietrznego, środków walki radioelektronicznej, zmiany taktyki działania lotnictwa, wymagania czasowe będą się zmieniać na niekorzyść systemu obrony. Oznacza to, że czas na opracowanie informacji radiolokacyjnej i wypracowanie decyzji o zwalczaniu, musi być jeszcze krótszy.

Wymagania na ilość opracowanej informacji radiolokacyjnej, określane są na podstawie liczności i ugrupowania spodziewanego nalotu. I tak CRI armii powinno opracowywać informację o około 200 obiektach w jednym cyklu obliczeniowym. Na szeblu taktycznym system rozpoznania i dowodzenia OP opracowuje informacje o 30 - 60 ŚNP. Przykładowo zautomatyzowany system Zenit szczebla taktycznego zwalcza 32 obiekty powietrzne. Przy automatyzacji OP pz/pcz przyjmuje się konieczność opracowania informacji o 32 obiektach powietrznych. Liczby te uwzględniają możliwości ilościowe aktywnych środków OP będących w dyspozycji danego szczebla dowodzenia, oraz przyjętą zasadą wskazywania 2 obiektów do zwalczania: zasadniczego i dodatkowego.
Cykl obliczeniowy jest to przedział czasu, po którym następuje aktualizacja danych o położeniu i parametrach lotu ŚNP, w oparciu o które wypracowywane są decyzje o zwalczaniu. Ponieważ SRL dostarczają praktycznie najbardziej aktualnej informacji o sytuacji powietrznej, zatem cykl obliczeniowy nie powi-

nien być dłuższy od czasu obrotu anteny. Zakładając duże prędkości i manewrowość współczesnych ŚNP, dłuższe, niż czas obrotu anteny przerwy w aktualizacji informacji o nalocie, mogą być przyczyną błędów w procesie dowodzenia i zwalczania.

Dokładność określania położenia, kursu, prędkości, śledzonych obiektów powietrznych uzależniona jest od:

- dokładności określania współrzędnych ŚNP przez SRL,
- błędów przetwarzania informacji radiolokacyjnej,

Błędy określania współrzędnych obiektu, popełniane przez SRL spowodowane są przede wszystkim:

- błędem orientowania stacji,
- błędem średniokwadratowym, charakterystyczny dla danego typu stacji.

Błędy wprowadzane przez zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia, związane z przetwarzaniem informacji radiolokacyjnej, spowodowane są przede wszystkim:

- błędami dowiązania topograficznego,
- błędami przeliczania współrzędnych topograficznych,
- błędami przeliczania do bazowego układu odniesienia,
- błędami przeliczania współrzędnych R,B na X,Y,
- błędami związanymi z justowaniem SRL.

Dokładność określania położenia i parametrów lotu obiektów powietrznych nabiera szczególnego znaczenia przy automatyzacji rozdziału celów do zwalczania przez poszczególne środki ogniowe. Jak wynika z doświadczeń ze strzelań poligonowych z wykorzystaniem systemu Zenit, nawet niewielkie błędy obliczenia parametru kursowego i składowych prędkości zwalczanych obiektów, powodują niejednoznaczności w procesie rozdziału celów i stawiają pod znakiem zapytania jego automatyzację i optymalizację. Z tego powodu należy dążyć do maksymalnego wyeliminowania błędów w określaniu położenia obiektów powietrznych, a tym samym ich parametrów lotu. Można to realizować eliminując przede wszystkim błędy związane z przetwarzaniem informacji radiolokacyjnej o nalocie. Dokładność określenia położenia bezpośrednio wpływa na obliczoną przez system ilość ŚNP biorących udział w nalocie. Przy błędnym określeniu położenia może nastąpić zmniejszenie rzeczywistej liczby, lub generacja fałszywych (w rzeczywistości nie istniejących) obiektów powietrznych.

1.4. Funkcje zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia OP na współczesnym polu walki.

W sytuacji gdy wymaganiom na opracowanie informacji o sytuacji powietrznej na polu walki mogą podołać tylko zautomatyzowane systemy, koniecznością jest stosowanie ich na wszystkich szczeblach dowodzenia obroną powietrzną.

PD OP pz/pcz/prplot musi być wyposażony w taki system, który wykorzystując informacje z: podległej SRL (NUR-21), własnych POPP, oraz dostarczone z nadrzędnego SD OP informacje, zapewni automatyzację dowodzenia podległymi środkami ogniowymi. PłSD OP Armii/Frontu jest wyposażane w zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia opracowujący informację napływającą z podległych ZIW (źródeł informacji wtórnej) i wypracowujący decyzje o zwalczaniu nalotu przeciwnika powietrznego w swoim pasie działania.

Każdy zautomatyzowany system dowodzenia obrony powietrznej składa się z trzech zasadniczych elementów:

- podsystemu rozpoznania,
- podsystemu łączności,
- informatycznego podsystemu przetwarzania danych.

Podsystem rozpoznania bazuje na strukturze wojsk radiotechnicznych. Pojedyncza SRL ma ograniczony zasięg obserwacji wynikający z jej parametrów technicznych, kątów zakrycia, krzywizny Ziemi itp. Z tego powodu podsystem wykrywania realizuje się tworząc, z będących w dyspozycji stacji radiolokacyjnych, rozmieszczoną przestrzennie sieć wykrywaia. Ugrupowanie SRL powinno uwzględniać spodziewane kierunki nalotu zwielokratniając tam pokrycie polem radiolokacyjnym w celu zwiększenia prawdopodobieństwa wykrycia przeciwnika powietrznego. Optymalizacja ugrupowania SRL stanowi oddzielny, złożony problem i jest zagadnieniem, któremu należy poświęcić sporo uwagi.

Zadaniem podsystemu łączności jest przekazywanie informacji, komend, meldunków między elementami składowymi zautomatyzowanego systemu dowodzenia (źródłami informacji, środkami ogniowymi, sąsiednimi PD/SD OP). Do przesyłania informacji wykorzystywane są sformalizowane depesze (kodogramy). Największe ryzyko rozkodowania treści informacji przesyłanych w depeszach

systemowych, istnieje w czasie transmisji tych depesz drogą radiową, lub telegraficzną. W depeszach przesyłane są informacje o sytuaci powietrznej, meldunki, rozkazy, dane o własnych siłach i środkach, strefach dyżurowania, trasach przelotów własnych samolotów, itp. Należy dążyć do maksymalnego zabezpieczenia transmitowanych informacji przed rozpoznaniem ich przez przeciwnika. W tym przypadku istotnego znaczenia nabiera utajnianie, transmitowanych drogą radiową lub kablową, informacji. Oprócz technicznych środków utajniania, można zastosować, w miarę istnienia rezerw czasowo-programowych, spcejalne programy szyfrująco-deszyfrujące. Autor opracował propozycje metod szyfrowania informacji transmitowanych w sieci łączności zintegrowanego systemu OP.

Metoda pierwsza, selektywnego negowania bitów w transmitowanej depeszy, polega na zanegowaniu wybranych bitów, np parzystych, nieparzystych lub wybranych wg zadanej reguły, w treści tej depeszy. Wybór konkretnej reguły negowania bitów zależy od wartości ustalonych bitów w treści przesyłanej depeszy.

Przykład:

Niech depesza do zaszyfrowania składa się z 8 bajtów, tzn z 64 bitów. Treść tej depeszy jest następująca:

Numer bajtu (NB)	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	1	0	1	0	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	0	1
2	0	0	1	1	1	0	1	1
3	1	0	1	1	0	0	0	1
4	0	0	0	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0	1	0	0
6	0	1	0	1	1	0	0	1
7	1	1	0	0	0	1	0	0
Numer bitu (nb)								

Wartość liczbowa (zapisana heksadecymalnie) tej depeszy wyno-

si: H!57E53BB11DF459C4.

W celu łatwiejszego zrozumienia opisywanej metody kodowania, wzięta pod uwagę zostanie wartość Z, zapisana tylko na bicie 1 i 5 bajtu zerowaego (w wyróżnionych ramkach).

Przyjmijmy zasadę:

- dla Z > 2 negowane są parzyste bity depeszy,
- dla Z ≤ 2 negowane są nieparzyste bity depeszy,
- dla Z = 0 następuje zmiana bitów depeszy.

Szyfrowanie treści depeszy może być realizowane wg reguły:

$$W(nb + NB*8) = f(R[E(\frac{nb + NB}{Z})]), \text{ dla } Z > 1 \qquad (1.4.1)$$

gdzie: $R[E(\frac{nb + NB}{Z})]$ - reszta z dzielenia całkowitego.

Jeżeli R[...] = 0, wówczas wartość W bitu numer (nb + NB*8), jest negacją pierwotnej wartości, w pozostałych przypadkach pozostaje bez zmian.

W przykładzie została przedstawiona tylko uproszczona i nieskomplikowana metoda negowania bitów w depeszy. Ze zrozumiałych względów zastosowana w praktyce metoda negowania musi być bardziej złożona i może znać ją tylko wąskie grono zainteresowanych osób. Ilość i postać możliwych do zastosowania metod jest dowolna i zależy od inwencji i pomysłowości ich twórcy.

Wartość liczbowa zakodowanej, wg pierwszej metody negowania, depeszy wynosi: H!FG4F911BB75EF36E. Zakodowana wg reguły z wzoru 1.4.1 wartość liczbowa depeszy wynosi:

H!C5C1724339BDCBE0.

Kluczem do metody negowania bitów są numery bitów, których wartości określają liczbę Z. Ponieważ wybierane są dwa spośród 64 bitów, zatem możliwa ilość kombinacji wynosi 2^{32}. Obowiązującą zasadą jest nie negowanie wybranych bitów, tylko transmitowanie ich niezmienionych wartości. Jest to konieczne do prawidłowego rozszyfrowania przesyłanej depeszy.

Drugą metodą utajniania może być transmisja depeszy wg zmienionej kolejności bajtów. Reguła zmiany kolejności bajtów transmitowanej depeszy zależy od wartości wybranych bitów w treści tej depeszy.

Trzecią metodą szyfrowania i deszyfrowania depesz systemowych jest połączenie metod opisanych powyżej, tzn negowanie wybranych bitów i zamiana kolejności transmitowanych bajtów.

Stosując opisane metody szyfrowania można utajniać i rozszyfrowywać transmitowane informacje w sposób automatyczny, bez wiedzy operatorów. Zasada utajniania informacji byłaby znana tylko twórcy metody szyfrowania i deszyfrowania, a po umieszczeniu jej w pamięci komputera nie byłaby dostępna dla osób postronnych. Dodatkową zaletą jest szyfrowanie treści każdej depeszy wg innej zasady, wybieranej automatycznie, w zależności od wartości określonych bitów.

Informatyczny podsystem przetwarzania danych opracowuje zebraną informację radiolokacyjną, a następnie wypracowuje decyzje o zwalczaniu. Od jego jakości i możliwości w dużej mierze zależy skuteczność obrony przed atakiem ŚNP.
Aktualnie w wojskach funkcjonuje kilka typów zautomatyzowanych systemów dowodzenia obroną powietrzną. W WOPK są zainstalowane krajowe systemy Dunajec-S, Cyber, oraz importowane Ałmaz, Wozduch, Wektor (Pori). Nadmorski Związek Operacyjno-Taktyczny OPK jest wyposażony w elementy wymienionych wyżej systemów. W wojskach OPL jest stosowany krajowy system Zenit (na SD prplot), oraz jest wprowadzany kompleksowy system Dunajec-P, obejmujący kolejne szczeble dowodzenia obrony powietrznej od PD OPL pz/pcz do PłSD WLiOPL frontu. Ponadto funkcjonują elementy importowanego systemu Pasuw (wozy MP-22, MP-25). Trwają zaawansowane prace nad krajowymi systemami dla Wojsk Lotniczych pk Orzyc, oraz dla Marynarki Wojennej - Łeba.
Duża różnorodność zastosowanych systemów dowodzenia, zwłaszcza w WOPK, wprowadza wiele trudności i opóźnień w wymianie informacji o sytuacji powietrznej, co może mieć negatywny wpływ na efektywność obrony. Unifikacja stosowanych systemów dowodzenia obrony powietrznej w ramach całego systemu OP, umożliwiłaby automatyzację przepływu informacji, komend i meldunków w "pionie" (w ramach jednego rodzaju wojsk), oraz w "poziomie" pomiędzy odpowiednimi szczeblami dowodzenia różnych rodzajów wojsk. W literaturze źródłowej [49] można znaleźć kompleksowy opis problemów wynikających z niejednorodności i niespójności informacyjnej systemów krajowych i importowanych. Do podstawowych należą:

- brak możliwości wzajemnej, pełnej, wymiany informacji między systemami, będącej skutkiem nie przyjęcia jednej, zunifkowanej postaci depesz (kodogramów),

- brak koncepcji wykorzystania opracowanej już przez jeden system informacji o sytuacji powietrznej, w systemie będącym na wyposażeniu innego rodzaju wojsk (np OPL, WL, MW nie wykorzystują w pełni informacji zebranej i opracowanej przez WOPK),
- struktura informacji, która jest wymieniana między systemami, wymusza przekodowanie tej informacji i uzupełnienia jej w sposób niezautomatyzowany (przez operatora) w dane, którymi system transmitujący nie dysponuje,
- mała szybkość transmitowania danych (Ałmaz-60 bodów) co bardzo wydłuża wymianę informacji.

Pełna wymiana informacji między systemami rozpoznania różnych rodzajów wojsk zwiększy wiarygodność i skróci czas opracowania informacji o sytuacji powietrznej, oraz poprawi mobilność systemów obrony. Rozwiązanie takie jest możliwe tylko wtedy, gdy zostaną przyjęte jednakowe wzory formularzy depesz (kodogramów) transmitowanych między różnymi systemami, oraz opracowany zostanie kompleksowo zakres wymiany informacji między poszczególnymi szczeblami dowodzenia OP różnych rodzajów wojsk. Dzięki temu zwiększy się również niezawodność działania przenikających i uzupełniających się informatycznie systemów obrony powietrznej. Pełna wymiana informacji pozwoli na szybsze określenie sytuacji powietrznej, oraz pozwoli wyłączyć nadmiarowo pracujące stacje radiolokacyjne, co przyczyni się do uchronienia ich przed zniszczeniem.

1.5. Efektywność systemu obrony powietrznej.

Efektywność jest cechą określoną w przestrzeni wymagań, uzyskanych efektów działania i ogólnie rozumianych kosztów, decydującą w praktyce o zastosowaniu i eksploatacji kompleksów organizacyjno-technicznych, jakimi są systemy wojskowe.
Zadaniem każdego systemu obrony, a obrony powietrznej w szczególności, jest zabezpieczenie osłanianych wojsk, obiektów, rejonów przed oddziaływaniem przeciwnika. Zabezpieczenie to musi być realizowane w określonym czasie i przestrzeni. System obrony powinien gwarantować użytkownikowi pewien stopień zaufania, pewności celowości jego stosowania.

Podstawową zasadą, która musi być konsekwentnie przestrze-

gana przy konstrułowaniu każdego systemu obrony, jest uwzględnienie realiów (aktualnych warunków, wpływu otoczenia zewnętrznego), w których system ten będzie funkcjonował. Przestrzeń wymagań jest odzwierciedleniem oczekiwań i potrzeb użytkownika formułowanych na bazie znajomości rzeczywistego otoczenia systemu.

Przystępując do definiowania efektywności systemu OP należy mieć na uwadze cel jego działania. Celem działania systemu OP jest słona wojsk i obiektów przed atakiem nieprzyjaciela powietrznego, natomiast celem działania przeciwnika jest zadanie wojskom strony przeciwnej takich strat, które spowodują ich niezdolność do prowadzenia dalszych działań bojowych. Każdy system obrony powietrznej ma za zadanie uniemożliwienie przeciwnikowi powietrznemu realizację jego celu, stosując aktywne (środki ogniowe i LM), oraz pasywne (walka radioelektroniczna) metody oddziaływania. Od skuteczności działania OP zależy stopień realizacji przez przeciwnika jego celu działania.

Skutecznością systemu obrony przeciwlotniczej w czasie odpierania nalotów, jest własność określająca zdolność tego systemu do oddziaływania na przeciwnika powietrznego w taki sposób, aby osłaniane wojska nie utraciły, na skutek działania ŚNP, możliwości realizacji powierzonego im zadania bojowego.

Pojęcie efektywności bojowej systemu OP jest intuicyjnie utożsamiane z pojęciem skuteczności. Do dalszych rozważań autor przyjął, że efektywność systemu OP jest to cecha określająca możliwości oddziaływania tego systemu na nalot ŚNP. Efektywność operacyjna systemu OP dotyczy wykonania zadań operacyjnych i jest ściśle związana z wymaganiami, które system ten powinien spełnić.

System OP jest bardziej efektywny wtedy gdy silniej oddziaływuje na przeciwnika. Łączy się to ze zmniejszeniem prawdopodobieństwa wykonania zadania bojowego przez przeciwnika powietrznego. Naturalnym i logicznym jest stwierdzenie, że im bardziej efektywny jest system OP, tym mniejsze szanse ma nieprzyjaciel na zrealizowanie swoich zamierzeń, tzn zadanie krytycznych strat osłanianym wojskom, obiektom. Porównanie efektywności różnych systemów OP polega na sprawdzeniu ich oddziaływania na jedną, określoną, wersję nalotu

ŚNP. Oznacza to jednakowe warunki działania dla wszystkich ocenianych systemów, bo tylko wówczas można autorytatywnie stwierdzić, który system jest lepszy, tzn który jest bardziej efektywny. Bez spełnienia tego warunku nie można w sposób wiarygodny wyrokować o badanych systemach. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że określony system OP może okazać się mało skuteczny do osłony wybranego obiektu, mimo że charakteryzuje się wysokim wskaźnikiem efektywności. Może zaistnieć również sytuacja odwrotna, mianowicie system mało efektywny może skutecznie osłonić określony obiekt. Zależy to przede wszystkim od tzw "wrażliwości" osłanianego obiektu, oraz od liczności nalotu ŚNP. Do rozważań o efektywności systemów OP przyjęto następujące założenia:

1. Każdy nalot jest określony przez liczbę ŚNP biorących w nim udział, lub przez zbiorczy potencjał bojowy będący sumą potencjałów bojowych pojedynczych samolotów, a oznaczany przez IN.
2. Do zniszczenia określonego celu W (obiektu, ugrupowania wojsk), przeciwnik musi wydzielić (przeznaczyć) pewną ilość ŚNP lub potencjału bojowego (Załącznik 1.7), oznaczony przez IW.
3. System OP poprzez oddziaływanie na przeciwnika powietrznego, niszczy (wytrąca) pewną ilość ŚNP, (lub potencjału bojowego), określoną jako IOP.

W warunkach rzeczywistych wartość IN jest wielkością losową, IW określoną przez normy NATO, natomiast IOP zależy od zastosowanego systemu obrony powietrznej.

Określenie stosunku:

$$R = \frac{IN - IOP}{IW} \qquad (1.5.1)$$

daje odpowiedź, w jakim stopniu badany system OP spełnił postawione przed nim zadanie, tzn osłonił wybrany obiekt W przed atakiem przeciwnika powietrznego.

Przypadek R > 1 oznacza, że system OP nie zrealizował postawionego przed nim zadania, tzn "przepuścił" taką ilość ŚNP, która jest w stanie obezwładnić osłaniany obiekt W.

W sytuacji R < 1, system OP zrealizował postawione przed nim zadanie, tzn wytrącił z nalotu tyle ŚNP (potencjału bojowego), że pozostałe nie są w stanie obezwładnić, osłanianego przez

ten system, obiektu W.
Porównanie wartości liczby R dwóch ocenianych systemów OP daje odpowiedź na pytanie, który z systemów jest bardziej skuteczny (jego R będzie mniejsze) i można określić o ile. Porównanie to pozwala ocenić systemy niezależnie od zrealizowania przez nie zadania bojowego (tak będzie w przypadku wielkolicznego nalotu gdzie nawet wyjątkowo efektywny system OP nie będzie w stanie zapenić skutecznej osłony).

Efektywność systemu OP jest oceniana na podstawie wytraconego potencjału bojowego z nalotu. Przy określaniu cechy skuteczności systemu uwzględniany jest również potencjał IW. Rozróżnienie tych dwóch wielkości, pozwoli jednocześnie ocenić dany system OP, oraz określić czy spełnił on swoje zadanie. Może się bowiem tak zdarzyć że bardzo efektywny system obrony nie zapewni skutecznej osłony wybranym obiektom. Zależy to przede wszystkim od liczności nalotu. Intuicyjnie wyczuwana jest zależność między efektywnością, a skutecznością Skuteczność systemu OP jest proporcjonalna do efektywności i można ją poprawiać m.in. przez podwyższanie tej efektywności. Wzór na określenie efektywności można zapisać następująco:

$$E = 1 - \frac{IN - IOP}{IN} \qquad (1.5.2)$$

Zakładając IN = constans (jedna wersja nalotu) efektywność systemu rośnie wraz ze wzrostem IOP. Badania symulacyjne pozwoliły określić charakter zależności E = F(IOP). Sytuacja gdy E = 1 oznacza, że system OP wytrącił przeciwnikowi powietrznemu cały jego potencjał bojowy zawarty w nalocie. W rzeczywistych warunkach wartość IOP będzie zależała od wielu czynników Skuteczność systemu OP oszacować można wzorem:

$$S = \frac{1}{R} = \frac{IW}{IN - IOP} \qquad (1.5.3)$$

Wartość S > 1 oznacza, że system OP gwarantuje osłonę obiektów dla S = 1 istnieje prawdopodobieństwo zrealizowania przez przeciwnika powietrznego jego celu, tzn zadanie osłanianym przez system OP obiektom strat krytycznych. Przy S < 1 należy stwierdzić, że rozpatrywany system obrony nie zapewni skutecznej osłony wojskom lub obiektom.

Z powyższych rozważań wynika, że efektywność E systemu OP jest funkcją jednej zmiennej IOP, natomiast skuteczność S zależy również od IW, tzn od charakteru obiektów ("wrażliwości" na uderzenia ŚNP). W warunkach rzeczywistych IN jest nieznane, ponieważ to przeciwnik decyduje o charakterze i liczności nalotu. Po przekształceniu wzorów (1.5.2), (1.5.3) skuteczność systemu OP można wyrazić jako funkcję efektywności:

$$S = \frac{IW}{(1 - E)*IN} \qquad (1.5.4)$$

Dla dowódcy (szefa) OPL największego znaczenia nabiera informaja czy zastosowany system OP zapewni skuteczną osłonę bronionych obiektów. Zarówno IW jak i IN są ograniczone. Nie ma bowiem obiektów, które wymagałyby nieskończenie dużej ilości ŚNP do zniszczenia (IW), jak również wielkość nalotu ŚNP jest ograniczona (IN). Przyjmując wartość IW (Załącznik), oraz szacując liczność nalotu IN można zauważyć, że skuteczność S zależy przede wszystkim od efektywności E zastosowanego systemu OP. Charakter zależności przedstawiono na wykresach. Rozróżnienie efektywności i skuteczności systemu OP jest celowe, ponieważ w rzeczywistości system o dużej efektywności może okazać się mało skuteczny do osłony wybranego obiektu, lub odwrotnie system o niskiej efektywności wystarczy do skutecznego osłaniania obiektów o bardzo dużej "odporności" na działanie ŚNP. Pierwszy przypadek zaistnieje wówczas gdy nalot będzie wielkoliczny (duże IN), lub obiekt bardzo wrażliwy na oddziaływanie przeciwnika powietrznego (małe IW). Drugi przypadek zaistnieje w sytuacji małolicznego nalotu (IN małe), lub dużej odporności osłanianego obiektu (duże IW). Oczywiście utopijna sytuacja w której obiekt "sam się obroni" przed nalotem jest poza zakresem rozważań, ponieważ z założenia przeciwnik organizując nalot wydzieli takie siły, które powinny jego zdaniem zniszczyć atakowany obiekt. Dzięki zdefiniowaniu tych dwóch cech systemu OP, jest możliwe stwierdzenie, że system OP który wytrąca nawet 90% ŚNP z nalotu ma wysoki wskaźnik efektywności, ale równocześnie może być mało skuteczny jeśli pozostałe siły są w stanie obezwładnić osłaniane obiekty. Inny system OP, który wytrąca np 20% ŚNP, a więc ma niższy wskaźnik efektywności od poprzednio omawianego, może w pełni zabezpieczyć osłaniane obiekty, pod warunkiem że pozostałe 80% ŚNP nie

jest w stanie zadać krytycznych strat osłanianym obiektom.

Efektywność zatem jest to cecha systemu, która uwzględnia stopień oddziaływania systemu OP na nalot ŚNP, skuteczność natomiast uwzględnia także wrażliwość osłanianych, przez ten system, obiektów. Zdaniem autora, dla pełnej oceny systemu OP należy określać obydwie te cechy.

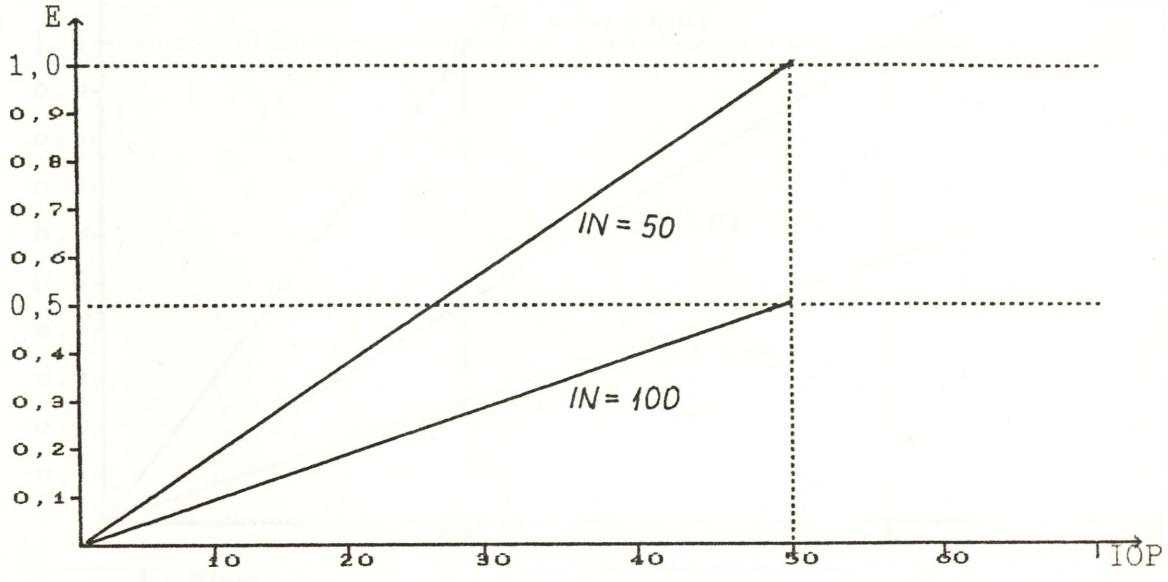
Przeprowadzone badania symulacyjne pozwoliły określić charakter zależności cech efektywności i skuteczności
od: - liczności nalotu IN,
- wytrąconego potencjału bojowego IOP,
- potencjału bojowego krytycznego IW.

Równocześnie określona została zależność skuteczności od efektywności, przy założeniu stałych wartości IN i IW. Analiza wyników uzyskanych z badań symulacyjnych, potwierdziła wcześniejsze założenia o wzroście skuteczności systemu obrony powietrznej wraz ze wzrostem wytrąconego przeciwnikowi powietrznemu potencjału bojowego. Wartość wskaźnika S określa celowość stosowania danego systemu obrony do osłony wybranego obiektu. Drugim czynnikiem wpływającym na wzrost wskaźnika S jest krytyczny potencjał bojowy IW, którego wzrost powoduje podwyższanie cechy skuteczności systemu OP. Wartość potencjału IW może być również rozumiana jako odporność obiektu na uderzenie ŚNP. Odporność tą można zwiększać poprzez szeroko rozumiane maskowanie, rozczłonkowanie, opancerzenie itp. Decydującym jednak czynnikiem wpływającym na wzrost skuteczności systemu OP jest jego efektywność. Zależność skuteczności systemu OP od jego efektywności została przedstawiona na wykresie.

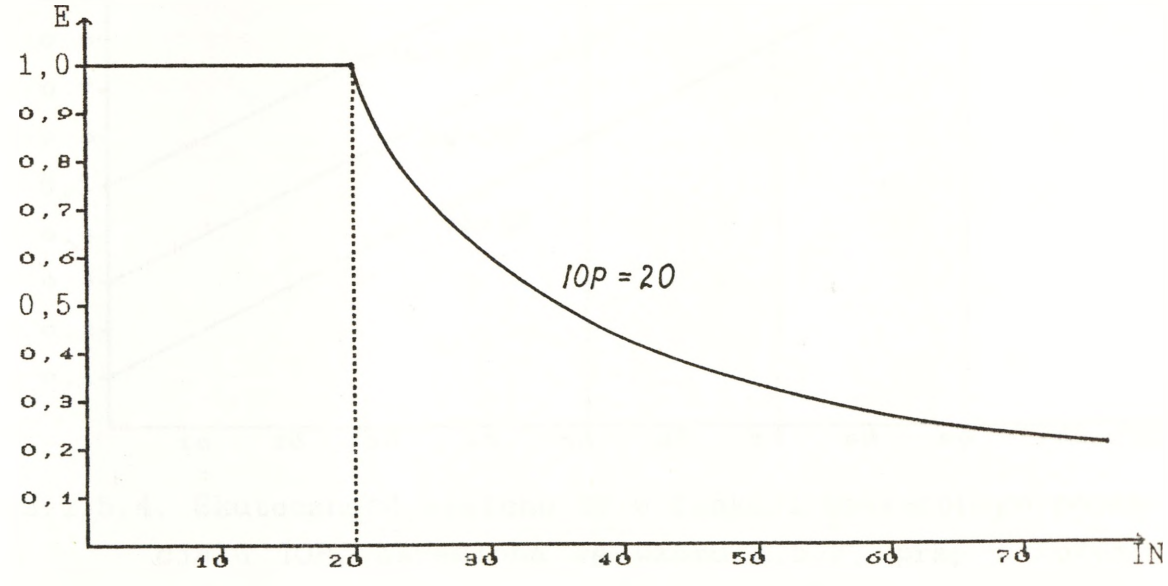
Zadaniem twórcy systemu obrony powietrznej jest maksymalne zwiększenie wskaźnika efektywności E, ponieważ nie mając w zasadzie wpływu na zwiększanie wrtości IW, może dzięki temu spowodować wzrost skuteczności tego systemu.

Efektywność systemu OP może być podwyższana przez:
- wprowadzanie coraz doskonalszych, a tym samym droższych, aktywnych środków walki,
- optymalizację ugrupowania,
- modernizację podsystemu rozpoznania i dowodzenia.

Wyniki badań zależności efektywności E i skuteczności S systemów OP od omówionych czynników przedstawiono na wykresach.

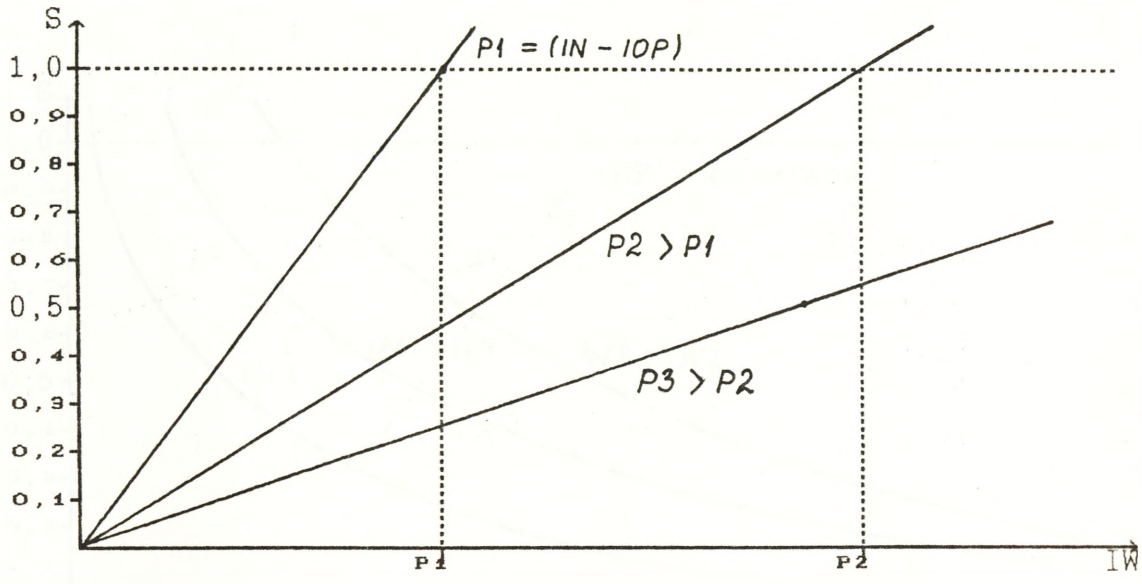


Rys. 1.5.1. Efektywność systemu w funkcji wytraconego potencjału bojowego IOP (wzór 1.5.2).

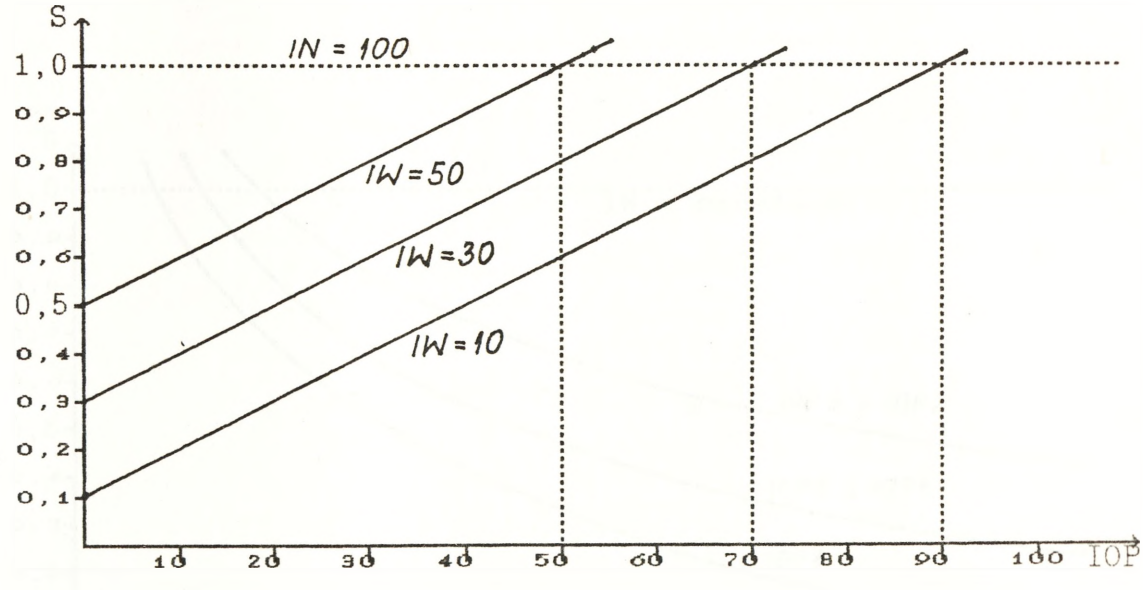


Rys. 1.5.2. Efektywność systemu w funkcji liczności nalotu, przy określonej możliwości systemu IOP = 20 (wzór 1.5.2).

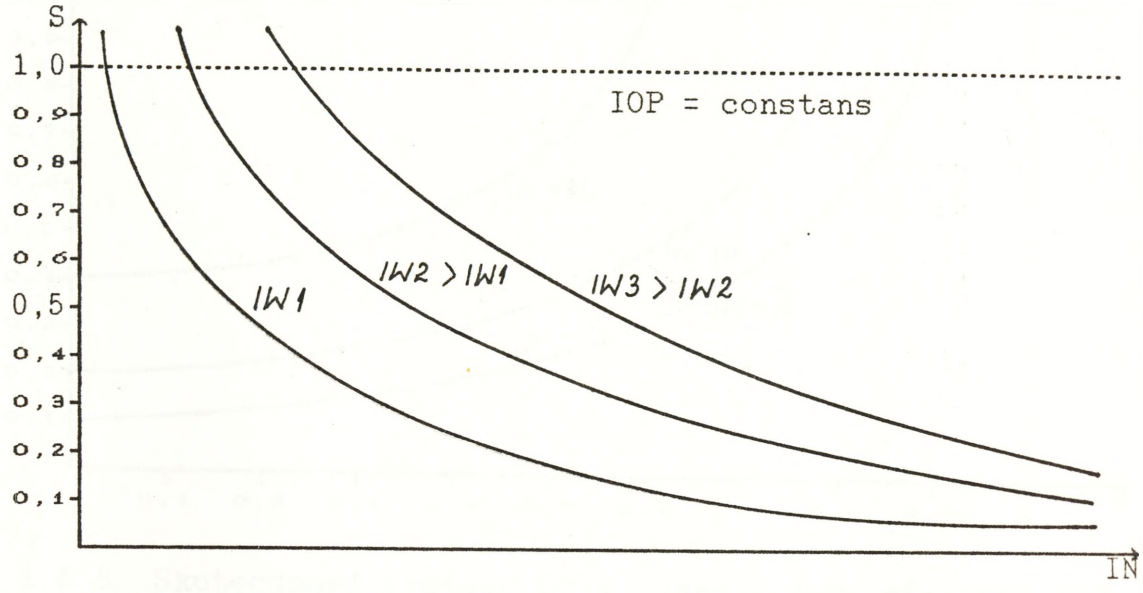
W przedziale (0, 20), E = 1, ponieważ system niszczy wszystkie ŚNP biorące udział w nalocie.



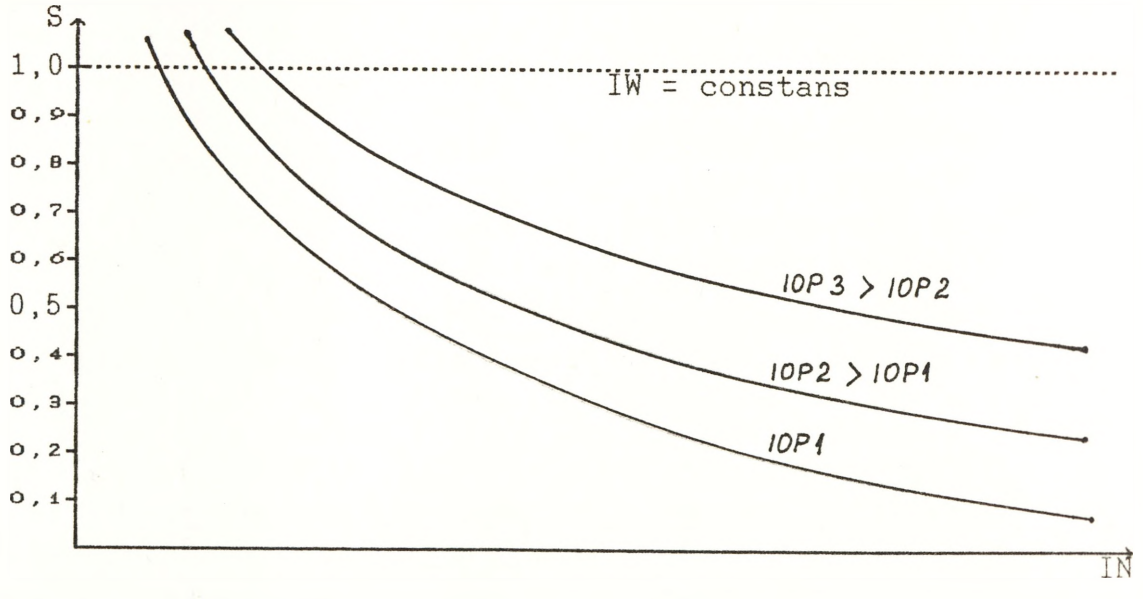
Rys. 1.5.3. Skuteczność systemu OP w funkcji potencjału bojowego IW, określona wg wzoru (1.5.3), przy (IN-IP) = constans.



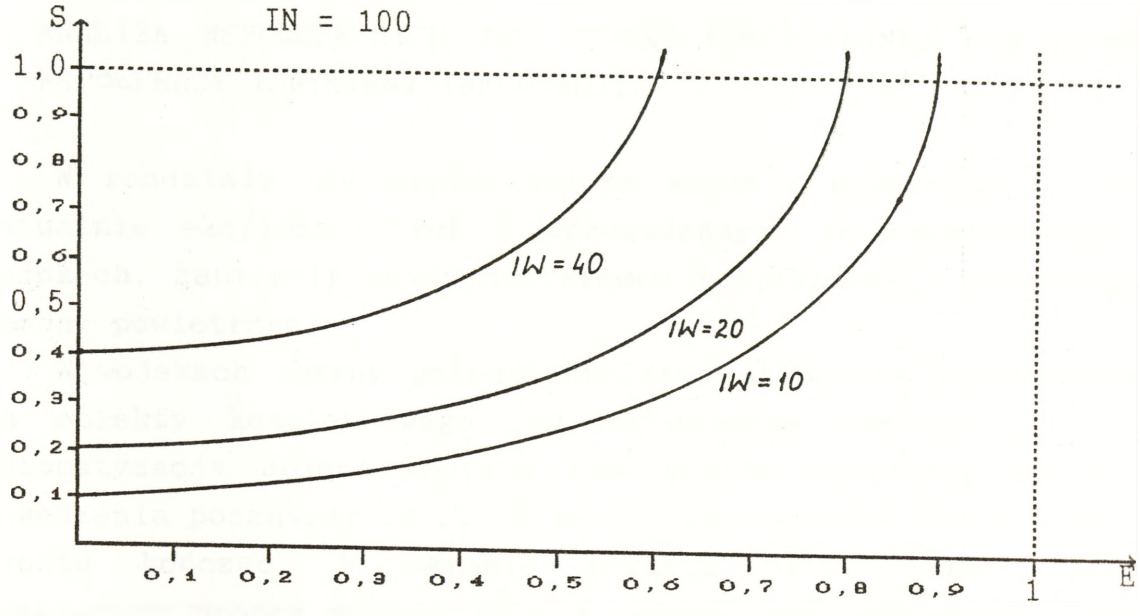
Rys. 1.5.4. Skuteczność systemu OP w funkcji wytrąconego potencjału IOP, określona wg wzoru 1.5.3, przy założeniu stałej liczności nalotu IN = constans.



Rys. 1.5.6. Skuteczność systemu OP w funkcji potencjału bojowego nalotu IN, określana wg wzoru 1.5.3.



Rys. 1.5.7. Skuteczność systemu OP w funkcji potencjału IN określona wg wzoru 1.5.3, przy założeniu IW = constans.



Rys. 1.5.8. Skuteczność systemu OP w funkcji jego efektywności, określona wzorem 1.5.4.

ROZDZIAŁ II

ANALIZA WSPÓŁCZESNYCH ZSD OBRONY POWIETYRZNEJ POD KĄTEM WSPÓŁPRACY I WYMIANY INFORMACJI.

W rozdziale tym przedstawiona została gruntowna analiza aktualnie eksploatowanych i wprowadzanych do eksploatacji w wojskach, zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia obrony powietrznej.

W wojskach obrony przeciwlotniczej aktualnie wprowadzane są obiekty kompleksowego, zintegrowanego systemu Zenit-O. Automatyzacją objęte zostały praktycznie wszystkie szczeble dowodzenia począwszy od PD OP pz/pcz na szczeblu CRI/CD armii-frontu kończąc. W okresie pisania pracy trwał bardzo intensywny proces modernizacji i badań kolejnych wersji obiektów systemu Zenit i dlatego przy opisie tego systemu używano nazwy roboczej, stosowanej w trakcie jego projektowania i realizacji, a mianowicie DP-10, DP-20, PD-40.

W wojskach OPK stosowane są różnorodne zautomatyzowane systemy, importowane i krajowe. Do krajowych można zaliczyć RPT-11, RPT-21 stanowiące wyposażenie kompanii i batalionu radiotechnicznego, oraz CYBER zainstalowany na SD KOPK. Do importowanych zaliczyć należy obiekty systemów AŁMAZ, WOZDUCH i sytemu WEKTOR.

Wojska Lotnicze będą wyposażane w kompleksowy, zintegrowany system p/k ORZYC. Automatyzacją będą objęte SD elm, SD plm/plmb, oraz SD DLM/DLMB. Omówione zostały, zdaniem autora wyczerpująco, zagadnienia rozwiązywane przez funkcjonujące systemy. Szczególną uwagę zwrócono na problemy związane z wymianą informacji między wymienionymi systemami. Brak możliwości przekazywania informacji jest spowodowany niedopasowaniem informatycznym, a przede wszystkim z różnorodnością depesz informacyjnych przesyłanych między obiektami. W systemie Zenit-O i ORZYC podjęto wysiłki w celu ujednolicenia depesz systemowych. Najwięcej problemów w tym zakresie występuje w systemach OPK.

W zakończeniu rozdziału autor przedstawił koncepcję automatyzacji i integracji współdziałania istniejących zautomatyzowanych systemów. Problem ten należy, zdaniem autora, rozwiązać wprowadzając jednolitą strukturę depesz sy-

stemowych w całym kompleksie obrony powietrznej i wdrażając jednocześnie zunifikowany posystem przetwarzania danych. Doraźnym rozwiązaniem byłoby zastosowanie transkodera depesz. Uzupełniającym rozwiązaniem jest przyjęcie jednorodnej zasady współdziałania i kierowania obroną powietrzną w wyznaczonych obszarach i strefach współdziałania.

Aktualnie różne szczeble dowodzenia obroną powietrzną są wyposażane, lub będą w najbliższej przyszłości, w importowane lub krajowe zautomatyzowane systemy rozpoznania i dowodzenia. Opis stosowanych do tej pory systemów planszetowo-fonicznych przedstawiono w Załączniku Nr 2.1.

W wojskach OPL i OPK praktycznie wszystkie szczeble dowodzenia są wyposażone w obiekty automatyzacji. W ciągu ostatnich lat w wojskach OPL intensywnie wprowadzana jest automatyzacja zbierania i opracowywania informacji o przeciwniku powietrznym, oraz wypracowywania decyzji o zwalczaniu. Do działań tego rodzaju zaliczyć należy np. instalowanie zautomatyzowanych zestawów "KRAB" koordynujących zwalczanie ŚNP przez prplot "KUB" lub BRplot "KRUG". Zestaw ten może współpracować ze wszystkimi rodzajami RSWP oraz wysokościomierzami [23]. Możliwa jest również współpraca oddziałów rakiet przeciwlotniczych z LM. Na bazie zestawu "KRAB" tworzone są lotnicze punkty naprowadzania i wskazywania celów (PNWC).

Kolejnym przedsięwzięciem zmierzającym do poprawy kierowania ogniem pododdziałów rakietowych jest wprowadzenie na szczeblu baterii 57 mm armat plot, przeliczników radiolokacyjnych typu "WAZA". Literatura przedmiotu [23] podaje, że zastosowanie zestawu "WAZA" zwiększa prawdopodobieństwo wykrycia celu przez pułk artylerii przeciwlotniczej średnio o 20%. Układy radiolokacyjno-przelicznikowe zostały również wprowadzone w bateriach przeciwlotniczych samobieżnych armat ZSU-23-4 i rakiet "Strzała-1M". Wprowadzenie nowych jakościowo stacji radiolokacyjnych typu NUR spowodowało poprawę podsystemu rozpoznania. Fakt ten umożliwił modernizację systemu obrony przeciwlotniczej w wojskach operacyjnych.

W wojskach OPK stosowane są aktualnie krajowe i importowane obiekty automatyzacji. Do krajowych zaliczyć należy obiekty Dunajec-S oraz Cyber. Importowane obiekty automatyzują różne szczeble dowodzenia. Należą do nich systemy Ałmaz 2 i Ałmaz 3 zainstalowane na CSD WOPK i SD KOPK, system Wektor przeznaczony do automatyzacji PłSD BRPlot, plm i brt WOPK.

2.1. Obiekty automatyzacji wojsk OPL.

W latach osiemdziesiątych w wojskach OPL podjęte zostały kompleksowe działania mające na celu ujednolicenie systemu rozpoznania, dowodzenia i wymiany informacji między kolejnymi szczeblami dowodzenia, poczynając od punktu dowodzenia szefa OPL pz/pcz, a na SD OPL F kończąc. Wprowadzenie jednolitego, spójnego systemu rozpoznania i dowodzenia usprawni przepływ informacji między poszczególnymi szczeblami dowodzenia. Przyjęcie jednolitej formy przekazywanych meldunków i komend, znacznie skróci czas odbioru i opracowywania informacji. Przy aktualnych realiach i możliwościach czasowych ŚNP, ma to kapitalne znaczenie.
Podejmując automatyzację procesu dowodzenia OPL należy wziąć pod uwagę fakt, że na szczeblu armii/frontu w pierwszej kolejności należy zautomatyzować: zbieranie, kojarzenie, uogólnianie i przekazywanie informacji o sytuacji powietrznej.
Na szczeblu ogólnowojskowego związku taktycznego priorytet powinny otrzymać : opracowanie informacji o nowo wykrytych przez SRL obiektach powietrznych, tzn określenie ich położenia, kursu, prędkości i przynależności, oraz rozdział i wskazywanie celów do zwalczania środkom ogniowym.

Decydująca rola w kierowaniu zwalczaniem nieprzyjaciela powietrznego przypada stanowisku dowodzenia OPL frontu. W głównej mierze polega ona na przewidywaniu zamiaru działania przeciwnika i określeniu stopnia zagrożenia wojsk operacyjnych. SD OPLF wypracowuje decyzje dotyczące podziału wysiłku wojsk OPL i lotnictwa myśliwskiego podczas odpierania nalotu, oraz określa sposób i kolejność zwalczania ŚNP. Koordynuje odtwarzaniem gotowości bojowej WOPL, oraz ustala zasady współdziałania w zakresie zwalczania ŚNP przez naziemne środki ogniowe i lotnictwo myśliwskie.
Rola SD OPL armii polega na koordynowaniu, zgodnie z decyzją SD OPLF, zwalczania przeciwnika powietrznego przez oddziały rakiet i artylerii przeciwlotniczej, oraz lotnictwo myśliwskie w ramach przydzielonego limitu. Pełni również rolę koordynatora procesu rozpoznania i prowadzenia ognia przez siły i środki OPL ogólnowojskowych ZT.
W kierowaniu zwalczaniem celów powietrznych niskolecących

istotną rolę odgrywają punkty dowodzenia związków taktycznych. PDOPL ZT jest dla sił i środków OPL źródłem informacji o trasach i czasie przelotu własnego lotnictwa, ogniwem decyzyjnym w zakresie przydziału celów wg sektorów i wysokości, oraz koordynatorem prowadzenia ognia przez pododdziały OPL.

Ponieważ duża część środków ogniowych do zwalczania obiektów niskolecących jakimi dysponuje armia, znajdują się w ogólnowojskowych ZT, zatem rola PDOPL ZT, zwłaszcza pierwszorzutowych, jest bardzo istotna. Automatyzacja procesu zbierania i przetwarzania informacji powietrznej podjęta została na wszystkich szczeblach dowodzenia OPL, w celu skrócenia czasu reakcji systemu obrony, zwiększenia przepustowości informacyjnej, a przez to zapewnienia właściwego stopnia centralizacji dowodzenia siłami i środkami OPL, oraz poprawienia współdziałania z lotnictwem myśliwskim.

Automatyzacja kierowania OPL obejmuje trzy poziomy organizacyjne:

- poziom ogólnowojskowych ZT,
- poziom armii,
- poziom frontu.

W związkach taktycznych automatyzacja procesu kierowania realizowana jest w oparciu o specjalistyczne wozy dowodzenia typu PASUW, a mianowicie MP-22 pracujący dla szefa OPL ZT, oraz MP-25 przeznaczony do współpracy ze stacjami radiolokacyjnymi wstępnego poszukiwania. Oprócz wymienionych wozów, na wyposażenie SD pułku artylerii p-lot przewidywane jest wprowadzenie obiektu DP-10R, oraz obiektu ZWD-10 dla szefa OPL pz/pcz i d-cy dplot pułkowych środków OPL.

Na poziomie armii automatyzacja realizowana jest w oparciu o obiekty :DP-10 dla krt typu lekkiego, DP-20 dla CRI armii i krt typu ciężkiego. Na poziomie frontu funkcjonować mają obiekty DP-20 i DP-40 jako wyposażenie CD. Na wyposażenie SD brygady KRUG, prplot KUB i prplot OSA przewidywane są obiekty DP-10R. Wszystkie wymienione wyżej obiekty typu DP i wozy MP współpracują razem w ramach jednolitego zautomatyzowanego systemu OPL w zakresie powiadamiania, meldowania i realizacji poleceń. Integralnym składnikiem opisywanego systemu jest nowoczesna stacja radiolokacyjna typu NUR-21 wyposażona w mikroprocesorowy zestaw przelicznikowy realizujący automatyczne

śledzenie tras obiektów powietrznych i transmitujący informację wyjściową w postaci zunifikowanych depesz cyfrowych [23].
Wprowadzenie kompleksowego zautomatyzowanego systemu dowodzenia umożliwi:

a) w zakresie dowodzenia operacyjno-taktycznego:
   - szybki przepływ aktualizowanych na bieżąco meldunków o położeniu, stanie i gotowości bojowej podległych pododdziałów i oddziałów wojsk OPL, oraz automatyzację tworzenia meldunków zbiorczych,
   - przepływ rozkazów, meldunków, komend i sygnałów dowodzenia w czasie rzeczywistym,
   - kodowanie i dekodowanie przekazywanych między elementami systemu informacji, a tym samym ich ochronę,
   - dokumentowanie w czasie rzeczywistm wybranych informacji przekazywanych w trakcie działań bojowych w kanałach łączności.

b) w zakresie dowodzenia ogniowego:
   - zwiększenie przepustowości systemu dzięki podwyższeniu szybkości transmisji,
   - skrócenie czasu podejmowania decyzji o zwalczaniu celów powietrznych,
   - skrócenie czasu przepływu informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej,
   - stworzenie warunków współpracy w zakresie zwalczania celów między wojskami OPL i LM,
   - zwiększenie bezpieczeństwa przelotów lotnictwa własnego poprzez wyświetlenie tras i kanałów przelotu,

c) w zakresie struktur i przedsięwzięć organizacyjnych:
   - ujednolicenie zestawu urządzeń technicznych, co pozwoli zwiększyć niezawodność działania,
   - szkolenie załóg bojowych wg jednego programu, obejmującego wszystkie szczeble dowodzenia,
   - przyjęcie jednorodnej metody oceny działania załóg w czasie testów i pracy bojowej,
   - uniwersalizację zestawu diagnostyczno-naprawczego, obniżając tym samym koszty eksploatacji systemu i zwiększając jego niezawodność działania.

2.2. Charakterystyki obiektów systemu Dunajec-P.

Na wzór eksploatowanego w wojskach OPK systemu Dunajec-S, w wojskach OPL wprowadzony jest kompleksowy system rozpoznania i dowodzenia czsu rzeczywistego pod kryptonimem Dunajec-P. Przy projektowaniu i realizacji tego systemu wykorzystano szereg doświadczeń uzyskanych przy budowie i eksploatacji systemu Dunajec-S. Jedną z różnic między systemami jest stacjonarność systemu WOPK, natomiast Dunajec-P uwzględnia możliwość przegrupowania wojsk tzn jest mobilny. Fakt ten wymusza przyjęcie innych niż w systemie Dunajec-S metod i algorytmów opracowywania niektórych informacji użytkowych, np współrzędnych położenia obiektów w siatce OP-61. Zautomatyzowany system Dunajec-P tworzony jest przez zespół obiektów współpracujących ze sobą. Obiektem można nazwać kabinę (typu kontener), wyposażoną w określone urządzenia techniczne (EMC, wskaźniki, urządzenia transmisji), przeznaczoną do realizacji określonych funkcji. Cały proces obróbki informacji radiolokacyjnej został z konieczności podzielony na etapy i każdy taki etap jest realizowany w innym obiekcie systemu. Poszczególne obiekty współpracują ze sobą w zakresie powiadamiania, przesyłania komend i meldunków z odpowiednio opracowaną informacją radiolokacyjną. Jak już wspomniano wcześniej, podstawowymi elementami systemu Dunajec-P są obiekty ZWD-10, DP-10, DP-10R, DP-20, DP-40. Każdy z tych obiektów jest przeznaczony do zainstalowania na innym szczeblu dowodzenia.

Obiekt typu ZWD-10 przeznaczony dla szefa OPL pz/pcz zapewnia automatyzację kierowania ogniem obrony przeciwlotniczej pz/pcz. Automatyzacji podlegają następujące procesy:

- zbieranie i uaktualnianie informacji o sytuacji powietrznej dostarczanej z kilku źródeł,
- uogólnianie danych o obiektach powietrznych,
- przyjmowanie od podległych środków ogniowych meldunków o gotowości do prowadzenia ognia oraz stanie realizacji zadań,
- rozdział celów między podległe środki ogniowe,
- odbiór i analizę rozkazów i informacji dostarczanych ze szczebla nadrzędnego,
- przekazywanie rozkazów, komend, meldunków do podległych pododdziałów oraz do szczebla nadrzędnego,

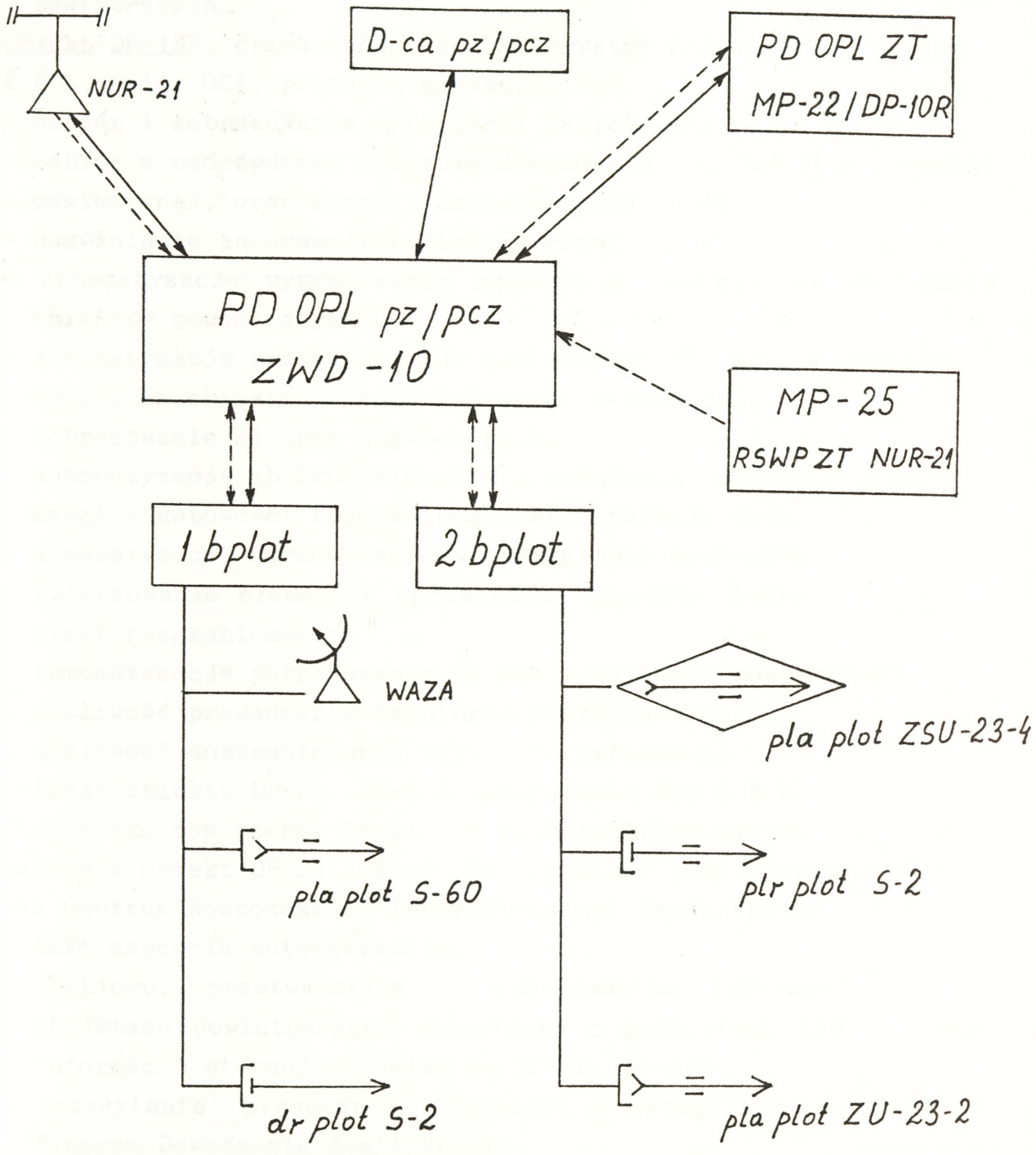
- zobrazowywanie sytuacji powietrznej na urządzeniach (monitorach) zobrazowania.

Obiekt ZWD-10 może otrzymać informację z trzech źródeł: z PDOPL ZT wyposażonego w DP-10R lub MP-22, ze stacji radiolokacyjnej NUR-21, z obiektu MP-25 lub RSWP ZT typu NUR-21.

W obiekcie tym opracowywana jest informacja o 32 trasach uogólnionych. Przez ZPK (zespoły przekazywania komend) przekazywane są decyzje dotyczące zwalczania obiektów powietrznych do podległych środków ogniowych. Łączność z obiektem ZWD-10 realizowana jest w kanałach fonicznych i telekodowych. Organizacja dowodzenia OPL pz/pcz z wykorzystaniem ZWD-10 przedstawiono na rys 2.1.

Obiekt DP-10 przeznaczony na wyposażenie kompanii radiotechnicznej, powinien zapewnić:

- automatyczny odbiór informacji radiolokacyjnej z dwóch zewnętrznych źródeł rozpoznania, oraz utożsamienie tych informacji z informacją z własnych SRL,
- automatyzację pomiaru współrzędnych celów i śledzenia ich torów lotu,
- automatyzację śledzenia tras uogólnionych,
- automatyzację pomiaru wysokości lotu śledzonych celów,
- automatyzację przesyłania do nadrzędnego punktu przetwarzania informacji radiolokacyjnej, uogólnionych danych o 32 śledzonych celach, z cyklem aktualizacji po każdej zmianie parametrów trasy,
- zobrazowanie informacji uogólnionych na ekranach urządzeń zobrazowania,
- automatyczne wspomaganie w zakresie kierowania działaniami pododdziału radiotechnicznego,
- współpracę z dwoma odległościomierzami (P-40, JAWOR M2, NUR-21, P-18), oraz dwoma wysokościomierzami radiolokacyjnymi (PRW-9, PRW-16, NIDA, NUR-41),
- współpracę z dwoma radionamiernikami typu ARP, nadrzędnym szczeblem dowodzenia, wyposażonym w obiekt DP-20 na odległość 150 km poprzez radiostację zewnętrzną sterowaną radiolinią, dwoma ZIW w zakresie odbioru informacji radiolokacyjnej, którymi mogą być NUR-21, DP-10R, MP-25.



Rys. 2.1. Organizacja dowodzenia OPL pz/pcz (wariant) w oparciu o obiekt ZWD-10.

Współpraca ze szczeblem nadrzędnym polega na:
- przesyłaniu meldunków o śledzonych obiektach powietrznych,
- przesyłaniu i odbiorze sformalizowanych meldunków,
- odbiorze i zobrazowaniu sformalizowanych rozkazów,

- odbiorze i zobrazowaniu danych o maksymalnie 63 obiektach powietrznych.

Obiekt DP-10R, przeznaczony dla SD brygady rakiet KRUG, prplot KUB i prplot OSA, powinien zapewnić:

- odbiór i zobrazowanie informacji radiolokacyjnej z 2 ZIW,
- odbiór z nadrzędnego szczebla dowodzenia informacji o sytuacji powietrznej, oraz decyzji do zwalczania celów,
- uogólnianie informacji radiolokacyjnej,
- automatyzację wypracowania propozycji decyzji do zwalczania obiektów powietrznych,
- automatyzację przesyłania do nadrzędnego CRI danych dotyczących tras obiektów śledzonych przez własne SRL,
- zobrazowanie 24 tras uogólnionych,
- automatyzację zbioru meldunków o położeniu, stanie działalności i gotowości bojowej podległych pododdziałów,
- automatyzację formułowania i przesyłania meldunków,
- zobrazowanie elementów ugrupowania bojowego dywizji /pułku/ i linii rozgraniczenia,
- automatyzację zobrazowania danych o sytuacji powietrznej,
- możliwość prowadzenia treningów kompleksowych,
- możliwość dokumentowania wybranych informacji.

Schemat obiektu DP-10, DP-10R przedstawia Rys.2.1.2.

Stanowisko dowodzenia batalionu radiotechnicznego ma być wyposażone w obiekt DP-20. Obiekt ten stanowić będzie wyposażenie Centrum Rozpoznawczo-Informatycznego Armii/Frontu.

Obiekt zapewnia automatyzację:

- odbioru, przetwarzania i zobrazowania informacji o 196 obiektach powietrznych, przysłanej z podległych ZIW (źródeł informacji wtórnej) jakimi są DP-10, DP-10R,
- przesyłanie opracowanej informacji o sytuacji powietrznej do Centrum Dowodzenia Armii/Frontu,
- wydawanie uogólnionej informacji radiolokacyjnej w kanałach powiadamiania,
- przesyłania rozkazów i informacji powiadamiania maksymalnie o 63 obiektach powietrznych,
- powiadamiania podległych ZIW o aktualnej sytuacji powietrznej,
- odbiór i zobrazowanie informacji przesyłanej z CRI Frontu oraz sąsiednich CRI Armii,
- współpracy w zakresie wydawania i przyjmowania informacji o

sytuacji powietrznej z Korpusem OPK,
- odbioru i zobrazowania rozkazów z CD,
- przekazywanie sformalizowanych meldunków do CD,
- odbioru, przetwarzania i zobrazowania meldunków otrzymywanych z podległych ZIW,
- rejestrację i odtwarzanie strumienia informacji wchodzącej i wychodzącej z obiektu,
- półautomatyczne śledzenie nie mniej niż 10 nośników zakłóceń (pelengowanie).

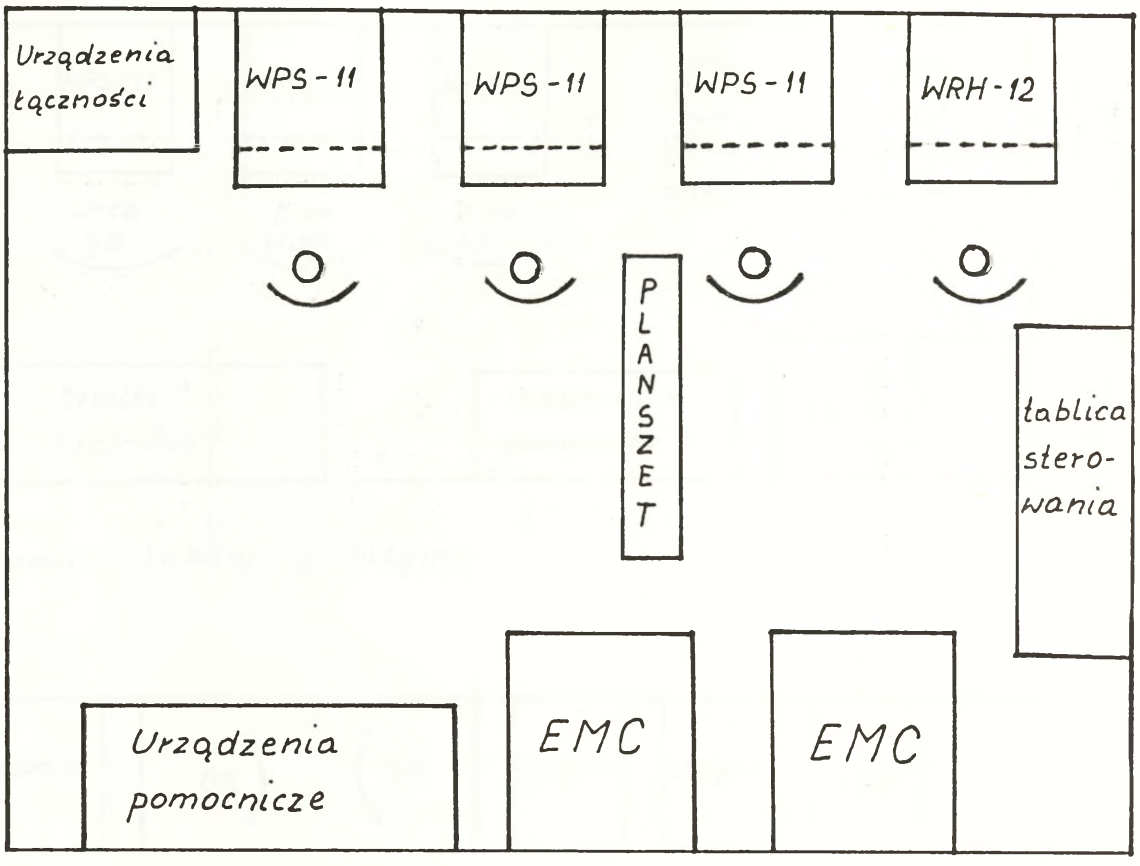
Pierwsza wersja konstrukcyjna przewidywała umieszczenie obiektu DP-20 w jednej kabinie typu kontener.

Kolejnym obiektem w systemie Dunajec jest obiekt DP-40, przeznaczony do automatyzacji dowodzenia obroną przeciwlotniczą na szczeblu Centrum Dowodzenia Armii/Frontu.

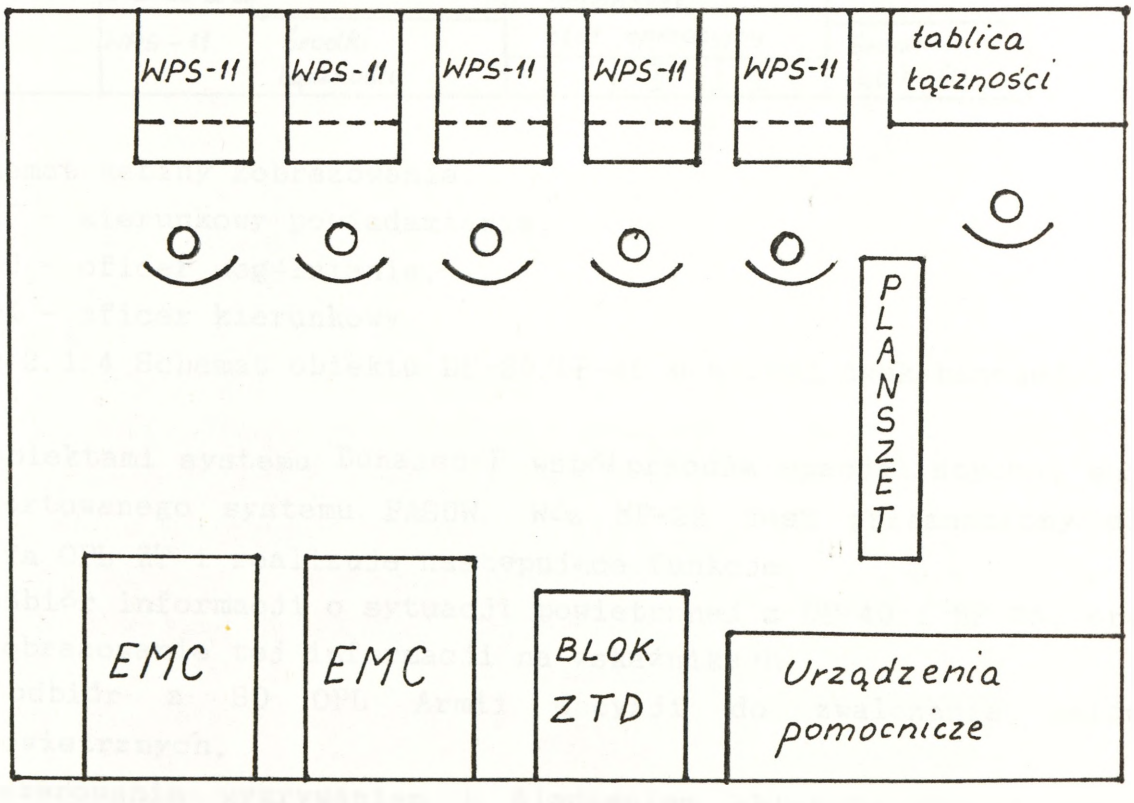
Obiekt ten powinien zapewnić automatyzację:
- odbioru i zobrazowania uogólnionej informacji o sytuacji powietrznej w określonej przestrzeni,
- wymiany informacji ze szczeblem równorzędnym i nadrzędnym (dotyczy CD Armii),
- wymianę informacji z zautomatyzowanym podsystemem dowodzenia Armią lotniczą w zakresie współdziałania,
- zbioru meldunków o stanie i działalności wojsk OPL,
- przekazywanie sformalizowanych komend (rozkazów) i sygnałów dowodzenia,
- kompleksowe opracowanie danych dla d-ców wojsk OPL do podjęcia decyzji,
- rejestrację i odtwarzanie strumieni meldunków wchodzących i wychodzących z obiektów.

Struktura obiektów DP-20 i DP-40 jest podobna, różnice polegają tylko na zakresie realizowanych zadań i funkcji. Kolejna wersja konstrukcyjna zakłada że obiekt DP-20 łącznie z DP-40 składać się będzie z 2 kabin (kontenerów), przy czym jeden to kabina operacyjna, a drugi kabina zobrazowania.

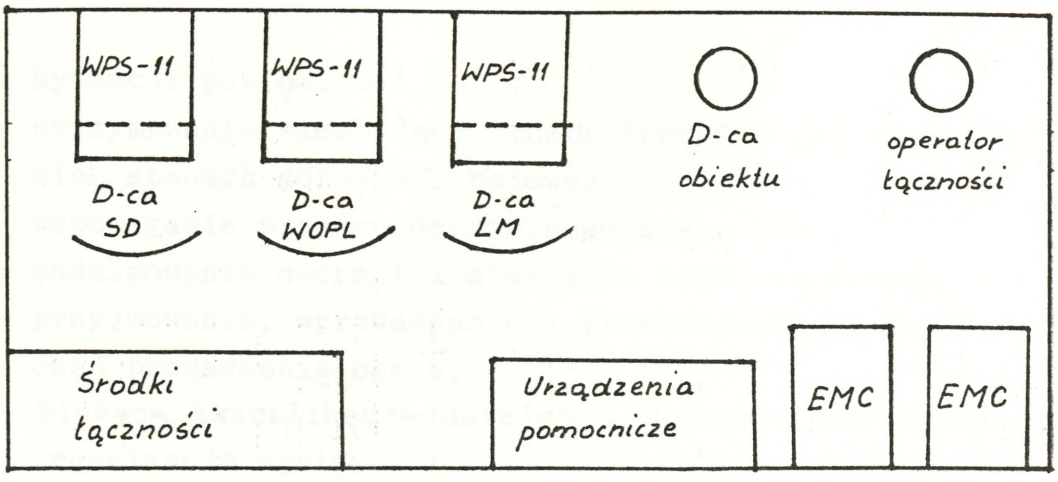
Schemat obiektu DP-20, DP-40 w wersji jedno kabinowej przedstawia Rys.2.1.3.



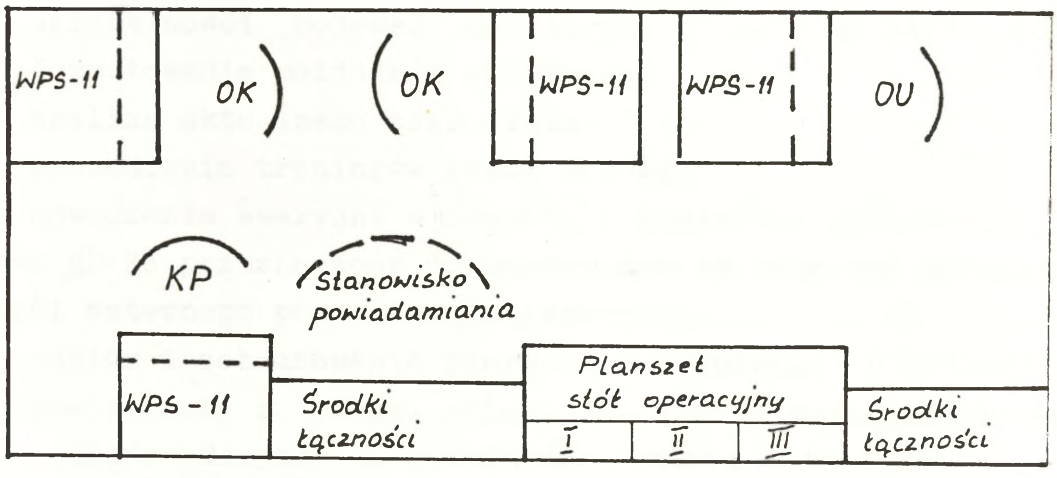
Rys. 2.1.2. Schemat obiektu DP-10/DP-10R.



Rys. 2.1.3. Schemat obiektu DP-20/40 w wersji jednokabinowej.



Schemat kabiny operacyjnej.



Schemat kabiny zobrazowania.

KP - kierunkowy powiadamiania,

OU - oficer uogólniania,

OK - oficer kierunkowy.

Rys.2.1.4 Schemat obiektu DP-20/DP-40 w wersji dwukabinowej.

Z obiektami systemu Dunajec-P współpracują specjalistyczne wozy importowanego systemu PASUW. Wóz MP-22 jest przeznaczony dla szefa OPL ZT i realizuje następujące funkcje:

- odbiór informacji o sytuacji powietrznej z DP-40 i MP-25, oraz zobrazowanie tej informacji na wskaźnikach,
- odbiór z SD OPL Armii decyzji do zwalczania celów powietrznych,
- kierowanie wykrywaniem i śledzeniem obiektów powietrznych,

oraz informowanie podległego oddziału i pododdziałów OPL o

sytuacji powietrznej,
- utrzymywanie niezbędnej liczby środków ogniowych w odpowiednich stanach gotowości bojowej,
- wspomaganie procesu decyzyjnego szefa OPL,
- podejmowanie decyzji i stawianie zadań ogniowych,
- przyjmowanie, wprowadzanie i przekazywanie zakazów i ograniczeń prowadzenia ognia,
- bieżąca aktualizację ustaleń i zakresu współdziałania, oraz organizację ognia,
- przyjmowanie od przełożonego lub przekazywanie do podwładnych: rozkazów, komend i sygnałów dowodzenia w procesie podejmowania decyzji,
- odbiór meldumków o położeniu, stanie i gotowości bojowej, działalności bojowej oddziałów i pododdziałów WOPL, oraz formułowanie meldunków zbiorczych,
- analiza aktualnego zagrożenia,
- prowadzenie treningów pracy bojowej,
- dowodzenie awaryjne w oparciu o posiadane informacje.

Wóz MP-25 przeznaczony do współpracy ze stacjami radiolokacyjnymi wstępnego poszukiwania zapewnia:
- odbiór i zobrazowanie pierwotnej informacji o sytuacji powietrznej z jednego odległościomierza radiolokacyjnego,
- odbiór danych dotyczących pomiaru wysokości z jednego wysokościomierza,
- odbiór i zobrazowanie informacji o sytuacji powietrznej z jednego dowolnie wybranego ZIW,
- śledzenie automatyczne 30 wybranych tras obiektów powietrznych,
- automatyczne i ręczne numerowanie tras,
- śledzenie półautomatyczne z ekstrapolacją trasy,
- śledzenie tras odbieranych ze źródeł zewnętrznych,
- śledzenie ręczne 10 tras,
- przyjmowanie i wydawanie komend cyfrowych,
- prowadzenie treningu.

2.3 Zautomatyzowane systemy WOPK.

W wojskach OPK na SDKOPK i SDBRt dyslokowany jest importowany zautomatyzowany system AŁMAZ-3 [49]. Obiekt ten przekazuje do systemu AŁMAZ-2, umieszczonego na CSD Dowódcy Wojsk OPK, informację o sytuacji powietrznej oraz meldunki o możliwościach gotowości, działaniach i rezultatach działań bojowych podległych wojsk. Szybkość transmitowania danych jest bardzo mała i wynosi 45, 50 lub 75 bodów.
Obiekt AŁMAZ-3 przekazuje informację o 15 obiektach, oraz odbiera z CSD WOPK dane powiadamiania przy pomocy ośmiu rodzajów kodogramów informacyjnych. W celu wykorzystania tego obiektu do przekazywania danych na SD WOPK, konieczna jest modernizacja innych systemów /CYBER-W/ będących również na wyposażeniu SD KOPK. Modernizacja ta ma na celu umożliwienie sprzęgnięcia różnych systemów dyslokowanych na SD KOPK.
Stanowisko dowodzenia dywizji lotnictwa myśliwskiego WOPK jest wyposażone w obiekt WP-04M systemu WOZDUCH-1M. Obiekt ten zapewnia [49]:

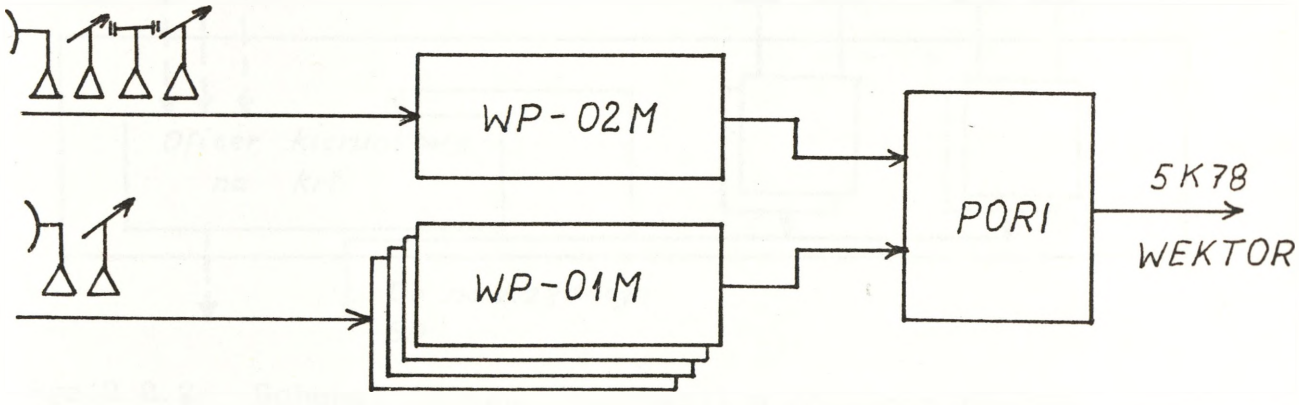
- odbiór i przetwarzanie informacji o sytuacji powietrznej dostarczonej z obiektów: WP-02M (krt), WP-01M (krt małych wysokości), oraz WP-15M (pelengacja źródeł zakłóceń radioelektronicznych).
- uogólnienie zebranej informacji i przesłanie jej do nadrzędnego SD,
- odbioru informacji powiadamiania, oraz zadań bojowych w zakresie użycia LM,
- przekazywanie do nadrzędnego SD meldunków o stanie, gotowości i działaniach bojowych podległych jednostek,
- dokonanie koniecznych obliczeń nawigatorskich i określenie zadań podległym punktom naprowadzania.

Obiekt WP-04M jest w stanie opracować i zobrazować informację o 60 obiektach powietrznych, a przekazywanie informacji realizowane jest cyklami systemu WOZDUCH-1M z szybkością 60 bodów.
Zautomatyzowany punkt naprowadzania jest dyslokowany na SD brt i jest wyposażony w obiekt WP-11. Zadaniem tego obiektu jest rozwiązywanie zadań naprowadzania samolotów myśliwskich na cele powietrzne, oraz przekazywanie komend kierowania dla

pilota samolotu. Obiekt WP-11 może naprowadzać dwie grupy myśliwców na dwa cele powietrzne jedną z trzech metod: manewr, przechwyt, pogoń. Obiekt ten może współpracować bezpośrednio z obiektami WP-02M lub RPT-21 systemu DUNAJEC-S.

Podsystem rozpoznania w systemie WEKTOR.

System WEKTOR jest przeznaczony do automatyzacji kierowania działaniami bojowymi na połączonym stanowisku dowodzenia BRPlot (brygady rakiet przeciwlotniczych), plm (pułku lotnictwa myśliwskiego) i brt WOPK (batalionu radiotechnicznego). Obiekt 5K78 przeznaczony do kierowania walką BRPlot i plm również określany jest nazwą WEKTOR. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego systemu WEKTOR jest tworzony przez batalion radiotechniczny wyposażony w obiekty PORI i WP-02M. Kompania radiotechniczna przekazuje dane o obiektach powietrznych wykrywanych przez 2 podległe SRL. Stanowisko dowodzenia batalionu /SD brt/ funkcjonuje w oparciu o obiekt P ORI. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego w systemie WEKTOR został przedstawiony na schemacie (rys.2.2.1)

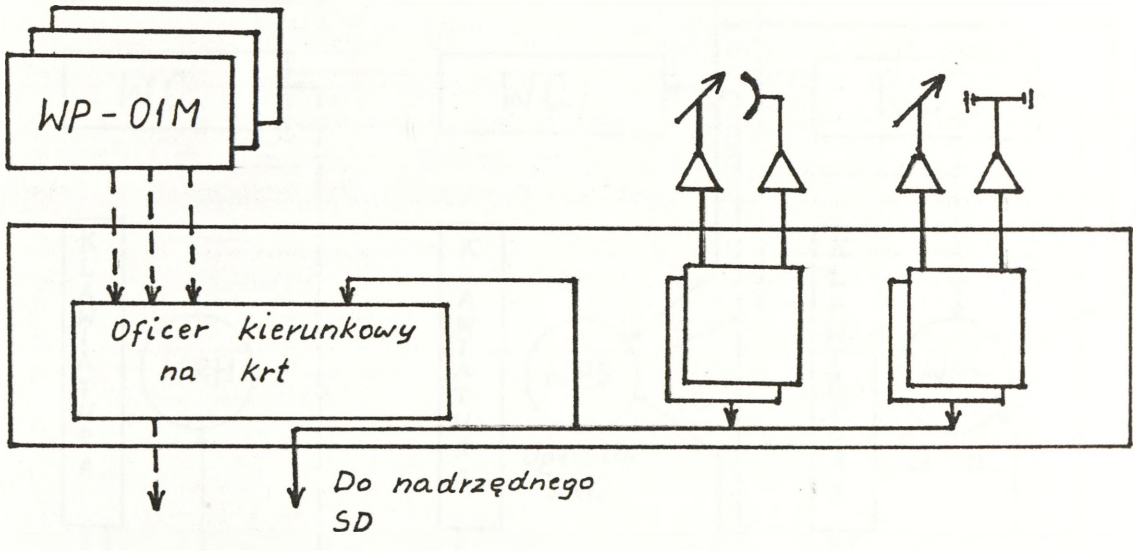


Rys.2.2.1. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego w systemie WEKTOR

Obiekt WP-01M przeznaczony jest do automatyzacji śledzenia celów i przekazywania danych o celach w kompanii radiotechnicznej. Współpracuje z dwoma stacjami radiolokacyjnymi i wysokościomierzem, przy czym stacje mogą pracować naprzemiennie. Wyposażony jest m.in. w specjalizowaną, elektroniczną maszynę cyfrową, oraz wskaźniki STRZAŁA-W1. Wskaźnik STRZAŁA-W1 z klawiaturą do sterowania stanowi wyposażenie 3 zautomatyzowanych miejsc pracy: dowódcy, operatora SRL i operatora wysokościomierza.

Obiekt WP-01M daje możliwość śledzenia po 5-6 obiektów

powietrznych na jednym wskaźniku.
Obiekt WP-02M jest sprzężony z trzema SRL i dwoma wysokościomierzami, przy czym jedna SRL jest w rezerwie. Obiekt umożliwia półautomatyczne śledzenie obiektów powietrznych, oraz opracowywanie o nich informacji radiolokacyjnej. Dane i opracowane wyniniki przekazywane są w kanałach telekodowych w postaci standardowych depesz. Informacje takie są przekazywane i wykorzystywane w nadrzędnych i współdziałających SD OPK.
W obiekcie WP-02M jest realizowane uogólnienie informacji radiolokacyjnej przekazywanej z podległych SRL. Obiekt WP-02M umożliwia przekazywanie danych o 10-12 celach śledzonych przez krt. Dane są przekazywane cyklicznie co 10 sek. Schemat funkcjonowania obiektu WP-02M przedstawiono na rys.2.2.2.

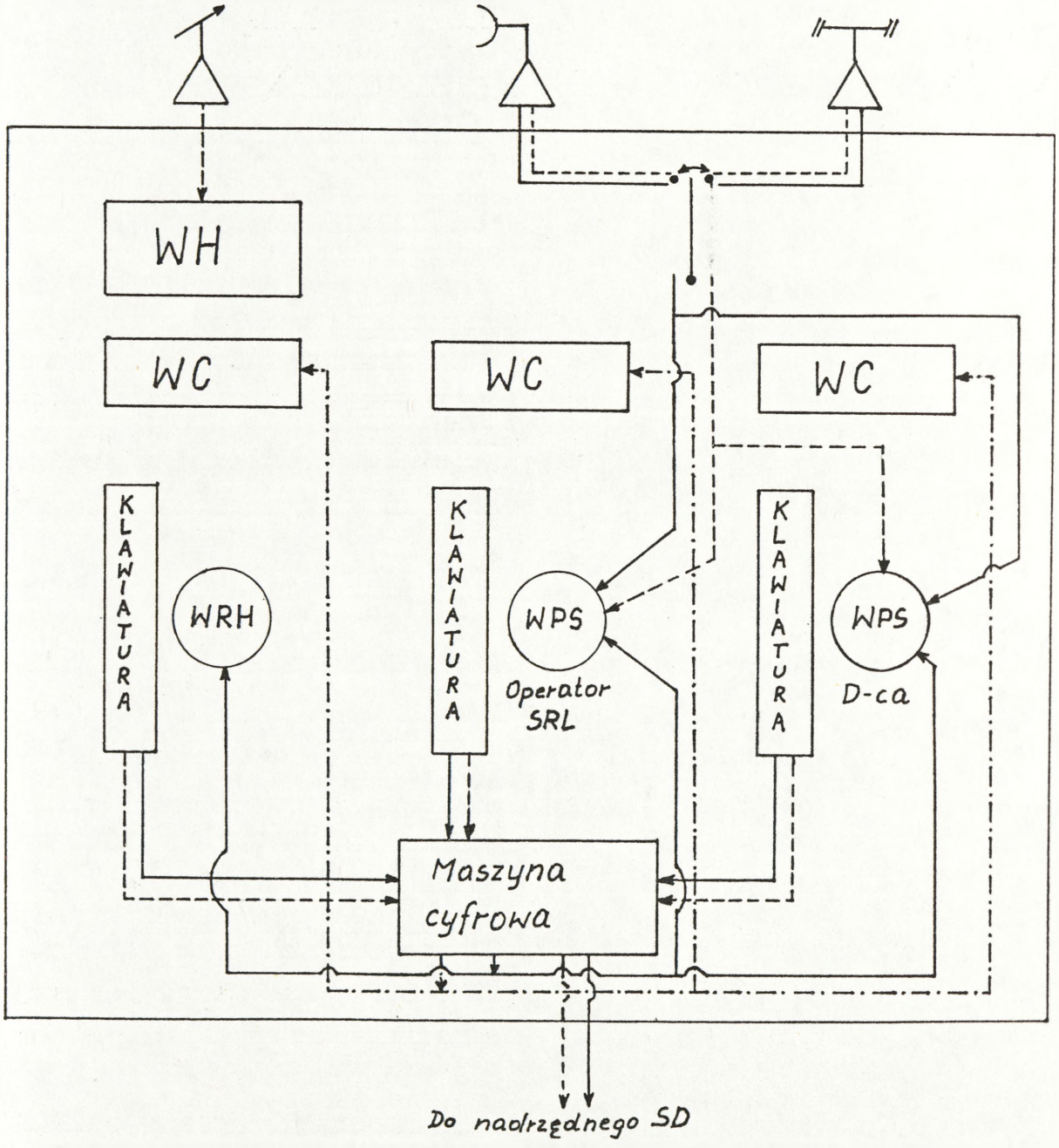


Rys.2.2.2. Schemat obiegu informacji w obiekcie WP-02M.

Schemat funkcjonowania obiektu WP-01M przedstawiony został na rys.2.2.3.
W obiekcie PORI realizowane są automatycznie następujące funkcje:
- przyjmowanie i wydawanie meldunków, komend przekazywanych w kanałach telekodowych,
- transformacja współrzędnych do układu przyjętego w PORI,
- identyfikacja i inicjacja tras lotu obiektów powietrznych,
- utożsamianie i uogólnianie informacji radiolokacyjnej,
- opracowanie meldunków i wysłanie ich w kanałach telekodowych do obiektu typu WEKTOR.

W sposób półautomatyczny, tzn z udziałem operatora realizuje się operacje:

- inicjowanie nowych tras /jeżeli wprowadzono zakaz inicjowania automatycznego/,
- określenie współrzędnych obiektów nosicieli zakłóceń,
- przekazywanie rozkazów.



Rys.2.2.3 Schemat obiegu informacji i wyposażenia obiektu WP-01M.

Oznaczono:
WH - wskaźnik pomiaru wysokości, WC - wskaźnik cyfrowy,
--.--.-- informacje o składzie, przynależności i wysokości,
-------- informacje o położeniu celu,
-- -- -- informacje o przynależności,
- - - - informacje o wysokości lotu obiektu powietrznego,
Obiekt PORI może opracowywać i zobrazowywać informacje o 40 obiektach powietrznych. Wymiana informacji z obiektami współpracującymi odbywa się przy pomocy cykli informacyjnych systemu WOZDUCH-1M, z szybkością 60 badów [ ].
Najnowszymi importowanymi systemami OP, które są planowane do wprowadzenia w wojskach są SIENIEŻ, RUBIEŻ, OSNOWA, POLE [ ].
System SIENIEŻ stanowi wyposażenie SD BR/DR i jest przeznaczony do kierowania działaniami bojowymi maksymalnie 17 dywizjonów rakietowych mających na uzbrojeniu zestawy S-75M, 125M, S-200, i S-300. System ten posiada również zautomatyzowany punkt naprowadzania samolotów myśliwskich na 4 cele powietrzne. System SIENIEŻ jest ulepszoną wersją systemu WEKTOR-2WE, rozdzielającą do 50 obiektów powietrznych do zwalczania między podległe dywizjony rakietowe. System ten może być zasilany w informację o sytuacji powietrznej przez obiekt PORI.
SD plm może być wyposażone w system RUBIEŻ. System ten jest złożony z 3 obiektów: RUBIEŻ-1, RUBIEŻ-2 stanowiących wyposażenie wyniesionych punktów naprowadzania, oraz RUBIEŻ-3 instalowanych na 3 lotniskach.
System ten umożliwia opracowanie informacji o 76 obiektach powietrznych, oraz automatyzuje 21 procesów naprowadzania na cele powietrzne. Oprócz typowych funkcji zautomatyzowanego systemu dowodzenia (zebranie i przetwarzanie informacji radiolokacyjnej, przyjmowanie i wysyłanie meldunków, komend itp.), system RUBIEŻ opracowuje dane potrzebne do kierowania działaniem lotnictwa myśliwskiego. Jest to przede wszystkim:
- sprowadzanie samolotu na lotnisko po wykonaniu zadania,
- wprowadzanie i wyprowadzanie ze stref dyżurowania,
- kontrola bezpieczeństwa lotu samolotów,
- zmiana wcześniej przyjętych lotnisk lądowania,
- dowodzenie samolotami w powietrzu.
System RUBIEŻ może być zasilany informacyjnie przez PORI, lub inne obiekty systemu WOZDUCH-1M (oprócz WP-01M), oraz przez

dowolny obiekt krajowych systemów typu DUNAJEC, CYBER-W. Pozostałe dwa z wymienionych tzn. system OSNOWA i POLE są typowymi systemami rozpoznania. OSNOWA stanowi wyposażenie SD brt, a system POLE znajduje się na SD krt. Posiadają bardzo dobre charakterystyki z zakresu ilości opracowywanej informacji. OSNOWA przetwarza informacje o 120 obiektach powietrznych, POLE o 60. Obiekty w pełni zabezpieczają potrzeby informacyjne systemu SIENIEŻ i RUBIEŻ. Transmitują informację z prędkością 1200 bodów.

Krajowymi zautomatyzowanymi systemami dowodzenia w wojskach OPK są: Dunajec oraz Cyber-W.

Obiekt RPT-11 systemu Dunajec jest dyslokowany na stanowisku dowodzenia kompanii radiotechnicznej małej wysokości. Obiekt ten opracowuje i przekazuje dane o 31 obiektach powietrznych, depeszami obowiązującymi w systemie WOZDUCH-1M z szybkością 60 bodów. Zadaniem tego obiektu jest:

- zbieranie, zobrazowanie i półautomatyczne śledzenie obiektów powietrznych o których informacje dostarczają SRL podłączone bezpośrednio do obiektu,
- wysyłanie meldunków do i przyjmowanie komend z nadrzędnego SD,

Nadrzędnym dla obiektu RPT-11 jest w systemie Dunajec obiekt RPT-21, który stanowi wyposażenie stanowiska dowodzenia batalionu radiotechnicznego. Obiekt ten opracowuje informacje o 31 celach powietrznych, a przekazywanie danych realizowane jest podobnie jak w obiekcie RPT-11 depeszami systemu WOZDUCH-1M. Przeznaczony jest do:

- zbierania informacji z trzech podległych obiektów RPT-11 i własnej SRL
- pelengacji źródeł zakłóceń radioelektronicznych,
- odbiór i przekazywanie danych z nadrzędnego SD,
- przesyłanie do nadrzędnego SD informacji dotyczących punktów naprowadzania samolotów myśliwskich,
- kierowanie pracą podległych krt,

Na stanowisku dowodzenia korpusu OPK i SD BRt zainstalowany jest system Cyber-W. Opracowuje on informację o 80 obiektach powietrznych. System ten realizuje następujące funkcje [49]:

- odbiera informacje z 11 źródeł, sześciu podległych i pięciu współdziałających,

- powiadamia podległe brt i współdziałające SD,
- określa położenie nosicieli zakłóceń radioelektronicznych stosując metodę pelengacji,
- transmituje informacje decyzyjne do podległych stanowisk dowodzenia,
- przyjmuje i zobrazowuje meldunki o działalności bojowej dostarczane z podległych obiektów automatyzacji.

Transmisja danych jest realizowana przez system Cyber-W przy pomocy cykli informacyjnych obowiązujących w systemie importowanym Wozduch-1M.

Zaletą wymienionych krajowych obiektów automatyzacji jest duża podatność na wprowadzanie zmian, modyfikacji i uzupełnień.

2.4. Zautomatyzowane obiekty systemu rozpoznania i dowodzenia Wojsk Lotniczych "Orzyc".

Koncepcja nowego, w pełni zautomatyzowanego, systemu rozpoznania i dowodzenia Wojsk Lotniczych, przewiduje budowę obiektów, które zostaną zainstalowane na wszystkich szczeblach dowodzenia, od SD elm począwszy na SD DLM/DLMB kończąc. Przyjęta koncepcja przewiduje adaptację obiektów DP-10, DP-20, będących na wyposażeniu WOPL. Obiekty te po odpowiedniej modyfikacji stanowić mają źródła informacji dla systemu "Orzyc". Na wyposażeniu PN plmb, oraz PNWC, znajdować się będzie obiekt DL-25. Obiekt ten powinien współpracować ze SRL różnych typów. Koncepcja przewiduje również budowę Ruchomego Stanowiska Kierowania Lotami /RSKL/, oraz kabiny lotniskowej i wieży portu. Elementami tego systemu dowodzenia DLM i DLMB są [52]:

- obiekt DL-40 - stanowisko dowodzenia dywizji lotnictwa myśliwskiego /SD DLM/, lub myśliwsko-bombowego /SD DLM-B/,
- obiekt DL-20 - centrum zbioru i opracowania informacji radiolokacyjnej SD DLM / SD DLM-B,
- obiekt DL-30 - stanowisko dowodzenia pułku lotnictwa myśliwskiego, lub myśliwsko-bombowego /SD plm, plm-b/,
- obiekt DL-25 - punkt naprowadzania,
- obiekt DL-10 - obiekt automatyzacji posterunku radiolokacyjnego,
- TU-10 - terminal uniwersalny,
- TU-20 - - " - - " - ,

System połączeń informacyjnych między poszczególnymi obiektami został przedstawiony na schemacie struktury funkcjonowania systemu ORZYC.

W skład wyposażenia obiektów systemu wchodzić będą następujące urządzenia:

- mikrokomputer E1010,
- wskaźnik WPS-21 o możliwościach zobrazowania w dwóch kolorach,
- wskaźnik panoramiczno-syntetyczny MGR-10M,
- programowy moduł sterujący PMS-10,
- multiplekser transmisji danych MTD-20/21
- urządzenia zasilające,
- - " - transmisji UTS-21,

- wskaźnik wysokości WRH-20 , umożliwiający wykorzystanie zobrazowania z dwóch jednocześnie pracujących wysokościomierzy,
- moduł sprzężenia z aparaturą transmisji,
- pulpit sterowniczy zestawu przetwarzania PSZ-10.

Tworzenie obiektów omawianego systemu wg tych samych zasad i standardów co obiekty systemu dla WOPL umożliwi, w razie potrzeb, pełną wymianę informacji między określonymi obiektami tych dwóch systemów. Ponadto możliwe będzie wprowadzanie modyfikacji i zmian w oprogramowaniu tych obiektów, oraz zwiększy się ich podatność diagnostyczna.

Charakterystyka obiektów systemu ORZYC.

DL - 10

Obiekt DL-10 powinien zapewnić:

- automatyzację przyjmowania, opracowywania i zobrazowania pierwotnej informacji radiolokacyjnej,
- automatyzację przesyłania informacji o sytuacji powietrznej do nadrzędnych stanowisk dowodzenia,
- automatyzację odbioru i zobrazowywania informacji o sytuacji powietrznej, przekazywanej ze szczebla nadrzędnego,
- automatyzację odbioru i zobrazowania komend (sygnałów) otrzymanych ze szczebla nadrzędnego,
- automatyzację przekazywania meldunków do nadrzędnego szczebla dowodzenia,
- automatyzację odbioru i zobrazowanie informacji o sytuacji powietrznej o otrzymywanej ze współpracujących źródeł informacji wtórnej,
- automatyzację przekazywania syntetycznej informacji o sytuacji powietrznej do współpracujących obiektów (terminali).

Obiekt ten jest opracowywany w oparciu o przyjęte rozwiązania w bliźniaczym obiekcie DP-10 funkcjonującym w wojskach OPL.

DL - 20

Obiekt DL-20 jest elementem bezpośredniego otoczenia stanowiska dowodzenia dywizji lotnictwa myśliwskiego, lub myśliwsko-bombowego. Jego zadaniem jest zabezpieczenie SD w opracowana informację o sytuacji powietrznej. Obiekt ten jest przeznaczony do automatyzacji procesów odbioru, przetwarzania, zobrazowania i przesyłania informacji o sytuacji powietrznej na

szczeblu SD DLM i SD DLM-B. Obiekt ten powinien zapewnić:
- automatyzację odbioru, przetwarzania i zobrazowania informacji o sytuacji powietrznej przekazywanej z posterunków radiotechnicznych podległych pułków, posterunku dywizyjnego, SD KOPK i SD M.Woj,
- automatyzację przesyłania uogólnionej informacji o sytuacji powietrznej do SD DLM /DLM-B/,
- automatyzację powiadamiania posterunków radiotechnicznych podległych pułków CRI Armii i CRI Frontu,
- automatyzację odbioru i zobrazowania rozkazów i zarządzeń przekazywanych z SD.

Obiekt DL-20 powinien zastąpić wycofywany z eksploatacji obiekt WP-03 systemu WOZDUCH. Pierwowzorem tego obiektu jest obiekt DP-20 funkcjonujący w WOPL na CRI A/F.

DL - 25

Obiekt ten jest element podsystemu naprowadzania lotnictwa i pełni funkcję punktu naprowadzania lotnictwa (PN), lub punktu naprowadzania i wskazywania celów (PNWC), współpracujących ze stanowiskami dowodzenia OPL i OPK szczebla taktycznego.
Zadaniem obiektu DL-20 jest:
- automatyzacja przyjmowania, redagowania i przekazywania zadań i meldunków,
- automatyzacja zbioru i zobrazowania danych o sytuacji powietrznej i operacyjno-taktycznej,
- automatyzacja wstępnych obliczeń nawigatorskich,
- automatyzacja procesu naprowadzania.

Obiekt DL-25 zastąpi wycofywane obiekty WP-11 systemu WOZDUCH i powinien zapewnić nową jakość w procesie naprowadzania i dowodzenia bojowego. Obiekt ten powinien zapewnić jednoczesną współpracę z:
- nadrzędnym stanowiskiem dowodzenia wyposażonym odpowiednio w obiekty DL-30 /SD plm, SD plmb/, lub DL-40 /SD DLM/DLMB/, lub PASUW-ZO,
- SD pułku WOPL wyposażonym w obiekt DP-10R,
- zespołem dowodzenia frontu wyposażonym w obiekty PASUW-ZO,
- posterunkiem radiolokacyjnym wyposażonym w obiekt DL-10 /WL/ lub DS-10, DS-20 /WOPK/.
- dwoma odległościomierzami radiolokacyjnymi z wyjściami analogowymi na odległości do 500 m,

- jednym źródłem informacji o sytuacji powietrznej, którym może być odległościomierz NUR-31, NUR-11, obiekty systemu DP-10, DP-20,
- dwoma wysokościomierzmi radiolokacyjnymi,
- dwunastoma naprowadzanymi samolotami własnymi.

Współpraca obiektu DL-25 z nadrzędnymi stanowiskami dowodzenia wyposażonymi w obiekty DL-30, lub DL-40 powinna polegać na:

- odbiorze i zobrazowaniu informacji o 12 celach /grupach powietrznych/ z naniesionymi decyzjami ich zwalczania,
- odbiorze i zobrazowaniu informacji o samolotach /grupach/ własnych, oraz z ich charakterystykami i naniesionymi decyzjami ich bojowego wykorzystania, nad którymi obiekt przyjmuje dowodzenie,
- odbiorze i zobrazowaniu informacji o sytuacji operacyjno-taktycznej i nawigacyjnej,
- odbiorze i zobrazowaniu zadań bojowych i komend dowodzenia,
- odbiorze i zobrazowaniu planu lotów,
- przesyłaniu meldunków o działalności bojowej, oraz rezultatach naprowadzania /działań/,
- przesyłaniu meldunków o przyjęciu i przekazywaniu dowodzenia samolotami, wraz z danymi o samolotach,
- przesyłaniu meldunków o stanie gotowości bojowej PN i ilości wolnych kanałów naprowadzania,
- przesyłaniu informacji o załogach znajdujących się w trudnych warunkach w locie.

Współpraca obiektu DL-25 ze źródłem informacji wyposażonym w obiekt DL-10 /WL/, lub DS-10 /krt. WOPK/, lub DS-20 /brt. WOPK/ polega na :

- odbiorze i zobrazowaniu danych o 30 obiektach powietrznych,
- odbiorze informacji o położeniu stref skażeń promieniotwórczych,
- przesyłaniu informacji o naprowadzanych samolotach własnych,
- przesyłaniu informacji uzupełniających charakterystyki celów powietrznych /na podstawie informacji pilotów/: skład, przynależność, wysokość, typ,
- odbiorze i zobrazowaniu informacji analogowej z jednego z podległych obiektom DL-10, DS-10, DS-20, odległościomierza.

Współpraca obiektu z SD związku taktycznego WOPL wyposażonego w obiekt DP-10R polegać ma na /dotyczy PNWC/:

- odbiorze i zobrazowaniu informacji o 24 obiektach powietrznych,
- odbiorze i zobrazowaniu informacji o przydzielonych do zwalczania celach powietrznych,
- odbiorze i zobrazowaniu informacji o zakazanych strefach działania lotnictwa,
- przesyłaniu informacji o samolotach własnych wraz z ich charakterystykami, działających na wskazane do zwalczania cele,
- przesyłaniu informacji o rezultatach działań na wskazane cele.

Pomiędzy starszym nawigatorem w obiekcie DP-10R, a dowódcą PNWC powinna być zabezpieczona bezpośrednia łączność.

Współpraca obiektu DL-25 z zespołem dowodzenia lotnictwem, wyposażonym w obiekty PASUW-ZO powinna polegać na:

- odbiorze i zobrazowaniu informacji o sytuacji operacyjno-taktycznej,
- odbiorze i zobrazowaniu planu lotów dotyczących PNWC, oraz ustaleń w zakresie współdziałania,
- odbiorze i zobrazowaniu informacji o aktualnie wykonywanych lotach wraz z charakterystykami samolotów i zadaniami z planowanej tabeli lotów,
- przesyłanie informacji o wolnych kanałach naprowadzania,
- przesyłanie meldunków o działalności bojowej i rezultatach działań.

Współpraca obiektu ze źródłami cyfrowej informacji polega na odbiorze, przetworzeniu i zobrazowaniu informacji o 30 trasach obiektów powietrznych, oraz przekazywaniu komend w zakresie śledzenia obiektów powietrznych. Współpraca obiektu DL-25 z dwoma odległościomierzami i wysokościomierzem polega na odbiorze i zobrazowaniu informacji o śledzonych celach.

Współpraca obiektu DL-25 z samolotami własnymi polega na:

- przesyłaniu komend dowodzenia i naprowadzania w systemie zautomatyzowanym lub fonicznym,
- odbiorze fonicznych meldunków pilotów o rezultatach naprowadzeń, obserwowanych zjawiskach meteorologicznych, charakterystykach obserwowanych celów powietrznych.

Relacje przepływu informacji cyfrowej powinny być realizowane za pomocą ustalonych depesz. Wybór SRL (jednej z 2) powinien

być realizowany z pulpitu starszego nawigatora.
Obiekt DL-25 umożliwia automatyczne śledzenie do 60 tras obiektów powietrznych. Obsada obiektu jest następująca:

w kabinie DL-25D
- dowódca PNWC (starszy nawigator),
- trzech nawigatorów,
- operator wysokościomierza,

w kabinie DL-30K2
- inżynier obiektu,
- technik łączności,
- technik dyżurny.

Obiekt powinien umożliwić naprowadzanie samolotów wyposażonych w aparaturę LAZUR oraz LAZURM, oraz współpracę z samolotami wyposażonymi w inne urządzenia przyrządowego naprowadzania. Powinien umożliwiać wykonywanie obliczeń dla następujących parametrów lotu celu i myśliwca:
- V_{max} do 5000 km/godz,
- V_{min} do 120 km/godz,
- prędkość wznoszenia do 400 m/sek,
- V zbliżania do 10 000 km/godz,
- H do 64 km,
- kurs od 0 do 360°,
- odległość ataku do 120 km,
- kąt spotkania od 0 do 180°,
- promień skrętu 0 - 120 km,
- 6 typów samolotów myśliwskich,
- 6 rodzajów uzbrojenia pokładowego,
- 3 wariantów napełniania paliwa,
- 3 metod naprowadzania,
- 3 stref ataku (przedniej, bocznej, tylnej),
- 3 wariantów naboru wysokości,
- 10 stref dyżurowania,

Obiekt powinien mieć 3 rodzaje pracy:
- bojowy,
- dyżurowania,
- treningu.

Wymiana informacji między obiektem DL-25 a elementami ugrupowania bojowego powinna być utajniana.

DL - 30 (SD plm/plmb)

Obiekt ten powinien zapewniać:

- aytomatyzację zbioru, opracowania i zobrazowania danych o sytuacji powietrznej,
- automatyzację przyjmowania, redagowania i przekazywania rozkazów i meldunków,
- automatyzację zbioru i opracowania danych o gotowości i stanie sił i środków,
- archiwację wybranych informacji,
- szkolenie obsług w ramach obiektu i podsystemu dowodzenia dywizją lub pułkiem,
- komputerowe wspomaganie procesów decyzyjnych, polegające na wypracowywaniu wariantów decyzji,
- kierowanie procesem osiągania wyższych stanów gotowości bojowej,
- współdziałanie z sąsiednimi plm,

Obiekt DL-30 składa się z:

- kabiny dowodzenia DL-30D,
- kabiny planowania DL-30P,
- kabiny technicznej DL-30K1.

Opisywany obiekt powinien zapewnić współpracę z:

- nadrzędnym szczeblem dowodzenia wyposażonym w obiekty DL-40 DL-20, lub CYBER-WA,
- stanowiskiem dowodzenia lotnictwa armii, wyposażonym w obiekt PASUW-ZO (tylko dla plmb),
- zapasowym stanowiskiem dowodzenia wyposażonym w obiekt DL-30,
- czterema SD współdziałających plm wyposażonych w obiekt DL-30,
- trzema PN lub PNWC wyposażonymi w obiekty DL-25,
- posterunkiem radiolokacyjnym DL-10, lub batalionem radiotechnicznym wyposażonym w obiekt DS-20 /OPK/,
- trzema SD eskadr lotniczych wyposażonych w terminale TU-20,
- trzema ruchomymi stanowiskami kierowania lotami, wyposażonymi w terminale uniwersalne TU-20,
- SD batalinu radiotechnicznego /WL/ wyposażonego w terminal TU-10,
- stację meteorologiczną wyposażoną w terminal TU-10.

Współpraca z nadrzędnym szczeblem dowodzenia powinna polegać na:

- odbiorze i zobrazowaniu 60 obiektów powietrznych,
- -"- -"- zadań bojowych,
- -"- -"- komend, syg. dowodzenia i ostrzegania
- -"- -"- informacji o sytuacji operacyjno-taktycznej,
- przesyłaniu sformalizowanego zamiaru decyzji dowódcy,
- przesyłaniu meldunków o stanie i działalności bojowej, oraz rezultatach działań,
- odbiorze, przesłaniu i zobrazowaniu inf. dotyczących współdziałania z sąsiednimi plm, lub PŁSD OPK,
- odbiorze, przesłaniu i zobrazowaniu inf. o planowanych lotach i przelotach.

Odbiór informacji powinien być kwitowany.

Zautomatyzowane obiekty WL powinny zapewnić możliwość współpracy z SD KOPK jako ewentualnym nadrzędnym stanowiskiem dowodzenia.

Współpraca obiektu DL-30 z SD lotnictwa armii powinna polegać na odbiorze komend na start samolotów wydzielonych w ramach limitu na wezwanie z pola walki.

Sygnalizowana współpraca obiektu z zapasowym stanowiskiem dowodzenia polegać powinna na:

- przesyłaniu informacji o aktualnej sytuacji operacyjno-taktycznej,
- przesyłaniu komend na przejęcie dowodzenia,
- odbiorze i zobrazowaniu meldunków o rozwinięciu ZSD, oraz gotowości do przejęcia i przejęciu dowodzenia,

Współpraca ze współdziałającymi plm powinna obejmować przejmowanie dowodzenia samolotami działającymi w ramach współdziałania (do 10 samolotów jednocześnie), oraz przekazanie dowodzenia wraz z danymi potrzebnymi do naprowadzania /uzbrojenie, stan paliwa, współrzędne położenia itp/.

Z punktami naprowadzania /PN/ współpraca obiektu DL-30 polegać powinna na:

- przesyłaniu informacji o sytuacji operacyjno-taktycznej i nawigacyjnej do każdego PN,
- przesłaniu zadań bojowych i komend dowodzenia,
- przesłaniu danych o 12 celach powietrznych, oraz o 12 samo-

lotach własnych z naniesionymi decyzjami w zakresie naprowadzania,
- przesłaniu informacji o zasadach współdziałania LM z WRiA, oraz WL z OPL.

Z PNWC /punktami naprowadzania i wskazywania celów/ współpraca obiektu polega na:
- przekazywaniu dowodzenia samolotami wydzielonymi dla PNWC,
- przesyłaniu sformalizowanych danych o samolotach,
- odbiorze zobrazowania inf. o przejęciu dowodzenia nad samolotami przez PNWC.

Współpraca DL-30 z SD elm powinna polegać na:
- przesyłaniu zadań bojowych oraz elementów informacji operacyjno-taktycznej,
- przesyłaniu komend i sygnałów dowodzenia,
- odbiorze meldunków o stanie gotowości bojowej, oraz stanie sił i środków materiałowo-technicznego zabezpieczenia działań eskadry,
- odbiorze meldunków o realizacji nakazanych zadań, oraz o stanie pilotów z podaniem czasu ostatniego lądowania.

Obsada obiektu DL-30:
- kabina DL-30D:
  - dowódca plm,
  - starszy nawigator pułku (z-ca d/s liniowych),
  - starszy nawigator naprowadzania, nawigator kierunku I,
  - nawigator kierunku II, oficer kierunkowy do SD elm,
  - szef sztabu,
- kabina DL-30P:
  - starszy nawigator pułku /plmb/, szef sztabu,
  - oficer operacyjny, st. oficer operacyjny /plmb/,
  - oficer rozpoznania,
  - szef strzelania powietrznego /plm/,
  - pomocnik st. nawigatora d/s oprogramowania lotów,
  - oficer służby inżynieryjno-lotniczej /plmb/, szef łączności i ubezpieczenia lotów /plm OPK/.

Współpraca obiektu DL-30 z nadrzędnym, współpracującymi i podległymi elementami ugrupowania bojowego powinna odbywać się za pomocą zbioru sformalizowanych depesz.

Postać zobrazowania informacji na wskaźnikach i monitorach (język graficzny) powinna być jednolita dla wszystkich

zastosowań obiektu.
Obiekt powinien zapewnić szkolenie osób funkcyjnych.
Powinna być zachowana jednoznaczność odwzorowania położenia obiektów w układzie współrzędnych prostokątnych bazowego układu odniesienia i odwzorowaniu Gaussa-Krügera.

DL - 40

Obiekt DL-40 jest przeznaczony do zainstalowania na SD DLM/DLMB. Powinien zapewnić d-cy efektywne kierowanie siłami i środkami podległych oddziałów. Obiekt ten powinien zapewnić realizację następujących funkcji:
- automatyzację przygotowania danych do oceny sytuacji bojowej i wariantowe wypracowanie decyzji d-cy,
- automatyzację planowania i organizowania działań bojowych,
- automatyzację przyjmowania, redagowania i przekazywania rozkazów i meldunków,
- zautomatyzację kierowania lotami i naprowadzania samolotów na cele powietrzne, naziemne i nawodne,
- zbiór, opracowanie i rozpowszechnienie informacji o sytuacji powietrznej,
- szkolenie obsług w ramach obiektu i dywizji jako całości.

Obiekt DL-40 powinien zapewnić jednoczesną współpracę z:
- SD WLF wyposażonym w PASUW-ZO,
- SD WL na szczeblu armii, wyposażonym w PASUW ZO,
- ZSD wyposażonym w DL-40,
- trzema SD plm wyposażonych w DL-30,
- SD KOPK - CYBER-WA,
- SD flotylli okrętów, wyposażonym w obiekt ŁE-30,
- centrum zbioru i opracowania informacji radiolokacyjnej wyposażonym w obiekt DL-20,
- PN wyposażonym w obiekt DL-25,
- SD bł i ubezpieczenia lotów, wyposażonym w terminal TU-10,
- SD elm,
- polowym warsztatem lotniczym,
- posterunkiem radiolokacyjnym wyposażonym w DL-10.

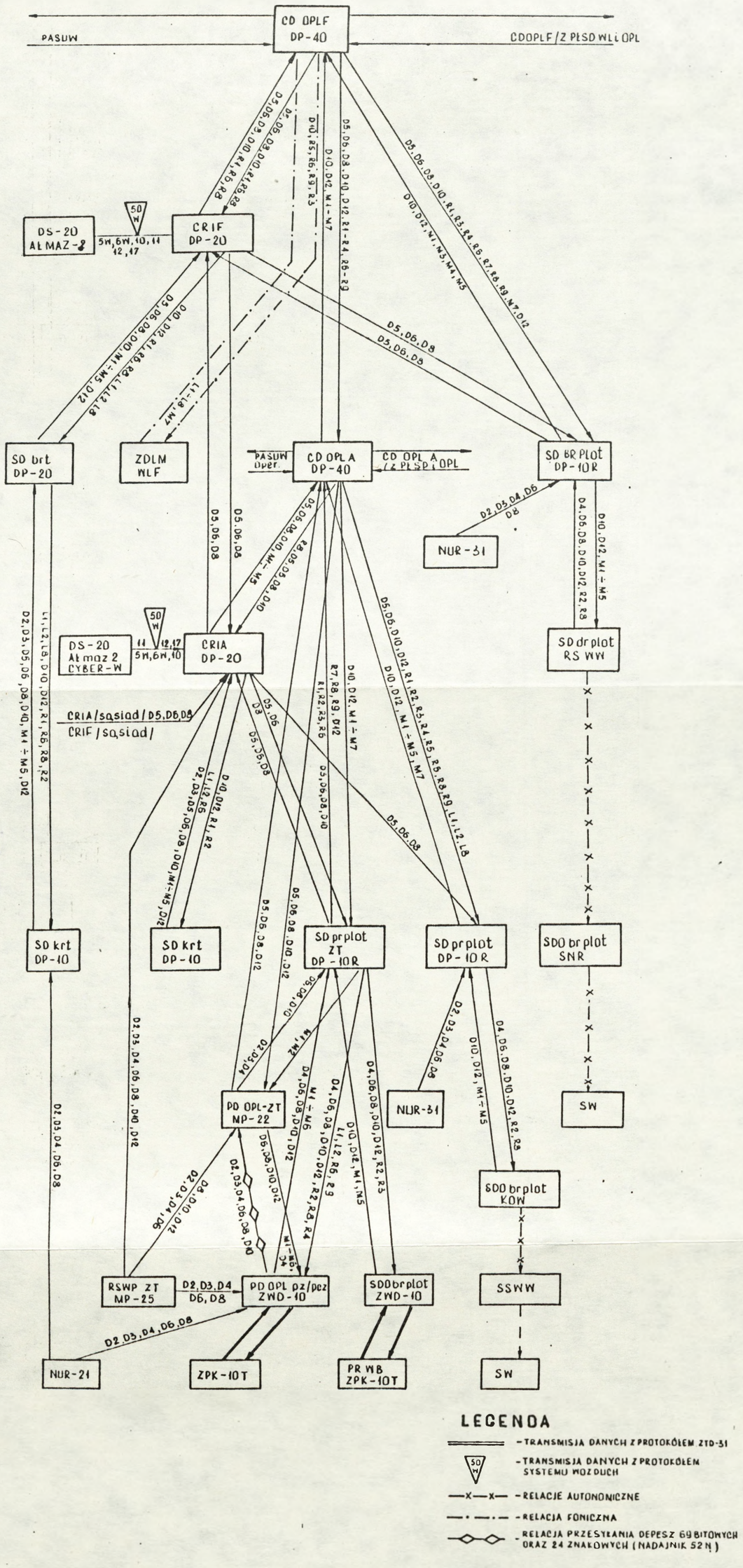
Współpraca obiektu DL-40 z SD WLF polega na:
- odbiorze i zobrazowaniu dokumentów i zadań bojowych,
- odbiorze i zobrazowaniu komend i sygnałów dowodzenia,

- odbiorze i zobrazowaniu i informacji o sytuacji operacyjno-taktycznej,
- obiorze informacji meteo.

Współpraca obiektu DL-40 z innymi obiektami została przedstawiona przy opisie tych obiektów.

2.5. Organizacja wymiany informacji między obiektami zautomatyzowanych systemów OP.

Między obiektami analizowanych systemów OP realizowana jest transmisja danych, informacji, meldunków, komend. Między obiektami automatyzacji wojsk OPL dane przekazywane są za pomocą sformalizowanych depesz. Postać depesz przedstawiona została w literaturze[ ]. Jednoznaczna ich interpretacja przez wszystkie obiekty pozwala na szybkie przekazywanie informacji. Prędkość transmisji wynosi 900 lub 1200 bodów. W porównaniu z szybkością transmisji stosowaną w zautomatyzowanych systemach wojsk OPK jest to znaczny postęp. Rys.2.4.1 przedstawia system połączeń informacyjnych w systemie obrony powietrznej WOPL.
W wojskach OPK transmisja danych realizowana jest przy pomocy cykli informacyjnych i kodogramów. Cykle informacyjne funkcjonują w systemie WOZDUCH-1M, kodogramy w systemie AŁMAZ.
Zawartość informacyjna poszczególnych cykli i kodogramów przedstawiona została w literaturze [54].
Schemat połączeń informacyjnych między obiektami zautomatyzowanych systemów WOPK przedstawiony został na Rys.2.4.2.
Koncepcja kompletnego zautomatyzowanego systemu WL przewiduje pełną wymianę informacji między obiektami tego systemu, oraz między obiektami szczebla operacyjnego WOPK i WOPL. Schemat struktury transmisji informacji został przedstawiony na Rys.2.4.3.



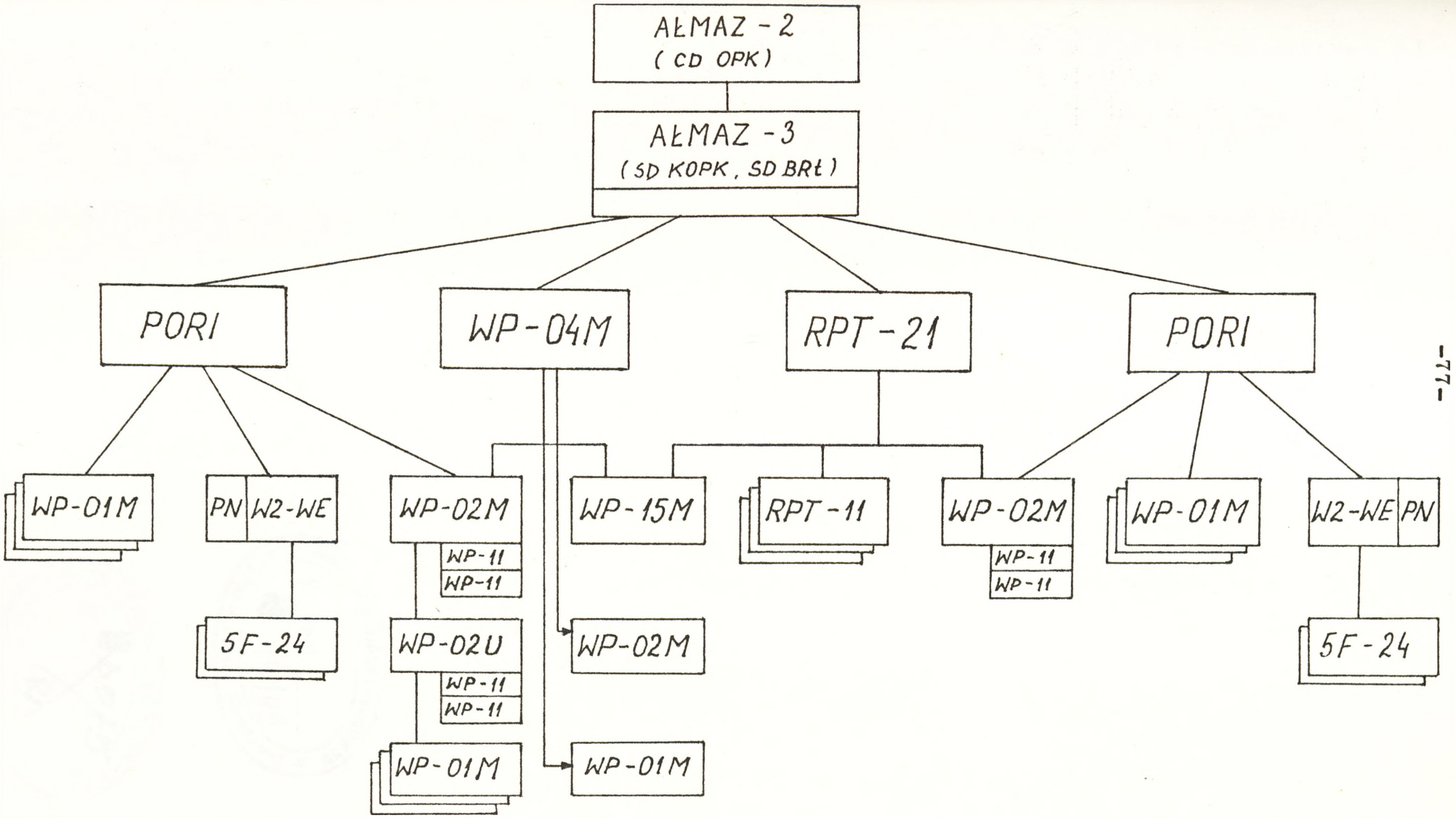
LEGENDA

- TRANSMISJA DANYCH Z PROTOKOŁEM ZTD-31
- TRANSMISJA DANYCH Z PROTOKOŁEM SYSTEMU WOZDUCH
- RELACJE AUTONONICZNE
- RELACJA FONICZNA
- RELACJA PRZESYŁANIA DEPESZ 69 BITOWYCH ORAZ 24 ZNAKOWYCH (NADAJNIK 52 N)

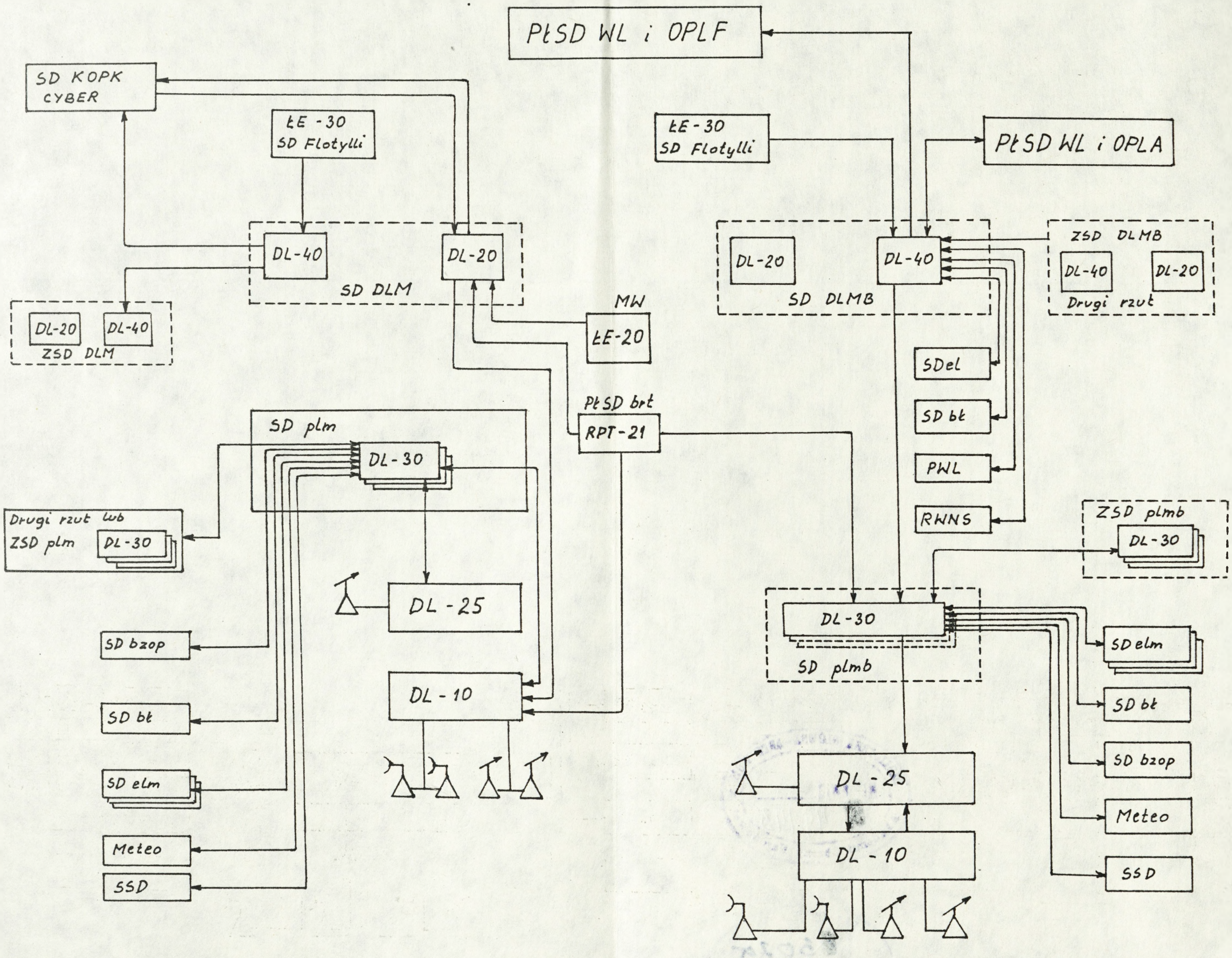
Rys.2.4.1 STRUKTURA POŁĄCZEŃ INFORMACYJNYCH OBIEKTÓW SYSTEMU WOPL

Opracowano na podstawie materiałów SWOPL

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Akademii Obrony Narodowej
Nr ewid. [redacted] 49143
II 2



Rys.2.4.2 SCHEMAT STRUKTURY INFORMACYJNEJ ZAUTOMATYZOWANEGO SYSTEMU WOPK



Rys. 2.43. SCHEMAT STRUKTURY POŁĄCZEŃ W SYSTEMIE ORZYC (WL)

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Nr ewid. [redacted] 49143
Akademii Obrony Narodowej

BIBLIOTEKA GŁÓWNA
[redacted] 5075
Akademii Obrony Narodowej

2.6. Problemy wynikające z różnorodności systemów OP.

Duża różnorodność systemów automatyzujących proces dowodzenia obroną powietrzną pociąga za sobą szereg trudności i problemów zwłaszcza w zakresie wzajemnej współpracy tych systemów. Nawet w ramach jednego rodzaju wojsk (np. OPK) współpraca zainstalowanych tam systemów jest utrudniona, a między systemami różnych rodzajów wojsk współpraca taka praktycznie istnieje tylko w wąskim zakresie. Pokonanie tych problemów wymaga dużego nakładu sił i środków, ale w rezultacie znacznie zwiększyłoby to efekty automatyzacji.

System AŁMAZ-2 zainstalowany na CSD OPK może współpracować tylko z obiektem AŁMAZ-3, który z kolei wymaga ręcznego wprowadzania danych o sytuacji powietrznej, ponieważ nie jest przystosowany do automatycznej współpracy z innymi systemami. Dzięki temu bardzo spowolniony jest proces przekazywania i opracowywania danych o sytuacji powietrznej. Inne systemy będące na wyposażeniu SD KOPK muszą dostarczyć również te informacje, które po wprowadzeniu mają być przekazane przez system AŁMAZ-3 na CSD OPK. Do informacji tych należą przede wszystkim:

- współrzędne obiektów powietrznych w zakodowanej siatce OP-61,
- informacje o gotowości, możliwościach działaniach i rezultatach działań bojowych podległych wojsk,
- odpowiednio pogrupowaną informację na temat ilości obiektów powietrznych (zgodnie z wymaganiem systemu AŁMAZ-2).

W odwrotnym kierunku, tzn od systemu AŁMAZ-2, informacja powiadamiania jest również zbyt długo transmitowana, tłumaczona i w rezultacie nie może być wykorzystana.

Obiekty systemu AŁMAZ są realizowane w przestarzałej technice tranzystorowo- lampowej, są niepodatne na modernizację programową i diagnostyczną.

Obiekty systemu WOZDUCH -1M zostały tak skonstrułowane, aby mogły ze sobą współpracować (m.in. dzięki przyjęciu jednolitych cykli informacyjnych). Obiekty te nie mogą jednak współpracować z systemem wojsk OPL Zenit, DUNAJEC-P, PASUW.

Obiekty systemu WOZDUCH-1M automatyzujące szeroki wachlarz zagadnień posiadają jednak szereg wad, które wymagają rozwiązania. Np. obiekt WP-04M stanowiący wyposażenie SD dywizji lotnictwa myśliwskiego, jest opracowany tylko dla dwóch rodzajów

samolotów, mianowicie Mig-21 i Mig-23 . Przekazując na wyższe stanowisko dowodzenia informację zbiorczą nie pozwala ocenić stanu gotowości i możliwości bojowych lotnictwa myśliwskiego bazującego na wybranym lotnisku. Nie automatyzuje również innych funkcji dowodzenia jak np. wprowadzenie i wyprowadzenie samolotu ze strefy dyżurowania, kontroli paliwa, sygnalizacji sytuacji awaryjnych.

Obiekty systemu WOZDUCH-1M są podobnie jak obiekty systemu AŁMAZ wykonane w niestosowanej już współcześnie technice, również są niepodatne na modernizację i diagnostykę. Szczegółowa analiza wad struktury informacyjnej tego systemu znajduje się w literaturze przedmiotu [ ].

Kolejnymi obiektami automatyzującymi OP są obiekty systemu WEKTOR-2WE, a należą do nich PORI i WEKTOR. Te obiekty również posiadają szereg mankamentów. Do podstawowych należą: zaszycie na stałe w programach parametrów środków ogniowych i lotnictwa myśliwskiego bez możliwości szybkiej modyfikacji, konieczność stosowania specjalnych kabin sprzężenia (np. 5F 24) zapewniających transmisję informacji. System ten również nie zapewnia współpracy z systemami innych rodzajów wojsk.

Krajowe systemy będące na wyposażeniu wojsk OPK, a są to CYBER oraz RPT-11 i RPT-21, również nie zapewniają takiej współpracy ponieważ przyjmują tylko depesze systemu WOZDUCH-1M. Charakteryzują się jednak dużą podatnością na modernizację.

Zautomatyzowane systemy wojsk OPL są wykonane w bardziej nowoczesnej technice cyfrowej. Zarówno krajowe jak i importowane systemy wykorzystują do transmisji informacji, ujednolicone depesze. Nie zapewnia to jednak możliwości współpracy z systemami innych rodzajów wojsk. Obiekty krajowe, jakkolwiek podatne na modernizację programową, są podobnie jak i importowane nie podatne na diagnostykę.

Gdyby istniała możliwość pełnej wymiany informacji między zautomatyzowanymi systemami różnych rodzajów wojsk, oraz gdyby wymiana ta realizowana była z dużą szybkością, (co najmiej 1200 bodów), wówczas znacznie skróciłby się czas opracowywania informacji o sytuacji powietrznej, a tym samym poprawiłaby się cecha mobilności (terminowości) zautomatyzowanych systemów dowodzenia obrony przeciwlotniczej.

Mając na uwadze powyższe stwierdzenie, autor uczestnicząc w

realizacji zautomatyzowanych obiektów dla wojsk OPL, opracował metody przetwarzania informacji radiolokacyjnej, które umożliwią współpracę systemów OPL i OPK.
Postać informacji wymienianej między obiektami systemów może być w miarę istniejących możliwości obliczeniowo-czasowych tak opracowana, aby nie podlegała u odbiorcy dodatkowym procesom przetwarzania, lecz była natychmiast wykorzystywana. Dobitnym przykładem jest wysyłanie z obiektu DP-20 informacji o obiektach powietrznych w postaci zakodowanej siatki OP-61, którą natychmiast, bez dodatkowego przetwarzania mogą wykorzystywać obiekty OPK. Podobnie wygląda problem przesyłania współrzędnych prostokątnych obiektu w odpowiednim dla adresata układzie bazowym. W przypadku braku mocy obliczeniowych u nadawcy, odbiorca informacji dysponując odpowiednim narzędziem programowym, może dokonać przeliczenia współrzędnych obiektów do własnego układu odniesienia. Rozwiązanie tego problemu znajduje się w rozdziale III niniejszej pracy. Autor uczestnicząc przy realizacji zautomatyzowanych obiektów systemów OP, miał okazję poznać wagę i znaczenie tego zagadnienia.

Obiekty wojsk OPK wyposażone w zunifikowane oprogramowanie podsystemu rozpoznania będą w stanie przesyłać do obiektów innych rodzajów wojsk informacje o celach powietrznych w takiej postaci jaka obowiązuje w tych systemach. Przede wszystkim współrzędne położenia obiektów powietrznych mogą być przekazywane w postaci współrzędnych prostokątnych w odpowiednim układzie bazowym, a nie w postaci współrzędnych zakodowanej siatki OP-61.

Analiza funkcjonowania zautomatyzowanych systemów dowodzenia pozwoliła określić zestaw problemów, które muszą być rozwiązane przez każdy z nich. Do podstawowych należą:

- zebranie informacji o sytuacji powietrznej z podległych źródeł,
- skojarzenie otrzymanej informacji,
- uogólnienie,
- rozdział celów między podległe środki ogniowe,
- meldowanie i powiadamianie,

Jest to zestaw zagadnień opracowywany przez obiekty systemów , które realizują oprócz tego problemy typowe dla szczebla na którym zostały zainstalowane, oraz rodzaju wojsk.

2.7 Koncepcja automatyzacji i integracji współdziałania istniejących zautomatyzowanych systemów OP.

Zasadniczym powodem uniemożliwiającym automatyzację współdziałania opisanych systemów OP jest różnorodność depesz (cykli informacyjnych) stosowanych w tych systemach. W wojskach OPL i w projektowanym systemie WL przyjęto strukturę depesz informacyjnych stosowanych w systemie PASUW. W WOPK obowiązują kodogramy (system AŁMAZ), oraz cykle informacyjne systemu WOZDUCH. Zawartość informacyjna wymienionych depesz przedstawiona została w [54] . Dodatkowym elementem utrudniającym współpracę jest różna szybkość transmisji danych.
Mając na uwadze aktualny stan rzeczy, tzn dużą ilość różnorodnych systemów automatyzujących obronę powietrzną, autor widzi dwa sposoby prowadzące do pełnej integracji (współdziałania) tych systemów. Pierwszy polega na skonstruowaniu programowych adapterów (transkoderów), których zadaniem byłoby przekodowywanie transmitowanej informacji do postaci akceptowanej przez adresata. Oznacza to, że wszystkie krajowe zautomatyzowane systemy dowodzenia obrony powietrznej (już istniejące i projektowane), powinny zapewnić możliwość współpracy z obiektami importowanych systemów. Przy formułowaniu tej propozycji autor wziął przede wszystkim pod uwagę fakt, że krajowe obiekty są podatne na modyfikacje programowe, natomiast importowane (WOZDUCH, WEKTOR, A MAZ) praktycznie nie [49]. W praktyce oznacza to, że obiekty typu DUNAJEC, ORZYC, EBA na kierunku od/do obiektu WOPK powinny przyjmować/transmitować depesze takiego typu jaki jest wysyłany/przyjmowany przez ten obiekt. Np obiekt ZWD-10R powinien przyjmować i przetwarzać cykle informacyjne obowiązujące w systemie WOZDUCH-1M, ponieważ z tego rodzaju obiektem będzie współpracował.
Drugim sposobem na zapewnienie pełnego współdziałania zautomatyzowanych systemów różnych rodzajów wojsk jest wprowadzenie we wszystkich tych systemach jednolitego zestawu depesz informacyjnych i sposobu ich transmisji. Sformalizowany zestaw depesz powinien zapewnić wymianę informacji w wymaganym zakresie między obiektami. W obecnej sytuacji przedsięwzięcia tego nie można jednak zrealizować.

Po zapewnieniu możliwości współpracy między obiektami różnych systemów, można przejść do organizacji współdziałania systemów różnych rodzajów wojsk. Przy opracowywaniu automatyzacji współdziałania powinny zostać wykorzystane sprawdzone zasady współdziałania systemów planszetowo-fonicznych, oraz przyjęte nowe. Organizacja współdziałania systemów obrony powietrznej powinna, zdaniem autora, uwzględniać następujące zasady:

- określone obszary współdziałania systemów obrony powinny zostać podzielone na strefy wspólnego i odrębnego oddziaływania na cele powietrzne,
- ośrodki decyzyjne poszczególnych rodzajów wojsk muszą uwzględniać możliwości środków ogniowych pozostałych systemów obrony,
- stanowiska dowodzenia wszystkich szczebli muszą zostać wyposażone w programy wspomagające proces decyzyjny,
- wymiana informacji musi być realizowana przez zunifikowany system transmisji danych, a prędkość przesyłania danych nie może być mniejsz niż 1200 bodów,
- na etapie przechodzenia na jednolitą dla wszystkich systemów strukturę depesz informacyjnych, należy instalować adaptery adaptacyjne, aby umożliwić połączenie informacyjne między obiektami różnych systemów OP,
- strefy oddziaływania ogniowego powinny nakładać się wzajemnie, aby maksymalnie uszczelnić rejon obrony,
- programy wspomagające proces decyzyjny, zainstalowane na wszystkich szczeblach dowodzenia, powinny interpretować depesze z meldunkami o zwalczaniu obiektów przez inne współdziałające systemy obrony,
- punkty naprowadzania LM powinny posiadać pełną informację na temat zwalczania obiektów przez naziemne środki ogniowe WOPK, WOPL lub MW, aby w przypadku zmiany decyzji o zwalczaniu istniała możliwość "przejęcia" obiektu.

Koncepcję współdziałania można ująć w następujące reguły:

- terytorium kraju winno być podzielone na strefy w których odpowiedzialność za organizację obrony należy przydzielić WOPK lub WOPL,
- strefy powinny zostać podzielone na obszary współdziałania w których zostaną określone 2,3 przedziały wysokości,
- w każdym przedziale wysokości danego obszaru powinien

zostać wyznaczony odpowiedzialny za zwalczanie celów,
- przy wyznaczaniu odpowiedzialnego za zwalczanie powinny być brane pod uwagę możliwości środków zwalczania będących w jego gestii,
- obszary współdziałania należy wyznaczać i opisywać na planie współdziałania na każdy dzień walki.

Informacja o zmianie sytuacji, np o przegrupowaniu środków ogniowych, powinna być natychmiast przekazana odpowiedzialnym za organizację obrony powietrznej danego obszaru.

W celu zwiększenia bezpieczeństwa własnego lotnictwa, należy przyjąć zasadę przekazywania zestawu informacji o planowanych przelotach samolotów własnych. Zestaw ten powinien zawierać dane o:

- korytarzach i trasach przelotu z zaznaczeniem przedziału czasu i wysokości, oraz liczby samolotów,
- strefach dyżurowania w powietrzu,
- rejonach lotnisk.

Dane te powinny być przekazywane w kanałach dowodzenia dowódcy odpowiedzialnego za obronę powietrzą strefy, oraz w kanałach powiadamiania odpowiedzialnego za OP sąsiedniej strefy.

W zrealizowanym obiekcie DP-20 dane te zobrazowuje się jako podkłady syntetyczne, a wykorzystywane one są do rozstrzygania o przynależności w wypadkach wątpliwych, oraz do wydawania okresowych zakazów prowadzenia ognia np w korytarzach przelotów.

W dobie szybkiego rozwoju środków walki radioelektronicznej, koniecznym jest określenie zasad współdziałania z systemami tego rodzaju wojsk. Wynika to z potrzeby uprzedzania sytemów OP (przez system WRE) o formującym się nalocie poza zasięgiem SRL, oraz wyeliminowania ryzyka zakółcenia własnych środków rozpoznania, naprowadzania i łączności. Wymiana informacji między systemami OP, a systemem WRE (MIECZYK) obejmująca wykorzystywane aktualnie pasma częstotliwości, wskazanie obiektów (lub całych grup obiektów powietrznych) których nie należy zakłócać, może generalnie poprawić efektywność działania systemów obrony powietrznej różnych rodzajów wojsk.

ROZDZIAŁ III
DOBÓR METOD PRZETWARZANIA INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ PODNOSZĄCYCH EFEKTYWNOŚĆ SYSTEMU OP.

W rozdziale tym przedstawione zostały opracowane i przetestowane w praktyce metody przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej, które zdaniem autora mogą podwyższyć efektywność działania zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Przeprowadzona wnikliwa analiza matematyczna zagadnienia efektywności wykazała, że podsystem przetwarznia danych oddziaływuje na tą cechę systemu w sposób znaczny. Autor zdając sobie sprawę z faktu, że nie ma wpływu na jakość środków rozpoznania i aktywnych środków walki, podjął działania w zakresie podsystemu przetwarzania danych. Skrócenie czasu opracowywania informacji o sytuacji powietrznej, oraz podwyższenie jakości wyników tego przetwarzania poprawia efektywność nadrzędnego systemu OP. Analiza wykazała, że podsystem przetwarzania wpływa na efektywność nadrzędnego systemu OP poprzez następujące cechy: przepustowość (ilość przetworzonej informacji), wiarygodność odwzorowania rzeczywistej sytuacji, dokładność i czas przetwarzania informacji. W rozdziale przedstawiono jak wpływają te cechy na efektywność systemu OP. Na współczesnym polu walki będzie użyteczny tylko taki system obrony powietrznej, który szybko i precyzyjnie oceni stan zagrożenie i podejmie stosowne działania. Dlatego właśnie rola podsystemu przetwarzania danych, zdaniem autora, nabiera coraz większego znaczenia.

Opracowane zostały metody: transformacji współrzędnych, określania i kodowania współrzędnych w siatce OP-61, uwzględniania poprawek justacyjnych, uwzględniania krzywizny powierzchni ziemi przy obliczaniu współrzędnych położenia obiektów powietrznych, oraz sekwencyjno-cykliczna metoda uogólniania informacji radiolokacyjnych.

Przeprowadzona została również analiza procesu przetwarzania danych: od etapu zebrania informacji ze źródeł, do etapu rozdziału celów i zobrazowania. Dzięki takiemu podejściu do zagadnienia ujawniono etapy procesu opracowania informacji, którym należy poświęcić szczególnie dużo uwagi. Do najważniejszych należą: kojarzenie meldunków, określanie

liczby śNP biorących udział w nalocie, obliczanie uogólnionych charakterystyk i parametrów trajektorii lotu obiektów powietrznych. Autor opracował nową metodę uogólniania polegającą na sekwencyjnym śledzeniu i cyklicznym uogólnianiu z wykorzystaniem współczynników wagowych.

3.1 Efektywność podsystemu przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Dowodzenie obroną powietrzną w warunkach stosowania nowoczesnych środków napadu, oraz nowoczesnych metod i środków obrony, musi charakteryzować się odpowiednią efektywnością. Pojęcie efektywności dowodzenia obejmuje bardzo szeroki zakres zagadnień i określane jest wieloma wskaźnikami cząstkowymi.

Efektywność dowodzenia wojskami, w tym również wojskami obrony powietrznej, należy rozumieć jako [41]: ogół zdolności systemu dowodzenia do zapewnienia wykonania zadań bojowych w nakazanym czasie i miejscu, przy najmniejszym nakładzie sił i środków.

Najważniejszymi cechami efektywności systemu dowodzenia są:

- sprawność,
- skuteczność,
- gotowość (zdatność),
- operatywność,
- ekonomiczność.

S p r a w n o ś ć systemu dowodzenia należy rozumieć jako zdolność tego systemu do znajdywania się w stanach sprzyjających nieprzerwanej /ciągłej/ realizacji zadań w określonym przedziale czasu. Cecha ta łączy się ściśle ze spełnieniem wymagań na ciągłość dowodzenia. System dowodzenia charakteryzuje się dużą sprawnością, jeżeli suma wszystkich przerw w działaniu, spowodowanych niesprawnością czynnika ludzkiego i techniki, nie wpływa na szeroko rozumianą jakość podejmowanych decyzji.

S k u t e c z n o ś ć systemu dowodzenia to zdolność tego systemu do podejmowania takich decyzji i takiego organizowania działań, aby nadrzędny system wojskowy osiągał zamierzone cele bojowe, zgodnie z ogólnymi zasadami racjonalności działania, oraz nałożonymi wymaganiami. W przypadku systemu dowodzenia obroną powietrzną, przez skuteczność należy rozumieć wpływ podejmowanych decyzji na stopień spełnienia zadań i wymogów przez system obrony powietrznej.

G o t o w o ś ć (zdatność) systemu dowodzenia to zdolność tego systemu do osiągania wymaganego poziomu efektywności potencjalnej w możliwie najkrótszym czasie, dla dowolnej chwili z

rozpatrywanego przedziału czasu. System dowodzenia posiada odpowiedni stopień gotowości, jeżeli w dowolnym momencie czasowym jest zdolny do osiągnięcia wymaganej efektywności, w czasie umożliwiającym skuteczne dowodzenie.

Przez o p e r a t y w n o ś ć należy rozumieć zdolność systemu dowodzenia do reagowania na krytyczne zmiany sytuacji decyzyjnej i/lub sytuacji informacyjnej. Zmiana sytuacji informacyjnej w przypadku systemu OP to np wykrycie nalotu lub pojedynczych obiektów powietrznych, zmuszająca do natychmiastowego podjęcia decyzji bez względu na decyzje aktualnie wykonywane. System dowodzenia OP posiada dużą operatywność, jeżeli posiada zdolność do prawidłowego reagowania na szybko zachodzące zmiany sytuacji powietrznej. Im większa operatywność systemu tym krótszy czas reakcji.

E k o n o m i c z n o ś c i ą systemu dowodzenia można nazwać taką cechę systemu, która określa zużycie własnych sił i środków na wykonanie określonego zadania. System dowodzenia jest ekonomiczny jeżeli podejmowane przez niego decyzje minimalizują straty (koszty) własne przy równoczesnym zrealizowaniu zamierzonych celów.

Każdy system dowodzenia realizuje swoje zadania w oparciu o dane (informacje) dostarczone przez np system rozpoznania (informatyczny). W przypadku systemu dowodzenia obroną powietrzną, proces zbierania i przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej ma istotny wpływ na efektywność dowodzenia.

Efektywność systemu informatycznego, pracującego na korzyść systemu dowodzenia OP, można rozumieć jako całokształt zdolności do zbierania, opracowywania i przekazywania informacji o sytuacji powietrznej w określonym obszarze zainteresowań. System informatyczny (SI) składa się z trzech zasadniczych elementów:

- czynnika ludzkiego (zmiany dowodzenia, załogi bojowe, zespoły operatorów i konserwatorów),
- ogólnie rozumianej techniki (komputery, urządzenia transmisji i zobrazowania, inne urządzenia pomocnicze),
- oprogramowania systemowego i użytkowego (system operacyjny, programy użytkowe).

Ocena efektywności SI musi uwzględniać wszystkie elementy i powiązania między nimi. Przy ocenie efektywności SI należy wy-

korzystywać następujące kryteria:

- kryterium organizacyjne (operacyjne),
- kryterium informacyjne,
- kryterium ekonomiczne,
- kryterium techniczno-eksploatacyjne (niezawodności).

Z punktu widzenia użytkownika systemu informatycznego, tzn systemu dowodzenia, efektywność SI można oceniać w oparciu o następujące parametry otrzymywanych z niego informacji:

- ilości i jakości przetworzonej informacji,
- czasu przetwarzania określonej, wymaganej porcji informacji,
- ciągłości otrzymywania informacji,
- czasu reakcji SI na zmieniającą się sytuację powietrzną

Dla systemu dowodzenia OP, odpowiednia jakość przetwarzania i dostarczania przez SI informacji radiolokacyjnej, jest szczególnie istotna, ponieważ niespełnienie wymagań przez chociażby jeden z wyszczególnionych powyżej parametrów, przekreśla sens stosowania danej wersji SI w procesie automatyzacji dowodzenia.

Powyżej zaprezentowany został klasyczny podział ogólnie rozumianego systemu kierowania obroną powietrzną na podsystem informatyczny i podsystem dowodzenia. Z ogólno-wojskowego p-ktu widzenia, nie można jednak precyzyjnie podzielić zautomatyzowanego systemu dowodzenia na dwa podsystemy. Z doświadczeń autora, uzykanych podczas realizacji takiego systemu wynika, że są elementy które można traktować jako wspólne dla SI i dla podsystemu dowodzenia. Takim elementem jest np zobrazowanie odpowiednich zestawień i formularzy. Są one jedną z form przedstawienia przetworzonej informacji radiolokacyjnej, oraz stanowią pewien fragment decyzji dotyczącej zobrazowanej informacji. Innym istotnym elementem, wspólnym dla obydwu wyróżnionych podsystemów jest rola operatora obsługującego zautomatyzowany system dowodzenia OP, w którym pełni on funkcję decydenta i równocześnie rolę operatora SI.

W oparciu o powyższe uwagi i spostrzeżenia wydaje się sensowne podzielić zautomatyzowany system dowodzenia OP na dwa zasadniczo niezależne od siebie podsystemy, a mianowicie:

- podsystem zbierania informacji o sytuacji powietrznej,
- podsystem przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Podsystem zbierania informacji składa się z sieci SRL, które swoimi zasięgami pokrywają określony obszar przestrzeni powietrznej. Podsystem przetwarzania informacji radiolokacyjnej, określany również jako radiolokacyjny podsysytem przetwarzania danych /RPPD/, składa się z zestawu urządzeń technicznych zastosowanych do przetwarzania informacji, załóg eksploatacyjnych, oraz zainstalowanego oprogramowania. Każdy z tych elementów ma istotny wpływ na RPPD jako całość, a sieć zależności i powiązań między nimi stanowi jak gdyby jego czwarty element który należy uwzględniać przy ocenie jakościowej.

Dowodzenie obroną powietrzną wymaga pełnej, aktualnej i wiarygodnej informacji o nieprzyjacielu powietrznym. Takiej informacji dostarczyć może zautomatyzowany system zbierania i przetwarzania danych o sytuacji powietrznej. Dynamicznie zmieniająca się sytuacja powietrzna zmusza podsystem przetwarzania danych do szybkiego wypracowania decyzji do zwalczania przeciwnika powietrznego. W przeciwnym razie system OP, dysponując nawet wystarczającą ilością aktywnych środków walki, nie spełni swoich zadań. Radiolokacyjny podsysytem przetwarzania danych (RPPD), jako integralny element systemu obrony powietrznej, musi w odpowiednim czasie dostarczyć opracowaną informację radiolokacyjną, wykorzystywaną w procesie podejmowania decyzji o zwalczaniu nieprzyjaciela. Efektywność całego systemu OP będzie zależała od efektywności poszczególnych jego elementów składowych, tzn także od efektywności RPPD.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że efektywność jakiegokolwiek systemu techniczno-organizacyjnego zależy od jego parametrów technicznych, funkcjonalnych, niezawodnościowych, oraz od ogólnie rozumianych warunków funkcjonowania (czasu, miejsca wpływu otoczenia).

Efektywność RPPD można zatem zapisać jako:

$$E = F(P,Q) \qquad (3.1.1)$$

gdzie: $P = \{P_i\}$ $i = 1,I$; zbiór parametrów,

$Q = \{Q_j\}$ $j = 1,J$; zbiór warunków funkcjonowania.

Ponieważ RPPD został stworzony po to aby pracował na rzecz systemu dowodzenia OP, zatem jego efektywność można oceniać tylko w kontekście efektywności systemu nadrzędnego. Postać funkcji efektywności RPPD może być sformułowana po gruntownej analizie

celów nadrzędnego systemu OP. Precyzyjne zbudowanie funkcji efektywności RPPD zgodnie z wzorem (3.1.1), jest zagadnieniem złożonym, ponieważ występuje tu problem uwzględniania bardzo wielu parametrów ze względu na wieloelementową budowę tego podsystemu, oraz skomplikowaną sieć powiązań i wzajemnego oddziaływania między elementami składowymi.

Aby ominąć te trudności proponuje się wprowadzić parametryczne wskaźniki jakości podsysytemu przetwarzania, wyrażające najważniejsze, z punktu widzenia nadrzędnego systemu OP, cechy ocenianego podsystemu. Najogólniej wskaźniki te określają: czas opracowania porcji informacji radiolokacyjnej, jakość przetworzonej informacji pod kątem jej przydatności dla użytkownika, ilość i wiarygodność uzyskanych wyników, oraz niezawodność działania podsytemu prztwarzania danych.

W literaturze przedmiotu [5] omówionych jest wiele wskaźników charakteryzujących poszczególne etapy obróbki informacji radiolokacyjnej. W praktyce do wyznaczenia funkcji efektywności podsystemu przetwarznia, należy określić niezbędną ilość parametrycznych wskaźników jakości, zwykle mniejszą niż rzeczywista ilość parametrów i cech charakteryzujących RPPD. W rozdziale tym poszukiwana będzie funkcja wiążąca efektywność nadrzędnego systemu OP ze wskaźnikami jakości podsystemu przetwarzania danych. Innymi słowy poszukiwany będzie związek między najważniejszymi wskaźnikami jakości systemu OP, a różnymi wskaźnikami charakteryzującymi RPPD. Celem tego poszukiwania będzie znalezienie takich wskaźników jakości przetwarzania danych, które miałyby dominujący wpływ na efektywność nadrzędnego dla RPPD systemu dowodzenia OP. Takie postępowania prowadzi do następującego wniosku: poprawiając kilka wskaźników jakości przetwarzania danych, poprawia się efektywność sysytemu OP. Pozwala to skupić się nad problemami pozornie nie związanymi z obroną powietrzną, lecz z zagadnieniami przetwarzania danych o sytuacji powietrznej.

Takie podejście do zagadnienia spowoduje, że problem optymalizacji wielokryterialnej zostanie znacznie uproszczony i przez to łatwiejszy do praktycznego rozwiązania. Gdy zostaną podjęte działania podwyższające wskaźniki działania RPPD, to tym samym zrealizowana zostanie wieloetapowa metoda podwyższania efektywności systemu dowodzenia OP.

Jak wiadomo, generalnym zadaniem systemu obrony powietrznej jest osłona wojsk i obiektów administracyjno-gospodarczych kraju przed atakami przeciwnika powietrznego. Aby to zadanie zrealizować, system OP musi oddziaływać aktywnymi środkami walki na atakujące śNP.

Efektywność systemu OP obliczyć można metodą zalecaną przez literaturę [43], przyjmując do tego następujące wzory:

$$E = E_{SK} * \frac{M}{N} \qquad (3.1.2)$$

gdzie:

M - wartość oczekiwana liczby zniszczonych celów (obiektów powietrznych), przez system OP obliczana wzorem:

$$M = \sum_{n=1}^{N} [1 - \bigcap_{b=1}^{B} (1 - P_{bn} * X_{bn})] \qquad (3.1.3)$$

P_{bn} - p-stwo zniszczenia celu o numerze n = 1,N przez pododdział OP o numerze b = 1,B,

X_{bn} - zmienna decyzyjna przyjmująca dwie wartości:

1 - jeżeli cel o numerze n jest zwalczany przez pododdział OP o numerze b,

0 - jeżeli cel nie jest zwalczany przez żaden pododdział OP,

N - ogólna liczba celów w założonym wariancie działania (nalocie) n-pla powietrznego,

E_{SK} - efektywność podsystemu kierowania, systemu OP.

Aby stwierdzić jaki jest wpływ jakości podsysytemu przetwarzania na efektywność sysytemu OP, należy oddzielnie zbadać wpływ tego podsystemu na E_{SK}, oraz na stosunek M/N (nazwany efektywnością podsystemu zwalczania). Iloraz M/N można zastąpić wyrażeniem, w którym występują wielkości potencjału bojowego wytrąconego i całkowitego. Pojęcie "wytrącony potencjał bojowy" lepiej wyraża, zdaniem autora, efektywność działania systemu OP niż liczba zniszczonych śNP. Zatem proponuje się przyjąć, że efektywność podsystemu zwalczania można oceniać wg następującego wzoru:

$$E_{ZW} = \frac{M}{N} = \frac{\Delta P}{P} \qquad (3.1.4)$$

gdzie: ΔP - wytrącony przez system OP potencjał bojowy

przeciwnika powietrznego,

P - całkowity potencjał bojowy nalotu.

Wartości liczbowe ΔP i P można wyliczyć stosując następującą zasadę:

$$P = \sum_{i=1}^{I} B_i * L_i \qquad (3.1.5)$$

gdzie:

B_i - potencjał bojowy (ważność, priorytet, waga) śNP i-tego rodzaju (oszacowany np metodą ekspertów),

L_i - ilość śNP i-tego rodzaju w całym nalocie,

natomiast wartość

$$\Delta P = \sum_{i=1}^{I} B_i * K_i \qquad (3.1.6)$$

gdzie: - B_i - jak we wzorze (3.1.5), potencjał bojowy śNP i-tego rodzaju,

K_i - wartość oczekiwana ilości zniszczonych śNP i-tego rodzaju,

J - ilość rodzajów śNP biorących udział w nalocie.

Oczywiście $\sum_{i=1}^{I} K_i = M$, oraz $\sum_{i=1}^{I} L_i = N$.

Postępując zgodnie z założeniem że system OP spełnia swoje zadanie jeżeli jego efektywność E jest conajmniej równa wymaganej efektywności E_p, problem oceny efektywności sprowadza się do oceny wartości ΔP. Z wzoru (3.1.4) wynika że system OP spełni swoje zadanie jeżeli z całego nalotu zostanie wytrącony (wyeliminowany) pewien określony jego procent. Rozważania na temat wpływu wytrąconego potencjału bojowego na efektywność systemu OP, zostały przeprowadzone w punkcie 1.5 niniejszej pracy. W tym miejscu należy przypomnieć, że ewentualnego porównania alternatywnych systemów obrony można dokonać przyjmując jednakową wersję nalotu dla tych systemów. Spełnienie tego warunku jest bardzo istotne, ponieważ zabezpiecza przed stwierdzeniem, że system który wyeliminował 3 spośród 10, biorących udział w nalocie śNP, jest lepszy od systemu który wyeliminował 20 spośrod 100 obiektów. Gdyby nie warunek o jednakowej wersji nalotu, można byłoby tak twierdzić stosując wzór

(3.1.4), ponieważ istotnie $E_1 = 0.3 > E_2 = 0.2$.

Warunki w jakich działają systemy OP mają charakter losowy, ponieważtaka jest w rzeczywistości taktyka działania przeciwnika, warunki atmosferyczne i warunki zakłóceń radioelektronicznych, oraz poziom wyszkolenia i dyspozycja załóg. Z tego powodu, do oceny efektywności systemów OP należy stosować aparat rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematyczej. Zgodnie z tym założeniem, wytrącony przeciwnikowi powietrznemu potencjał bojowy ΔP będzie wygraną G systemu obrony. Wytrącenie ΔP jest zadaniem głównym, składającym się z zadań cząstkowych, polegających na niszczeniu pojedynczych samolotów poszczególnych rodzajów. W takim przypadku wygrana systemu OP wyraża się wzorem:

$$G = \Delta P = \sum_{i=1}^{I} \Delta P_i = \sum_{i=1}^{I} K_i * B_i = \sum_{i=1}^{I} B_i * L_i * P_k^i \qquad (3.1.7)$$

gdzie: B_i - jak we wzorze (3.1.5) potencjał bojowy pojedynczego śNP i - tego rodzaju,

P_k^i - prawdopodobieństwo wykonania k-tego zadania cząstkowego, polegającego na wyeliminowaniu jednego śNP o potencjale B_i,

I - ilość rodzajów śNP,

L_i - ilość śNP i-tego rodzaju w przyjętym wariancie nalotu.

Wzór (3.1.7) jest uogólnieniem wzoru (3.1.6).

Do wykonania każdego zadania cząstkowego potrzebna jest informacja radiolokacyjna o obiekcie powietrznym (położenie, wysokość, przynależność, prędkość, kurs, itp), oraz określone niezbędne środki aktywne.

Przyjmijmy założenie, że na zadanie wytrącenia przeciwnikowi powietrznemu potencjału bojowego ΔP, system OP dysponuje wymaganą ilością aktywnych środków walki (Z). Jest to pewne uproszczenie, ale pozwoli ono skupić się na problemie potrzebnej do wykonania zadania informacji radiolokacyjnej, bez kierowania uwagi na zagadnienia techniczne i organizacyjne związane z gotowością bojową środków aktywnych. Z punktu widzenia RPPD takie założenie jest krańcowo niekorzystne, ponieważ powinien on dostarczyć informacji o wszystkich obiektach powietrznych dla środków aktywnych potrzebujących takiej infor-

macji. Wydajność RPPD musi być przy takim założeniu maksymalna W praktyce system OP nie posiada nieograniczonej ilości środków do zwalczania śNP, dlatego mniejsze będzie rzeczywiste zapotrzebowanie na opracowaną informację radiolokacyjną. Oznacza to, że RPPD z większym prawdopodobieństwem spełni wymagania w zakresie zabezpieczenia informatycznego. Dostarczycielem informacji radiolokacyjnej dla podsystemu zwalczania OP jest radiolokacyjny podsystem przetwarzania danych. Proponuje się przyjąć następujące wskaźniki oceny efektywności systemów radiolokacyjnych:

- wiarygodność odwzorowania sytuacji powietrznej μ, którą odzwierciedla ilość fałszywych celów,
- wielkość strefy obserwacji Ω, charakteryzująca pole radiolokacyjne, określona przez sieć źródeł informacji,
- współczynnik zobrazowania sytuacji powietrznej:

$$\chi = \frac{M}{M_o} \qquad (3.1.8)$$

gdzie: M_o - możliwa ilość obiektów powietrznych w strefie obserwacji,

M - ilość obiektów, o których informację oceniany system odbiera i opracowuje,

- dokładność odwzorowania sytuacji powietrznej, kojarzona z różnicą między rzeczywistym i odwzorowanym położeniem obiektu, lub z błędem średniokwadratowym

$$\delta = \frac{\sqrt{\sum_{m=1}^{M} \delta_m^2}}{M} \qquad (3.1.9)$$

Interesujące nas prawdopodobieństwo P_k^i ze wzoru (3.1.7), przy przyjętym założeniu że system dysponuje potrzebnymi środkami walki, jest silnie uzależnione od wymienionych wskaźników jakości systemu radiolokacyjnego:

$$P_k^i = F(\mu, \Omega, \chi, \delta) \qquad (3.1.10)$$

Jak wykazano w literaturze źródłowej [5], funkcje tego typu mają przebieg ciągły i można je aproksymować funkcjami o charakterze wykładniczym.

Z pośród czterech wymienionych wskaźników charakteryzujących systemy radiolokacyjne, trzy, a mianowicie μ, χ, δ, charakteryzują bezpośrednio RPPD. Wielkość strefy obserwacji Ω,

charakteryzuje podsystem rozpoznania i jest uzależniona od przyjętego ugrupowania sieci SRL, ich parametrów technicznych, oraz od stopnia zakłóceń radioelektronicznych. Na żaden z tych czynników nie ma wpływu podsystem przetwarzania. Przy założeniu prawidłowego zorientowania SRL, wskaźnik μ jest miarą jakości zastosowanych algorytmów i metod przetwarzania danych radiolokacyjnych. Błędne kojarzenie meldunków z podległych SRL powoduje wygenerowanie nierzeczywistej liczby torów lotu, zawyżonej lub zaniżonej. Wyższa od rzeczywistej, liczba zobrazowywanych torów lotu śNP, jest skutkiem nie skojarzenia meldunków o tym samym obiekcie, zaniżona natomiast jest spowodowana skojarzeniem lub utożsamieniem meldunków o różnych obiektach. W przypadku zawyżonej ilości obiektów, posystem przetwarznia generuje wielokrotne, fałszywe tory tego samego obiektu, a w przypadku zaniżonej, występuje objaw wchłaniania informacji radiolokacyjnej. Określenie rzeczywistej wartości wskaźnika μ, może sprawić pewne trudności, ponieważ samo porównanie ilości obiektów otrzymanych z podsystemu przetwarzania danych, z rzeczywistą ich ilością (wzór 3.1.8), nie daje pełnej odpowiedzi na pytanie o wiarygodność RPPD. Możliwą jest bowiem sytuacja w której podsystem przetwarzania danych wchłania (kasuje) pewną ilość rzeczywistych torów, a wydaje taką samą ilość fałszywych. Dokładnego oszacowania wskaźnika μ można dokonać w oparciu o dodatkowe informacje, a mianowicie o dane określające parametry toru lotu. Najważniejszymi będą informacje o położeniu obiektów w danym momencie czasowym, przynależności, kursie i prędkości. Tu zaznacza się wzajemne powiązanie wskaźników jakości RPPD μ i δ. Wskaźnik χ oznacza potencjalne możliwości obliczeniowe RPPD, tzn określa na ile spełnia on wymagania w zakresie ilościowego opracowania informacji radiolokacyjnej.

Realia współczesnego pola walki nakładają na system rozpoznania i dowodzenia wysokie wymagania. Jednym z nich jest opracowanie pełnej, wiarygodnej i terminowej informacji o nalocie. Ponieważ ilość śNP biorących udział w nalocie jest wielkością losową, zatem podsystem przetwarzania danych powinien być przygotowany na opracowanie danych wynikowych o spodziewanej , maksymalnie dużej, ilości śNP. Możliwości RPPD są ograniczone, a zależą przede wszystkim od jakości algorytmów,

a ściślej od czasu ich realizacji w technice cyfrowej. Im krótszy jest czas obróbki informacji radiolokacyjnej dotyczącej jednego obiektu, tym większa wartość M, a tym samym wskaźnika χ (wzór 3.1.8). W celu podwyższenia wartości tego współczynnika, twórcy systemów radiolokacyjnych powinni dążyć do maksymalnego skrócenia czasu przetwarzania określonej porcji informacji. Jedną z metod jest optymalizacja algorytmów obliczeniowych.

Opracowana informacja o sytuacji powietrznej jest zobrazowywana na wskaźnikach lub planszetach. Dokładność zobrazowania, tzn dokładność określenia współrzędnych prostokątnych obiektów w globalnym, bazowym układzie odniesienia, ma istotne znaczenie przy obliczaniu prędkości, kursu i wysokości lotu obiektu w danym momencie czasowym. Obliczenie tych wartości pozwala w pewnym zakresie na eliminację torów fałszywych. Eliminacji toru dokonuje się np wówczas, gdy ustalony kurs obiektu zmienia się w kolejnym cyklu obliczeniowym na przeciwny (prędkość jest ujemna). Problem eliminacji tras jest problemem złożonym i należy mu poświęcić sporo uwagi.

Dokładne określenie położenia obiektów powietrznych jest bardzo ważne w trakcie podejmowania decyzji o zwalczaniu. Obliczenie współrzędnych położenia obiektów realizowane jest w podsystemie przetwarzania danych przez algorytm przeliczania współrzędnych. Od jakości tego algorytmu zależy dokładność określania współrzędnych obiektów powietrznych.

Biorąc pod uwagę powyższe rozważania, dochodzimy do konkluzji, że RPPD oddziaływuje na prawdopodobieństwo P_k^i (wzór 3.1.7) przez trzy wskaźniki, a mianowicie μ, χ, δ.

Wzór (3.1.10) można uszczegółowić i zapisać jako:

$$P_k^i = F(\mu, \chi, \delta) \qquad (3.1.11)$$

Przystępując do wyznaczania postaci funkcji F przyjmijmy za literaturą [ ], że prawdopodobieństwo P_k^i można oszacować wg wzoru:

$$P_k^i = P_1(z) * P_2(\mu, \delta) \qquad (3.1.12)$$

gdzie:

$P_1(z)$ - prawdopodobieństwo wykonania zadania przy ograniczonych środkach zwalczania i idealnym zobrazowaniu,

$P_2(\mu, \delta)$ - prawdopodobieństwo realizacji zadania przy

wystarczającej ilości środków zwalczania i realnym zobrazowaniu.

Składowe prawdopodobieństwa $P_1(z)$, $P_2(\mu,\delta)$ można aproksymować funkcjami wykładniczymi:

$$P_1(z) = \exp\left[- \frac{K^2 + \mu^2}{z^2} \right] \qquad (3.1.13)$$

gdzie:

$$K = \sum_{i=1}^{I} L_i$$

z - ilość aktywnych środków zwalczania,

$$P_2(\mu,\delta) = \chi * \exp\left[- \left(\frac{\delta^2}{\delta_o^2} + \frac{\mu^2}{\mu_o^2} \right) \right] \qquad (3.1.14)$$

gdzie: δ_o - założona dokładność odwzorowania,

μ_o - założona ilość fałszywych torów.

Funkcja wygranej G z wzoru (3.7) przyjmuje postać:

$$G = \sum_{i=1}^{I} B_i * L_i * \chi * \exp\left[- \left(\frac{\delta^2}{\delta_o^2} + \frac{\mu^2}{\mu_o^2} + \frac{K^2 + \mu^2}{z^2} \right) \right] \qquad (3.1.15)$$

Przy założeniu idealnych warunków zobrazowania i nieograniczonych środkach zwalczania, tzn. przy $P_2(\mu,\delta)=1$ i $P_1(z)=1$, wygraną G można oszacować wg wzoru:

$$G_{max} = \sum_{i=1}^{I} B_i * L_i \qquad (3.1.16)$$

Ponieważ przed rozpoczeciem powyższych rozważań założyliśmy tylko nieograniczoną ilość środków zwalczania, zatem względna wygrana podsystemu zwalczania przyjmie postać:

$$W_g = \frac{G}{G_{max}} = \chi * \exp\left\{ - \left[\frac{\delta^2}{\delta_o^2} + \frac{\mu^2}{\mu_o^2} \right] \right\} \qquad (3.1.17)$$

Aby wg tak określonej funkcji efektywności ocenić jakość podsystemu przetwarzania danych, należy przyjąć konkretne wartości μ_o, δ_o. Określenia tego można dokonać metodą ekspertów w oparciu o wyniki przeprowadzonych ćwiczeń, gier wojennych, lub

na podstawie badań symulacyjnych. Należy zauważyć, że od dokładności określenia położenia obiektów bardzo silnie zależy ilość fałszywych torów, spowodowana nie skojarzeniem informacji dotyczących jednego obiektu powietrznego, a dostarczanych ze źródeł informacji radiolokacyjnej. Współczynnik zobrazowania χ jest również mocno uzależniony od dokładności śledzenia celów, ponieważ przy małej względnej odległości (ale możliwej do rozróżnienia) między różnymi obiektami, może dojść do ich skojarzenia. Rezultatem tego będzie mniejsza wiarygodność odwzorowania rzeczywistej liczby celów.

Zaprezentowane podejście do zagadnienia oceny efektywności podsystemu zwalczania w powiązaniu ze wskaźnikami charakteryzującymi podsystem przetwarzania informacji radiolokacyjnej, zostało przedstawione w celu wykazania że przy funkcji efektywności opisanej wzorem (3.1.4), istnego znaczenia nabiera wskaźnik określający dokładność określania położenia obiektów w obserwowanej przestrzeni powietrznej. Poczynione założenie o nieograniczonej ilości środków zwalczania pozwoliło wykryć wpływ tego wskaźnika na efektywność systemu OP.

Kolejnym etapem rozważań jest wykazanie jakie elementy opracowywanej informacji radiolokacyjnej mają wpływ na podsystem kierowania ogniem.

Wartość drugiego członu wyrażenia (3.1.2), tzn efektywność podsystemu kierowania E_{SK} systemu OP, wyliczyć można wg następującego wzoru:

$$E_{SK} = P_o * \prod_{i=1}^{I} \left(P_i * W * \left(\frac{1}{J} * \sum_{j=1}^{J} P_{zj} * P_{uj} \right) \right) \qquad (3.1.18)$$

gdzie:

P_o - prawdopodobieństwo charakteryzujące sprawność systemu OP,

P_i - prawdopodobieństwo realizacji zadania cząstkowego w wymaganym czasie,

W - wskaźnik charakteryzujący poprawność podejmowanych decyzji,

J - ilość pododdziałów OP (kanałów celowania),

P_{zj} - prawdopodobieństwo wskazania celu j-temu pododdziałowi w wymaganym czasie,

P_{uj} - prawdopodobieństwo uchwycenia celu wskazanego do

zwalczania, przez j-ty pododdział OP.

Wartości prawdopodobieństw P_o, P_i nie zależą od jakości dostarczanej, przez podsystem przetwarzania, informacji radiolokacyjnej, lecz od czynników technicznych i organizacyjnych (m.in gotowości bojowej, wyszkolenia załóg) przyjętych w systemie OP. Ponieważ interesuje nas wpływ jakości podsystemu przetwarzania informacji na efektywność kierowania OP, zatem przeanalizujemy prawdopodobieństwa P_{zj}, P_{uj}, W, których wartości zależą od parametrów dostarczonej, przez RPPD, informacji o sytuacji powietrznej. Przyjmijmy podobnie jak poprzednio założenie, że wszystkie aktywne środki zwalczania są w ciągłej gotowości, a więc zapotrzebowanie na informację radiolokacyjną z podsystemu przetwarzania jest maksymalne. Przy tym najmniej korzystnym założeniu możemy sprawdzić czy podsystem przetwarzania spełni wymagania, tzn czy jest w stanie zabezpieczyć informatycznie system OP.

Przyjmując zatem że $P_o=1, P_i=1$, wartość E_{SK} z wzoru (3.1.18) zależy tylko od P_{zj}, P_{uj}, W.

Prawdopodobieństwo P_{zj} ściśle łączy się z ilością opracowanej informacji w wymaganym czasie. $P_{zj}=1$, jeżeli podsystem przetwarzania jest w stanie opracować informację, w określonym cyklu czasowym (2 - 6 sek), o nalocie którego liczność jest conajmniej równa ilości kanałów celowania. Oznacza to , że w czasie trwania cyklu obliczeniowego wszystkie (tzn J) pododdziały OP otrzymują opracowaną informację o obiekcie powietrznym. Innymi słowy istnieje pełne zabezpieczenie informatyczne wszystkich J pododdziałów OP.

Ilość opracowanej informacji w wymaganym czasie zależy bezpośrednio od czasu przetwarzania informacji o jednym obiekcie, a to z kolei zależy od czasu realizacji algorytmów obliczeniowych.

Wartość prawdopodobieństwa P_{uj} zależy od wiarygodności, dokładności, wydawanej przez podsystem informacji radiolokacyjnej. Im większa dokładność opracowanej informacji, tym większa wartość prawdopodobieństwa P_{uj}.

Wskaźnik poprawności podejmowanych decyzji W zależy m.in. od poziomu wyszkolenia, doświadczenia i dyspozycji dowódcy, a także od ogólnie rozumianej jakości dostarczonej mu informacji o sytuacji powietrznej.

Gorsze jakościowo decyzje podejmuje dowódca w przypadku otrzymania:

- informacji o celach powietrznych w rzeczywistości nie istniejących, ponieważ może wydzielić środki na ich zwalczanie, pomijając inne rzeczywiście istniejące,
- błędnych danych o położeniu i parametrach lotu (prędkości, kursie) obiektów powietrznych, ponieważ źle oceni stopień zagrożenia,
- zbyt późno potrzebnych mu informacji, ponieważ nie będzie dysponował czasem na odpowiednią ich analizę i ocenę,
- niepełnych informacji o sytuacji powietrznej, ponieważ w takim przypadku działa intuicyjnie co zwiększa ryzyko popełnienia błędu.

Na poprawienie wskaźnika W ma wpływ:

- dostarczanie dowódcy opracowanej informacji w odpowiednim czasie,
- wysoka jakość przetworzonej informacji radiolokacyjnej, a mianowicie: a) wiarygodna informacja o ilości celów,
  b) dokładne dane o położeniu obiektów powietrznych,
  c) precyzyjne wyliczone parametry i charakterystyki torów lotu obiektów powietrznych (kurs, skład, itp)
- prawidłowo zobrazowana i zestawiona końcowa informacja zbiorcza z możliwością selektywnego wyboru.

W oparciu o przeprowadzoną analizę wpływu jakości radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania danych na efektywność działania systemu OP, można stwierdzić, że wpływ ten odzwierciedla się poprzez oddziaływanie na podsystem kierowania i podsystem zwalczania (aktywnych środków walki) OP. Generalnie na efektywność wymienionych podsystemów ma wpływ wiele czynników, w tym również zabezpieczenie informatyczne, które realizuje RPPD. Parametry informacji dostarczanej przez RPPD mające wpływ na podsysytemy kierowania i zwalczania to przede wszystkim:

- czas dostarczenia opracowanej informacji od momentu wykrycia nalotu,
- wiarygodność określenia liczby obiektów,
- dokładność określenia położenia obiektów powietrznych,
- ciągłość dostarczania opracowanej informacji o nalocie.

Oprócz wymienionych czynników, na podsystem kierowania aktywnymi środkami walki ma również wpływ jakość pracy dowódcy i załogi. Czas dostarczania przez RPPD opracowanej informacji łączy się ściśle z czasem przetwarzania określonej porcji informacji radiolokacyjnej (o jednym obiekcie). Wartość tego czasu decyduje o operatywności i sprawności posystemu, a zależy przede wszystkim od parametrów techniczno-eksploatacyjnych zastosowanego do obliczeń komputera (szybkości przetwarzania), oraz od szeroko rozumianej jakości oprogramowania systemowego i użytkowego. Aktualnie dostępne i stosowane w zautomatyzowanych systemach dowodzenia, maszyny cyfrowe, mają zbliżoną szybkość obliczeń (rzędu kilkuset tysięcy operacji na sekundę), a różnice polegają w zasadzie na wielkości pamięci operacyjnej i długości słowa maszynowego. Z doświadczeń autora wynika, że decydujący wpływ na czas przetwarzania ma jakość zastosowanych algorytmów i metod obliczeniowych, oraz sposób ich oprogramowania. Najlepszą metodą skracania czasu przetwarzania jest optymalizacja algorytmów i ich oprogramowania, co w efekcie końcowym łączy się nierozerwalnie z ilością i jakością przetwarzanej informacji. Wiarygodność dostarczonej przez RPPD liczby obiektów w obserwowanej przestrzeni powietrznej ściśle łączy się z zastosowaną metodą kojarzenia i utożsamiania. Im większa liczba obiektów fałszywych, tym mniejsza wiarygodność opracowywanej informacji. Ponieważ w procesie kojarzenia porównywane są współrzędne położenia obiektów powietrznych , zatem wiarygodność informacji o liczbie obiektów będzie w dużej mierze zależała od dokładności określania tych współrzędnych. Szybkie i dokładne określenie położenia celu powietrznego pozwala na szybsze uruchomienie aktywnych środków walki, co skraca czas reakcji systemu OP, a tym samym poprawia jego efektywność. Tak więc dokładność określania położenia ma wpływ na wiele czynników podwyższających efektywność systemu OP.

Ciągłość pracy RPPD będzie uzależniona przede wszystkim od niezawodności działania; zastosowanych urządzeń technicznych, załóg eksploatacyjnych oraz oprogramowania zainstalowanego w komputerach. Niezawodność działania zastosowanego w RPPD zestawu urządzeń technicznych, zależy od niezawodności poszczególnych elementów składowych (pojedynczych urządzeń), oraz od przyjętych rozwiązań strukturalnych całego kompleksu i od

przyjętych metod zabezpieczeń. Niezawodność pracy załóg bojowych obsługujących obiekty ZSD zależy od wielu czynników, m.in od stopnia wyszkolenia, warunków pracy, morale itp. Ocena niezawodności oprogramowania zastosowanego w RPPD jest problemem bardzo złożonym, ponieważ oprogramowanie nie posiada cech psycho-osobowych, ani cech charakterystycznych dla urządzeń technicznych, lecz jest tworem specyficznego rodzaju. Ocenie niezawodności działania tych elementów radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania danych, poświęcony został czwarty rozdział niniejszej pracy.

Rozważania przeprowadzone powyżej wykazały, że twórca (projektant, realizator) zautomatyzowanego systemu dowodzenia obrony powietrznej powinien skupić wysiłek przede wszystkim na realizacji radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania danych, nie zapominając oczywiście o takich problemach jak radiolokacyjna sieć wykrywania i system łączniści.

Działanie RPPD zasadniczo zależy przyjętych rozwiązań strukturalnych i matematycznych.

Jakość RPPD w decydujący sposób wpływa na efektywność działania podsystemu kierowania i podsystemu zwalczania, a tym samym na efektywność zautomatyzowanego systemu obrony powietrznej.

W następnych rozdziałach przedstawione zostaną, przetestowane w warunkach rzeczywistych, metody które zdaniem autora poprawią wskaźniki jakościowe RPPD, tym samym efektywność systemu OP.

3.2. Podstawowe problemy opracowywania informacji radiolokacyjnej.

Każdy zautomatyzowany system dowodzenia obrony powietrznej otrzymuje (jest zasilany w) informacje o sytuacji powietrznej z rozmieszczonych w terenie źródeł informacji. Źródłami informacji mogą być stacje radiolokacyjne (posterunki radiotechniczne), lub elementy systemu. Przez elementy systemu należy rozumieć obiekty należące do struktur zautomatyzowanych systemów OP, które zostały zainstalowane na niższych, równorzędnych lub wyższych szczeblach dowodzenia. Przykładowo w wojskach OPL na szczeblu taktycznym (ZWD-10 w PDOPL pz/pcz) źródłami informacji są: własna SRL typu NUR-21, obiekt typu MP-22 lub DP-10R znajdujący się na PD OPL ZT, oraz opcjonalnie obiekt MP-25. Schemat tej struktury przekazywania informacji został przedstawiony na rys 3.2.1. Na szczeblu operacyjnym (CRI A/F) informacja o sytuacji powietrznej dostarczana jest z obiektów stanowiących wyposażenie PD OP ZT, CRI sąsiednich armii, oraz SD KOPK.

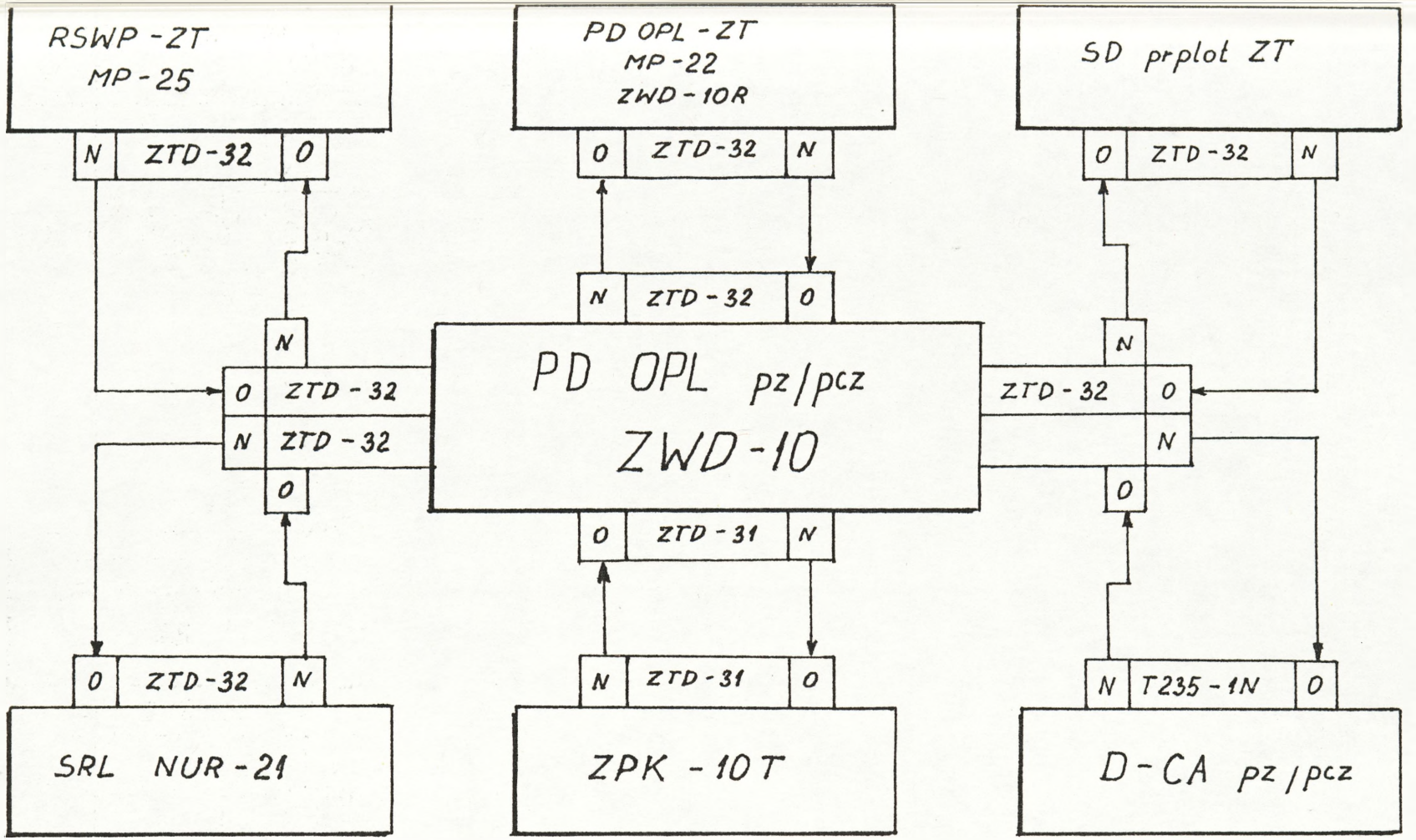
Każde źródło informacji (ZI) nie będące SRL, posiada środki rozpoznania typu stacje radiolokacyjne, na bazie których realizuje śledzenie obiektów znajdujących się w obserwowanej przestrzeni powietrznej. Pierwszym etapem przetwarzania informacji radiolokacyjnej przez ZSD OP jest proces kojarzenia meldunków o obiektach, dostarczonych z SRL lub innych źródeł. Pola radioloacyjne poszczególnych SRL nakładają się wzajemnie tworząc strefę pokrycia radiolokacyjnego. Każda stacja przesyła meldunki o K wykrytych celach, przy czym dla każdej z nich wartość K może być różna. Jest to logiczne, ponieważ obiekt powietrzny obserwowany przez jedną SRL może być niewidoczny dla innej SRL. Ilość meldunków dostarczonych do kojarzenia przez podległe SRL i inne współpracujące obiekty, można wyliczyć wg wzoru:

$$I = \sum_{l=1}^{L} K_l \qquad (3.2.1)$$

gdzie: L - liczba źrodeł informacji o sytuacji powietrznej,

K_l - liczba meldunków z l-tego źródła.

Ponieważ występuje częściowe pokrywanie się stref obserwacji,



Rys. 3.21 SCHEMAT STRUKTURY POŁĄCZEŃ INFORMACYJNYCH WOZU ZWD - 10 (PD OP pz/pcz)

zatem w zbiorze meldunków znajdują się takie, które dotyczą jednego obiektu. Meldunki te mogą i zazwyczaj różnią się między sobą, a spowodowane jest to błędami:

- wysterowania stacji radiolokacyjnych,
- określania położenia obiektów powietrznych przez poposzczególne SRL,
- przeliczania współrzędnych (transformacji) do bazowego układu odniesienia,
- przeliczenia do wspólnego, dla wszystkich meldunków, momentu czasu.

W punkcie obróbki zbiorczej, np CRI, realizuje się utożsamianie meldunków. W procesie tym realizuje się;

- podzielenie meldunków na grupy i przyporządkowanie ich odpowiednim celom,
- określenie rzeczywistej liczby celów znajdujących się w obserwowanej przestrzeni powietrznej,
- wypracowanie dla każdego obiektu powietrznego, uogólnionego meldunku w którym będą zawarte następujące informacje: a) numer systemowy obiektu,
  b) współrzędne położenia obiektu w bazowym układzie odniesienia,
  c) składowe prędkości lotu obiektu powietrznego,
  d) wysokość lotu.

W meldunku uogólnionym mogą znajdować się również informacje dotyczące składu, typu przynależności itp.

Meldunki przysłane z ZI do punktu obróbki zbiorczej mogą być utożsamione jeżeli dotyczą jednego obiektu, tzn gdy są tożsamościowo równe. Ponieważ tak nie jest, bo występują błędy wymienione wcześniej, określa się dopuszczalną różnicę między dwoma meldunkami dotyczącymi jednego obiektu powietrznego. Różnica ta jest określana dla wszystkich składowych meldunków. Przyjmując że meldunki z ZI zawierają M składowych, warunek na to że dwa meldunki k, l dotyczą tego samego obiektu powietrznego ma postać:

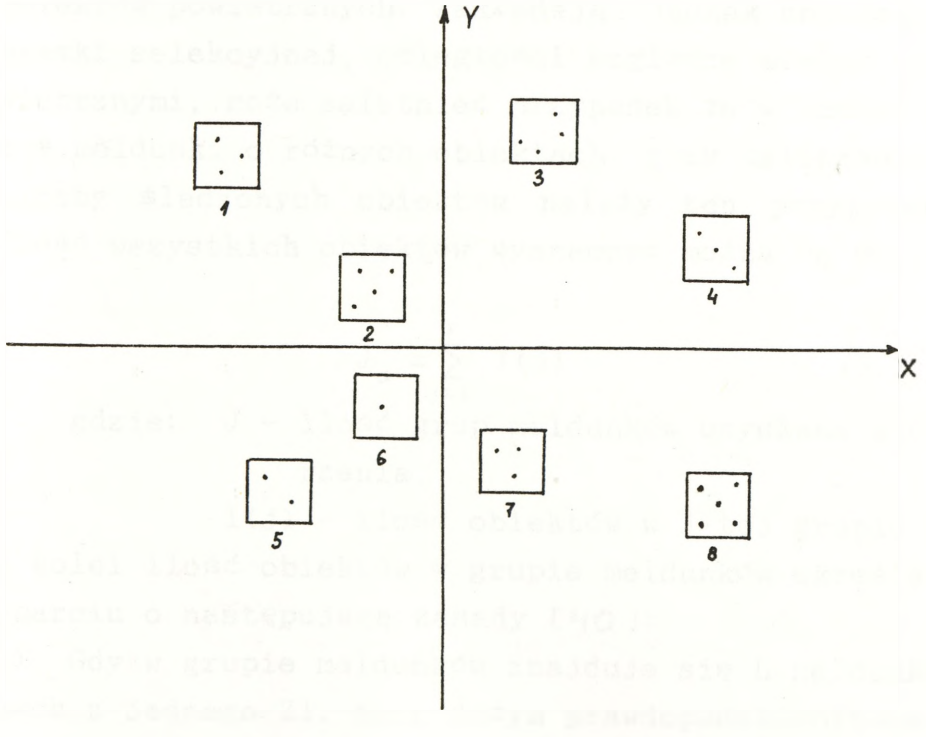
$$\bigwedge_{m=1,M} |S(k,m) - S(l,m)| \leq \Delta_{dop}(m) \qquad (3.2.2)$$

gdzie: $\Delta_{dop}(m)$ - dopuszczalna różnica składowej m.

Jeżeli co najmniej jedna składowa meldunków z ZI nie spełnia powyższego warunku, to należy przyjąć że dwa analizowane mel-

dunki nie mogą być utożsamione i są traktowane jako meldunki o dwóch różnych obiektach powietrznych.

Określenie wartości dopuszczalnych $\Delta_{dop}(m)$ jest zagadnieniem złożonym. Zwiększenie wartości $\Delta_{dop}(m)$ może spowodować utożsamienie dwóch meldunków o różnych obiektach, w jeden meldunek uogólniony, co spowoduje zmniejszenie liczby odwzorowywanych obiektów w stosunku do ich rzeczywistej ilości. Zmniejszenie natomiast $\Delta_{dop}(m)$ spowoduje nie utożsamienie meldunków o tym samym obiekcie, co w rezultacie prowadzi do wygenerowania fałszywej (w tym przypadku większej niż rzeczywista) ilości odwzorowywanych obiektów powietrznych. Określenie optymalnych wartości $\Delta_{dop}(m)$ jest konieczne w celu wyznaczenia tzw bramki selekcyjnej. Po wyznaczeniu wymiarów bramki, utożsamienie dwóch meldunków polega na tym, że wokół jednego wybranego i traktowanego jako wzorcowy, tworzy się obszar wielkości bramki, a następnie sprawdza czy drugi z utożsamianych meldunków mieści się w tym obszarze. W taki sposób należy postąpić ze wszystkimi meldunkami jakie zostały dostarczone do punktu obróbki zbiorczej z podległych ZI, aby w wyniku otrzymać grupy meldunków. Efekt podziału meldunków na grupy przedstawiono na Rys.3.2.2.



Rys.3.2.2. Podział meldunków z ZI na grupy.

W praktyce podział meldunków na grupy należy dokonać nie tylko w oparciu o współrzędne prostokątne płaskie X, Y, lecz również wysokość H. Jest to metoda zgrubnego utożsamiania (kojarzenia). Idealną, dla procesu utożsamiania, byłaby sytuacja w której informacje o jednym obiekcie uzyskane z różnych ZI byłyby identyczne. Grupowanie meldunków przy pomocy bramki selekcyjnej jest poniekąd złem koniecznym, ponieważ zawsze łączy się z ryzykiem zmniejszenia lub zwiększenia liczby śledzonych obiektów powietrznych. Złe utożsamienie meldunków powoduje w rezultacie błędne wyliczenie uogólnionych parametrów śledzonych obiektów. Wyboru meldunku wzorcowego, wokół którego tworzy się bramkę selekcyjną, dokonuje się w oparciu o charakterystykę ZI, które wysyła ten meldunek. Za wzorcowy należy uznać meldunek z takiego ZI, które charakteryzuje się najlepszymi parametrami wykrywania, ciągłości i dokładności śledzenia. Po zakończeniu utożsamiania zgrubnego, radiolokacyjny podsystem przetwarzania danych realizuje etap uogólniania meldunków.

Pierwszym i bardzo istotnym z rozwiązywanych problemów jest określenie rzeczywistej ilości obiektów powietrznych. Teoretycznie ilość grup meldunków powinna być równa ilości obiektów powietrznych. Zakładając jednak mniejsze, niż wymiary bramki selekcyjnej, odległości względne między obiektami powietrznymi, może zaistnieć przypadek że w jednej grupie znajdą się meldunki o różnych obiektach. Przy wyliczaniu rzeczywistej liczby śledzonych obiektów należy ten przypadek uwzględnić. Ilość wszystkich obiektów wyznaczyć można wg wzoru:

$$J_o = \sum_{j=1}^{J} I(j) \qquad (3.2.3)$$

gdzie: J - ilość grup meldunków uzyskana w efekcie kojarzenia,

I(j) - ilość obiektów w j-tej grupie meldunków.

Z kolei ilość obiektów w grupie meldunków określać należy w oparciu o następujące zasady [40]:

1). Gdy w grupie meldunków znajduje się L meldunków przysłanych z jednego ZI, to z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że każdy dotyczy innego obiektu, a zatem ilość obiektów w grupie I(j)=L.

2). Jeżeli w grupie meldunków znajdują się meldunki z których każdy przysłany jest z inneg ZI, to można stwierdzić, że dotyczą one tylko jednego obiektu powietrznego, a zatem I(j)=1.
3). W przypadku gdy z każdego ZI przysłana jest jednakowa ilość meldunków i wszystkie one znajdują się w jednej grupie, to należy przyjąć, że ilość obiektów I(j) jest równa ilości meldunków przysłanych z jednego ZI.
4). Jeżeli w grupie znalazły się meldunki uzyskane z ZI w różnej ilości, to można przyjąć że I(j) jest równa ilości meldunków z ZI, z którego przyjęto ich najwięcej.
Pomimo stosowania zasad i metod postępowania opisanych powyżej w praktyce spotyka się przypadki błędnego utożsamiania meldunków radiolokacyjnych i w rezultacie błędnego opracowywania meldunków uogólnionych.

Jak już wspomniano wcześniej najkorzystniejszą sytuacją jest ta, w której meldunki o jednym celu uzyskane z różnych ZI pokrywałyby się. Tak nie jest i dlatego należy skupić uwagę na tym aby różnice między meldunkami o tym samym obiekcie maksymalnie zmniejszyć. Jest to jeden z zasadniczych problemów który należy rozwiązać przy realizacji zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego. Ponieważ twórca tego systemu nie ma wpływu na wartości parametrów technicznych SRL, zatem powinien zwrócić uwagę na zagadnienie kompensacji błędów systematycznych popełnianych przez SRL, oraz na problem zwiększenia dokładności transformacji współrzędnych prostokątnych obiektu do jednego, wspólnego dla całego systemu, bazowego układu odniesienia. Przy większej dokładności określania położenia obiektów powietrznych, wymiary bramki selekcyjnej mogą być mniejsze, a zatem mniejsze będzie prawdopodobieństwo utożsamienia meldunków o celach blisko lecących, oraz szybsze rozdzielenie celu grupowego w przypadku jego "rozchodzenia się". Ma to kapitalne znaczenie przy określaniu iości śNP biorących udział w nalocie.

3.2.1. Proces uogólniania meldunków głównym etapem przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

W procesie opracowywania informacji radiolokacyjnej, po etapie utożsamiania meldunków, jest realizowany proces uogólninia grupy meldunków dotyczących jednego celu w jeden, tzw uogólniony meldunek. Meldunki uogólnione są podstawą do dalszego przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej, które obejmuje zobrazowanie sytuacji powietrznej, rozdział celów, powiadamianie itp. W trakcie uogólniania zbiór informacji dotyczących jednego celu jest zastąpiony jednym meldunkiem zawierającym uogólnione informacje o położeniu, wysokości, przynależności, składzie, prędkości i kursie obiektu.

Literatura przedmiotu [11], [32] podaje kilka metod uogólniania meldunków radiolokacyjnych, przy czym każda z nich posiada określone zalety i wady. Zadaniem twórcy radiolokacyjnego podsysytemu przetwarzania danych jest opracowanie lub wybranie takiej metody uogólniania meldunków, która pozwoli najwierniej odwzorować rzeczywiste parametry torów lotu śledzonych obiektów powietrznych, w określonych warunkach działania systemu.

Poniżej przedstawiona została analiza metod uogólniania, pod kątem ich zastosowania w zautomatyzowanym systemie dowodzenia szczebla taktycznego.

W przypadku gdy dostarczane są informacje od SRL posiadających różne parametry techniczne, wówczas stosować można metodę średniowagowych, z uprzywilejowaniem najdokładniejszego źródła. Dowolny parametr uogólniony $P_{ug}(k)$ obliczany jest wówczas wg następującej reguły:

$$P_{ug}(k) = P_o(k) + \frac{\sum_{n=1}^{N} (P_o(k) - P(k,n)) * W(k,n)}{\sum_{n=1}^{N} W(k,n)} \qquad (3.2.4)$$

gdzie: $P_o(k)$ - wartość parametru k wg najdokładniejszego źródła,

N - ilość źródeł informacji radiolokacyjnej,

P(k,n) - wartość parametru k uzyskana z n-tego źródła (SRL),

$W(k,n) = \frac{\delta^2(k,n)}{\delta_o^2(k)}$ - współczynnik wagowy k-tego parametru uzyskanego z n-tego ZI,

$\delta^2(k,n)$ - błąd średniokwadratowy k-tego parametru z n-tego źródła,

$\delta_o^2(k)$ - błąd średniokwadratowy k-tego parametru z najdokładniejszego ZI.

Metoda ta jest korzystna do zastosowania wtedy gdy z całą pewnością można wyznaczyć najdokładniejsze źródło informacji. Ryzyko jakie łączy się z zastosowaniem tej metody jest spowodowane tym, że w czasie pracy wybrany reprezentant może stracić swoje walory jakościowe na skutek np. uszkodzeń, zakłóceń, itp. W takiej sytuacji uogólnione parametry będą zawsze wyliczane z pewnym błędem.

Modyfikacją metody średniowagowych z wybranym reprezentantem jest metoda średniowagowych, przy założeniu że nie można wyznaczyć źródła o współczynniku wagowym równym jedności. Wg zmodyfikowanej metody średniowagowych, uogólnione parametry toru lotu obiektów powietrznych wyznacza się wg następującej zasady:

$$P_{ug}(k) = \frac{\sum_{n=1}^{N} P(k,n)*W(k,n)}{\sum_{n=1}^{N} W(k,n)} \qquad (3.2.5)$$

gdzie: N - liczba źródeł z których dostarczane są meldunki

W(k,n) - współczynnik wagowy k-tego parametru z n-tego ZI, obliczany wg wzoru:

$$W(k,n) = \frac{1}{2\delta^2(k,n)} \qquad (3.2.5.1)$$

$\delta^2(k,n)$ - jak we wzorze (3.2.4).

Stosowanie metod średniowagowych jest uciążliwe, ponieważ wymaga przeprowadzenia wielu złożonych obliczeń, które wydłużają czas opracowania informacji radiolokacyjnej.

Stosowanie omówionych powyżej metod uogólniania jest celowe tylko wówczas gdy występują duże różnice między wiarygodnością poszczególnych źródeł.

W przypadku gdy wszystkie źródła informacji są jakościowo równe, tzn ich współczynniki są jednakowe, stosować można do

uogólniania metodę średniej arytmetycznej. Wg tej metody uogólniony parametr toru lotu wylicza się wg zależności:

$$P_{ug}(k) = \frac{\sum_{n=1} P(k,n)}{N} \qquad (3.2.6)$$

Przy zastosowaniu tej metody błąd średniokwadratowy parametru uogólnionego będzie N-razy mniejszy niż błąd jakim jest obarczony meldunek. Przy spełnieniu określonych wyżej warunków, metoda średnich arytmetycznych jest prosta i łatwa do realizacji w technice cyfrowej. W rzeczywistości wiarygodność ZI dostarczających informację o sytuacji powietrznej jest różna i dlatego stosowanie tej metody nie stanowi idealnego rozwiązania.

Kolejną metodą uogólniania, możliwą do zastosowania w punkcie obróbki informacj radiolokacyjnej, jest metoda uprzywilejowania czasowego. Polega ona na traktowaniu ostatniego z meldunków, przysłanych z ZI i dotyczących jednego obiektu powietrznego, jako meldunku uogólnionego. Przy zastosowaniu tej metody przyjmowane jest założenie, że ostatnio przysłany meldunek zawiera najbardziej wiarygodną informację. Wartość parametrów uogólnionych wyznacza się wówczas wg zależności:

$$P_{ug}(k) = P(k,n^*) \mid \Delta t(n^*) = \min\{\Delta t(n)\} \qquad (3.2.7)$$

gdzie: $n = 1,N$ - numer meldunku,

$\Delta t(n)$ - różnica czasu między momentem uogólniania, a momentem przysłania n-tego meldunku.

Metoda ta nie zmniejsza błędów średniokwadratowych, ani nie uśrednia wartości parametrów z meldunków. Wykorzystanie tej metody jest celowe w przypadku gdy obiekty powietrzne wykonują manewry, ponieważ daje największą dokładność uogólniania. W takiej sytuacji błędy przypadkowe parametrów uogólnionych są błędami jednego źródła informacji.

Aby możliwe było przetwarzanie meldunków radiolokacyjnych muszą być one sprowadzone do wspólnego czasu, ponieważ tylko wtedy można porównywać i uogólniać parametry. Realizowane jest to metodą ekstrapolacji położenia obiektu powietrznego na określony moment czasowy.

Każdy meldunek ze SRL obarczony jest błędem przypadkowym. Kurs obiektu powietrznego liczony na podstawie kolejnych meldunków może wykazywać duże zmiany, co uniemożliwi prawidłowe

kojarzenie i uogólnianie. Aby temu zapobiec należy realizować gładzenie parametrów toru lotu obiektu powietrznego stosując metodę estymacji. Przedstawiona metoda realizuje estymację dwóch parametrów: kursu (Q) i prędkości (V) obiektu powietrznego. Przy pomocy tych dwóch parametrów łatwo można określić aktualne położenie celu, oraz wykryć ewentualny manewr. Przystępując do opisu metody estymacji należy przyjąć oznaczenia:

t_n - kolejny, n-ty moment przysłania meldunku o położeniu obiektu, rozumiany również jako chwila n-tego pomiaru, korekty.

Q_n, V_n - parametry: kurs i prędkość, obliczane po n-tej korekcie,

$\bar{Q}_n$, $\bar{V}_n$ - estymowane wartości parametrów Q i V po n-tej korekcie, niezmienne do momentu następnego pomiaru.

Rzeczywiste położenie oraz kurs i prędkość obiektu powietrznego oblicza się na podstawie uzyskanych ze stacji informacji, oraz poprzednich, z chwili t_{n-1}, wartości tych parametrów. Uwzględniana jest dzięki temu "historyczność" trajektorii. Analiza wykazała, że zależność parametrów określonych po n-tej korekcie maleje wykładniczo ze zwiększeniem przedziału czasu, od wartości obliczonych wcześniej. Metoda estymacji musi uwzględniać fakt, że wcześniejsze wartości parametrów są brane do obliczeń z wagami malejącymi według rozkładu wykładniczego. Spełnienie tego warunku będzie zrealizowane, jeżeli parametry $\bar{Q}_n$ i $\bar{V}_n$ będą obliczane wg wzorów:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_n &= (1 - \xi) * Q_n + \xi * \bar{Q}_{n-1} \\ \bar{V}_n &= (1 - \gamma) * V_n + \gamma * \bar{V}_{n-1} \end{aligned} \qquad (3.2.8)$$

gdzie ξ, γ - wartości stałe.

Wzór powyższy można, w celu lepszego zrozumienia idei estymacji, rozpisać następująco:

$$\begin{aligned} \bar{Q}_n &= (1 - \xi)Q_n + \xi(1-\xi)Q_{n-1} + \xi^2(1-\xi)Q_{n-2} + \ldots + \\ &+ \xi^n(1-\xi)Q_o = \sum_{i=0}^{n} \eta(i)Q_i \\ \bar{V}_n &= \sum_{i=0}^{n} \beta(i)V_i \end{aligned} \qquad (3.2.9)$$

gdzie: $\eta(i) = (1-\xi)\xi^i$, $\beta(i) = (1-\gamma)\gamma^i$.

Po analizie wzoru (3.2.9) można zauważyć że od wartości ξ zależy waga wcześniej obliczonych wartości parametrów. Im mniejsza wartość ξ, tym mniejsze znaczenie parametrów obliczonych wcześniej, a im większa, tym większą wagę przywiązuje się do historyczności toru. Wniosek z tych rozważań jest następujący: większa wartość współczynników ξ, γ powinna być stosowana przy estymacji parametrów Q, V obiektów niemanewrujących, natomiast mniejsza dla obiektów manewrujących. Przy estymacji parametrów ruchu obiektów manewrujących większą wagę przywiązywać należy do informacji dostarczonych z SRL.

Aby odpowiednio dobierać wartości współczynników estymacji potrzebna jest znajomość istnienia manewru obiektu powietrznego. W celu wykrycia manewru obliczyć należy średnie przyrosty kursu i prędkości wg następujących wzorów:

$$\Delta\bar{Q}_n = \frac{1}{2}(\Delta Q_n + \Delta Q_{n-1})$$
$$\Delta\bar{V}_n = \frac{1}{2}(\Delta V_n + \Delta V_{n-1}) \qquad (3.2.10)$$

Można przyjąć że obiekt manewruje kursem jeżeli:

$$(\Delta\bar{Q}_n)^2 \geq 0{,}5\delta_Q^2 \qquad (3.2.11)$$

natomiast prędkością jeżeli:

$$(\Delta\bar{V}_n)^2 \geq 0{,}5\delta_V^2 \qquad (3.2.12)$$

W przypadku gdy warunki te nie są spełnione, można przyjąć że obiekt nie wykonuje żadnego manewru. Wielkości δ_Q^2, δ_V^2 oznaczają wariancję błędu określania kursu i prędkości na podstawie pomiarów. Ich wartości liczbowe określić można wg wzorów:

$$\delta_V^2 = \frac{2\delta^2}{(dt_n)^2}$$
$$\delta_Q^2 = \frac{2\delta^2}{l_n^2} \qquad (3.2.13)$$

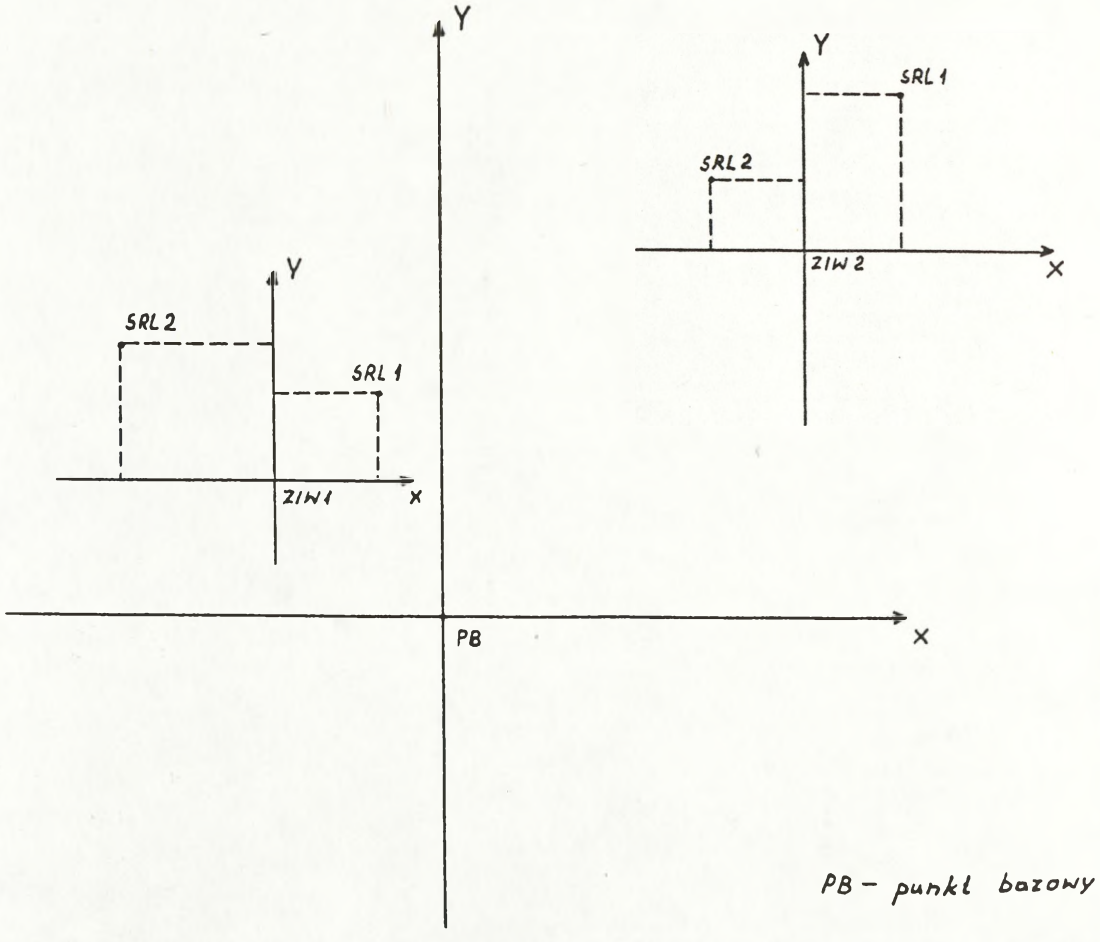
gdzie: dt_n - odcinek czasu między n i n-1 pomiarem,

l_n - droga jaką przebył obiekt w przedziale czasu dt_n.

Jak już stwierdzono wcześniej wykrycie manewru było konieczne w celu określenia wartości współczynników ξ i γ. W praktyce przyjąć należy: dla obiektu manewrującego: ξ = γ = 0.1, a dla obiektu niemanewrującego: ξ = γ = 0.4. Mając określone współczynniki estymacji wartości estmowane $\bar{Q}$, $\bar{V}$ obliczać należy wg wzoru (3.2.8).

W trakcie opracowywania informacji radiolokacyjnej w

punkcie obróbki zbiorczej, dokonać należy transformacji współrzędnych położenia obiektów do wspólnego układu odniesienia. Określanie położenia obiektów powietrznych w jednym układzie jest konieczne w sytuacji podejmowania decyzji o zwalczaniu tych obiektów, lub przekazywania o nich informacji. Przyjęcie jednego, bazowego punktu odniesienia, pozwala odwzorować sytuację powietrzną w sposób jednoznaczny i przejrzysty. PD/SD OP muszą mieć tak opracowaną informację, aby skutecznie koordynować walkę z przeciwnikiem powietrznym. Przy przeliczaniu współrzędnych, największym problemem jest przeliczenie współrzędnych topograficznych, oraz uwzględnienie poprawek justacyjnych. Rys 3.2.3 przedstawia graficznie problem przeliczania współrzędnych.



Rys. 3.2.3 Przeliczanie współrzędnych do jednego układu.

Wszystkie elementy zautomatyzowanego systemu rozpoznania są rozmieszczone w terenie. Do każdego ZI spływa informacja z podległych mu SRL, a z kolei ZI dostarczają informację na wyższe SD OP. W przypadku wojsk OPL obiekty stanowiące np wyposażenie PD OP pz\pcz dostarczają informację SD OPL DZ\DZmot. Do ZI może być dostarczana informacja z SRL w postaci współrzędnych biegunowych R, β obiektu wzg miejsca stania stacji. Każda SRL jest rozwijana w określonym punkcie topograficznym. Przy wyznaczaniu współrzędnych prostokątnych obiektów powietrznych w układzie ZI, należy uwzględniać wzajemne położenie topograficzne SRL i ZI. Współrzędne prostokątne obiektu powietrznego muszą być następnie przeliczone do globalnego (bazowego) układu odniesienia. Dzięki temu położenie wszystkich obiektów w obserwowanej przestrzeni jest jednoznacznie określone w jednym układzie współrzędnych. Punkt bazowy również musi mieć określone położenie topograficzne, aby możliwa była transformacja współrzędnych. Ze względów bezpieczeństwa należy przyjąć że punkt obróbki zbiorczej i punkt bazowy nie pokrywają się. Generalnie problem przeliczania współrzędnych polega na wyznaczeniu współrzędnych prostokątnych obiektu w bazowym układzie odniesienia, na bazie współrzędnych przysłanych ze SRL. Dodatkowa trudność przy przeliczaniu współrzędnych jest spowodowana tym, że obiekty współpracujące, tzn SRL, inne ZI, oraz punkt bazowy mogą znajdować się w różnych strefach topograficznych. Oprócz zagadnienia różnych stref, występuje również problem uwzględniania poprawek justacyjnych. Poprawki te wynikają ze skręceń wzg. siebie układów współrzędnych. Problem wynika z przyjętego założenia, że lokalny układ współrzędnych prostokątnych ZI jest zorientowany na północ topograficzną strefy w której się znajduje, a siatki topograficzne stref mają różny kąt skręcenia na różnych szerokościach geograficznych, najmniejszy na równiku wynoszący 0°, największy na biegunie wynoszący 6°. W systemach WOPK wykorzystywana jest do przekazywania położenia obiektu siatka OP-61. Z tego powodu wynikła potrzeba obliczania położenia w tej siatce, oraz atomatycznego jej kodowania wg aktualnie obowiązującego klucza. Dodatkowym utrudnieniem przy rozwiązywaniu powyższych problemów jest fakt że tylko w WOPK elementy systemu są stacjonarne, w pozostałych

rodzajach wojsk mogą być mobilne.

W kolejnych rozdziałach przedstawione zostały rozwiązania omówionych problemów.

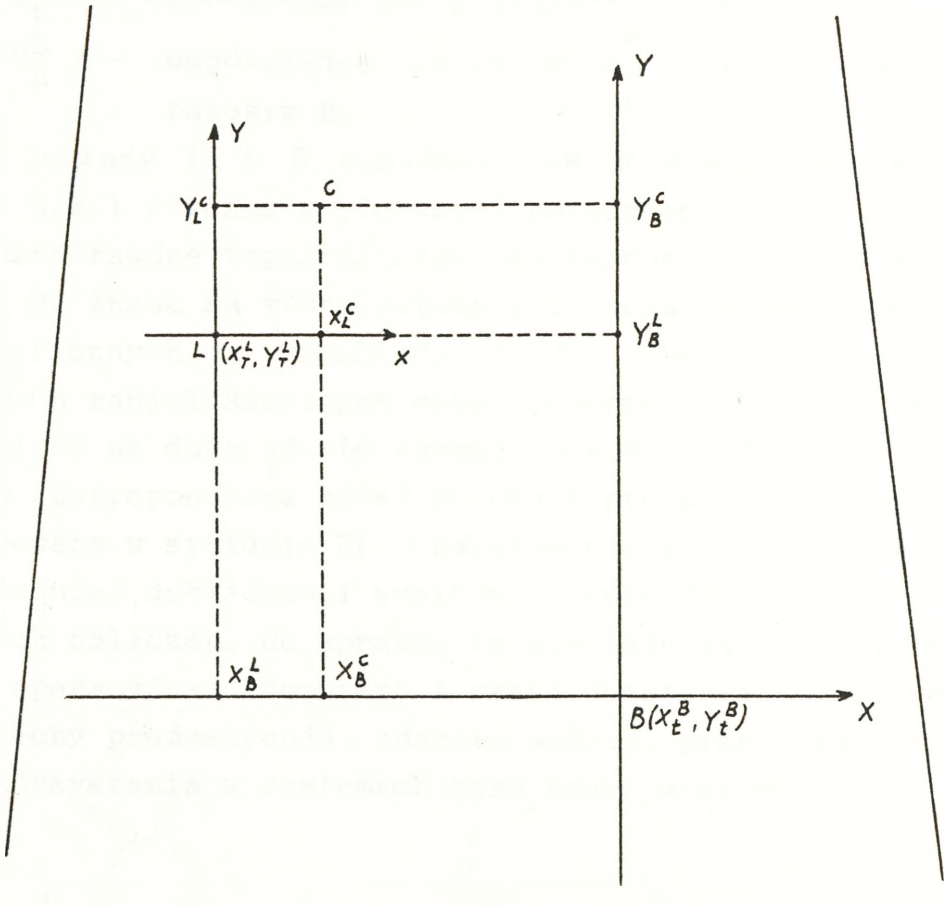
3.3. Metoda przeliczania współrzędnych obiektów powietrznych do bazowego układu odniesienia.

We współczesnych zautomatyzowanych systemach radiolokacyjnych problemom przeliczania współrzędnych, uogólniania informacji, rozdziału celów powietrznych, przekazywania i kodowania informacji należy poświęcić szczególną uwagę. Rozwiązywanie tych problemów wymaga od projektantów i realizatorów systemów wiele wysiłku. O tym, jak ważne jest szczegółowe i wszechstronne rozpracowanie różnorodnych problemów występujących w zautomatyzowanych systemach radiolokacyjnych, niech świadczy fakt, że niekiedy błędy i niedokładności w funkcjonowaniu systemu wykrywa się dopiero w czasie badań kwalifikacyjnych lub co gorsza po pewnym czasie eksploatacji. Pociąga to za sobą dodatkowe koszty i wymaga ponownego angażowania sił i środków do usunięcia zauważonych niedociągnięć.

W niniejszym podrozdziale przedstawiona została opracowana i oprogramowana na EMC metoda wyznaczania współrzędnych prostokątnych obiektu powietrznego w bazowym /globalnym/ układzie odniesienia. Metodę opracowywano i weryfikowano pod kątem minimalizacji czasu jej realizacji w komputerowej technice obliczeniowej, a także minimalizacji zajętości pamięci operacyjnej EMC.

W systemach radiolokacyjnych czasu rzeczywistego kryteria czasu realizacji programu i zajętości PAO, przy zachowaniu odpowiedniej dokładności uzyskanych wyników, są najważniejsze, ponieważ zarówno czas na przetwarzanie informacji, jak i pamięć komputera są ograniczone. Kryterium czasowe bierze się stąd, że w systemach czasu rzeczywistego w określonej jednostce czasu porcja informacji musi zostać przetworzona, a wyniki tego przetwarzenia w odpowiedniej formie - np. w formie zobrazowania na ekranie - muszą zostać przedstawione użytkownikowi. Zastosowany w prezentowanej metodzie bazowy układ odniesienia jest to układ kartezjański o osiach zorientowanych wg siatki topograficznej, oraz o zadanych współrzędnych topograficznych początku układu. W układzie takim określane są wszystkie obiekty, o których informacje (tzn. współrzędne położenia, wysokość, prędkość i inne) napływają z lokalnych układów odniesienia. Potrzeba obliczenia współrzędnych bazo-

wych wynika z konieczności określenia relacji między obiektami oraz konieczności zobrazowania tych obiektów np. na ekranie monitora. Aby można było to zrealizować, trzeba najpierw określić współrzędne prostokątne lokalnego układu odniesienia w bazowym układzie współrzędnych. Jeżeli obydwa te układy znajdują się w jednej strefie, to różnica odpowiednich współrzędnych topograficznych tych układów daje współrzędne prostokątne (rys. 3.3.1). Problem się wyraźnie komplikuje, gdy lokalny układ odniesienia znajduje się w innej strefie niż układ bazowy (rys. 3.3.2). Należy wówczas dokonać przeliczenia współrzędnych topograficznych ze strefy do strefy, oraz uwzględnić skręcenie układów względem siebie. Po określeniu współrzędnych prostokątnych układu lokalnego X_B^L, Y_B^L współrzędne obiektu w bazowym układzie odniesienia oblicza się sumując odpowiednie współrzędne prostokątne i uwzględniając ewentualne skręcenie układów względem siebie.



Rys.3.3.1. Przeliczanie współrzędnych w sytuacji gdy układy lokalny i bazowy są w jednej strefie.

Dla jednej strefy współrzędne obiektu C w bazowym układzie odniesienia B oblicza się następująco:

$$X_B^C = X_B^L + X_L^C$$
$$Y_B^C = Y_B^L + Y_L^C \qquad (3.3.1)$$

przyjmując, że:

$$X_B^L = Y_t^L - Y_t^B$$
$$Y_B^L = X_t^L - X_t^B \qquad (3.3.2)$$

/ X_B^C , Y_B^C / - współrzędne obiektu w układzie bazowym B

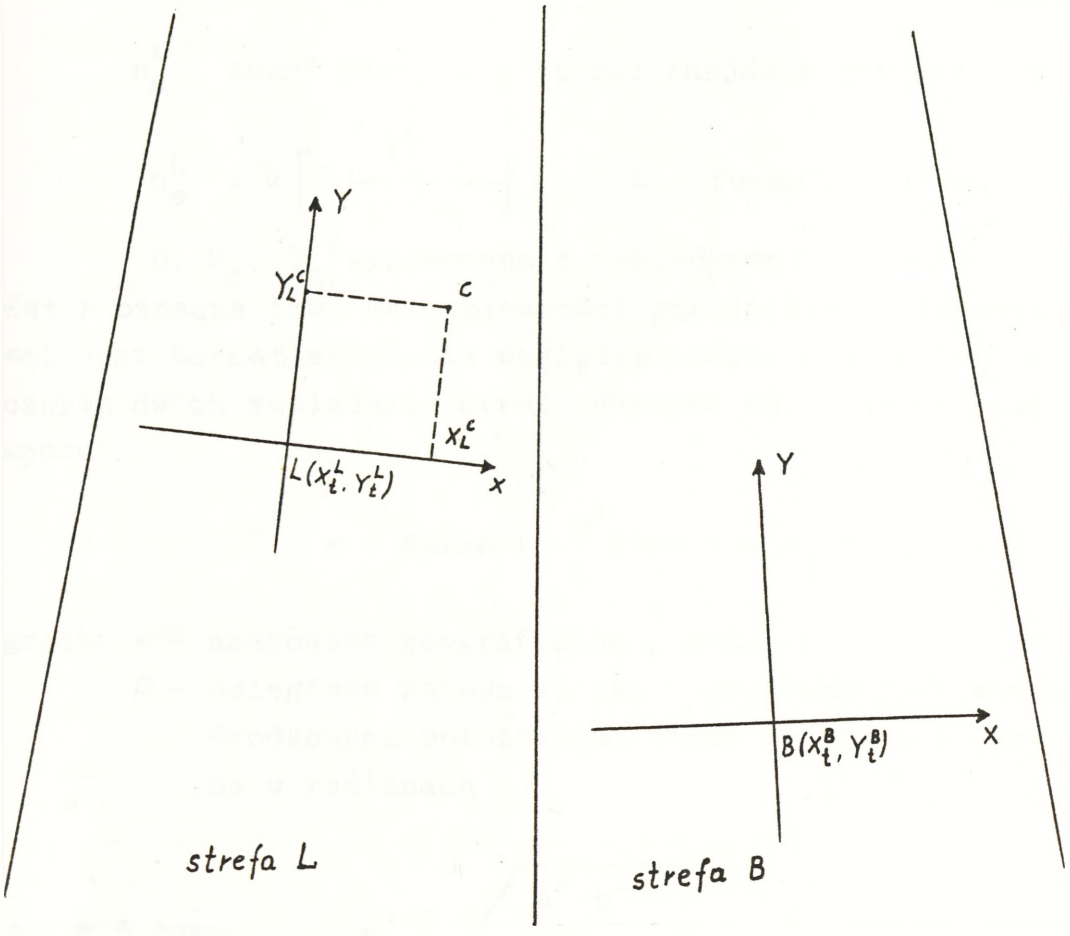
/ X_L^C , Y_L^C / - współrzędne obiektu w układzie lokalnym L

/ X_t^L , Y_t^L / - współrzędne topograficzne układu L

/X_t^B , Y_t^B / - współrzędne topograficzne układu B

/X_B^L , Y_B^L / - współrzędne prostokątne układu L w układzie bazowym B.

Jeżeli układy L i B znajdują się w sąsiednich strefach (rys.3.3.2.) wówczas w pierwszej kolejności należy obliczyć tzw. współrzędne topograficzne rozszerzone układu L w strefie układu B. Znane są różne metody przeliczania współrzędnych topograficznych ze strefy do strefy, ale ich zastosowanie w systemach radiolokacyjnych czasu rzeczywistego jest kłopotliwe ze względu na dużą liczbę skomplikowanych działań matematycznych. Zaproponowana niżej metoda została zaprogramowana i zastosowana w systemie DP. Charakteryzuje ją, przy założeniu odpowiedniej dokładności wyników, niewielka liczba stosunkowo prostych obliczeń, co sprawia że nie zajmuje zbyt wiele pamięci operacyjnej komputera i czasu działania procesora. Te dwie cechy predestynują, zdaniem autora, przedstawioną metodę do wykorzystania w systemach czsu rzeczywistego.



3.3.2. Przeliczanie współrzędnych obiektu w sytuacji gdy układy znajdują się w różnych strefach.

Analizując rys.3.3.2 należy zauważyć, że układ lokalny znajduje się w strefie L, a bazowy - w strefie B i zwykłe odjęcie ich współrzędnych topograficznych, jakie zastosowano gdy układy były w jednej strefie (wzór 3.3.2), nie da szukanych współrzędnych prostokątnych / X_B^L , Y_B^L /. Aby można było je uzyskać, należy wyznaczyć współrzędne topograficzne układu L w strefie w której znajduje się układ B.
Analizując rys.3.3.3 łatwo zauważyć, że D to odległość punktu L / początku układu L / od granicy strefy, w której znajduje się punkt bazowy B.

$$D = S_s + 5000 - \left[Y_t^L - \left[n_s^L * 10000 \right] \right] \qquad (3.3.3)$$

gdzie: S_s - połowa szerokości strefy na wysokości topograficznej X_t^L ;

n_s^L - numer strefy, w której znajduje się punkt L ;

$$n_s^L = \mathbb{E}\left[\frac{Y_t^L}{10000}\right] \quad , \quad \mathbb{E} \text{ - funkcja entier,}$$

D, S_s, Y_t^L wyznaczone z dokładnością 100m.

Kąt γ oznacza tzw. kąt zbieżności południków. W rzeczywistości jest to kąt skręcenia względem siebie siatek topograficznych dwóch sąsiednich stref. Wartość kąta γ liczy się według wzoru:

$$\gamma = \beta\sin\varphi + \frac{\beta^3}{3}\sin\varphi\cos^2\varphi\left[1+3\eta^2\right] \qquad (3.3.4)$$

gdzie: φ - szerokość geograficzna punktu L;

β - odległość kątowa /długość geograficzna/ między środkowymi południkami stref /równa 6°/ wyrażona w radianach

$$\eta = e' * \cos\varphi \quad , \qquad e' = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{b^2}}$$

a - półoś równikowa Ziemi,

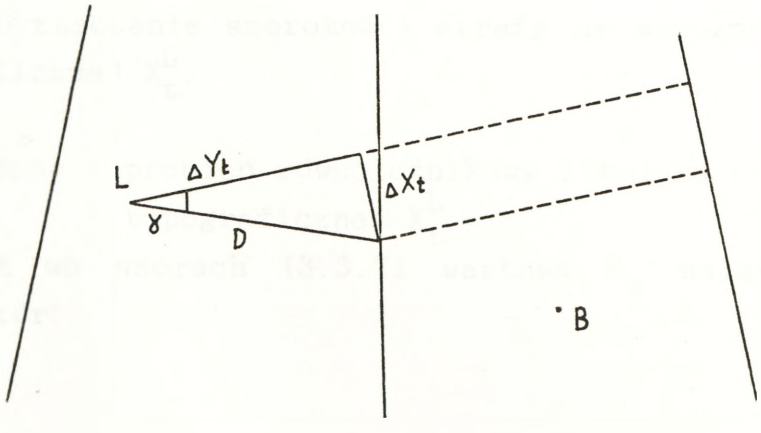
b - półoś biegunowa Ziemi.

W praktyce zadowalającą dokładność zapewnia zastosowanie wzoru:

$$\gamma = \beta\sin\varphi \qquad (3.3.5)$$

Wartości:

$$\Delta Y_t = D * \cos\gamma$$
$$\Delta X_t = D * \sin\gamma \qquad (3.3.6)$$



Rys.3.3.3. Obliczanie rozszerzonych współrzędnych topograficznych układu L w strefie układu B.

Szukane wartości współrzędnych topograficznych układu L, rozszerzonych do strefy B, oblicza się stosując następujące wzory:

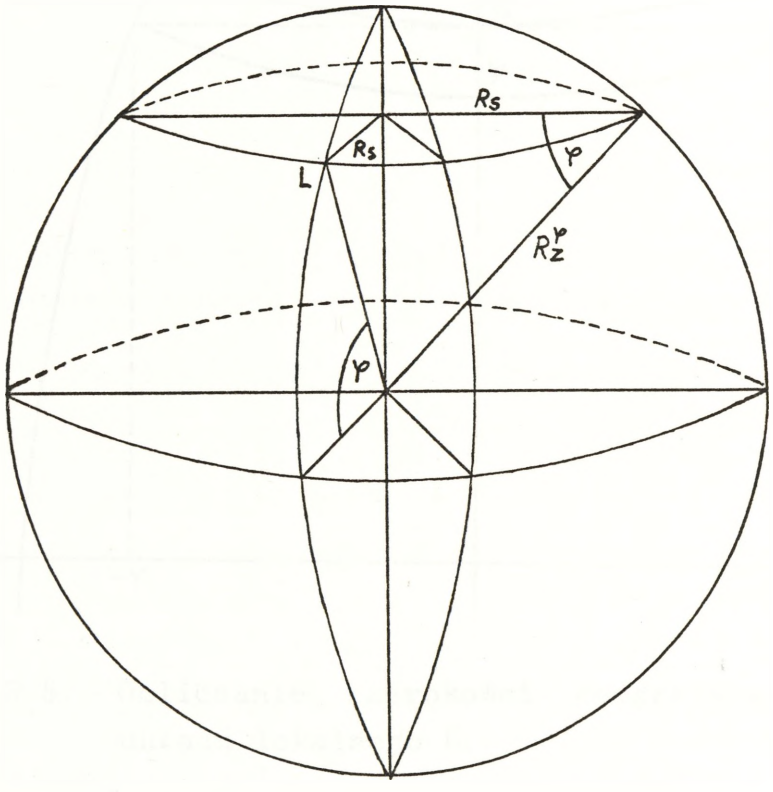
$$X_t^B = X_t^L + \Delta X_t \qquad (3.3.7)$$

$$Y_t^R = n_s^B * 10000 + 5000 + W * (S_s + \Delta Y_t),$$

gdzie: n_s^B - numer strefy punktu bazowego,

$$W = n_s^L - n_s^B \qquad (3.3.7.1)$$

Szerokość strefy na wysokości topograficznej X_t^L jest 1/60 obwodu kuli ziemskiej na tej wysokości.



Rys.3.3.4 Wyznaczanie szerokości strefy na wysokości topograficznej X_t^L.

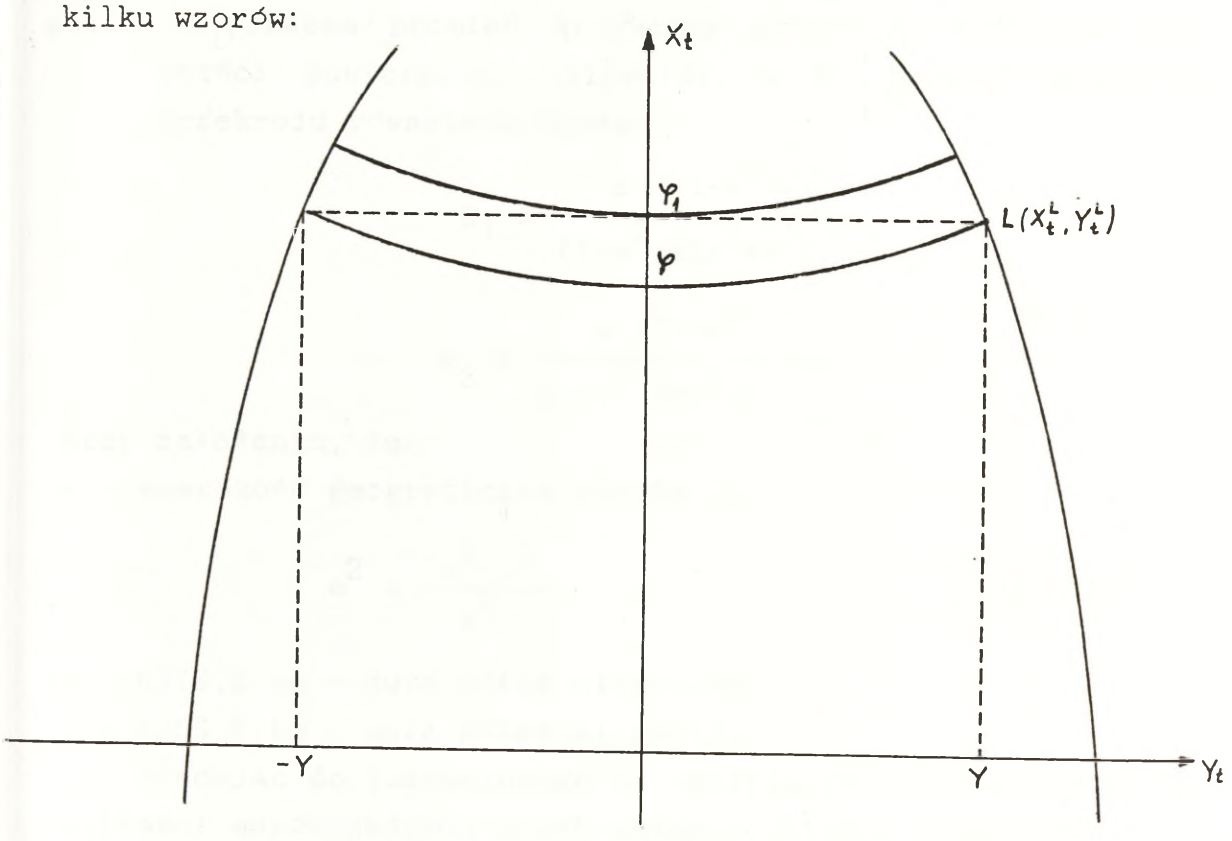
$R_s = R_z^\varphi * \cos\varphi$ - promień równoleżnikowy Ziemi na wysokości topograficznej X_t^L.

Występującą we wzorach (3.3.7) wartość S_s należy obliczyć stosując wzór:

$$S_s = \frac{1}{2}\left[\frac{2\Pi * Rs}{60}\right] = \frac{\Pi}{60} * \cos\varphi * R_z^{\varphi}, \qquad (3.3.8)$$

gdzie: φ - jak w (3.3.4), szerokość geograficzna punktu L,
R_z^{φ} -ekwiwalentny promień Ziemi na wysokości topograficznej X_t^L.

Dokładne wyznaczenie wartości φ oraz R_z^{φ} wymaga zastosowania kilku wzorów:



Rys.3.3.5. Obliczanie szerokości geograficznej φ początku układu lokalnego L.

$\varphi_1 = X_t^L * K$ -szerokość izomeryczna,

gdzie: $K = 0,1577*10^{-3}\left[\frac{rad}{km}\right]$,

$Y = Y_t^L - / n_s^L * 1000 + 500 /$ - odległość od środkowego południka strefy w kilometrach

X_t^L, Y_t^L - podane w kilometrach.

Właściwą szerokość geograficzną punktu L oblicza się według wzoru:

$$\varphi = \varphi_1 - Y^2 * tg\varphi_1 * G, \qquad (3.3.9)$$

gdzie : $G = 0,1221 * 10^{-7} \left[\frac{rad}{km^2} \right]$,

Występującą we wzorze (3.3.8) wartość promienia R_z^{φ} oblicza się według wzoru:

$$R_z^{\varphi} = \sqrt{R_1 * R_2} \qquad (3.3.10)$$

gdzie : R_1 oznacza promień krzywizny przekroju południkowego części powierzchni elipsoidy, a R_2 promień krzywizny przekroju równoleżnikowego;

$$R_1 = \frac{a\ (\ 1-e^2\ )}{(1-e^2\ \sin^2\varphi)^{3/2}};$$

$$R_2 = \frac{a\ (\ 1-e^2\ )}{(1-e^2\ \sin^2\varphi)^{1/2}}\ ; \qquad (3.3.11)$$

przy założeniu, że:

φ - szerokość geograficzna punktu L;

$$e^2 = \frac{a^2-b^2}{a^2} \qquad (3.3.12)$$

a = 6378,2 km - duża półoś elipsoidy ,

b = 6356,8 km - mała półoś elipsoidy,

Wracając do postawionego na wstępie problemu wyznaczania wartości współrzędnych prostokątnych obiektu w bazowym układzie odniesienia, należy również zwrócić uwagę na skręcenie układów, lokalnego i bazowego, względem siebie. Jeżeli obydwa układy znajdują się w tej samej strefie i są zorientowane na kierunek północy topograficznej tej strefy, to nie uwzględnia się skręcenia układów /γ=0/. Jeżeli układ lokalny znajduje się w tej samej strefie co układ bazowy, lecz jest skierowany na północ geograficzną, to kąt skręcenia układów γ liczyć należy według wzoru (3.3.5), przy czym wartość β jest długością geograficzną punktu L /układu lokalnego/, liczoną od środkowego południka danej strefy. Łatwo zauważyć, że wartość kąta γ będzie dodatnia, gdy punkt L będzie na wschód od środkowego południka strefy, w której jest punkt bazowy, a ujemna gdy na zachód. Jeżeli układy L i B znajdują się w sąsiednich strefach i są wysterowane na właściwą w danej strefie północ

topograficzną, to wartość kąta γ należy liczyć wg wzoru (3.3.5), wartość β = 0,1047 rad /6°/. Znak kąta γ określa wartość W, wzór (3.3.7.1).

W praktyce problem skręcenia układów występuje tylko wtedy, gdy układy L i B znajdują się w różnych strefach. Mając na względzie zastosowanie zaprezentowanej metody do obliczenia współrzędnych prostokątnych obiektu w bazowym układzie odniesienia, przedstawiono ją niżej w formie dogodnej do zaprogramowania na EMC.

Dane wejściowe (w setkach metrów):

- X_L^C , Y_L^C - współrzędne prostokątne obiektu w układzie lokalnym L,
- X_t^L , Y_t^L - współrzędne topograficzne układu lokalnego L,
- X^B , Y^B - współrzędne topograficzne układu bazowego B,

1 $$n_s^L = E\left(\frac{Y_t^L}{10000}\right);$$

$$n_s^B = E\left(\frac{Y_t^B}{10000}\right);$$

2 $$W = n_s^L - n_s^B,$$

Jeżeli W=0, to γ =0, jeśli nie, to:

3 $$\gamma = 0{,}1047 * \sin\varphi,$$

$$\varphi = X_t^L * 1{,}5664 * 10^{-5},$$

Kąt φ można liczyć także wg wzoru (3.3.9).

Kąty φ i γ obliczone zostaną w radianach. Dla średnich szerokości graficznych Polski tzn. dla φ = 52°, szerokości połowy strefy można obliczyć wg wzoru:

4 $$S_s = \cos\varphi * 3{,}342 * 10^3,$$

Odległość od granicy strefy

5 $$D = (S_s + 5000) - (Y_t^L - (n_s^L * 10000)),$$

6 $$\Delta Y_t = D * \cos\gamma$$

$$\Delta X_t = D * \sin\gamma$$

7 Rozszerzone współrzędne topograficzne punktu L:

$$Y_t^R = n_s^B * 10000 + 5000 + W(S_s + \Delta Y_t),$$

$$X_t^R = X_t^L + \Delta X_t$$

8 Współrzędne prostokątne układu L w układzie B:

$$X_L^B = Y_t^R - Y_t^B,$$

$$Y_L^B = X_t^R - X_t^B ,$$

9 $\gamma_s = W * \gamma ,$

10 Współrzędne prostokątne obiektu /celu/ w układzie bazowym:

$$X_B^C = X_L^B + X_L^C \cos\gamma_s - Y_L^C \sin\gamma_s ,$$

$$Y_B^C = Y_L^B + Y_L^C \cos\gamma_s - X_L^C \sin\gamma_s ,$$

Dane wyjściowe X_B^C ,Y_B^C w setkach metrów.
Jeżeli W=0,tzn. $/X_t^R, Y_t^R/ = /X_t^L, Y_t^L/$, to z punktu [2] należy przejść do punktu [8], z pominięciem punktów pośrednich. Opierając się na przeprowadzonych testach przedstawionej metody można stwierdzić, że decydujący wpływ na dokładność obliczonych współrzędnych X_B^C, Y_B^C ma dokładność obliczonych kątów φ γ, oraz S_s.
Zaprezentowana w podrozdziale niniejszym metoda wyznaczania współrzędnych prostokątnych obiektu /celu/ we współrzędnych bazowego /centralnego/ układu odniesienia, na podstawie współrzędnych prostokątnych tego obiektu w lokalnym układzie odniesienia, została praktycznie sprawdzona i zastosowana w radiolokacyjnym systemie DP, a konkretnie - w obiektach DP-20 DP-40. Najwięcej uwagi należy skupić na dokładnym obliczeniu szerokości strefy dla danej wysokości topograficznej X_t^L, szerokości geograficznej i kąta skręcenia siatek topograficznych γ . Wartości Ss, γ,φ można obliczyć innymi sposobami niż te, które zostały przedstawione w punktach [3] i [4]. Wszystkie współrzędne podawane są w setkach metrów, ponieważ z praktyki wynika, że jest to dokładność wystarczająca do określenia położenia obiektu.

Zaprogramowanie przedstawionej metody w wybranym przez użytkownika języku nie powinno sprawić większych kłopotów. Brak skomplikowanych przeliczeń i działań matematycznych typu arcus ,log ,e^{-x} oraz niewielka stosunkowo liczba standardowych sprawia, że metoda ta jest łatwa do stosowania i nie zajmuje wiele pamięci operacyjnej komputera.

3.4. Metoda wyznaczania i kodowania siatki op-61.

W obiegu informacji o sytuacji powietrznej wynikła potrzeba przesyłania danych zawierających współrzędne obiektów powietrznych w siatce OP-61. Zapotrzebowanie na taką informację wynika między innymi z faktu współpracy zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia OPL z systemem o podobnej roli funkcjonującym w OPK. W systemach OPK jest przyjęta i stosowana zasada wyznaczania i kodowania położenia obiektu w siatce OP-61.

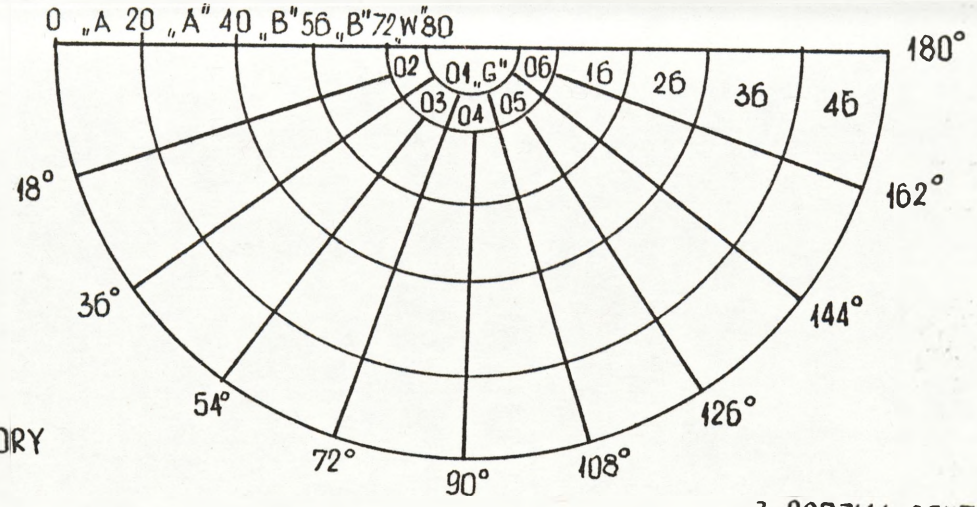
Wyznaczanie współrzędnych obiektów w siatce OP-61 w systemie radiolokacyjnym czasu rzeczywistego może spowodować istotne obciążenie komputera, jeżeli założyć że będzie dokonywane często, a obiekty będą miały dowolne współrzędne topograficzne W mobilnym (przewoźnym) systemie radiolokacyjnym, w którym bazowy punkt odniesienia może się dowolnie zmieniać i w którym występuje pełna dowolność położenia obiektów, szybka i uniwersalna metoda wyznaczania siatki OP-61 jest bardzo potrzebna. Przy opracowywaniu zaprezentowanej metody zwrócono szczególną uwagę na jak najmiejszą ilość działań arytmetycznych, co bezpośrednio wpływa na skrócenie czasu jej realizacji na EMC.

W celu wyznaczenia współrzędnych w siatce OP-61 tzn. numeru strefy, sektora, dużego, średniego i małego kwadratu, dokonuje się dzielenie współrzędnych geograficznych φ , λ obiektu, przez odpowiednio dobrane współczynniki. Współrzędne te można zapisać następująco:

$$S_{op61} = [STR, SEK, DK, SK, MK]$$

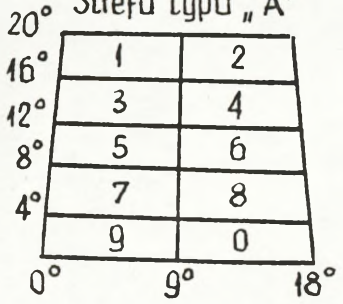
Przyjęto założenie, że położenie obiektu, którego współrzędne OP-61 należy obliczyć, jestdowolne i określone przez współrzędne topograficzne X_t, Y_t. Sposób wyznaczenia współrzędnych topograficznych obiektu powietrznego został opisany w rozdziale 3.3.W oparciu o współrzędne topograficzne X_t, Y_t należy najpierw wyznaczyć współrzędne geograficzne φ, λ obiektu. Można tego dokonać poniższą, skróconą metodą.

1. STREFY

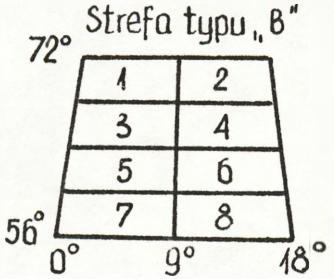


2. PODZIAŁ STREFY NA SEKTORY

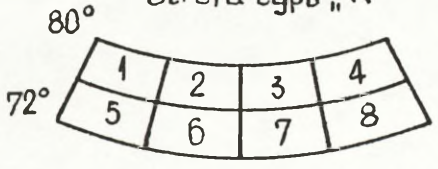
Strefa typu „A"



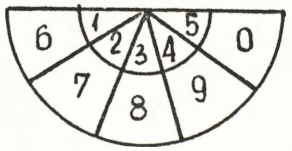
Strefa typu „B"



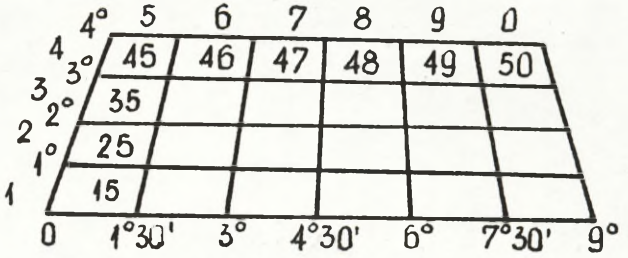
Strefa typu „W"



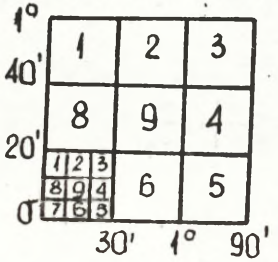
Strefa typu „G"



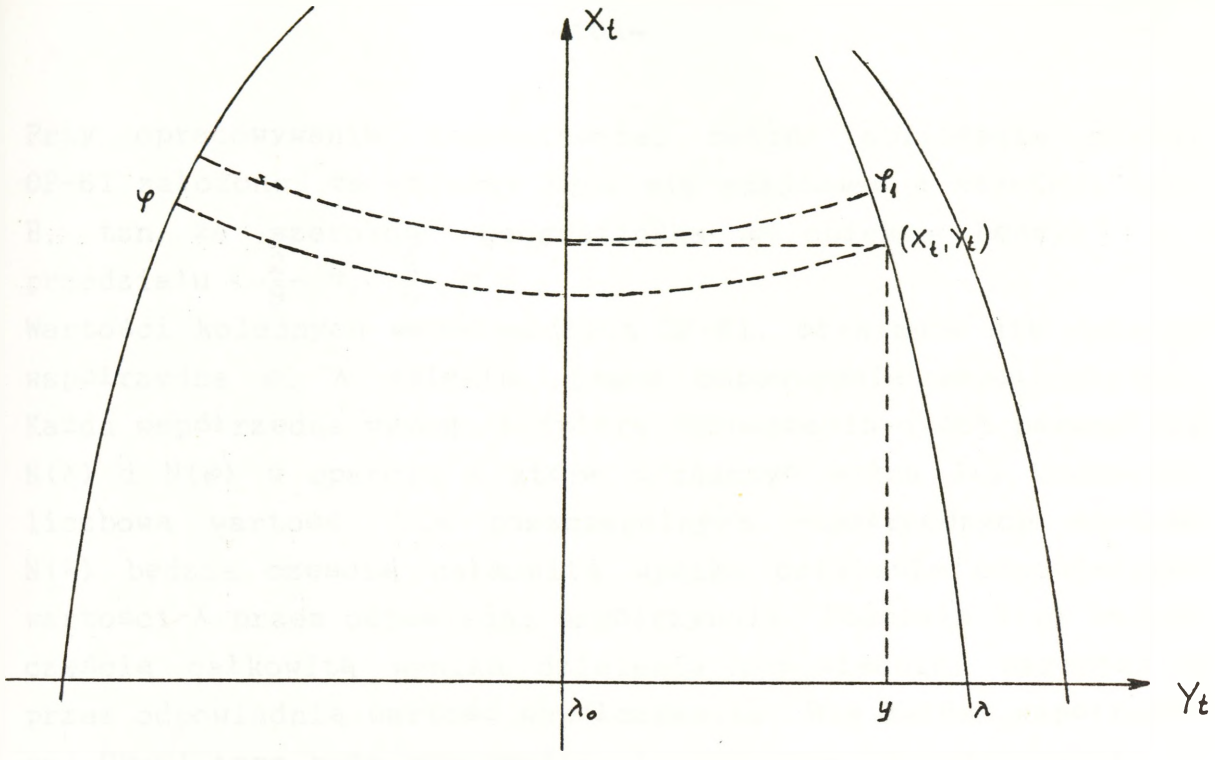
3. PODZIAŁ SEKTORA NA DUŻE KWADRATY



4. PODZIAŁ DUŻEGO KWADRATU NA ŚREDNIE / MAŁE /



RYS. 3.4 SIATKA OP-61



Rys.3.4.1. Wyznaczanie współrzędnych geograficznych punktu o zadanych współrzędnych topograficznych.

Rzeczywistymi współrzędnymi geograficznymi punktu o współrzędnych topograficznych (X_t, Y_t) są φ, λ.

$\varphi_1 = X_t * K$ tzn. szerokość izometryczna

$$K = 0,1577*10^{-3} \left[\frac{rad}{km}\right]$$

$y = Y_t (N_s * 1000 + 500)$; N_s - numer strefy w której znajduje się obiekt

Właściwą szerokość geograficzna φ można obliczyć wg wzoru:

$$\varphi = \varphi_1 - y^2 * tg\varphi_1 * G \qquad (3.4.1)$$

gdzie: $G = 0,1221 *10^{-7} \left[\frac{rad}{km^2}\right]$

Długość geograficzną wyliczyć można następująco:

$$\lambda = \lambda_o + \lambda' \qquad (3.4.2)$$

gdzie wartość λ' wyznacza się wg wzoru:

$$\lambda' = \frac{y'}{\cos\varphi_1} * W ; \qquad (3.4.3)$$

$W = 0,1556*10^{-3}$

λ_o - to długość geograficzna środkowego południka strefy, w której znajduje się obiekt.

Wartość kątów φ i λ wyliczone zostaną w radianach.

Przy opracowywaniu prezentowanej metody obliczania siatki OP-61 założono, że obiekty będą się znajdować w strefach typu B, tzn. że szerokość geograficzna φ obiektu będzie z przedziału $\langle -\frac{2}{9}\pi, -\frac{2}{5}\pi \rangle$.

Wartości kolejnych współrzędnych OP-61, otrzymuje się dzieląc współrzędne φ, λ obiektu, przez odpowiednie współczynniki. Każda współrzędna wymaga najpierw wyznaczenia dwóch parametrów $N(\lambda)$ i $N(\varphi)$ w oparciu o które wyznaczyć można jej konkretną liczbową wartość. Dla poszczególnych współrzędnych wartość $N(\lambda)$ będzie częścią całkowitą wyniku dzielenia odpowiedniej wartości λ przez odpowiedni współczynnik. Podobnie $N(\varphi)$ będzie częścią całkowitą wyniku dzielenia odpowiedniej wartości φ przez odpowiednią wartość współczynnika. Dla każdej współrzędnej OP-61 inne będą wartości φ, λ oraz inne wartości współczynników. Generalnie, wartości φ, λ przy wyliczaniu danej współrzędnej OP-61 będzie resztą z dzielenia wykonywanego przy obliczaniu poprzedniej współrzędnej. Przy liczeniu numeru strefy φ, λ będą rzeczywistymi współrzędnymi geograficznymi.

W celu wyznaczenia numeru strefy parametry $N(\lambda)$, $N(\varphi)$ wyliczane są wg wzorów:

$$N^{STR}(\lambda) = E\ (\lambda / \frac{\pi}{10})$$

$$N^{STR}(\varphi) = E\ ((\varphi - \frac{2}{9}\pi) / -\frac{4\pi}{45} \qquad (3.4.4)$$

E - funkcja entier (dzielenie całkowite)

Ostatecznie numer strefy:

$$STR = N^{STR}(\lambda) + 7 + (1 - N^{STR}(\varphi)) * 10 \qquad (3.4.5)$$

Do obliczenia numeru sektora potrzebne są wartości $N^{SEK}(\lambda)$, $N^{SEK}(\varphi)$. W tym celu określić należy:

$$\lambda^{SEK} = \lambda - N^{STR} * \frac{\pi}{10}$$

$$\varphi^{SEK} = \left[\varphi - -\frac{2}{9}\pi \right] - N^{STR}(\varphi) * -\frac{4}{45}\pi \qquad (3.4.6)$$

i w oparciu o uzyskany wynik wyliczyć wg wzorów:

$$N^{SEK}(\lambda) = E\left[\lambda^{SEK} / -\frac{\pi}{20}\right]$$

$$N^{SEK}(\varphi) = E\left[\varphi^{SEK} / -\frac{\pi}{45}\right] \qquad (3.4.7)$$

Numer sektora:

$$SEK = 7 - 2N^{SEK}(\varphi) + N^{SEK}(\lambda) \qquad (3.4.8)$$

W celu obliczenia parametrów N(λ), N(φ) dla dużego kwadratu należy najpierw określić:

$$\lambda^{DK} = \lambda^{SEK} - N^{SEK}(\lambda) * \frac{\pi}{20}$$

$$\varphi^{DK} = \varphi^{SEK} - N^{SEK}(\varphi) * \frac{\pi}{45} \qquad (3.4.9)$$

Wartości parametrów

$$N^{DK}(\lambda) = E\left[\lambda^{DK} \Big/ \frac{\pi}{120}\right]$$

$$N^{DK}(\varphi) = E\left[\varphi^{DK} \Big/ \frac{\pi}{180}\right] \qquad (3.4.10)$$

Współrzędna "duży kwadrat" składa się z dwóch cyfr:
DK = C1C2, przy czym:

$$C1 = TDK\,[N^{DK}(\varphi)]$$
$$C2 = TDK\,[N^{DK}(\lambda)+4] \qquad (3.4.11)$$

gdzie TDK oznacza jednowymiarową tablicę 10-elementową postaci: TDK [0:9] = [1,2,3,4,5,6,7,8,9,0]
Dla współrzędnej "średni kwadrat":

$$\lambda^{SK} = \lambda^{DK} - N^{DK}(\lambda) * \frac{\pi}{120}$$

$$\varphi^{SK} = \varphi^{DK} - N^{DK}(\varphi) * \frac{\pi}{180} \qquad (3.4.12)$$

Parametry $N^{SK}(\lambda)$, $N^{SK}(\varphi)$ liczyć należy wg wzorów:

$$N^{SK}(\lambda) = E\left[\lambda^{SK} \Big/ \frac{\pi}{360}\right]$$

$$N^{SK}(\varphi) = E\left[\varphi^{SK} \Big/ \frac{\pi}{540}\right] \qquad (3.4.13)$$

Wartość współrzędnej SK (średni kwadrat) określa się następująco:

$$SK = TSM\,[N^{SK}(\lambda) + 3 * N^{SK}(\varphi)] \qquad (3.4.14)$$

gdzie TSM oznacza jednowymiarową, 9-elementową tablicę postaci
TSM [0:9] = [7,6,5,8,9,4,1,2,3]
Dla ostatniej współrzędnej OP-61, tzn. dla małego kwadratu MK potrzebne wartości φ, λ liczy się wg wzorów:

$$\lambda^{MK} = \lambda^{SK} - N^{SK}(\lambda) * \frac{\pi}{360}$$
$$\varphi^{MK} = \varphi^{SK} - N^{SK}(\varphi) * \frac{\pi}{540} \qquad (3.4.15)$$

Wartości parametrów

$$N^{MK}(\lambda) = E\left[\lambda^{MK} \Big/ \frac{\pi}{1080} \right]$$
$$N^{MK}(\varphi) = E\left[\varphi^{MK} \Big/ \frac{\pi}{1620} \right] \qquad (3.4.16)$$

Współrzędne OP-61 SK, MK (średni i mały kwadrat) wyznaczane są wg tego samego algorytmu, zatem

$$MK = TSM\ [N^{MK}(\lambda) + 3 * N^{MK}(\varphi)] \qquad (3.4.17)$$

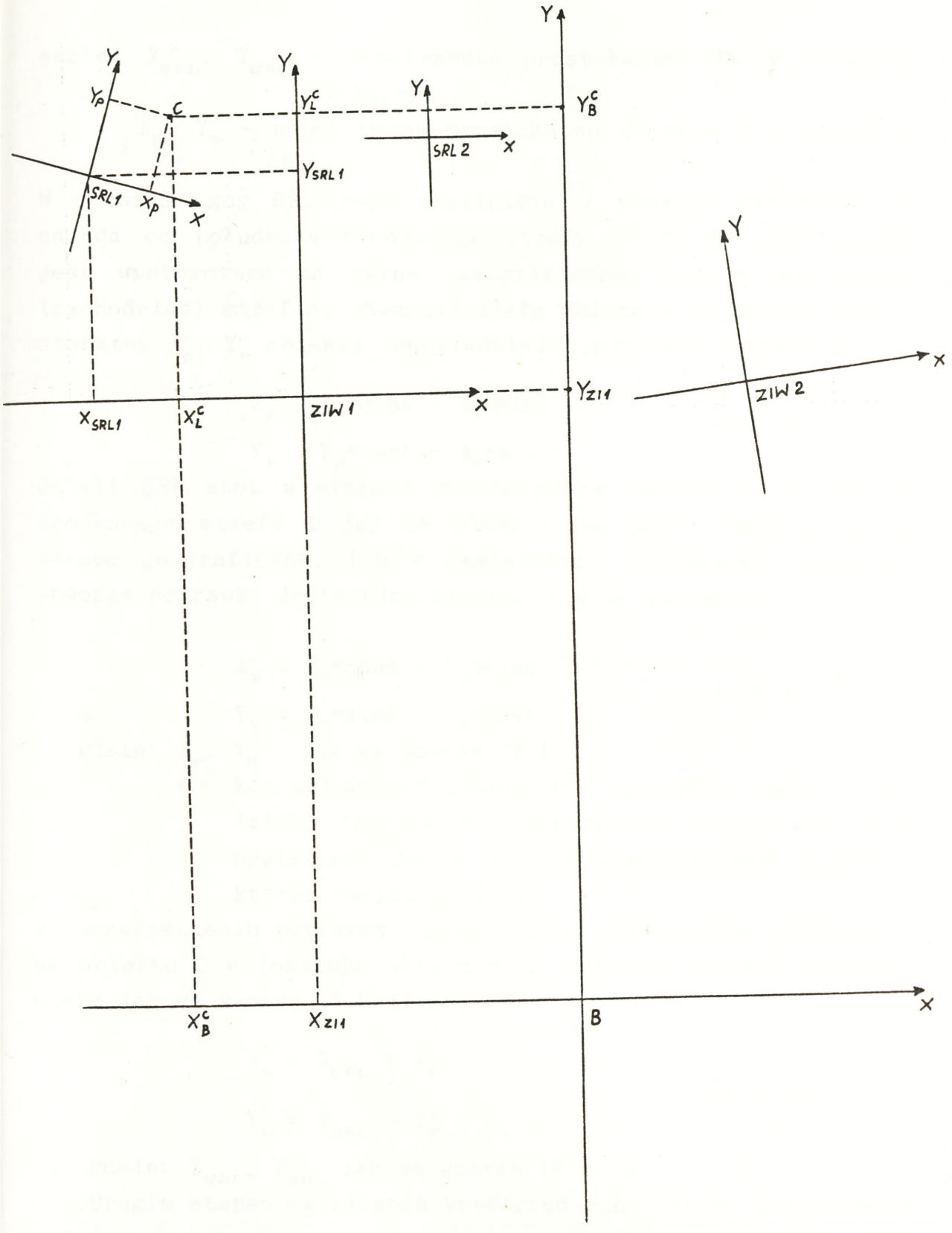
Współrzędne w siatce OP-61 obiektu o zadanych współrzędnych topograficznych X_t, Y_t, określić można wg przedstawionej metody działania. Dokładne przeliczanie współrzędnych topograficznych na geograficzne jest istotne, ponieważ właśnie na bazie λ i φ oblicza się konkretne, liczbowe wartości poszczególnych współrzędnych OP-61.

Współrzędne φ i λ można obliczać innymi metodami niż ta, która została zaprezentowana we wzorach (3.4.1), (3.4.2). Obliczanie współrzędnych obiektu w siatce OP-61 wg przedstawionej metody zostało zastosowane w obiektach systemu DP. W trakcie programowania zaprezentowanej metody należy zwrócić uwagę, że obliczenia wszystkich parametrów $N(\lambda)$ oraz $N(\varphi)$ realizowane są wg jednego algorytmu,a zatem warto założyć odpowiednią pętlę w programie. Po odpowiednim stablicowaniu wszystkich współczynników dzielących, oraz odpowiednim zorganizowaniu pętli, program nie zajmie dużo pamięci i realizuje się szybko. Z doświadczeń wynika, że przedstawiona metoda, może być wykorzystana w systemach radiolokacyjnych czasu rzeczywistego. Mechanizm kodowania obliczonych wartości współrzędnych realizowany jest w ten sposób, że kodowane są tylko poszczególne elementy tablic wykorzystywanych w trakcie obliczeń. Kodujac tablicę TDK, TSM wg zadanego klucza, wyliczane są już w trakcie obliczeń wartości współrzędnych, śledzonych obiektów powietrznych, w zakodowanej siatce OP-61.

3.5. Metoda uwzględniania poprawek justacyjnych w procesie przeliczania współrzędnych prostokątnych.

W zautomatyzowanych systemach rozpoznania radiolokacyjnego najczęściej stosowanymi współrzędnymi określającymi położenie obiektów powietrznych są współrzędne prostokątne w bazowym układzie odniesienia. Położenie to jest określane przez SRL oraz ZIW we własnych układach współrzędnych prostokątnych, a następnie przeliczane do układu bazowego. W procesie określania współrzędnych prostokątnych celu w bazowym układzie odniesienia wyróżnić można dwa etapy. Pirwszy etap to przeliczenie współrzędnych biegunowych echa radiolokacyjnego R, β na współrzędne prostokątne w układzie lokalnym ZI któremu podlega konkretna SRL. Obliczenie współrzędnych prostokątnych płaskich uwzględniających krzywiznę Ziemi realizuje się wg metody opisanej w punkcie 3.6. Tak obliczone X_p, Y_p są współrzędnymi obiektu w układzie SRL. ZI przekazuje do punktu obróbki informacji współrzędne obiektów wykrytych przez podległe SRL (rys.3.4.1). Każda SRL ma w układzie ZIW określone współrzędne prostokątne X_{SRL}, Y_{SRL}. Ich wartości wylicza się na podstawie współrzędnych topograficznych miejsca stania ZIW i SRL. W WOPL przyjęto zasadę, że układ współrzędnych lokalnych danego ZIW jest zorientowany na północ topograficzną strefy w której się znajduje. Podległe SRL są rozwinięte w terenie i ich anteny są wysterowane (zorientowane) na północ geograficzną (w konkretnym zastosowaniu może być przyjęte wysterowanie na północ topograficzną). Tak więc orientacja układu lokalnego ZIW i układu lokalnego SRL jest jednakowa tylko w przypadku stania SRL na południku środkowym 6-ścio stopniowej strefy topograficznej. Oprócz skręcenia układów w praktyce może wystąpić fakt rozwinięcia SRL w innej niż ZI strefie, który musi być uwzględniony w procesie przeliczania. W przypadku gdy układ prostokątny SRL jest wysterowany na tę samą północ topograficzną co układ ZI, wówczas współrzędne lokalne obiektu powietrznego obliczać należy następująco:

$$\begin{aligned} X_L^C &= X_{SRL} + X_P \\ Y_L^C &= Y_{SRL} + Y_P \end{aligned} \qquad (3.5.1)$$



Rys.3.5.1. Proces przeliczania współrzędnych obiektu C do układu bazowego B.

gdzie: X_{SRL}, Y_{SRL} - współrzędne prostokątne SRL w układzie lokalnym ZI,

X_P, Y_P - współrzędne prostokątne obiektu C w układzie SRL.

W sytuacji gdy SRL jest rozwinięta w punkcie położonym na zachód od południka środkowego strefy i jej oś elektryczna jest wysterowana na północ geograficzną, lub w sąsiedniej (zachodniej) strefie, wówczas należy obliczyć współrzędne prostokątne X'_P, Y'_P obiektu, uwzględniając poprawkę justacyjną.

$$X'_P = X_P*\cos\xi + Y_P*\sin\xi$$
$$Y'_P = Y_P*\cos\xi - X_P*\sin\xi \qquad (3.5.2)$$

Jeżeli SRL stoi w miejscu położonym na wschód od południka środkowego strefy i jej oś elektryczna jest wysterowana na północ geograficzną, lub w sąsiedniej (wschodniej) strefie, wówczas poprawki justacyjne oblicza się wg wzoru:

$$X'_P = X_P*\cos\xi - Y_P*\sin\xi$$
$$Y'_P = X_P*\sin\xi - Y_P*\cos\xi \qquad (3.5.3)$$

gdzie: X_P, Y_P - jak we wzorze (3.5.1),

ξ - kąt zbieżności południków, tzn kąt o jaki należałoby skręcić oś elektryczną anteny SRL, aby wysterować ją na północ topograficzną strefy w której znajduje się ZI.

Po uwzględnieniu poprawek justacyjnych, współrzędne prostokątne obiektu C w lokalnym układzie ZI obliczyć należy analogicznie jak we wzorze (3.5.1) tzn:

$$X^C_L = X_{SRL} + X'_P$$
$$Y^C_L = Y_{SRL} + Y'_P \qquad (3.5.4)$$

gdzie: X_{SRL}, Y_{SRL} jak we wzorze (3.4.1).

Drugim etapem określania współrzędnych obiektu C w bazowym układzie odniesienia jest przeliczenie X^C_L, Y^C_L do układu B (rys 3.5.1). W WOPL przyjmuje się zasadę orientowania układu bazowego na północ topograficzną strefy w której on się znajduje. Jeżeli ZI znajduje się w sąsiedniej (zachodniej lub wschodniej) strefie topograficznej, wówczas należy obliczyć poprawki justacyjne współrzędnych X^C_L, Y^C_L wg zasady przedsta-

wionej we wzorach (3.5.2), (3.5.3). Po uwzględnieniu poprawek współrzędne X_B^C, Y_B^C obliczyć należy wg wzoru:

$$X_B^C = X_{ZI} + X'^C_B$$
$$Y_B^C = Y_{ZI} + Y'^C_B \qquad (3.5.6)$$

gdzie: X_{ZI}, Y_{ZI} - współrzędne prostokątne układu lokalnego ZI w układzie bazowym B.

Wartość kąta skręcenia ξ z wzorów (3.5.2), (3.5.3) obliczyć można wg następującej reguły:

$$\xi = \lambda * \sin\varphi + \frac{\lambda^3}{3} * \sin\varphi * \cos^2\varphi * (1 + 3*\eta^2) \qquad (3.5.7)$$

gdzie: λ - długość geograficzna miejsca stania SRL (ZI) liczona od południka środkowego danej strefy,

φ - szerokość geograficzna miejsca stania SRL (ZI)

$\eta = e' * \cos\varphi$, $\quad e' = \mathrm{sqrt}((a^2 - b^2)/b^2)$

a - półoś równikowa elipsoidy obrotowej,

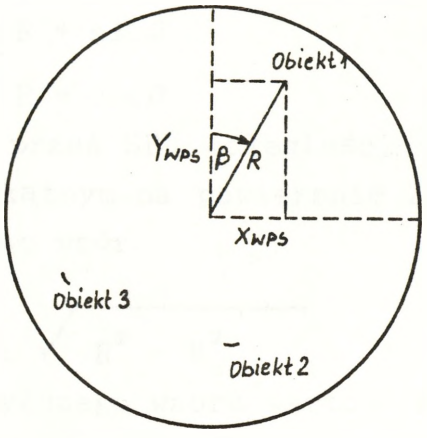
b - półoś biegunowa elipsoidy obrotowej.

Wartości obliczonego kąta ξ oraz λ, φ są wyrażone w radianach.

3.6. Metoda eliminacji błędów systematycznych SRL popełnianych przy wyznaczaniu współrzędnych prostokątnych obiektu.

W podrozdziale 3.5 przedstawiony został problem przepływu informacji między punktem obróbki zbiorczej a ZI. Każde ZI otrzymuje informacje o sytuacji powietrznej od 1 - 2 SRL. Stacje typu NUR wydają informacje w postaci zformalizowanych meldunków cyfrowych i takiej sytuacji nie jest konieczne obliczenie współrzędnych prostokątnych. SRL starszego typu określają współrzędne R, β obiektów powietrznych. W takiej sytuacji na podstawie współrzędnych echa analogowego określonych przez SRL, oraz wysokości H zmierzonej przez wysokościomierz, ZI oblicza współrzędne prostokątne obiektów we własnym układzie odniesienia, które z kolei przeliczane są do układu bazowego (podrozdział 3.5). Dokładne określenie współrzędnych prostokątnych jest istotnym zagadnieniem, mającym duże znaczenie w dalszych etapach przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej (kojarzenie, uogólnianie). Dostarczone przez SRL współrzędne echa R, β można rozłożyć na współrzędne

prostokątne X_{WPS}, Y_{WPS} (Rys. 3.6.1).



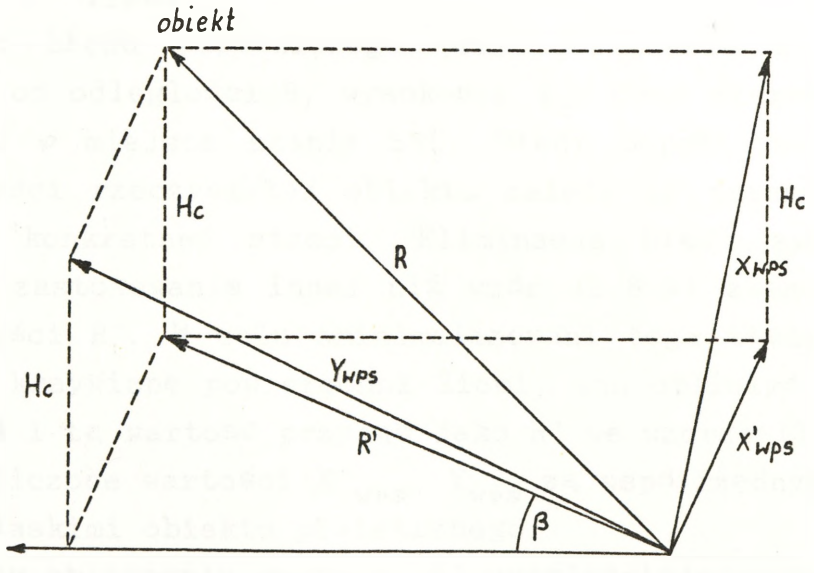
Rys 3.6.1 Zobrazowanie sytuacji powietrznej na ekranie WPS.

Współrzędne prostokątne obliczyć można wg wzoru:

$$X_{WPS} = R * \sin\beta$$
$$Y_{WPS} = R * \cos\beta \qquad (3.6.1)$$

Obliczone w ten sposób współrzędne, są w istocie współrzędnymi skośnymi w układzie SRL.

Gdyby powierzchnię Ziemi wokół stacji radiolokacyjnej traktować jako płaszczyznę, wówczas rzutem prostokątnym obliczonych współrzędnych X_{WPS}, Y_{WPS} obiektu powietrznego na powierznię Ziemi są współrzędne X'_{WPS}, Y'_{WPS} (rys 3.6.2).



Rys.3.6.2. Rzut prostokątny współrzędnych obiektu na powierzchnię płaską.

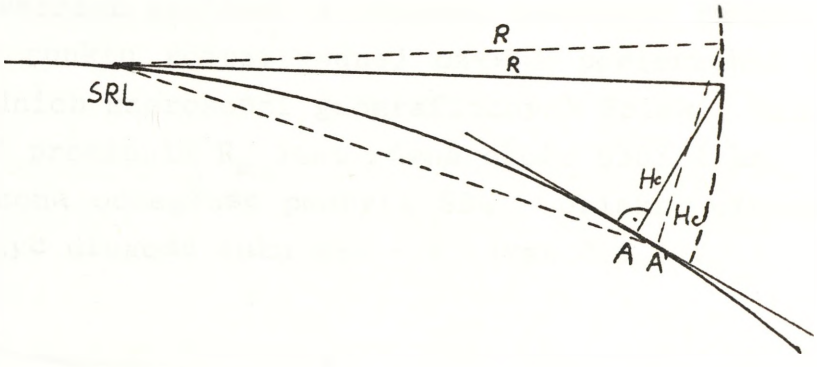
Współrzędne X'_{WPS}, Y'_{WPS} można obliczyć wg wzorów:

$$X'_{WPS} = R' * \sin\beta$$
$$Y'_{WPS} = R' * \cos\beta \qquad (3.6.2)$$

R jest zmierzoną przez SRL odległością pochyłą obiektu, a R' jej rzutem prostokątnym na powierznię Ziemi. Wartość R' obliczyć można stosując wzór:

$$R' = \sqrt{R^2 - H_c^2} \qquad (3.6.3)$$

Obliczając wg powyższego wzoru wartość R' popełniany jest błąd wynikający z faktu nie uwzględniania krzywizny Ziemi. Rzeczywistą odległością SRL - obiekt, zrzutowaną na powierznię Ziemi jest łuk SRL - A (rys.3.6.3).



Rys.3.6.3 Rzut odległości pochyłej obiektu na powierznię Ziemi.

Wartość błędu popełnionego przy obliczaniu R' wg (3.6.3) zależy od odleglości R, wysokości H_c, oraz szerokości geograficznej φ miejsca stania SRL. Błędy popełnione przy ocenie odległości rzeczywistej obiektu zależą od parametrów technicznych konkretnej stacji. Eliminacja błędu systematycznego wymaga zastosowania innej niż wzór (3.6.3) zasady obliczania odległości R'. W celu zminimalizowani tego błędu, uwzględnić należy krzywiznę powierzchni Ziemi, tzn obliczyć długość luku SRL - A i tą wartość przyjąć jako R' we wzorze (3.6.2).
Tak obliczone wartości X'_{WPS}, Y_{WPS} są współrzędnymi prostokątnymi płaskimi obiektu powietrznego.

Przy obliczaniu wartości R' uwzględniającym krzywiznę ziemi należy przyjąć założenia ułatwiające rozwiązanie. Niewielką część powierzni elipsoidy obrotowej można zastąpić częścią

powierzchni kuli o promieniu R_K, równym średniej geometrycznej promieni krzywizn przekrojów głównych w punkcie środkowym rozpatrywanej części powierzchni elipsoidy obrotowej.

$$R_K = \sqrt{M_o * N_o} \qquad (3.6.4)$$

gdzie: M_o - promień krzywizny przekroju południkowego części powierzchni elipsoidy,

N_o - promień krzywizny przekroju horyzontalnego.

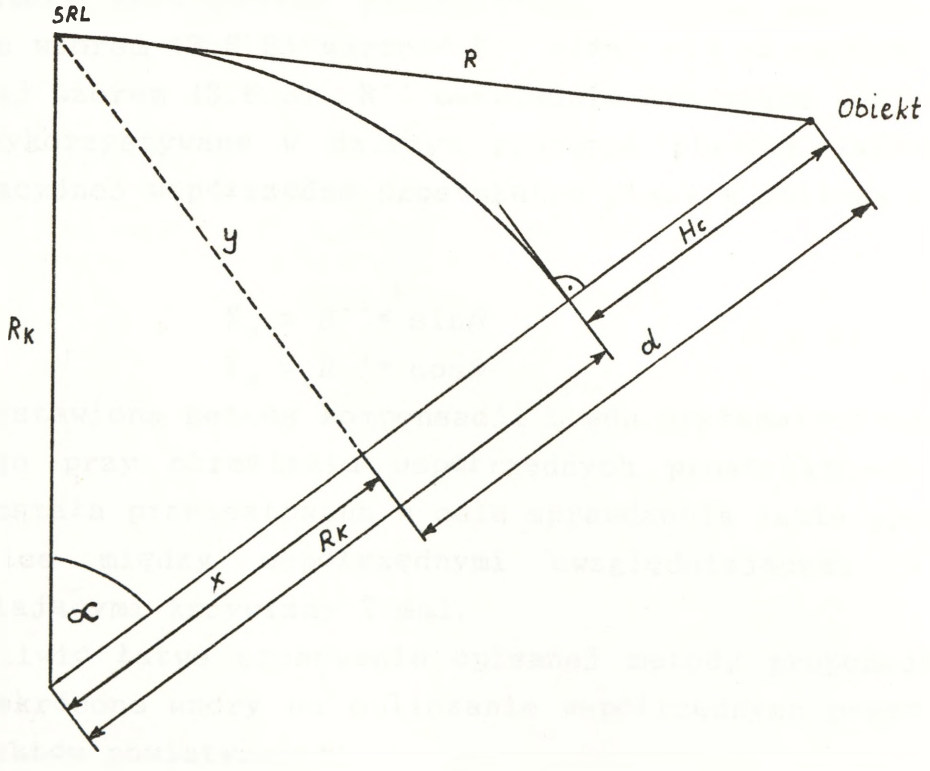
Wartości promieni M_o, N_o obliczyć można wg wzorów:

$$M_o = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 * \sin^2\Phi)^{3/2}}$$

$$N_o = \frac{a}{(1 - e^2 * \sin^2\Phi)^{1/2}} \qquad (3.6.5)$$

Występująca we wzorach wielkość Φ oznacza szerokość geograficzną środkowego punktu rozpatrywanej części powierzchni elipsoidy. Dla średnich szerokości geograficznych Polski, tzn dla $\varphi \approx 52^\circ$, wartość promienia R_K jest równa około 6383,4 km.

Mając zmierzoną odległość pochyłą SRL - obiekt, oznaczoną R, należy obliczyć długość łuku SRL - A (rys.3.6.4).



Rys.3.6.4. Zasada wyznaczania łuku SRL - A.

Analizując Rys.3.6.4 widać że kąt α jest to kąt pod jakim widziany jest obiekt względem SRL z geometrycznego środka Ziemi, przy założeniu że promień Ziemi jest równy R_K.
W tym celu wyznaczone zostaną wartości pomocnicze:

$$\begin{aligned} X &= R_K * \cos\alpha \\ y &= R_K * \sin\alpha \\ y^2 + d^2 &= R^2 \\ d + x &= R_K + H_C \\ R_K^2 * \sin^2\alpha + [(R_K + H_C) - \cos\alpha * R_K]^2 &= R^2 \end{aligned} \qquad (3.6.6)$$

W efekcie końcowym

$$\cos\alpha = \frac{R_K^2 + (R_K + H_C)^2 - R^2}{2*(R_K + H_C) * R_K} \qquad (3.6.7)$$

a zatem:

$$\alpha = \arccos\alpha$$

Gdy wartość kąta α jest wyrażona w radianach, wówczas długość łuku SRL,A oblicza się wzorem:

$$(SRL,A) = \alpha_{rad} * R_K = R'' \qquad (3.6.8)$$

Wyznaczona, przedstawioną powyżej metodą, wartość R'' jest odległością od stacji radiolokacyjnej do punktu na powierzchni Ziemi, który jest rzutem prostokątnym obiektu powietrznego. Obliczona wzorem (3.6.8) wartość R'' różni się od wartości R' obliczonej wzorem (3.6.3). R'' uwzględnia krzywiznę powierzchni Ziemi. Wykorzystywane w dalszym procesie obróbki informacji radiolokacyjnej współrzędne prostokątne płaskie oblicza się wg wzorów:

$$\begin{aligned} X_P &= R''* \sin\beta \\ Y_P &= R''* \cos\beta \end{aligned} \qquad (3.6.9)$$

Przedstawiona metoda kompensacji błędu systematycznego popełnianego przy określaniu współrzędnych prostokątnych płaskich, została przetestowana w celu sprawdzenia jakie występują różnice między współrzędnymi uwzględniającymi i nie uwzględniającymi krzywizny Ziemi.
Aby umożliwić łatwe stosowanie opisanej metody proponuje się przyjąć skrócone wzory na obliczanie współrzędnych prostokątnych obiektów powietrznych:
w przedziale wysokości $H_C \in (4 - 20km)$

$$X_P /Y_P/ = X'_{WPS} /Y'_{WPS} / * (1 - 0.013)$$

w przedziale wysokości $H_C \in (0.3 - 4km)$

$$X_P /Y_P/ = X'_{WPS} /Y'_{WPS}/ * (1 - 0.0065)$$

w przedziale wysokości $H_C \in (0 - 0.3km)$

$$X_P /Y_P/ = X'_{WPS}/Y'_{WPS}/ * (1 - 0.0025)$$

Wartości współrzędnych X'_{WPS} Y'_{WPS} należy obliczyć wg wzorów (3.6.2). Ostateczne wnioski są następujące:

- różnica między współrzędnymi uwzględniającymi krzywiznę powierzchni Ziemi (X_P, Y_P), a współrzędnymi nieuwzględniającymi (X'_{WPS}, Y'_{WPS}) zwiększa się wraz ze wzrostem odległości SRL - obiekt,
- różnica między tymi współrzędnymi zwiększa się wraz ze wzrostem wysokości H_C,
- jeżeli odległość $R \leq 50$ km, wówczas nie ma potrzeby uwzględniać poprawek na krzywiznę Ziemi.

ROZDZIAŁ IV

METODY OCENY I PODTRZYMYWANIA NIEZAWODNOŚCI DZIAŁANIA ZAUTOMATYZOWANYCH SYSTEMÓW DOWODZENIA.

Na efektywność zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia bardzo istotny wpływ ma jego niezawodność działania. Niezawodność działania zautomatyzowanego systemu zależy od niezawodności działania jego elementów składowych. Nadrzędnym celem jaki przyświecał autorowi podczas opracowywania niniejszego rozdziału było wykazanie, że należy doskonalić niezawodność działania wszystkich elementów składowych systemu, aby podwyższyć jego niezawodność globalną.
W tym rozdziale przedstawiono problemy niezawodnościowe kompleksu antropo-techniczno-programowego. Wyodrębniono zagadnienia niezawodności zestawu urządzeń technicznych, niezawodności oprogramowania systemowego i użytkowego, oraz niezawodności załogi operatorskiej (zmiany dyżurnej).

W zakresie niezawodności zestawu urządzeń opracowano problem wzajemnego wpływu niezawodności działania urządzeń. Z przeprowadzonych badań i analizy autor wyciągnął wniosek, że niezawodność urządzenia pracującego w zestawie jest mniejsza od gwarantowanej przez producenta. Efektem tych rozważań jest opracowanie metody wyznaczania funkcji niezawodności działania dowolnej konfiguracji urządzeń, których niezawodności wyznaczono podczas badań prototypowego zestawu. Badania niezawodnościowe przeprowadzono na trzech prototypowych obiektach systemu DP, a mianowicie DP-10, DP-20, DP-40.

Kolejnym zagadnieniem opracowanym w niniejszym rozdziale jest niezawodnność zainstalowanego w zautomatyzowanym systemie oprogramowania systemowego i użytkowego. Sformalizowano pojęcie poprawności oprogramowania i zaproponowano wskaźniki niezawodności. Najistotniejszą cechą oprogramowania, mającą wpływ na niezawodność, jest ilość rezydujących w oprogramowaniu błędów. Temu problemowi oraz zagadnieniom testowania autor poświęcił sporo uwagi.

Niebagatelny wpływ na niezawodność działania zautomatyzowanego systemu obrony powietrznej ma załoga (zmiana dyżurna) obsługująca ten system. Na bazie własnych i zebranych doświadczeń autor opracował model niezawodności działania

załogi. Przedstawiona została metoda oceny niezawodności działania załogi w trakcie przeprowadzanych testów, treningów, oraz w trakcie pracy bojowej. Szczególną uwagę zwrócono na problem sygnalizacji niewłaściwej pracy załogi lub pojedynczego operatora. Zaproponowana metoda może znaleźć zastosowanie w procesie dydaktycznym.

Integralnym elementem zautomatyzowanego systemu dowodzenia jest podsystem przetwarzania danych radiolokacyjnych o sytuacji powietrznej. Dane te są przysyłane, w formie ściśle określonej, ze współpracujących źródeł informacji.

Zadaniem RPPD (radiolkacyjnego podsystemu przetwarzania danych) jest dostarczanie przetworzonej informacji radilokacyjnej w sposób ciągły. Zachowanie ciągłości działania jest istotne z punktu widzenia sprawności i gotowości bojowej systemu dowodzenia OP, wykorzystującego dane dostarczane przez RPPD.

Ciągłość dowodzenia jest podstawowym zadaniem dowódców wszystkich szczebli, które musi być realizowane w każdych warunkach. Dowódca /szef/ OP w dużej mierze opiera swoje działanie na inforacjach otrzymanych z RPPD. W trakcie działań bojowych zagrożenie wojsk atakiem nieprzyjaciela powietrznego jest realne w każdym czasie i o każdej porze, dlatego dowódca OP musi mieć ciągły przegląd sytuacji w interesującej go przestrzeni powietrznej.

W świetle powyższych uwag ciągłość pracy RPPD decyduje o ciągłości procesu dowodzenia obroną powietrzną.

Niezawodność działania jest jednoznacznie kojarzona z pojęciem "ciągłość pracy". W literaturze [10] termin "niezawodność" utożsamiany jest z niezawodnością techniczną urządzeń pracujących w danych zestawach, określaną przez wymagania dotyczące cech fizycznych i technicznych.

RPPD jest złożony z trzech podstawowych elementów:

- kompleksu urządzeń technicznych,
- załogi eksploatacyjnej,
- oprogramowania komputerowego.

Niezawodność globalna podsystemu będzie zawierała niezawodności wymienionych elementów składowych.

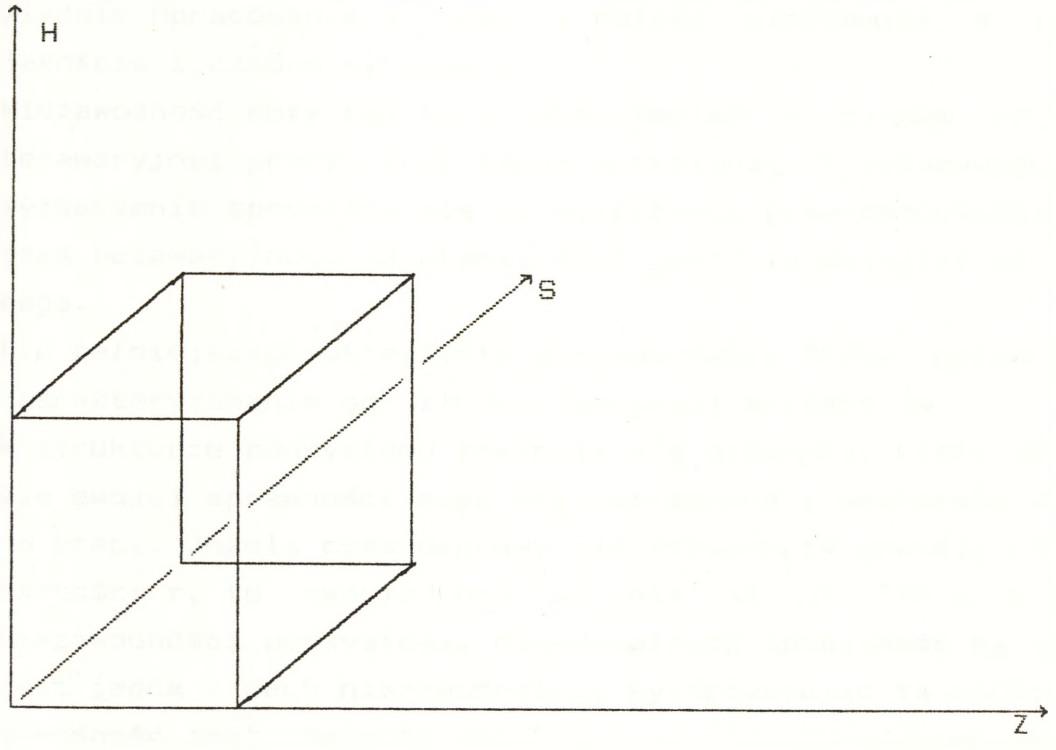
$$R_{RPPD} = F(H,S,Z) \qquad (4.1)$$

gdzie: H - niezawodność kompleksu technicznego,
S - niezawodność oprogramowania,
Z - niezawodność załogi.

Definicji niezawodności może być tyle ile jest sposobów jej oceny. Najogólniej, wartościująco-normatywna definicja niezawodności brzmi [10]: niezawodność obiektu jest to jego właści-

wość określona przez wartości istotnych w określonych przypadkach wielkości charakteryzujących zdolności obiektu do spełnienia wymagań.

Graficzne zobrazowanie pojęcia niezawodności przedstawiono na Rys.4.1.



Rys.4.1. Trójwymiarowa przestrzeń niezawodności RPPD.

W przypadku RPPD spełnienie wymagań należy rozumieć jako realizację zadania bojowego, jakim jest zabezpieczenie informatyczne podsystemu dowodzenia OP. Zdolność realizacji określonego zadania może być kojarzona z prawdopodobieństwem wykonania tego zadania. Niezawodność może być również rozumiana jako zdatność (sprawność, gotowość) do działania w określonym przedziale czasu. Oprócz ogólnej definicji niezawodności celowym jest przytoczenie bardziej precyzyjnej, a mianowicie:
niezawodność obiektu jest to prawdopodobieństwo, że wartości parametrów określających istotne właściwości obiektu nie przekroczą w ciągu okresu (t_1, t_2), bądź (0, t), dopuszczalnych granic w określonych warunkach życia obiektu.
W oparciu o tą definicję i o wymagania nałożone na wojskowy system przetwarzania danych, sformułowano następujące określenie niezawodności RPPD: niezawodnością radiolokacyjnego podsy-

stemu przetwarzania danych jest prawdopodobieństwo realizacji zadania bojowego, tzn. zabezpieczenie informatyczne podsystemu dowodzenia OP, w wymaganym czasie bez względu na warunki. Zabezpieczenie informatyczne polega na dostarczeniu w wymaganym czasie odpowiednio opracowanej informacji radiolokacyjnej o sytuacji w zadanej przestrzeni powietrznej. Odpowiednie opracowanie informacji należy utożsamiać z ilością, jakością i czasem wykonania.

Niezawodność może być kojarzona również z czasem poprawnej, bezawaryjnej pracy. Przy takim określaniu niezawodności, jej wyznaczenie sprowadza się do wyliczenia prawdopodobieństwa, że czas bezawaryjnego działania RPPD jest nie mniejszy od wymaganego.

Dla pełniejszego określenia niezawodności RPPD, celowym jest charakteryzowanie go kilkoma rodzajami wskaźników.

W strukturze podsystemu znajdują się elementy, które po utracie swojej sprawności mogą być naprawione i powtórnie włączone do pracy. Jeżeli czas naprawy nie przekroczy pewnej, ustalonej wartości τ, to awaria nie wpłynie na obniżenie globalnej niezawodności podsystemu. Naprawialność (podatność na naprawy) jest jedną z cech niezawodności. Wykorzystując tą cechę, niezawodność jest charakteryzowana przez prawdopodobieństwo przywrócenia sprawności w określonym przedziale czasu $(0, \tau)$. Naprawialność RPPD zależy od opracowanych i przyjętych metod diagnostycznych, oraz od organizacji usuwania niesprawności. Bezpośredni wpływ na naprawialność ma:

- system sygnalizacji i lokalizacji niesprawności,
- wymienność elementów składowych,
- możliwość regeneracji oprogramowania,
- dostęp do elementów i podzespołów,
- organizacja obsługi,
- wyszkolenie i operatywność załogi eksploatacyjnej,
- zaopatrzenie w części zapasowe.

Inną charakterystyką niezawodności jest gotowość podsystemu do funkcjonowania w danym momencie czasowym. Gotowość obiektu naprawialnego, a takim jest RPPD, wyrażona jest prawdopodobieństwem, że podsystem w chwili t jest gotowy do działania. W oparciu o doświadczenia z badań RPPD, wartość tego prawdopodobieństwa można wyznaczyć z wzoru:

$$P_G = \frac{\overline{T_b}}{\overline{T_b} + \overline{t_n}} \qquad (4.2)$$

gdzie: $\overline{T_b}$ – średnia długość okresów sprawności,
$\overline{t_n}$ – – " – – " – – " – niesprawności.

Należy dążyć do tego aby wartość prawdopodobieństwa była bliska jedności.

W świetle powyższych rozważań niezawodność podsystemu może być charakteryzowana przez średni czas między uszkodzeniami.

Generalnie, określenie wartości niezawodności RPPD w zadanym przedziale czasu $(0, T_o)$, polega na wyznaczeniu wartości funkcji: $\lambda(t)$, $R(t)$ dla $t \in (0, T_o)$.

Funkcja $\lambda(t)$ jest intensywnością uszkodzeń, której wartość z dużym przybliżeniem można interpretować jako warunkowe prawdopodobieństwo uszkodzenia podsystemu w jednostce czasu, pod warunkiem że poprzednio nie było uszkodzenia.

Funkcja $R(t)$, zwana funkcją niezawodności, określa prawdopodobieństwo, że podsystem w przedziale czsu $(0, t)$ był sprawny.

RPPD składa się z wielu elementów współpracujących ze sobą. Konfiguracja współzależności najlepiej daje się przedstawić za pomocą struktury szeregowo-równoległej. Dodatkowym utrudnieniem przy określaniu funkcji niezawodności jest rezerwowanie niektórych elementów. W badanej, m.in. przez autora wersji RPPD występowały dwa rodzaje rezerwowania:

- rezerwa gorąca (EMC typu UMJS),
- rezerwa ciepła (UMS-y, WPS-y, ZTD).

Przy ocenie niezawodności RPPD należy uwzględniać nadmiarowość niektórych elementów realizujących pewne etapy obróbki informacji radiolokacyjnej. Przykładem nadmiarowości może być użycie 5-ciu wskaźników zobrazowania w prototypowym RPPD zainstalowanym w CRI A/F. Aby ten podsystem mógł realizować swoje zadanie conajmniej 3 z 5 WPS-ów muszą być sprawne. Istniejące w RPPD struktury progowe poprawiają niezawodność globalną, pozwalając równocześnie prowadzić czynności konserwacyjno-diagnostyczne przy działającym podsystemie.

Odrębnym, bardzo istotnym zdaniem autora, zagadnieniem przy ocenie niezawodności jest oszacowanie zależności między intensywnościami uszkodzeń elementów składowych. W literaturze

przedmiotu autor nie spotkał szerszego opracowania na temat wpływu niezawodności działania elementu na niezawodność elementów współpracujących.

W niniejszym rozdziale rozprawy autor podjął próbę oszacowania funkcji niezawodności R(t) i rozkładu zmienności intensywności uszkodzeń λ(t), podsystemu przetwarzania danych, oraz jego elementów składowych. W tym celu wykorzystano wyniki badań niezawodnościowych prototypowego RPPD. Zastosowana została metoda wnioskowania statystycznego z wykorzystaniem testu Cochrana. Podjęto również próbę określenia niezawodności RPPD, przy założeniu wzajemnej zależności funkcji intensywności uszkodzeń elementów składowych.

Każdy system jest złożony z określonej liczby elementów składowych. Radiolokacyjny podsystem przetwarzania danych składa się z trzech zasadniczych członów:

- zestawu urządzeń technicznych (kompleksu technicznego),
- oprogramowania komputerowego,
- załogi eksploatacyjnej.

Kompleks techniczny jest złożony z kilkudziesięciu urządzeń technicznych współpracujących ze sobą. Do podstawowych należą:

- maszyny cyfrowe,
- wskaźniki panoramiczno-syntetyczne i monitory zobrazowania,
- moduły sterujące,
- urządzenia łączności i transmisji danych,
- bloki zasilania.

Oprogramowanie komputerowe RPPD składa się z dwóch zasadniczych części:

- oprogramowania systemowego (systemu operacyjnego),
- oprogramowania użytkowego (programów aplikacyjnych).

Załogę eksploatacyjną tworzy zespół operatorów złożony z:

- dowódcy obiektu,
- oficerów (operatorów) analizy,
- oficerów (operatorów) kierunkowych,
- oficerów (operatorów) naprowadzania,
- operatorów łączności.

W zależności od funkcji obiektu załoga może składać się z innych osób funkcyjnych (przedstawiono przykładowy zespół). Przy aktualnie realizowanych obiektach zautomatyzowanych

systemów dowodzenia, preferowana jest tendencja aby każda czynność opertorska mogła być wykonana na każdym stanowisku. Dzięki takiemu rozwiązaniu zwiększona zostanie uniwersalność stanowisk, oraz poprawiona nizawodność działania załogi.

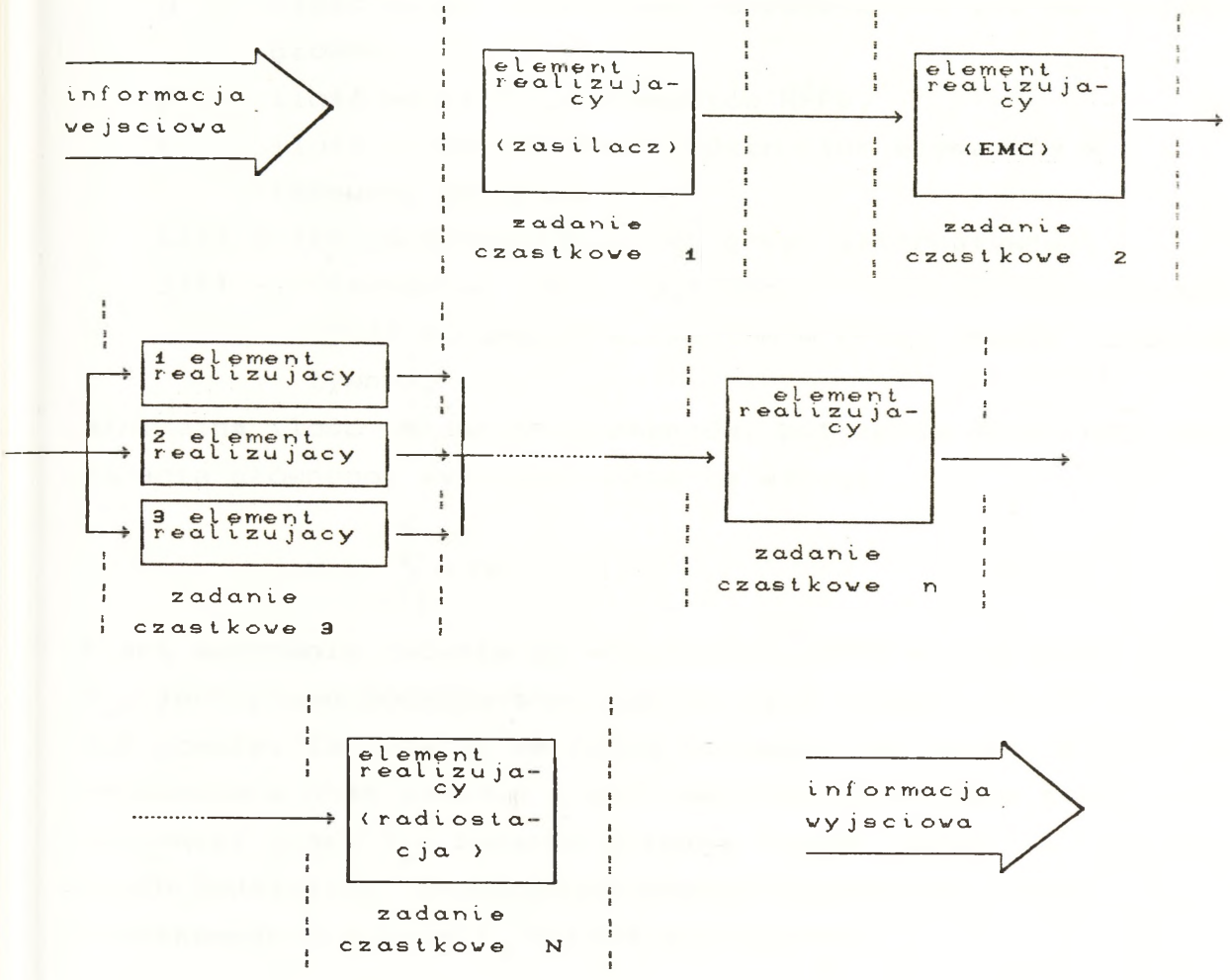
4.1 Niezawodność zestawu urządzeń technicznych.

Ciągłość pracy RPPD będzie zależała od niezawodności działania jego elementów składowych. Najczęściej spotykane w literaturze podejście do oceny niezawodności złożonego systemu, preferuje wzajemną niezależność działania elementów składowych tworzących ten system. Oznacza to, że czas poprawnej pracy jednego elementu nie zależy od czasu poprawnej pracy innego elementu, lub to że awaryjności elementów składowych są od siebie niezależne. Przy ocenie niezawodności RPPD takiego założenia nie można przyjąć, ponieważ wymienione powyżej elementy tego podsystemu wyraźnie na siebie oddziaływują. Prostym przykładem tego może być fakt, że duża liczba uszkodzeń i przerw w działaniu urządzeń technicznych prowadzi w konsekwencji do przerw w działaniu oprogramowania, oraz do zmniejszenia niezawodności działania załogi zmuszonej przez te awarie do zwiększonego wysiłku intelektualnego i ciągłej, wysokiej koncentracji uwagi.
Każdy element składowy wykonuje zadanie cząstkowe zadania generalnego, tzn zabezpieczenia informatycznego, realizowanego przez RPPD.
Należy zatem rozpatrzyć następujący problem:
czy nie zrealizowanie przez dowolny element swojego zadania cząstkowego spowoduje nie wykonanie zadania przez RPPD.
Przy założeniu typowo szeregowej struktury współpracy między elementami RPPD, awaria jednego z nich powoduje niezrealizowanie zadania głównego. W rzeczywistości niektóre zadania cząstkowe są realizowane równocześnie przez kilka identycznych urządzeń, a zatem można bez popełnienia większego błędu przyjąć, że *radiolokacyjny podsystem przetwarzania danych ma strukturę szeregowo- równoległą*. Dzięki temu *główne zadanie RPPD* tzn. zabezpieczenie informatyczne podsystemu dowodzenia OP, *jest koniunkcja zadań cząstkowych*, przy czym niektóre zadania cząstkowe są alternatywą działań grupy urządzeń.

Przy ocenie niezawodności złożonego, wieloelementowego, RPPD przyjąć należy następujące reguły dające odpowiedź na postawiony problem:

- jeżeli wszystkie elementy składowe realizują swoje zadania cząstkowe, to RPPD realizuje zadanie główne,
- jeżeli jeden z elementów, nie pracujący w strukturze alternatywnej, nie wykonuje swojego zadania cząstkowego wówczas RPPD nie realizuje zadania głównego,
- jeżeli jeden z elementów, pracujący w strukturze alternatywnej, nie wykonuje zadania cząstkowego, wówczas nie oznacza to nie wykonania zadania gównego.

Wymienione powyżej reguły przedstawiono na Rys.4.2.
Przykładem elementów pracujących w strukturze szeregowej mogą być urządzenia typu zasilacze, których awaria powoduje przerwę w działaniu całego podsystemu. Przykładem elementów pracujących w strukturze równoległej, tzn takich których funkcje mogą być realizowane zamiennie przez inne urządzenia tego samego typu, są wskaźniki i monitory zobrazowania, oraz zespoły transmisji danych.



Rys. 4.2. Struktura niezawodnościowa łańcucha realizacji zadania głównego RPPD.

Oznaczając:

N - ilość zadań cząstkowych składających się na zadanie główne,

J - ilość wszystkich elementów RPPD,

K - ilość alternatywnych podstruktur elementów w łańcuchu działań,

L(k) - liczba elementów k-tej grupy alternatywnej,

J(k) - niezbędna, dla realizacji zadania cząstkowego, ilość sprawnych elementów w k-tej grupie alternatywnej,

minimalną ilość sprawnych elementów, potrzebną dla realizacji zadania głównego, wyliczyć można wg wzoru:

$$M = \sum_{k=1}^{K} (L(k) - J(k)) \qquad (4.1.1)$$

Miarą wykonania zadania głównego przez RPPD w zadanym czasie T_o, jest prawdopodobieństwo wykonania N zadań cząstkowych w tym czasie. Zakładając że każdy ,element lub grupa elementów, realizująca n-te zadanie cząstkowe, charakteryzuje się czasem poprawnej pracy T_n, będącym zmienną losową ciągłą o realizacjach dodatnich, prawdopodobieństwo wykonania tego zadania cząstkowego w czasie T_o wyraża się wzorem:

$$\bigwedge_{n=\overline{1,N}} P_n = P(T_n > T_o) \qquad (4.1.2)$$

Ponieważ zadanie główne RPPD jest koniunkcją N zadań cząstkowych, prawdopodobieństwo łączne wykonania tego zadania można obliczyć wg. zależności:

$$P_N = \bigcap_{n=1}^{N} P_n = \bigcap_{n=1}^{N} P(T_n > T_o) \qquad (4.1.3)$$

4.1.1. Funkcja niezawodności kompleksu technicznego RPPD.

Przystępując do konstrułowania nowego radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania należy położyć duży nacisk na jego rzeczywistą niezawodność. Znając parametry niezawodnościowe elementów z których ma być on zbudowany, podawanych przez producenta, można teoretycznie wyznaczyć niezawodność działa-

nia całego zestawu. Z praktyki wynika jednak, że urządzenia techniczne pracujące w kompleksie technicznym wykazują większą awaryjność, tzn są bardziej zawodne niż to gwarantuje producent. Powodem tego jest wzajemne oddziaływanie na siebie współpracujących urządzeń. W celu określenia rzeczywistych charakterystyk niezawodnościowych typowych urządzeń z których budowane są RPPD, autor wykorzystał wyniki badań niezawodnościowych trzech prototypowych obiektów systemu DUNAJEC-P, pracujących na różnych szczeblach dowodzenia wojsk OPL. Są to obiekty DP-10, DP-20, DP-40. Do typowych urządzeń autor zaliczył:

- zasilacze,
- jednostki centralne EMC,
- wskaźniki panoramiczno-syntetyczne,
- moduły sterujące,
- zespoły transmisji danych.

Znając strukturę w jakiej pracowały w/w urządzenia, obliczono ich rzeczywiste charaktyrystyki niezawodnościowe. Celem niniejszych badań było również wykrycie najsłabszych, pod względem niezawodnościowym urządzeń, oraz określenie wpływu parametrów niezawodnościowych tych urządzeń na globalną niezawodność całego zestawu technicznego.

Niezawodność pojedynczego elementu można obliczyć wg. wzoru:

$$R(t) = P(T_e > T_o) \qquad (4.1.4)$$

gdzie: T_o – wymagany czas bezawaryjnej pracy,
T_e – trwałość danego elementu.

Dla obiektów technicznych [ ] trwałość T_e jest zmienną losową ciągłą o dystrybuancie F(t), gęstości f(t), oraz funkcji intensywności uszkodzeń (funkcji ryzyka) obliczanej wzorem:

$$\lambda(t) = -\frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{d(\ln R(t))}{d(t)} \qquad (4.1.5)$$

W takim przypadku funkcja niezawodności opisana jest wzorem:

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\Delta(t)} \qquad (4.1.6)$$

gdzie:

$$\Delta(t) = \int_0^t \lambda(\tau)\, d\tau \qquad (4.1.7)$$

jest funkcją wiodącą rozkładu.

Określona wzorem (4.1.6) funkcja niezawodności jest ciągła, różniczkowalna i spełnia warunki:

$$0 \leqslant R(t) \leqslant 1$$
$$R(0) = 1 \qquad (4.1.8)$$
$$R(\infty) = 0$$

Fizycznie funkcja $\Delta(t)$ jest miarą średniej liczby uszkodzeń elementu w zadanym przedziale czsowym (0,t).

Intensywność uszkodzeń określona wzorem (4.1.5) charakteryzuje względne pogarszanie się niezawodności obiektu przypadające na jednostkę czasu. Intensywność uszkodzeń jest zmienną losową o danym rozkładzie. W literaturze [ ] stwierdza się, że najogólniejszym rozkładem intensywności uszkodzeń urządzeń technicznych jest rozkład Weibulla, a jej wartość można obliczyć wg wzoru:

$$\lambda(t) = \alpha * \beta * t^{\alpha-1} \qquad (4.1.9)$$

Niezawodność elementu technicznego, przy założeniu rozkładu Weilbulla, wyraża wzór:

$$R(t) = \exp(-\beta * t^{\alpha}) \qquad (4.1.10)$$

Przyjmując warunek $(\alpha*\beta)=1$, łatwo zauważyć że rosnąca intensywność uszkodzeń, z jaką mamy do czynienia badając RPPD, zachodzi dla $\alpha > 1$.

Wpływ na zmieniającą się intensywność uszkodzeń, a tym samym na niezawodność działania dowolnego elementu pracującego w systemie, mają uszkodzenia innych elementów współpracujących.

Funkcję niezawodności R_s ocenianego RPPD wyznaczono na podstawie zarejestrowanych uszkodzeń. Przy pomocy siatki Weibulla wyznaczono empirycznie funkcje niezawodności poszczególnych bloków wchodzących w skład RPPD. Mając daną strukturę wyznaczyć można wzór na niezawodność i zmieniając parametry niezawodnościowe elementów składowych, szukać zasady określającej co w tej strukturze zmienić (zarezerwować), aby poprawić wskaźniki niezawodnościowe całego kompleksu technicznego.

Zgodnie ze strukturą łańcucha działań (Rys. 4.2) niezawodność

całego systemu będzie iloczynem niezawodności elementów realizujących poszczególne zadania cząstkowe. Analogicznie do wzoru (4.1.3), niezawodność RPPD wyraża się wzorem:

$$R_s = \bigcap_{n=1}^{N} R_n \qquad (4.1.11)$$

gdzie: R_n - niezawodność elementu (grupy elementów) realizujących n-te zadanie cząstkowe.

Zbiór elementów łańcucha działań można podzielić na dwa podzbiory P_1 i P_2. Podzbiór P_1 zawiera elementy pracujące szeregowo, podzbiór P_2 podgrupy elementów współpracujących w strukturach równoległych. Niezawodność całkowitą podsystemu obliczyć można wg wzoru:

$$R_s = R(P_1) * R(P_2) \qquad (4.1.12)$$

Mając zadaną strukturę RPPD, tzn: liczbę elementów pracujących szeregowo, liczbę podgrup elementów pracujących alternatywnie, oraz liczność każdej podgrupy, wzór na niezawodność $R(P_1)$, $R(P_2)$ można zapisać następująco:

$$R(P_1) = \bigcap_{z=1}^{Z} R_z \qquad (4.1.13)$$

$$R(P_2) = \bigcap_{k=1}^{K} \sum_{j=J(k)}^{L(k)} \binom{L(k)}{j} * R_k^j * (1 - R_k)^{L(k)-j}$$

gdzie:

$Z + K = N$ - ilość zadań cząstkowych,

K - ilość podgrup o strukturach równoległych,

Z - ilość elementów szeregowych,

L(k) - liczność k-tej podgrupy alternatywnej,

J(k) - niezbędna ilość sprawnych elementów w k-tej podgrupie, konieczna do realizacji zadania cząstkowego.

Niezawodność działania niektórych technicznych elementów składowych jest charakteryzowana przez producenta planowanym czasem bezawaryjnej pracy (trwałością) T_e. Kompleks techniczny pracujący w RPPD jest sens budować tylko z takich struktur urządzeń, których wartość oczekiwana czasu bezawaryjnej pracy jest nie mniejsza od wymaganego czasu bezawaryjnej pracy tego podsystemu. W takim przypadku, zgodnie z klasyczną definicją

niezawodności podawaną przez literaturę [9], [10], wzór (4.1.4), niezawodność kompleksu technicznego powinna być równa jedności. Z obliczeń wynika że tak nie jest, ponieważ w rzeczywistości czas bezawaryjnej pracy urządzenia jest zmienną losową i zależy od intensywności uszkodzeń.

Niezawodność działania RPPD zależy również od czasów bezawaryjnej pracy załogi eksploatacyjnej i oprogramowania, których nie można oszacować wg reguł stosowanych przy ocenie niezawodności urządzeń technicznych, lecz metodami wnioskowania statystycznego.

Wartość liczbową funkcji niezawodności H kompleksu technicznego (wzór 4.1), wyznaczyć można empirycznie w oparciu o wyniki badań niezawodnościowych prototypowych wersji RPPD. Uszkodzenia urządzeń technicznych, zarejestrowane w czsie przeprowadzania badań, zapisane zostały w Tabeli 4.1.

Tabela 4.1. Zestawienie ilości uszkodzeń.

Typ OBIEKTU	CZAS BADAN [H]	LACZNY CZAS NIE-SPRAWNOSCI [MIN]	ILOSC USZKODZEN	SREDNI CZAS NAPRAWY [MIN]	SREDNI CZAS CZAS BEZ-AWARYJNEJ PRACY [H]
DP-10	690,8	1824	54	34	12,2
DP-20	861,0	572	37	15,9	23,7
DP-40	720,0	622	29	21	24.5

Chronologiczny zapis uszkodzeń urządzeń technicznych w obiekcie DP-20 przedstawiony został w Załączniku Nr 4.1 .

Wartość oczekiwaną chwilowej wartości funkcji wiodącej rozkładu, wyznaczyć można wg wzoru:

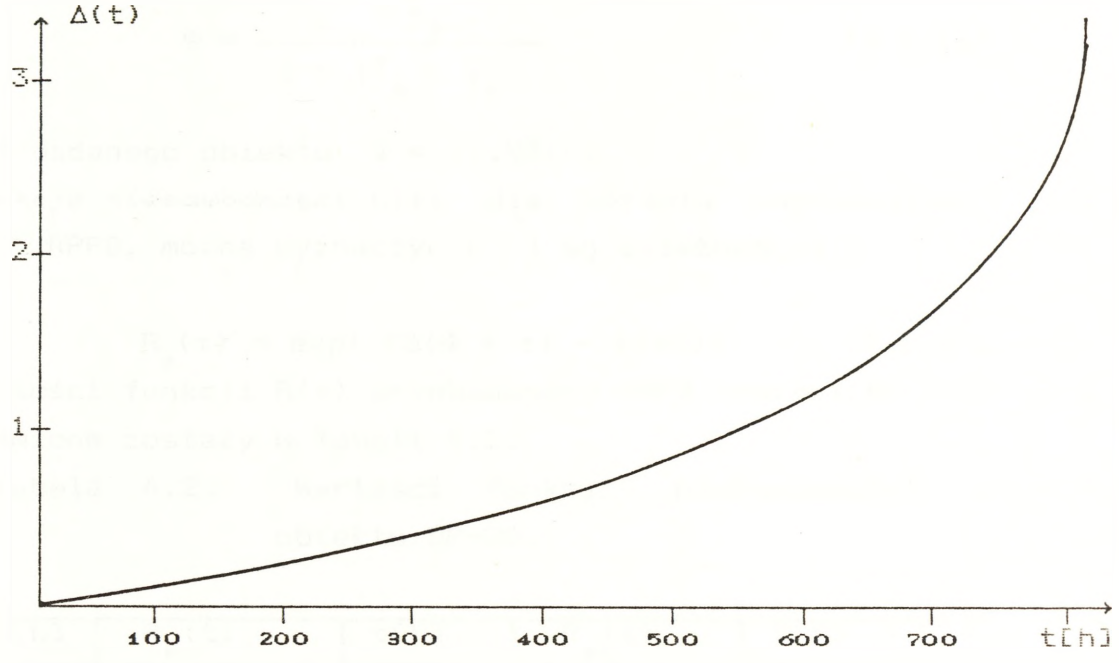
$$\Delta(t(m)) = \sum_{i=1}^{m} \frac{1}{n-i+1} \qquad (4.1.14)$$

gdzie: n – ilość zarejestrowanych uszkodzeń,

m – numer uszkodzenia.

Wartości funkcji $\Delta(t(m))$ badanego podsystemu zestawione zostały w Załączniku Nr 4.2 .

Na podstawie uzyskanych wyników wykreślony został przebieg funkcji $\Delta(t)$, Rys.4.3.



Rys. 4.3. Przebieg funkcji wiodącej $\Delta(t)$ wyznaczonej empirycznie.

Średni staż obiektu $\Psi(t)$ jest to czas jaki upłynął od chwili ostatniej naprawy do danej chwili t. Potrzebne do jego wyznaczenia wartości oczekiwane: czasu naprawy $\bar{t}_n$, czasu bezawaryjnej pracy $\bar{T}_b$, oraz wariancji czasu pracy V_p, wyznaczyć można wg następujących wzorów:

$$\bar{t}_n = \frac{1}{n}\left(T - \sum_{i=1}^{n} t_i\right)$$

$$\bar{T}_b = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} t_i \qquad (4.1.15)$$

$$V_p = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(t_i - \bar{T}_b\right)^2$$

gdzie: T – czas badań,

t_i – czas pracy badanego obiektu między i-1, a i-tym uszkodzeniem, i= 1,n,

n – ilość uszkodzeń zanotowanych wczasie badań.

W przypadku badanego obiektu $\bar{T}_b$ = 23.65[h], $\bar{t}_n$ = 0.265[h], V_p = 11.27[h^2].

Dysponując powyższymi danymi, staż obiektu wyznaczyć można wg wzoru:

$$\Psi = \frac{\overline{T}_b^{\,2} + V_p}{2 * (\overline{T}_b + \overline{t}_n)} \qquad (4.1.16)$$

Dla badanego obiektu $\Psi = 11.93$[h].

Funkcje niezawodności $R(\tau)$ dla *obiektu naprawialnego* jakim jest RPPD, można wyznaczyć [ ] wg zależności:

$$R_s(\tau) = \exp(-[\Delta(\Psi + \tau) - \Delta(\Psi)]) \qquad (4.1.17)$$

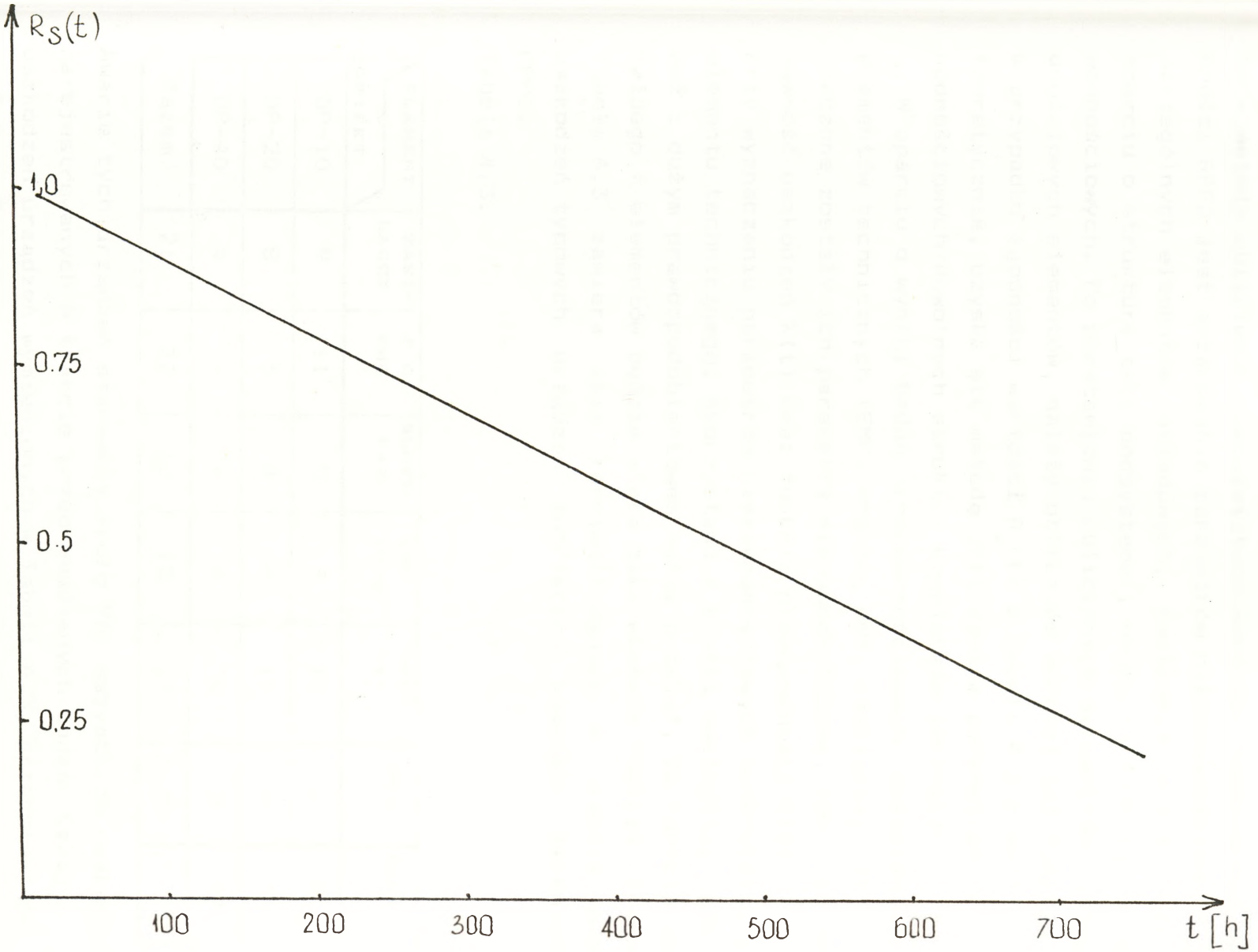
Wartości funkcji $R(\tau)$ przebadanego RPPD (obiekt DP-20), przedstawione zostały w Tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Wartości funkcji niezawodności badanego obiektu DP-20.

t[h]	$R_s(t)$	t[h]	$R_s(t)$	t[h]	$R_s(t)$
20	0,9839	260	0,6779	500	0,3862
40	0,9550	280	0,6585	520	0,3666
60	0,9252	300	0,6395	540	0,3430
80	0,9090	320	0,6123	560	0,3323
100	0,8773	340	0,5886	580	0,2995
120	0,8474	360	0,5608	600	0,2793
140	0,8232	380	0,5276	620	0,2608
160	0,8008	400	0,5014	640	0,2385
180	0,7784	420	0,4776	660	0,2142
200	0,7540	440	0,4483	680	0,2021
220	0,7306	460	0,4254	700	0,1685
240	0,7034	480	0,4154	720	0,1515

Na podstawie wartości $R_s(t)$ z Tabeli 4.2, wykreślony został wykres empirycznie wyznaczonej funkcji niezawodności RPPD, Rys.4.4.

Wyznaczony przebieg funkcji niezawodności będzie traktowany jako wzorcowy, ponieważ został wyznaczony na podstawie



Rys. 4.4 EMPIRYCZNIE WYZNACZONY PRZEBIEG FUNKCJI $R_S(t)$

przeprowadzonych praktycznie badań niezawodnościowych prototypu RPPD.

Inną metodą obliczenia rzeczywistych wartości funkcji niezawodności RPPD jest oszacowanie parametrów niezawodnościowych poszczególnych elementów składowych, następnie wyznaczenie w oparciu o strukturę tego podsystemu , wzoru na funkcję niezawodnościowych. Po podstawieniu obliczonych parametrów niezawodnościowych elementów, należy obliczyće warości tej funkcji. W przypadku zgodności wartości $R_s(t)$ z Tabeli 4.2 z wyliczoną teoretycznie, uzyska się metodę obliczaniaa parametrów niezawodnościowych dowolnych struktur kompleksów technicznych.

W oparciu o wyniki badań niezawodnościowych poszczególnych elementów technicznych (EMC, WPS-ów, UMS, zasilaczy, ZTD), wyznaczone zostały ich parametry niezawodnościowe, tzn. intensywność uszkodzeń $\lambda(t)$ oraz funkcję niezawodności $R(t)$.

Przy wyznaczaniu parametrów niezawodnościowych konkretnego typu elementu technicznego, skorzystano z siatki Weilbulla, ponieważ z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że funkcja $R(t)$ każdego z elementów będzie miała taki właśnie rozkład losowy.

Tabela 4.3 zawiera spis zarejestrowanych w trakcie badań uszkodzeń typowych urządzeń tworzących kompleks techniczny RPPD.

Tabela 4.3.

ELEMENT / OBIEKT	ZASI-LACZE	J C EMC	BLOKI PAO	UMS 10/11	WPS--11	ZTD	Razem
DP-10	9	11	5	4	10	3	52
DP-20	8	5	4	5	11	2	35
DP-40	4	6	4	4	6	3	27
Razem	21	22	13	13	27	8	

Awarie tych urządzeń stanowiły około 96% wszystkich uszkodzeń zarejestrowanych w trakcie przeprowadzanych badań. Czasy uszkodzeń urządzeń wymienionych w Tabeli 4.3, przedstawione zostały w Załączniku Nr 4.3.

Wykorzystując graficzne oszacowanie parametrów niezawodnościowych urządzeń, ich funkcję intensywności uszkodzeń określić można wg. wzoru:

$$\lambda(t) = \frac{\vartheta^*}{b^*} * \left(\frac{t}{b^*}\right)^{\vartheta^*-1} \qquad (4.1.18)$$

W Tabeli 4.4 przedstawione zostały wzory na intensywność uszkodzeń wymienionych urządzeń.

Tabela 4.4 Wzory na intensywność uszkodzeń.

Typ urządzenia	Postać funkcji $\lambda^*(t)$
Zasilacze	$\lambda^*(t) = 3.034 * t^{0,166} * 10^{-4}$ [h^{-1}]
Jednostki centralne E M C	$\lambda^*(t) = 6.529 * t^{0,056} * 10^{-4}$ [h^{-1}]
Bloki pamięci	$\lambda^*(t) = 3.879 * t^{0,026} * 10^{-4}$ [h^{-1}]
UMS - 11	$\lambda^*(t) = 3.354 * t^{-0,004} * 10^{-4}$ [h^{-1}]
WPS - 11	$\lambda^*(t) = 5.572 * t^{0,343} * 10^{-5}$ [h^{-1}]
ZTD	$\lambda^*(t) = 2.461 * t^{-0,004} * 10^{-4}$ [h^{-1}]

W wymienionych w Tabeli 4.2 momentch czasowych, wyznaczono wartości $\lambda^*(t)$, oraz $\Delta^*(t)$ dla wyszczególnionych urządzeń. Na podstawie wzoru (4.1.6) wyznaczono funkcję niezawodności. Wartości funkcji wiodącej wyznaczono wg wzoru:

$$\Delta^*(t_i) = \sum_{k=1}^{i} \lambda(t_k) * t_k \qquad (4.1.19)$$

natomiast wartość funkcji niezawodności wg zależności:

$$R^*(t_i) = e^{-\Delta^*(t_i)} \qquad (4.1.20)$$

Wyniki wyżej opisanych obliczeń przedstawione zostały w Załączniku 4.4.

W celu wyznaczenia funkcji niezawodności kompleksu technicznego przyjęto strukturę przdstawioną na Rys.4.5.

Niezawodność poszczególnych bloków złożonych z wymienionych elementów (urządzeń), obliczyć można wg. wzorów:

$$R_I = R_1 * R_{22}$$

$$R_{II} = \sum_{i=1}^{2} \left(\begin{matrix} 2 \\ i \end{matrix} \right) * R_3^i \, (1-R)^{2-i}$$

$$R_{III} = R_I * R_{II} = R_1 * R_2 * (2*R_3 - R_3^2)$$

$$R_{IV} = \sum_{i=1}^{2} \left(\begin{matrix} 2 \\ i \end{matrix} \right) * R_{III}^i * (1 - R_{III})^{2-i} = 2R_1R_2(2R_3 - R_3^2) -$$

$$- R_1^2 R_2^2 (2R_3 - R_3^2)^{22}$$

$$R_V = R_4 * R_5$$

$$R_{VI} = \sum_{i=3}^{5} \left(\begin{matrix} 5 \\ i \end{matrix} \right) * R_V^i * (1 - R_V)^{5-i} = 10*R_4^3*R_5^3*(1-R_4*R_5)^2 +$$

$$+ 5*R_4^4*R_5^4*(1-R_4*R_5) + R_4^5*R_5^{55}$$

$$R_{VII} = \sum_{i=2}^{5} \left(\begin{matrix} 5 \\ i \end{matrix} \right) * R_6^i * (1 - R_6)^{5-i} = 10*R_6^2*(1-R_6)^3 +$$

$$+ 10*R_6^3*(1-R_6)^2 + 5*R_6^4*(1-R_6) + R_6^5$$

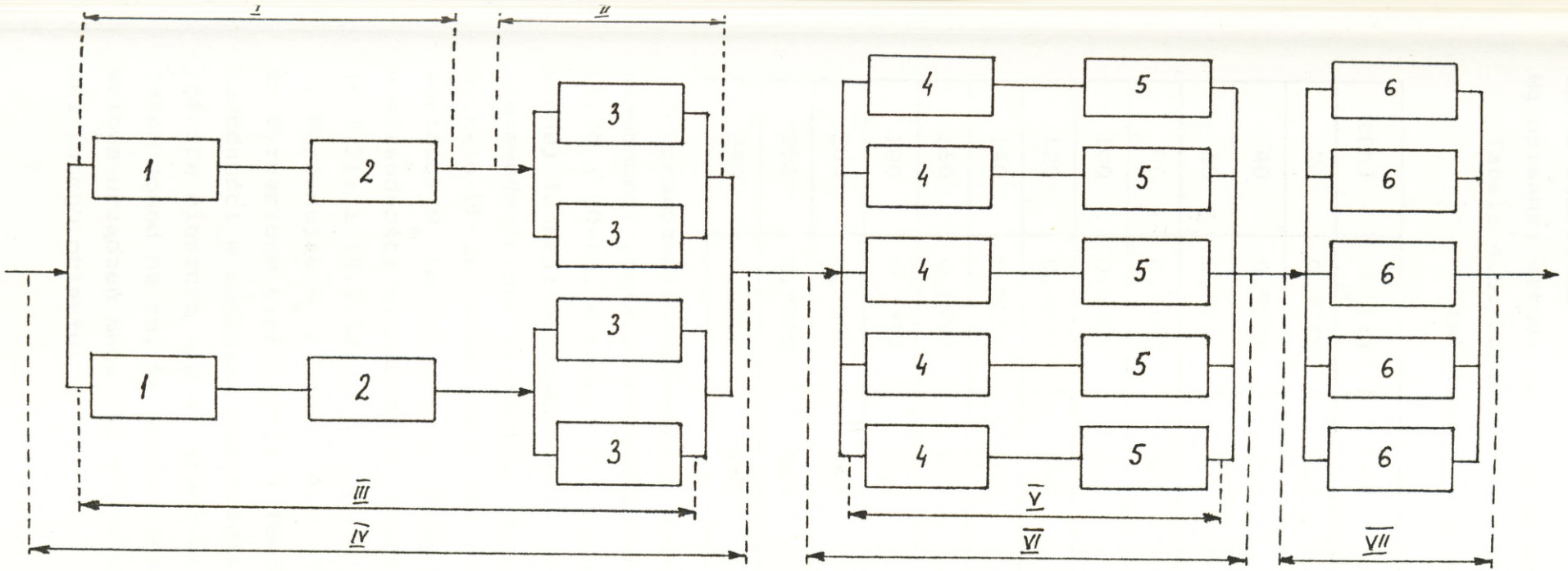
$$R_s = R_{IV} * R_{VI} * R_{VII} \qquad (4.1.21)$$

W sytuacji gdy znane są parametry niezawodnościowe bloków urządzeń (Rys.4.5), wówczas wyznaczenia funkcji niezawodności pojedynczego elementu dokonać można rozwiązując równanie:

$$R_b = \sum_{i=k}^{n} \left(\begin{matrix} n \\ i \end{matrix} \right) * R_e^i * (1 - R_e)^{n-i} \qquad (4.1.22)$$

gdzie: R_b – niezawodność całego bloku urządzeń,
R_e – – " – urządzenia danego typu,
k – ilość urządzeń które muszą być sprawne aby funkcjonował dany blok,
n – ilość urządzeń danego typu w bloku.

Po rozwiązaniu równania (4.1.22) wyznaczona zostanie wartość funkcji niezawodności elementów składowych.
Wg. wzorów (4.1.21) obliczona zostanie funkcja niezawodności całego kompleksu urządzeń technicznych RPPD.
Przyjmując takie postępowanie przy wyznaczaniu niezawodności pojedynczego egzemplarza urządzenia, uwzględniony zostanie



Oznaczenia:

1	zasilacz	3	blok pamięci	5	WPS-11
2	JC EMC	4	UMS	6	ZTD

Rys. 4.5. Struktura kompleksu technicznego RPPD.

wpływ otoczenia.

Wg opisanej metody opracowana została Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Wartość funkcji R_s wyznaczona na podstawie Załącznika 4.4, oraz wzorów (4.1.21) i (4.1.22).

t[h]	$R_s(t)$	t[h]	$R_s(t)$	t[h]	$R_s(t)$
20	0,9798	260	0,6751	500	0,3786
40	0,9576	280	0,6546	520	0,3605
60	0,9231	300	0,6407	540	0,3410
80	0,9107	320	0,6155	560	0,3296
100	0,8709	340	0,5823	580	0,3012
120	0,8501	360	0,5621	600	0,2815
140	0,8251	380	0,5295	620	0,2610
160	0,7990	400	0,5009	640	0,3304
180	0,7752	420	0,4692	660	0,2192
200	0,7504	440	0,4500	680	0,1986
220	0,7285	460	0,4203	700	0,1592
240	0,6990	480	0,4108	720	0,1494

Sprawdzenie poprawności wyznaczenia wartości funkcji niezawodności zostało przeprowadzone w oparciu o badania obiektu DP-20 i DP-40. W Tabeli 4.5 zawarto wyniki empirycznie wyznaczonej funkcji niezawodności obiektu DP-40. Charakterystyki niezawodnościowe elementów wyznaczono w oparciu o badania obiektu DP-20. Wzory (4.1.21) przedstawiają sposób wyznaczenia wartości R_s tej struktury. Tabela 4.5 zawiera wartości funkcji niezawodności wyznaczonej teoretycznie na podstawie wzorów (4.1.21) i (4.1.22).

Porównując R_s z Tabeli 4.2 i R_s z Tabeli 4.5 można zauważyć że wyznaczone empirycznie i teoretycznie wartości funkcji niezawodności w zasadzie nie różnią się od siebie. Występujące różnice mieszczą się w granicach błędów obliczeń. Jest to zatem dowód na to, że wyznaczone charakterystyki niezawodnościowe urządzeń mogą być brane do obliczeń funkcji niezawodności innego obiektu.

Przeprowadzone zostały rozważania, poparte obliczeniami, jak zmienia się wartość R_s całego kompleksu w zależności od zmian charakterystyk niezawodnościowych elementów składowych. Wyniki tych badań ujęte zostały we wnioskach.

1. Niezawodność kompleksu urządzeń technicznych stanowiących wyposażenie RPPD, można podwyższać poprzez dołączanie dodatkowych urządzeń dublujących, tworząc w ten sposób struktury nadmiarowe. Z technicznego p-tu widzenia jest to jednak niekiedy niemożliwe.

2. Poprawienie niezawodności działania pojedynczych elementów nie podwyższa w sposób proporcjonalny niezawodności działania całego kompleksu technicznego. W praktyce oznacza to poniesienie dużych nakładów na modernizację urządzeń składowych, niewspółmiernie większych od uzyskanych efektów.

3. Należy dążyć do poprawiania parametrów niezawodnościowych najsłabszych pod tym względem urządzeń, ponieważ takie działanie w sposób widoczny poprawia niezawodność całego kompleksu technicznego.

Każde z urządzeń wchodzących w skład zestawu, posiada określone przez producenta charakterystyki niezawodnościowe. W trakcie badań niezawodnościowych każdego typu urządzeń okazało się, że ich rzeczywiste parametry niezawodnościowe (np. czas bezawaryjnej pracy) są gorsze od podanych przez producenta. Jest to, zdaniem autora, spowodowane wzajemnym oddziaływaniem urządzeń. Np uszkodzenie zasilacza może być przyczyną awarii innych urządzeń wchodzących w skład zestawu technicznego.

Badania miały również na celu wykrycie najsłabszych pod względem niezawodnościowym urządzeń wchodzących w skład zestawu. Obliczenia wykazały, że dwa typy urządzeń, mianowicie wskaźniki panoramiczno-syntetyczne WPS-11, oraz jednostki centralne maszyn cyfrowych UMJS, wykazują dużą awaryjność i dlatego decydująco wpływają na obniżenie niezawodności całego kompleksu urządzeń. Powyższe stwierdzenie zostało wzięte pod uwagę przy konstrukcji kolejnych wersji zautomatyzowanych systemów dowodzenia OP. Np wóz dowodzenia ZWD-10 jest wyposażony w inny komputer, oraz zmodernizowane urządzenia zobrazowania. Dzięki temu zostaną wyeliminowane najsłabsze, pod względem niezawodnościowym, elementy wchodzące w skład kompleksu technicznego i dzięki temu podwyższona zostanie niezawodność R_s.

4.1.2. Diagnostyka funkcjonowania kompleksu technicznego zautomatyzowanego systemu dowodzenia.

Zwiększająca się złożoność współczesnych obiektów technicznych wykorzystywanych do realizacji różnorodnych zadań w ramach ZSD, wymaga specjalnego podejścia do problemów zabezpieczenia ich niezawodności na wszystkich etapach "życia" Prace nad tym zagadnieniem należy rozpocząć od momentu projektowania, a zakończyć w chwili wycofania z eksploatacji. Problem niezawodności nabiera szczególnego znaczenia w przypadku zabezpieczania ciągłości pracy systemów o znaczeniu strategicznym, a łaczy się bezpośrednio z utrzymywaniem stałej gotowości sprzętu do działań bojowych niezależnie od czasu i warunków.

Przy rozwiązywaniu problemów niezawodnościowych ważną rolę odgrywają metody i środki diagnostyki technicznej, które można i należy wykorzystywać na różnych etapach funkcjonowania obiektu technicznego. W dążeniu do "ideału niezawodnościowego" ze względu na współczynnik gotowości, należy maksymalnie wydłużać czas między uszkodzeniami, np poprzez stosowanie coraz bardziej niezawodnych elementów i podzespołów, oraz zminimalizować średni czas lokalizacji i usuwania zaistniałych uszkodzeń (awarii) metodą automatyzacji tych czynności. Należy zaznaczyć , że w budowanych obecnie zautomatyzowanych systemach dowodzenia powszechnie stosowana jest technika cyfrowa, co stwarza dodatkowe możliwości w dziedzinie diagnostyki.

Automatyzacja procesu lokalizacji uszkodzeń i błędów nabiera coraz większego znaczenia, ponieważ rośnie stopień złożoności budowanych i nowo projektowanych kompleksów technicznych ZSD, oraz ze względu na średni stopień wykształcenia etatowych obsług tego sprzętu. Konstruktor jest w stanie szybko zorientować się czy wystąpiła i jaka jest przyczyna awarii obiektu, na podstawie wskazań przyrządów pomiarowych, sygnalizacji świetlnej, itp. Etatowa obsługa obiektu systemu, przygotowana do wykonywania czynności sterujących procesem przetwarzania danych, w sytuacjach awaryjnych jest często bezradna, a w rezultacie obiekt (system), bezużyteczny. Szczególnego znaczenia nabiera ten problem w trakcie pracy bojowej,

kiedy operatorzy narażeni są na długotrwałe zmęczenie, brak snu, wzmożoną koncentrację, stresy, itp.

Precyzując wymagania na nowo opracowywane obiekty (systemy) z uwzględnieniem konieczności diagnozowania, należy przyjąć pewne ogólne założenia a mianowicie:

1. Obsługa będzie znała urządzenie w stopniu umożliwiającym pracę bojową i będzie w stanie usunąć tylko proste uszkodzenie takie jak:
   - wymiana bezpiecznika,
   - wymiana elementów sygnalizacyjnych,
   - wymiana pakietów, podzespołów, lub bloków (np zasilacza);
2. Obsługa informowana będzie w sposób automatyczny (lub półautomatyczny) o stanie zdatności urządzenia.
3 Urządzenie (system) będzie wyposażone w elementy sygnalizacyjno-pomiarowe umożliwiające szybką lokalizację uszkodzeń.

Mając na uwadze powyższe założenia związane z obsługą urządzenia (systemu) i badaniem jego stanu, można dopiero sprecyzować konkretne wymagania stawiane projektantom. W wymaganiach tych zawarte powinny zostać wszystkie diagnostyczne potrzeby użytkownika, które muszą być uwzględnione przez projektantów i konstruktorów w trakcie realizacji danego obiektu.

Rozważając potrzebę kontroli zdatności i lokalizacji uszkodzeń (awarii), w przypadku automatyzowanych obiektów rozpoznania i dowodzenia znajdujemy się w obszarach następujących zagadnień:

- zapobieganie błędom i ich usuwanie,
- przygotowanie przebiegów awaryjnych,
- kontroli zdatności systemu,
- lokalizacji uszkodzeń (błędów),
- przygotowanie dokumentacji diagnostycznej.

Podczas precyzowania wymagań na podsystem diagnostyczny, jak również podczas jego praktycznej realizacji, trzeba mieć na uwadze cały obiekt wraz z jego strukturą elektroniczną i oprogramowaniem. Nie można rozdzielać struktury typowo sprzętowej od "jądra" systemu, tzn oprogramowania w szerokim znaczeniu. Reasumując powyższe rozważania można sformułować ogólne kryteria wymagań na system diagnostyczny:

1. Na etapie projektowania obiekt powinien być dostosowany do

diagnozowania;

2. System diagnostyczny powinien dozorować obiekt w sposób nieabsorbujący, a nawet niezauważalny dla załogi i dostarczać jej diagnoz wymagajacych interwencji;
3. Diagnozowaniu podlegać powinien kompleks techniczny i oprogramowanie systemu;
4. Powinna istnieć możliwość rekonfiguracji obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń lub błędów trwałych;
5. System diagnostyczny powinien być mało rozbudowany, spójny, w sposób jednoznaczny informujący obsługę o miejscach uszkodzeń (błędów);
6. Opracowane procedury lokalizacji uszkodzeń powinny kończyć się wskazaniem uszkodzonego elementu obiektu lub grupy elementów.

Dotychczasowe rozwiązania problemów diagnostyki i kontroli funkcjonowania w istniejących ZSRiD, nie spełniają większości wymagań stawianych tego typu obiektom. Do ważniejszych mankamentów w tym zakresie można zaliczyć:

1 - brak szybkiej kontroli zdatności obiektu (ogólnego testu kontroli);
2 - lokalizacja uszkodzeń (błędów) jest często realizowana poprzez wczytanie i uruchomienie (poza czasem rzeczywistym) odzielnych testów kontrolnych, co znacznie wydłuża cały proce diagnostyki;
3 - podczas lokalizacji uszkodzenia oprogramowanie systemu musi być całkowicie wyłączone z pracy bojowej;
4 - testy kontrolne poszczególnych bloków obiektu nie zawsze są kompletne;
5 - stosowana jest duża różnorodność środków i metod kontroli i lokalizacji uszkodzeń, np. sygnalizacja świetlna, dźwiękowa, przyrządy kontrolno-pomiarowe, testy, procedury itp, bez zwięzłej metodyki wykorzystywania.

Przy opracowywaniu wymagań i późniejszej realizacji systemu diagnostycznego w budowanych aktualnie ZSRiD, należy uwzględnić wcześniej sformułowane kryteria, jak również rozpatrzyć następujące zagadnienia:

1. Zmiana konfiguracji systemu.

W przypadku obiektu działającego w czasie rzeczywistym potrzebny jest mechanizm, który po wykryciu błędu (uszkodzenia) do-

prowadzi system w jak najkrótszym czasie do sprawnego działania, np programowym oddzieleniu uszkodzonego urządzenia. W tym nowym stanie działania systemu, który jest osiągany po wystąpieniu błędu, mogą nie wykonywać się niektóre realizowane w systemie pełnosprawnym. Należy więc przewidzieć tak rezerwę sprzętową jak i programową. Zmiana konfiguracji systemu systemu jest przede wszystkim niezbędna przy błędach (uszkodzeniach) trwałych. Przy błędach chwilowych w pierwszej kolejności należy zabezpieczyć możliwość powtórzenia rozkazu, instrukcji, bez potrzeby przerywania pracy systemu i sygnalizowania tego operatorowi. Decydując się na określony rodzaj rezerwy należy sprecyzować czy będzie ona realizowana na poziomie całego systemu,podsystemu,czy też na poziomie poszczególnych elementów.

2. Zmiana konfiguracji oprogramowania.

Dzięki znacznej poprawie niezawodności działania sprzętu komputerowego, błędy programowe mają coraz większy wpływ na ogólną niezawodność systemu. Jedną z metod walki z tego typu błędami jest stosowanie rezerwy programowej. Należy mieć na uwadze fakt, że błędy projektowe oprogramowania są inne od błędów "warsztatowych", popełnionych przez programistę. Z tego względu nie wystarczy przewidzieć, że modułem rezerwowym będzie kopia modułu podstawowego. To samo zagadnienie należałoby rozwiązać stosując różne algorytmy, zaprogramowane przez odzielne zespoły programistów. Aby zapewnić poprawność działania oprogramowania, warto rozwiązać to samo zadanie np. przez dwa zespoły projektowe.

3. Ponowny start systemu (operacyjnego).

O ile w prostych systemach przetwarzania danych można po pojawieniu się błędu, rozpocząć przerwane procesy całkowicie od początku, o tyle taki start w systemie czasu rzeczywistego, a takimi są ZSRiD OP, powoduje poważne perturbacje i jest związany z dużymi trudnościami ponieważ:

- trzeba od początku rozpocząć realizację pewnej liczby równocześnie liczonych procesów i strata czasu jest stosunkowo duża,
- należy od początku zsynchronizować system z otoczeniem,
- może nie wystarczyć czasu na terminowe wykonanie wymaganych działań (pracy bojowej).

Biorąc pod uwagę powyższe zastrzeżenia należy dołożyć starań aby restartować system w taki sposób, aby nie ingerować w działanie tych funkcji systemu które nie zostały dotknięte błędem.

4. Miejsca lokalizacji uszkodzeń i błędów.

Decydując się na wykrywanie błędów (uszkodzeń) należy odpowiedzieć na pytanie: gdzie i ile punktów wykrywania błędów powinno się umieścić wewnątrz systemu. Dotyczy to zarówno teniki jak i oprogramowania. Liczba punktów wykrywania błędów (uszkodzeń) jest uwarunkowana z jednej strony celowością wykrywania błędu (tzn określenim który rodzaj błędu jest w danych warunkach najbardziej krytyczny), a z drugiej strony przez wpływ procesu wykrywania błędów na niezawodność i czas działania systemu. W odniesieniu do miejsca wykrywania błędów można sformułować następujące uwagi ogólne:

- wszystkie dane wejściowe natychmiast po wprowadzeniu do systemu muszą być poddane kontroli poprawności,
- każde miejsce wykrywania uszkodzeń (błędów) określa pewien obszar w którym błąd może się rozprzestrzeniać bez możliwości wykrycia,
- istotny wpływ na decyzję gdzie umieścić punkt wykrywania błędów (uszkodzeń) ma ustalenie podstawowego nienaprawialnego elementu obiektu,
- błędy (uszkodzenia) powinno się wykrywać w miejscu, w którym najmniejsza liczba danych określa wszystkie istotne informacje o stanie całego systemu,
- każdy ponowny start wymaga doprowadzenia systemu do prawidłowego stanu.

Jak wynika z dotychczasowych rozważań, problematyka wymagań na dobry system diagnostyczny obejmuje szeroki zakres zagadnień i wymaga dogłębnych przemyśleń, szczególnie na etapie projektowania systemu. Wiąże się to z narzucenim konstruktorowi urządzeń wymagań aby zaprojektował dodatkowe układy czujnikowe i przekształcające, np przetworniki analogowo-cyfrowe w celu dodostarczenia informacji o stanie obiektu do systemu diagnostycznego.

4.2. Niezawodność oprogramowania użytkowego zautomatyzowanego systemu obrony powietrznej.

Współczesne zautomatyzowane systemy obrony powietrznej nakładają na oprogramowanie użytkowe wysokie wymagania. Oprogramowanie takie musi się cechować m.in. odpowiednio wysokim stopniem niezawodności działania, tzn. musi zapewnić określony poziom danych wynikowych (ilość, jakość) w wymaganym przez użytkownika czasie bezawaryjnej pracy. Na ogólnie rozumianą jakość oprogramowania ma wpływ szereg czynników, a mianowicie: jakość algorytmów i zadań przyjętych do oprogramowania, język programowy którego użyto do realizacji oprogramowania, system operacyjny pod którym pracują programy, programista piszący oprogramowanie, oraz zastosowane metody testowania i kontroli programów.

Pojęcie niezawodności działania kojarzy się niejako automatycznie z obiektami technicznymi i może sprawiać pewne trudności w przypadku definiowania jej dla tworów specyficznego rodzaju jakim są programy komputerowe. W literaturze przedmiotu [ ] spotkać można definicję niezawodności programu jako potencjalną zdolność do tolerowania błędów środowiska i własnych uszkodzeń. Inne podejście do zagadnienia niezawodności oprogramowania łączy się ze spełnieniem wymagań na czas bezawaryjnej pracy i czas naprawy. W przypadku wojskowych systemów informatycznych czasu rzeczywistego, niezawodność oprogramowania należy rozumieć jako prawdopodobieństwo realizacji zadania bojowego (zabezpieczenia informatycznego), bez względu na czynniki zewnętrzne np. różnorodne oddziaływanie n-pla. Niezależnie od przyjętej definicji, na niezawodność oprogramowania ma wpływ bezpośrednio poprawność programów tworzących to oprogramowanie. Określenie w praktyce stopnia poprawności programu jest bardzo trudne. Istotnym wskaźnikiem niezawodności oprogramowania jest, podobnie jak dla urządzeń technicznych, wskaźnik gotowości wiążący w sobie czas naprawy i czas bezawaryjnej pracy.

Rozważania na temat poprawności programu należy rozpocząć od stwierdzenia, że każdy program komputerowy P ma za zadanie dostarczyć danych wynikowych W w oparciu o dane wejściowe D. Zarówno dla danych wejściowych jak i danych wyjściowych sfor-

mułowane są pewne warunki poprawności.

Przyjmijmy oznaczenia:

- g - warunek poprawności danych wejściowych,
- g^{-1} - warunek niepoprawności danych wejściowych (jeżeli dane d spełniają g to nie spełniają g^{-1}),
- l - warunek poprawności danych wynikowych,
- S - semantyka programu P zdefiniowana następująco:

(d) S (w) $\Leftrightarrow$ P stopuje dla danych d i daje wynik w.

Program P jest poprawny jeżeli spełnione zostały warunki g, l, oraz program wykonał prawidłowy stop:

$$\bigwedge_{d\in D} : g(d) \Rightarrow \bigvee_{w\in W} : [(d)\ S\ (w)] \wedge l(w) \qquad (4.2.1)$$

Z praktyki wiadomo że zbiór danych D, zbiór wyników W, oraz warunek poprawności l jest zazwyczaj określony przez użytkownika, natomiast sprecyzowanie i sprawdzenie warunku g oraz określenie postaci S jest pozostawione twórcy programu. Ponieważ nie wszystkie dane wejściowe d$\in$D mogą spełniać warynek g (np błędy operatorskie,przekłamania informacji w transmisji), zatem definicję należy uzupełnić o aparat zastopowania programu i sygnalizacji niepoprawności danych wejściowych D, oznaczony przez A. Generalnie poprawność programu można zdefiniować następująco - program P o semantyce S jest poprawny jeżeli prawdziwa jest implikacja (4.2.1) i jeżeli w wyniku jego realizacji uzyskano stosowną sygnalizację w przypadku błędnych danych wejściowych

$$P \Leftrightarrow \left(\bigwedge_{d\in D} : g(d) \Rightarrow \bigvee_{w\in W} : [(d)S(w)]\right) \wedge \left(\bigwedge_{d\in D} : g^{-1}(d) \Rightarrow \bigvee_{a\in A} : a(d)\right) \qquad (4.2.2)$$

Taka postać definicji poprawności programu P wydaje się być wyczerpująca, ponieważ o ile sam P decyduje o spełnieniu warunku l, o tyle nie ma on wpływu na postać danych wejściowych, ale powinien zareagować w odpowiedni sposób na niespełnienie warunku poprawności g.

Poprawność programu określa się podczas badań i testów. Należy jednak pamiętać że brak błędów w trakcie testowania wcale nie musi oznaczać poprawności programu, lecz tylko małą skuteczność zastosowanej metody testowania. W praktyce znane są przypadki wykrywania błędów w oprogramowaniu użytkowym po kilku latach eksploatacji.

Miarą poprawności oprogramowania P działającego na zbiorze danych wejściowych D, może być prawdopodobieństwo uzyskania z programu P wyniku "w" spełniającego warunek poprawności "1", lub sygnalizację "a" o złych danych wejściowych

$$M(P) = P(1(w):(d)S(w)/g(d)) + P(a(d)/g^{-1}(d)) \quad (4.2.3)$$

Przystępując do określania charakteru przebiegu funkcji niezawodności oprogramowania należy przyjąć szereg założeń. Pierwszym założeniem jest przyjęcie zasady, że funkcja ryzyka z(t) jest proporcjonalna do ilości rezydujących (dotąd nie poprawionych) błędów w oprogramowaniu. Funkcja ryzyka z(t) jest prawdopodobieństwem warunkowym awarii oprogramowania w przedziale czasu (t, Δt), przy założeniu że wcześniej nie wystąpiła. Zatem:

$$z(t) = P(t < T < t+\Delta t \;/\; T > t) \quad (4.2.4)$$

gdzie T oznacza moment wystąpienia awarii.
Założenie to można intuicyjnie uznać za prawdziwe, ponieważ istotnie im mniej błędów w oprogramowaniu tym mniejsze ryzyko jego awarii.

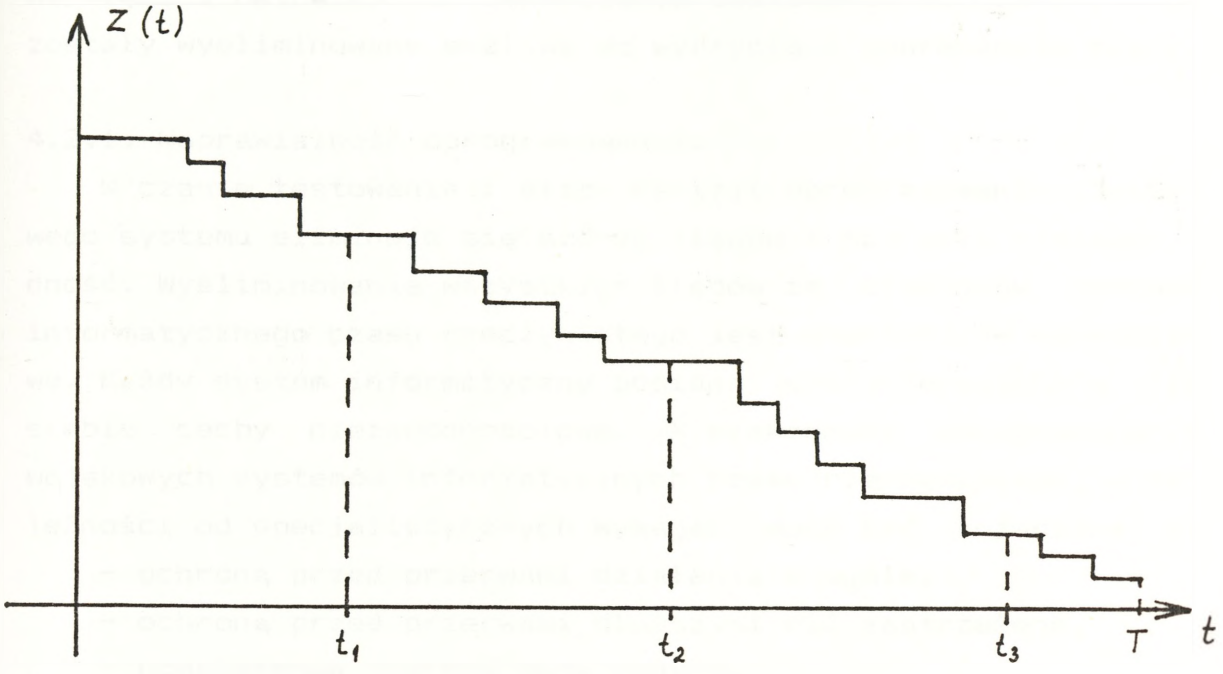
Drugie założenie polega na traktowaniu wszystkich błędów z jednakową wagą. Oznacza to, że funkcja z(t) zmniejsza się skokowo wraz z poprawieniem wykrytego błędu.

Trzecie założenie zakłada nie wprowadzanie nowych błędów w trakcie poprawiania już wykrytych. Założenie to jest dyskusyjne, ponieważ napisanie absolutnie poprawnego programu (w tym również poprawek) jest prawie niemożliwe.

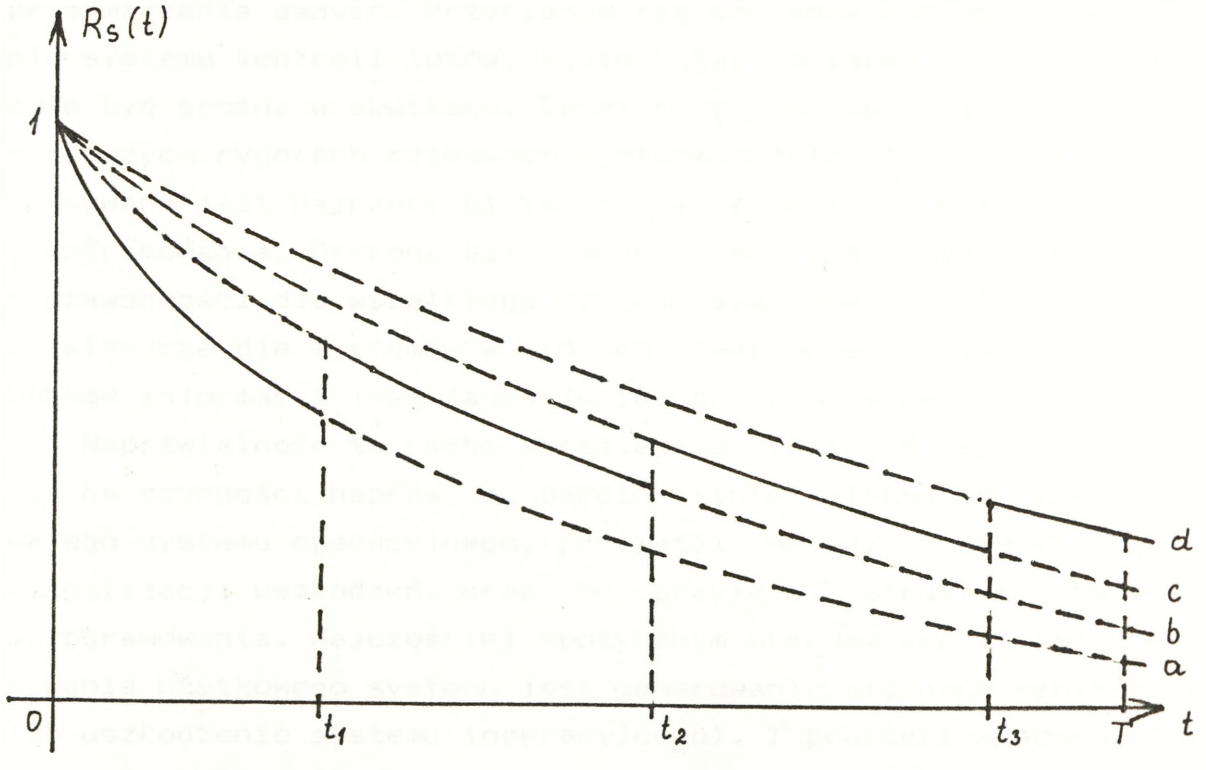
Czwarte założenie, także intuicyjnie uzasadnione, opiera się na przyjęciu zasady, że w pierwszym okresie testowania wykrywana jest większa ilość błędów w jednostce czasu, a w miarę wydłużania tego czasu ilość wykrytych błędów maleje.

Po przetestowaniu oprogramowania użytkowego systemu możliwe jest wyznaczenie charakteru przebiegu funkcji ryzyka z(t). Niewiadomą, potrzebną do określania wartości z(t), jest liczba pozostawionych (nie wykrytych i nie poprawionych) w oprogramowaniu błędów. Kontynułując tok rozumowania należy określić charakter funkcji niezawodności $R_s(t)$ oprogramowania. W trakcie testowania poprawiane są błędy i zmniejsza się wartość funkcji ryzyka z(t), oraz wzrasta niezawodność R_s. W przedziale testowania (0, T) nie można wyznaczyć jednej funkcji nieza-

wodności $R_s(t)$, ponieważ każdy wyeliminowany błąd zmienia jej charakter. Charakter zmian wartości funkcji ryzyka z(t) i $R_s(t)$ w całym okresie testowania przedstawiają wykresy.



Rys.4.2.1. Zmiana wartości funkcji ryzyka z(t) w przedziałach testowania.



Rys.4.2.2. Zmiana charakteru funkcji $R_s(t)$ w przedziałach testowania.

Analizując rys.4.2.2. widać, że najmniejszą niezawodność wykazuje oprogramowanie w pierwszym okresie testowania, tzn wtedy gdy rezyduje w nim największa ilość błędów (krzywa a), największą natomiast po zakończonym testowaniu (linia e), gdy zostały wyeliminowane możliwe do wykrycia i poprawienia błędy.

4.2.1. Naprawialność oprogramowania.

W czasie testowania i etapu rewizji oprogramowania użytkowego systemu eliminuje się szereg błędów i poprawia niezawodność. Wyeliminowanie wszystkich błędów ze złożonego systemu informatycznego czasu rzeczywistego jest praktycznie niemożliwe. Każdy system informatyczny posiada charakterystyczne dla siebie cechy niezawodnościowe. Niezawodność oprogramowanie wojskowych systemów informatycznych czasu rzeczywistego, w zależności od specjalistycznych wymagań, może być kojarzona z:

- ochroną przed przerwami działania w ogóle,
- ochroną przed przerwami dłuższymi niż zastrzeżone,
- kompleksową ochroną bazy danych.

Pierwszy przypadek odnosi się do oprogramowania sytemu o działaniu bezpośrednim, które musi zachować nieprzerwaną ciągłość przetwarzania danych. Przykładem takiego może być oprogramowanie systemu kontroli lotów, gdzie każda przerwa w działaniu może być groźna w skutkach. Drugi przypadek dotyczy systemów o mniejszych rygorach czasowych i niezawodność takich systemów opisywana jest najczęściej za pomocą średniego czasu odnowy oprogramowania. Ochrona baz danych jest istotnym problemem niezawodności dla wszelkiego rodzaju systemów informatycznych, a zwłaszcza dla systemów w których tworzenie i aktualizacja banków informacji jest zagadnieniem priorytetowym.

Naprawialność to cecha określająca podatność oprogramowania na czynności naprawcze, bardzo silnie zależna od zastosowanego systemu operacyjnego, przyjętej metody diagnostyki i sygnalizacji uszkodzeń, oraz od przyjętej struktury budowy oprogramowania. Najczęściej spotykanym objawem awarii oprogramowania użytkowego systemu jest generowanie błędnych wyników, lub uszkodzenie systemu (operacyjnego). Z praktyki wiadomo, że sytuacja taka występuje z dwóch zasadniczych przyczyn: technicznych, oraz błędów w oprogramowaniu. Przykładem przyczyny technicznej może być np uszkodzenie urządzenia lub duże wach-

nięcie napięcia zasilającego, nie zniwelowane przez stabilizatory. Nie wykryte podczas testowania i badań błędy w oprogramowaniu mogą spowodować zapętlenie się programów lub nieodwracalne uszkodzenie systemu operacyjnego. W trakcie użytkowania systemu informatycznego usunięcie awarii oprogramowania realizuje się praktycznie dwoma sposobami:

- regeneracją i powtórnym restartem systemu operacyjnego,
- ponownym wczytaniem i wystartowaniem oprogramowania systemowego i użytkowego.

Teoretycznie korzystniejsze (mniej potrzeba czasu na jego likwidację) jest uszkodzenie dające się zlikwidować tylko restartem systemu operacyjnego.

Każdy wojskowy system informatyczny ma zadane wymagania na czas bezawaryjnej pracy T_b i na czas naprawy T_n. W trakcie testowania można oszacować rzeczywisty średni czas bezawaryjnej pracy T_b^r, oraz rzeczywisty średni czas naprawy oprogramowania T_n^r. Rzeczywisty bezawaryjny czas pracy to czas od momentu uruchomienia oprogramowania użytkowego do przerwy dłuższej niż dopuszczalna. Przyjmując, że prawdopodobieństwo poprawnej pracy oprogramowania ma rozkład wykładniczy o intensywności uszkodzeń λ, prawdopodobieństwo że rzeczywisty czas bezawaryjnej pracy T_b^r będzie nie mniejszy niż wymagany T_b można wyznaczyć analitycznie z wzoru:

$$P(T_b^r) = e^{-\lambda * T_b} \qquad (4.2.5)$$

Intensywność uszkodzeń λ jest sumą 2 rodzajów uszkodzeń (omówionych powyżej) o intensywnościach λ_1 i λ_2. Czas naprawy T_1 uszkodzenia pierwszego rodzaju jest mniejszy od czasu naprawy uszkodzenia oprogramowania drugiego rodzaju.

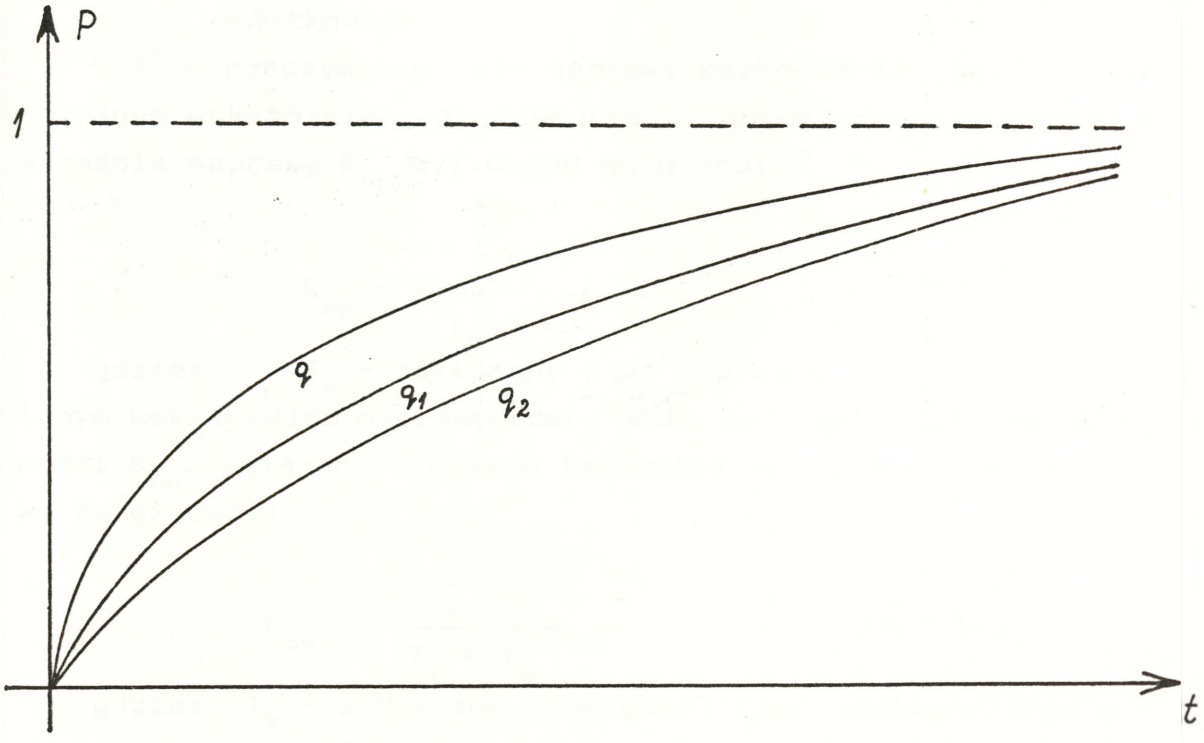
Prawdopodobieństwo wystąpienia danego czasu naprawy oblicza się wg wzorów:

$$P(T_1) = 1 - e^{-\lambda_1 * T_b}$$
$$P(T_2) = 1 - e^{-\lambda_2 * T_b} \qquad (4.2.6)$$

Prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia, tzn p-stwo że rzeczywisty czas pracy $t^* < t$, wyliczyć można wg wzorów:

$$q(t^*) = 1 - e^{-\lambda * t} \qquad (4.2.7)$$

Zależność prawdopodobieństw uszkodzeń od przyjętych intensywności λ przedstawiono na rys 4.2.3.



Rys.4.2.3. Zależność p-stw uszkodzeń $q(\lambda_1)$, $q(\lambda_2)$, $q(\lambda_1+\lambda_2)$.

Po pewnym okresie eksploatacji T_E systemu informatycznego należy usunąć wykryte błędy oprogramowania użytkowego, których nie wyeliminowano w trakcie testowania i badań. Czas T_E należy traktować jako etap pielęgnacji i dopracowywania. Każdy nowo powstały system informatyczny powinien mieć, przez odpowiednio długi czas, tzw opiekuna systemu, wywodzącego się z twórców oprogramowania. Zadaniem opiekuna byłoby zbieranie, analizowanie i formułowanie wniosków na temat wykrytych w trakcie eksploatacji błędów programowych. Rezultaty pracy opiekuna systemu powinny być wykorzystane przy realizacji nowszych generacji, lub tworzeniu innych systemów.

4.2.2. Wskaźniki niezawodności oprogramowania.

Podobnie jak dla urządzeń technicznych, jednym z głównych wskaźników niezawodnościowych jest wskaźnik gotowości oprogramowania K_{gp}. Wartość tego wskaźnika określić można wzorem:

$$K_{gp} \stackrel{def}{=} \frac{T_b^r}{T_b^r + T_n^r} \qquad (4.2.8)$$

gdzie:

T_b^r – rzeczywisty czas bezawaryjnej pracy oprogramowania użytkowego,

T_n^r – rzeczywisty czas naprawy uszkodzenia oprogramowania

Kolejnym wskaźnikiem niezawodności oprogramowania może być wskaźnik naprawy K_{np} wyliczany wg wzoru:

$$K_{np} = \frac{T_n}{T_n + T_n^r} \qquad (4.2.9)$$

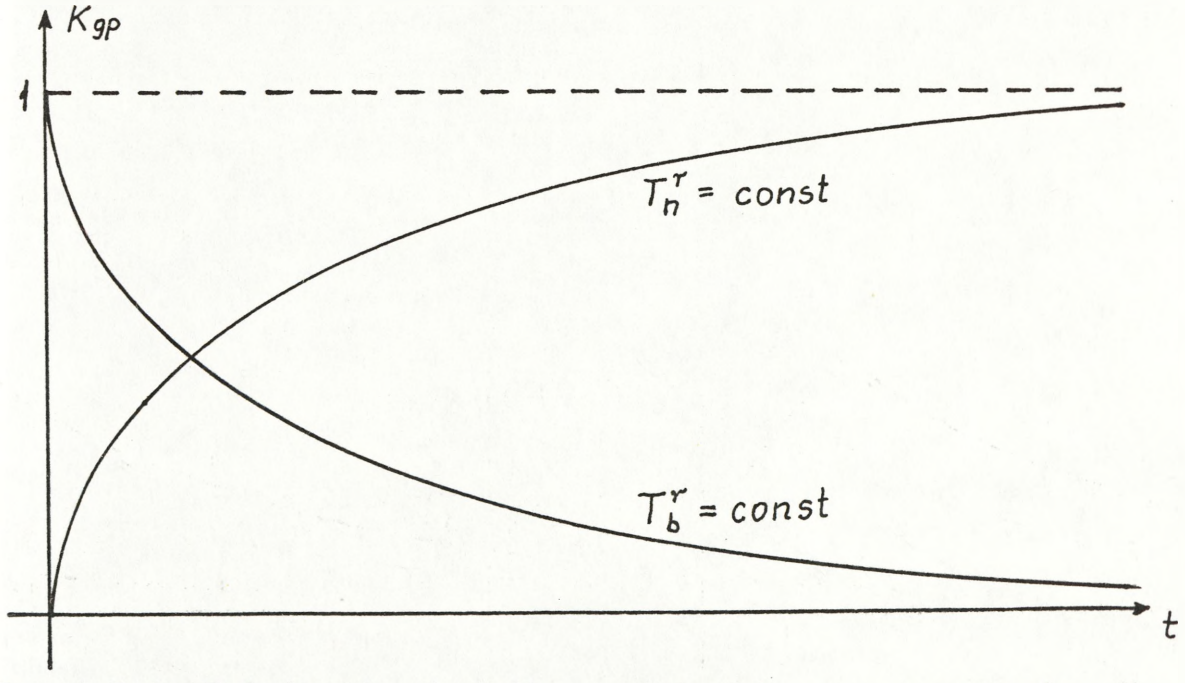
gdzie: T_n – zakładany czas naprawy.

Innym wskaźnikiem niezawodności może być wskaźnik bezawaryjności K_{bp}, związany z czasem bezawaryjnej pracy, wyliczany wg zależności:

$$K_{bp} = \frac{T_b^r}{T_b + T_b^r} \qquad (4.2.10)$$

gdzie: T_b – zakładany (wymagany) czas bezawaryjnego działania oprogramowania.

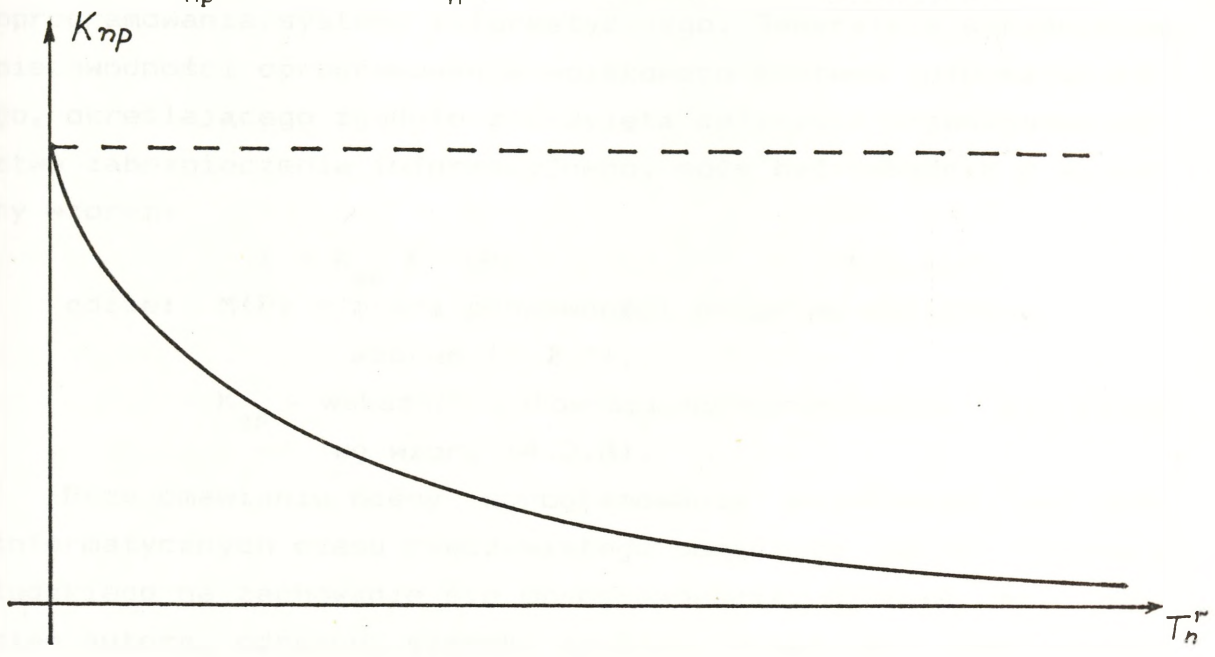
Przebieg wskaźnika K_{gp} w funkcji T_b^r i T_n^r przedstawiono na wykresie (rys.4.2.4).



Rys.4.2.4. Zależność wskaźnika gotowości oprogramowania K_{gp} od czasów T_n^r i T_b^r.

Jak widać z wykresu współczynnik gotowości oprogramowania rośnie jeżeli rzeczywisty czas naprawy maleje, lub gdy rośnie rzeczywisty czas bezawaryjnego działania tego oprogramowania.

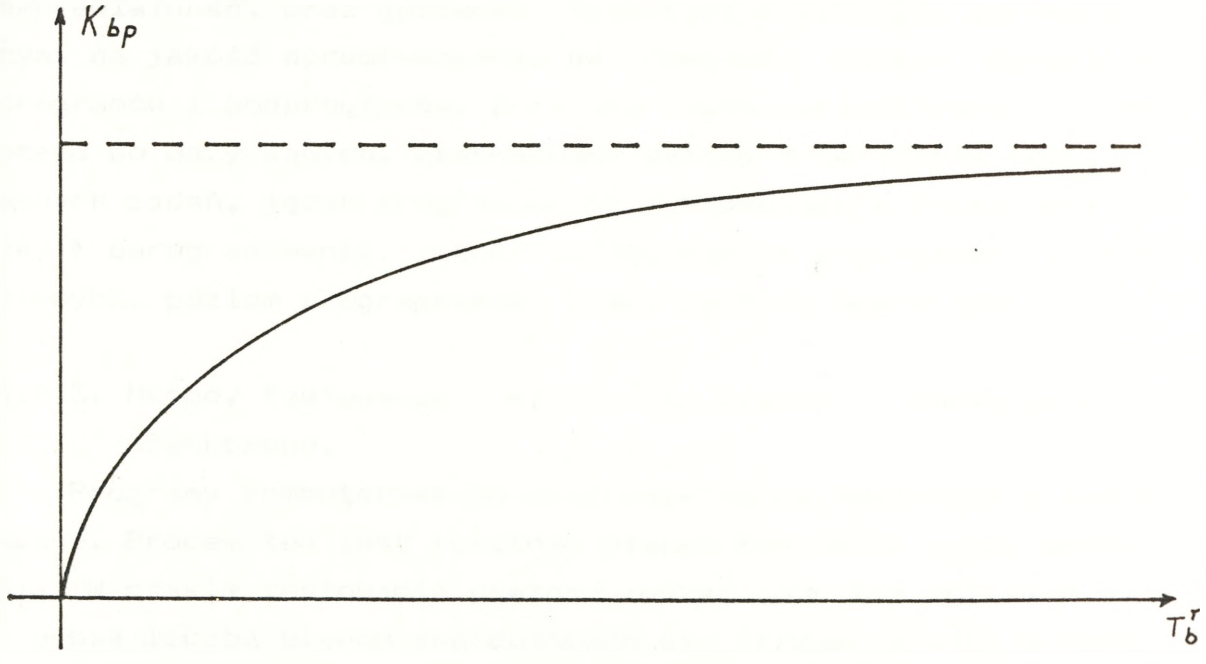
Przebieg K_{np} w funkcji T_n^r przedstawiono na rys.4.2.5.



Rys.4.2.5. Zależność wskaźnika naprawy K_{np} od rzeczywistego czasu naprawy uszkodzenia oprogramowania T_n^r.

Wartość wskaźnika niezawodności K_{np} maleje przy wzrastającym czasie naprawy T_n^r.

Zależność wskaźnika K_{bp} od czasu T_b^r ilustruje rys.4.2.6.



Rys.4.2.6. Zależność wskaźnika bezawaryjności K_{bp} od rzeczywistego czasu pracy T_b^r.

Wskaźnik niezawodności K_{bp} rośnie jeżeli czas bezawaryjnej pracy oprogramowania rośnie.

Wskaźniki K_{np} i K_{bp} można traktować jako wskaźniki

pomocnicze, pozwalające w pełniejszy sposób określić cechy oprogramowania systemu informatycznego. Generalnie wskaźnikiem niezawodności oprogramowania wojskowego systemu informatycznego, określającego zgodnie z przyjętą definicją prawdopodobieństwo zabezpieczenia informacyjnego, może być wskaźnik ξ opisany wzorem:

$$\xi = K_{gp} * M(P) \qquad (4.2.11)$$

gdzie: M(P) - miara poprawności programu obliczona wzorem (4.2.3),

K_{gp} - wskaźnik gotowości oprogramowania wyliczony wg wzoru (4.2.8).

Przy omawianiu oceny oprogramowania wojskowych systemów informatycznych czasu rzeczywistego pominięto wpływ czynnika ludzkiego na zachowanie się oprogramowania. Stanowi to, zdaniem autora, odrębny, szeroki problem wymagający oddzielnego dogłębnego i wnikliwego potraktowania. Ocena oprogramowania użytkowaego nie daje się opisać prostymi regułami, ponieważ na szeroko rozumianą jakość tego oprogramowania ma wpływ bardzo wiele czynników wzajemnie na siebie oddziaływujących. Bardzo duży wpływ na niezawodność działania mają omówione poprawność, naprawialność, oraz gotowość. Istotnymi czynnikami wpływającymi na jakość oprogramowania są również: budowa wszystkich programów i podprogramów, przyjęty system aktualizacji i dostępu do bazy danych, zastosowany system priorytetów realizowanych zadań, język programowania zastosowany w czasie realizacji oprogramowania, jakość zastosowanych algorytmów obliczeniowych, poziom programistów, klasa systemu operacyjnego.

4.2.3. Metody testowania i eliminacji błędów z oprogramowania użytkowego.

Programy komputerowe po uruchomieniu są testowane i poprawiane. Proces ten jest istotnym etapem tworzenia oprogramowania. W czasie testowania powinna zostać usunięta możliwie największa liczba błędów znajdujących się (rezydujących) w oprogramowaniu. Z praktyki wiadomo, że usunięcie wszystkich błędów z oprogramowania jest niemożliwe. Błędy są wrodzoną własnością programów komputerowych. Wśród profesjonalnych programistów i teoretyków inżynierii oprogramowania [ ] funkcjonuje pogląd, że na każde 1000 instrukcji programu około 10 jest błędnych.

Zadaniem systemu informatycznego jest opracowanie wyników na podstawie danych wejściowych. Zarówno dane wejściowe jak i dane wynikowe powinny spełniać określone warunki poprawności. Przyjęta na wstępie definicja formułuje pojęcie poprawności oprogramowania jako prawdopodobieństwo danych wyjściowych uzyskanych na bazie danych wejściowych. Działania programu nie można porównać z działaniem np urządzeń technicznych. Program komputerowy jest to sposób rozwiązania określonego problemu, zapisany przez programistę przy pomocy sformalizowanych instrukcji wybranego języka programowego. Poprawność działania urządzeń technicznych jest funkcją czasu, natomiast poprawność działania programu funkcją danych wejściowych. Program nie podlega procesowi "starzenia się", zużycia, tak jak podlegają temu urządzenia techniczne, lub procesowi zmęczenia jak ludzie Błędne działanie urządzeń ma charakter losowy, a w przypadku programu systematyczny. Jeżeli w czasie testowania zostaną wykryte dane wejściowe przy których program działa niepoprawnie, to niezależnie od czasu, przy ich wprowadzeniu program będzie dawał wyniki nie spełniające warunku poprawności. Precyzyjne określenie warunków poprawności danych wejściowych i wyjściowych powinno być wykonane na etapie projektowania oprogramowania użytkowego. Przed przystąpieniem do przetwarzania danych wejściowych, program powinien sprawdzić czy spełniają one warunek poprawności. Należy takiego sprawdzenia dokonać aby, w przypadku niepoprawności danych wejściowych, uniknąć niepotrzebnego przebiegu (przetwarzania) programu, oraz uniknięcia ryzyka uzyskania z nich poprawnych wyników (jest to jeden z najgroźniejszych błędów oprogramowania). Znajomość wartości danych wejściowych przy których program pracuje niepoprawnie, pozwala szybciej zidentyfikować i poprawić istniejący błąd. Poddawany testowaniu program powinien być pozbawiony prostych błędów, które usuwa się w trakcie uruchamiania i wstępnego testowania.

Testowanie oprogramowania użytkowego systemu, napisanego w języku niskopoziomowym jest bardzo trudnym zadaniem. Jest to spowodowane m.in. dużą ilością powiązań i zależności między modułami i podprogramami, oraz nie spełnienia a priori, przez to oprogramowanie cech oprogramowania strukturalnego. Podstawowym celem testowania jest wykrycie i w rezultacie usunięcie

błędów z oprogramowania. W praktyce funkcjonują znaczeniowo zbliżone do pojęcia "testowanie", określenia: dowodzenie poprawności, weryfikacja i konfirmacja (zatwierdzenie) oprogramowania. Dowodzenie poprawności realizowane jest zazwyczaj przez twórców oprogramowania w warunkach laboratoryjnych. Weryfikacja polega na wykrywaniu błędów w oprogramowaniu w trakcie np. badań kwalifikacyjnych, przy zastosowaniu metod symulacyjnych. Proces konfirmacji (zatwierdzenia, przyjęcia, akceptacji) powinien być dokonywany przez potencjalnego użytkownika w warunkach maksymalnie zbliżonych do rzeczywistych (np. w warunkach poligonowych, w trakcie ćwiczeń). Testowanie powinno być przeprowadzone dla maksymalnie możliwej ilości wersji danych wejściowych, aby zostały sprawdzone w miarę wszystkie "ścieżki przebiegu" i powiązania między modułami i podprogramami. Z doświadczeń autora wynika że sprawdzenie zachowania się programu dla wszystkich możliwych wartości danych wejściowych jest niemożliwe ze względu na ich olbrzymią ilość. W przypadku stwierdzenia błędu w oprogramowaniu, analizę i wyszukiwanie go należy rozpocząć od określenia przy jakich wartościach danych wejściowych miało to miejsce. Znajomość tych wartości jest bardzo pomocna przy analizie wyników pośrednich i śledzeniu "ścieżki" przebiegu programu.

Na etap dowodzenia poprawności i weryfikacji programu należy przygotować zestaw danych testujących, stanowiących w miarę pełną reprezentację rzeczywistych, spodziewanych w trakcie użytkowania, wartości danych wejściowych. Zestaw ten powinien również zawierać dane nie spełniające warunku poprawności. Pozwoli to sprawdzić odporność oprogramowania na błędy danych wejściowych, które w trakcie użytkowania mogą być spowodowane np. błędami operatorskimi lub przekłamaniami transmisji. Ponieważ celem testowania jest wykrycie istniejących w oprogramowaniu błędów, zatem "dobre dane testowe to takie dane które z dużym prawdoĮodobieństwem wykryją nieznany dotąd błąd w programie, nie zaś takie, które wykażą, że program pracuje poprawnie" [34].

Testując oprogramowaie radiolokacyjnego podsystemu przetwarznia danych, należy bezwzględnie przestrzegać zasady, że największe nawet koszty testowania są wielokrotnie mniejsze od potencjalnych strat spowodowanych błędem działania programów

w trakcie eksploatacji, tzn działań bojowych. Dowodem prawdziwości powyższego stwierdzenia są katastrofy wypraw kosmicznych i awarie elektrowni jądrowych.

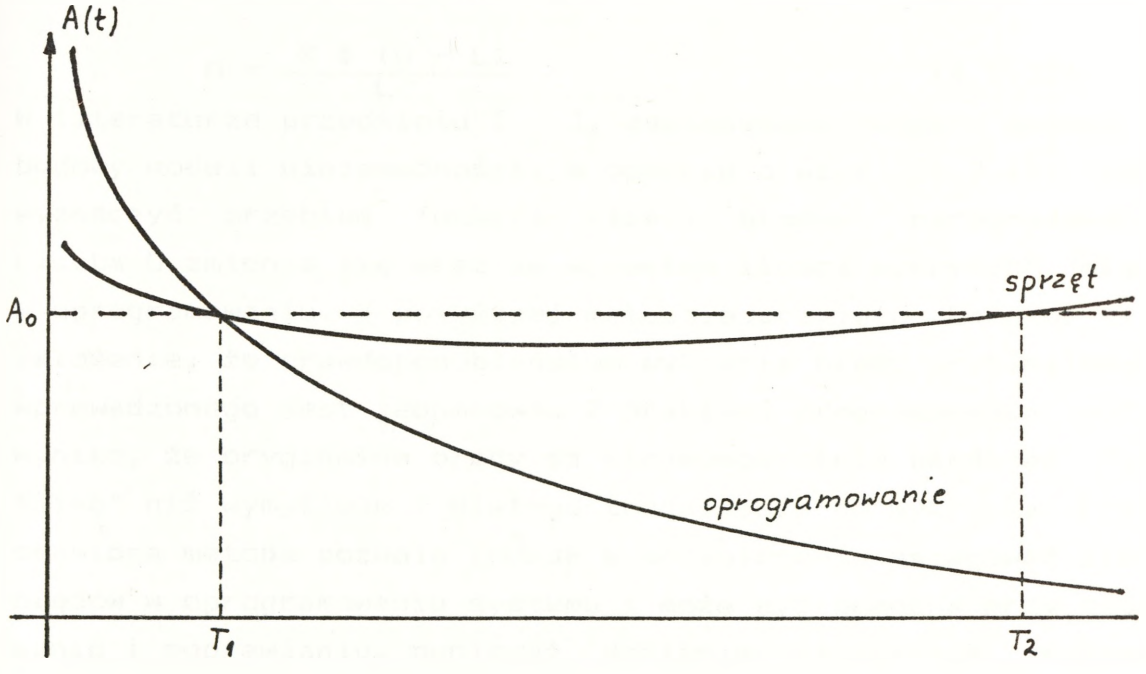
Weryfikację i konfirmację powinny przeprowadzać osoby kompetentne nie wywodzące się z zespołu twórców oprogramowania Takie postępowanie ma na celu uniknięcie powielania błędnych założeń i interpretacji, popełnianych przez programistów.

Dane testowe powinny zapewnić możliwość oceny oprogramowania RPPD w zakresie: ilości przetworzonej informacji o sytuacji powietrznej, dokładność opracowania tej informacji, oraz czasu przetwarzania określonej porcji danych. Test na przeciążenie oprogramowania dokonać można symulując nalot o maksymalnej (założonej dla danego systemu) ilości ŚNP. Dokładność przetwarzania informacji można przetestować symulując nalot w którym obiekty lecą w minimalnej (bezpiecznej) od siebie odległości. Oprogramowanie RPPD powinno zapewnić rozróżnialność obiektów z większą dokładnością niż minimalna odległość między nimi. Spełnienie tego warunku w dużej mierze przyczyni się do zwiększenia wiarygodności oceny liczności nalotu. Testowanie spełnienia warunku na czas przetwarzania porcji informacji należy połączyć z testowaniem oprogramowania na ilość przetworzonej informacji. Jeżeli RPPD przetwrza w wymaganym czasie informację o maksymalnie wymaganej dla systemu ilości ŚNP, to można przyjąć że "zdąży" również opracować dane o mniejszej ich ilości.

Istotnym problemem dla zespołu przeprowadzającego testowanie oprogramowania systemu jest podjęcie decyzji o zakończeniu tego działania. Brak efektów, tzn nie wykrywanie błędów, może oznaczać niewłaściwy dobór danych testujących, a zatem należałoby kontynułować testowanie przy innym zestawie danych wejściowych. Duża ilość wykrytych błędów jest dowodem na ich istnienie w oprogramowaniu, a zatem decyzja o przerwaniu testowania łączy się z dużym ryzykiem przekazania odbiorcy systemu z błędnie działającymi programami użytkowymi. W inżynierii oprogramowania [ ] funkcjonuje twierdzenie " w raz ze wzrostem liczby wykrytych błędów w programie, rośnie prowdopodobieństwo istnienia pozostałych, nie wykrytych błędów". Najlepszym rozwiązaniem, dotychczas niestety nie zrealizowanym, jest określenie dokładnej liczby błędów rezydujących w opro-

gramowaniu systemu. W takiej sytuacji testowanie należałoby kończyć po wykryciu i poprawieniu ostatniego błędu.

Jak wspomniano wcześniej, do opisu niezawodności oprogramowania nie można zastosować teorii niezawodności sprzętu. Przeważająca ilość systemów sprzętowych charakteryzuje się w czasie swojego istnienia, trzema okresami zmienności funkcji awaryjności. W początkowym okresie awaryjność takiego systemu ma charakter malejący, a jest to związane z poprawianiem wad konstrukcyjnych, "wygrzewaniem" pracujących elementówi podzespołów. Po okresie wstępnej eksploatacji występuje okres stałości funkcji awaryjności sprzętu, a następnie okres wzrostu związany z procesem starzenia i zużywania się elementów składowych. Przy ocenie niezawodności oprogramowania nie można wyróżnić takich okresów. Przyjmując silne założenie, że w trakcie poprawiania oprogramowania nie są wprowadzane nowe błędy, przebieg funkcji awaryjności oprogramowania ma charakter stale malejący. Porównanie funkcji awaryjności sprzętu i oprogramowania przedstawiono na rys 4.2.7.



Rys.4.2.7. Porównanie funkcji awaryjności zestawu urządzeń technicznych i oprogramowania użytkowego systemu informatycznego, (T_1, T_2) - okres właściwej eksploatacji systemu.

Po pewnym okresie testowania, sprawdzonego wstępnie oprogramowania, należy oszacować prawdopodobną ilość błędów rezydujących jeszcze w tym oprogramowaniu. Działanie takie ma na celu pomóc osobie lub zespołowi testującemu, podjąć decyzję

kiedy zakończyć proces testowania. Dającą dobre rezultaty, zastosowaną w praktyce przez autora metodą szacowania błędów w oprogramowaniu, jest świadome wprowadzenie ściśle określonej liczby błędów. W praktyce realizowana jest ona następująco: jeden programista wprowadza świadomie do oprogramowania określoną liczbę błędów, a drugi (lub zespół) dokonuje testowania i poprawiania. Po ustalonym okresie testowania dokonać należy obliczenia szacunkowej liczby pozostałych w oprogramowaniu błędów oryginalnych (nie wprowadzonych).

Przyjmując oznaczenia:

O - szacowana ilość znajdujących się jeszcze w oprogramowaniu błędów oryginalnych,

K - liczba wprowadzonych świadomie błędów,

W - liczba wszystkich, wykrytych podczas testowania błędów oprogramowania,

L - ilość wykrytych w czasie testowania błędów świadomie wprowadzonych,

poszukiwaną wartość O obliczyć można wg następującego wzoru:

$$O = \frac{K * (W - L)}{L} \qquad (4.2.12)$$

W literaturze przedmiotu [ ], zastosowano podobną metodę do budowy modeli niezawodności. W oparciu o wzór (4.2.12) można wyznaczyć przebieg funkcji ilości błędów oprogramowania. Liczba O zmienia się wraz ze wzrostem ilości wykrytych błędów w oprogramowaniu. W powyższej metodzie przyjęto bardzo silne założenie, że prawdopodobieństwo wykrycia błędu oryginalnego i wprowadzonego jest jednakowe. Z praktyki programowania autora wynika, że oryginalne błędy są niejednokrotnie bardziej "złośliwe" niż wymyślone i dlatego trudniejsze do wykrycia. Przedstawiona metoda pozwala jednak w przybliżeniu oszacować ilość błędów w oprogramowaniu systemu i może być pomocna przy testowaniu i poprawianiu, ponieważ dobitnie uświadamia programiście że wykryty błąd nie jest ostatni.

Inną, stosunkowo prostą metodą wyznaczania ilości błędów w oprogramowaniu jest metoda testowania oprogramowania przez kilka niezależnych zespołów i następnie porównywanie uzyskanych wyników. Wartość liczby O jest określana w tej metodzie wg wzoru:

$$O = \frac{L_1 * L_2}{L_{12}} \qquad (4.2.13)$$

gdzie: L_1, L_2 - ilość błędów wykrytych przez 1, 2 zespół,
N_{12} - ilość błędów wykrytych przez 1 i 2 ($\neq 0$).

Szacowanie ilości błędów w oprogramowaniu wg tej metody jest obarczone pewnym błędem. Błąd ten jest spowodowany przyjęciem założenia, że każdy błąd może być wykryty przez dowolną osobę testującą z równym prawdopodobieństwem. Wydajność testowania zależy przede wszystkim od doświadczenia programisty, stopnia opanowania danego języka i systemu operacyjnego, oraz od indywidualnych cech osobowych (wnikliwość analizy, dociekliwość, precyzyjność myślenia, koncentracja, itp). Z doświadczeń autora wynika, że wykrycie błędu jest często dziełem przypadku. Ze względu na prostotę przedstawionej metody, można ją stosować w praktyce, pamiętając aby zespoły testujące reprezentowały tą samą klasę zawodową. Tylko w takim przypadku liczba O będzie w miarę wiarygodnym oszacowaniem liczby błędów rezydujących w oprogramowaniu użytkowym złożonego podsystemu przetwarzania danych.

Kończąc rozważania na temat ilości błędów w oprogramowaniu, warto przytoczyć opinię praktyków i teoretyków inżynierii oprogramowania, którzy twierdzą, że w przetestowanym wstępnie programie 1% instrukcji jest błędnych. Dobre w praktyce rezultaty w testowaniu oprogramowania daje metoda kolejnych kroków. Polega ona na opracowaniu w miarę licznego i reprezentatywnego zbioru danych wejściowych i zbioru spodziewanych wyników. Po stwierdzeniu błędu należy jeszcze raz uruchomić program na danych przy których on wystąpił i analizować wartości pośrednie. Po znalezieniu i poprawieniu błędu, testowanie rozpocząć należy od początku. Opuszczenie danych przy których, przed wykryciem błędu, program działał poprawnie, łączy się z ryzykiem pozostawienia błędu wprowadzonego podczas poprawiania. Mając dobrze opracowany zbiór danych wejściowych i wyjściowych konsekwentne testowanie wg podanej reguły pozwala wykryć duży procent błędów.

Odrębnym zagadnieniem jest automatyczna kontrola wyników pośrednich, której wprowadzenie wybitnie zwiększy podatność

diagnostyczną oprogramowania, co w rezultacie poprawi jego niezawodność działania.

4.2.4. Problem doboru języka programowania.

Jednym z elementów mającym wpływ na niezawodność i charakteryzującym oprogramowanie jest język programowania, w którym zakodowane zostały algorytmy przetwarzania danych. Każdy język posiada swoiste cechy predestynujące go do określonych zastosowań, co łączy się bezpośrednio z ogólnie rozumianą jakością wykonanego oprogramowania. Można sformułować twierdzenie, że nie istnieje, z punktu widzenia zastosowań, uniwersalny język programowania. Przed przystąpieniem do wyboru konkretnego języka należy w miarę dokładnie przeanalizować zapotrzebowanie na konkretny sposób przetwarzania informacji.

Zautomatyzowane wojskowe systemy czasu rzeczywistego, przetwarzające informacje zapisane na bitach, wymagają zastosowania takiego języka programowania, który umożliwi wykonywanie operacji na pojedynczych bitach, bajtach i słowach maszszynowych. Odpowiedni dobór języka często decyduje o końcowym powodzeniu. Język taki musi się charakteryzować jednoznacznością semantyczną, tzn każda instrukcja powinna być tłumaczona przez kompilator w sposób nie powodujący różnorodnych interpretacji. Jak ważna jest to spraw niech świadczy przykład [ ] amerykańskiej wyprawy kosmicznej na Wenus, która zakończyła się fiaskiem zpowodu jednej, źle zinterpretowanej przez kompilator instrukcji. Oprócz jednoznaczności zastosowany język program programowania musi charakteryzować się dużą szybkością wykonywania działań. Przy dużej ilości działań arytmetycznych, np mnożenia i dzielenia, nawet najszybsza maszyna cyfrowa może nie wykonać określonej porcji przeliczeń w wymaganym czasie Kodując w języku niskopoziomowym programista np operację mnożenia może zastąpić kilkoma operacjami przesuwaniai i dodawania, co w rezultacie będzie trwało krócej niż normalna operacja mnożenia. Oprócz szybkości realizacji programu w systemach czasu rzeczywistego istotna jest również zajętość pamięci operacyjnej. Używając języka niskopoziomowego programista, w zależności od konkretnych wymagań, może skupić się na szybkości działania lub zajętości pamięci przez program. W prakty-

cznych zastosowaniach dąży się zawsze do napisania krótkich i szybko działających programów. W tym zakresi język niskopoziomowy daje programiście duże możliwości manewru. Najważniejszą zaletą jest jednak możliwość operowania na pojedynczych bitach czego nie zapewnia język wysokopoziomowy typu Algol, Fortran. Język taki wymaga precyzyjnego gospodarowania i zarządzania pamięcią operacyjną, co dla mniej zaawansowanych programistów stanowi istotny problem. Kodowanie programu w takim języku zajmuje więcej czasu i uwagi programisty, niż zakodowanie tego samego algorytmu w języku wysokopziomowym.

Przy wyborze konkretnego typu języka należy również brać pod uwagę jego możliwości w zakresie realizacji najbardziej typowych, dla planowanego systemu przetwarzania, operacji i funkcji, oraz klasy użytego komputera. Prawidłowy dobór języka programowania jest zagadnieniem bardzo trudnym i powinien być podejmowany przez doświadczonego projektanta systemu. Niektóre problemy stają się zauważalne dopiero w trakcie realizacji oprogramowania i wówczas na ich pokonanie trzeba poświęcić dodatkowe siły i czas. Autor w swojej pracy zawodowej często spotykał się z tego rodzaju sytuacjami. Dzięki takim niedogodnościom wydłuża się czas tworzenia programów i zwiększa ich złożoność. Odrębnym zagadnieniem jest problem zmiennego przecinka i podwójnej precycji. W przypadku ich braku, programista musi stosować pewne chwyty programowe, polegające np na zapamiętywaniu umownego przecinka, aby w rezultacie zachować wymaganą dokładność obliczeń. Omawiany problem łączy się z klasą zastosowanego komputera. Przy 16 bitowej długości słowa maszynowego operacje dłuższe typu mnożenie, dzielenie, powinny być realizowane na dwóch lub więcej słowach .

Wszystkie poruszone powyżej problemy związane z zastosowaniem konkretnego języka, mają wpływ na niezawodność działania wykonanego oprogramowania użytkowego. Im gorzej dobrany język, tym więcej sztucznych rozwiązań i chwytów programowych musi wykonać programista, zwiększając przy tym prawdopodobieństwo błędnego działania.

Oszczędne i efektywne wykorzystanie pamięci komputera, jest zagadnieniem, któremu zawsze poświęca się dużo uwagi. W zautomatyzowanych systemach rozpoznania i dowodzenia, gdzie występują duże potrzeby w zakresie przetwarzania, gospodarka

pamięcią posiada szczególny priorytet. Język niskopoziomowy typu Asembler pozwala wniknąć bezpośrednio w strukturę pamięci i wykorzystywać ją w sposób najbardziej oszczędny.

Generalnie należy stwierdzić, że oprogramowanie użytkowe zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia OP, powinno być realizowane w języku umożliwiającym działanie na pojedynczych bitach i bajtach pamięci. Wybór konkretnego języka, powinien być poprzedzony dogłębną analizą wymagań w zakresie przetwarzania danych, oraz możliwości zastosowanego komputera. Kodowanie programów powinno być realizowane przez doświadczonych programistów, dobrze znających dany język. Przestrzeganie powyższych reguł przyczyni się do podwyższenia niezawodności wynikowej oprogramowania użytkowego systemu.

4.3 Metody określania niezawodność pracy załóg bojowych zautomatyzowanych systemów dowodzenia.

Integralnym elementem zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia jest zespół operatorów obsługujący kompleks techniczno-informatyczny. Złożoność czynności sterujących funkcjonowaniem omawianego systemu jest bardzo duża i dlatego od jakości pracy personelu obsługującego zależy w dużej mierze czy cały system będzie pracował poprawnie, tzn. czy spełni swoje zadanie.

Niezawodności działania załogi nie można oceniać metodami stosowanymi przy określaniu niezawodności urządzeń technicznych lub oprogramowania. W trakcie tej oceny muszą być brane pod uwagę również te czynniki które towarzyszą działalności człowieka, a nie są spotykane w innych przypadkach. Czynniki te to m.in.: stres, strach, niedyspozycja psycho-fizyczna, przemęczenie, brak snu, itp. Dodatkowym utrudnieniem jest zespołowość działania załogi, tzn. realizowanie przez każdego jej członka własnego zadania cząstkowego. W zasadzie oceniany jest wynik działania całego zespołu i dlatego koniecznością jest synchronizacja działań i ścisła współpraca. W przypadku załogi obsługującej kabinę operacyjną zautomatyzowanego systemu dowodzenia, problem ten nabiera szczególnego znaczenia, ponieważ każdy błąd może spowodować opóźnienie lub przerwę w procesie obróbki informacji o nalocie, co jest niepożądane zwłaszcza w przypadku istnienia ostrych reżimów i wymagań czasowych. Innymi elementami utrudniającymi sformalizowanie metod oceny niezawodności załogi są indywidualne cechy charakterologiczne poszczególnych członków, ich predyspozycje do określonego typu pracy, zdolność do długotrwałej koncentracji w niesprzyjających warunkach, podzielność uwagi itp. Generalnie niezawodność działania załogi należy kojarzyć z czasem poprawnej pracy wszystkich jej członków.

Punktem wyjścia przy określaniu niezawodności działania załogi jest oszacowanie jej zdolności bojowej. Zespół ludzki (załoga bojowa), zanim zacznie obsługiwać sprzęt bojowy powinien gwarantować pewność wykonania zadania. Zadaniem bojowym załogi obsługującej zestaw urządzeń technicznych ZSDW jest prawidłowe wykonywanie wszystkich czynności operatorskich, oraz utrzymy-

wanie powierzonego sobie sprzętu w stanie wysokiej sprawności. Zdolność bojowa załogi ZSDW jest określona jej potencjalną możliwością podjęcia i realizacji zadania bojowego jakim jest obsługa kabiny operacyjnej systemu. Na stopień zdolności bojowej załogi mają wpływ łącznie następujące czynniki:

- osiągnięty stopień gotowości bojowej,
- znajomość instrukcji pracy bojowej,
- posiadane kwalifikacje z dziedziny techniki komputerowej i rozpoznania radiolokacyjnego,
- poziom zdyscyplinowania i zaangażowania poszczególnych członków załogi.

Przez niezawodność działania załogi należy rozumieć prawdopodobieństwo prawidłowego wykonania przez nią zadania bojowego. Oznacza to prawdopodobieństwo prawidłowego wykonania określonej ilości czynności operatorskich w odpowiednim przedziale czasu.

Zdolność bojowa zespołu ludzkiego musi być oszacowana przed wykonywaniem konkretnego zadania, na bazie przesłanek wymienionych powyżej. Stwierdzenie, że załoga posiada wymaganą zdolność bojową, może wystąpić tylko wówczas, jeżeli jest pewność, że opanowała w dostatecznym stopniu wszystkie warunkujące ją czynniki. W przeciwnym wypadku nie należy takiej załodze powierzać sprzętu bojowego. Gotowość do działania załogi może być określona na bazie uzyskanych wyników po przeprowadzeniu testu sprawdzającego. Testowi sprawdzającemu (egzaminowi) niezawodność działania można poddać tylko taką załogę, która teoretycznie jest w stanie wykonać zadanie bojowe, tzn posiada wymagany stopień zdolności bojowej.

Nie ma sensu określanie niezawodności działania załogi, która nie posiada wymaganej zdolności wykonania zadania bojowego.

4.3.1 Hipotetyczny model niezawodności działania operatora.

Na bazie uzyskanych doświadczeń w trakcie pracy w kabinach operacyjnych ZSDW WOPL (DP-20, DP-40), oraz przeprowadzonych badań, autor proponuje przyjąć następujący model niezawodności działania operatora zautomatyzowanego systemu.

Praca bojowa w kabinie operacyjnej polega na wykonywaniu określonych czynności operatorskich (dyrektyw). Każdy operator ma

ustalony, w instrukcji pracy bojowej, zakres czynności jakie powinien wykonać na swoim stanowisku. Pożądane jest aby na każdym stanowisku operatorskim istniała możliwość realizacji dowolnej dyrektywy. Umożliwi to, w przypadku awarii stanowiska, rozdział "jego" dyrektyw innym do realizacji. Każdy operator pracujący w kabinie bojowej systemu powinien znać pełny zestaw czynności operatorskich, aby w razie potrzeby mógł realizować dodatkowe, nie znajdujące się normalnie w zakresie obowiązków jego stanowiska.

Operator z wymaganym wykształceniem, kwalifikacjami specjalistycznymi i doświadczeniem w pracy na stanowisku bojowym w kabinie operacyjnej systemu, ma trzy okresy pracy rozróżnialne według ilości popełnianych przez niego błędów.

I okres trwający 2 do 3 godzin od rozpoczęcia pracy to czas w zasadzie bezbłędnego działania operatora. W tym czasie może on wykonywać trudniejsze operacje jak testy, kontrole urządzeń, diagnostyka, dydaktyka, itp. Czas trwania tego okresu uzależniony jest przede wszystkim od stopnia opanowania zakresu obowiązków oraz od rzeczywistych warunków pracy.

Drugi rozróżnialny okres pracy, charakteryzuje się zwiększającą się ilością popełnianych przez operatora błędów, zauważonych przez niego i natychmiast korygowanych. Działanie takie wydłuża czas realizacji jednej operacji, a tym samym zwiększa czas opracowania informacji radiolokacyjnej. Czas trwania tego okresu wynosi około 3 - 3.5 godz. i uzależniony jest od indywidualnych cech operatora (np. odporności psycho-fizycznej).

Trzeci okres występujący po 6 - 7 godzinach od rozpoczęcia pracy bojowej charakteryzuje się narastającą ilością popełnianych i nie korygowanych przez operatora błędów. W okresie tym intensywność popełniania błędów przez poszczególnych członków załogi wzrasta i jest różna, a zależy od indywidualnych cech osobowych operatorów. W tym okrsie dowódca załogi, w celu poprawienia pogarszającej się zdatności do pracy, powinien zastosować następujące środki:

- najbardziej zmęczonego operatora wyłączyć czasowo z pracy, a po jego powrocie robić krótkie przerwy kolejnym członkom załogi,
- w czasie przerw umożliwić operatorom spożycie posiłku, zaspokojenie potrzeb biologiczno-higienicznych, ewentu-

alny relaks w formie gimnastyki.
Dzięki takim zabiegom zostanie w pewnym stopniu odtworzona i podtrzymana zdolność bojowa załogi.

4.3.2 Matematyczne metody wyznaczania niezawodności działania załogi bojowej.

Niezawodność działania załogi charakteryzuje wiele parametrów. Najważniejszymi z nich są: ilość wykonanej pracy, jakość (poprawność) pracy, oraz czas jej wykonywania.
Oznaczając przez: PJ – wskaźnik ilości,
PQ – wskaźnik jakości,
PT – wskaźnik czasu pracy,
Niezawodność działania załogi określa funkcjonał:

$$N = F(PJ, PQ, PT) \qquad (4.3.1)$$

Każda załoga bojowa (zespół, pojedynczy operator) posiada charakterystyczną dla siebie niezawodność działania. Test sprawdzający (egzamin) niezawodność załogi można przeprowadzić symulując strumień informacji radiolokacyjnej o nalocie. W trakcie rejestracji symulowanej sytuacji powietrznej należy ściśle określić: ilość i parametry lotu obiektów powietrznych, ogólną ilość czynności operatorskich, oraz dokonać podziału tych czynności na poszczególne typy (rodzaje) i stanowiska operatorskie. Dzięki takiemu zabiegowi wiadomo ile i jakich operacji powinna wykonać poddana egzaminowi załoga.
Wykorzystując aparat rejestracji/symulacji lub generator sytuacji powietrznej, można dowolnie wydłużać lub skracać czas trwania testu czy treningu, zmieniać ilość obiektów powietrznych, ich parametry lotu itd. W trakcie odtwarzania zarejestrowanej, lub generowanej, sytuacji powietrznej załoga wykonuje wymagane czynności operacyjne jak podczas prawdziwej pracy bojowej.
W celu przeprowadzenia oceny testowanej załogi należy zastosować program oceniający całość pracy wykonywanej w kabinie operacyjnej systemu. Efektem działania takiego programu powinno być zestawienie liczbowe ilości, jakości i czasu pracy poszczególnych operatorów oraz całej załogi. Występujące we wzo-

rze (4.3.1) współczynniki PJ, PQ, PT można wyznaczyć wg. metod przedstawionych poniżej.

Przyjmując oznaczenia:

R - ilość typów czynności operatorskich,

r - numer typu czynności,

R_l - ilość typów czynności zadanych do wykonania przez l-tego operatora,

Jp(r) - ilość wykonanych prawidłowo czynności typu r,

Jz(r) - ilość zadanych do wykonania czynności typu r,

Jv(r) - ilość wykonanych (prawidłowo i nieprawidłowo) czynności typu r,

L - ilość operatorów,

l - numer operatora,

Wartość wskaźnika PJ określić można wg wzoru:

$$PJ = \frac{\sum_{r=1}^{R} J_r}{R} \qquad (4.3.2)$$

gdzie:

$$\bigwedge_{r=1,R} J_r = \begin{cases} 1, \text{ jeżeli } J_v(r) \geq J_z(r) \\ \dfrac{J_v(r)}{J_z(r)}, \text{ jeżeli } J_v(r) < J_z(r) \end{cases} \qquad (4.3.3)$$

J_r oznacza prawdopodobieństwo wykonania wymaganej ilości czynności operatorskich typu r.

PJ, wyliczone wg przedstawionej reguły, jest prawdopodobieństwem wykonania przez załogę wymaganej ilości czynności podczas przeprowadzanego testu.

Wartość PQ wyznaczyć można wg wzoru :

$$PQ = \frac{\sum_{r=1}^{R} Q_r}{R} \qquad (4.3.4)$$

gdzie wartość Q_r wyznaczyć można wg następującej reguły :

$$Q_r = \frac{J_p(r)}{J_v(r)} \qquad (4.3.5)$$

Wartość Q_r oznacza prawdopodobieństwo poprawnego wykonania przez załogę czynności typu r, natomiast PQ oznacza prawdopodobieństwo poprawności pracy bojowej załogi.
Współczynniki PJ, PQ zastąpić można jednym wskaźnikiem jakości pracy PW, obliczanym wg wzoru:

$$PW = \frac{\sum_{r=1}^{R} W_r}{R} \qquad (4.3.5.1)$$

w którym wartość W_r określić można wg reguły :

$$\bigwedge_{r=1,R} W_r = \begin{cases} 1, \text{ jeżeli } J_p(r) \geq J_z(r) \\ \dfrac{J_p(r)}{J_z(r)}, \text{ jeżeli } J_p(r) < J_z(r) \end{cases} \qquad (4.3.5.2)$$

W_r oznacza prawdopodobieństwo poprawnego wykonania przez załogę wymaganej ilości czynności typu r.
Wybór odpowiednich współczynników PJ, PQ, lub PW do oceny pracy załgi poddanej testowi, należy do osoby, zespołu przeprowadzającej test. Zdaniem autora wykorzystanie wskaźników PJ i PQ do oceny załogi daje pełniejszą informację o jakości jej pracy. Analiza wartości wielkości Q_r daje odpowiedź na pytanie, który typ operacji sprawia załodze najwięcej kłopotów , tzn określa stopień trudności poszczególnych operacji. Dzięki temu można opracować równomierne obciążenie operatorów, tzn dokonać podziału czynności operatorskich w taki sposób aby w miarę jednakowo obciążone były wszystkie stanowiska bojowe w kabinie operacyjnej systemu.
Aby ocenić pracę poszczególnych operatorów, należy wyznaczyć

wskaźniki S_l, P_l wg następujących reguł:

$$\bigwedge_{l=1,L} S_l = \frac{\sum_{r=1}^{R_l} J(r,l)}{R_l} \qquad (4.3.6)$$

gdzie J(r,l) oznacza prawdopodobieństwo wykonania zadanej ilości operacji typu r przez l-tego operatora (na l-tym stanowisku), wyliczane wg wzoru (4.3.3), przy założeniu że $J_v(r)$, $J_z(r)$ dotyczą stanowiska numer l.
Wskaźnik P_l obliczany jest wg zasady:

$$\bigwedge_{l=1,L} P_l = \frac{\sum_{r=1}^{R_l} P(r,l)}{R_l} \qquad (4.3.7)$$

P(r,l) oznacza jakość wykonania r-tej operacji przez l-tego operatora, obliczaną wg wzoru:

$$P(r,l) = \frac{J_p(r,l)}{J_v(r,l)} \qquad (4.3.8)$$

gdzie: $J_p(r,l)$ - ilość prawidłowo wykonanych czynności typu r na l-tym stanowisku,

$J_v(r,l)$ - łączna ilość wykonywanych (prawidłowo i nieprawidłowo) czynności typu r na stanowisku bojowym o numerze l.

Oczywiście:

$$J_p(r) = \sum_{l=1}^{L} J_p(r,l)$$
$$J_v(r) = \sum_{l=1}^{L} J_v(r,l) \qquad (4.3.8.1)$$

Podobnie jak pracę całej załogi, pracę pojedynczego operatora można oceniać stosując jeden wskaźnik O_l określany wzorem:

$$\bigwedge_{l=1,L} O_l = \frac{\sum_{r=1}^{R_l} O(l,r)}{R_l} \qquad (4.3.8.2)$$

gdzie:

$$O(l,r) = \frac{J_p(r,l)}{J_z(r,l)} \qquad (4.3.8.3)$$

$$J_z(r) = \sum_{l=1}^{L} J_z(r,l)$$

$J_p(r,l)$ - jak we wzorze (4.3.8)

$J_z(r,l)$ - ilość zadanych do wykonania czynności typu r na l-tym stanowisku bojowym.

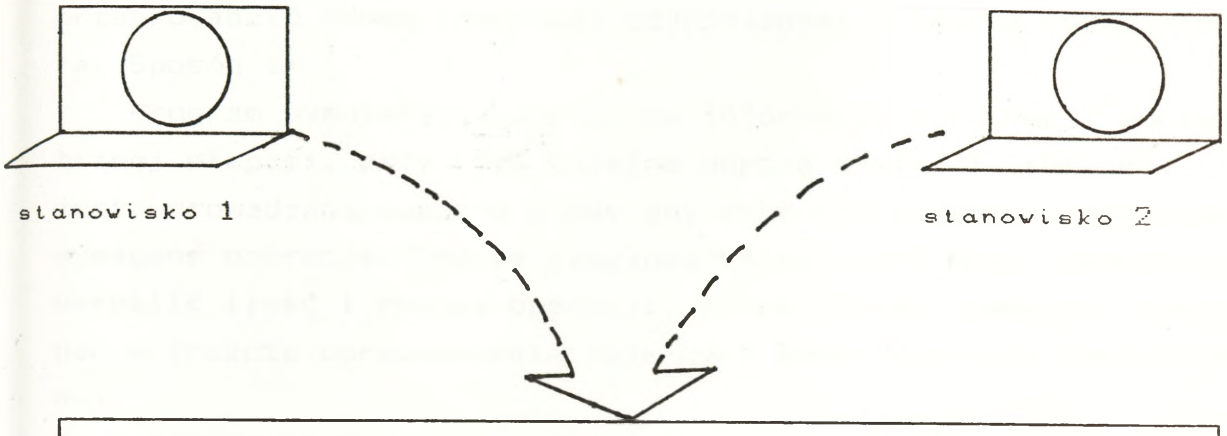
Wartości wielkości $J_p(r)$, $J_w(r)$, $J_p(r,l)$, $J_w(r,l)$ wykorzystywane w powyższych wzorach, program oceniający pracę załogi odczytuje z rejestrów kontrolnych, po przeprowadzonym teście sprawdzającym.

Twórca testu sprawdzającego (symulowanej sytuacji powietrznej) powinien określić konkretne wartości $J_z(r,l)$, $J_z(r)$, R, R_l.

Opisane powyżej zasady pozwalają wyliczyć wskaźniki ilości i jakości pracy załogi jako całości, oraz te same wskaźniki dla poszczególnych operatorów.

Przy stosowaniu przedstawionej metody oceny niezawodności działania załogi muszą być spełnione określone warunki.

Pierwszym z nich jest, aby dla każdego stanowiska operatorskiego był w pamięci operacyjnej komputera zarezerwowany bufor rejestrujący ile operacji danego typu zostało wykonanych i ile z nich było poprawnych. Oznacza to, że każda operacja ma w pamięci dwa liczniki (1 - słowowe). Prawidłowo wykonana operacja kończy się komunikatem poprawności (np. OK, DP) i takie zakończenie zwiększa obydwa liczniki, natomiast inne komunikaty kończące operację zwiększają tylko licznik wykonanych w ogóle operacji danego typu. Zasada aktualizacji rejestrów kontrolnych przedstawiona została na Rys.4.3.1.



Bufor rejestrujący poprawność wykonanych operacji								
NR operacji	A	B	. . .	A	B	. . .	A	B
1								
2								
. . .								
r								
. . .								
R								
Numer operatora	1		. . .	1		. . .	L	

W części A rejestrowane są poprawnie i niepoprawnie wykonane czynności typu r.
W części B rejestrowane są tylko poprawnie wykonane czynności danego typu.

Rys.4.3.1. Aktualizacja rejestrów kontrolnych operatorów w trakcie przeprowadzanego testu lub pracy bojowej.

Rejestrując symulowaną (treningową) sytuację powietrzną, należy dokładnie określić ile operacji danego typu trzeba wykonać przy jej opracowywaniu i na których stanowiskach funkcyjnych. Znając wartości wskaźników P_l (wzór 4.3.7), można określić stopień opanowania znajomości obowiązków przez poszczególnych operatorów.

Trzeci wskaźnik charakteryzujący pracę załogi może być kojarzony z czasem reakcji operatorów na zmieniającą się sytuację powietrzną. Określenie czasu działania załogi, ocenianej

w trakcie odtwarzania symulowanej sytuacji powietrznej, można przeprowadzić dwoma sposobami uzgodnionymi z twórcą symulatora. Sposób 1:

Program symulacyjny dostarcza informacji o sytuacji powietrznej etapami, przy czym kolejna porcja (zmiana) sytuacji jest wprowadzana dopiero wtedy gdy wykonane zostaną wszystkie wymagane operacje. Twórca symulowanej sytuacji musi dokładnie określić ilość i rodzaj operacji, które załoga powinna wykonać w trakcie opracowywania kolejnych zmian sytuacji powietrznej.

Czas działania załogi T_d, przy tym sposobie odtwarzania zasymulowanej sytuacji powietrznej, trwa do momentu wykonania ostatniej wymaganej operacji. Taki sposób obliczania czasu, determinuje wykonanie wszystkich czynności operatorskich, tzn przyjęcie wskaźnika J = 1 (wzór 4.3.3). Tak przeprowadzona ocena czasu pracy załogi ma znamiona gry komputerowej.

Sposób 2:

Zarejestrowana sytuacja powietrzna jest odtwarzana w sposób ciągły, tzn nie wyróżnia się etapów i nie oczekuje na wykonanie wymaganych czynności operatorskich. Program oceniający mierzy czas działania do momentu zasygnalizowania przez dowódcę załogi końca pracy. Twórca symulwanej sytuacji powietrznej, zarejestrowanej, a podczas testowania załogi odtwarzarzanej, powinien określić czas T_z potrzebny do wykonania wymaganych czynności operatorskich. Można ten czas określić stosując metodę ekspertów. Wskaźnik PT, (wzór 4.3.1) obliczyć można wg następujących reguł:

1) - jeżeli $T_d \leqslant T_z$, a oznacza to wykonanie przez załogę zadania w czasie nie dłuższym od zakładanego, wówczas:

$$PT = 1 \qquad (4.3.9)$$

2) - w przypadku $T_d > T_z$ wartość PT określić wg. wzoru:

$$PT = 1 - \frac{T_d - T_z}{T_d} \qquad (4.3.9.1)$$

gdzie: T_d - rzeczywisty czas działania załogi,

T_z - zakładany przez twórcę symulatora czas działania.

Wskaźniki cząstkowe PJ, PQ, PT określone wzorami (4.3.2),

(4.3.4), (4.3.9) (4.3.9.1) wyrażają prawdopodobieństwa poprawnego działania załogi. Wartość wskaźnika niezawodności działania załogi N oszacować można wg zależności:

$$N = PJ \times PQ \times PT \qquad (4.3.10)$$

Wzór ten, zdaniem autora, w miarę kompleksowo oddaje istotę zagadnienia niezawodniści działania załogi zautomatyzowanego systemu dowodzenia.

Dysponując narzędziem rejestracji-symulacji i programem oceniającym, wartość liczbowa N jest możliwa do określenia.

Przy definiowaniu wskaźników cząstkowych świadomie nie wyszczególniono, jako odrębnych, innych wskaźników charakteryzujących załogę np: samoodtwarzalności zdolności bojowej, osiągniętego stopnia gotowości bojowej itp. ponieważ zawierają się one w już zdefiniowanych. Dzięki temu znacznie uproszczono metodę oceny załogi, a przede wszystkim program oceniający, nie pogarszając równocześnie adekwatności tej oceny. Jak wynika z wzoru (4.3.10) , miarą niezawodności działania jest prawdopodobieństwo poprawnej pracy załogi, w wymaganym przez użytkownika, czasie.

Dla użytkownika ZSD dużego znaczenia nabiera możliwość oceny niezawodności działania załogi w trakcie rzeczywistej pracy bojowej. Powyżej opisany został sposób kompleksowej oceny załogi jako całości, oraz oceny poszczególnych operatorów. Na podstawie wyników, uzyskanych po przeprowadzeniu testu, można określić stopień wyszkolenia i przydatności do pracy, na stanowisku operatora ZSD OP, poszczególnych członków załogi. Wyniki te pozwalają również określić które z czynności operatorskich sprawiają najwięcej kłopotów załodze, dzięki czemu możliwe jest równomierne obciążenie wszystkich stanowisk bojowych. Podczas opracowywania instrukcji pracy bojowej należy uwzględniać powyższą uwagę, zachowując równocześnie charakter funkcyjny każdego stanowiska. Dysponując opisanym aparatem oceny załogi można skompletować optymalną (wg kryterium przydatności do pracy w kabinie ZSD OP) załogę, spośród grupy żołnierzy poddanych egzaminowi.

W trakcie pracy bojowej określanie niezawodności działania załogi przy pomocy wskaźników PJ, PT, PW jest niemożliwe ze

względu na brak danych wejściowych $J_z(r)$, T_z. Jedynym przydatnym wskaźnikiem oceny jest: dla załogi - PQ (wzór 4.3.4), dla operatora P_l (wzór 4.3.7). Podczas pracy załogi w warunkach bojowych dowódca na swoim stanowisku będzie otrzymywał aktualną informację na temat niezawodności działania podległej mu załogi. Informacja ta w formie odpowiedniej tabeli "okna", zostanie wyświetlona na wskaźniku lub monitorze w następujących przypadkach :

- w dowolnym czasie, w sytuacji gdy jeden z operatorów przekroczy dopuszczalny " próg " błędnego działania,
- cyklicznie co określony czas,
- w momencie wybranym przez dowódcę.

Tabela ta zawierać powinna dane o pracy całej załogi oraz poszczególnych operatorach. Sytuacja awaryjna powinna zostać zaznaczona specjalną, np. migotaniem lub dziwiękiem. Postać tabel niezawodnościowych przedstawiona została w Załączniku ..

4.3.3 Praktyczne metody podnoszenia wskaźnika niezawodności działania załóg.

Elementami decydującymi w praktyce o wartości wskaźnika niezawodności działania załogi zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia są:

- poziom wykształcenia ogólnego poszczególnych członków załogi,
- stopień opanowania zakresu wiedzy specjalistycznej dotyczącej radiolokacji i komputerowych systemów dowodzenia przez dowódcę załogi i personel funkcyjny,
- jakość instrukcji eksploatacji, a przede wszystkim jasność, precyzyjność, komunikatywność i jednoznaczność zawartych w niej sformułowań i poleceń,
- podział kompetencji i zadań między poszczególnych członków załogi,
- ergonomiczne dopaswanie sprzętu,
- charakterystyki niezawodnościowe obsługiwanego sprzętu,
- charakterystyki niezawodnościowe zainstalowanego oprogramowania komputerowego,
- warunki pracy, a przede wszystkim: klimatyzacja, oświe-

tlenie, nagłośnienie, drgania,
- dobór charakterologiczny członków załogi,
- stopień zdyscyplinowania zespołu,
- znajomość zakresu własnych obowiązków, oraz regulaminu pracy bojowej przez dowódcę i pozostałych członków załogi,
- organizacja pracy i stopień skomplikowania czynności operatorskich,
- dyspozycja psycho-fizyczna zespołu.

Zautomatyzowany system rozpoznania i dowodzenia jest złożonym kompleksem antropo-techniczno-informatycznym. Im wyższy poziom intelektualny osób obsługujących taki system, tym większe prawdopodobieństwo poprawnego działania całego systemu. Rola człowieka, w aspekcie niezawodności działania systemu, jest podwójna. Jest on elementem obniżającym wskaźnik niezawodności dzięki popełnianym błędom i równocześnie podtrzymującym go poprzez działania diagnostyczne, naprawy profilaktyczne i czynności zabezpieczające. Jak wynika z literatury przedmiotu [ ],oraz własnych badań i obsrewacji, w początkowym okresie eksploatacji radiolokacyjnych systemów rozpoznania i dowodzenia, ilość błędów popełnianych przez żołnierzy służby zasadniczej jest dziesięciokrotnie wyższa od ilości błędów średniego personelu technicznego i około stu razy wyższa od ilości błędów popełnianych przez pracowników instytutów naukowo-wdrożeniowych. Przykład ten dobitnie świadczy o wpływie poziomu ogólnego wykształcenia i doświadczenia załogi na jakość jej działania.

Załoga obsługująca zautomatyzowany system dowodzenia obrony powietrznej, musi opanować zakres wiedzy dotyczącej rozpoznania radiolokacyjnego i obsługi skomplikowanych urządzeń technicznych typu: maszyna cyfrowa, terminale transmisji i zobrazowania. Z licznych doświadczeń wynika, że u niektórych osób występuje swoisty lęk przed pracą z komputerem. Tylko solidna wiedza z tego zakresu pozwoli załodze swobodnie posługiwać się skomplikowanym sprzętem. Szczególne wymagania musi spełniać dowódca załogi, ponieważ od jego fachowości i wiedzy zależy niejednokrotnie postawa i jakość pracy całej załogi. Wszyscy członkowie załogi powinni do tego stopnia opanować wiedzę o obsługiwanym sprzęcie, aby mogli bezbłędnie lokalizować

uszkodzenia, a nawet usuwać drobne awarie. Ma to kapitalny wpływ na skrócenie czasu naprawy uszkodzeń. W zkresie wiedzy o rozpoznaniu radiolokacyjnym cała załoga musi dokładnie rozumieć istotę rozwiązywanych przez system problemów.

Wszystkie czynności wykonywane przez załogę w trakcie przygotowania do pracy i obsługi zautomatyzowanego systemu są opisane w instrukcji obsługi. Instrukcja obsługi jest pisana przez twórców systemu. Ponieważ jest ona przeznaczona dla załóg operatorskich mających zróżnicowany poziom wiedzy ogólnej i specjalistycznej, zatem powinna być napisana w sposób komunikatywny dla szerokiego kręgu potencjalnych użytkowników. Z doświadczeń uzyskanych podczas wykorzystywania i pisania instrukcji eksploatacji wynika, że każdą czynność operatorską należy opisać precyzyjnie i jednoznacznie. Należy wystrzegać się sformułowań niezrozumiałych, rodzących wątpliwości lub powodujących różnorodność interpretacji.

Opis czynności operatorskich powinien tworzyć logiczną całość, ponieważ pomaga to szybciej i lepiej opanować zakres czynności przez całą załogę. Niewłaściwie napisana instrukcja eksploatacji ujemnie wpływa na jakość pracy operatorów, a tym samym obniża jej niezawodność działania. Prawidłowe napisanie instrukcji eksploatacji, wolnej od żargonów i środowiskowych zwrotów, zrozumiałej i łatwo przyswajalnej przez różnych użytkowników jest problemem trudnym i dlatego zadania to powinno być zrealizowane przez zespół o dużej znajomości zagadnienia i bogatym doświadczeniu. Od jakości instrukcji eksploatacji w dużej mierze zależy również czas wyszkolenia załóg.

Prawidłowe zorganizowanie pracy bojowej załogi zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia wymaga dokonania wyraźnego podziału kompetencji i zadań między poszczególnych operatorów. Zakresy obowiązków osób funkcyjnych powinny się nawzajem uzupełniać, obejmując łącznie wszystkie zadania realizowane przez system. Każdy operator powinien dokładnie znać jakie zadania (operacje) ma wykonać na swoim stanowisku bojowym, oraz znać czynności wykonywane na innych stanowiskach. Przykładem dobrego rozwiązania problemu podziału kompetencji wśród załogi jest system WOPL pk. Dunajec-P, gdzie oprócz precyzyjnego podziału, zapewniona została pełna wymienność

czynności operatorskich na każdym stanowisku bojowym. Dzięki takiemu rozwiązaniu, każdy operator jest w stanie zrealizować na swoim stanowisku dowolną czynność innego operatora. Ma to bardzo istotne znaczenie w aspekcie podtrzymania niezawodności działania całej załogi. W przypadku awarii stanowiska lub niedyspozycji operatora, dowódca rozdziela realizowane przez niego czynności na pozostałych operatorów. Awaryjna sytuacja nie powinna trwać zbyt długo, ponieważ każde dodatkowe obciążenie operatorów spowoduje pogorszenie ich jakości pracy. Po rozdzieleniu zadań, dowódca załogi powinien podjąć natychmiastowe działania zmierzające do usunięcia awarii i przywrócenia stanu pierwotnego. Odrębnym zagadnieniem jest zorganizowanie takiego podziału zadań na poszczególne stanowiska bojowe, aby uciążliwość pracy na nich była w przybliżeniu jednakowa. Ponieważ operatorzy współczesnego zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia powinni opanować pełny zakres czynności realizowanych w trakcie pracy bojowej, zatem ich obciążenie powinno być jednakowe, w przeciwnym razie operator o największym zakresie obowiązków będzie zawsze najsłabszym ogniwem niezawodnościowym załogi. Z psychologicznego punktu widzenia sytuacja taka jest również niewskazana, ponieważ może u operatora powodować uczucie niesprawiedliwości i pewien dyskomfort psychiczny, co może ujemnie wpłynąć na jego pracę. Generalnie podział kompetencji i zadań powinien być tak dokonany, aby nie występowały stanowiska operatorskie "lepsze" i "gorsze", poniważ spowoduje to obniżenie wskaźnika niezawodności działania załogi. Obsługa zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia polega na wykonywaniu czynności operatorskich w kabinach operacyjnych typu kontener na klawiaturach pulpitów sterowniczych. Operator na stanowisku bojowym ma do dyspozycji: środki zobrazowania (monitory, wskaźniki WPS, WRH), środki łączności (telefon, radiostacja), klawiatury uniwersalną i specjalizowaną. Aby sprawnie obsługiwać te urządzenia musi biegle opanować znajomość swoich obowiązków, oraz musi mieć zapewniony odpowiedni komfort pracy.
Ponieważ praca bojowa jednej załogi może trwać do kilkunastu lub nawet kilkudziesięciu godzin, należy w sposób maksymalnie możliwy przestrzegać norm ergonomicznych w trakcie projektowania, budowy i wyposażania kabin i stanowisk operacyjnych.

W oparciu o doświadczenia z kilkuletniej pracy w obiektach zautomatyzowanego systemu dowodzenia ZENIT, sfomułowane zostały najważniejsze, zdaniem autora, wymagania ergonomiczne na kabinę operacyjną.

1. Wysokość kabiny powinna umożliwiać swobodne poruszanie się członków załogi w pozycji wyprostowanej. W tym celu przy projektowaniu kabiny należy uwzględniać fakt, że w szeregach wojska, a w perspektywie w załodze eksploatacyjnej, znajdzie się coraz więcej osób kwalifikowanych jako wysokie. Uwzględnienie tego faktu wyeliminuje bolesne urazy głowy powodujące obniżenie jakości pracy.
2. Na trasie poruszania się załogi w kabinie nie powinny znajdować się elementy wystające, zwłaszcza ostro zakończone np. klapy uchylne, śruby, uchwyty itp, ponieważ są one powodem skaleczeń, otarć, a nawet groźnych urazów. Szerokość przejścia powinna być taka, aby operator miał możliwość poruszania się nie przerywając pracy bojowej pozostałych.
3. Odległość usytułowanych obok siebie stanowisk bojowych powinna być taka, aby operator miał możliwość swobodnego położenia rąk na klawiaturze, bez trącania sąsiedniego stanowiska, oraz możliwość zajęcia lub opuszczenia tego stanowiska bez zakłócania pracy innych.
4. Załoga pracująca w zamkniętym, o stosunkowo małej powierzchni, pomieszczeniu jakim jest kabina operacyjna, powinna mieć zapewnione maksymalnie wygodne i funkcjonalne fotele do siedzenia. Powinny to być fotele obrotowe, o regulowanej wysokości, pokryte materiałem (derma powoduje zapocenia, odparzenia itp), z odchylanymi podłokietnikami. Nogi tych foteli powinny być zabezpieczone gumowymi podkładkami tłumiącymi drgania, a cały fotel możliwość przesuwania i mocowania do podłogi.
5. Stanowisko pracy operatora powinno być tak skonstruowane, aby miał on możliwość swobodnego wyprostowania nóg, ponieważ brak takiej możliwości jest bardzo uciążliwy i ma negatywny wpływ na koncentrację operatora.
6. Wszystkie czynności sterujące przepływem i procesem opracowania informacji radiolokacyjnej, są wprowadzane przez operatorów z klawiatury uniwersalnej i specjalizowanej wskaźników, oraz z pulpitu operatorskiego maszyny cyfrowej. Kla-

wiatury te są najczęściej używane i dlatego ich usytułowanie i organizacja ma duży wpływ na jakość pracy załogi. Każda klawiatura powinna być usytułowana w zasięgu ręki operatora, w miejscu nie zmuszającym go do podnoszenia rąk ku górze. Najczęściej używane klawisze powinny być wyróżnione kolorem, wielkością i położeniem. Rozmieszczenie pozostałych powinno być takie, aby do minimum zmniejszyć prawdopodobieństwo przypadkowego ich naciśnięcia. Istotną jest również odpowiednia odległość ekranu wskaźnika zobrazowania od oczu operatora, ponieważ zarówno zbyt mała jak i za duża powoduje szybkie zmęczenie wzroku, ból głowy i w efekcie zmniejszenie niezawodności działania. Każdy operator powinien mieć zapewnioną możliwość dopasowania dla swoich potrzeb kąta pochylenia i odległości ekranu. Poziomy pulpit operatorski powinien posiadać wolne miejsca, na których operator mógłby swobodnie położyć ręce bez ryzyka przypadkowego wciśnięcia klawisza.

7. Każde stanowisko operatorskie wyposażone jest w środki łączności. Ze względu na czas trwania dyżurów bojowych, należy zapewnić operatorom wygodne, lekkie, z możliwością regulacji słuchawki, laryngofony. Niewygodne, ciężkie, uciskające urządzenia łączności powodują po pewnym okresie pracy, ból, zapocenia i odgniecenia skóry głowy. W efekcie końcowym prowadzi to do obniżenia koncentracji uwagi operatora.

8. Rozwiązania konstrukcyjne sprzętu powinny zapewniać łatwy i szybki dostęp do poszczególnych egzemplarzy i typów urządzeń. Problem ten występuje zwłaszcza w przypadku awarii, uszkodzenia, oraz przy pracach diagnostyczno-konserwacyjnych. W złożonym kompleksie technicznym jakim jest kabina operacyjna systemu, przeprowadzanie napraw i testów kontrolnych nie powinno zmuszać konserwatora do przyjmowania nienaturalnej czy niewygodnej pozycji, ponieważ obniży to znacznie jego wydajność pracy, a tym samym wydłuży czas wykonywania naprawy.

Istotnym elementem podnoszącym niezawodność pracy bojowej załogi jest poprawność działania obsługiwanego przez nią sprzętu. Należy dążyć do wydłużania czasu bezawaryjnej pracy urządzeń technicznych, bo dzięki temu zmiejszy się zaangażowanie załogi w problematykę śledzenia wystąpienia i usuwania uszkodzenia technicznego. Często występujące awarie urządzeń powodują irytację, rozproszenie uwagi, dekoncentrację i w

efekcie obniżenie wydajności pracy załogi. W miarę niezawodnie pracujący sprzęt podnosi, trudny do zdefiniowania, komfort psychiczny i dobre samopoczucie załogi, wyrażające się m.in. zaufaniem do obsługiwanego sprzętu. Dowódca załogi lub określony operator, powinien mieć możliwość sprawdzania w dowolnym czasie, stanu poprawności działania poszczególnych urządzeń. Wykorzystać w tym celu należy komunikaty i meldunki wyświetlane na wskaźnikach, oraz sygnalizację świetlną (lampki kontrolne). Wczesne wykrycie niepoprawnie działającego urządzenia technicznego, pozwala niejednokrotnie uniknąć poważniejszej awarii i daje dowódcy możliwość podjęcia stosownych decyzji w celu niedopuszczenia do przerwy w procesie przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Każda awaria powoduje zakłócenia w pracy bojowej, odwraca uwagę operatorów od ich właściwych obowiązków. Wymuszona przez częste awarie sprzętu podzielność uwagi operatorów powoduje ich szybsze zmęczenie, frustracje i generalnie obniżenie niezawodności działania. Ponieważ awaryjności sprzętu nie można całkowicie wyeliminować, lecz tylko zmniejszyć częstotliwość jej występowania, w praktyce niezawodność działania poprawić można przez zastosowanie wszelkiego rodzaju nadmiarowości: wytrzymałościowej, parametrycznej, strukturalnej.

Na niezawodność działania załogi bojowej, oprócz wymienionych powyżej czynników, ma niebagatelny wpływ niezawodność oprogramowania użytkowego i systemowego, będącego integralną częścią zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia.

Podobnie jak do sprzętu technicznego, tak i do oprogramowania, zespół operatorów musi mieć pewne zaufanie. Każde uszkodzenie, lub awaria urządzenia technicznego powinno być szybko usunięta przez samych operatorów, lub specjalistyczny serwis techniczny. W przypadku awarii oprogramowania, rola, nawet dobrze wyszkolonej załogi, sprowadza się do ponownego wczytania i uruchomienia, lub tylko restartu oprogramowania użytkowego. Średnio wyszkolony operator nie jest w stanie ustalić przyczyny powstania błędu, a tym bardziej usunąć go z oprogramowania. Praktyczna bezsilność operatorów wobec błędów i awarii oprogramowania rodzi u nich uczucie frustracji i zniechęcenia. W przypadku dużej zawodności działania oprogramowania część załogi skupiona jest

na śledzeniu i sprawdzaniu poprawności uzyskiwanych wyników, a nie na prawidłwym wykonywaniu czynności operatorskich. W takiej sytuacji niezawodność zespołu zmniejsza się. Zwiększając niezawodność funkcjonowania kompleksu techniczno-programowego, zmniejsza się rozproszenie uwagi załogi, a zatem stworzone zostaną warunki do podniesienia jej niezawodności. Obniżając awaryjność sprzętu i oprogamowania, należy jednoznacznie dążyć do wyrobienia nawyku u operatorów, że w przypadku wystąpienia nieprawidłowości, błędu powinni szukać najpierw we własnym działaniu.

Praca operatorów systemów rozpoznania i dowdzenia wymaga ciągłej koncentracji i skupienia uwagi na czynnościach operatorskich. Kabina operacyjna jest pomieszczeniem ciasnym i niskim, w której zainstalowany jest zestaw sprzętu technicznego, oraz stanowiska bojowe operatorów. W trakcie pracy włączone urządzenia podwyższają temperaturę i są źródłem hałasu i drgań. Z doświadczeń wynika, że często przekraczane są dopuszczalne normy na trzy wymienione powyżej parametry[1)].
Zbyt wysoka temperatura powoduje szybkie zmęczenie fizyczne załogi, nadmierne pocenie i przedwczesną utratę zdolności percepcyjnych. Nadmierne drgania i hałas powodują ogólny rozstrój i wpływają negatywnie na samopoczucie i psychikę załogi. W przypadku zaistnienia tych trzech czynników jednocześnie, jakość pracy załogi szybko ulega pogorszeniu, operatorzy popełniają więcej błędów manualnych i logicznych, spada ich koncentracja uwagi i wydłuża czas reakcji. Hałas i drgania spowodowane są przede wszystkim pracą filtro-wentylatorów chłodzących poszczególnych urządzenia. Aby zmniejszyć negatywne oddziaływanie na załogę, wszystkie urządzenia wyposażone w wentylatory należy mocować na gumowych podkładkach, stosować hermetyzację i izolację dźwiękochłonną. W celu zapewnienia dopływu świeżego powietrza do wnętrza kabiny, oraz utrzymania w niej odpowiedniej temperatury, zastosować należy urządzenia filtrowentylujące, klimatyzatory i nawiewnice o odpowiedniej wydajności. W celu zabezpieczenia załogi przed skażeniami promieniotwórczymi i chemicznymi, wewnątrz kabiny należy wytworzyć nadciśnienie, oraz uszczelnić wszystkie klapy i otwory

---

1). Orzeczenie komisji badań kwalifikacyjnych "KASZUBY".

Zachowanie odpowiedniej temperatury i maksymalne eliminowanie drgań jest istotne nie tylko w celu zachowania niezawodności działania załogi, ale także w celu przedłużenia żywotności sprzętu. Skomplikowane elementy elektroniczne, np. mikroprocesory, są wrażliwe na obydwa te czynniki[1)].

Istotnym elementem warunków pracy załogi w kabinie bojowej jest odpowiednie oświetlenie. Operator po kilku godzinach obserwacji ekranu WPS-a, ma zmęczony wzrok i dlatego natężenie światła w kabinie nie powinno być zbyt duże, a jego kolor powinien być seledynowy. Pulpity operacyjne powinny być podświetlone.

Generalnie, warunki pracy w kabinie operacyjnej mają bardzo duży wpływ na samopoczucie i niezawodność działania załogi i dlatego należy dołożyć wszelkich starań, aby stworzyć je optymalnymi, tzn utrzymywać odpowiednią temperaturę, eliminować hałas i drgania, oraz zapewnić odpowiednie oświetlenie stanowisk pracy.

Załoga operacyjna musi stanowić zgrany i spójny zespół. Prawidłowe funkcjonowanie zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia wymaga od całej załogi sprawnego i bezbłędnego działania. Długotrwała praca w zamkniętym pomieszczeniu, w niekorzystnych warunkach i przy ograniczonym ruchu, wpływa negatywnie na psychikę i zachowanie się człowieka. Wzrasta pobudliwość, nerwowość i nietolerancja w stosunku do innych osób. W warunkach bojowych, przy istnieniu realnego zagrożenia wymienione objawy mogą wystąpić w sposób szczególnie wyraźny. Zła atmosfera, brak harmonijnego współdziałania wszystkich członków załogi, negatywnie wpływa na jakość jej pracy, a tym samym na niezawodność działania. Należy przeciwdziałać rozwojowi takiej sytuacji, aby maksymalnie ograniczyć negatywne skutki jej występowania. Decydująca rola w tym zakresie przypada dowódcy załogi. Rola dowódcy nie powinna ograniczać się tylko do merytorycznego kierowania załogą eksploatacyjną zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia. Oprócz dokładnej znajomości wszystkich czynności i funkcji reali-

---

[1)] Uszkodzeniem termicznym może być np zniszczenie zawartości pamięci stałych, natomiast drgania są często powodem powstawania zimnych lutów.

zowanych przez załogę, powinien odznaczać się dużym poczuciem odpowiedzialności, autorytetem moralnym i opanowaniem.

Załoga obsługująca system nie może być grupą przypadkowo dobranych osób, ponieważ wcześniej czy później dojdzie do nieporozumień, co negatywnie odbije się na funkcjonowaniu systemu. Wczasie ćwiczeń i szkoleń należy zwrócić uwagę na dobór załóg pod względem charakterów. Obsługiwanie skomplikowanego kompleksu techniczno-informatycznego jest procesem męczącym zarówno fizycznie jak i psychicznie. Dobra załoga powinna mieć do siebie pełne zaufanie, wzajemnie się uzupełniać, oraz tolerancyjnie traktować błędy operatora popełniane nieumyślnie. Takie postępowanie załogi wpływa zazwyczaj mobilizująco na sprawcę błędu, nie powoduje zadrażnień i stwarza życzliwą atmosferę. W przypadku gdy jeden z operatorów popełnia coraz więcej błędów, dowódca załogi powinien przeanalizować sytuację i podjąć stosowne działania (np. wyłączyć czsowo tego operatora z pracy).

Generalnie należy stwierdzić, że charakter i warunki pracy operatorów w kabinie bojowej systemu są wystarczająco ciężkie i dlatego należy dążyć do eliminacji wszelkich zjawisk i sytuacji dekoncentrujących załogę. Jedną z metod jest tworzenie właściwej atmosfery pracy dzięki prawidłowemu doborowi członków załogi pod względem charakterów, co jest gwarancją zgrania i właściwego współdziałania zespołu.

Czynnikiem, który w sposób ciągły wpływa na jakość pracy załogi jest poziom zdyscyplinowania i poczucia odpowiedzialności. Komputerowy system czasu rzeczywistego można zaliczyć do najdroższego i najbardziej skomplikowanego uzbrojenia jakim dysponuje współczesna armia. Sprzęt taki należy powierzać załodze w pełni świadomej swojej roli i wysoce odpowiedzialnej Wszyscy członkowie załogi powinni charakteryzować się dużą dyscypliną wewnętrzną i autentycznym, nie wymuszonym, zaangażowaniem w pracy. W warunkach ekstremalnych, tylko operatorzy o wysokiej dyscyplinie wewnętrznej, wykonają zadanie bojowe. Załoga zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia będzie w pierwszej kolejności i wpełni zorientowana o zagrożeniu ze strony przeciwnika powietrznego. Ponieważ jej rola polega m.in. na precyzyjnym śledzeniu i przekazywaniu informacji o istnieniu i przebiegu nalotu, zatem nie może w takiej

sytuacji ulegać uczuciom strachu, lęku o własne bezpieczeństwo czy w najgorszym razie paniki.
Załogę bojową powinni stanowić operatorzy wyselekcjonowani pod względem odporności psychicznej i zdyscyplinowania. Tak dobrany zespół operatorów będzie charakteryzował się większą niezawodnością działania w warunkach jakich nie można zasymulować w czasie ćwiczeń, czy gier wojennych. Twórcy zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia nie są w stanie przewidzieć zachowania się załogi w warunkach realnego zagrożeenia z powietrza, dlatego jednym z logicznie nasuwających się sposobów zwiększenia niezawodności jej działania jest zadbanie o wysoki poziom zdyscyplinowania i odpowiedzialności wszystkich członków.

Na każdym stanowisku operatorskim w kabinie bojowej systemu rozpoznania i dowodzenia realizowany jest określony zbiór czynności. Wykonanie tych czynności przez poszczególnych operatorów stanowi istotny etap procesu obróbki informacji radiolokacyjnej, podejmowaniu i przekazywaniu decyzji do zwalczania nalotu nieprzyjaciela powietrznego. Należy dążyć do pełnej uniwersalności stanowisk wyrażającej się możliwością wykonania dowolnej operacji na dowolnym stanowisku. Każdy operator powinien znać sposób, kolejność i celowość wykonywania wszystkich czynności. W przypadku awarii jednego stanowiska, pozostałe muszą zabezpieczyć ciągłość przepływu decyzji i informacji i dlatego operator, po otrzymaniu polecenia od dowódcy, musi przejąć część czynności realizowanych na uszkodzonym stanowisku i do czasu podjęcia innej decyzji wykonywać je zgodnie z instrukcją pracy bojowej. Szczególne obowiązki w zakresie znajomości i operatywności działania ciążą na dowódcy załogi. Oprócz czynności merytorycznych musi on sprawdzić poprawność pracy poszczególnych operatorów, a w przypadku awarii jednego stanowiska natychmiast podjąć decyzję o dodatkowym obciążeniu pozostałych. Dzięki biegłej znajomości zakresu obowiązków na poszczególnych stanowiskach przez całą załogę, oraz jej operatywność działania, zapewniona zostanie ciągłość działania zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia.

Przy ocenie niezawodności działania załogi, nie można pominąć problemu skomplikowania czynności operatorskich. Aby

zrealizować dowolną funkcję np. zmienić zobrazowanie, wyświetlić formularz, nadać meldunek, operator wykonuje określony cykl elementarnych czynności takich jak napisanie kodu dyrektywy, określonych parametrów, wciśnięcie odpowiedniego klucza itp. Już na etapie projektowania systemu należy zwrócić uwagę na problem usystematyzowania i logicznego powiązania kolejnych czynności składających się na określoną funkcję. Usystematyzowanie działań uzyskać można przez takie oprogramowanie klawiatur operacyjnych, które pozwoli operatorowi wykonać wymagane czynności elementarne wg. logicznego ciągu (ścieżki działania). Ciągiem takim może być np. wciskanie kluczy na klawiaturze wg łatwego do zapamiętania logicznego porządku. Gdy ustalony zostanie kierunek realizacji funkcji, np. od góry w dół klawiatury, lub od lewej do prawej strony, wówczas operator po kilkunastu próbach będzie je wykonywał automatycznie, z dużym prawdopodobieństwem poprawności. W przypadku gdy praca operatora polega na wykonywaniu nieuporządkowanego ciągu czynności elementarnych, wówczas zwiększa się ilość popełnianych przez niego omyłek. Z doświadczeń autora wynika, że po kilku godzinach pracy bojowej, gdy operator jest zmęczony, wykonywanie nieusystematyzowanych czynności jest utrudnione i wolniejsze. Usystematyzowanie i automatyzacja pracy bojowej jest jedną z metod zachowania niezawodności działania załogi w dłuższym okresie czasu, a jest to możliwe w przypadku prawidłowej organizacji, współdziałania, oraz unikania komplikacji czynności manualnych.

Jak już wspomniano, praca w kabinie operacyjnej wykonywana jest w warunkach wpływających destruktywnie na psychikę i samopoczucie załogi. Omówiono również jak przeciwdziałać tym zjawiskom przyjmując odpowiednie rozwiązanie projektowo-konstrukcyjne. Psychologia inżynierii zagadnienie zachowania odporności załogi i jej niezawodności działania zalicza do problemów problemów bardzo trudnych.

W oparciu o własne doświadczenia i obserwacje uważam, że zespół operatorów w celu utrzymywania przez dłuższy czas wysokiej sprawności i niezawodności działania, powinien przystąpić do pracy mając w pełni zaspokojone potrzeby w zakresie snu, wyżywienia, higieny osobistej, oraz bez problemów natury zdrowotnej. Tylko w takiej sytuacji kondycja psycho- fizyczna za-

łogi będzie dobra, co jest warunkiem koniecznym podczas pracy bojowej. Prawidłową dyspozycję psycho-fizyczną należy rozumieć jako ogólnie dobre samopoczucie, chęć do pracy, zdolność do podjęcia intelektualnego wysiłku, koncentracjii racjonalnego myślenia, brak apatii i rozkojażenia. Złe samopoczucie i niedyspozycja chociażby jednego opratora powoduje dezorganizację i potknięcia w pracy całego zespołu, co w sumie obniża niezawodność działania. Niedysponowany, źle przygotowany do pracy bojowej członek załogi nie powinien być do niej dopuszczony, ponieważ jest sprawcą dodatkowych utrudnień i kłopotów. Szczególnie dobrze powinien być przygotowany do pracy dowódca obiektu, ponieważ ma on decydujący wpływ na jakość pracy całego zespołu. W przypadku stwierdzenia niedyspozycji psycho-fizycznej jednego z operatorów, dowódca powinien podjąć działania zmierzające do jego zamiany na innego pełnosprawnego, lub czasowo wyłączyć go z pracy bojowej i wszelkimi dostępnymi metodami doprowadzić do pełnej sprawności.

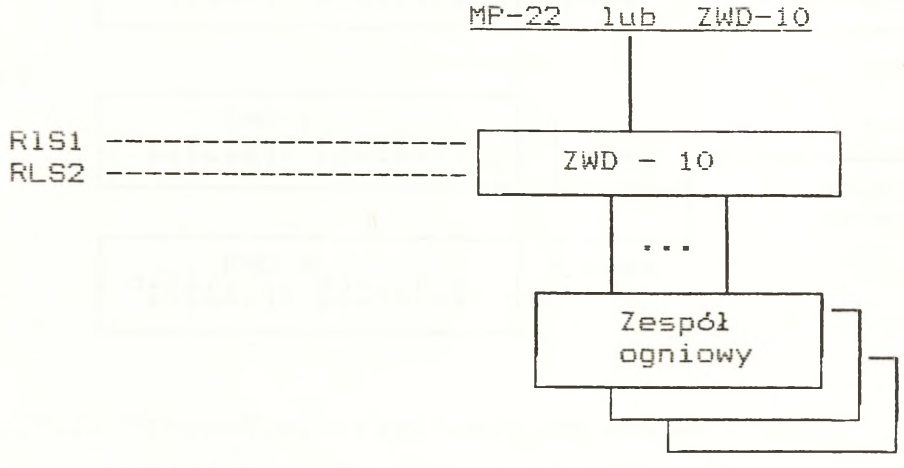
ROZDZIAŁ 5.

MODEL ZAUTOMATYZOWANEGO PODSYSTEMU PRZETWARZANIA DANYCH.

5.1. Model symulacji otoczenia zewnętrznego zautomatyzowanego obiektu obrony powietrznej.

Każdy zautomatyzowany obiekt systemu OP jest przeznaczony do automatyzacji obrony na odpowiednim szczeblu, np ZWD-10 zapewnia kierowanie obroną przeciwlotniczą pz/pcz w oparciu o dane dostarczone :

- ze stacji radiolokacyjnych,
- od przełożonego (nadrzędne SD OPL),
- z podległych zespołów ogniowych,



Rys.5.1. Schemat przekazywania danych do ZWD-10.

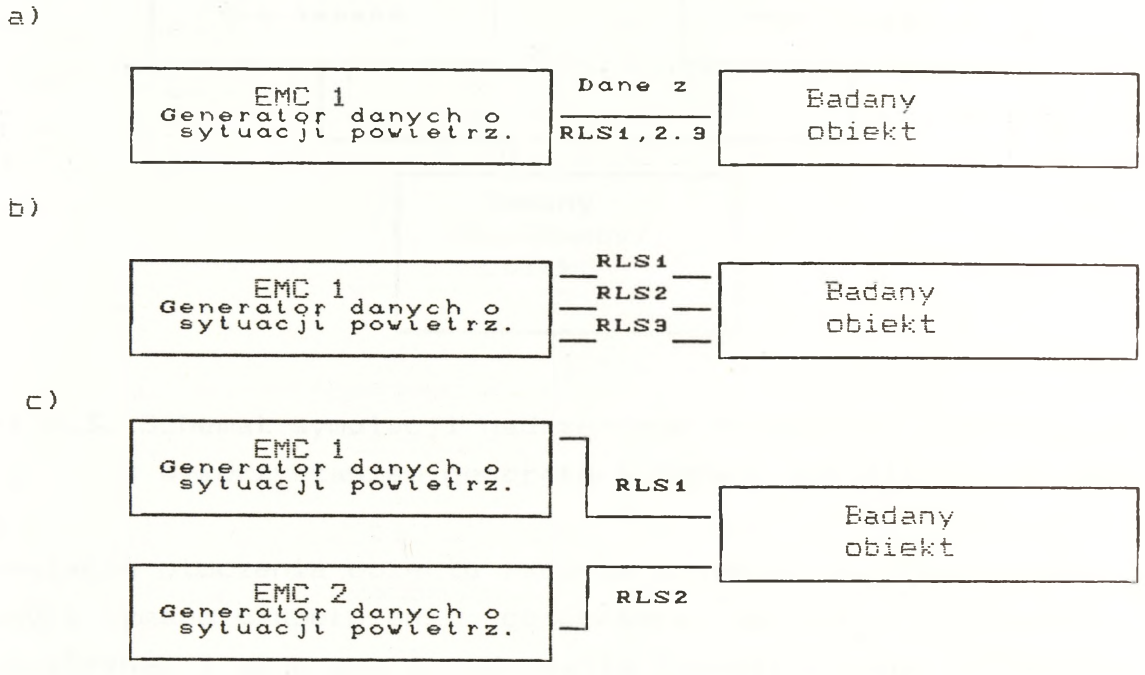
Dane te są przekazywane w kanałach transmisji danych w postaci ustalonych depesz, takich samych jak w systemie ZENIT, ŁOWCZA. Z punktu widzenia testowania oprogramowania obiektu, konieczne jest stworzenie aparatu umożliwiającego testowanie w warunkach laboratoryjnych, w oderwaniu od innych elementów systemu OP. Aparat taki wykorzystywany może być również na etapie szkolenia i testowania załóg bojowych.

Uwzględniając wyżej opisane potrzeby, w WII opracowano i zaadaptowano następujące moduły:

1) moduł generatora danych o sytuacji powietrznej,
2) moduł formowania depesz systemowych.

Pierwszy z nich umożliwia symulację lotu obiektów powietrznych oraz symulację pracy stacji radiolokacyjnych. Umożliwia on sy-

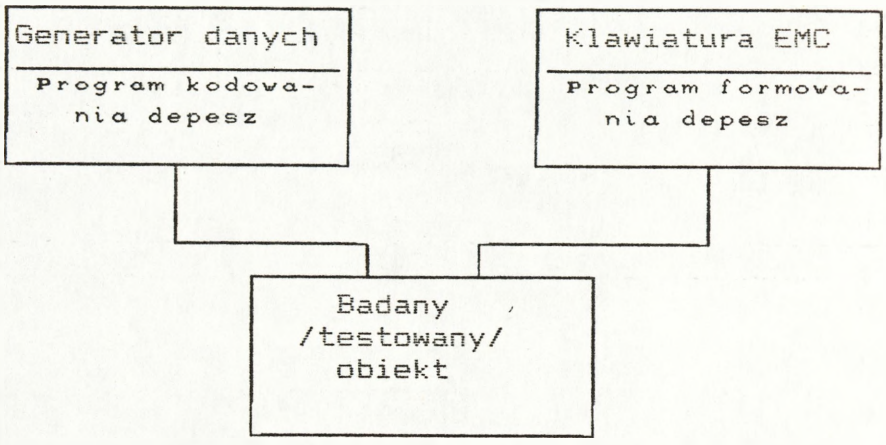
mulację pracy do 5 stacji radiolokacyjnych pracujących równolegle. W szczególnym przypadku umożliwia on symulację pracy jednej stacji. Moduł ten wykorzystywany może być w różnych konfiguracjach sprzętowych, w mniejszym lub większym stopniu odwzorowujących rzeczywistą sytuację. (Rys.5.2)



Rys.5.2. Schemat wykorzystania generatora danych o sytuacji powietrznej do symulacji pracy stacji radiolokacyjnych.

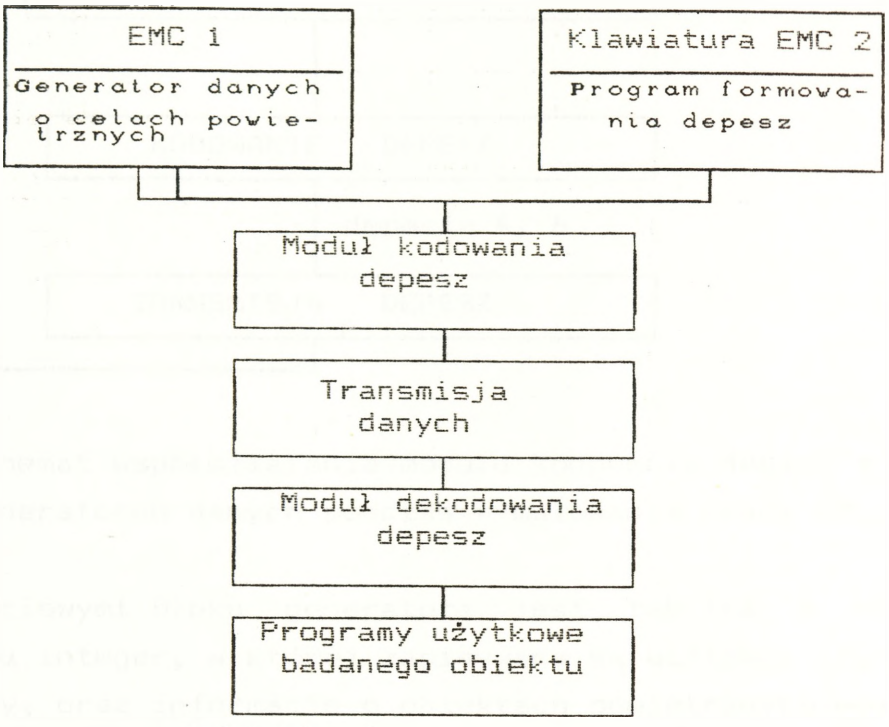
W podobny sposób może być wykorzystywany moduł formowania depesz systemowych. Jego rola polega na formułowaniu depesze systemowych w oparciu o dane wprowadzane ręcznie przez operatora z klawiatury, lub dane uzyskane z generatora. Moduł ten umożliwia utworzenie dowolnej depeszy jaka może pojawić się w relacji obiekt - otoczenie zewnętrzne. Dzięki temu można symulować współpracę badanego obiektu z nadrzędnym stanowiskiem dowodzenia, SRL lub innymi źródłami informacji, które transmitują depesze w standardzie PASUW. Możliwość taka jest szczególnie przydatna w początkowym etapie testowania systemu. Schemat wykorzystania tego modułu przedstawiono na Rys.5.3. Obydwa moduły, generowania danych i formułowania depesz, mogą być również włączone do oprogramowania użytkowego obiektu.

W takim przypadku oprogramowanie użytkowe testowane będzie z pominięciem programów transmisji danych.



Rys.5.3. Schemat symulacji nadrzędnego stanowiska dowodzenia z wykorzystaniem generatora danych lub klawiatury EMC.

Symulacja otoczenia obiektu łącznie z symulacją transmisji danych wymaga uzupełnienia generatora danych o sytuacji powietrznej i programu formułowania depesz, o moduł kodowania depesz. Ze strony obiektu musi wówczas funkcjonować moduł dekodowania. Schemat działania symulatora otoczenia zewnętrznego zautomatyzowanego obiektu ZWD-10 przedstawia Rys.5.4.



Rys.5.4 Ogólny schemat działania programów symulujących otoczenie zautomatyzowanego obiektu OP.

5.1.1. Moduł kodowania depesz.

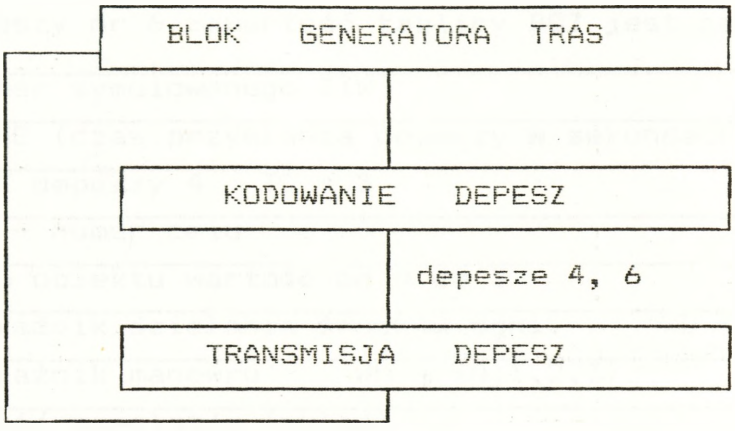
Moduł kodowania depesz generuje różnego rodzaju depesze w standardzie ustalonym dla systemu ZENIT i ŁOWCZA. Moduł ten, w połączeniu z innymi programami, służy do symulacji otoczenia obiektu, a w szczególności do symulacji transmisji danych ze stacji radiolokacyjnych, oraz od przełożonego. W takich przypadkach współpracuje on z generatorem danych, lub z programem formowania depesz z klawiatury EMC.

Stacja radiolokacyjna typu NUR-21, przeznaczona do współpracy z obiektami OP wydaje informacje w postaci depesz cyfrowych.

Komputerowy symulator stacji składa się z trzech zasadniczych elementów:

- generatora danych o trasach obiektów powietrznych,
- programu kodowania depesz systemowych,
- programu transmisji (obsługi ZTD).

Schemat działania symulatora SRL:



Rys.5.5. Schemat współdziałania modułu kodowania depesz z generatorem danych podczas symulowania pracy SRL.

Danymi wyjściowymi bloku generatora jest tablica o nazwie BOZ[16] typu integer, w której zapisywane są wartości cyfrowe kodu depeszy, oraz informacje o obiektach powietrznych wpisane w takiej kolejności jaką narzuca standard tej depeszy.
Tablica BOZ jest równocześnie daną wejsciową dla programu kodowania depesz systemowych.
Zawartość tablicy BOZ jest następująca:

BOZ[12] - dla depeszy 4

0	Numer symulowanego ZIW
1	TIME (czas przysłania depeszy w sekundach)
2	Kod depeszy 4 TC = 0
3	Wskaźnik obróbki współrzędnych WOW = 0 lub 1
4	Wskaźnik źródła informacji WZI = 0 lub 1
5	Wskaźnik grupowego celu WGC = 0 lub 1
6	Przynależność P = (1, 2, 3, 4)
7	Wskaźnik występowania wysokości WWW = 0 lub 1
8	Wysokość H (waga ostatniego bitu 200m)
9	Znak współrzędnej X 0-dodatni, 1-ujemny
10	Współrzędna X (waga ostatniego bitu 100m)
11	Znak współrzędnej Y 0-dodatni, 1-ujemny
12	Współrzędna Y (waga ostatniego bitu 100m)

Dla depeszy nr 6 zawartość tablicy BOZ jest następująca:

0	Numer symulowanego ZIW
1	TIME (czas przysłania depeszy w sekundach)
2	Kod depeszy 4 TC = 5
3	NC - numer celu
4	Typ obiektu wartość od 0 do 3
5	Wskaźnik działania środków ogni. WD = (0,2,3)
6	Wskaźnik manewru WM = (0,1,2,3)
7	Ilość samolotów (skład)
8	Znak składowej prędkości Vx 0-dodatni, 1-ujemny
9	Wartość współrzędnej pręd. Vx waga bitu = 10[m/s]
10	Znak składowej prędkości Vy 0-dodatni, 1-ujemny
11	Wartość współrzędnej pręd. Vy waga bitu = 10[m/s]

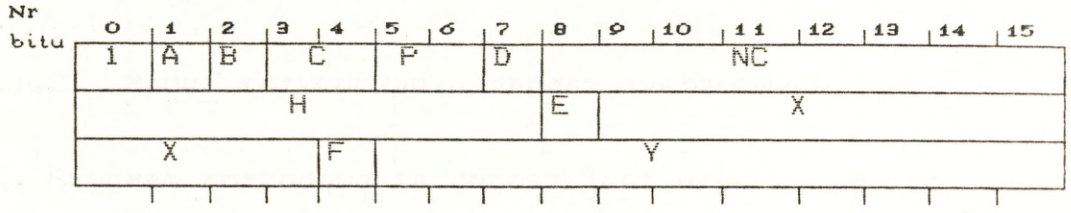
Danymi wyjsciowymi programu kodowania depesz jest tablica typu integer o nazwie DEP[3], której zawartość informacyjna i postać jest równoznaczna depeszy systemowej.
Tablica DEP może być wykorzystana przez program transmisji. Przyjmując cykl pracy generatora danych o trasach taki sam jak rzeczywistej stacji NUR-21, oraz zakładając że realizacja kodowania i transmisji depesz nie wnosi praktycznie żadnych opóźnień czasowych, należy stwierdzić, że połączenie trzech opisanych powyżej programów pozwoliło zasymulować pracę rzeczywistego źródła informacji radiolokacyjnej.

Program kodowania depesz połączony z generatorem tras pozwala uzyskać depesze systemowe 4 i 6, ponieważ tylko te depesze zawierają dane o położeniu i charakterystykach obiektów powietrznych.
Program kodowania depesz daje możliwość zakodowania wszystkich funkcjonujących depesz, pod warunkium wpisania w buforze wejściowym BOZ odpowiednich danych. Są to depesze o numerach: 2, 3, 4, 6, 8, KC, 10, 12, 13.
Program ten należy łączyć z innymi programami traktując go jako funkcję, przy czym dane wejściowe BOZ oraz dane wyjściowe DEP powinny być deklarowane jako zmienne globalne.
W przypadku łączenia programu kodowania z innymi niż generator tras programami, należy na 0-owym i na 1-szym słowie tablicy

BOZ wpisać liczbę 0.

Sposób rozmieszczenia informacji w tablicy DEP[3] jest następujący:

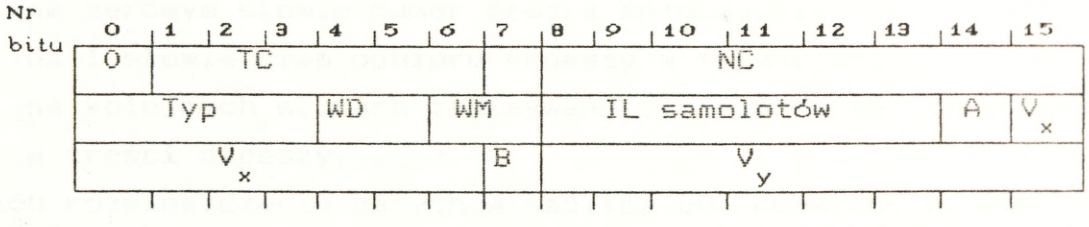
DEP[3] - depesza 4



Gdzie:

A - wskaźnik obróbki współrzędnych (0,1),
B - -"- źródła informacji (0,1),
C - -"- grupowego celu (0,1),
P - -"- przynależności (0,3),
NC - numer celu,
H - wysokość lotu obiektu,
E - znak współrzędnej X,
X - współrzędna położenia X,
F - znak współrzędnej Y,
Y - współrzędna położenia Y.

Rozmieszczenie informacji w depeszy 6 jest następujące:



Gdzie:

TC - kod depeszy (TC(6)=5),
NC - numer celu,
Typ - typ obiektu,
WD - wskaźnik działań ogniowych,
WM - wskaźnik manewru,
IL samolotów - liczba samolotów (skład),
A - znak współ. prędkości V_x,

V_x - składowa prędkości X ,
B - znak współ. prędkości V_y,
V_y - składowa prędkości Y.

Przedstawiony na Rys.5.5 zestaw programów służyć może do symulacji pracy pojedynczej SRL jak i kilku stacji śledzących te same obiekty powietrzne.

5.1.2. Moduł rozkodowania depesz systemowych.

Program rozkodowania depesz jest uruchamiany po odebraniu przez ZTD depeszy systemowej. Rozkodowanie depeszy polega na zapisaniu w tablicy wyjściowej wszystkich informacji zawartych w depeszy, oraz dodatkowych danych określających czas odbioru depeszy i numer źródła informacji (nr ZTD), z którego dana depesza została przysłana.

Danymi wejściowymi dla programu rozkodowania jest 5-cio słowowa tablica o nazwie BUWE[5] typu integer, w której program obsługi ZTD upakowuje dane wg. następującej zasady:

na zerowym słowie czas odbioru depeszy przez ZTD w sek,
na 1 słowie numer źródła informacji,
na 2, 3, 4 słowie treść przysłanej depeszy zapisana identycznie jak w tablicy DEP[3].

Danymi wyjściowymi programu rozkodowania jest tablica o nazwie BOZ[16] typu integer, w której zapisywane są informacje wg. następującego standardu:

na zerowym słowie numer źródła informacji,
na 1 słowie czas odbioru depeszy w sekundach,
na kolejnych słowach zapisywane są informacje przysłane w treści depeszy.

Sposób rozmieszczenia danych w tablicy BOZ omówiono wcześniej szczegółowo.

W przypadku łączenia z innymi programami, program rozkodowania należy traktować jako funkcję, przy czym dane wejściowe i wyjściowe należy deklarować jako zmienne globalne.

5.2 Moduł zbierania i aktualizacji danych źródłowych o sytuacji powietrznej.

Moduł opracowania strumienia informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej, wykorzystuje jako dane wejściowe informacje zawarte w depeszach dostarczonych z K źródeł informacji wtórnej (ZIW), oraz zestaw danych sterujących wprowadzanych przez operatorów urządzeń zobrazowania (wskaźników WPS i monitorów MZT). Wstępnym etapem przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej, zawartej w dostarczonych depeszach, jest tworzenie formularzy źródłowych tras. Zbiór formularzy źródłowych zawiera ustalony zestaw danych o obiektach powietrznych i obejmuje K podzbiorów:

$$FTZIW = \bigcup_{k=1}^{K} FTZIW(k)$$

gdzie FTZIW(k) - podzbiór formularzy trajektorii lotu obiektów śledzonych przez k-te źródło.

Zbiór FTZIW(k) składa się z formularzy, w których zawarta jest informacja o parametrach trasy śledzonego obiektu. Np dla obiektu ZWD-10R przyjęto, że FTZIW(1), FTZIW(2) zawiera po 16 formularzy (własne SRL), FTZIW(3) do 31 formularzy tras źródłowych (MP-25, NUR-21, NUR-31, ZWD-10), podzbioryFTZIW(4), FTZIW(5) do 63 tras {DP-20 (CRI A/F), DP-40 (CD A/F), MP-22, ZWD-10R}, natomiast podzbiór FTZIW(6) zawiera do 31 formularzy tras o których informacje przysyła obiekt WOPK (WP-04, PORI, CYBER, DS-20). Postać pojedynczego formularza trasy z ZIW FTZIW(K,NC), oraz rozmieszczenie w nim konkretnych informacji o obiekcie (numer,położenie itd), przedstawiono w dalszej części rozdziału.

Oprócz informacji przesyłanych depeszami, oraz informacji z pulpitów operatorskich, moduł wykorzystuje dane umieszczone w tablicach danych stałych i danych zmiennych (TDS, TDZ).
Danymi wyjściowymi tego modułu są informacje o sytuacji powietrznej przedstawione w postaci L formularzy tras uogólnionych (FTU). Formularz FTU zawiera wszelkie dane o obiekcie powietrznym i trajektorii jego lotu, na bazie których realizowane jest dalsze przetwarzanie danych, a mianowicie: rozdział celów, zobrazowanie, formowanie i transmisja określonych depesz i meldunków. Moduł przetwarzania informacji

radiolokacyjnej umożliwia działanie programów w reżimie półautomatycznym i automatycznym.

Półautomatyczna wersja działania programów przetwarzania znajdzie zastosowanie przede wszystkim w trakcie treningów i testów załóg bojowych obiektów dowodzenia, oraz w sytuacji konieczności interwencyjnej reakcji operatora w proces przetwarzania informacji radiolokacyjnej. W tej wersji pracy operatorzy mogą realizować następujące funkcje:

- inicjować nowe trasy uogólnione,
- nadawać numery systemowe (dowolne od 1 do L) trasom uogólnionym,
- dopisywać charakterystyki (prędkość, kurs, przynależność, wysokość) do tras uogólnionych,
- wprowadzać korekty (zmiana kursu, prędkości, przynależności, wysokości) do tras uogólnionych,
- kasować wybrane trasy uogólnione.

W reżimie automatycznego działania, moduł przetwarzania informacji radiolokacyjnej powinien zapewnić zrealizowanie wszystkich wymienionych wyżej funkcji bez ingerencji operatora (automatycznie). Trasa uogólniona powstaje na bazie informacji zawartych w formularzu trasy źródłowej, której nie można skojarzyć z żadną już istniejącą trasą uogólnioną (wcześniej zainicjowaną). Numer trasy uogólnionej NU jest określany wg zasady "pierwszy wolny" z przedziału [1,L] a dopisywane charakterystyki i korekty są uogólnionymi wartościami odpowiednich parametrów dowiązanych tras źródłowych. Trasa uogólniona będzie automatycznie skasowana w przypadku braku korekty tej trasy przez określony czas (np 40 sek), tzn w sytuacji gdy dowiązane do niej trasy źródłowe przestaną być śledzone.

W procesie przetwarzania informacji radiolokacyjnej realizowane są następujące operacje:

- odbiór informacji z buforów odbiorczych ZIW,
- aktualizacja formularzy tras źródłowych (FTZIW),
- gładzenie trajektorii lotu śledzonych obiektów,
- kojarzenie tras z ZIW z istniejącymi TU,
- inicjowanie nowych tras uogólnionych,
- rozkojarzanie tras uogólnionych,
- ekstrapolacja parametrów tras,
- uogólnienie (uśrednienie) danych o położeniu, oraz oblicza-

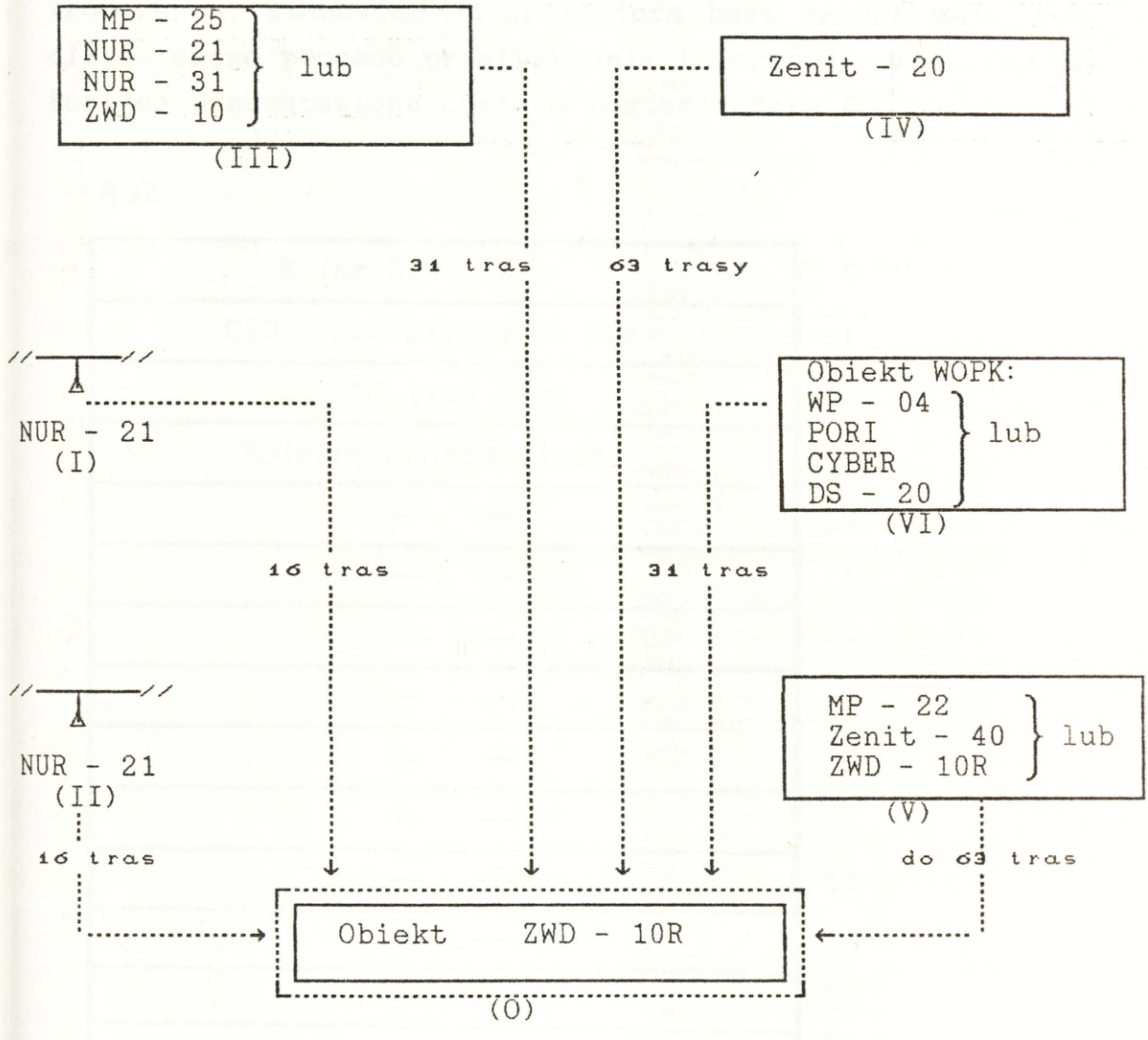
nie charakterystyk obiektów powietrznych (tras),
- kasowanie tras uogólnionych (zerowanie formularzy FTU),
- eliminacja (selekcja) tras wg zadanego kryterium, automatycznie realizowana tylko w przypadku gdy ilość istniejących już tras uogólnionych jest równa L, a polegająca na kasowaniu jednej w celu umożliwienia zainicjowania nowej.

Koncepcja funkcjonowania modułu przetwarzania informacji radiolokacyjnej obejmuje dwa etapy. Pierwszym etapem jest odbiór depesz z informacją o sytuacji powietrznej i ich rozkodowanie, oraz aktualizacja formularzy tras źródłowych. Opracowanie informacji zawartej w depeszach obejmuje:
- wypełnienie formularza trasy ze źródła FTZIW(NC,k),
- wygładzenie parametrów trajektorii lotu obiektu powietrznego,
- aktualizacja czasu korekty trasy źródłowej TK(NC,k),
- kojarzenie tras źródłowych z istniejącymi trasami uogólnionymi,
- rozkojarzenie dowiązywanej trasy źródłowej z trasą uogónioną
- inicjowanie nowej trasy uogólnionej (utworzenie nowego formularza trasy FTU).

Drugim etapem jest uogónianie informacji źródłowych. Przyjęto koncepcję cyklicznej aktualizacji informacji zawartych w FTU. Jeżeli w okresie cyklu aktualizacji trasa uogólniona nie była korygowana, wówczas realizowana jest ekstrapolacja jej parametrów (współrzędnych położenia X, Y, wysokości lotu H i współrzędnych prędkości V_x,V_y) na koniec danego cyklu obliczeniowego. W przypadku, gdy w cyklu (np. 4 sekundowym) przysłane zostały korekty (depesze) do tras źródłowych dowiązanych do danej trasy uogólnionej, realizowane jest uśrednianie ważone. Współczynniki wagowe korekt do trasy uogólnionej obliczane są wg kryterium czasowego, przy którym informacja wcześniejsza ma mniejszą wagę, a bardziej aktualna większą.

Generalnie, przetwarzanie informacji radiolokacyjnej jest realizowane metodą sekwencyjnego aktualizowania formularzy tras ze źródeł, oraz cyklicznego uśredniania (podciągania) parametrów tras uogólnionych. W celu uniknięcia częstych zmian kursu tras uogólnionych, które uniemożliwiają prawidłowy rozdział celów, przewiduje się dodatkowe gładzenie kursu i prędkości obiektów powietrznych.

Jako przykład przedstawiono strukturę połączeń informacyjnych zautomatyzowanego wozu dowodzenia ZWD-10R (prplot).



Typy źródeł informacji:

I, II - własne SRL,
III, IV - dodatkowe ZI,
V - obiekt nadrzędny,
VI - obiekt WOPK.

Na bazie otrzymanych informacji z ZI obiekt ZWD-10R opracowuje 24 trasy uogólnione.

5.2.1. Dane wejściowe.

Podstawowymi danymi wejściowymi dla modułu przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej są informacje przysyłane ze źródeł informacji ZIW (w standardzie PASUW depesze Nr 4 Nr 6).

Przysłane przez ZIW depesze, po wstępnym opracowaniu przez procedurę odbioru i rozkodowania depesz, są upakowywane w buforze odbiorczym źródła (BOZ).
Na podstawie depesz moduł przetwarzania tworzy formularze tras źródłowych, stanowiących zasadniczą bazę danych wejściowych dla dalszego procesu przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Poniżej przedstawiona została postać bufora BOZ.

BOZ

	Nr słowa
K (nr ZIW , K =	ø
CZD (czas zapisu de BOZ)	1
TC (typ depe	2
Kolejne informacjezy	3
— —	4
— —	5
— —	6
— —	7
— —	8
— —	9
— —	10
— —	11
— —	12
— —	13
— —	14
— —	15
— —	16
— —	17

Np depesza Nr 4 zawiera następujące informacje wykorzystywane przez moduł przetwarzania informacji radiolokacyjnej:

NC - numer celu,
WOW - wskaźnik obróbki współrzędnych,
WZI - wskaźnik źródła informacji,

WGC - wskaźnik grupowego celu,
P - cecha przynależności celu,
WWW - wskaźnik występowania wysokości,
H - wysokość lotu celu,
ZNX - znak współrzędnej położenia X lotu celu,
XD - współrzędna położenia X celu,
ZNY - znak współrzędnej położenia Y celu,
YD - współrzędna położenia Y celu.

Depesza Nr 6 zawiera informacje:
NC - numer celu,
TYP - typ celu,
WD - wskaźnik działań środków ogniowych przeciw celowi,
WM - wskaźnik manewru,
IL - skład (ilość samolotów),
ZNVX - znak składowej prędkości X,
VX - składowa prędkości X,
NVY - znak składowej prędkości Y,
VY - składowa prędkości Y.

Zbiór danych o trasach śledzonych przez źródła FTZIW składa się z formularzy tras źródłowych FTZIW(NC,k), gdzie $k = \overline{1,K}$. Wartość zmiennej k oznacza numer źródła przysyłającego informację, a NC numer śledzonego celu. Pojedynczy formularz FTZIW(NC,k) zawiera dane o trasie NC, śledzonej przez k-te ZIW. Dane te, uaktualniane po odebraniu depeszy stanowią informację o sytuacji powietrznej wykorzystywaną przez moduł przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Formularz danych o celu FTZIW(k,NC) (k - numer ZIW, NC - numer śledzonej trasy) obejmuje następujące dane:

WI(NC,k) - wskaźnik inicjacji lub wskaźnik nie skojarzenia z trasą uogólnioną:
0 - trasa źródłowa skojarzona z trasą uogólnioną,
1 - trasa nieskojarzona tzn gotowa do inicjacji nowej trasy uogólnionej,

WR(NC,k) - wskaźnik rozkojarzenia :
0 - trasa NC daje się kojarzyć,
1 - trasa NC nie została skojarzona z trasą ugólnioną,

P(NC,k) - cecha przynależności:
1 - obcy,

2 - swój,
3 - swój gwarantowany,
0 - nierozpoznany,

NC(NC,k) - numer śledzonej trasy,

X(NC,k) - współrzędna X położenia celu,

Y(NC,k) - współrzędna Y położenia celu,

VX(NC,k) - składowa X prędkości celu,

VY(NC,k) - składowa Y prędkości celu,

H(NC,k) - wysokość lotu celu,

Tk(NC,k) - czas ostatniej korekty,

XEKS(NC,k) - współrzędna X położenia ekstrapolowanego na koniec cyklu obliczeniowego,

YEKS(NC,k) - współrzędna Y położenia ekstrapolowanego na koniec cyklu obliczeniowego,

TE(NC,k) - czas ekstrapolacji trasy źródłowej,

TL(NC,k) - czas blokady trasy NC,

DT(NC,k) - czas dla wsp. wagowego (zm. robocza),

W(NC,k) - wsp. wagowy do uogólniania (zm. robocza),

TYP(NC,k) - typ obiektu:
0 - swój, myśliwiec,
1 - cel zwykły,
2 - nośnik zakłóceń aktywnych,
3 - -"- -"- pasywnych,

WD(NC,k) - wskaźnik do działań śr. ogniowych,
0 - nie występuje działanie,
2 - działa p-lot kompleks rakiet,
3 - działa LM,

WM(NC,k) - wskaźnik manewru:
0 - brak,
1 - kursowy,
2 - wysokości,
3 - prędkości,

SKLA(NC,k) - skład,

TL(NC,k) - czas blokady trasy NC,

NU(NC,k) - numer trasy uogólnionej, skojarzonej, dowiązanej do trasy NC,

WITZ(NC,k) - wskaźnik istnienia trasy źródłowej NC:
1 - trasa istnieje,
0 - trasa nie istnieje,

WGC(NC,k) - wskaźnik grupowego celu:
0 - nieokreślony,
1 - cel pojedynczy,
2 - para,
3 - cel grupowy.

WBT(NC,k) - wskaźnik blokady trasy NC z k-tego ZIW:
1 - trasa źródłowa zablokowana,
0 - trasa źródłowa niezablokowana.

WZI(NC,k) - wskaźnik źródła informacji
1 - SRL,
0 - inne źródło.

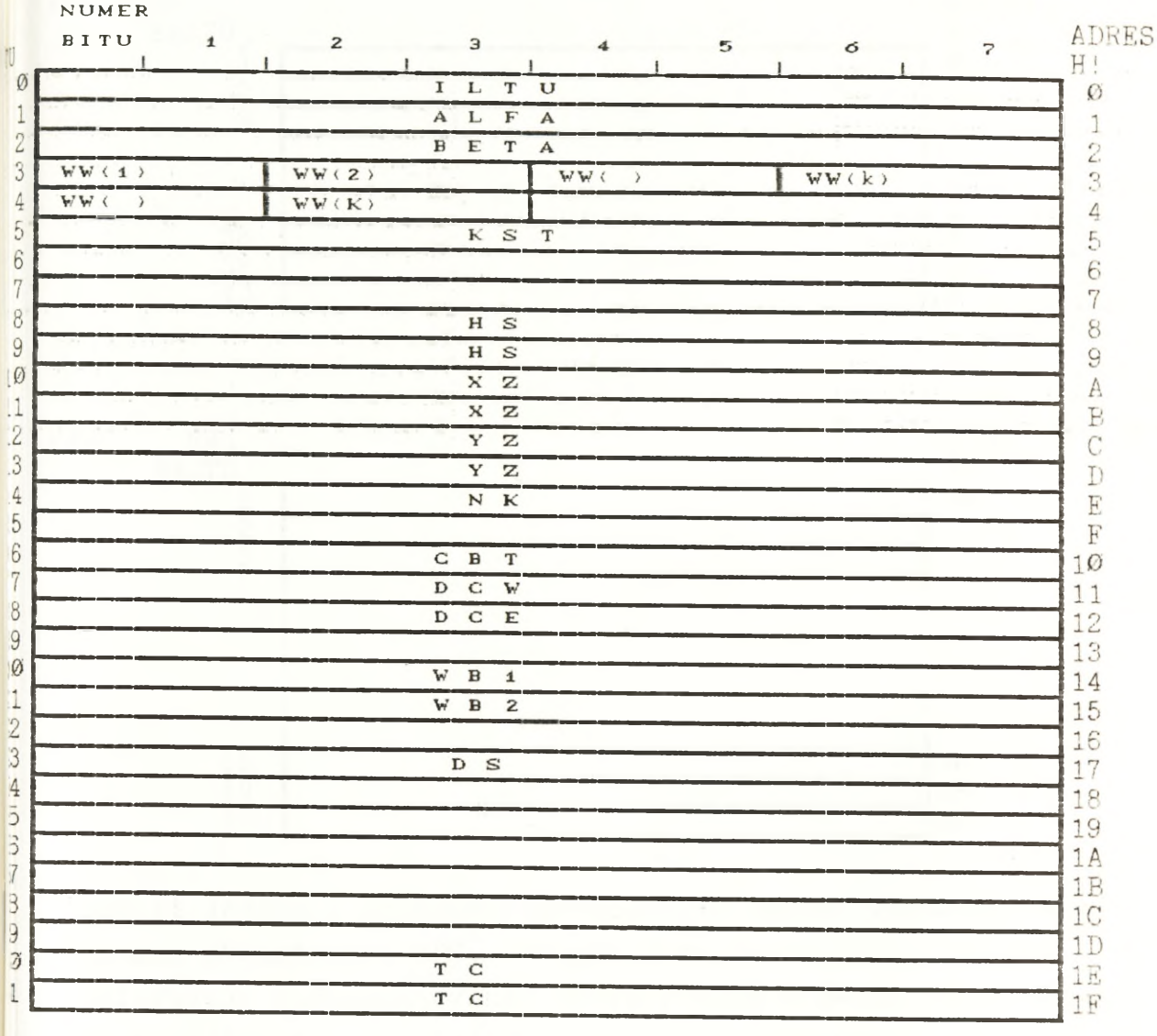
Postać formularza trasy źródłowej FTZIW(NC,k) jest następująca

Nr bajtu	Nr bitu 0	1	2	3	4	5	6	7	Adres H!
Ø	WI	WR	P		WGC		WBT		Ø
1	NC								1
2	X								2
3	X								3
4	Y								4
5	Y								5
6	VX								6
7	VX								7
8	VY								8
9	VY								9
1Ø	H								A
11	H								B
12	TK								C
13	TK								D
14	XEKS								E
15	XEKS								F
16	YEKS								1Ø
17	YEKS								11
18	TE								12
19	TE								13
2Ø	DT								14
21	DT								15
22	W								16
23	W								17
24	W								18
25	W								19
26	TYP				WD		WM		1A
27	SKLA								1B
28	TL								1C
29	TL								1D
3Ø	NU								1E
31	MW		WITZ						1F

Danymi wejściowymi dla przetwarzania informacji radiolokacyjnej, oprócz formularzy tras źródłowych są również dane stałe umieszczoone w tablicy danych stałych TDS, oraz dane zmienne umieszczone w tablicy danych zmiennych TDZ. W tym celu w pamięci operacyjnej deklarowane są wymienione tablice, które w trakcie tworzenia oprogramowania mogą być uzupełniane potrzebnymi wartościami.
Tablica danych zmiennych TDZ będzie aktualizowana automatycznie przez programy przetwarzania danych, oraz przez operatora przy pomocy dyrektyw operatorskich.
Tablica danych zmiennych zawiera następujące wartości:

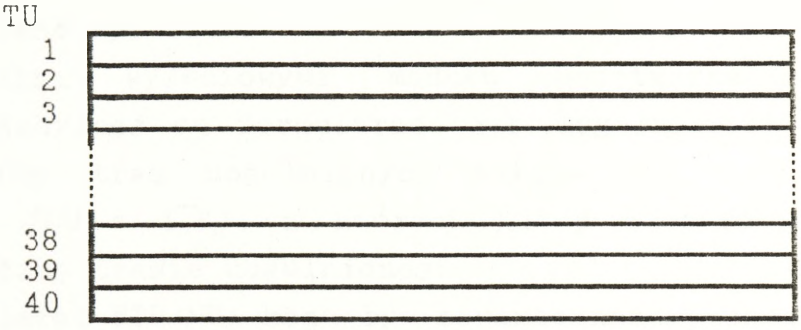
ILTU - aktualna ilość tras uogólnionych,
ALFA - współczynnik gładzenia składowych położenia celu,
BETA - współczynnik gładzenia składowych prędkości celu,
WW(k) - współczynnik wiarygodności k-tego ZIW ($k = \overline{1,K}$),
KST - kryterium selekcji tras,
HS - górna granica przedziału wysokości dla algorytmu selekcji wg kryterium wysokości,
XZ - współrzędna X położenia obiektu w bazowym układzie odniesienia
YZ - współrzędna Y położenia obiektu w układzie bazowym,
NK - numer trasy uogólnionej do skasowania,
CBT - czas blokady trasy źródłowej (dowiązanej do kasowanej trasy uogólnionej),
DCW - dopuszczalny czas wyświetlania (bez migotania) trasy uogólnionej,
DCE - dopuszczalny czas ekstrapolacji trasy uogólnionej (łącznie z migotaniem),
TC - czas końca bieżącego cyklu obliczeniowego,
WB1 - wymiar bramki kojarzenia (podstawowy),
WB2 - wymiar bramki używany przy rozkojarzaniu tras,
DS - odległość graniczna dla kryterium odległości.

Postać tablicy danych zmiennych TDZ jest następująca:

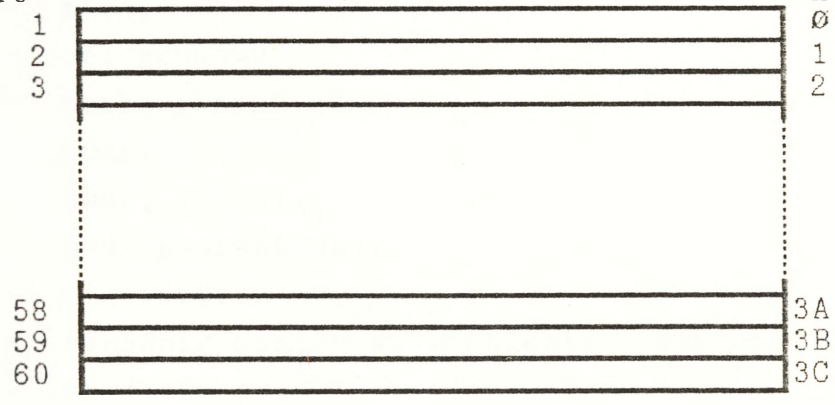


Oprócz wymienionych już danych moduł przetwarzania wykorzystuje informacje sterujące operatora WPS-11 (MTZ). Dane wprowadzane przez operatora z pulpitu umieszczone są w formularzu cyfrowym FC (klawiatura cyfrowa), lub w formularzu klawiatury alfanumerycznej. Formularz cyfrowy jest buforem umieszczonym w PAO. Formularz alfanumeryczny (FAN) jest buforem umieszczonym również w pamięci operacyjnej. Adresy wymienionych formularzy oraz sposób dostępu określone są przez system operacyjny.

FC.

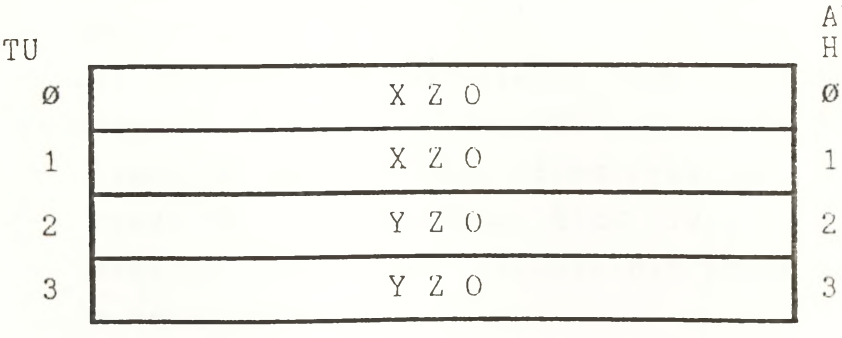


FAN.



Jeżeli jednym z urządzeń zobrazowania będzie wskaźnik panoramiczno-syntetyczny WPS, wówczas w procesie przetwarzania informacji radiolokacyjnej wykorzystywane będą również, jako dane wejściowe, współrzędne położenia znacznika operatora (ZO). Podobnie jak formularz FC, współrzędne XZO, YZO będą używane zwłaszcza w trakcie pracy oprogramowania w reżimie półautomatycznym. Każda współrzędna znacznika operatora zapisana jest na jednym słowie (2 bajty) w pamięci operacyjnej. Adres bufora współrzędnych ZO (BWZO) określony jest w opisie systemu operacyjnego.

BWZO



5.2.2 Dane wyjściowe.

Danymi wyjściowymi modułu przetwarzania informacji radiolokacyjnej są formularze tras uogólnionych FTU. Zbiór formularzy tras uogólnionych składa się z K formularzy FTU(NU) (NU = $\overline{1,K}$), z których każdy zawiera informacje o pojedynczej trasie uogólnionej.

W formularzu FTU(NU) mogą być zawarte następujące informacje:

S(NU) - skład trasy uogólnionej:
- Ø - nieokreślony,
- 1 - cel pojedynczy,
- 2 - para,
- 3 - cel grupowy,

P(NU) - cecha przynależności:
- 1 - obcy,
- 2 - swój,
- 3 - swój gwarantowany,
- Ø - nie rozpoznany,

WZ(NU) - wskaźnik zakazu wyświetlania trasy uogólnionej,

V(NU) - prędkość obiektu powietrznego,

Q(NU) - kurs obiektu powietrznego,

TR(NU) - czas rozpoczęcia śledzenia,

TK(NU) - czas ostatniej korekty,

TYP(NU) - typ obiektu powietrznego:
- Ø - swój, myśliwiec,
- 1 - cel zwykły,
- 2 - nośnik zakłóceń aktywnych,
- 3 - nośnik zakłóceń pasywnych,

WD(NU) - wskaźnik działań śr. ogniowych przeciw celowi:
- Ø - nie występuje działanie przeciw celowi,
- 1 - zakaz zwalczania celu (wydany przez dowódcę),
- 2 - działa przeciwlotniczy kompleks rakiet,
- 3 - działa LM,
- 4 - cel przydzielony do obiektu jako priorytetowy,

ZIW(k,NU) - wskaźnik śledzenia trasy NU przez k-te ZIW:
- Ø - trasa NU nie śledzona przez k-te ZIW,
- 1 - trasa NU śledzona przez k-te ZIW,

SK(NU) - wskaźnik głębokości skojarzenia trasy uogólnionej z inną trasą uogólnioną,

X(NU) - współrzędna X położenia trasy NU,
Y(NU) - współrzędna Y położenia trasy NU,
H(NU) - wysokość lotu obiektu,
VX(NU) - współrzędna X prędkości obiektu,
VY(NU) - współrzędna Y prędkości obiektu,
TE(NU) - czas ostatniej ekstrapolacji trasy,
NC(k,NU) - numer trasy źródłowej śledzonej przez k-te ZIW skojarzonej (dowiązanej) z trasą NU, $k = \overline{1,K}$,
NUS(NU) - numer trasy uogólnionej skojarzonej z trasą NU,
VXR(NU) - gładzona dodatkowo składowa X prędkości,
VYR(NU) - gładzona dodatkowo składowa Y prędkości,
QR(NU) - gładzony dodatkowo kurs obiektu powietrznego,
XP(NU) - współrzędna X położenia obiektu w poprzednim cyklu obliczeniowym,
YP(NU) - współrzędna Y położenia obiektu w poprzednim cyklu obliczeniowym,
PRC(NU) - priorytet celu,
LB(NU) - liczba zespołów ogniowych przeznaczonych do niszczenia danego celu,
WIT(NU) - wskaźnik istnienia trasy uogólnionej NU:
1 - trasa istnieje,
Ø - trasa nie istnieje,
WBK(NU) - wskaźnik braku korekty do trasy NU,
WKT(NU) - wskaźnik kasowania trasy,
WM(NU) - wskaźnik manewru:
Ø - brak,
1 - manewr kursowy,
2 - manewr wysokości,
3 - manewr szybkości,
WOW(NU) - wskaźnik obróbki współrzędnych:
Ø - obróbka automatyczna,
1 - obróbka ręczna.
WWW(NU) - wskaźnik występowania wysokości:
0 - wysokość nieokreślona,
1 - wysokość określona,
CHC(NU) - wskaźnik charakteryzujący cel:
0 - zakaz zwalczania,
1 - cel przydzielony przez szef,
2 - cel priorytetowy (wskazany z góry),

3 - cel wskazany przez szefa,

4 - cel zwykły,

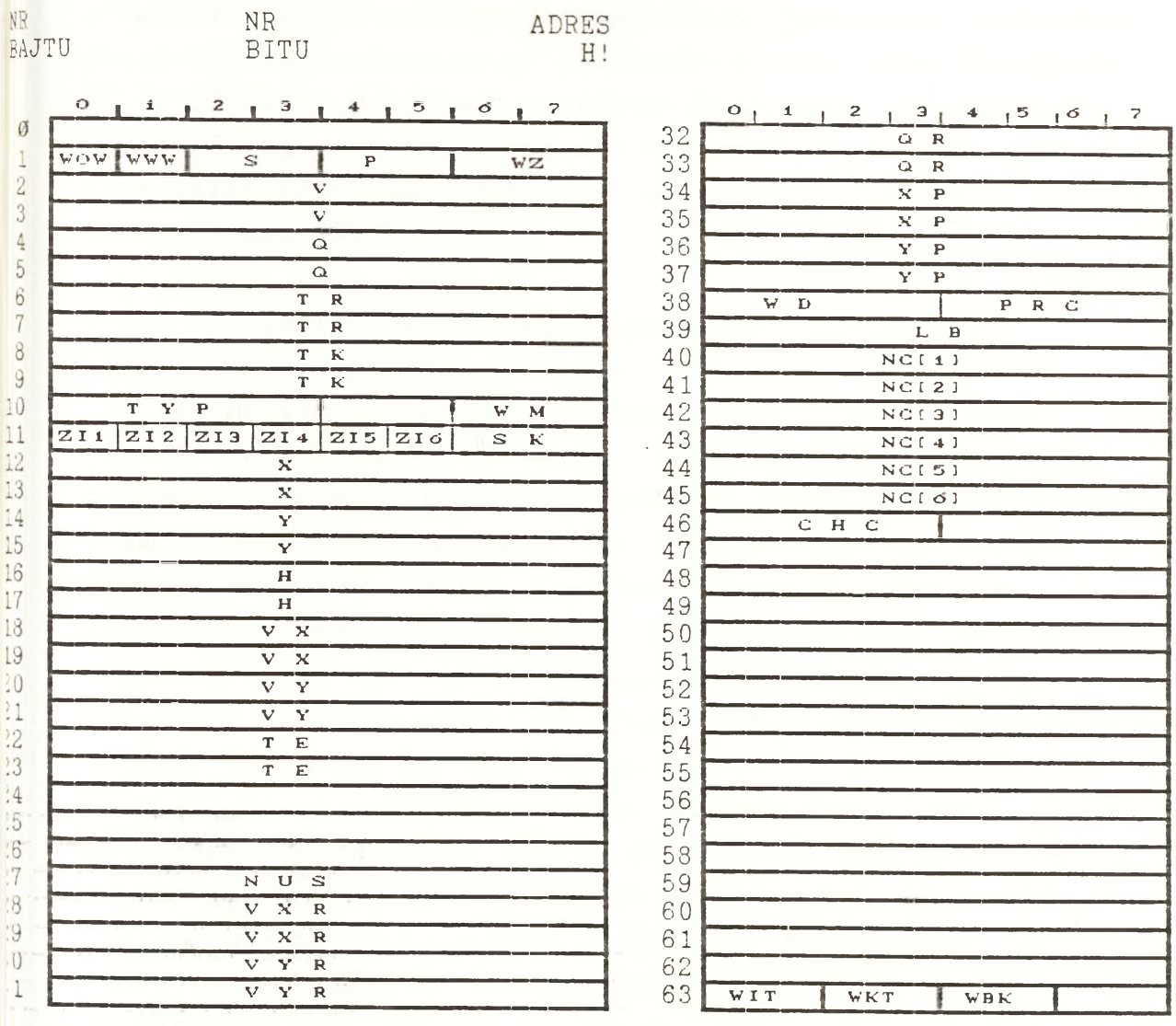
WKT(NU) - wskaźnik kasowania trasy NU:

0 - nie kasuj,

1 - wskazany do kasowania,

3 - kasuj tą trasę,

Struktura formularza trasy uogólnionej FTU(NU) (dla obiektu ZWD-10R) jest następująca:



5.2.3. Półautomatyczna wersja przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

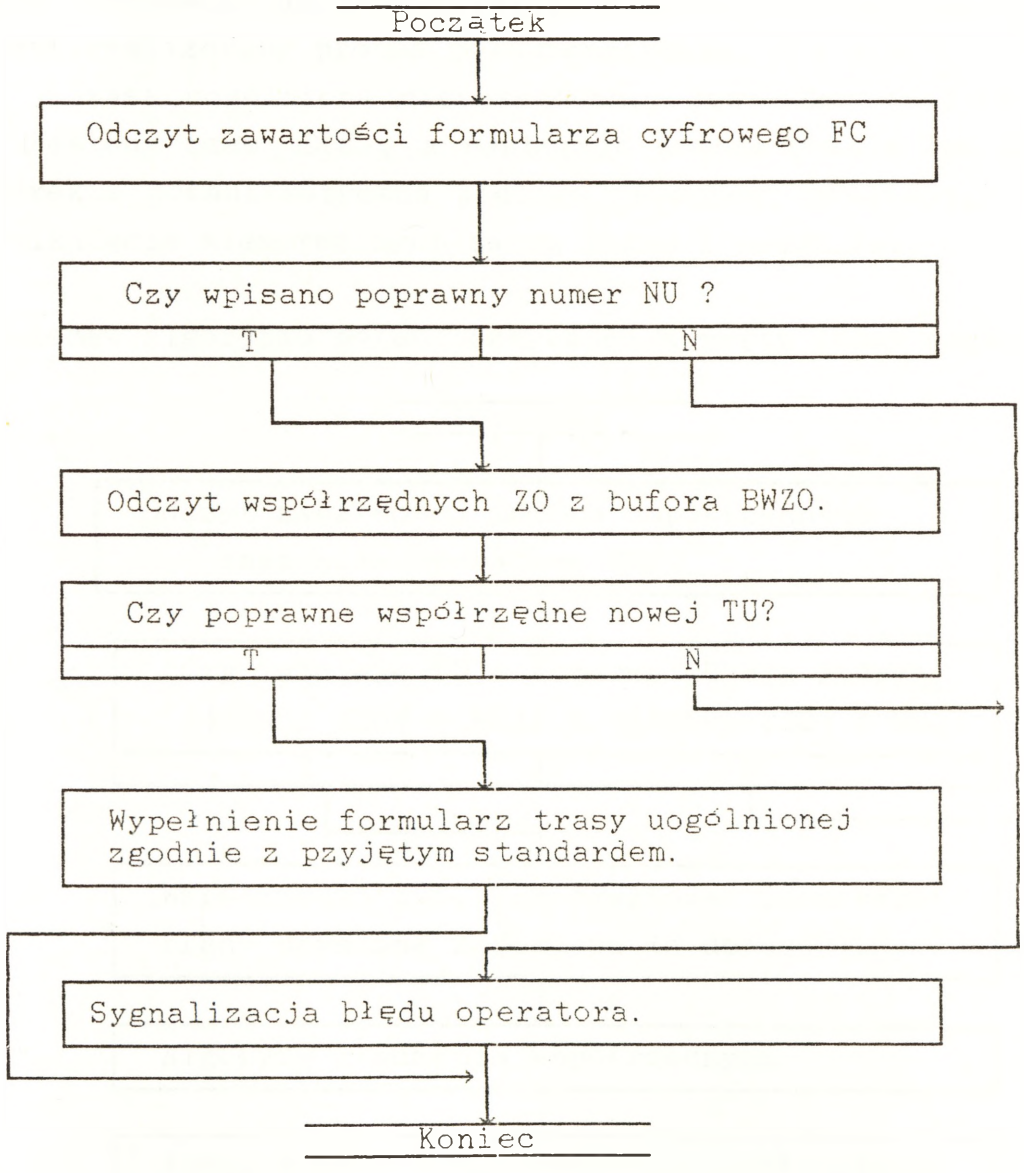
Podstawową wersją pracy modułu jest automatyczne przetwarzanie informacji o sytuacji powietrznej dostarczonej z ZIW. Wersja półautomatycznego funkcjonowania modułu stanowi uzupełnienie i może być wykorzystywana zarówno w pracy bojowej, jak również w trakcie szkoleń ,treningów i testów.W wersji tej, programy realizujące inicjacjękorekty i kasowanie tras uogólnionych, uruchamiane są po naciśnięciu ustalonych kluczy np. F3, WSP, F1 na pulpitach sterujących urządzeń zobrazowania typu WPS. MZT. Do przetwarzania wykorzystywana jest zawartość formularza cyfrowego (FC), oraz współrzędne położenia znacznika operatora (XZO, YZO).

5.2.3.1. Algorytm półautomatycznego inicjowania trasy uogólnionej.

Mechanizm półautomatycznego inicjowania trasy daje operatorowi możliwość zainicjowania trasy uogólnionej w przypadku zaniku lub silnych zakłóceń sieci łączności, oraz w trakcie ćwiczeń, treningów. Półautomatyczne inicjowanie może odbywać się równolegle z automatycznym inicjowaniem tras wykrytych przez ZIW. Numer, półautomatycznie inicjowanej trasie, nadawany jest automatycznie tylko wówczas, gdy operator w formularzu cyfrowym nie wpisał odpowiedniego numeru. Jeżeli w FC jest wpisany numer z przedziału [K], wówczas nowo inicjowana trasa otrzyma ten numer. Program półautomatychnego inicjowania uruchamiany jest po naciśnięciu wybranego klucza, np F3, na pulpicie operatorskim WPS. Nowo inicjowana trasa otrzyma początkowe współrzędne położenia równe współrzędnym ZO w momencie wciśnięcia klucz F3. Jeżeli współrzędne XZO, YZO nie różnią się więcej niż ustalony wymiar bramki od współrzędnych X(NU), Y(NU) istniejących już tras uogólnionych, wówczas nie jest inicjowana nowa trasa. Jeżeli w FC wpisany zostanie numer, a jednocześnie istnieje już trasa uogólniona o takim numerze, wówczas zasygnalizowany zostanie błąd operatora. W takiej sytuacji należy najpierw skasować trasę uogólnioną o danym numerze, a nastepnie zainicjować ją w określonym przez ZO miejscu.

Automatyczne nadanie numeru inicjowanej przez operatora trasie, realizuje się wg reguły "pierwszy wolny z przedziału [1,K]". Jeżeli nie ma wolnego numeru, tzn. istnieją już K trasy uogólnione, wówczas próba półautomatycznego zainicjowania nowej, sygnalizowana jest błędem operatora. Wpisanie przez operatora do FC numeru większego od K, również zostanie zasygnalizowane jako błąd.

Schemat algorytmu półautomatycznego inicjowania trasy uogólnionej.



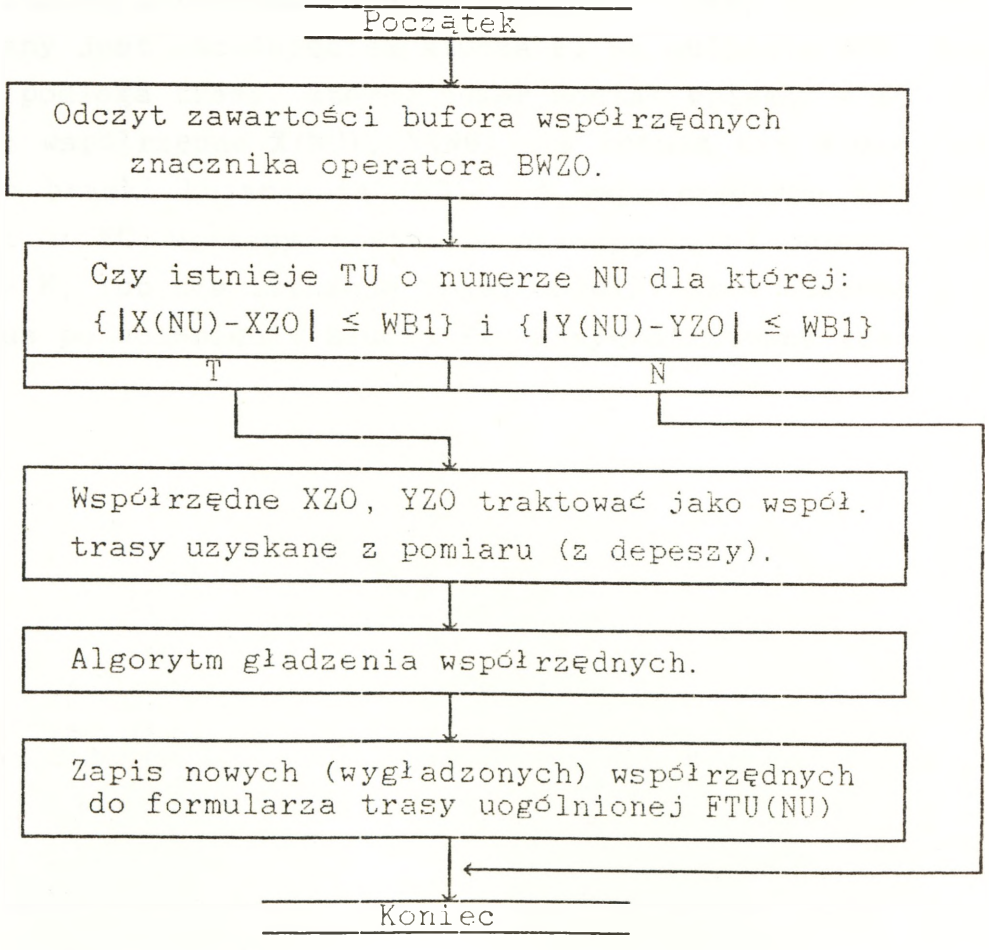
5.2.3.2. Algorytm półautomatycznej korekty tras uogólnionych.

Mechanizm półautomatycznej korekty może być wykorzystany przez operatora w trakcie półautomatycznego śledzenia zaini-

cjowanej przez niego trasy uogólnionej, oraz w trakcie obserwacji automatycznego śledzenia tras. W przypadku silnych zakłóceń lub przerw w łączności, operar ma możliwość korygowania tras śledzonych do tej pory automatycznie. W procesie półautomatycznej korekty wykorzystywane są współrzędne XZO, YZO, oraz specjalizowany klucz klawiatury sterującej wskaźnika np. WSP. Program realizujący półautomatyczną korektę uruchamiany jest naciśnięciem tego klucza. Współrzędne XZO, YZO porównywane są ze współrzędnymi tras uogólnionych X(NU), Y(NU). Jeżeli współrzędne nie różnią się więcej niż wymiar bramki, wówczas ZXO, YZO traktowane są jako korekta. W przeciwnym przypadku nie jest realizowany proces półautomatycznej korekty.

Trasa uogólniona niekorygowana, jest ekstrapolowana przez określony czas (DCE), a następnie automatycznie kasowana. Korekta półautomatyczna podlega procesowi gładzenia, w celu uniknięcia nienormalnych zmian kursu i prędkości.

Schemat algorytmu półautomatycznej korekty trasy uogólnionej.



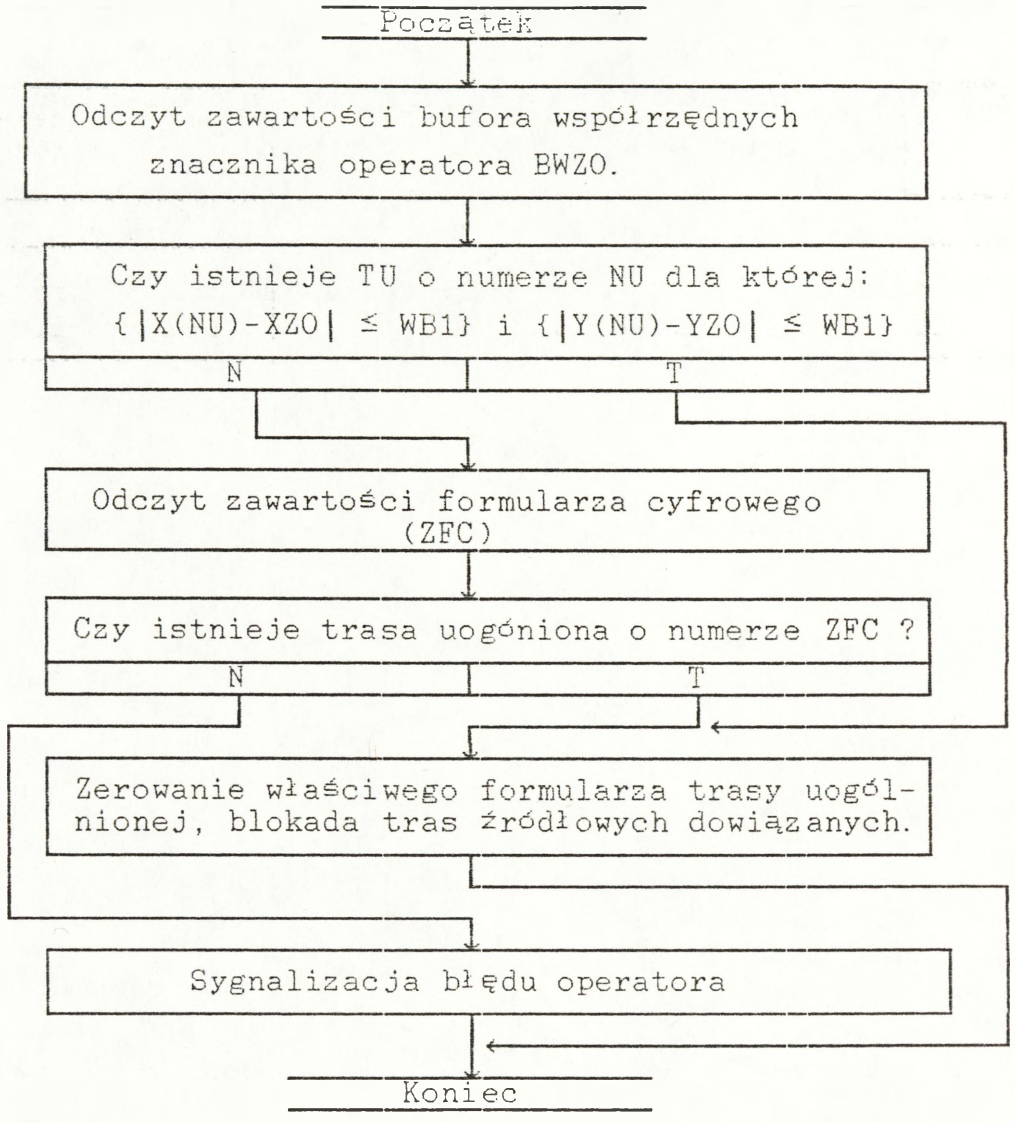
5.2.3.3. Algorytm półautomatycznego kasowania trasy uogólnionej.

W trakcie przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej może wystąpić potrzeba przerwania śledzenia trasy uogólnionej, zainicjowanej wcześniej automatycznie lub półautomatycznie przez operatora. Sytuacja taka może wystąpić w przypadku nadmiaru napływającej z ZIW informacji, otrzymania rozkazu od przełożonego o przerwaniu śledzenia danej trasy, lub własnej decyzji operatora. Mechanizm półautomatycznego kasowania tras daje operatorowi możliwość interwencyjnego przerwania procesu śledzenia wybranej trasy uogólnionej.

Półautomatyczne kasowanie trasy uogólnionej o numerze NU polega na wyzerowaniu formularza FTU(NU), ustawieniu WIT(NU)=0, oraz zablokowaniu tras źródłowych (WBT(NC,K)=1, TL(NC,K)=TB) skojarzonych z trasą NU. Odpowiednie numery FTZIW są wpisane w FTU(NU) i oznaczone symbolami NC(K,), gdzie K = {1,K}.

Program półautomatycznego kasowania trasy uogolnionej uruchamiany jest naciśnięciem klucza F1 na pulpicie WPS. Skasowaniu podlega trasa, której numer został wpisany w FC, lub której współrzędne X(NU), Y(NU) nie różnią się więcej niż wymiar bramki kojarzenia (WB1) od współrzędnych XZO, YZO. Jeżeli w FC wpisany zostanie nieodpowiedni numer trasy np (ZFC > K, lub nie istnieje trasa uogólniona o numerze ZFC), wówczas po wciśnięciu klucza F1, zasygnalizowany zostanie błąd.

Schemat algorytmu półautomatycznego kasowania trasy uogólnionej.

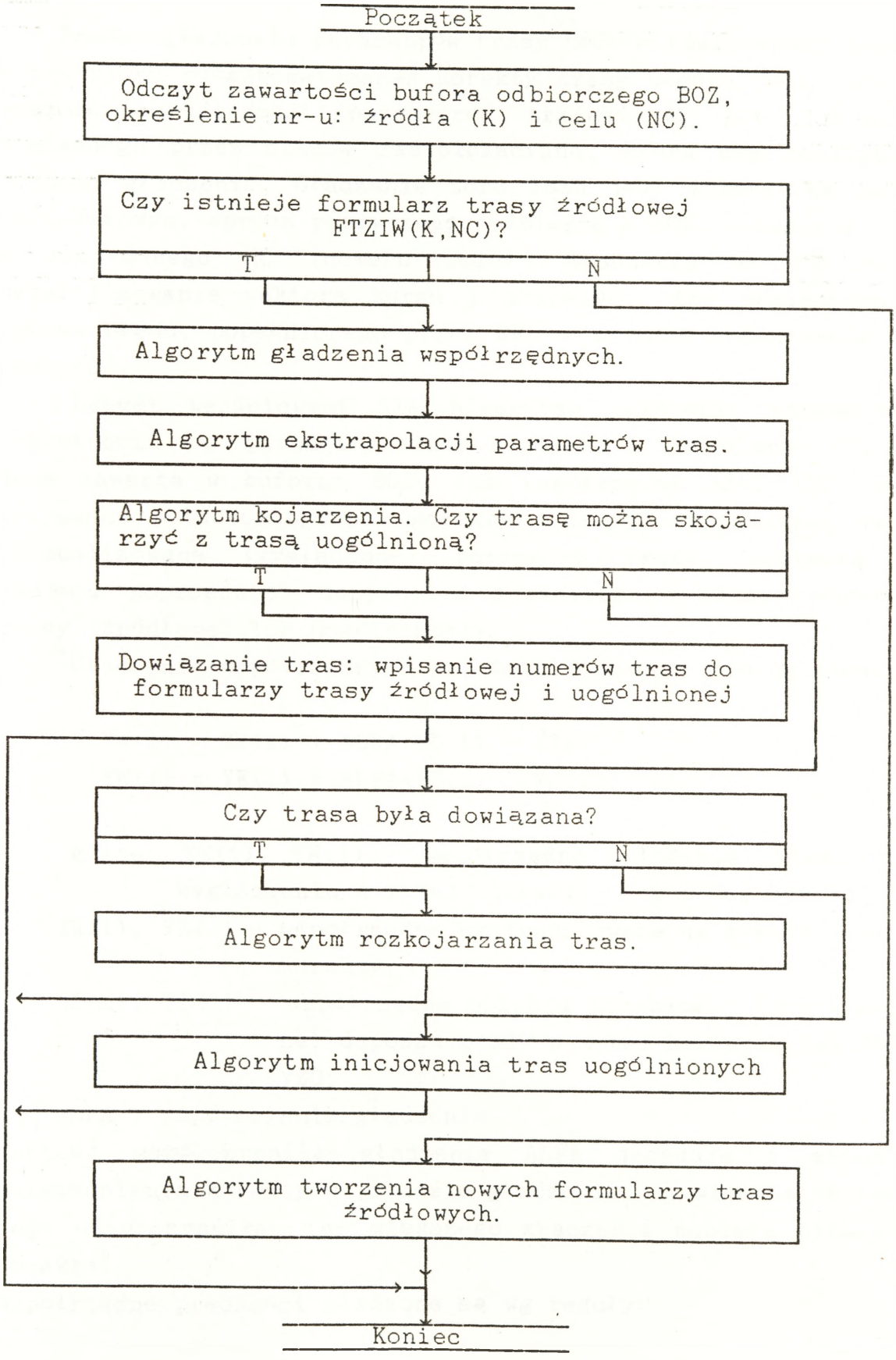


5.2.4. Algorytm przetwarzania depesz.

Przetwarzanie informacji o sytuacji powietrznej rozpoczyna się w momencie odbioru depeszy wysłanej przez ZIW. Po odebraniu depeszy przez urządzenie transmisji typu ZTD, uruchamiana jest procedura rozkodowania i upakowania jej treści do bufora odbiorczego depesz (BOZ). W przypadku gdy odebrane zostaną depesze o numerach 4 lub 6 realizowana jest aktualizacja formularzy tras źródłowych FTZIW i gładzenie parametrów trajektorii lotu. W następnej kolejności uruchamiane są programy kojarzenia i inicjacji tras uogólnionych. Do

przetwarzania wykorzystywane są, oprócz informacji przekazywanych w depeszach, identyfikator ZIW (K), oraz czas zapisu depeszy do BOZ (CZD). Jeżeli dla danego numeru celu nie istnieje FTZIW(K,NC), wówczas nie realizowany jest proces aktualizacji parametrów toru lotu, tylko utworzony zostanie nowy formularz trasy źródłowej.

Algorytm automatycznego przetwarzania depesz systemowych.



5.2.4.1. Algorytm gładzenia toru lotu obiektu powietrznego.

Proces gładzenia parametrów trasy będzie realizowany tylko w przypadku półautomatycznej korekty trasy uogólnionej, lub w trakcie aktualizacji parametrów trajektorii lotu obiektu śledzonego przez stację radiolokacyjną, która nie realizuje procesu gładzenia. Gładzenie toru lotu jest wykonywane po każdorazowym, oprócz pierwszego, odbiorze z BOZ, depeszy 4 lub 6 dla danego NC (numeru celu). Gładzenie ma na celu ustabilizowanie wektora kursu i prędkości, tzn zmniejszenie wpływu błędu, popełnionego przez SRL w trakcie dokonywania pomiaru.

Danymi wejściowymi dla algorytmu gładzenia parametrów trajektorii są: parametry trasy zapisane w formularzu FTZIW, dane zawarte w buforze BOZ, lub współrzędne XZO, YZO (w przypadku półautomatycznej korekty). Danymi wyjściowymi są zaktualizowane (wygładzone) parametry trasy, zapisane w miejscu poprzednich danych, w formularzu poddanej obróbce trasy (źródłowej lub uogólnionej).

Gładzenia współrzędnych położenia dokonuje się wg zasady:

$$XW(i) = XE(i) + ALFA(XD(i) - XE(i))$$
$$YW(i) = YE(i) + ALFA(YD(i) - YE(i))$$

gdzie: XW(i), YW(i) - współrzędne położenia obiektu po wygładzeniu w i-tej iteracji (po i-tej korekcie),
XE(i), YE(i) - współrzędne ekstrapolowane na moment i-tej korekty,
XD(i), YD(i) - współrzędne obiektu przekazane (dostarczone) depeszą z ZIW w i-tej korekcie, lub XZO, YZO,
ALFA - współczynnik gładzenia.

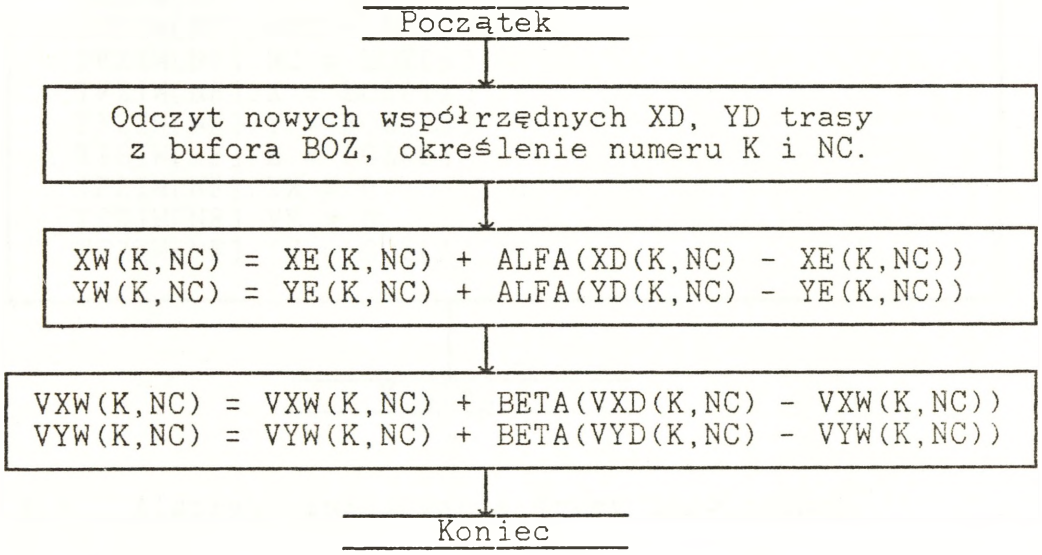
Wartość współczynnika gładzenia ALFA decyduje o stopniu uwzględniania korekty w procesie gładzenia. Im większa wartość tego współczynnika, tym większego znaczenia nabiera aktualna korekta.

Współrzędne prędkości gładzone są wg reguły:

$$VXW(i) = VXW(i-1) + BETA(VXD(i) - VXW(i-1))$$
$$VYW(i) = VYW(i-1) + BETA(VYD(i) - VYW(i-1))$$

gdzie: VXW(i), VYW(i) - składowe prędkości po wygładzeniu w i-tej iteracji,
VXD(i), VYD(i) - składowe prędkości obliczone na podstawie i-tej korekty,
VXW(i-1), VYW(i-1) - składowe prędkości obiektu w (i-1)-szej iteracji,
BETA - współczynnik gładzenia składowych prędkości, interpretowany podobnie jak współczynnik ALFA.

Schemat algorytmu gładzenia.

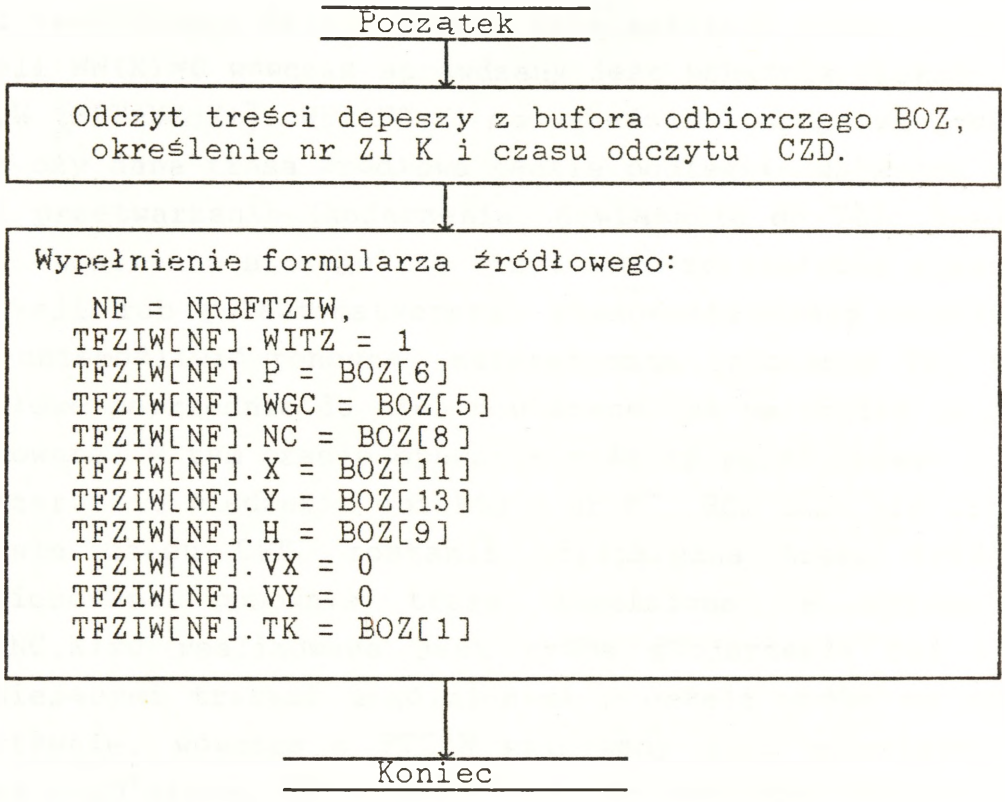


5.2.4.2. Algorytm tworzenia nowych formularzy tras źródłowych FTZIW.

Po odebraniu z BOZ, depeszy z informacją o położeniu obiektu powietrznego (4 lub 6), sprawdzany jest wskaźnik istnienia trasy źródłowej WITZ(NC,K). W przypadku istnienia odpowiedniego FTZIW(K,NC), realizowany jest, jeżeli to konieczne, proces gładzenia parametrów i aktualizacji formularza. W sytuacji, gdy nie istnieje odpowiedni FTZIW(K,NC),obliczany jest numer bezwzględny nowo tworzonego formularza źródłowego w tablicy formularzy.
Po wyznaczeniu właściwego numeru w tablicy, formularz jest

wypełniany treścią zawartą w przysłanej depeszy (4). Postać i rozmieszczenie informacji w formularzu FTZIW zostało przedstawione w opisie formularza źródłowego.

Schemat algorytmu tworzenia formularzy źródłowych.



5.2.4.3. Algorytm inicjowania trasy uogólnionej.

W automatycznej wersji pracy systemu, trasa uogólniona jest inicjowana wówczas, gdy dwa z trzech kolejnych meldunków o tym samym celu, przekazane z ZIW, nie mogą być skojarzone z żadną z istniejących już tras uogólnionych. Przed przystąpieniem do kojarzenia i ewentualnego inicjowania nowej trasy uogólnionej, parametry trasy z ZIW poddane muszą zostać weryfikacji wg kryteriów selekcji. Uchroni to przed niepotrzebnym inicjowaniem TU która np znajduje się : w dalszej odległości niż DS, lub powyżej wysokości HS (dane z tablicy TDZ). Dodatkową zaletą takiego rozwiązania jest uniknięcie niepotrzebnego przetwarzania danych.

Inicjacja trasy uogólnionej polega na wypełnieniu nowego formularza trasy uogólnionej wg ustalonego wzoru, oraz na

wpisaniu w formularzach tras źródłowych przyporządkowanych (dowiązanych), numeru tej trasy uogólnionej.
Po odebraniu po raz pierwszy depeszy 4, tworzony jest formularz trasy źródłowej (FTZIW) dla danego numeru celu. Następnie sprawdzany jest wskaźnik wiarygodności źródła WW(K), zapisany w tabeli danych zmiennych TDZ. Jeżeli WW(K)=0, wówczas nie jest realizowany dalszy proces przetwarzania informacji. Jeżeli WW(K)≠0 wówczas sprawdzany jest wskaźnik blokady trasy z ZIW (WBT(NC,K)). WBT(NC,K) to wskaźnik którego wartość decyduje czy dana trasa źródłowa będzie podlegała dalszemu procesowi przetwarzania (kojarzenia, dowiązania do TU). Znajdzie on zastosowanie szczególnie w sytuacji zadziałania algorytmu selekcji lub półautomatycznego skasowania trasy uogólnionej. Aby uniemożliwić ponowną, automatyczną inicjację TU, trasy źródłowe poprzednio do niej dowiązane, są na pewien czas (CBT) blokowane. W tym czasie operator może np poinformować ZIW nr k o przerwaniu śledzenia obiektu o nr NC. Gdy tego nie zrobi, po upływie czasu CBT, zostanie odblokowana trasa źródłowa i zainicjowana ponownie trasa uogólniona. W sytuacji gdy WBT(NC,K)=0 realizowana jest próba skojarzenia tej trasy z istniejącymi trasami uogólnionymi . Jeżeli próba ta wypadnie pozytywnie, wówczas w FTZIW wpisywany jest odpowiedni numer trasy uogólnionej NU, a jeśli nie, to zapalony zostaje wskaźnik inicjacji WI(NC,K)=1. Po odebraniu po raz kolejny depeszy 4, dotyczącej tego samego celu, w FTZIW określane są aktualne, wygładzone współrzędne położenia X,Y oraz wartości VX, VY, H. Kolejnym krokiem jest próba skojarzenia tej trasy z ZIW, z trasą uogólnioną o numerze NU(NC,K) (jeżeli był już wpisany w FTZIW), lub pozostałymi. Jeżeli NU był wpisany w FTZIW i trasy można skojarzyć (mieszczą się w bramce), to realizowany jest proces uogólniania. Jeżeli w FTZIW był wpisany numer NU(NC,K), a tras nie można skojarzyć, wówczas w FTZIW ustawiany jest wskaźnik rozkojarzenia WR(NC,K)=1.
Jeżeli w FTZIW nie było NU(NC,K), (tzn WI(NC,K)=1) i nie można tras skojarzyć, to inicjowana jest nowa trasa uogólniona. W tym celu wyznaczany jest numer NU wg reguły "pierwszy wolny z przedziału [1,K]", lub przy pomocy algorytmu selekcji.
Następnie obliczany jest adres FTU(NU), w tablicy formularzy. Etapem końcowym inicjowania trasy uogólnionej jest wypełnienie

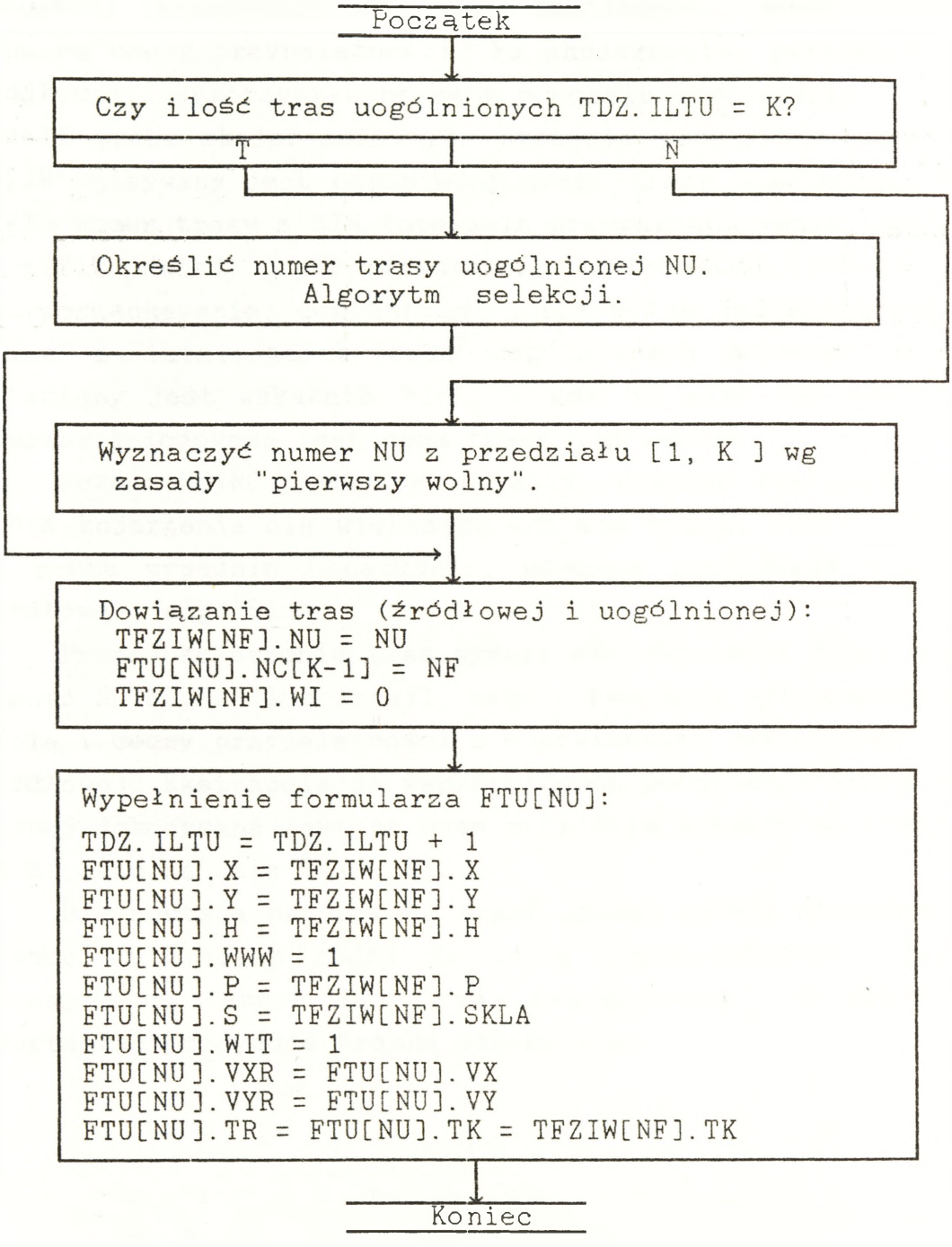
formularza FTU(NU) treścią zgodnie z przyjętym standardem, oraz zgaszenie wskaźnika WI(NC,K) w formularzu FTZIW.

Jeżeli w FTZIW nie był wpisany NU i trasę źródłową można skojarzyć z jedną z tras uogólnionych, wówczas do FTZIW wpisywany jest numer NU(NC,K). Wskaźnik inicjacji WI(NC,K) zachowuje wartość 1.

Odebranie trzeciej depeszy o danym celu i próba skojarzenia rozstrzyga ostatecznie o zainicjowaniu nowej trasy uogólnionej (w przypadku, gdy nie została zainicjowana po drugim meldunku). Jeżeli skojarzenia można dokonać, to realizowane jest uogólnianie, a wskaźniki WI,WR w FTZIW są zerowane.

Inicjowanie nowej trasy uogólnionej jest realizowane również w przypadku rozkojarzenia istniejącej już trasy. Algorytm rozkojarzenia jest uruchamiany po 2-krotnym nieskojarzeniu trasy uogólnionej z przyporządkowaną do niej trasą z ZIW. Trasa źródłowa jest dowiązywana do najbliższej trasy uogólnionej z którą daje się kojarzyć, a jeżeli nie zostanie skojarzona, wówczas uruchomiony zostaje proces inicjowania nowej TU.

Schemat algorytmu inicjowania trasy uogólnionej.



5.2.4.4. Algorytm kojarzenia tras.

Kojarzenie tras, np trasy źródłowej z trasą uogólnioną polega na sprawdzeniu czy położenie wzajemne tych tras nie różni się więcej niż o wymiar bramki selekcyjnej, oraz czy cechy przynależności nie są przeciwne. W procesie kojarzenia używany jest stały wymiar bramki, który może być przez

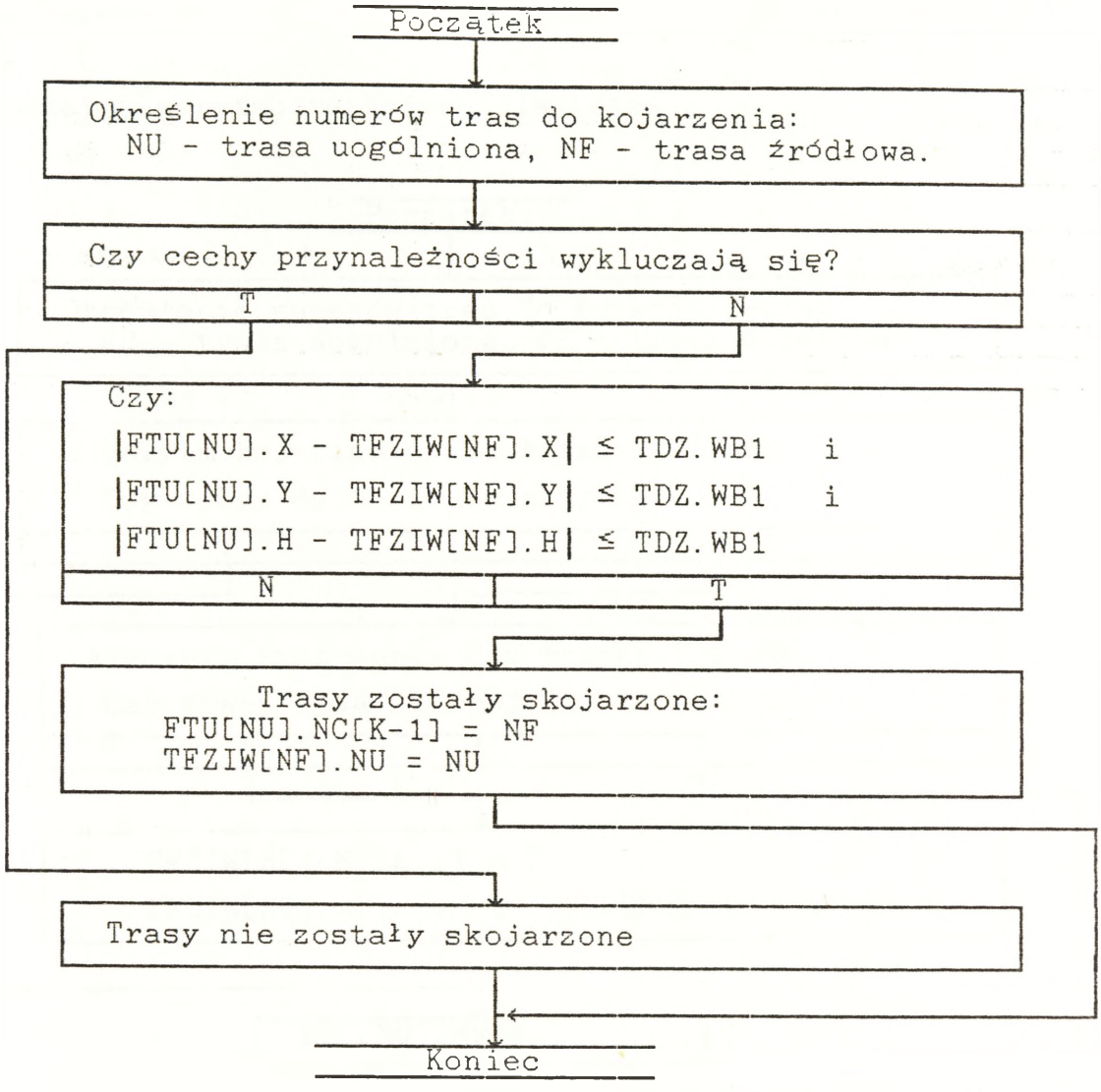
operatora zmieniany dyrektywą. Jeżeli opracowywana trasa źródłowa mieści się w bramce selekcyjnej, wystawionej wokół położenia ekstrapolowanego trasy uogólnionej, wówczas porównywane są cechy przynależności. Po skojarzeniu, parametry trasy źródłowej, wykorzystywane są w procesie uogólniania.
Jeżeli próba skojarzenia tras wypadnie pozytywnie, wówczas w FTZIW wpisywany jest odpowiedni numer trasy uogólnionej NU, a w FTU numer trasy z ZIW (operacja przyporządkowania tras). Gdy w FTZIW danej trasy źródłowej numer NU(NC,K)=0 (nie ma przyporządkowania, dowiązania) i nie można jej skojarzyć z żadną z istniejących tras uogólnionych wówczas w FTZIW ustawiany jest wskaźnik WI=1, a gdy WI miał już wartość 1, wówczas inicjowana jest nowa trasa uogólniona.

Jeżeli NU(NC,K)≠0 i WR(NC,K)=1, wówczas realizowana jest próba kojarzenia dla większego wymiaru bramki (WB2). Jeżeli i ta próba wypadnie negatywnie, wówczas rozkojarza się trasy źródłową i uogólniną.

Proces kojarzenia tras wymaga ekstrapolacji trasy uogólnionej NU(NC,K) (lub innej), oraz porównania wyliczonego położenia i cechy przynależności z odpowiednimi wartościami trasy źródłowej. Ekstrapolacja współrzędnych połorzenia trasy uogólnionej dokonywana jest na czas przyjścia korekty do trasy NC(K), tzn na czas TK(NC,K).

Nie zostaną skojarzone trasy ,nawet jeżeli mieszczą się w bramce, z których jedna ma cechę przynależności "obcy", a druga cechę "swój" lub "swój gwarantowany". W pozostałych przypadkach decyduje bramka selekcyjna.

Schemat algorytmu kojarzenia tras.



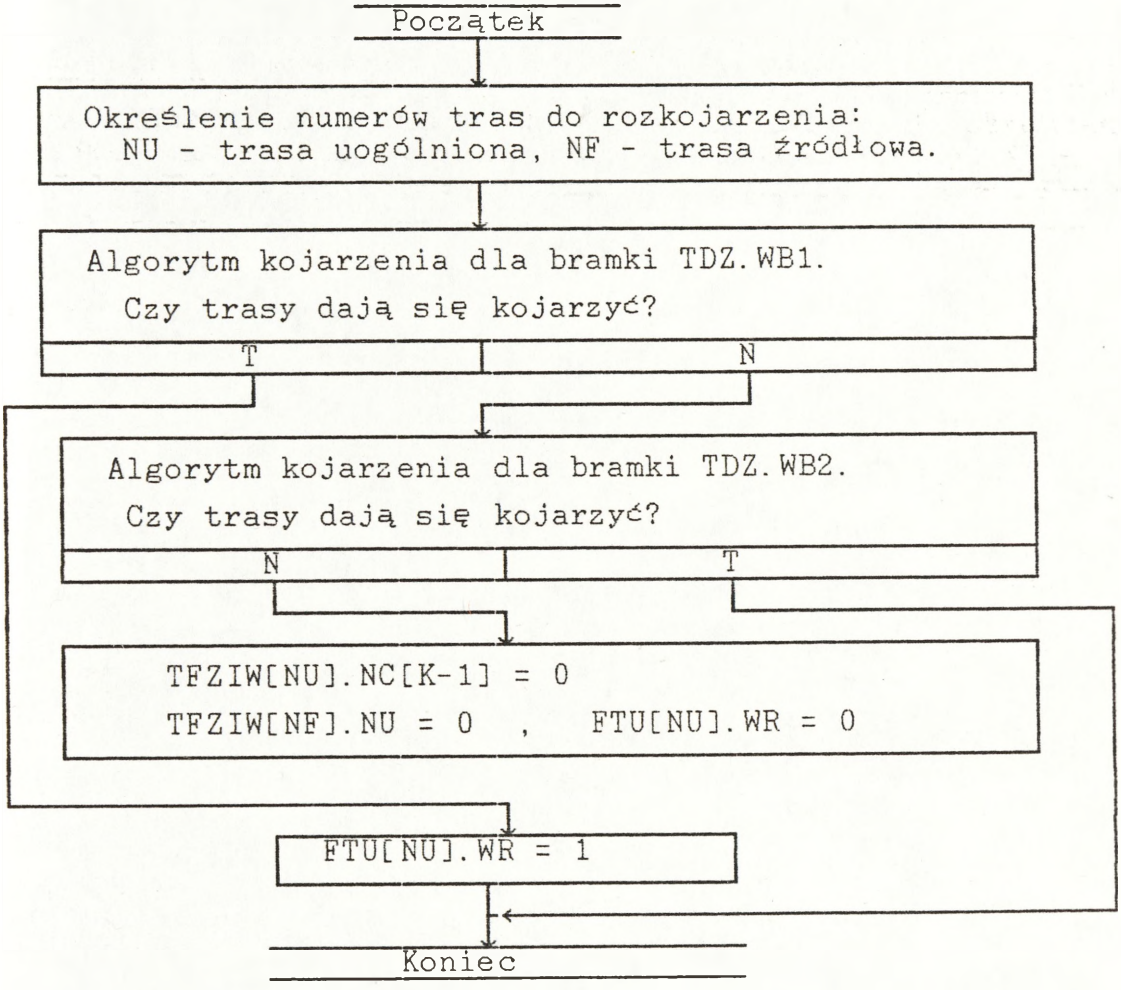
5.2.4.5. Algorytm rozkojarzenia tras.

Program rozkojarzenia trasy źródłowej z trasą uogólnioną jest uruchamiany w przypadku gdy kolejno dwukrotnie trasy te nie zostały skojarzone. Sytuacja taka może zaistnieć np wtedy, gdy śledzony cel grupowy traktowany dotychczas jako jedna trasa, zaczął się rozdzielać.

Rozkojarzenie tras polega na wymazaniu numerów NC(K,NU) z formularza trasy uogólnionej FTU(NU), oraz NU(NC,K) z formularza FTZIW(K,NC). Po zerwaniu wzajemnego dowiązania tras, realizowana jest próba skojarzenia (przyporządkowania) trasy źródłowej z jedną z istniejących tras uogólnionych. Jeżeli trasy źródłowej nie można skojarzyć (dowiązać), wówczas

zapalany jest wskaźnik inicjacji (WI(NC,K)=1) i realizowany dalszy proces przetwarzania wg algorytmu inicjowania tras uogólnionych.

Schemat algorytmu rozkojarzenia tras.



5.2.4.6 Algorytm ekstrapolacji tras.

Ekstrapolacja jest to określenie parametrów położenia obiektu powietrznego na dany moment czasowy, na podstawie znanych, wcześniejszych parametrów jego trajektorii lotu, oraz znaną długość odcinka czasowego, nazywanego czasem ekstrapolacji.

Procedura ekstrapolacji będzie uruchamiana po każdorazowym odbiorze depeszy z korektą (algorytm kojarzenia), oraz po kolejnym cyklu obliczeniowym (algorytm uogólniania).

Skorygowana w momencie TK trasa źródłowa, będzie kojarzona z ekstrapolowaną na ten moment czasu, trasą uogólnioną. Do

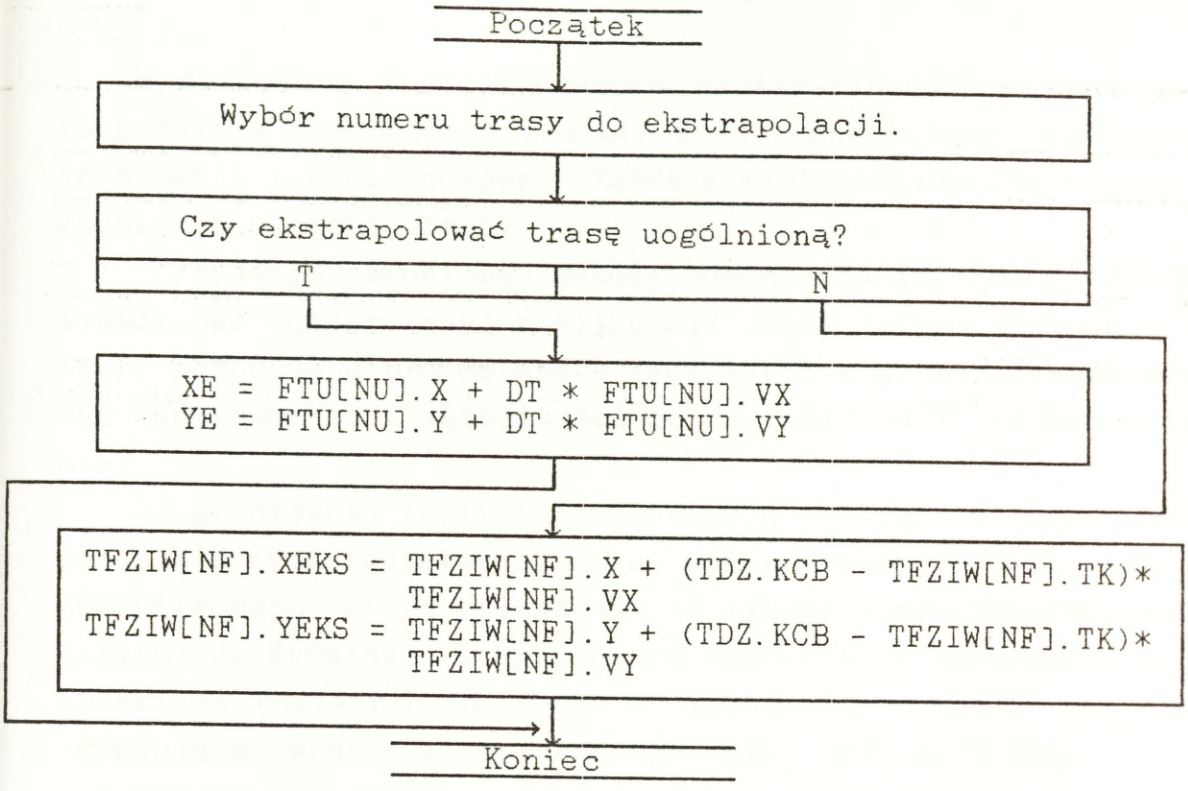
ekstrapolacji wykorzystywane są współrzędne położenia X(NU), Y(NU) i składowe prędkości VX(NU), VY(NU). Ekstrapolowane wartości współrzędnych położenia X(NU), Y(NU) trasy uogólnionej, obliczane są wg reguły:

$$XEKS(NU) = X(NU) + DT * VX(NU)$$
$$YEKS(NU) = Y(NU) + DT * VY(NU)$$

gdzie DT jest długością przedziału czasu ekstrapolacji.

W kolejnym l-tym cyklu obliczeniowym wyznaczane są uogólnione parametry wszystkich istniejących tras uogólnionych. W tym celu uruchamiany jest program ekstrapolacji "podciągający", skojarzone z trasą uogólnioną, trasy źródłowe. Parametry tras z ZIW ekstrapolowane na koniec kolejnego cyklu, wykorzystywane są w procesie uogólniania z odpowiednią wagą, zależną od długości odcinka ekstrapolacji.
Ekstrapolacja tras źródłowych jest realizowana wg reguły przedstawionej powyżej.
Program ekstrapolacji jest uruchamiany również w przypadku zaniku korekty tras źródłowych. W takiej sytuacji parametry trasy uogólnionej w kolejnych cyklach obliczeniowych są ekstrapolowanymi parametrami tej trasy z poprzedniego cyklu obliczeniowego.

Schemat algorytmu ekstrapolacji parametrów tras.



5.3. Uogólnianie danych o obiektach powietrznych.

W aktualnie funkcjonujących zautomatyzowanych systemach rozpoznania zastosowane zostały różnorodne metody uogólniania informacji radiolokacyjnej. Każda z nich posiada charakterystyczne dla siebie cechy.

Przyjęcie określonej metody uogóniania informacji radiolokacyjnej dostarczonej z kilku ZIW, jest jednym problemów, który powoduje u projektantów zautomatyzowanych systemów szereg kontrowersji i wątpliwości co do zasadności jej stosowania.

Po gruntownej analizie stosowanych dotychczas metod uogólniania danych radiolokacyjnych, autor proponuje zastosować zmodyfikowaną metodę polegającą na sekwencyjnym przetwarzaniu informacji źródłowej i cyklicznym uogólnianiu informacji o obiektach powietrznych. Jest to metoda iteracyjna, tzn wykorzystująca wyniki z poprzedniego cyklu obliczeniowego.
W metodzie tej trasa uogólniona zostanie zainicjowana po dwukrotnym odebraniu depeszy dotyczącej tego samego celu (algorytm inicjacji). Przyjmując, że za pierwszym razem otrzymano z depeszy wartości współrzędnych położenia obiektu X_o, Y_o, za drugim X_1, Y_1 wówczas:

$$X_1^* = X_1$$

$$Y_1^* = Y_1$$

$$V_{X1}^* = \frac{X_1 - X_o}{\Delta t}$$

$$V_{Y1}^* = \frac{Y_1 - Y_o}{\Delta t}$$

gdzie: $X_1^*, Y_1^*, V_{X1}^*, V_{Y1}^*$ oznaczają odpowiednio estymator położenia i prędkości,

Δt - odcinek czasu między kolejnymi korektami

$\Delta t = t_1 - t_o$

Długość cyklu obliczeniowego będzie zależała od istniejących możliwości obliczeniowych systemu. Autor przyjmuje że nie powinna ona przekraczać 4 sek. Skrócenie cyklu obliczeniowego, tzn zwiększenie częstotliwości obliczania parametrów tras uogólnionych, powoduje większą płynność i nadążność trasy uogólnionej za rzeczywistym położeniem odwzorowywanego obiektu powietrznego. Krótszy cykl uogólniania jest uzasadniony przede wszystkim wymogami programów zobrazowania.
Wartość kątową kursu Q obliczać należy w oparciu o zmiany współrzędnych położenia ΔX, ΔY. Obliczanie kursu jest realizowane wg następującej reguły:

$$Q' = \operatorname{arctg} \frac{\Delta X}{\Delta Y}$$

$Q = Q'$ dla $(+\Delta X, +\Delta Y)$
$Q = 180 - Q'$ -"- $(+\Delta X, -\Delta Y)$
$Q = 180 + Q'$ -"- $(-\Delta X, -\Delta Y)$
$Q = 360 - Q'$ -"- $(-\Delta X, +\Delta Y)$

Wyznaczane na koniec cylku obliczeniowego parametry tras uogólnionych są wykorzystywane przez moduły podziału celów, zobrazowania, transmisji itp.
Proponowana metoda uogólniania zakłada że depesze z ZIW mogą być przysłane w dowolnym momencie czasowym, zatem na ten moment wyliczane są ekstrapolowane parametry trasy uogólnionej. Po skojarzeniu, parametry trasy z ZIW są ekstrapolowane na koniec cyklu obliczeniowego. Uogólnione parametry tras uogólnionych wyznaczane są metodą uśredniania ważonego. Do uśredniania brane są parametry tras z ZIW dowiązanych do opracowywanej trasy uogólnionej. Jeżeli w ostatnich 10 sekundach nie było korekty do żadnej, dowiązanej do NU, trasy źródłowej, wówczas realizowana jest ekstrapolacja parametrów trasy uogólnionej za cały cykl obliczeniowy.
W przypadku gdy trasa z ZIW, dowiązana do trasy uogólnionej uzyskała korektę, wówczas obliczane są jej aktualne parametry wg reguły przedstawionej w algorytmie gładzenia, a po skojarzeniu jej parametry są ekstrapolowane na koniec cyklu obliczeniowego i brane do uogólniania z odpowiednią wagą. We wstępnych zało-

żeniach przyjęto, że z ZIW korekty do tras dostarczane będą w odstępach 10 sek (reżim pracy NUR-21). Do obliczania współczynników wagowych informacji źródłowej przyjęto następującą regułę:

$$W(k) = \frac{\Delta t(NC,k)}{\sum_{k=1}^{K} \Delta t(NC,k)}$$

gdzie: K - ilość ZIW dostarczających korekty (maksymalna ilość tras z ZIW dowiązanych do trasy uogólnionej),

$$\Delta t(NC,k) = 10 - (TC - TK(NC,k)),$$

TC - czas końca cyklu obliczeniowego,

TK(NC,k) - czas korekty trasy NC z k-tego ZIW.

Jeżeli $\Delta t \leq 0$ wówczas należy przyjąć że wartość współczynnika $W(k) = 0$. Oznacza to, że korekta do danej trasy z ZIW nie była przysłana w ciągu ostatnich 10 sekund, lecz wcześniej i dlatego wartość $\Delta t(k)$ nie jest brana do obliczeń pozostałych $W(k)$. Współczynniki wagowe $W(k)$ obliczane są na koniec aktualnego cyklu obliczeniowego dla wszystkich tras dowiązanych, niezależnie od przysłania do nich korekt w tym cyklu.
Jeżeli dowolna z tras źródłowych, dowiązana do trasy uogólnionej nie otrzymała w danym cyklu obliczeniowym korekty, ale jej $\Delta t(NC,k) > 0$, wówczas do uśredniania brana jest jej wartość ekstrapolowana na koniec tego cyklu z odpowiednią wagą (tnz. z wagą $W(k)$).

Uogólnione parametry trasy uogólnionej obliczane są metodą uśredniania z uwzględnieniem współczynników wagowych informacji z ZIW, oraz tzw współczynników wiarygodności ZIW, oznaczonych przez $WW(k)$.

Przyjęto następującą interpretację współczynników $WW(k)$:

$WW(k) = 0$ - informacja z tego ZIW nie jest brana pod uwagę w procesie inicjacji i uogólniania, obróbka kończy się na etapie algorytmu gładzenia,

1 - informacja brana pod uwagę w procesie inicja-

cji trasy uogólnionej i w procesie uogólniania. Wartości WW(K) dla poszczególnych ZIW mogą być nadawane dyrektywą operatorską. Algorytm uśredniania działa wg następującej reguły:

$$X(NU) = \sum_{k=1}^{K} W(k) * XEKS(NC(k,NU)) * WW(k)$$

$$Y(NU) = \sum_{k=1}^{K} W(k) * YEKS(NC(k,NU)) * WW(k)$$

$$VX(NU) = \sum_{k=1}^{K} W(k) * VX(NC(k,NU)) * WW(k)$$

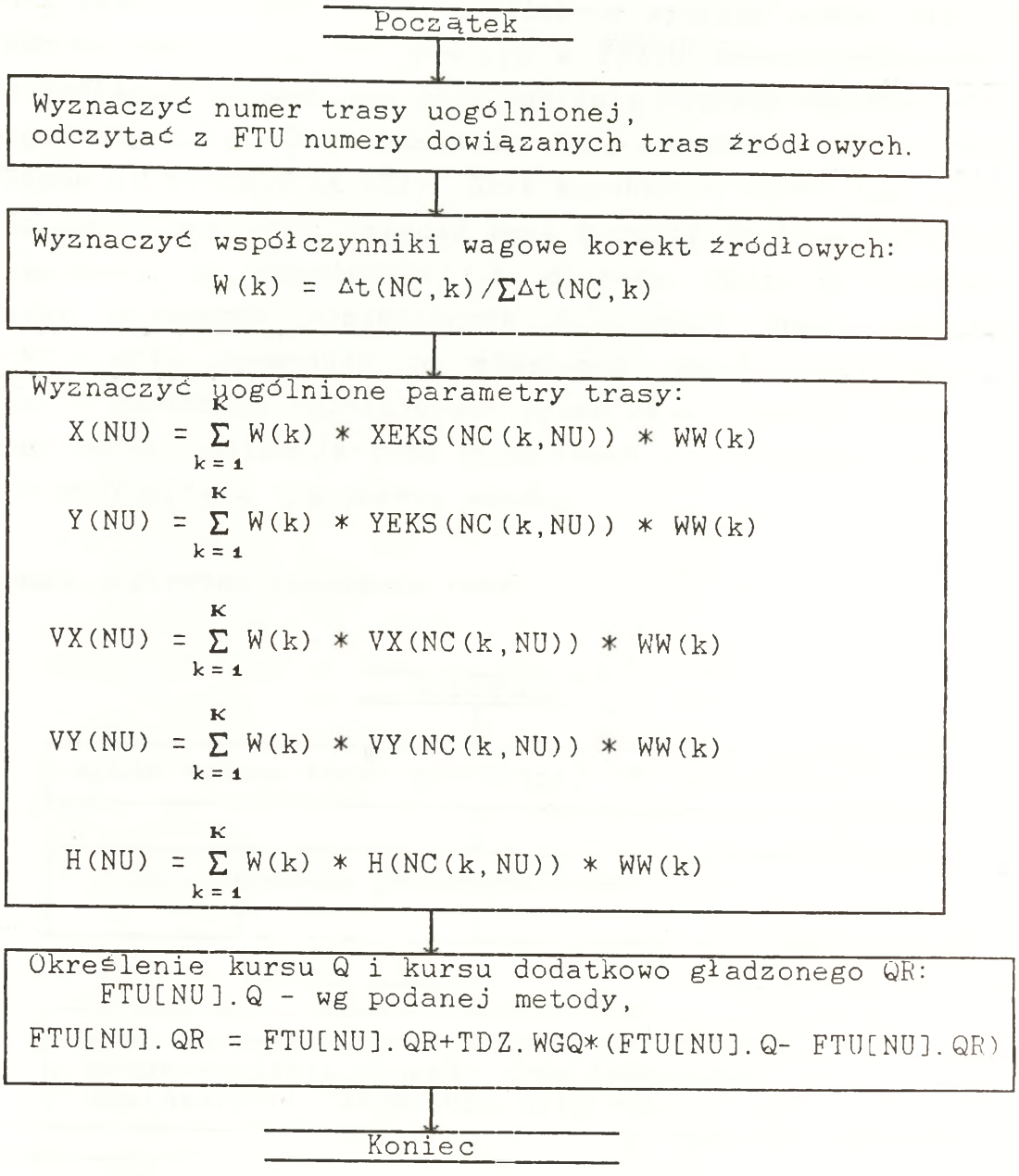
$$VY(NU) = \sum_{k=1}^{K} W(k) * VY(NC(k,NU)) * WW(k)$$

$$H(NU) = \sum_{k=1}^{K} W(k) * H(NC(k,NU)) * WW(k)$$

Uogólnianie cechy przynależności realizowane jest metodą uśredniania tylko w przypadku gdy szczebel nadrzędny jej nie określa. Jeśli w depeszy z nadrzędnego szczebla dowodzenia jest określona cecha przynależności, wówczas jest ona przepisywana do formularza trasy uogólnionej. Przyjmuje się kody cech przynależności obowiązujące w systemie przesyłania depesz.
Wg tej samej zasady określana jest cecha "skład".

Po procesie uśredniania realizowana jest próba wzajemnego kojarzenia tras uogólnionych. Po kolejnym 3-krotnym skojarzeniu (tzn gdy SK(NU)=3) dwóch tras uogólnionych, w FTU o numerze większym zapalany jest bit WZ(NU) oznaczający zakaz wyświetlania danej trasy na ekranie WPS. Formularze FTU obydwu tras są aktualizowane w kolejnych cyklach obliczeniowych, a w przypadku kolejno 3-krotnego nie skojarzenia, tzn wówczas gdy SK(NU)=0, gaszony jest bit WZ(NU) i trasa uogóniona jest ponownie wyświetlana.

Schemat algorytmu uogólniania parametrów tras.

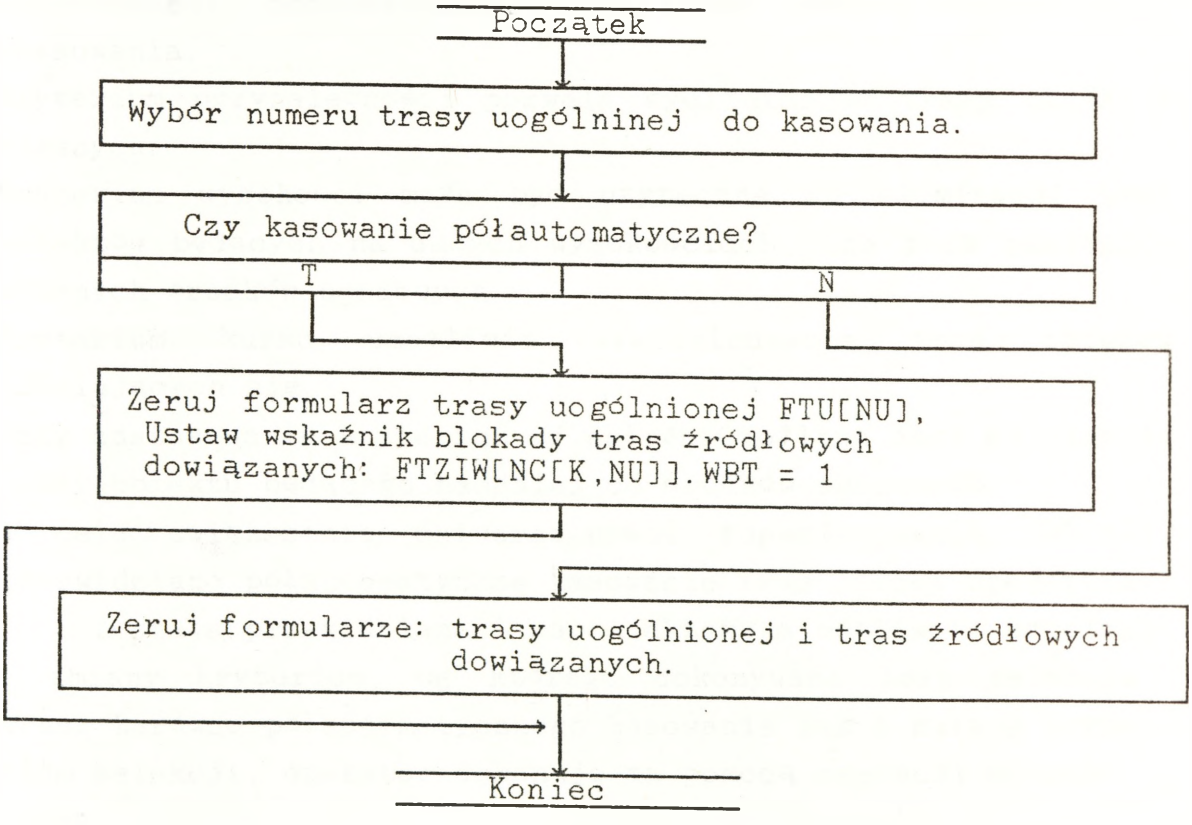


5.3.1. Algorytm kasowania tras uogólnionych.

Automatyczne kasowanie trasy uogólnionej będzie realizowane w przypadku braku przez określony czas (DCE), korekty do tej trasy. W każdym cyklu uogólniania sprawdzane jest czy czas ekstrapolacji danej trasy uogólniania nie jest dłuższy od DCE. Jeżeli tak, to wskaźnik WKT(NU) przyjmuje wartość 3, a trasa podlega kasowaniu. Proces kasowania tras polega na wyzerowaniu jej formularza uogólnionego FTU(NU), ustawieniu wskaźnika WIT(NU)=0, oraz wyzerowaniu formularzy tras źródło-

wych FTZIW(NC(K,NU)), dowiązanych do kasowanej trasy uogólnionej, tzn ustaweieniu wskaźnika WITZ(NC,K)=0.
Jeżeli kasowana jest trasa uogólniona wybrana przez algorytm selekcji (WKT(NU) = 1), wówczas w FTZIW tras źródłowych do niej dowiązanych zapalany jest wskaźnik blokady WBT(NC(K,NU)), a trasa uogólniona jest kasowana. Przy automatycznym kasowaniu zerowane są FTZIW(NC(K,NU)). Brak korekty do trasy uogólnionej przez określony czas, oznacza brak korekty do tras źródłowych dowiązanych do uogólnionej i dlatego operacja kasowania oznacza zerowanie wymienionych formularzy tras. Zapalenie WBT(NC(K,NU)) spowoduje że skasowana trasa uogólniona nie zostanie powtórnie zainicjowana przez czas blokady (CBT), ale dopuszcza aktualizację tras źródłowych dowiązanych (jeżeli ZIW dostarczyły w tym czasie korekt).

Schemat algorytmu kasowania tras.



5.3.2. Algorytm selekcji tras uogólnionych.

Program eliminacji tras działa w przypadku inicjowania nowej trasy uogólnionej przy równoczesnym istnieniu DLT tras. Dałanie tego programu polega na wyznaczeniu numeru trasy uogólnionej przeznaczonej do likwidacji. Wybór właściwego numeru jest dokonywany wg określonych priorytetów (kryteriów).

Proponuje się przyjąć następujące kryteria eliminacji tras uogólnionych:

1 - kryterium przynależności (KTS=1),
2 - -"- wysokości (KTS=2),
3 - -"- kursu (KTS=3),
4 - -"- odległości (KTS=4),
5 - wskazanie przez operatora (KTS=5).

Mechanizm selekcji, wg dowolnego kryterium, spowoduje zapalenie wskaźnika WKT(NU) (wskaźnika kasowania trasy uogólnionej), oznaczającego że ta trasa została wybrana do skasowania.

Kryterium przynależności pozwala wyeliminować trasy obiektów własnych.

Kryterium wysokości może być użyteczne do eliminacji tras obiektów będących na dużych wysokościach, tzn poza zasięgiem własnych środków ogniowych.

Kryterium kursu umożliwia wyeliminowanie tras obieków oddalających się.

Przy zastosowaniu kryterium odległości możliwa jest eliminacja trasy obiektu będącego najdalej od środków ogniowych.

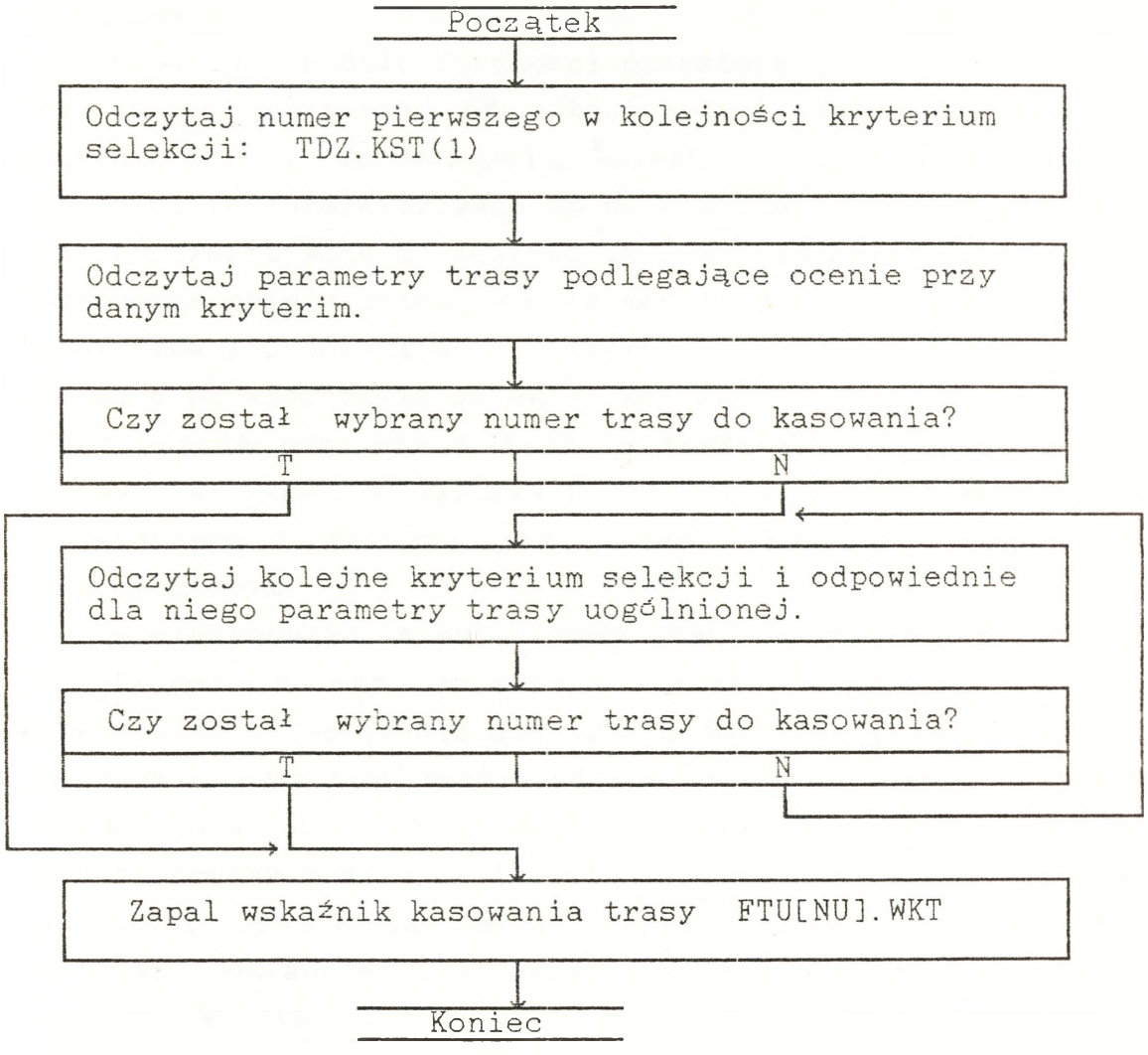
W celu zwiększenia uniwersalności funkcjonowania ZWD-10R, przewidziano półautomatyczne kasowanie tras (przez operatora).

Została przewidziana i zaprojektowana możliwość ustalania i zmiany kryterium, wg którego dokonywana jest selekcja tras. Zarówno półautomatycznego kasowania jak i zmiany kryterium selekcji, operator dokonuje za pomocą operacji manualnych.

Kolejność obowiązujących kryteriów selekcji jest taka jak w przedstawionym opisie. Operator może zmienić tą kolejność podając dyrektywą odpowiedni "porządek". W dyrektywie ustalania kryteriów należy podać ciąg cyfr. Kolejne cyfry będą wpisywane w odpowiednie pola KST(i) tablicy TDZ. Algorytm

selekcji sprawdza porządek obowiązujących kryteriów i wg niego dokonuje selekcji tras.

Schemat algorytmu selekcji tras.



5.3.3. Koncepcja testowania modułu przetwarzania informacji radiolokacyjnej w zautomatyzowanym obiekcie systemu OP.

Testowanie modułu polega na sprawdzeniu realizacji wszystkich funkcji. W trakcie testowania należy sprawdzić półautomatyczne i automatyczne:

- inicjowanie tras uogólnionych,
- kasowanie tras uogólnionych,
- dopisywanie charakterystyk,

- selekcja tras.

Zasadniczym celem testowania jest sprawdzenie poprawności funkcjonowania oprogramowania algorytmu uogólniania informacji o obiektach powietrznych.

Przy okazji testu modułu przetwarzania informacji radiolokacyjnej, przeprowadzony zostaje test modułu zobrazowania i modułu czynności operatorskich.

Test należy rozpocząć od półautomatycznego inicjowania tras uogólnionych i wprowadzania korekt z pulpitu operatora. Czynności te zarejestrowane np na kasecie, mogą być wielokrotnie wykorzystywane do testowania i poprawiania programów.

Testowanie należy przeprowadzić metodą dołączania kolejnych algorytmów rozpoczynając od algorytmu inicjacji trasy uogólnionej a na algorytmie selekcji kończąc.

Drugą zasadą przyjętą w trakcie testowania jest rozpoczęcie testowania modułu w warunkach istnienia pojedynczego obiektu powietrznego, poruszającego się ruchem jednostajnym, prostoliniowym.

Po przetestowaniu modułu przy takich danych o sytuacji powietrznej należy zwiększyć liczbę tras, a następnie przeprowadzić testowanie dla tras o dowolnej trajektorii.

Kolejnym etapem jest testowanie modułu w warunkach łączenia i rozchodzenia się tras uogólnionych. W takich warunkach przzetestowany zostanie algorytm kojarzenia i rozkojarzenia

W trakcie testowania, mając zadane parametry tras, należy sprawdzić dokładność i wierność odwzorowania przebiegu trasy i jej charakterystyk. Ten etap testowania realizować należy porównując paramety trasy (lub tras) z ZIW z parametrami dowiązanej (utworzonej) trasy uogólnionej.

Po pozytywnym zrealizowaniu powyższych wytycznych, należy przeprowadzić testowanie modułu przy pełnym obciążeniu.

Dla potrzeb testowania należy skonstrułować symulator tras ze źródeł informacji. Symulator powinien zapewnić dopływ informacji o strukturze depesz systemowych.

W oparciu o informacje dostarczone z symulatora wypełniane będą formularze tras z ZIW a następnie realizowane dalsze przetwarzanie danych.

Podczas testowania, ocenie i analizie podlegała będzie zawartość formularzy tras z ZIW i tras uogólnionych.

Szczególną uwagę należy zwrócić na parametry tras, tzn: współrzędne położenia, prędkość, wysokość, przynależność, kurs.

Wyświetlenie lub wydrukowanie zawartości formularzy trasy z ZIW i dowiązanej tray uogólnionej, należy zorganizować w sposób pozwalający łatwo porównać odpowiednie formularze.

Optymalnym rozwiązaniem wydaje się być drukowanie zestawienia porównawczego w formie tabeli, zawierającego odpowiednie parametry tras z ZIW (z symulatora) i tras uogólnionych dostarczonych przez testowany moduł obróbki informacji radiolokacyjnej. Wydruk lub wyświetlenie zestawienia parametrów tras powinno być uruchamiane z klawiatury specjalizowanej WPS-11.

Symulator tras byłby wykorzystywany przy testowaniu automatycznego funkcjonowania modułu obróbki informacji.

Symulator tras powinien dostarczać informacje o trasach prostolinio- wych, oraz trasach o zmiennym profilu.

Sumulator, w zależności od etapu testowania, powinien dostarczyć odpowiednią ilość (porcję) informacji o trasach.

W początkowym etapie testowania będą generowane informacje o pojedyn- czej trasie proostoliniowej a w miarę postępów w testowaniu symulowana informacja o trasach z ZIW będzie stopniowo komplikowana.

Symulator tras oraz zestawienie wyników porównania tras z ZIW i tras uogólnionych, pozwoli w miarę wszchstronnie przetestować moduł przetwarzania informacji radiolokacyjnej oraz ocenić jakość jego funkcjonowania.

5.4. Program diagnostyki pracy załóg bojowych ZSRiD.

W podrozdziale tym została przedstawiona programowa realizacja idei diagnostyki działania załóg (zmian dyżurnych, zmian dowodzenia) na stanowiskach bojowych w kabinach operacyjnych Zautomatyzowanych Systemów Rozpoznania i Dowodzenia Obrony Powietrznej. Szczegółowy opis metody na podstawie której został opracowany powyższy program opisano w rozdziale 4.3.

5.4.1. Tryb pracy programu diagnostyki.

Program diagnostyki pracy załogi zautomatyzowanych systemów dowodzenia obrony powietrznej umożliwia ocenę pracy załogi w dwóch podstawowych trybach :

1 - kontrola i ocena działania załogi w czasie pracy bojowej,
2 - ocena pracy załogi w czasie przeprowadzanych szkoleń, testów i treningów.

W pierwszym trybie działania programu dowódca może kontrolować na bieżąco jakość oraz szybkość pracy bojowej operatorów (podwładnych). Na każde żądanie dowódca może uzyskać informacje o jakości pracy całej załogi, wybranego operatora lub informację o tym, która operacja sprawia najwięcej kłopotów załodze lub określonemu operatorowi.

Powyższe informacje mogą być wyświetlane cyklicznie w określonych przez dowódcę odstępach czasu. Jeżeli dowódca określi za pomocą dyrektywy << sposób powołania >> wielkość odstępu czasowego, to tabela oceny załogi będzie wyświetlana cyklicznie. Dopóki nie zostanie określony ten parametr to tabela oceny będzie wyświetlana tylko na żądanie. Niezależnie od tego czy ocena pracy załogi ma być wyświetlana cyklicznie czy nie, program diagnostyki na bieżąco kontroluje pracę załogi.

W przypadku gdy chociaż jedna z charakterystyk jakości pracy jednego z operatorów osiągnie wartość poniżej określonego poziomu, to program automatycznie zasygnalizuje ten fakt za pomocą sygnału dźwiękowego oraz poprzez wyświetlenie odpowiedniej tabeli oceny operatora. Dowódca widząc, że operator nie wykonuje swojego zadania w stopniu zadawalającym powinien ustalić przyczynę pogorszenia jakości pracy oraz podjąć działania zmierzające do poprawienia jakości jego pracy tego operatora.

Może on na przykład zmienić czasowo danego operatora powierzając jego zadania rezerwowemu operatorowi, lub rozdzielić te zadania na innych członków załogi.

Z przeprowadzonych badań wynika że każdy człowiek ma inne możliwości do wykonywania w sposób ciągły pracy wymagającej stałej koncentracji. Możliwości te zmniejszają się wraz z upływem czasu wykonywania tej pracy.

Aby dowódca mógł wcześniej zapobiec spadkowi jakości i wydajności pracy, zanim spadnie ona poniżej minimalnego poziomu wynikającego ze zbyt długiego czasu pracy operatora, program diagnostyczny rejestruje czas pracy wszystkich operatorów. Ocena pracy oraz czas pracy są w pełni wystarczającymi danymi umożliwiającymi dowódcy czuwanie nad tym, aby wydajność oraz jakość pracy jego załogi stale utrzymywała się na wymaganym poziomie. W tym miejscu należy dodać, że świadomość ciągłej kontroli oddziaływuje w sposób mobilizujący na operatorów, co zdaniem praktyków ma niebagatelny wpływ na niezawodność działania całej załogi.

Drugi tryb działania programu jest trybem uzupełniającym. Służy on do kontrolowania wydajności i jakości pracy załogi w trakcie szkolenia i treningów, lub do oceny stopnia wyszkolenia załóg. Mając takie narzędzie jakim jest opracowany program diagnostyczny, można oceniać załogę nie tylko podczas egzaminów np. na wyższą klasę specjalizacji, ale można uatrakcyjniać proces szkolenia np. poprzez organizowanie zawodów na szczeblu kompanii, batalionu itp. Uatrakcyjnienie szkolenia, wprowadzenie zdrowej rywalizacji między żołnierzami, spowoduje w pośredni sposób wzrost ich zainteresowania w osiąganiu jak najwyższego stopnia wyszkolenia by uzyskiwać jak najlepsze wyniki. W tym trybie pracy programu diagnostyki, dane wyjściowe tzn. oceny stopnia wyszkolenia załogi oraz poszczególnych jej członków mogą być wyświetlone w dowolnej chwili. Żądanie wyświetlenia określonych ocen jest jedynym sposobem umożliwiającym ich uzyskanie dostępnym w tym trybie. Ten tryb pracy programu można i należy wykorzystywać do określenia stopnia trudności wykonania poszczególnych dyrektyw operatorskich. Ponieważ zarówno dyrektywy różnią się między sobą (np. liczbą parametrów, sposobem wykonania itp.) jak i operatorzy mają różne predyspozycje do pracy na tego rodzaju sprzęcie, jakim

są kabiny operacyjne zautomatyzowanych systemów dowodzenia dlatego też rolą piszącego instrukcję bojową będzie równomierne rozdzielenie "trudnych" operacji między stanowiska, a zadaniem dowódcy obsadzenie stanowisk w taki sposób, aby przyporządkowanie operatorów do stanowisk było najodpowiedniejsze ze względu na specyfikę wykonywanych zadań oraz ze względu na predyspozycje operatorów.

5.4.2. Dyrektywy operatorskie wykorzystywane przez program diagnostyczny.

Do sterowania pracą programu diagnostycznego przewidziano poniżej opisane dyrektywy. Dyrektywy te należy uwzględnić w zestawie dyrektyw zautomatyzowanego systemu dowodzenia.

<< START PRACY OPERATORA >>

Postać dyrektywy :

[kod dyrektywy] [nr stanowiska]

Wykonanie tej dyrektywy powoduje zapamiętanie w odpowiedniej tablicy aktualnego czasu. Czas ten będzie traktowany jako czas rozpoczęcia pracy przez operatora na danym stanowisku. Ponadto dyrektywa ta powoduje inicjację procesu rejestracji jakości wykonania dyrektyw przez określonego za pomocą [nr stanowiska] operatora. Jeżeli nie zostanie wykonana ta dyrektywa to program diagnostyki nie będzie obejmował swoim działaniem danego stanowiska.

<< TRYB PRACY PROGRAMU >>

Postać dyrektywy :

[kod dyrektywy] [tryb pracy]

[tryb pracy] :

0 - program diagnostyki wyłączony,

1 - praca bojowa,

2 - praca treningowa.

Dyrektywa ta ustawia tryb pracy programu diagnostycznego. Ustawienie [tryb pracy]= 2 powoduje zawieszenie czasowego a także sygnalizacyjnego wywoływania informacji na ekran tzn.

że program nie sygnalizuje gdy upłynie zadany wcześniej przez dowódcę okres czasu lub gdy pułap błędów któregoś z operatorów osiągnie maksymalny dozwolony poziom. Jeżeli nie wykonano tej dyrektywy program przyjmuje domyślny tryb pracy równy 1 (praca bojowa).

<< ŻĄDANIE WYŚWIETLENIA >>

Postać dyrektywy :

[kod dyrektywy] [typ informacji] [nr operatora]

[typ informacji] :

0 - ocena pracy operatorów (łączne zestawienie wszystkich operatorów),

1 - ocena wykonania wszystkich dyrektyw przez całą załogę,

2 - ocena wykonania dyrektyw przez operatora, który jest określony przez [nr operatora].

Dyrektywa ta powoduje powołanie programu diagnostycznego w celu wyznaczenia charakterystyk określających pracę określonego operatora lub całej załogi oraz wyświetlenie na ekranie żądanej informacji, która jest wyświetlana w postaci tabel opisanych w dalszej części opracowania.

<< SPOSÓB POWOŁANIA >>

Postać dyrektywy :

[kod dyrektywy] [sposób powołania] [czas]

[sposób powołania] :

0 - powołanie wyświetlania na żądanie,

1 - powołanie wyświetlania po obniżeniu się jakości pracy operatora poniżej dopuszczalnego poziomu,

2 - powołanie wyświetlania okresowo w odstępach czasowych, które są określone przez [czas]. Czas ten podawany jest w minutach.

3 - wszystkie wyżej opisane sposoby powoływania wyświetlania jednocześnie.

Dyrektywa ta w przypadku gdy program diagnostyczny pracuje w trybie pracy bojowej umożliwia ustawienie sposobu powołania wyświetlania informacji. W trybie pracy treningowej podczas, którego informacja może być wyświetlana tylko na żądanie ope-

ratora (dowódcy) dyrektywa ta jest ignorowana. Gdy nie zostanie określony sposób powołania wyświetlania program przyjmuje domyślnie [sposób powołania]= 0.

<< DANE WEJŚCIOWE >>
Postać dyrektywy :
[kod dyrektywy] [nazwa zbioru]

Dyrektywa ta umożliwia zakładanie, aktualizowanie lub skasowanie zbioru z danymi o nazwie określonej przez [nazwa zbioru]. Zbiór ten zawiera dane wejściowe dla generatora tras. Dane te są wprowadzane lub aktualizowane według kolejno pojawiających się na ekranie komunikatów z żądaniem wprowadzenia odpowiednich wartości.

<< START SYMULACJI >>
Postać dyrektywy :
[kod dyrektywy] [nazwa zbioru] .. [nazwa zbioru]

Dyrektywa ta rozpoczyna proces symulacji sytuacji powietrznej. W trybie pracy bojowej lub gdy program diagnostyki jest wyłączony dyrektywa ta jest ignorowana. Przy wprowadzaniu tej dyrektywy należy podać kolejno tyle nazw zbiorów ile chcemy aby było zasymulowanych uderzeń środków napadu powietrznego w ramach nalotu. Każdy zbiór określony za pomocą [nazwa zbioru] zawiera opis jednego uderzenia (zbiory te są tworzone lub aktualizowane za pomocą dyrektywy << DANE WEJŚCIOWE >>). Po wprowadzeniu dyrektywy na ekranie pojawi się komunikat "Naciśnij dowolny klawisz. ". Naciśnięcie dowolnego klawisza spowoduje, że zostanie powołany moduł generatora tras a tym samym zostanie rozpoczęta symulacja nalotu. Od tej chwili na stanowiskach operacyjnych zaczną się pojawiać kolejno meldunki o symulowanych celach.

<< KONIEC SYMULACJI >>
Postać dyrektywy :
[kod dyrektywy]

Dyrektywa ta działa tylko wtedy gdy wcześniej został uru-

chomiony proces symulacji nalotu i powoduje ona zakończenie tego procesu.

5.4.3. Opis podstawowych elementów oraz modułów programu.

Głównym elementem programu diagnostyki pracy załogi jest bufor kontroli realizacji dyrektyw operatorskich. W buforze tym zliczane są ilości dyrektyw wykonanych poprawnie oraz ilości dyrektyw wykonanych błędnie. Obie powyższe liczby są zliczane dla każdego operatora a także dla każdej operacji. Aby można było dołączyć program diagnostyki pracy operatorów projektanci i wykonawcy zautomatyzowanych systemów dowodzenia muszą zadbać aby bufor ten został umieszczony w pamięci komputera zautomatyzowanego systemu dowodzenia.
Postać tego bufora może być następująca :

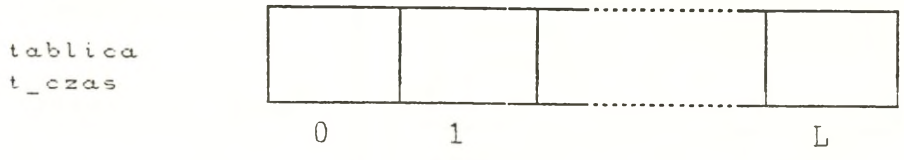


Rys.5.3. Bufor kontroli realizacji dyrektyw operatorskich.

Projektanci muszą także zadbać o wypełnienie tego bufora. Instrukcje zwiększające liczniki bufora należy umieścić w podprogramie rozkodowania dyrektyw. Jeżeli po rozkodowaniu dyrektywy okaże się że była ona błędna, wtedy odpowiedni licznik bufora powinien zostać zwiększony. W zautomatyzowanym systemie dowodzenia każda dyrektywa operatorska ma swój podprogram obsługi. Po obsłużeniu dyrektywy podprogram ten powołuje podprogram wyświetlania komunikatu informuującego operatora o realizacji dyrektywy. W tym to podprogramie należy także umie-

ścić instrukcje, które będą powodowały zwiększanie się odpowiedniego licznika w buforze w zależności od tego czy była to dyrektywa poprawnie wykonana czy błędnie.

Drugim elementem programu jest tablica, w której rejestrowany jest czas rozpoczęcia pracy przez operatorów.



t_czas[0] - czas rozpoczęcia pracy przez operatora, który pierwszy ją rozpoczął,

$t_czas[i]_{i=1..L}$ - czas rozpoczęcia pracy przez i-tego operatora.

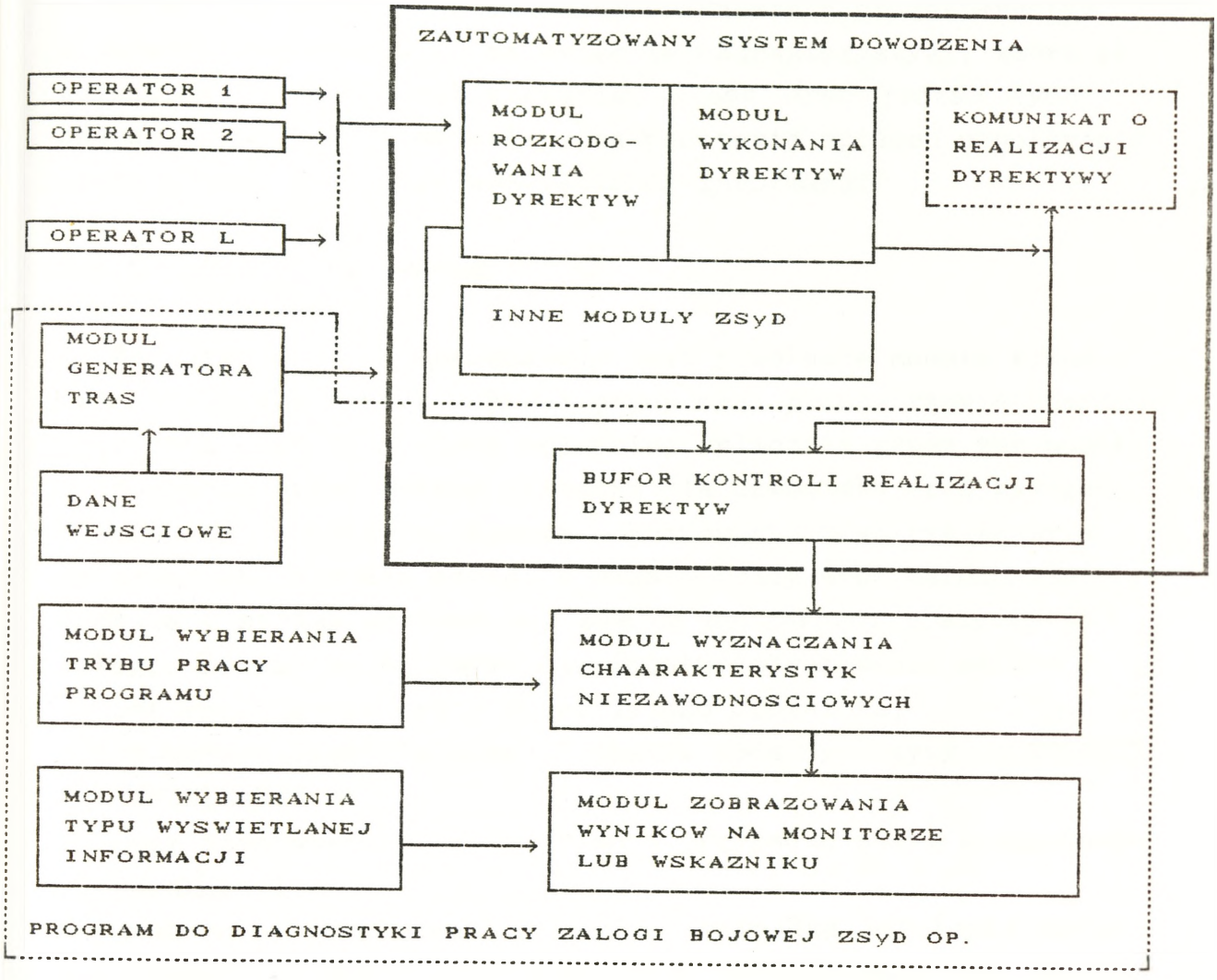
Uwaga : t_czas[i] < 0 - oznacza że i-te stanowisko pracy nie zostało jeszcze zainicjowane.

Rys.5.4. Tablica rejestracji czasów pracy.

W momencie rozpoczynania pracy operator musi zainicjować swoje stanowisko poprzez wprowadzenie dyrektywy << START PRACY OPERATORA >>. Podprogram obsługi tej dyrektywy wprowadzi aktualny czas systemowy do odpowiedniego elementu tablicy t_czas. Pierwsza z powyższych dyrektyw od chwili rozpoczęcia pracy zautomatyzowanego systemu dowodzenia (start lub restart systemu) będzie oprócz powyższej interpretacji traktowana również jako rozpoczęcie pracy całej załogi. Kontrola pracy operatora na l-tym stanowisku pracy jest prowadzona od chwili zainicjowania. Jeżeli nie zostanie zainicjowane żadne stanowisko pracy wtedy nie zostanie również uruchomiony program diagnostyki pracy załogi. Podstawowymi modułami programu diagnostyki pracy załogi są :

- moduł wyznaczania charakterystyk niezawodnościowych,
- moduł zobrazowania wyników na monitorze lub wskaźniku WPS,
- moduł generatora tras,
- moduł tworzenia danych wejściowych dla generatora tras,
- moduł wybierania trybu pracy programu,
- moduł wybierania typu wyświetlanej informacji.

Powiązania pomiędzy poszczególnymi modułami oraz ogólny schemat programu przedstawia poniższy rysunek :



Rys.5.5. Koncepcja programu diagnostki pracy bojowej.

5.4.4. Moduł wyznaczania charakterystyk niezawodnościowych.

Jest to podstawowy moduł programu diagnostyki pracy załogi zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Danymi wejściowymi tego modułu są informacje zawarte w buforze kontroli realizacji dyrektyw operatorskich. W module tym wyznacza się następujące parametry niezawodności załogi :

a) ilość wykonanej pracy PI,
b) jakość wykonanej pracy PQ,
c) czas pracy PT.

Szczegółowy opis powyższych parametrów został zawarty w 1

rozdziale. Powyższe charakterystyki są wyliczane okresowo (w celu stwierdzenia czy dopuszczlne poziomy błędów nie zostały przekroczone przez któregoś z operatorów) oraz w chwili powołania modułu zobrazowania. Moduł wyznaczania charakterystyk niezawodnościowych wylicza tylko te charakterystyki, które są potrzebne modułowi zobrazowania. Ilość oraz rodzaj tych charakterystyk jest określany na podstawie sposobu powoływania wyświetlania oraz typu wyświetlanej informacji.

5.4.5 Moduł zobrazowania.

Zadaniem modułu zobrazowania jest powołanie modułu wyznaczania charakterystyk jakości pracy oraz przetworzenie charakterystyk , które zostały wcześniej wyliczone przez ten moduł do postaci, która byłaby czytelna dla człowieka oraz wyświetlenie jej na ekranie. Sposób zobrazowania musi być na tyle czytelny aby dowódca załogi w czasie pracy mógł bardzo skutecznie i szybko zorientować się co do jakości pracy całej załogi. Danymi wejściowymi dla modułu zobrazowania są :

- czas rozpoczęcia pracy przez 1-tego operatora,
- typ wyświetlanej informacji (patrz opis dyrektywy << ŻĄDANIE WYŚWIETLANIA >>),
- numer stanowiska pracy (tylko w przypadku oceny konkretnego operatora).

Na podstawie powyższych danych w przypadku powołania modułu zobrazowania, moduł ten spowoduje wyświetlenie na ekranie monitora lub wskaźnika jednej z tabel, które zostały opisane w dalszej części rozdziału.

5.4.6. Moduł wybierania trybu pracy programu.

Zadaniem modułu wybierania trybu pracy programu jest obsługa dyrektywy << TRYB PRACY PROGRAMU >>.

5.4.7. Moduł wybierania typu wyświetlanej informacji.

Zadaniem modułu wybierania typu wyświetlanej informacji

jest obsługa dyrektywy << ŻĄDANIE WYŚWIETLANIA >> i przygotowanie danych wejściowych dla modułu zobrazowania.

5.4.8. Moduł generatora tras.

Moduł generatora tras zapewnia symulację sytuacji powietrznej. Wykorzystywany jest on tylko w trybie pracy treningowej. Generator tras wytwarza odpowiednie depesze w czasie rzeczywistym o położeniu i parametrach lotu celów, które następnie będą wyświetlane na wskaźnikach panoramiczno - syntetycznych zainstalowanych na stanowiskach bojowych.

5.4.9. Moduł tworzenia danych wejściowych dla generatora tras.

Moduł ten zapewnia tworzenie i aktualizację zbiorów zapamiętanych w zewnętrznych pamięciach masowych (dyskietki, kasety magnetyczne itp.). Zbiory te zawierają dane o torach oraz parametrach symulowanych celów powietrznych. Każdy pojedynczy zbiór zawiera dane o jednym uderzeniu nieprzyjaciela powietrznego. Jeżeli chcemy zasymulować nalot składający się z kilku uderzeń musimy utworzyć kilka takich zbiorów.

5.4.10. Koncepcja zobrazowania wyników diagnostyki załogi bojowej.

W czasie pracy treningowej :

Ocena wykonania operacji :

EKRAN 1:

ZALOGA : [ ] OCENA LACZNA : [ ]

CZAS PRACY : [ ]

Numer operacji	dobre / zadane	dobre / wykonane	wykonane / zadane	ocena
1	%	%	%	
2	%	%	%	
R-1	%	%	%	
R	%	%	%	

- dobre : ilość poprawnie wykonanych operacji danego typu przez wszystkich operatorów,
- wykonane : ilosc wykonanych poprawnie i niepoprawnie operacji danego typu przez wszystkich operatorów,
- zadane : ilość operacji danego typu, które mieli wykonać wszyscy operatorzy.

Ocena operatorów :

EKRAN 2:

ZALOGA : [ ] OCENA LACZNA : [ ]

CZAS PRACY : [ ]

Numer stanow.	dobre / zadane	dobre / wykonane	wykonane / zadane	ocena
1	%	%	%	
2	%	%	%	
L-1	%	%	%	
L	%	%	%	

- dobre : ilość poprawnie wykonanych operacji przez l-tego operatora,
- wykonane : ilosc wykonanych poprawnie i niepoprawnie operacji przez l-tego operatora,

- zadane : ilość wszystkich operacji, które miał wykonać l-ty operator.

Ocena l-tego operatora :

EKRAN od 3 do (L+2) :

ZALOGA : [ ] OCENA LACZNA : [ ]

CZAS PRACY : [ ]

Numer operacji	dobre / zadane	dobre / wykonane	wykonane / zadane	ocena
1	%	%	%	
2	%	%	%	
Rl-1	%	%	%	
Rl	%	%	%	

- dobre : ilość poprawnie wykonanych operacji danego typu przez l-tego operatora,
- wykonane : ilosc wykonanych poprawnie i niepoprawnie operacji danego typu przez l-tego operatora,
- zadane : ilość wszystkich operacji danego typu, które miał wykonać l-ty operator.

W czasie pracy bojowej :

Ocena wykonania operacji :

EKRAN 1:

ZALOGA : [ ] OCENA LACZNA : [ ]

CZAS PRACY : [ ]

Numer operacji	dobre / wykonane	ocena
1	%	
2	%	
R-1	%	
R	%	

- dobre : ilość poprawnie wykonanych operacji danego typu przez wszystkich operatorów,
- wykonane : ilość wykonanych poprawnie i niepoprawnie

operacji danego typu przez wszystkich operatorów.

Ocena operatorów :

EKRAN 2:

ZALOGA : [ ] OCENA LACZNA : [ ]

Numer stanow.	dobre / wykonane	czas pracy	ocena
1	%		
2	%		
L-1	%		
L	%		

- dobre : ilość poprawnie wykonanych operacji przez l-tego operatora,
- wykonane : ilosc wykonanych poprawnie i niepoprawnie operacji przez l-tego operatora,

Ocena l-tego operatora :

EKRAN od 3 do (L+2) :

ZALOGA : [ ] OCENA LACZNA : [ ]

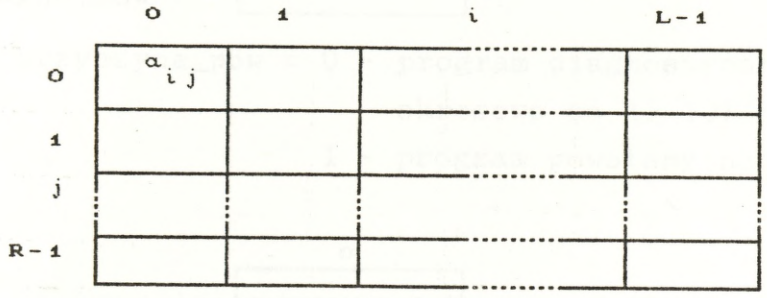
CZAS PRACY : [ ]

Numer operacji	dobre / wykonane	ocena
1	%	
2	%	
Rl-1	%	
Rl	%	

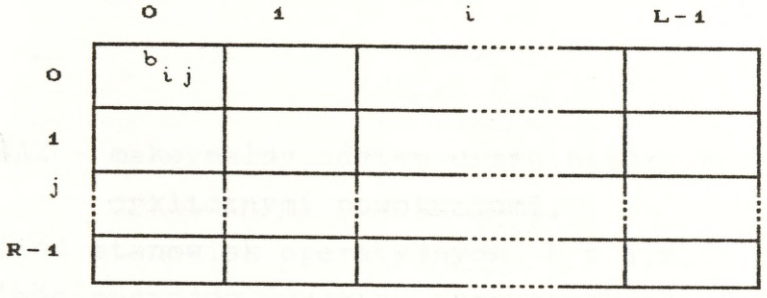
- dobre : ilość poprawnie wykonanych operacji danego typu przez l-tego operatora,
- wykonane : ilosc wykonanych poprawnie i niepoprawnie operacji danego typu przez l-tego operatora,

5.4.11. Struktura danych.
Tablice i zmienne.

bufor_a :

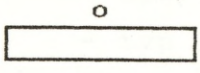


bufor_b :



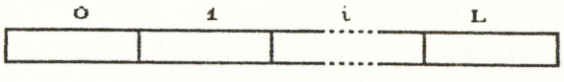
L - ilość stanowisk operacyjnych,
R - ilość rodzajów dyrektyw
a_{ij} - ilość dyrektyw (j) wykonanych poprawnie przez operatora (i),
b_{ij} - ilość dyrektyw (j) wykonanych błędnie przez operatora (i),

tryb :



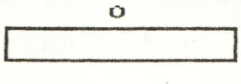
tryb : 1 - praca bojowa,
2 - praca treningowa,testowa.

t_czas :



t_czas[0] - czas rozpoczęcia pracy przez operatora, który pierwszy ją rozpoczął,
t_czas[i] - czas rozpoczęcia pracy przez operatora (i).

sposób_pow :



sposób_pow = 0,1 lub 2 (patrz opis dyrektywy)

przyczyna_pow : o

przyczyna_pow = 0 - program diagnostyczny powołany okresowo co (1-10) min,
1 - program powołany na żądanie.

czas : o

- zmienna ta służy do przechowywania parametru [czas].

Stałe.

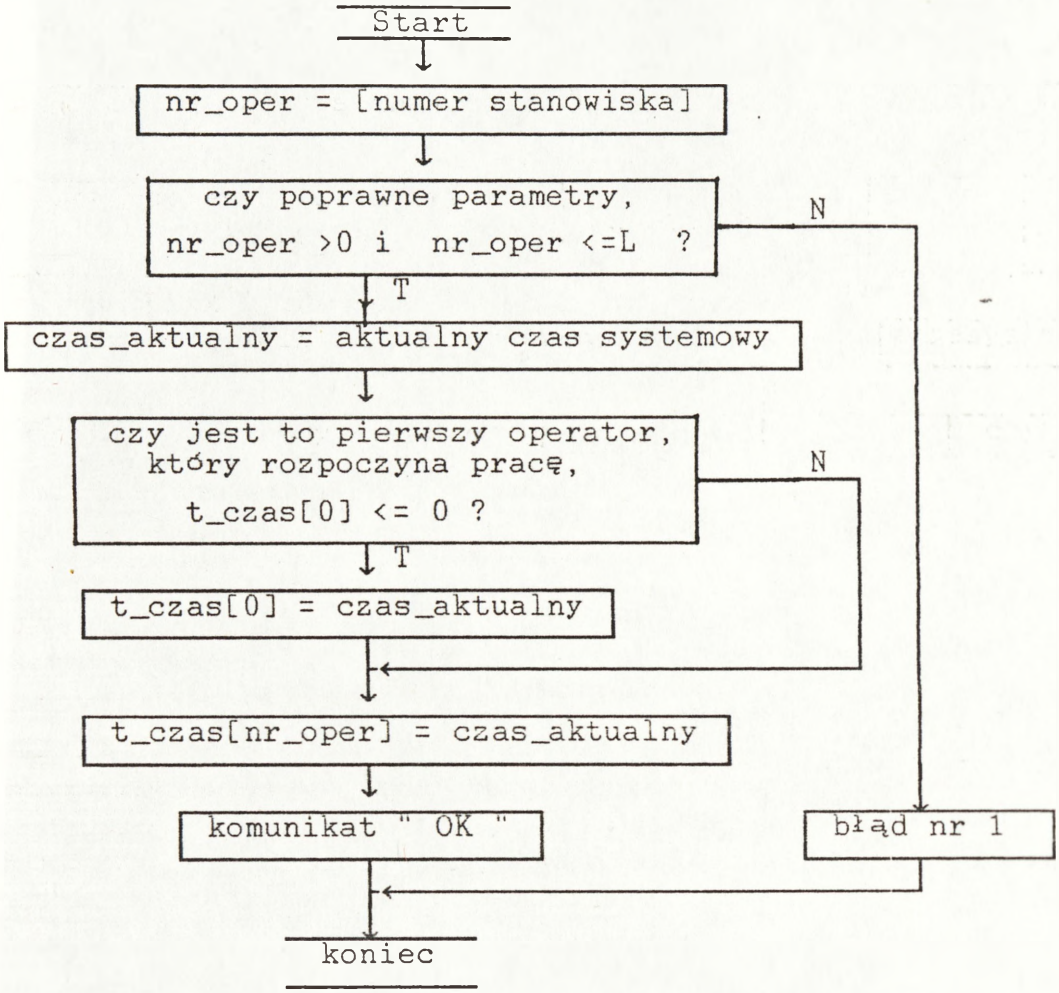
CZAS_MAX - maksymalny odstęp czasu między kolejnymi cyklicznymi powołaniami,
L - ilość stanowisk operacyjnych L = 1,2..
R - ilosc rodzajów dyrektyw operatorskich R = 1,2..

5.4.12. Zmienne robocze.

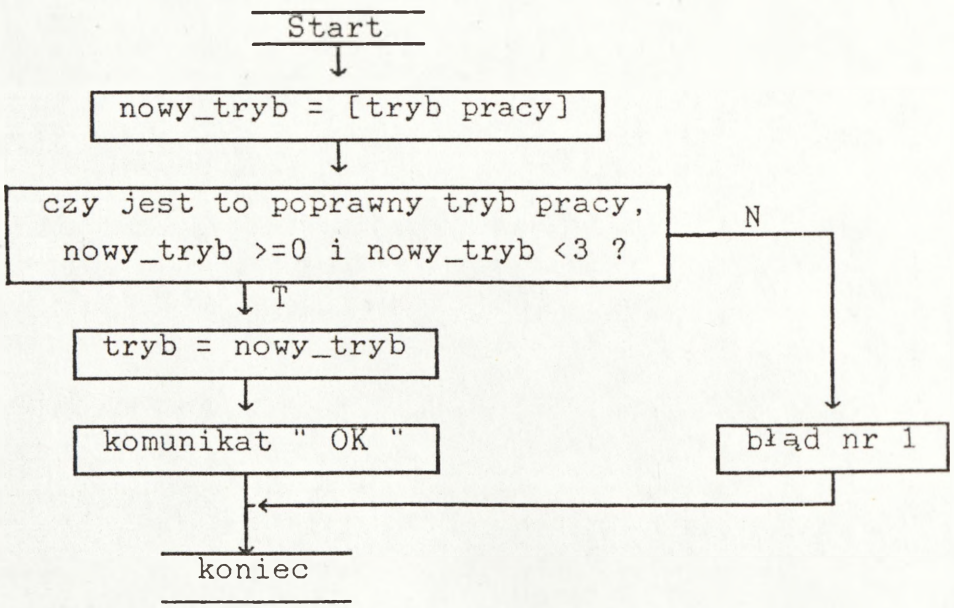
czas_aktualny - aktualny czas systemowy,
czas_pow - czas następnego powołania programu (dla okresowego powoływania),
nr_oper - numer operatora (stanowiska operacyjnego),
nowy_tryb - nowy tryb pracy programu,
typ_inf - typ informacji do wyświetlenia,

5.4.13. Algorytmy.
Algorytmy obsługi dyrektyw.

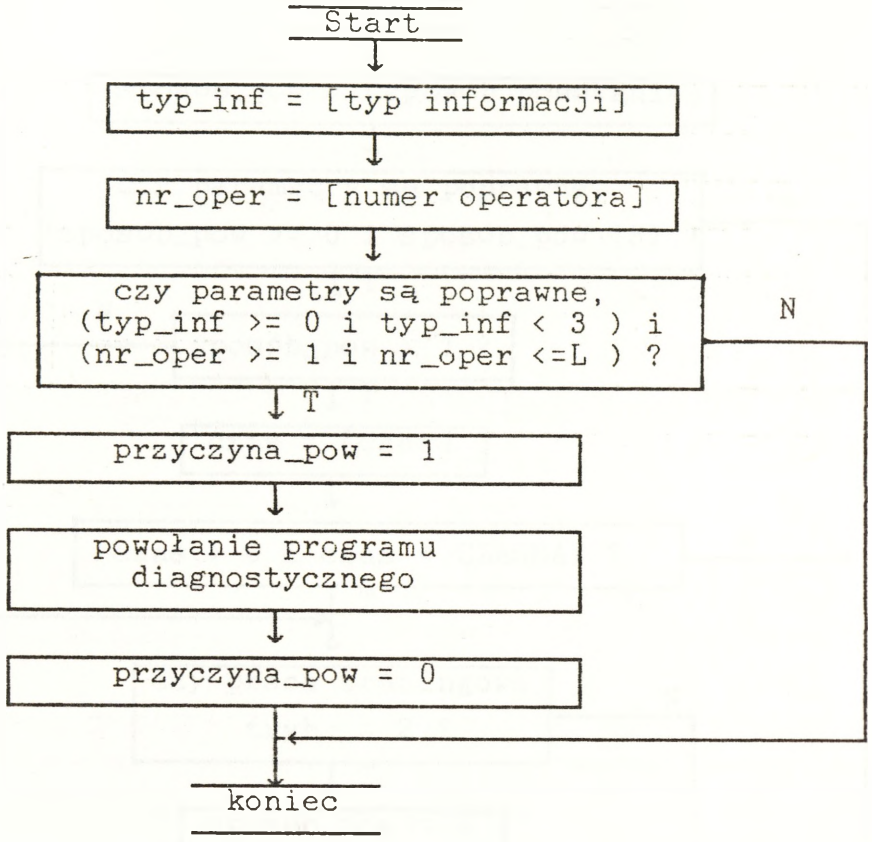
Dyrektywy będą wczytywane i rozkodowywane przez podprogram wczytywania i rozkodowywania dyrektyw. Podprogram ten wchodzi w skład oprogramowania zautomatyzowanego systemu dowodzenia. Po zidentyfikowniu dyrektywy podprogram ten powołuje odpowiedni podprogram obsługi konkretnej dyrektywy.
<< START PRACY OPERATORA >>



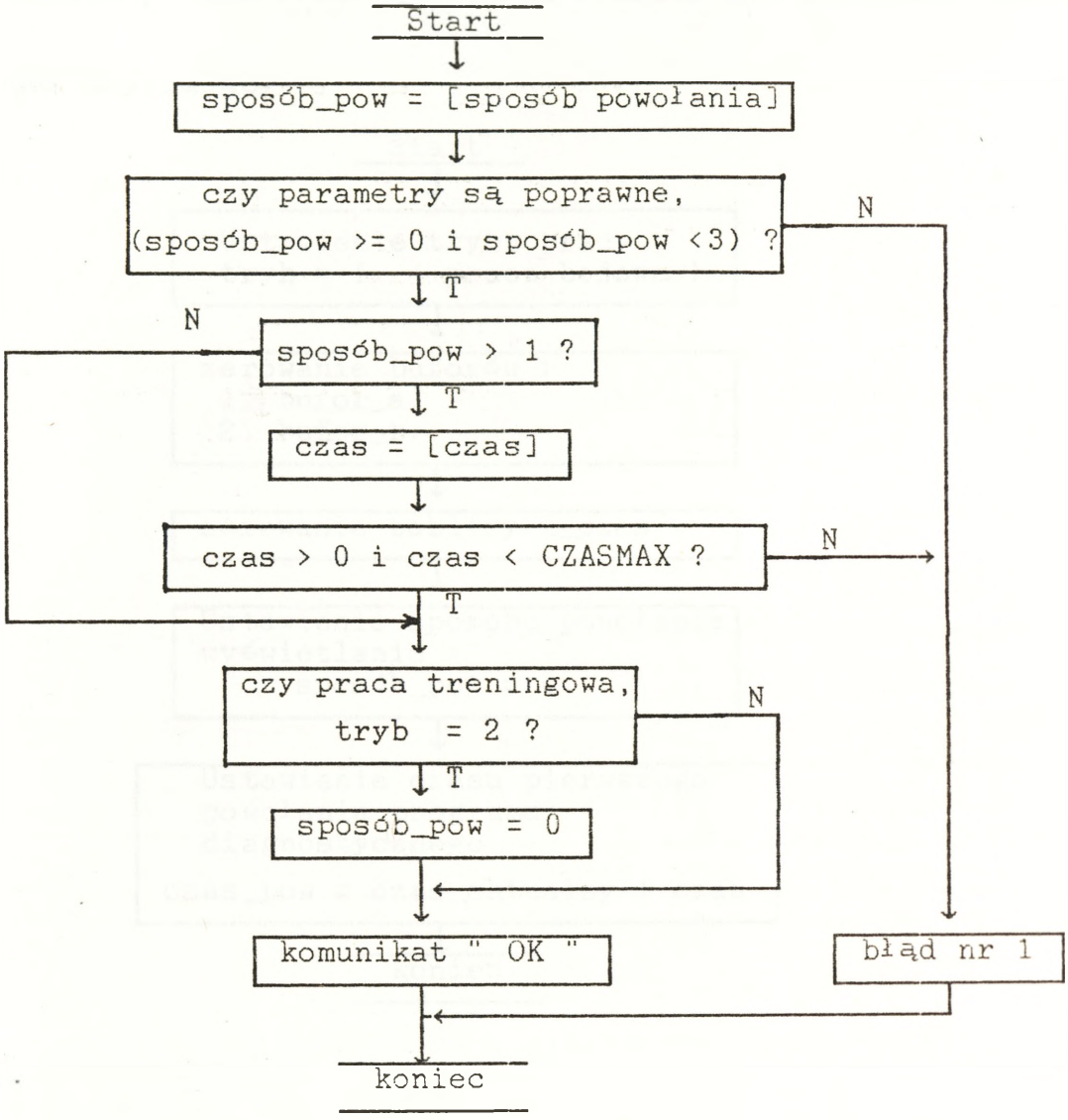
<< TRYB PRACY PROGRAMU >>



<< ŻĄDANIE WY WIETLANIA >>



<< SPOSOB POWOŁANIA >>



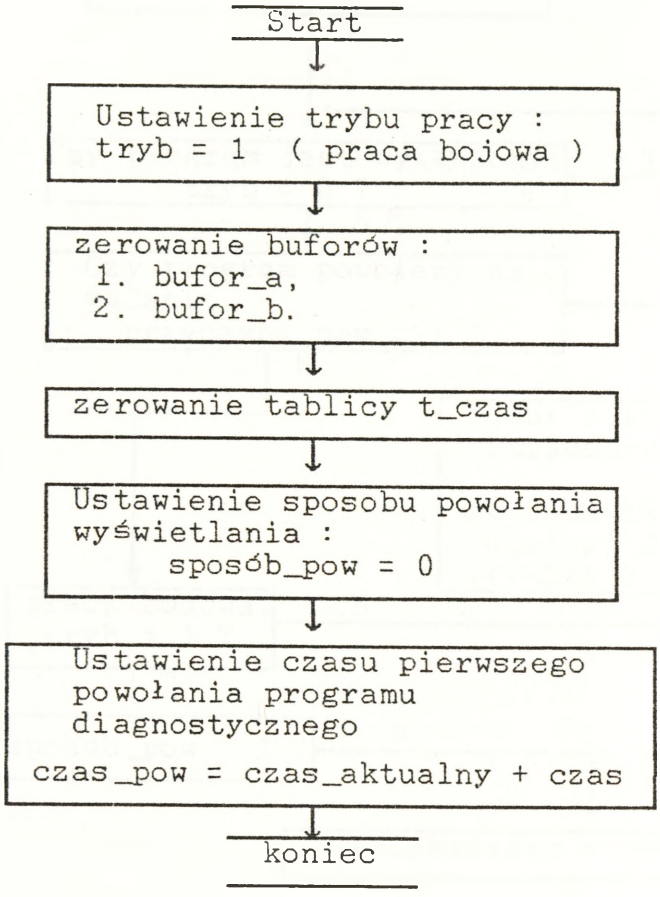
<< DANE WEJŚCIOWE >>, << START SYMULACJI >>,
<< KONIEC SYMULACJI >>
- dyrektywy te dotyczą modułu generatora danych radiolokacyjnych. Generator danych radiolokacyjnych jest to złożone odrębne zagadnienie, które wymaga odrębnego opracowania.

Algorytm programu diagnostycznego.

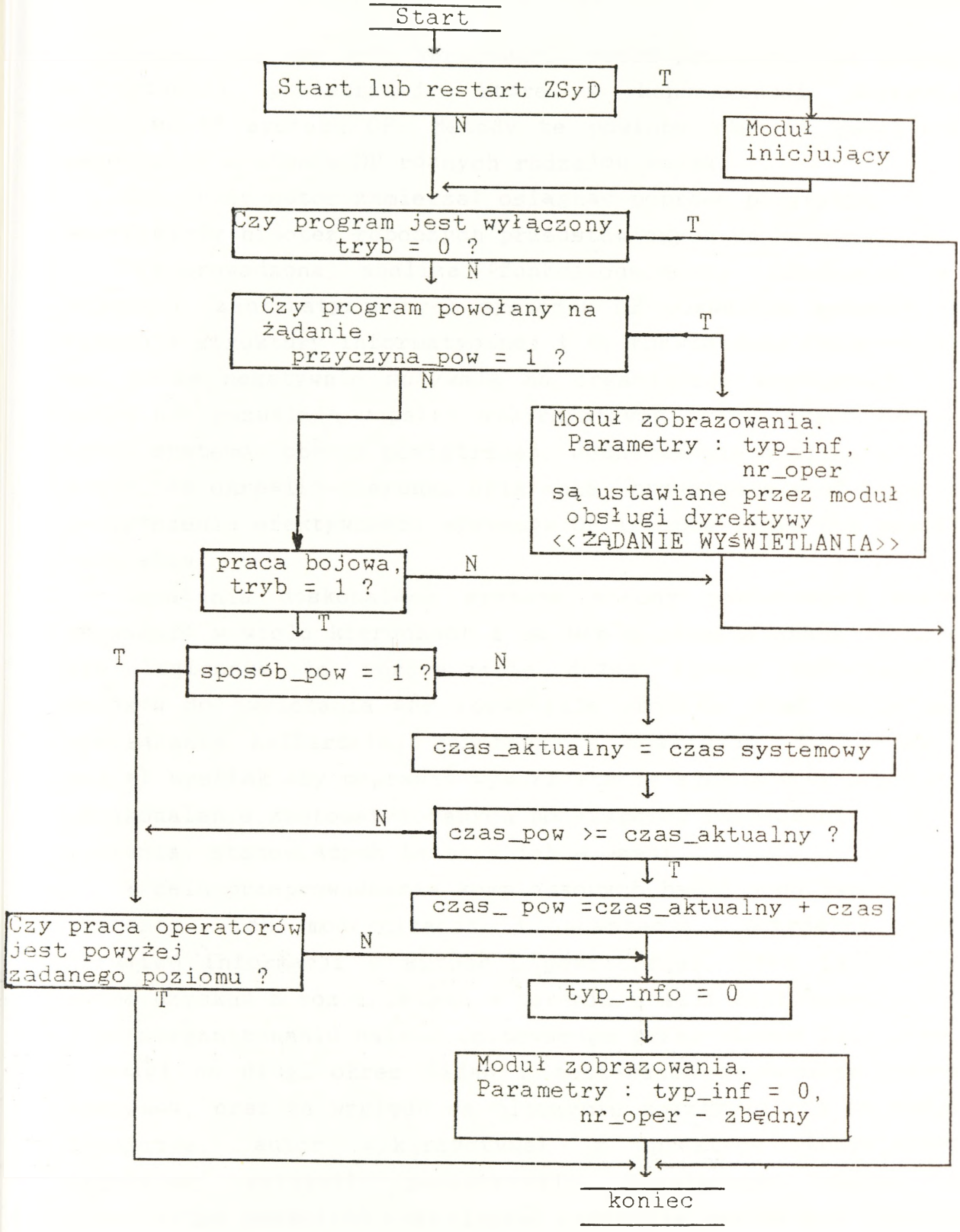
Program diagnostyczny stanowi odrębny moduł zautomatyzowanego systemu dowodzenia. Moduł ten będzie powoływany cyklicznie w określonych odstępach czasowych (od 1 do 10 min) lub po wykonaniu dyrektywy ŻĄDANIE WYŚWIETLANIA. W skład programu

diagnostycznego wchodzi m.in. moduł inicjujący. Moduł ten wykonywany jest tylko 1 raz (po starcie lub restarcie systemu)

Moduł inicjujący :



Program diagnostyczny - moduł główny.



ZAKOŃCZENIE I WNIOSKI

Celem rozprawy było opracowanie metod przetwarzania danych o sytuacji powietrznej, które w konsekwencji poprawią efektywność systemu OP. Metody te powinny również umożliwić współpracę systemów OP różnych rodzajów wojsk.

Cel pracy autor zamierzał osiągnąć poprzez pozytywną weryfikację hipotez roboczych przedstawionych we Wstępie.

Przeprowadzona analiza funkcjionujących aktualnie w wojskach, zautomatyzowanych systemów OP pozwoliła wskazać te elementy struktury informatycznej i te rozwiązania funkcjonalne, które negatywnie wpływają na organizację współpracy i które nie pozwalają w pełni wykorzystywać istniejących możliwości systemów obrony powietrznej. Jednocześnie analiza ta pozwoliła określić kierunki działania, prowadzące w efekcie do podwyższenia efektywności systemów OP i poprawienia ich współdziałania.

Działania doskonalące systemu obrony powietrznej można prowadzić w wielu kierunkach i na wielu płaszczyznach. Wydaje się logicznym że wprowadzenie dużej ilości nowoczesnych środków do zwalczania śNP rozwiązuje problem. Jest to jednak rozwiązanie najbardziej kosztowne z możliwych. Autor pracy podjął wysiłek aby poprawić wykorzystanie systemów OP poprzez udoskonalanie zautomatyzowanych podsystemów rozpoznania i dowodzenia, stanowiących istotny ich element.

W celu przeprowadzania kompleksowych badań nowo tworzonych systemów, ich modernizacji i adaptacji, potrzebny jest strumień informacji o sytuacji powietrznej. Taką informację można uzyskać z rozwiniętych w terenie stacji radiolokacyjnych i po zorganizowaniu nalotu imitowanego przez własne lotnictwo. Z uwagi na długi okres badań i testowania zautomatyzowanych systemów, oraz ze względu na olbrzymie koszty użycia własnego lotnictwa, autor wykorzystywał w praktyce komputerowy symulator sytuacji powietrznej. Rozwiązanie takie z powodzeniem pozwoliło zasymulować otoczenie zewnętrzne obiektu systemu, np obiektu ZWD-10R, złożone z SRL, obiektów nadrzędnych i równorzędnych. Skonstruowany przez autora koder i dekoder depesz systemowych pozwalał zamieniać analogową informację otrzymywaną z generatora tras na postać depesz

transmitowanych w rzeczywistym systemie. Dzięki temu została stworzona sytuacja identyczna jak w normalnych warunkach. Dysponując takim aparatem autor testował i badał wdrażane do radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania danych metody, nie zwiększając kosztów produkcji zautomatyzowanego systemu rozpoznania i dowodzenia. Korzyści materialne uzyskane dzięki przyjęciu takiego rozwiązania trudno jest oszacować. Dodatkową zaletą jest pełna swoboda wykorzystywania takiego symulatora i wariantowania sytuacji powietrznej, bez potrzeby uzgadniania i synchronizacji współdziałania z lotnictwem i wojskami radiotechnicznymi.
Tym samym, zdaniem autora, w pełni została zweryfikowana pierwsza hipoteza robocza założona w celu rozprawy.

Opracowane przez autora metody przetwarzania zostały zastosowane w nowotworzonych obiektach zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia wojsk OPL. Przedstawiona sekwencyjno cykliczna metoda uogólniania została zaimplementowana w obiektach ZWD-10 i ZWD-10R. Metody transformacji i przeliczania współrzędnych funkcjonują w obiektach DP-20 i DP-40 systemu DUNAJEC-P i zostały zaakceptowane przez Państwową Komisję Kwalifikacyjną "Kaszuby".
Do testowania i weryfikacji metod uogólniania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej użyto komputerowego symulatora sytuacji powietrznej. Konstrukcja symulatora umożliwiła przetestowanie przedstawionych metod przy różnej ilości informacji, tzn umożliwiła symulację nalotów o różnym charakterze i liczności. Taka metoda postępowania pozwoliła wszechstronnie przetestować omawiane metody. Badania wykazały, że spełniają one wymagania stawiane metodom przetwarzania instalowanym w systemach czasu rzeczywistego, jakimi są systemy OP. Przez to samo stwierdzone zostało, że konstrułowane podsystemy przetwarzania, wykorzystujące przedstawione metody, będą w stanie w pełni opracować informację o nalocie i opracowywać wyniki końcowe o odpowiedniej jakości. Jakość informacji wynikowej należy kojarzyć z ilością opracowanej informacji, czasem opracowania, wiernością odwzorowania liczności nalotu, dokładnością określenia położenia śNP, oraz czasem reakcji systemu na zmianę sytuacji powietrznej.
W trakcie długotrwałych badań nowo tworzonych obiektów

zautomatyzowanych, uzyskano pozytywne wyniki w tym zakresie. Dokonano testów zakładając liczność nalotu maksymalną dla danego szczebla dowodzenia i przyjmowano różne charakterystyki tego nalotu (prędkość, wysokość, kierunek). W trakcie badań i testów wprowadzano korekty udoskonalające proponowane metody przetwarzania.

Proces przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej musi przebiegać w sposób niezakłócony, ciągły. Proponowane metody podwyższania niezawodności działania podsystemu przetwarzania zapewniają ciągłość opracowywani adanych o nalocie śNP.

Wyniki badań i powyższe spostrzeżenia upoważniają, zdaniem autora, do stwierdzenia że druga, postawiona na wstępie hipoteza robocza, została zweryfikowana z wynikiem pozytywnym.

Zbudowanie laboratoryjnego modelu zautomatyzowanego obiektu systemu, oraz zastosowanie komputerowego symulatora sytuacji powietrznej, może okazać się wielce pomocne w procesie szkolenia obsług (zmian dyżurnych). Zaprezentowana metoda badania i testowania systemów daje możliwość wykazania jak daleko można posunąć się w automatyzacji poszczególnych etapów przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Czwarty rozdział pracy poświęcony został problematyce niezawodności działania. Zaproponowana metoda określania niezawodności zestawu technicznego pozwoli określić odpowiednią strukturę tego zestawu. Dzięki temu można np zdublować elementy najbardzej awaryjne, znaleźć miejsca w strukturze technicznej najsłabsze pod względem niezawodnościowym. W zautomatyzowanym systemie istotne znaczenie ma również niezawodność oprogramowania systemowego i użytkowego. Proponowane rozwiązania pozwolą wydłużyć czas bezawaryjnego działania instalowanego oprogramowania. Dużo uwagi poświęcono problemowi poprawienia niezawodności działania załóg. Autor nie znalazł w literaturze przedmiotu opracowania poświęconego temu zagadnieniu. Aktualnie nie istnieje sposób automatycznej kontroli i oceny pracy operatorów. Zaproponowany sposób pozwala obiektywnie oceniać jakość pracy załogi zarówno podczas przeprowadzanego testu (egzaminu), jak i w trakcie pracy bojowej. W świetle powyższych stwierdzeń można uznać, zdaniem autora, zweryfikowanie trzeciej hipotezy z wynikiem

pozytywnym.

Podsumowując można stwierdzić, że w efekcie przedstawione w pracy metody przetwarzania danych o sytuacji powietrznej, oraz metody oceny i podwyższania niezawodności działania, można zastosować w nowo tworzonych zautomatyzowanych systemach obrony powietrznej i w rezultacie przyczynią się one do podwyższenia ich efektywności działania. Dzięki temu uzyskano zakładany we wstępie cel pracy.

Autor mając na codzień kontakt z problematyką automatyzacji obrony powietrznej, jest w pełni przekonany, że obejmuje ona bardzo szeroki wachlarz zagadnień. Autor ma również nadzieję, że zaprezentowana praca, może znaleźć zastosowanie w ciągłym procesie modernizacji zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia OP.

Niewątpliwie nowo jakościowym etapem automatyzacji OP będzie wykorzystanie w systemach obrony powietrznej informacji uzyskanej z rozpoznania kosmicznego. Autor jest przekonany że w tym kierunku należy prowadzić badania, ponieważ tu tkwią, niemożliwe aktualnie do oceny, rezerwy i możliwości. Oprócz tego zagadnienia odpowiednią porcję uwagi należy poświęcić kompleksowym zagadnieniom jakimi są łączność i współdziałanie.

LITERATURA.

1. Bęben K. Obrona przeciwlotnicza wojsk na szczeblach operacyjnych. ASG Warszawa 1983.
2. Bęben K. Obrona przeciwlotnicza wojsk. ASG Warszawa 1989.
3. Bielska W. Rekursywny algorytm estymacji parametrów trajektorii. PIT Warszawa 1974.
4. Bogusz T. Podstawowe normy i pojęcia taktyczne oraz ich wykładnia. ASG Warszawa 1985.
5. Burak S. Badanie efektywności procesu uogólniania w zautomatyzowanym systemie radiolokacyjnym przy zastosowaniu ważenia informacji w źródle. WAT Warszawa 1979.
6. Burak S. Dymek K. Metoda obliczania współrzędnych celów powietrznych w kodach siatki OP-61. PTUiR (Z.40) WITU 1987.
7. Burak S. Dymek K. Metoda transformacji współrzędnych topograficznych na lokalny układ prostokątny. PTUiR (Z.41) WITU 1988.
8. Dymek K. Ocena efektywności radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania danych. PTUiR (Z.39) WITU 1987.
9. Dymek K. Ocena niezawodności radiolokacyjnego podsystemu przetwarzania danych. PTUiR (Z.39) WITU 1987.
10. Fokin G. J. Niezawodność eksploatacyjna urządzeń technicznych. WMON Warszawa 1973.
11. Gębala A. Symulacyjne badanie procesu uogólniania informacji radiolokacyjnej. ASG Warszawa 1985.
12. Gozdecki Cz. Problemy dowodzenia wojskami OPL w operacji obronnej na obszarze kraju z uwzględnieniem współdziałania z wojskami OPK. ASG ZN(Nr 1/56/89).
13. Gozdecki Cz. Studium struktur organizacyjnych norm i pojęć operacyjno-taktycznych Wojsk OPL. ASG Warszawa 1988.
14. Górski J. Metoda oceny skuteczności działania stanowiska dowodzenia szczebla taktycznego wojsk radiotechnicznych OPK. ASG Warszawa 1989.
15. Kołodziński E. Pietkiewicz T. Badanie skuteczności działania systemu obrony powietrznej metodą symulacji cyfrowej. WAT Warszawa 1984.
16. Komitet Obrony Kraju. Doktryna Obronna Rzeczypospolitej Polskiej. Warszawa. Luty 1990.

17. Konieczny J. Modele ocenowe systemów.
WAT Warszawa 1983.
18. Kowalski E. Dowodzenie obroną przeciwlotniczą dywizji podczas odpierania uderzeń śNP. ASG Warszawa 1989.
19. Korzecki K. Obrona przeciwlotnicza dywizji w obronie.
ASG Warszawa 1989.
20. Kukuła Z. Smoter J. Odpieranie pierwszego nalotu śNP NATO w granicacg PRL. ASG Warszawa 1978.
21. Kulczycki R. Zastosowanie symulacji komputerowej do doskonalenia ugrupowania i kierowania ZT WR OPK.
ASG Warszawa 1979.
22. Kuriata R. Działania bojowe prplot "KUB" w osłonie dywizji pancernej. ASG Warszawa 1984.
23. Kuriata R. Kierunki automatyzacji dowodzenia w wojskach OPL ASG. Warszawa 1986.
24. Kwiatkowski J. Rozpoznanie radiolokacyjne dla potrzeb dowodzenia obroną przeciwlotniczą frontu w świetle rozwoju środków automatyzacji. ASG Warszawa 1981.
25. Legut J. Ocena efektywności wzrokowego rozpoznania powietrznego. ASG Warszawa 1983.
26. Łaski J. O formalizacji pojęcia niezawodności oprogramowania. Wyd. SEP Wrocław 1977.
27. Markocki J. Dymek K. Metoda obliczania położenia obiektów powietrznych w lokalnym układzie współrzędnych prostokątnych. ASG ZN(Nr 1/44/86) Warszawa 1986.
28. Metodyka kontrolowania zmiany dowodzenia SD brt wyposażonego w obiekt RPT-21. DWOPK Warszawa 1987.
29. Migdalski J. Poradnik niezawodności. WPM Warszawa 1982.
30. Milewski T. Obrona przeciwlotnicza pz(pcz) w walce.
ASG Warszawa 1988.
31. Miodek S. Bugalski A. Dywizjon rakietowy OPK.
ASG Warszawa 1989.
32. Mirski T. Symulacyjne badanie metod uogólniania informacji radiolokacyjnej. DWOPL Warszawa 1983.
33. Mulkowski M. Optymalizacja procesu kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych podczas odpierania nalotów. ASG Warszawa 1985.
34. Myers G. Projektowanie niezawodnego oprogramowania.
WNT Warszawa 1980.

35. Orzeczenie Komisji Kwalifikacyjnej "KASZUBY". SBRTW Warszawa 1987.
36. Pokruszyński W. Podstawowe problemy kierowania ogniem wojsk rakietowych OPK w przyszłościowym zautomatyzowanym systemie dowodzenia. ASG Warszawa 1976.
37. Pokruszyński W. Sztuka operacyjna wojsk OPK. ASG Warszawa 1986.
38. Pułk rakiet przeciwlotniczych KUB(OSA) w działaniach bojowych. ASG Warszawa 1984.
39. Różycki J. Kartografia matematyczna. PWN. Warszawa 1973.
40. Sawicki B. Systemy radiolokacyjne. WAT. Warszawa 1975.
41. Sienkiewicz P. Teoria efektywności systemów kierowania. ASG. Warszawa 1979
42. Sienkiewicz P. Inżynieria systemów. WMON Warszawa 1983.
43. System doskonalenia i planowania rozwoju obrony przeciwlotniczej wojsk operacyjnych. MON. SzWOPL 1977.
44. Szpunar W. Podstawy geodezji wyższej. PPWK. Warszawa 1982.
45. Świątnicki Z. Metoda oceny skuteczności działania zautomatyzowanego systemu dowodzenia obroną powietrzną WAT Warszawa 1985.
46. Tęgos M. Organizacja i wyposażenie połączonych sił powietrznych NATO na ŚE i w części PłnETDW. ASG Warszawa 1986.
47. Tęgos M. Zagrożenie obiektów lotniczych frontu przez lotnictwo taktyczne NATO. ASG Warszawa 1986.
48. Tęgos M. Zasady użycia połączonych taktycznych sił powietrznych NATO w operacjach powietrznych. ASG Warszawa 1986.
49. Wiśniewski T. Kierunki doskonalenia systemu stanowisk dowodzenia nadmorskiego związku operacyjno-taktycznego WOPK. ASG. Warszawa 1987.
50. Zabłocki A. Antczak S. Ocena efektywności działań bojowych wojsk OPK. ASG. Warszawa 1985.
51. Zabłocki E. Taktyka lotnictwa myśliwskiego OPK. ASG Warszawa 1989.
52. Założenia taktyczno-techniczne na obiekty automatyzacji podsystemu dowodzenia dywizji lotnictwa myśliwskiego i myśliwsko-bombowego. SBRTW/PIT Warszawa 1988.

53. Zasady strzelania i praca bojowa baterii rakiet przeciwlotniczych OSA-AK. SWOPL Warszawa 1981.

54. Zbiór depesz informacyjnych przekazywanych w zautomatyzowanym systemie dowodzenia WOPL. PIT/WITU Warszawa 1989

Załącznik 1.1. Skład sił powietrznych państw NATO (na ŚETDW oraz CBiBZ)[1]

	Samoloty bojowe				Sam. specjalne	Sam. transport.	Sam. szkol-bojowe
	Myś-bomb.	Myśliwskie	Rozpozn.	Razem			
SP Belgii	90	36	18	144		24	
SP Holandii	90	36	18	144		12	18
SP W. Brytanii (ogółem)	332	161	74	567	89	87	
SP RFN	342	72	72	486	7	108	84
SP USA w Europ. Zach.	408	240	55	703	53	76	18
SP Kanady w Europ. Zach.	54			54		2	
SP Danii	48	32	16	96	16	16	
Ogółem	1364	577	253	2194	165	305	120

Dodatkowe zagrożenie mogą stanowić ŚNP znajdujące się na lotniskowcach operujących w akwenach Morza Północnego i Atlantyku. Na lotniskowcu wielozadaniowym bazuje:

- do 44 samolotów szturmowych,
- do 24 samolotów myśliwskich,
- do 12 samolotów rozpoznawczych.

1. Opracowano na podstawie WPZ NR 5-6 (177-178) 1987.

Załącznik 1.2. Wyposażenie sił powietrznych państw NATO.

	Typy stosowanych samolotów					
	myśliw-bombowe	myśliw-skie	rozpo-znawcze	spe-cjalne	trans-portow	szkol bojo.
SP Belgii	Mirage -5BA -5BR	F16-A	Alpha Jet		C-130H	
SP Holandii	F-16A NF-5A	F-16A	RF-16A		F-27	NF-5B
SP W. Brytanii	Tornado	F-4M		BR-1150 Mk-2	Pem-brok	
SP RFN	Tornado F-4F Alpha-Jet	F-4F	RF-4E	HFB-320	C-160	Alpha Jet
SP USA	F-111E	F-16A F-16C F-16C F-4E	RF-4C TR-1	EF-111 KC-135 KC-10A	C-130 C-9A C-23A	F-5E A-10A
SP Kanady	CF-18				C-141B	
SP Danii	F-16 F-16	F-16 F-104G	RF-35			

Załącznik 1.3. Możliwości bojowe samolotów stosowanych przez państwa NATO na ŚETDW i CBiBZ.

Typ samolotu	Prędkość lotu [km/h]			Pułap [km]	Promień działania [km]	
	Max. na d. wys	Max. na m. wys.	przelot		Duża wysok.	Mała wysok.
B-52G	957	675	820	16.7	5500	
Mirage IV/P	2340	1300	950	20.0	1250	
F-15 Eagle	2650	1470	1100	20.0	1800	700
Tornado FMk-2	2340	1480	1150	18.0	1440	600
Lighning FMK6	2415	1280	980	18.3	700	335
F-111F	2650	1390	870	18.0	1700	690
Tornado	2050	1480	1150	18.0	1200	550
F-16F	2120	1470	1100	15.2	900	410
F-18 Hornet	1910	1470	950	15.8	750	500
F-4E	2440	1460	925	21.0	850	425
Alpha Jet	925	925	700	13.7	600	350
F-104G	2330	1280	980	17.7	1000	480
Buccaner S	1040	1040	1000	10.0	1200	450
Jaguar	1590	1350	960	15.0	1590	1350
Harrier II			800	16.0	795	300
F-35 Draken	2120	1280	950	20.0	1200	500
A-7 Corsair	1120	1050	780	15.6	1150	340
Mirage III E	2350	1280	950	17.0	700	600
A-10A	834	725	400	12.5	835	725
SR-71A	3600			30.0	4800	
RF-16A	2120	1470	1100	15.2	1000	500
RF-4C	2440	1460	925	21.6	995	460
RF-35 Draken	2120	1280	950	20.0	1200	500
Mirage 5RB	2350	1280	950	17.0	1200	900
Mirage F1CR	2350	1100	900	18.5	1100	550
E-3A	1010		880	8.8	3000	
BR-1150 Atlan	660		320	10.0	1700	
TR-1	850	620	800	21.3	2000	
F-4G	2440	1460	925	21.6	960	425
HFB-320	825	675	675	12.4	1140	800
Victor K Mk2	965		680	6.3	8640	6280
KC-10A	980		870	10.8	10000	7000
C-5A Galaxy	920		880	10.3	10260	5560

C-141B	870		1800	12.7	9880	4700
VC-10C Mk1	935		680	12.0	8640	6280
C-130E Hercul	620		550	10.0	7200	3900
C-160 Transal	590		450	8.5	5000	1850

Wyposażenie śNP w środki walki radioelektronicznej.

Aparatura pokładowa bombowców srtategicznych USA pozwala stosować zakłócenia aktywne w zakresie 30-11000 MHz o dużej gęstości mocy. Zakłócenia zaporowe mogą osiągać 10-20 W/MHz, a kierunkowe 100-200W/MHz w zakresie centymetrowym. Dodatkowo każdy bombowiec zabiera dużą ilość odbijaczy dipolowych dla stosowania zakłóceń w zakresie częstotliwości od 60 do 12000 MHz i około 100 pułapek podczerwieni, a także pociski przeciwradiolokacyjne wystrzeliwane w przednią i tylną półsferę.

Podstawowe typy myśliwców taktycznych i szturmowców pokładowych mogą być wyposażone w 2 lub 3 stacje zakłóceń aktywnych i urządzenia zrzutu odbijaczy dipolowych w tylną półsferę. Samoloty lotnictwa taktycznego mogą stosować aktywne zakłócenia w zakresie centymetrowym z intensywnością zaporową 1-3 W/MHz i kierunkową 10-30 W/MHz.

Załącznik 1.4. Metody wyznaczania realnych stref wykrywania stacji radiolokacyjnych.[1]

1. Metoda wykreślna Golicewa.

Metoda ta polega na analizie poszczególnych listków charakterystyki promieniowania SRL dla przyjętych wysokości lotu celu i obliczeniu odległości geometrycznych. Dane te pozwalają wykreślić strefy wykrywania RLS w płaszczyźnie pionowej, a na tej podstawie w płaszczyźnie poziomej. Metoda ta umożliwia wyznaczanie stref wykrywania stacji radiolokacyjnych na podstawie ich charakterystyk energetycznych. Jest to metoda bardzo żmudna, nie uwzględniająca rzeźby terenu i przedmiotów terenowych.

2. Metoda stacjonarnej fazy.

W metodzie tej wykorzystano zasadę Huygensa, z której wynika, że w przypadku umieszczenia źródła promieniowania nad powierzchnią ośrodka odbijającego, każdy opromieniowany punkt tej powierzni traktuje się jako źródło wtórnej fali kulistej. Określenie energii pola w danym punkcie polega na wektorowym sumowaniu fal kulistych od wszystkich wtórnych źródeł promieniowania, wzdłuż określonego azymutu i kąta położenia. Sumowanie dotyczy zarówno amplitudy zmieniającej się odpowiednio z postacią charakterystyki kierunkowej anteny w swobodnej przestrzeni, jak i fazy zależnej od różnicy dróg fali bezpośredniej i odbitej. Obliczenie wymaga sumowania dużej liczby wielkości wektorowych w celu określenia każdego punktu charakterystyki kierunkowej dla kąta położenia. Metoda ta jest jedną z dokładniejszych metod określania stref wykrywania SRL w płaszczyźnie pionowej. W metodzie tej pomija się występujące rozproszenie fali odbitej od powierzchni ziemi, a rzeźba terenu uwzględniana jest tylko na określonych kierunkach do pewnej odległości w postaci aproksymowanej linii łamanej, bez uwzględnienia przedmiotów terenowych i kulistości Ziemi. Jest to metoda dokładna ale bardzo pracochłonna.

3. Metoda średnich kątów nachylenia terenu.

Wpływ terenu na strefy wykrywania SRL uzyskuje się zmieniając płaszczyznę o realnej rzeźbie terenu na płaszczyznę ekwiwalentną. Uwzględniając wpływ średnich kątów nachylenia,

1. Opracowano na podstawie: Określanie realnych stref wykrywania stacji. Wydawnictwo ASG WP (nr ew. 0956).

wyznacza się strefy wykrywania SRL w płaszczyźnie pionowej, a następnie wykreśla się strefy wykrywania w płaszczyźnie poziomej. Metoda ta wymaga znajomości pierwotnej charakterystyki kierunkowej SRL, oraz przeprowadzenia pomiarów na pozycji rozwinięcia stacji.

4. Metoda promieniowania radiowego Słońca.

W metodzie tej wykorzystywane jest promieniowanie radiowe Słońca zawierające fale elektromagnetyczne o różnych długościach i fazach. Promieniowanie to niczym nie różni się od szumów odbiornika. Antena SRL wyodrębnia z widma ciągłego promieniowania radiowego Słońca widmo częstotliwości odpowiadające charakteryzującemu ją zakresowi. Z tego powodu, promieniowanie to podczas wschodu i zachodu Słońca może być potraktowane przez SRL jako źródło sygnału usytułowane pod określonym kątem względem horyzontu. Strefę wykrywania wyznacza się na podstawie pomiaru charakterystyki kierunkowej SRL w płaszczyźnie pionowej i poziomej, a następnie określa się jej odległość. W celu udokładnienia stref wykrywania zalecane jest dokonywanie oblotu samolotem.

Metoda ta nie zapewnia wyznaczenia stref wykrywania stacji zakresu decymetrowego i centymetrowego.

5. Metoda współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego.

Metoda ta pozwala na bezpośrednie wyznaczenie strefy wykrywania SRL w płaszczyźnie poziomej. Uwzględnia ona wpływ odbić od powierzchni ziemi fal elektromagnetycznych zakresu metrowego i decymetrowego, tłumienia w atmosferze fal zakresu centymetrowego, oraz wpływ rzeźby i przedmiotów terenowych na strefę wykrywania.

Wymienione czynniki określane są za pomocą:

- kątów zakrycia (rzeźba i przedmioty terenowe),
- odległości horyzontu radiowego dla określonej wysokości lotu celu,
- współczynnika wykorzystania horyzontu radiwego (odbicia fal od powierzchni ziemi, tłumienie fal w atmosferze).

Wyznaczenie kąta zakrycia dokonuje się na podstawie mapy skali 1:50000, lub mierzy busolą artyleryjską PAB-2. Metoda współczynnika wykorzystana horyzontu radiowego bazuje na twierdzeniu, że zasięg horyzontu radiowego jest dla SRL graniczną wartością możliwości wykrycia celu na określonej wysokości za-

wieszenia anteny oraz krzywizny Ziemi.

Zasięg horyzontu radiowego wylicza się wzorem:

$$D = 4.12 * (H + H) \qquad (Z4.1)$$

gdzie: 4.12 - współczynnik stały , uwzględniający krzywiznę Ziemi,

H - wysokość zawieszenia anteny SRL,

H - wysokość lotu celu.

Zasięg horyzontu radiowego nie jest równoznaczny z zasięgiem SRL. Istnieją współczynniki stałe i zmienne, które nieproporcjonalnie do zasięgu horyzontu radiowego zmieniają zasięg stacji. Określa to tzw. współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego K < 1. Praktyczny zasięg wykrwania celu przez stację radiolokacyjną obliczyć można wg wzoru:

$$D = D + K \qquad (Z4.2)$$

Aby uwzględnić wpływ kątów zakrycia na zasięg SRL należy wprowadzić do wzoru (Z1.2) współczynnik K_α wyrażony wzorem:

$$K_\alpha = \sqrt{1 + \frac{R}{2H} * \sin(\alpha)} - \sin(\alpha) * \sqrt{\frac{R}{2H}} \qquad (Z4.3)$$

gdzie: R - promień Ziemi,

H - wysokość lotu celu,

α - kąt zakrycia (spadu).

Ostateczny wzór na praktyczny zasięg wykrywania SRL ma postać:

$$D = D \quad K \quad K_\alpha \qquad (Z4.4)$$

Wartość współczynników K i K_α dla podstawowych SRL są wyliczane i stablicowane.

Metoda ta pozwala określić realne strefy wykrywania stacji bez przebywania i dokonywania pomiarów w terenie, uwzględniając równocześnie rzeźbę terenu.

Załącznik 1.5. Możliwości czasowe ostrzelania śNP.[1]

Stopień gotowości bojowej	KRUG	KUB	OSA-AK
Gotowość bojowa nr 3	960 s.	720 s.	-
Gotowość bojowa nr 2	720 s.	440 s.	343 s.
Gotowość bojowa nr 2 /przyśpiesz./	300 s.	340 s.	253 s.
Gotowość bojowa nr 1	240 s.	280 s.	78 s.
Gotowość dyżurna	90 s.	70 s.	63 s.

Dane taktyczno-techniczne rakiet.

	$V_{śr}$[m/s]	Zasięg max.	V zwalcz. [m/s]	Pułap skut. zwalcz. min.	max.
KRUG	1100	55	830	250	23500
KUB-M3	800	24	600	30 - 60	10000
OSA-AK	-	10	500	25	5000
S-60	-	6	420	-	5000

---

1. Opracowano na podstawie: J. Kwiatkowski Rozpoznanie radiolokacyjne. Rozprawa doktorska ASG WP 1982.

Załącznik 1.6. Zasięgi wykrywania obiektów powietrznych przez niektóre środki rozpoznania radiolokacyjnego (w km).

	Przedział wysokości [km]									
	0.05	0.1	0.25	0.3	0.5	1.0	3.0	4.0	6.0	10.0
P-18		30	46	50	60	82	146	170	200	250
P-19		30	52	56	70	92	158	180	150	
P-40	37	40	60	65	80	100	137	148	160	180
Jawor	29	35	46	51	65	90	130	142	150	160
NUR-21	30	40	62	65	77	100				
NAREW	43	50	70	75	90	100				
NIDA		30	45	50	70	110	155	160	180	240
BOGOTA			40	50	70	100	180	210	220	240
PRW-16		45	55	60	70	110	180	180	180	180
PRW-13		40	57	60	85	110	178	200	244	310
NUR-4	30	35		70	110					

Załącznik 1.7. Normy użycia środków rażenia i lotnictwa uderzeniowego państw NATO, do niszczenia typowych obiektów. Przytoczone liczby samolotów są danymi szacunkowymi przy założeniu typowych wersji uzbrojenia.[1]

	Wymagana liczba samolotów	
	Konwencjonalne śr. rażenia /pociski, bomby niekierow./	środki superkonwencjonalne: rakiety, bomby kier. i kaset.
SD ZT /ZO-T/	4 - 8	2 - 3
Dywizjon rakiet. na SO	4 - 8	2
Bateria artylerii na SO	2 - 4	1 - 2
Lotnisko	14 - 30	8 - 10
RLP /PN/	4 - 8	2 - 3
Dywizjon rakiet. na SO	12 - 14	4
Bateria artylerii na SO	6 - 12	2 - 4
Klucz samolotów na stoisku	2 - 4	1 - 2
Most	12 - 14	2 - 4

Przewiduje się, że uderzenia jądrowe na lotniska i inne obiekty WLF (wojsk lądowych frontu) mogą być wykonywane bombami jądrowymi o mocy do 300 kT. W przypadku wybuchu powietrznego o mocy 100 kT, można prognozować następujące straty:

- wszystkich żołnierzy (nie ukrytych) w promieniu 5,4 km od punktu zerowego (przekracza to kilkakrotnie powierzchnię całego lotniska),
- wszystkich żołnierzy (ukrytych w transzejach i szczelinach p-lot) w terenie o promieniu około 1.2 km, co stanowi około 60% powierzchni lotniska,
- cały sprzęt lotniczy (nie ukryty) w terenie o promieniu 2.5 km,
- sprzęt lotniczy ukryty (w obwałowaniach ziemnych) do 1.6 km od punktu zerowego,
- sprzęt lotniczy ukryty w betonowych schronach do 0.5 km.

1. Przyjęto na podstawie: Siły powietrzne NATO. Charakterystyka, zadania, możliwości, bazowanie i zasady działania. MON. SG WP. Zarząd II. W-wa 1981. s.259

Do niszczenia pasów startowych mogą być użyte pociski MW-1 (na wyposażeniu s.m/b Tornado) o polu rażenia 0.5x2.5 km, bomby przeciwbetonowe BAP-100 i Durandol (do zniszczenia pasa startowego wystarcza 4 - 6 trafień), oraz bomby kierowane GBV-15 odpalane zpoza zasięgu środków ogniowych obrony powietrznej (25km). Samoloty Tornado mogą być wyposażone w zasobniki bomb, miny lotnicze (z opóźnionym działaniem). Do blokowania jednego lotniska n-pel może wyznaczyć 1-2 klucze samolotów uderzeniowych, głównie lotnictwa myśliwskiego.

Załącznik 2.1.
Planszetowo-foniczny system rozpoznania radiolokacyjnego WOPL.

Rys. 1 przedstawia schemat systemu planszetowo-fonicznego funkcjonującego w wojskach OPL [24].
Stanowisko dowodzenia obrony przeciwlotniczej szczebla armii (SD OPLA) jest zabezpieczane informatycznie przez batalion radiotechnicznej. W skład batalionu radiotechnicznego wchodzą:
-4 (lub więcej) kompanie radiotechniczne (krt),
-2 posterunki radiotechniczne.
Stanowisko dowodzenia brt jest zorganizowane jako Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego Armii (CRRA). Rozwinięta na stanowisku bojowym krt stanowi radiolokacyjny posterunek wykrywania (RPW). W skład RPW wchodzą m.in:
- ruchomy punkt dowodzenia (RPD),
- dwie / trzy stacje radiolokacyjne (SRL).
Proces opracowywania informacji radiolokacyjnej jest realizowany w dwóch etapach. Dane o śNP ze SRL, tzn. współrzędne biegunowe echa analogowego, przekazywane są fonicznie w kanałach łączności radiowej i przewodowej. Utożsamianie i uogólnianie informacji radiolokacyjnej ma miejsce w RPD krt, a następnie w CRRA. W RPD proces utożsamiania meldunków realizowany jest przez dowódcę krt lub dowódcę plutonu dowodzenia, oraz spikera. Do zadań dowódcy krt należy m.in. wskazywanie celów które powinny być śledzone przez podległe SRL. Spiker śledzi tory lotu obiektów powietrznych rysowane na planszetach i przekazuje meldunki o tych obiektach do CRRA. W przypadku gdy jeden cel jest śledzony przez 2 lub 3 SRL, apiker w porozumieniu z d-cą krt dokonuje wyboru stacji wg której będzie przekazywał meldunki. Jest to równoznaczne z wyborem reprezentanta. Przetwarzanie informacji radiolokacyjnej w RPD obejmuje zmianę układu współrzędnych przy określaniu położenia celu. Operator SRL określa położenie obiektu we współrzędnych biegunowych (są to współrzędne echa analogowego) natomiast spiker we współrzędnych siatki OP-61. Współrzędne konkretnego obiektu spiker odczytuje z planszetu i następnie przekazuje do CRR.
Schemat obiegu informacji w systemie planszetowo-fonicznym przedstawia Rys.2. Schemat struktury RPD przedstawia Rys.3.

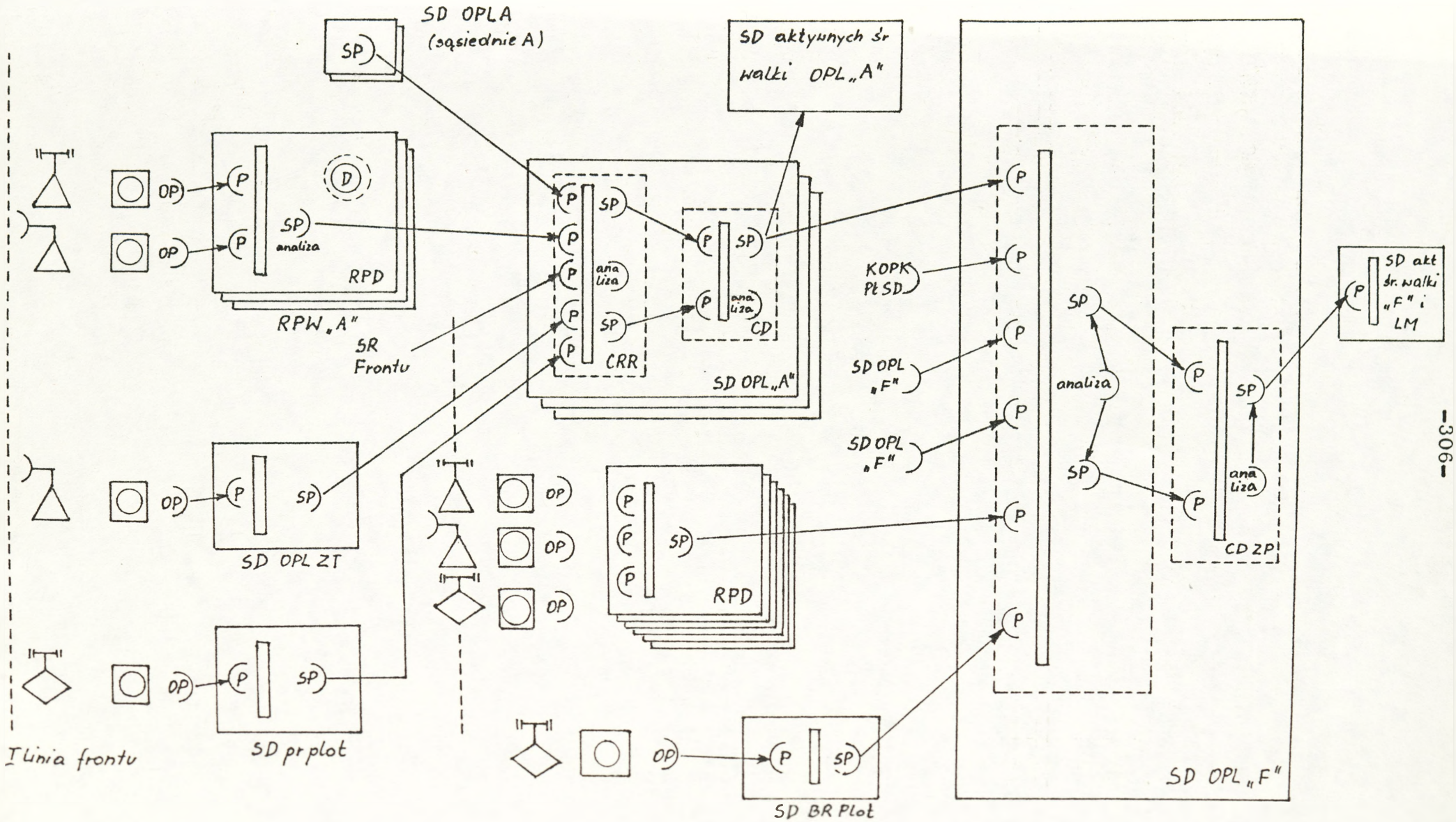
W CRRA realizowany jest etap zbiorczej obróbki informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej. Meldunki otrzymane z podległych RPD są zobrazowane na planszetach i analizowane przez oficerów analizy. Uogólnienia dokonuje oficer analizy i spiker. Zadaniem oficera analizy jest m.in. odrzucenie meldunków równoległych o jednym obiekcie. Meldunki uważa się za równoległe jeżeli spełniają następujące warunki:

- współrzędne położenia celu są w przybliżeniu równe,
- prędkość, kurs, wysokość celu są przybliżone,
- skład i przynależność są zgodne.

Oficer analizy ustala źródło podstawowe, które może najdłużej obserwować śledzony cel. Spiker przekazuje informacje o celu w oparciu o jedno wybrane źródło. Pozostałe informacje równoległe o danym obiekcie są traktowane jako uzupełniające i są wykorzystywane do udokładnienia położenia i parametrów lotu. Schemat zbierania i uogólniania informacji radiolokacyjnej w CRRA został przedstawiony na Rys.4.

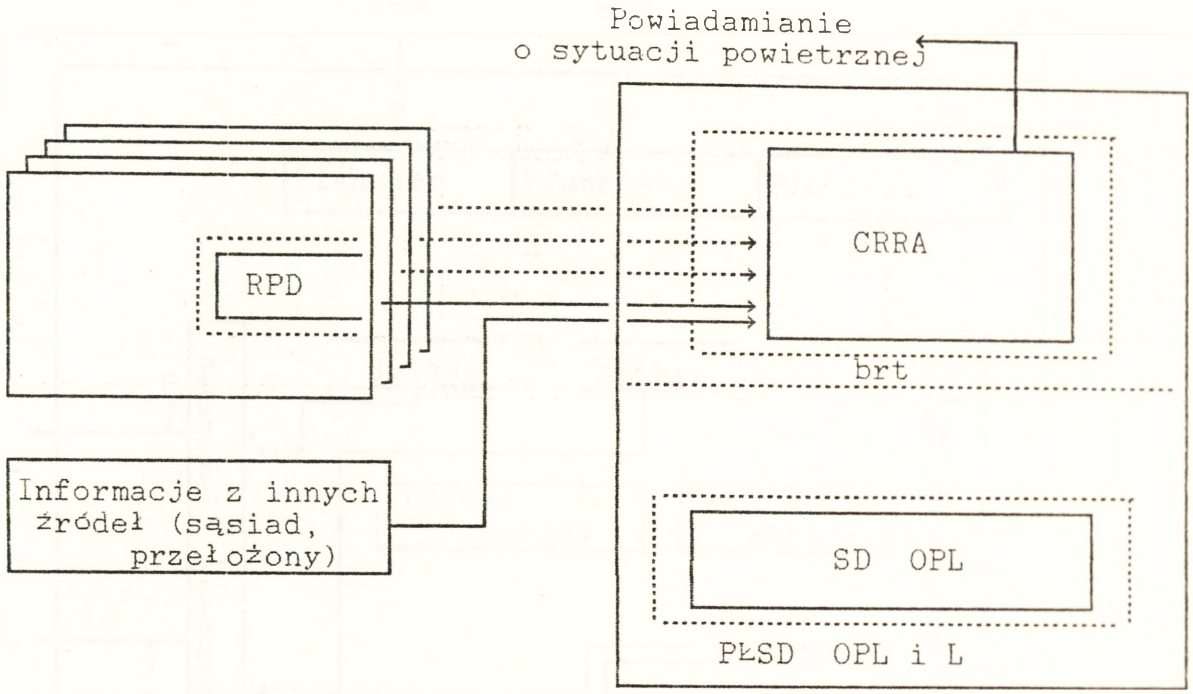
W CRRA nie jest zmieniany układ współrzędnych, w którym określa się położenie obiektów. Informacje o obiektach przyjmowane z RPD, oraz wysyłane w sieć powiadamiania określają położenie obiektów w odpowiednio zakodowanej siatce OP-61.

Planszowo foniczny system zbierania i opracowywania informacji radiolokacyjnej posiada określone wady i zalety. Niewątpliwą zaletą tego systemu jest duża niezawodność działania. Jak widać z uproszczonych schematów, praktycznie cały proces utożsamiania i uogólniania realizowany jest przez załogi eksploatacyjne. Od jakości pracy tych załóg zależy jakość opracowywanej informacji o sytuacji powietrznej w obserwowanej przestrzeni. Wadą tego systemu jest mała dokładność określania położenia, długi czas opracowywania informacji, oraz mała przepustowość. Łączy się to ściśle z ograniczonymi możliwościami manualnymi planszecistów. W przypadku zmasowanego nalotu wady te stanowią istotnu problem i mogą być powodem nie spełnienia zadań przez system OPL. Z tego powodu podjęte zostały prace nad zautomatyzowaniem procesu utożsamiania i uogólniania. W efekcie powstał zmodernizowany system planszowo-foniczny w którym pewne elementy opracowania informacji radiolokacyjnej realizowane są przez maszynę cyfrową. Dzięki temu skrócony został czas opracowania informacji, oraz zwiększona liczba obiektów. Schemat obiegu

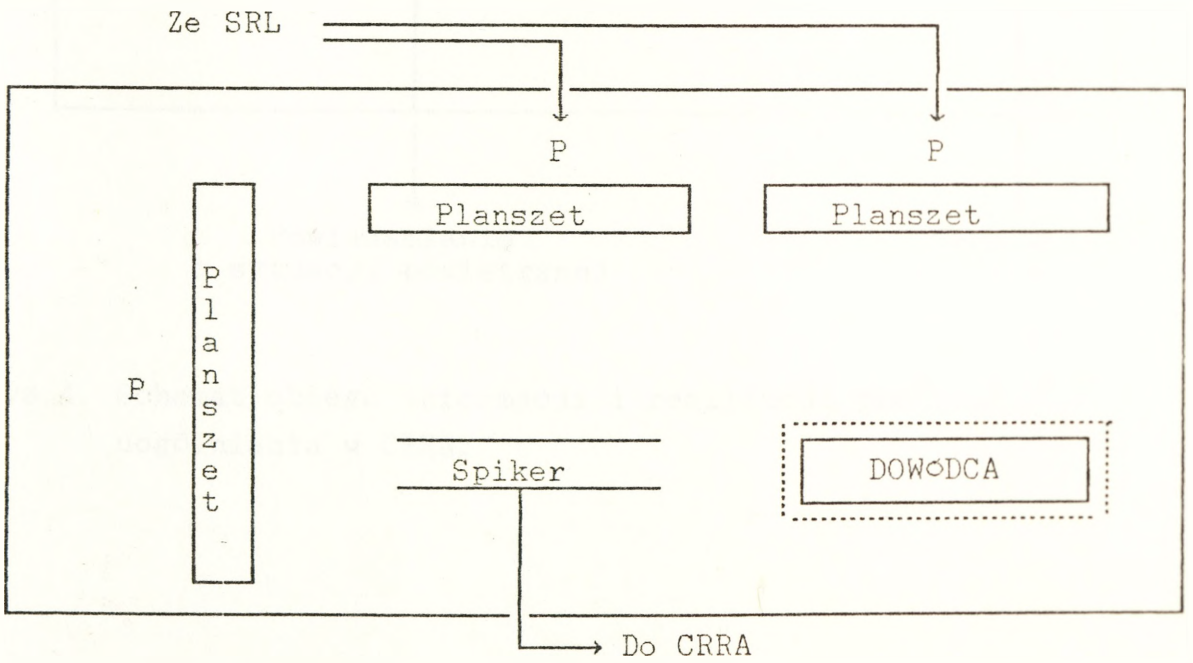


Rys. 1 SYSTEM PLANSZETOWO - FONICZNY

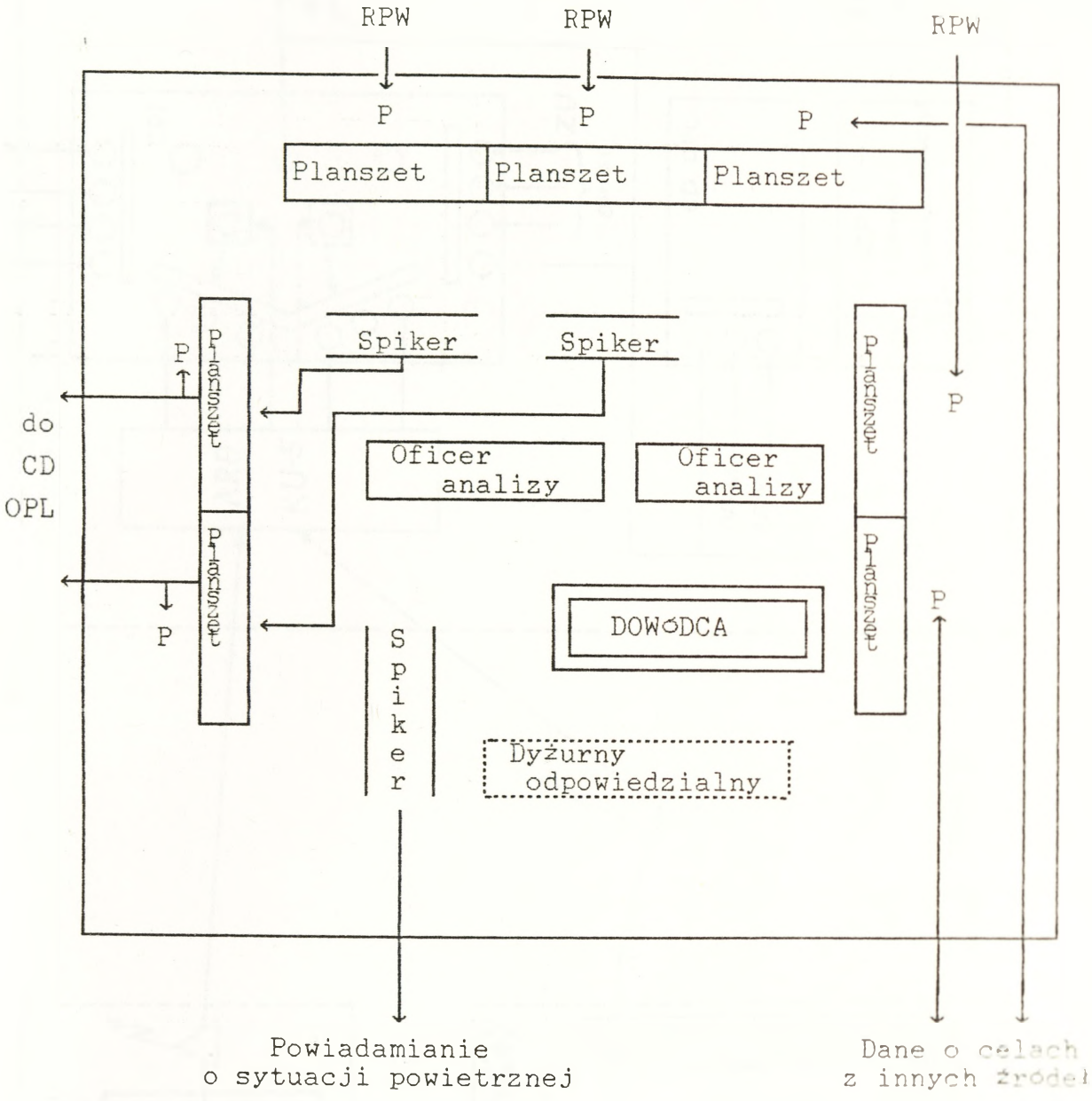
informacji w takim systemie przedstawia Rys. 5



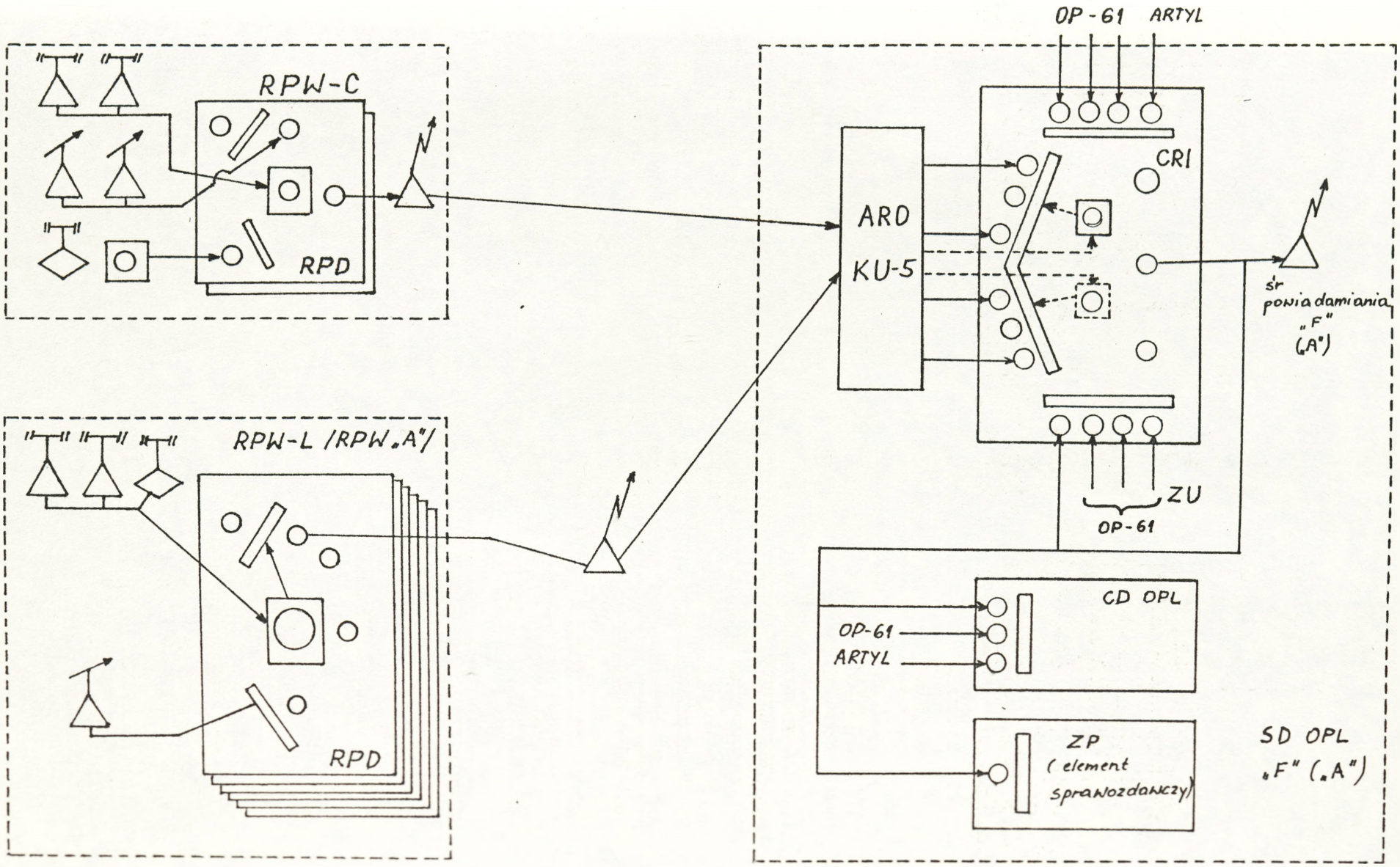
Rys.2 Obieg informacji w systemie planszetowo-fonicznym.



Rys.3. Schemat RPD kompanii radiotechnicznej.
P - planszecista



Rys.4. Schemat obiegu informacji i realizacji procesu uogólniania w CRRA.



Rys. 5 ZMODERNIZOWANY SYSTEM PLANSZETOWO - FONICZNY

Załącznik Nr 4.1

Chronologiczny zapis uszkodzeń w obiekcie DP-20.

m	t(m) [h]	tn(m)[min]	m	t(m) [h]	tn(m)[min]
1	18,5	13,0	19	407,5	14,5
2	40,0	12,5	20	431,0	17,0
3	59,5	16,0	21	449,0	11,0
4	86,5	13,0	22	473,0	18,5
5	104,0	16,5	23	501,0	21,5
6	119,5	14,5	24	529,5	14,5
7	141,5	17,0	25	553,0	17,0
8	166,0	11,0	26	578,5	16,5
9	190,5	19,0	27	603,5	19,5
10	213,0	14,0	28	634,0	16,5
11	238,0	13,5	29	657,0	17,0
12	255,5	15,5	30	679,5	19,5
13	278,5	18,0	31	701,5	14,5
14	309,5	14,0	32	733,0	21,5
15	327,5	12,0	33	752,5	18,5
16	351,0	11,5	34	783,0	20,5
17	369,0	18,5	35	803,5	14,5
18	387,5	14,0	36	827,5	16,5
			37	861,0	17,6

Oznaczenia:

m - numer uszkodzenia,

t(m) - czas w którym nastąpiło uszkodzenie,

tn(m) - czas naprawy m-tego uszkodzenia,

średni czas naprawy uszkodzenia $\bar{t}n(m) = 15,88$ [min].

-"- -"- bezawaryjnej pracy $\bar{T}_b = 23,65$ [h].

Załącznik Nr 4.2.

Wartość oczekiwana funkcji wiodącej Λ rozkładu intensywności uszkodzeń, dla obiektu DP-20.

m	t(m) [h]	Λ(tm)	m	t(m) [h]	Λ(tm)
1	18,5	0,0270	20	431,0	0,7620
2	40,0	0,0548	21	449,0	0,8208
3	59,5	0,0833	22	473,0	0,8833
4	86,5	0,1127	23	501,0	0,9500
5	104,0	0,1430	24	529,5	1,0214
6	119,5	0,1743	25	553,0	1,0983
7	141,5	0,2065	26	578,5	1,1817
8	166,0	0,2399	27	603,0	1,2727
9	190,5	0,2744	28	634,0	1,3726
10	213,0	0,3101	29	657,0	1,4837
11	238,0	0,3476	30	679,5	1,6087
12	255,5	0,3856	31	701,5	1,7515
13	278,0	0,4256	32	733,0	1,9182
14	309,5	0,4672	33	752,5	2,1182
15	327,5	0,5107	34	783,0	2,3682
16	351,0	0,5562	35	803,5	2,7015
17	369,0	0,6038	36	827,5	3,2015
18	387,5	0,6538	37	861,0	3,7065
19	407,5	0,7064			

Oznaczenia:

m - numer uszkodzenia, awarii,

tm - moment w którym wystąpiło m-te uszkodzenie,

Λ(tm) - wartość oczekiwana funkcji wiodącej.

Załącznik 4.3.

Czasy uszkodzeń typowych urządzeń, zarejestrowane w czasie badań.

	Zasilacze	Jednost. centr. EMC	Bloki pamięci	UMS-11	WPS-11	ZTD
DP-10	86.5	59.5	119.5	166.5	73.5	215.0
	178.0	119.5	254.0	353.0	142.0	443.0
	256.5	170.5	386.0	532.0	217.0	668.0
	317.0	238.0	512.5	678.0	257.0	
	394.0	304.0	647.0		328.0	
	473.0	369.5			404.0	
	551.5	428.0			480.0	
	619.0	499.5			558.0	
	684.5	631.0				
DP-20	98.5	79.0	148.0	193.0	78.0	245.0
	193.0	174.0	263.0	386.5	139.5	512.5
	296.5	268.5	395.0	562.0	223.0	
	387.5	380.0	527.0	721.5	297.0	
	492.0	449.0		835.0	317.0	
	569.0				411.0	
	684.0				499.0	
	799.0				582.5	
					650.0	
					734.0	
DP-40	105.5	68.5	132.5	184.5	85.5	230.5
	213.0	141.5	259.0	362.0	145.0	469.5
	317.0	223.0	393.5	547.5	228.5	690.0
	422.5	307.5	513.0	711.0	302.0	
	381.0				393.0	

Załącznik 4.4

Wyniki obliczeń charakterystyk niezawodnościowych typowych urządzeń technicznych stanowiących wyposażenie badanego systemu.

t(h)	Zasilacze			U M J S		
	$\lambda^*(t) * 10^{-4}$	$\Lambda^*(t) * 10^{-4}/20$	$R^*(t)$	$\lambda^*(t) * 10^{-4}$	$\Lambda^*(t) * 10^{-4}/20$	$R^*(t)$
20	4.988	4.988	0.9995	7.721	7.721	0.9992
40	5.597	10.587	0.9790	8.027	15.748	0.9689
60	5.986	16.571	0.9674	8.211	23.959	0.9532
80	6.279	22.850	0.9553	8.344	32.303	0.9374
100	6.516	29.366	0.9429	8.449	40.752	0.9217
120	6.716	36.082	0.9303	8.536	49.288	0.9061
140	6.890	42.972	0.9176	8.610	57.898	0.8906
160	7.045	50.017	0.9048	8.675	66.573	0.8753
180	7.184	57.201	0.8918	8.732	75.305	0.8601
200	7.311	64.512	0.8789	8.784	84.089	0.8452
220	7,427	71.939	0.8659	8.831	92.920	0.8304
240	7.535	79.474	0.8530	8.874	101.794	0.8157
260	7.637	87.111	0.8401	8.914	110.708	0.8013
280	7.731	94.842	0.8272	8.951	119.659	0.7871
300	7.820	102.660	0.8143	8.985	128.644	0.7731
320	7.904	110.566	0.8016	9.018	137.662	0.7593
340	7.984	118.550	0.7889	9.049	146.711	0.7457
360	8.060	126.610	0.7762	9.078	155.789	0.7322
380	8.133	134.743	0.7637	9.105	164.894	0.7190
400	8.202	142.945	0.7513	9.132	174.024	0.7060
420	8.269	151.214	0.7390	9.156	183.182	0.6932
440	8.333	159.457	0.7268	9.180	192.362	0.6806
460	8.395	167.942	0.7147	9.203	201.565	0.6682
480	8.454	176.396	0.7027	9.225	210.790	0.6560
500	8.512	184.908	0.6908	9.246	220.036	0.6439
520	8.567	193.475	0.6791	9.267	229.303	0.6321
540	8.621	202.096	0.6675	9.286	238.589	0.6205
560	8.673	210.769	0.6560	9.305	247.894	0.6090
580	8.724	219.493	0.6446	9.323	257.217	0.5978
600	8.773	228.266	0.6334	9.341	266.558	0.5867
620	8.821	237.087	0.6223	9.358	275.916	0.5758

640	8.868	245.955	0.6114	9.375	285.291	0.5651
660	8.913	254.868	0.6006	9.391	294.682	0.5546
680	8.958	263.826	0.5899	9.407	304.089	0.5443
700	9.001	273.827	0.5783	9.422	313.511	0.5341
720	9.043	281.87	0.5692	9.437	322.948	0.5251
t(h)	P K - 1			U M S		
	$\lambda^*(t) * 10^{-4}$	$\Lambda^*(t) * 10^{-4}/20$	$R^*(t)$	$\lambda^*(t) * 10^{-4}$	$\Lambda^*(t) * 10^{-4}/20$	$R^*(t)$
20	4.193	4.193	0.9995	3.314	3.314	0.9996
40	4.269	8.462	0.9832	3.304	6.618	0.9868
60	4.314	12.776	0.9747	3.299	9.917	0.9803
80	4.347	17.123	0.9663	3.295	13.212	0.9739
100	4.372	21.495	0.9579	3.292	16.504	0.9675
120	4.393	25.888	0.9495	3.290	19.794	0.9611
140	4.410	30.298	0.9412	3.288	23.082	0.9548
160	4.426	34.724	0.9329	3.286	26.368	0.9486
180	4.439	39.163	0.9246	3.285	29.653	0.9424
200	4.451	43.614	0.9164	3.283	32.936	0.9362
220	4.462	48.076	0.9083	3.282	36.218	0.9301
240	4.473	52.549	0.9002	3.281	39.499	0.9240
260	4.482	57.031	0.8922	3.280	42.779	0.9179
280	4.491	61.522	0.8842	3.279	46.058	0.9119
300	4.499	66.021	0.8763	3.278	49.336	0.9060
320	4.506	70.527	0.8684	3.277	52.613	0.9001
340	4.513	75.042	0.8606	3.276	55.889	0.8942
360	4.520	79.560	0.8528	3.275	59.164	0.8884
380	4.526	84.086	0.8452	3.275	62.439	0.8826
400	4.532	88.618	0.8375	3.274	65.713	0.8768
420	4.538	93.156	0.8300	3.273	68.986	0.8711
440	4.544	97.700	0.8220	3.273	72.259	0.8654
460	4.549	102.249	0.8150	3.272	75.531	0.8563
480	4.554	106.803	0.8076	3.272	78.803	0.8541
500	4.559	111.362	0.8003	3.271	82.074	0.8486
520	4.563	111.925	0.7994	3.271	85.345	0.8430
540	4.568	120.493	0.7858	3.270	88.615	0.8375
560	4.572	125.065	0.7786	3.270	91.885	0.8321

580	4.576	129.641	0.7716	3.269	95.154	0.8267
600	4.580	134.221	0.7645	3.269	98.423	0.8313
620	4.584	138.805	0.7575	3.268	101.691	0.8159
640	4.588	143.393	0.7506	3.268	104.959	0.8106
660	4.592	147.985	0.7438	3.268	108.221	0.8053
680	4.598	152.583	0.7370	3.267	111.494	0.8001
700	4.599	157.182	0.7302	3.267	114.761	0.7949
720	4.602	161.184	0.7235	3.266	118.027	0.7897
t(h)	W P S			Z T D		
	$\lambda^*(t)$ $*10^{-4}$	$\Lambda^*(t)*$ $10^{-4}/20$	$R^*(t)$	$\lambda^*(t)$ $*10^{-5}$	$\Lambda^*(t)*$ $10^{-5}/20$	$R^*(t)$
20	1.556	1.556	0.9999	2.430	2.430	0.9997
40	1.974	3.530	0.9992	2.423	4.853	0.9903
60	2.269	5.799	0.9988	2.420	7.273	0.9855
80	2.504	8.303	0.9983	2.417	9.690	0.9808
100	2.704	11.007	0.9978	2.415	12.105	0.9760
120	2.878	13.885	0.9972	2.413	14.518	0.9713
140	3.034	16.919	0.9966	2.411	16.929	0.9667
160	3.177	20.096	0.9959	2.410	19.339	0.9620
180	3.308	23.404	0.9953	2.409	21.748	0.9574
200	3.429	26.833	0.9946	2.408	24.156	0.9528
220	3.543	30.376	0.9939	2.407	26.563	0.9482
240	3.651	34.027	0.9932	2.406	28.969	0.9437
260	3.752	37.779	0.9924	2.405	31.374	0.9391
280	3.849	41.628	0.9917	2.405	33.779	0.9346
300	3.941	45.569	0.9909	2.404	36.183	0.9301
320	4.029	49.598	0.9901	2.403	38.586	0.9257
340	4.114	53.712	0.9893	2.403	40.989	0.9212
360	4.195	57.907	0.9884	2.402	43.391	0.9168
380	4.274	62.181	0.9876	2.402	45.793	0.9124
400	4.350	66.531	0.9867	2.401	48.194	0.9081
420	4.423	70.954	0.9859	2.401	50.595	0.9037
440	4.494	75.448	0.9850	2.400	52.995	0.8994
460	4.563	80.011	0.9841	2.400	55.395	0.8951
480	4.631	84.642	0.9832	2.399	57.794	0.8908
500	4.696	89.338	0.9822	2.399	60.193	0.8865
520	4.759	94.097	0.9813	2.399	62.592	0.8823

540	4.821	98.918	0.9804	2.398	64.990	0.8781
560	4.882	103.800	0.9794	2.398	67.388	0.8739
580	4.941	108.741	0.9784	2.398	69.786	0.8697
600	4.999	113.740	0.9775	2.397	72.183	0.8655
620	5.055	118.795	0.9765	2.397	74.580	0.8614
640	5.111	123.906	0.9755	2.396	79.373	0.8532
660	5.166	129.072	0.9745	2.396	79.373	0.8532
680	5.218	134.290	0.9734	2.396	81.769	0.8491
700	5.270	139.560	0.9724	2.396	84.165	0.8459
720	5.322	144.882	0.9714	2.396	86.561	0.8419

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Akademii Obrony Narodowej
Nr ewid. 49143

Powielono w Filii Nr 1 WII
dnia 14.09. 1990 r.
Nr ks. pow. RW0131/FF5/09 1 egz.

03036