

DANES-PICTA.COM

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19



**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

Łącznik Nr. 1 do plamki 01896 24
data 1985 SIERP. 1 0857

~~Do użytku
służbowego~~

~~T A J N E~~

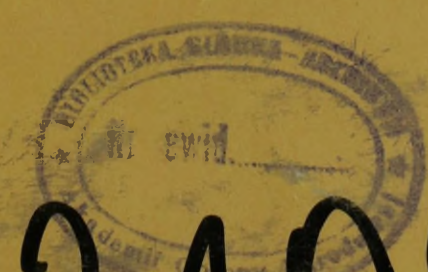
Egz. nr. 1



Mjr mgr inż. Andrzej GĘBALA

**SYMULACYJNE BADANIE PROCESU
UOGÓLNIANIA INFORMACJI O SYTUACJI
POWIETRZNEJ W SYSTEMIE
ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ ARMII
(FRONTU)**

Rozprawa doktorska



12108

WARSZAWA 1985





24
Załącznik Nr 1 do planu wczoraj
data 1985 SIERP. 1 J. 0852

**AKADEMIA
SZTABU GENERALNEGO**
IM. GENERAŁA BRONI
KAROLA ŚWIERCZEWSKIEGO

~~Do użytku
służbowego~~

~~TAJNE~~

Egz. nr..... 1



Mjr mgr inż. Andrzej GĘBALA

**SYMULACYJNE BADANIE PROCESU
UOGÓLNIANIA INFORMACJI O SYTUACJI
POWIETRZNEJ W SYSTEMIE
ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ ARMII
(FRONTU)**

Rozprawa doktorska

12108

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni Karola Świerczewskiego

~~Do użytku
służbowego~~

1

Egz. Nr

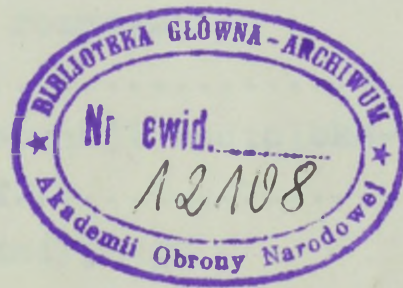
Przekł. Prot. 779/21.08.95

Mjr mgr inż. Andrzej GĘBALA



SYMULACYJNE BADANIE PROCESU UOGÓLNIANIA
INFORMACJI O SYTUACJI POWIETRZNEJ
W SYSTEMIE ROZPOZNANIA RADILOKACYJNEGO
OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ ARMII / FRONTU /.

Rozprawa doktorska



PROMOTOR

płk prof.dr hab. Władysław FILAR

WSTĘP	4
ROZDZIAŁ 1. METODY AUTOMATYCZNEGO PRZETWARZANIA DANYCH O OBIEKTACH POWIETRZNYCH.....	9
1.1. Wyznaczanie aktualnego położenia i parametrów torów lotu celów.....	11
1.1.1. Aproksymacja toru lotu metodą najmniejszych kwadratów.....	12
1.1.2. Uśrednianie parametrów toru lotu.....	17
1.1.3. Aproksymacja toru lotu za pomocą filtru Kalmana.....	21
1.2. Synteza danych o położeniu i parametrach torów lotu celów.....	23
1.2.1. Ujednolicenie informacji w czasie i przestrzeni..	25
1.2.2. Identyfikacja meldunków.....	26
1.2.3. Tradycyjne metody uogólniania informacji radiolokacyjnej.....	32
1.2.4. Uogólnianie informacji radiolokacyjnej metodami opracowanymi przez autora.....	34
1.3. Wnioski.....	39
ROZDZIAŁ 2. STOSOWANE SYSTEMY ZBIERANIA I UOGÓLNIANIA INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ.....	43
2.1. Planszutowo - foniczny system rozpoznania radiolokacyjnego OPL armii.....	43
2.2. Zbieranie i przetwarzanie informacji radioloka- cyjnej w systemie WOZDUCH - 1M.....	46
2.3. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego w systemie WEKTOR.....	49
2.4. Przetwarzanie danych o obiektach powietrznych w systemie AŁMAZ-2.....	53
2.5. Wnioski.....	60
ROZDZIAŁ 3. ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO OPL ARMII I FRONTU.....	63
3.1. Zbieranie i przetwarzanie informacji radiolo- kacyjnej w systemie DUNAJEK-P.....	63
3.2. Cel i koncepcja badań systemu.....	68

ROZDZIAŁ 4. SYMULACJA FUNKCJONOWANIA WIELOSZCZEBLOWEGO, ZAUTOMATYZOWANEGO SYSTEMU ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO.	72
4.1. Koncepcja symulacji funkcjonowania systemu.	72
4.2. Symulacja lotu celów.	77
4.2.1. Model toru lotu celu.	77
4.2.2. Schemat symulacji.	81
4.3. Symulacja pracy źródła informacji wtórnej.	96
4.3.1. Model źródła informacji wtórnej.	96
4.3.2. Schemat symulacji.	101
4.4. Symulacja przekazywania danych.	110
4.4.1. Model przekazywania danych.	110
4.4.2. Schemat symulacji.	112
4.5. Symulacja uogólniania danych.	118
4.5.1. Model uogólniania danych.	118
4.5.1. Schemat symulacji.	122
4.6. Wyniki symulacji.	128
ROZDZIAŁ 5. BADANIE SYSTEMU ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO.	131
5.1. Przedmiot badań.	131
5.2. Dane wejściowe do symulacji i przebieg eksperymentów.	137
5.3. Opis wyników badań i wnioski.	143
ZAKOŃCZENIE.	161
WYKAZ PODSTAWOWYCH OZNACZEŃ.	163
BIBLIOGRAFIA,	168
ZAŁĄCZNIK. WYNIKI OBLICZEŃ NA EMC.	170

WSTĘP.

Podstawową broń wojsk OPL stanowią kierowane rakiety przeciwlotnicze. Umożliwiają one bardzo skuteczny ogień do celów powietrznych na odległościach sięgających kilkudziesięciu kilometrów. Pełne wykorzystanie dużych, potencjalnych możliwości środków ogniowych zależy od uzyskania, z odpowiednim wyprzedzeniem, informacji o położeniu i parametrach torów lotu celów. Stąd, w skład zespołów rakietowych wchodzi radiolokacyjne stacje wstępnego poszukiwania celów oraz systemy szybkiego przekazywania danych o wykrytych przez stacje celach /PU-12, K-1/. Wysoką skuteczność ognia OPL przeciwnik powietrzny stara się zmniejszyć m.in. poprzez zwiększenie prędkości lotu, lot na małych wysokościach i stosowanie zakłóceń radioelektronicznych. Działania te mają utrudnić bądź wręcz uniemożliwić wykrycie celów przez środki rozpoznania radiolokacyjnego. W tych warunkach, wzrost skuteczności wykrywania i śledzenia celów uzyskuje się m.in. poprzez zbieranie i przetwarzanie danych o celach przekazywanych z różnych stacji wykrywania [29]. Do kierowania ogniem OPL wykorzystane mogą być wówczas wszystkie aktualnie dostępne, często fragmentaryczne dane o celach.

Istnieją również inne przesłanki uzasadniające potrzebę funkcjonowania systemu zbierania, przetwarzania i dystrybucji danych o sytuacji powietrznej. Pracująca stacja radiolokacyjna może być stosunkowo łatwo wykryta i zlokalizowana przez przeciwnika. Stwarza to zagrożenie zarówno dla samej stacji, jak i dla znajdujących się w pobliżu pododdziałów rakiet plot. Czas pracy stacji radiolokacyjnych w tych pododdziałach powinien więc ograniczać się do niezbędnego minimum, przy równoczesnym wykorzystywaniu danych o celach przekazywanych z innych źródeł [29].

Celem przetwarzania informacji radiolokacyjnej jest m.in. wyznaczenie aktualnego położenia i parametrów torów lotu obiektów powietrznych w oparciu o informacje / meldunki / uzyskiwane w różnym czasie z różnych źródeł. Wymaga to ustaleń, które z meldunków dotyczą tego samego celu, uogólnienia informacji o położeniu i parametrach torów lotu celów i, w razie potrzeby, ekstrapolacji danych na czas aktualny. Podstawowe problemy w przetwarzaniu danych o celach wynikają stąd, że przekazywanie meldunków i numerowanie celów na szczeblach niższych nie są koordynowane przez szczebel nadrzędny. Ponadto, dane o położeniu i parametrach torów lotu celów obciążone są różnego rodzaju błędami. Do podstawowych błędów zaliczyć można :

błąd określania współrzędnych biegunowych obiektu powietrznego przez stację radiolokacyjną, błędy pracy operatorów i błędy powstające przy przekazywaniu danych.

Uogólnianie informacji o obiektach powietrznych ma miejsce na stanowiskach dowodzenia OPL wyższego szczebla / armia, front / w systemie planszeto - fonicznym. W systemie tym, w Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego, każde źródło informacji ma przyporządkowany planszet, na który nanosi się dane / meldunki / przekazywane fonicznie z tego źródła. Dane o obiektach powietrznych zobrazowane na tych planszetach / wyrysowane tory lotu i charakterystyki obiektów / są wzrokowo porównywane i, po pewnym uśrednieniu, nanoszone na planszet zbiorczy. Informację zobrazowaną na planszecie zbiorczym wykorzystuje się do kierowania ogniem OPL. Podstawową wadą planszeto - fonicznego systemu zbierania i uogólniania informacji radiolokacyjnej jest długi czas przetwarzania i mała dokładność danych o obiektach powietrznych. Efekty odpowiadające potrzebom współczesnego pola walki uzyskać można m.in. poprzez automatyzację procesu zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej oraz szerokie wykorzystanie w tym procesie metod matematycznych.

Teoretyczne podstawy automatyzacji zbierania i przetwarzania danych o obiektach powietrznych zostały już dość dawno stworzone. Nawiązują one do znanych z teorii pomiarów metod oceny wyników i filtracji parametrów badanego procesu. Wyróżnione zostały 3 etapy przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Etapy te obejmują :

pierwszy - wykrywanie i określanie współrzędnych obiektów powietrznych,

drugi - estymację parametrów torów lotu obiektów powietrznych / aproksymację torów lotu /,

trzeci - uogólnianie danych o położeniu obiektów powietrznych i estymację parametrów uogólnionych torów lotu.

Pierwszy i drugi etap przetwarzania informacji radiolokacyjnej związany jest bezpośrednio ze stacją radiolokacyjną, trzeci natomiast, realizuje się na wyższych szczeblach systemu rozpoznania radiolokacyjnego.

Znacznie skromniejszy jest dorobek w zakresie budowy zautomatyzowanych systemów zbierania i przetwarzania danych o obiektach powietrznych. Wynika to ze stosunkowo wolnego rozwoju bazy technicznej. Podstawowymi wymaganiami jakie spełniać muszą urządzenia do przekazywania, przetwarzania i zobrazowania informacji radiolokacyjnej

w systemie OPL są : małe gabaryty, duża niezawodność i szybkość działania. Minimum wymagań w tym zakresie spełnia sprzęt zbudowany w oparciu o dyskretne elementy półprzewodnikowe. Jednak znacznie lepiej odpowiada wymaganiom stawianym przez wojska OPL sprzęt budowlany w oparciu o układy scalone.

Aktualny stan rozwoju elektroniki w kraju umożliwia budowę zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego. W tej sytuacji, istotnego znaczenia nabiera problem oceny i wyboru metod przetwarzania danych o obiektach powietrznych stosownie do zaistniałych potrzeb. Poszczególne metody przetwarzania wykorzystują mniej lub bardziej złożony aparat matematyczny oraz mniejszy bądź większy zakres dostępnej informacji. Przyjąć można, że metody wykorzystujące większy zakres informacji dają lepsze wyniki. Stosowanie ich wymaga jednak stworzenia odpowiednich warunków i ponoszenia większych, szeroko rozumianych kosztów. Koszty natomiast powinny być jak najmniejsze przy spełnieniu określonych, podstawowych wymagań.

Dotychczasowy stan wiedzy o efektywności systemów zbierania i uogólniania informacji radiolokacyjnej nie pozwala na tego typu porównania i analizy. Systemy charakteryzuje się zwykle podając liczbę meldunków o obiektach powietrznych, jakie mogą być przetworzone / przekazane / w jednostce czasu. Podaje się również liczbę śledzonych obiektów powietrznych oraz czas aktualizacji danych o tych obiektach. W systemach zautomatyzowanych te podstawowe wskaźniki straciły na znaczeniu, ponieważ osiągać one mogą wartości z góry założone. Zachodzi więc potrzeba oceny różnych systemów i metod przetwarzania danych w oparciu o inne kryteria. Prace w tym zakresie prowadzone były w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji oraz przez mjr dr inż. Stefana Buraka w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia [4] . Nie wyczerpały one jednak zagadnienia oceny efektywności zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego i wpływu różnych czynników na tę efektywność. Tematyka ta stała się przedmiotem szczególnego zainteresowania Dowództwa Wojsk OPL w związku z projektowaniem i budową zautomatyzowanego systemu dowodzenia DUNAJEC-P. W 1982 r. z inicjatywy i przy udziale płk mgr inż. Tadeusza Mirskiego z Dowództwa Wojsk OPL podjęto w Wojskowym Instytucie Informatyki symulacyjne badania projektowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego [14] . Niniejsza rozprawa doktorska stanowi kontynuację tych prac. Jej celem jest oszacowanie efektywności zautomatyzowanego systemu rozpoznania

radiolokacyjnego oraz zbadanie, jaki wpływ na tę efektywność mają metody przetwarzania informacji i niektóre inne czynniki. Obok metod znanych, przedmiotem badań są dwie metody uogólniania informacji radiolokacyjnej opracowane przez autora. Wyniki pracy ułatwić powinny wybór metod przetwarzania danych o obiektach powietrznych dla zautomatyzowanego systemu dowodzenia OPL DUNAJEC-P oraz innych tego typu systemów.

Zasadnicza treść niniejszej rozprawy doktorskiej zawarta jest w 5 rozdziałach. Pierwszy z nich zawiera opis metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej znanych z literatury oraz metod opracowanych przez autora. Opis ten oraz logiczna analiza procesu przetwarzania danych pozwoliły na sformułowanie wstępnych wniosków odnośnie walorów i możliwości stosowania poszczególnych metod.

W rozdziale 2 prezentowane są różne, aktualnie stosowane systemy zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Są to przede wszystkim systemy użytkowane w wojskach OPK. Analiza zastosowanych w nich rozwiązań pozwoliła na wskazanie czynników decydujących o wykorzystaniu tych a nie innych metod przetwarzania danych o obiektach powietrznych. Wnioski wynikające z rozdziału 2 jak i 1 pozwalają m.in. ograniczyć zakres badań symulacyjnych oraz ustalić program badań stosownie do zarysowujących się hipotez.

Koncepcja zautomatyzowanego systemu zbierania informacji radiolokacyjnej dla potrzeb wojsk OPL przedstawiona została w rozdziale 3. Na jej tle sprecyzowano cel oraz zakres badań symulacyjnych. Ponadto, uwzględniając zarówno cel badań jak i realia pola walki, ustalono wskaźniki efektywności systemu.

Rozdział 4 rozprawy doktorskiej zawiera model symulacyjny badanego procesu. W części wstępnej przedstawiono ogólną koncepcję symulacji. Kolejne podrozdziały zawierają model oraz opis symulacji: lotu obiektów powietrznych, pomiaru współrzędnych celu, transmisji danych oraz uogólniania informacji radiolokacyjnej. Na zakończenie omówiono postać wyników wyprowadzanych przez program symulacyjny.

Na wstępie rozdziału 5 ostatecznie sprecyzowano program badań i dane wejściowe do symulacji. Dane opisują, w pewnym uproszczeniu, zautomatyzowany system rozpoznania radiolokacyjnego OPL armii oraz tory lotu śledzonych przez ten system obiektów powietrznych. Następnie przedstawiono przebieg eksperymentów symulacyjnych oraz uzyskane wyniki. Wyniki w postaci tabel, jako mało komunikatywne, potraktowane zostały jako załączniki, natomiast w omawianym

rozdziale zaprezentowano sporządzone na ich podstawie wykresy. Na zakończenie sformułowane zostały wnioski wynikające z przeprowadzonych eksperymentów symulacyjnych.

W wyniku przeprowadzonych badań symulacyjnych oszacowano, jaki wpływ na efektywność zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego mają metody przetwarzania danych o obiektach powietrznych oraz :

- kształt toru lotu obiektu powietrznego,
- zakłócenia stacji radiolokacyjnych,
- dokładność pomiaru współrzędnych obiektu powietrznego,
- odstęp czasu między kolejnymi pomiarami współrzędnych,
- wielkość bramki selekcyjnej.

Nie daje to wystarczających podstaw do podejmowania decyzji o przyjęciu takiego bądź innego rozwiązania w projektowanym, zautomatyzowanym systemie rozpoznania radiolokacyjnego. Przy podejmowaniu takiej decyzji uwzględniane muszą być potrzeby, względy ekonomiczne, możliwości realizacji oraz inne jeszcze czynniki. Niemniej, uzyskane w ramach tej rozprawy doktorskiej wyniki stanowią istotną wskazówkę i pomoc.

Na zakończenie części wstępnej pragnę podziękować płk mgr inż. Tadeuszowi Mirskiemu z Dowództwa Wojsk OPL i płk dr inż. Czesławowi Flankowi z Wojskowego Instytutu Informatyki, których inspiracja, życzliwa postawa oraz pomoc umożliwiły napisanie tej rozprawy.

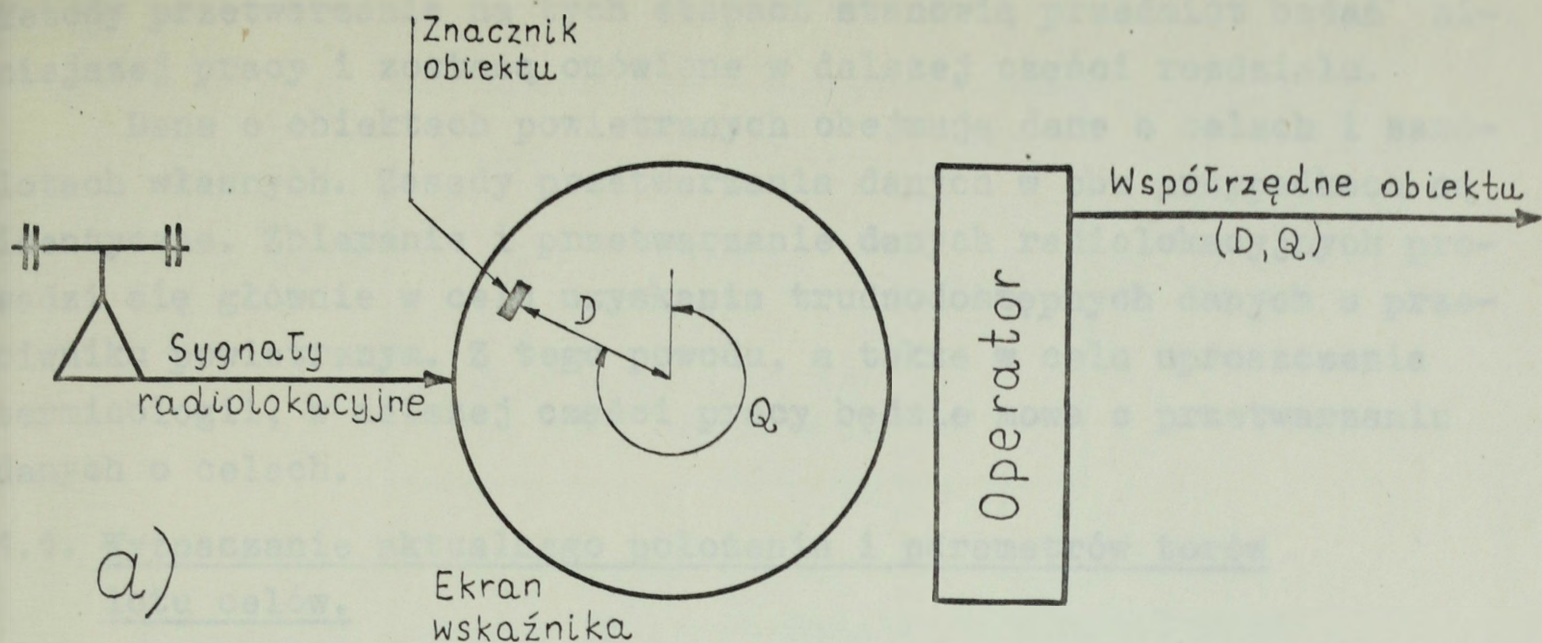
ROZDZIAŁ 1. METODY AUTOMATYCZNEGO PRZETWARZANIA DANYCH O OBIEKTACH POWIETRZNYCH.

Podstawowym źródłem informacji o położeniu i parametrach torów lotu obiektów powietrznych są, w systemie obrony przeciwlotniczej, stacje radiolokacyjne / RLS /. Informacje uzyskiwane tą drogą obarczone są błędami wynikającymi z parametrów technicznych RLS oraz występowania różnego rodzaju zakłóceń zewnętrznych i wewnętrznych. W celu podniesienia dokładności i wiarygodności danych o obiektach powietrznych oraz zwiększenia niezawodności śledzenia tych obiektów, informacja pierwotna, uzyskiwana z RLS podlega dalszemu przetwarzaniu. Ze względu na wymagany czas przetwarzania informacji, istnieje potrzeba permanentnego doskonalenia procesu zbierania danych o sytuacji powietrznej. Aktualny rozwój techniki, a w szczególności elektronicznej techniki obliczeniowej / ETO /, pozwala na automatyzację tego procesu.

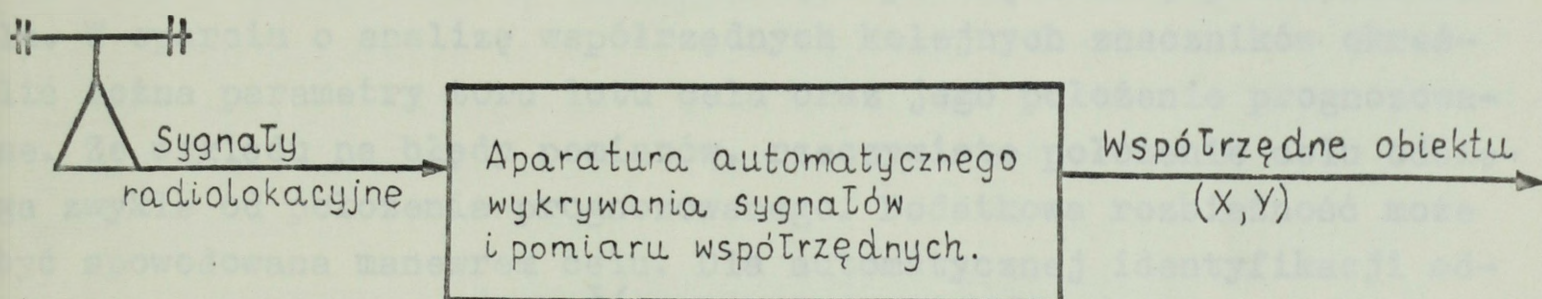
W teorii automatycznej obróbki informacji radiolokacyjnej wyróżnia się 3 podstawowe etapy / poziomy / przetwarzania. Zadaniem pierwszej obróbki informacji jest wykrycie sygnałów odbitych od obiektów powietrznych oraz pomiar współrzędnych tych obiektów. W systemie tradycyjnym sygnały te, zobrazowane na wskaźniku RLS^{1/}, wykrywa operator. Odczytuje on również współrzędne obiektu powietrznego, posługując się wyświetloną na ekranie siatką / rysunek 1 / Automatyzacja I etapu wymaga budowy specjalizowanych, analogowo - - cyfrowych urządzeń. Podstawy teoretyczne oraz metody stosowane w tych urządzeniach nie będą w niniejszej pracy analizowane. Automatyczne wykrywanie obiektów powietrznych i pomiar współrzędnych dają możliwość uzyskania aktualnych danych o położeniu obiektów przy każdym obrocie anteny RLS.

Aktualnie szeroko stosowane jest półautomatyczne śledzenie obiektów powietrznych. Operator wskazuje dwa pierwsze położenia obiektu. Współrzędne wskazanych punktów, określone automatycznie, wprowadzane są do elektronicznej maszyny cyfrowej / EMC /. W oparciu o te informacje EMC prognozuje położenie obiektu w kolejnych cyklach obserwacji. Położenie prognozowane wyświetlane jest na tym samym wskaźniku co i dane rzeczywiste, uzyskiwane ze stacji radiolokacyjnej. Operator ponownie wskazuje położenie rzeczywiste

1/ W niniejszej pracy symbol "RLS" oznacza odległościomierz pracujący w reżimie obserwacji okrężnej, natomiast pod pojęciem wskaźnika RLS rozumie się wskaźnik typu "P".



a)



b)

Rysunek 1. Schemat I etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej : a) — pomiar współrzędnych obiektu powietrznego przez operatora, b) — automatyczny pomiar współrzędnych.

/ dokonuje korekty śledzenia /, jeśli położenie prognozowane odbiega od rzeczywistego. Odstęp czasu między korektami zależy od konkretnej sytuacji. Wyznaczone przez EMC położenia obiektów powietrznych traktowane są jako położenia rzeczywiste.

Druga i trzecia^{2/} obróbka informacji radiolokacyjnej realizowane są z wykorzystaniem elektronicznych maszyn cyfrowych.

2/ Termin "obróbka informacji radiolokacyjnej" stanowi dosłowne tłumaczenie z języka rosyjskiego i jest powszechnie stosowany. Zgodnie z licznymi sugestiami, w niniejszej pracy używany jest równolegle, uznany za bardziej odpowiedni, termin "przetwarzanie informacji radiolokacyjnej".

Metody przetwarzania na tych etapach stanowią przedmiot badań niniejszej pracy i zostaną omówione w dalszej części rozdziału.

Dane o obiektach powietrznych obejmują dane o celach i samolotach własnych. Zasady przetwarzania danych w obu przypadkach są identyczne. Zbieranie i przetwarzanie danych radiolokacyjnych prowadzi się głównie w celu uzyskania trudnodostępnych danych o przeciwniku powietrznym. Z tego powodu, a także w celu uproszczenia terminologii, w dalszej części pracy będzie mowa o przetwarzaniu danych o celach.

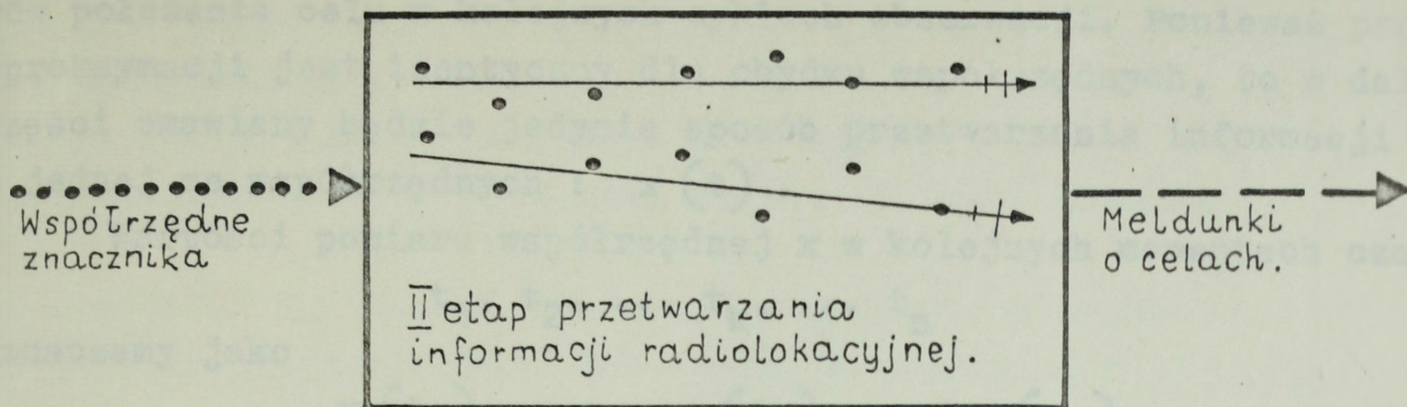
1.1. Wyznaczanie aktualnego położenia i parametrów torów lotu celów.

Wyznaczanie aktualnego położenia i parametrów torów lotu poszczególnych obiektów powietrznych jest zasadniczym celem II etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Na wskaźniku RLS położenie echa / znacznika / celu określa, w pewnej skali, położenie celu. W oparciu o analizę współrzędnych kolejnych znaczników określić można parametry toru lotu celu oraz jego położenie prognozowane. Ze względu na błędy pomiarów, rzeczywiste położenie celu odbiega zwykle od położenia prognozowanego. Dodatkowa rozbieżność może być spowodowana manewrem celu. Dla automatycznej identyfikacji odpowiadającego danej trasie^{3/} znacznika, wokół położenia ekstrapolowanego wyznacza się obszar prawdopodobnego położenia celu / bramkę /. W przypadku gdy w bramce pojawia się kilka znaczników, śledzony cel identyfikuje się w oparciu o dodatkowe zasady. Tak więc II etap przetwarzania informacji radiolokacyjnej obejmuje :

- określanie parametrów toru lotu celu,
- prognozowanie położenia celu,
- wyznaczanie bramki,
- identyfikację znacznika celu w bramce.

Tylko dwa pierwsze z wymienionych zadań będą przedmiotem analizy w niniejszej pracy. Zadania II etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej, w sposób uproszczony, przedstawiono na rysunku 2.

^{3/} Termin "trasa" określa tor lotu opisany za pomocą określonych parametrów i zarejestrowany w pamięci EMC. Pomiędzy trasą a odpowiadającym jej, rzeczywistym torem lotu celu występują różnice wynikające z błędów pomiaru parametrów toru lotu oraz błędów przetwarzania danych.



Rysunek 2. Schemat II etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Dane przekazywane cyklicznie z RLS określają kolejne położenia celu. Pozwala to na aproksymację toru lotu i wyznaczanie prognozowanego położenia celu. Do aproksymacji toru lotu, w zautomatyzowanym systemie zbierania i przetwarzania danych radiolokacyjnych, wykorzystane mogą być różne metody. Określa się je często mianem metod gładzenia toru lotu.

1.1.1. Aproksymacja metoda najmniejszych kwadratów.

Zadanie aproksymacji toru lotu celu sprowadza się do znalezienia optymalnej estymaty procesu przypadkowego przy zadanej funkcji kryterium. W praktyce, najczęściej stosowaną funkcją kryterium jest błąd średni kwadratowy pomiędzy wartościami pomiarów procesu a wartościami funkcji aproksymującej w momentach pomiarów. Funkcja aproksymująca może być wyznaczona metodą najmniejszych kwadratów [19]

Ruch celu opisany może być ciągłą, nieprzypadkową funkcją czasu w postaci :

$$x(t) = a_0 + a_1 t^1 + \dots a_l t^l = \sum_{i=0}^l a_i t^i ,$$

$$y(t) = b_0 + b_1 t^1 + \dots b_l t^l = \sum_{i=0}^l b_i t^i ,$$

gdzie a_i oraz b_i to niezależne współczynniki^{4/}.

4/ W niniejszej pracy współrzędne X i Y to współrzędne topograficzne w ustalonej strefie.

Współczynniki a_i oraz b_i wyznaczyć można w oparciu o wyniki pomiarów położenia celu w kolejnych cyklach obserwacji. Ponieważ proces aproksymacji jest identyczny dla obydwu współrzędnych, to w dalszej części omawiany będzie jedynie sposób przetwarzania informacji o jednej ze współrzędnych : $x(t)$.

Wartości pomiaru współrzędnej x w kolejnych momentach czasu :

$$t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_n$$

oznaczamy jako

$$x(t_1), \dots, x(t_k), \dots, x(t_n)$$

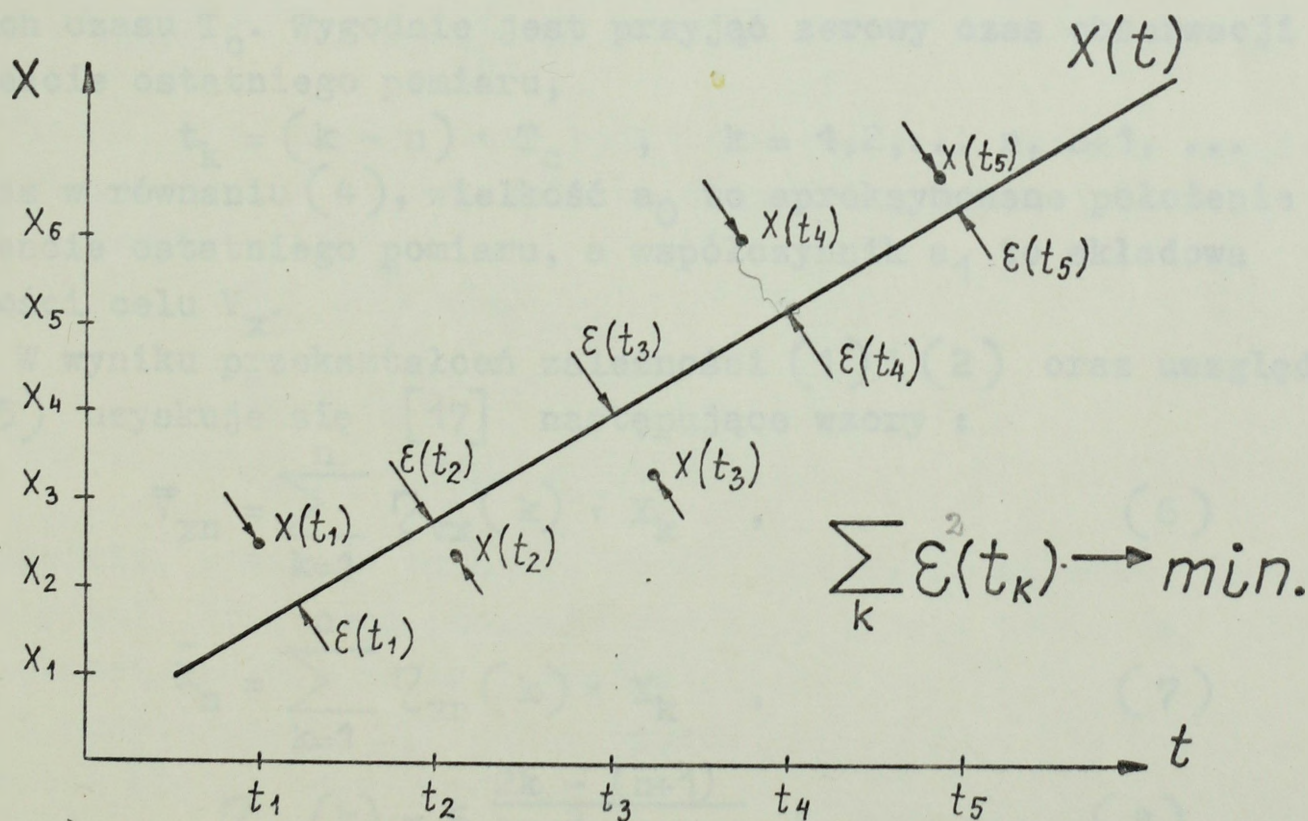
Przyjmuje się, że błąd pomiaru ma rozkład normalny o wartości przeciętnej $m_x = 0$ i wariancji σ_x^2 . Zakłada się przy tym, że w przypadku występowania błędu systematycznego może on być określony i zniwelowany. Wielomian aproksymujący

$$\bar{x}(t) = a_0 + a_1 t^1 + \dots + a_n t^n \quad (1)$$

wyznacza się, przyjmując jako kryterium funkcję w postaci

$$\bar{\varepsilon}^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon^2(t_k) \quad (2)$$

gdzie $\varepsilon(t_k) = x(t_k) - \bar{x}(t_k)$ to odchylenie wartości pomierzonej od wartości funkcji aproksymującej w momencie pomiaru / rysunek 3 /.



Rysunek 3. Ogólne zasady aproksymacji toru lotu metodą najmniejszych kwadratów.

Wyznaczenie wartości współczynników a_1, \dots, a_n przy zadanym kryterium jest równoznaczne z wyznaczeniem krzywej $x(t)$ zgodnie z zasadą maksymalnego prawdopodobieństwa. Można wykazać, że współczynniki wielomianu aproksymującego mogą być wyznaczone, gdy liczba współczynników jest nie większa od liczby cykli obserwacji :

$$n \geq 1 + 1 \quad (3)$$

Współczynniki a_1, \dots, a_n odpowiadają parametrom ruchu celu : prędkości, przyspieszeniu itp. Jak wynika z nierówności (3), liczba parametrów, które można określić w wyniku obróbki informacji uzyskanej w n cyklach obserwacji, nie przekracza $n-1$. Tak więc, żeby określić przyspieszenie celu, trzeba uwzględnić wyniki trzech kolejnych pomiarów. Zwiększanie liczby uwzględnianych pomiarów pociąga za sobą zwiększenia zapotrzebowania na pamięć i szybkość EMC oraz w istotny sposób komplikuje algorytm przetwarzania danych. Stąd przyjmuje się, że cel porusza się bądź ruchem jednostajnym prostoliniowym, bądź wykonuje manewr poruszając się ze stałą prędkością kątową.

W przypadku ruchu jednostajnego prostoliniowego funkcja aproksymująca ma postać :

$$\bar{x}(t) = a_0 + a_1 \cdot t = \sum_{i=0}^1 a_i \cdot t^i \quad (4)$$

Przyjmuje się, że informacje uzyskuje się z RLS cyklicznie, w odstępach czasu T_c . Wygodnie jest przyjąć zerowy czas obserwacji w momencie ostatniego pomiaru,

$$t_k = (k - n) \cdot T_c, \quad k = 1, 2, \dots, n, n+1, \dots \quad (5)$$

Wówczas w równaniu (4), wielkość a_0 to aproksymowane położenie celu w momencie ostatniego pomiaru, a współczynnik a_1 to składowa prędkości celu V_x .

W wyniku przekształceń zależności (1) i (2) oraz uwzględnienia (5) uzyskuje się [17] następujące wzory :

$$\bar{V}_{xn} = \sum_{k=1}^n \varrho_{vx}(k) \cdot X_k, \quad (6)$$

$$\bar{X}_n = \sum_{k=1}^n \varrho_{xn}(k) \cdot X_k, \quad (7)$$

$$\varrho_{vx}(k) = 6 \frac{2k - (n+1)}{n(n^2-1) \cdot T_c}, \quad (8)$$

$$x_n(k) = 2 \cdot \frac{3k - (n+1)}{n \cdot (n+1)} \quad (9)$$

Poważsze wzory pozwalają w oparciu o wyniki n pomiarów wyznaczyć aproksymowane położenie celu oraz jego prędkość w momencie ostatniego pomiaru. W celu wyznaczenia ekstrapolowanych wartości współrzędnej x dla kolejnych momentów :

$$x_e(t_{n+1}), x_e(t_{n+2}), \dots, x_e(t_{n+m})$$

wyznaczamy

$$t_{n+m} = (n+m-n) \cdot T_c = m \cdot T_c$$

W wyniku dalszych przekształceń wyjściowych zależności (1) oraz (2) otrzymuje się [17] :

$$x_e(t_{n+m}) = \sum_{k=1}^n \varrho_{xn+m}(k) x_k, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \varrho_{xn+m}(k) &= \varrho_{xn}(k) + \varrho_{vx}(k) \cdot m \cdot T_c = \\ &= \frac{6k \cdot (n-1+2m) - (n+1)[2 \cdot (n-1) + 6m]}{n \cdot (n^2-1)} \end{aligned} \quad (11)$$

Dla $m=1$ uzyskuje się następujące wzory na ekstrapolację położenia celu :

$$x_{en+1} = \sum_{k=1}^n \varrho_{xn+1}(k) \cdot x_k, \quad (12)$$

$$\varrho_{xn+1} = 2 \frac{3k - (n+2)}{n(n-1)} \quad (13)$$

W przypadku, gdy uwzględniamy tylko dwa ostatnie pomiary współrzędnych celu, wzory do wyznaczania położenia i prędkości celu są bardzo proste :

$$\bar{v}_{xn} = \frac{1}{T_c} (x_2 - x_1),$$

$$\bar{x}_n = x_n = x_2,$$

$$x_{en+1} = 2x_n - x_{n-1} = 2x_2 - x_1.$$

Równocześnie, uzyskane tą drogą wyniki obarczone są stosunkowo dużymi błędami. Przy uwzględnianiu większej liczby pomiarów, dokładność wyznaczania położenia i prędkości celu wzrasta.

Z przytoczonych uprzednio wzorów (5), (6) i (12) wynikają zależności błędów bezwzględnych :

$$\Delta v_x = \sum_{k=1}^n \varrho_{vx}(k) \cdot \Delta x_k,$$

$$\Delta x_n = \sum_{k=1}^n \varrho_x(k) \cdot \Delta x_k ,$$

$$\Delta x_{n+1} = \sum_{k=1}^n \varrho_{xn+1}(k) \cdot \Delta x_k ,$$

gdzie Δx_k to bezwzględny błąd pomiaru współrzędnej w k -tym cyklu obserwacji.

W oparciu o właściwości odchylenia standardowego oraz zależności (8), (9) i (13) możemy wyznaczyć :

$$\sigma_{\bar{v}_{xn}}^2 = \frac{12}{n \cdot (n^2 - 1) \cdot T_c} \cdot \sigma_x^2 , \quad (14)$$

$$\sigma_{x_n}^2 = \frac{2 \cdot (2n+1)}{n \cdot (n+1)} \cdot \sigma_x^2 , \quad (15)$$

$$\sigma_{x_{n+1}}^2 = \frac{2 \cdot (2n+1)}{n \cdot (n-1)} \cdot \sigma_x^2 . \quad (16)$$

Ze wzrostem liczby n pomiarów dokładność wyznaczania położenia i prędkości celu zdecydowanie rośnie. Natomiast błąd położenia ekstrapolowanego na jeden cykl obserwacji, nie większy od błędu pomiaru, uzyskuje się dopiero po uwzględnieniu 6 pomiarów.

W przypadku gdy cel wykonuje manewr kursem bądź prędkością, założenie o liniowej zmianie w czasie współrzędnych celu odbiega od rzeczywistości. W przypadku manewru, przy założeniu stałej prędkości kątowej, równanie toru lotu celu przyjmuje postać :

$$x(t) = x_0 + v_x \cdot t + \frac{a_x t^2}{2} ,$$

gdzie a_x - przyspieszenie celu wzdłuż osi x .

Przyjmując $t = m \cdot T_c$ otrzymujemy wzór na błąd ekstrapolacji położenia:

$$x_{emax} \leq \frac{a_x}{2} m \cdot T_c^2 .$$

Maksymalne dopuszczalne przyspieszenie a_{xmax} w przypadku manewrowania prędkością, dla współczesnych samolotów wynosi :

$$a_{xmax} < g ,$$

gdzie g - przyspieszenie ziemskie $\approx 10m/sec^2$.

Natomiast maksymalne przyspieszenie, w przypadku manewru kursem, osiągać może wartość $7g$.

Maksymalne przyspieszenia możliwe są jedynie w krótkich okresach czasu i przy sprzyjających okolicznościach. Podwieszenie dodatkowego uzbrojenia obniża zdolności manewrowe samolotu do $a_{xmax} \approx 5g$.

W przypadku grupy samolotów, maksymalne przyspieszenie nie przekracza 1,5g. Uwzględniając maksymalne wartości przyspieszenia, wyznaczyć można błąd ekstrapolacji wynikający z manewrowania celu. Stosunkowo łatwo zauważyć, że w przypadku manewrowania kursem wystąpić mogą znacznie większe błędy niż przy manewrowaniu prędkością.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że przy a_x nie przekraczającym 2g, cyklu obserwacji $T_c = 10$ sek i ekstrapolacji dla $m=1$ błąd wyznaczania położenia mieści się w granicach dokładności pomiarów [17].

W związku z tym celowym jest wyróżnienie słabego i silnego manewru.

W przypadku manewru słabego ($a_x \leq 2g$) stosowane mogą być wzory wyprowadzone dla ruchu jednostajnego prostoliniowego. Przy silnym manewrowaniu celu ($a_x > 2g$), dla wyznaczenia położenia ekstrapolowanego, konieczne jest korzystanie z innych wzorów.

Funkcja aproksymująca dla celu manewrującego ma postać :

$$\bar{x}_e(t) = \bar{x}_n + \bar{v}_{xn} \cdot t + \frac{\bar{a}_{xn}}{2} \cdot t^2$$

gdzie \bar{x}_n , \bar{v}_{xn} , \bar{a}_{xn} - wartości współczynników w momencie ostatniego pomiaru.

Tak jak dla celu niemanewrującego, wartości \bar{x}_n , \bar{v}_{xn} , \bar{a}_{xn} wyznaczyć można metodą najmniejszych kwadratów, z uwzględnieniem conajmniej 3 cykli obserwacji. Wzory do wyznaczania wartości tych współczynników, przy uwzględnianiu 3 kolejnych pomiarów, mają postać :

$$\bar{v}_{xn} = \frac{1}{T_c} \left(\frac{1}{2}x_3 - 2x_2 + \frac{3}{2}x_1 \right) ,$$

$$\bar{a}_{xn} = \frac{1}{T_c^2} \left(x_3 - 2x_2 + x_1 \right) ,$$

$$\bar{x}_n = x_n = x_3 ,$$

$$x_{en+1} = 3x_3 - 3x_2 + x_1 .$$

Błędy obliczonych parametrów wynoszą :

$$\sigma_{vx}^2 = \frac{12}{T_c} \cdot \frac{(2n-1)(8n-11)}{n(n^2-1)(n^2-4)} \cdot \sigma_x^2 ,$$

$$\sigma_{ax}^2 = \frac{1}{T_c^4} \cdot \frac{60}{n(n^2-1)(n^2-4)} \cdot \sigma_x^2 .$$

1.1.2. Uśrednianie parametrów toru lotu.

Wyniki pomiaru współrzędnych celu w dwu ostatnich cyklach obserwacji zapisujemy w postaci :

$$\left(X_{n-1}, Y_{n-1} \right) \text{ i } \left(X_n, Y_n \right) .$$

W oparciu o te dane wyznaczyć możemy prędkość V_n oraz kurs Q_n lotu celu w momencie ostatniego pomiaru :

$$V_n = \frac{1}{T_c} \cdot \sqrt{\Delta x_n^2 + \Delta y_n^2} \quad ,$$

$$Q_n = \text{arc tg} \frac{\Delta x_n}{\Delta y_n} \quad ,$$

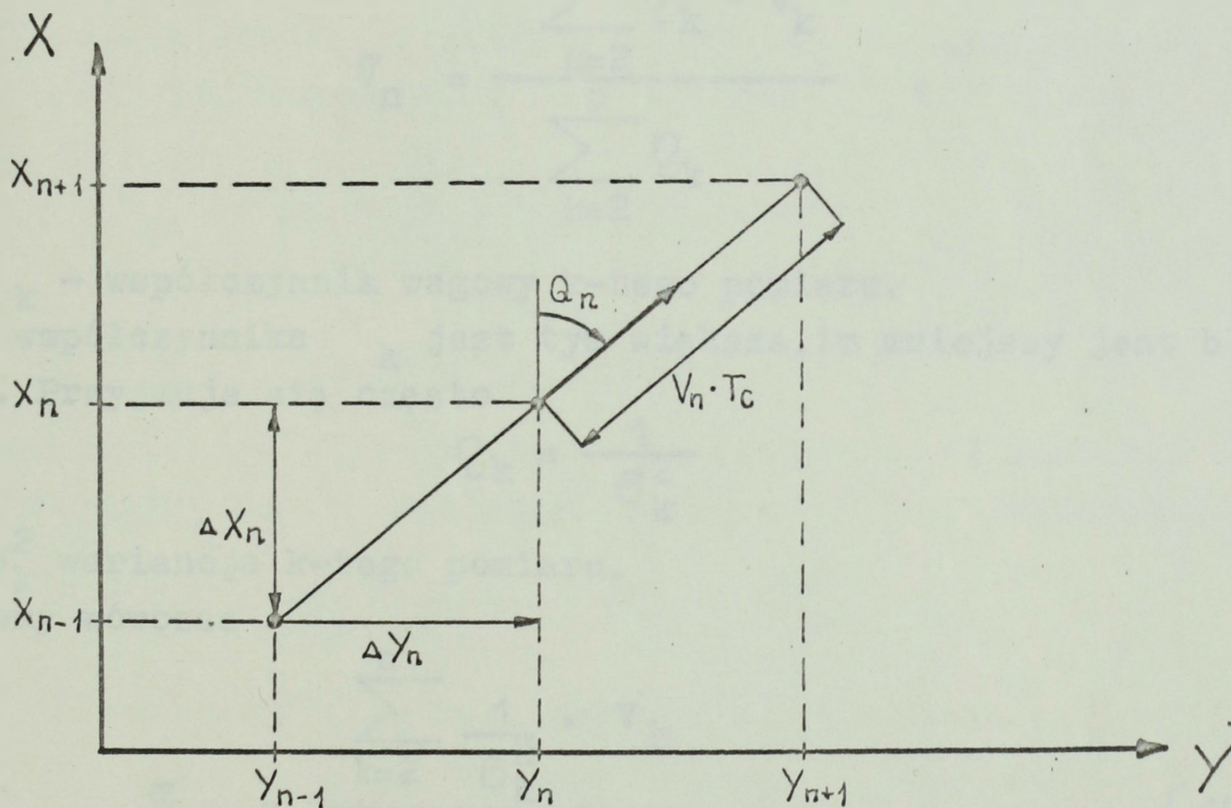
gdzie $\Delta x_n = x_n - x_{n-1}$, $\Delta y_n = y_n - y_{n-1}$.

Współrzędne celu w momencie następnego pomiaru obliczamy ze wzorów :

$$X_{n+1} = X_n + V_n \cdot T_c \cdot \cos Q_n = X_n + V_{xn} \cdot T_c = x_n + \Delta x_n \quad ,$$

$$Y_{n+1} = Y_n + V_n \cdot T_c \cdot \sin Q_n = Y_n + V_{yn} \cdot T_c = y_n + \Delta y_n \quad .$$

Ogólny schemat wyznaczania położenia przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Schemat wyznaczania położenia ekstrapolowanego w oparciu o parametry lotu celu.

Przytoczone zależności stanowią podstawę bardzo prostych algorytmów obróbki informacji radiolokacyjnej. Korzystając z tej metody, w prosty sposób wykryć można manewr celu, badając zmianę wartości V oraz Q . Ze względu na możliwe, duże błędy obliczeń opisywana metoda obejmować powinna również estymację rzeczywistych parametrów toru lotu.

Estymacja, w najprostszym przypadku, sprowadza się do uśrednienia wartości parametru / np. prędkości / uzyskanych w wyniku kolejnych pomiarów / obliczeń / :

$$\bar{v}_n = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n v_k ,$$

gdzie : n - liczba pomiarów,

v_2, \dots, v_n - kolejne wartości parametru.

Powyższa metoda stosowana może być w przypadku, gdy wartość parametru nie zmienia się i dokładność poszczególnych obliczeń jest taka sama. W innych, bardziej ogólnych przypadkach, stosuje się uśrednianie ważone, przy czym współczynniki wagowe wyznaczone mogą być w różny sposób.

Pomierzone wartości parametru obarczone są często różnymi błędami. Uśrednioną wartość wyznaczyć można wówczas ze wzoru :

$$\bar{v}_n = \frac{\sum_{k=2}^n \eta_k \cdot v_k}{\sum_{k=2}^n \eta_k} ,$$

gdzie η_k - współczynnik wagowy k -tego pomiaru.

Wartość współczynnika η_k jest tym większa, im mniejszy jest błąd pomiaru. Przyjmuje się często

$$\eta_k = \frac{1}{\sigma_k^2} ,$$

gdzie σ_k^2 wariancja k -tego pomiaru.

Uzyskujemy wówczas

$$\bar{v}_n = \frac{\sum_{k=2}^n \frac{1}{\sigma_k^2} \cdot v_k}{\sum_{k=2}^n \frac{1}{\sigma_k^2}} , \quad (17)$$

$$\sigma_{vn}^2 = \frac{1}{\sum_{k=2}^n \frac{1}{\sigma_k^2}} . \quad (18)$$

Przekształcając powyższe zależności, uzyskujemy rekurencyjne wzory

do wyznaczania średniej wartości parametru :

$$\bar{v}_n = \frac{\frac{1}{\sigma_{\bar{v}_{n-1}}^2} \cdot \bar{v}_{n-1} + \frac{1}{\sigma_{v_n}^2} \cdot v_n}{\frac{1}{\sigma_{\bar{v}_{n-1}}^2} + \frac{1}{\sigma_{v_n}^2}}, \quad (19)$$

$$\sigma_{\bar{v}_n}^2 = \frac{\sigma_{\bar{v}_{n-1}}^2 \cdot \sigma_{v_n}^2}{\sigma_{\bar{v}_{n-1}}^2 + \sigma_{v_n}^2}. \quad (20)$$

Powyższe wzory pozwalają udokładniać średnią wartość parametru po każdym pomiarze. Stosowanie ich jest wygodne również w przypadku, gdy błędy pomiarów są takie same, t.j. gdy

$$\sigma_{v_1} = \sigma_{v_2} = \dots = \sigma_{v_n}.$$

Prędkość średnia uzyskiwana w wyniku n pomiarów współrzędnej x celu oraz jej bezwzględny błąd wynoszą :

$$\bar{v}_{xn} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n v_{xk} = \frac{x_n - x_1}{(n-1) \cdot T_c}, \quad (21)$$

$$\Delta \bar{v}_{xn} = \frac{1}{(n-1) \cdot T_c} \cdot (\Delta x_n - \Delta x_1).$$

Przy założeniu, że błędy pomiarów są wielkościami losowymi o rozkładzie normalnym, możemy wyznaczyć wariancję błędu uśredniania :

$$\sigma_{\bar{v}_{xn}}^2 = \frac{1}{(n-1)^2 \cdot T_c^2} (\sigma_{x_n}^2 + \sigma_{x_1}^2). \quad (22)$$

Ekstrapolowane położenie celu oblicza się ze wzoru :

$$x_{en+1} = x_n + \bar{v}_{xn} \cdot T_c.$$

Uwzględniając /21/ oraz /22/ wyznacza się błąd średni ekstrapolacji współrzędnej :

$$\sigma_{x_{n+1}} = \frac{1}{n-1} \cdot \sqrt{\frac{n^2}{\sigma_{x_n}^2} + \sigma_{x_1}^2}.$$

Podstawową zaletą prezentowanej metody jest, że wysoką dokładność obliczeń uzyskuje się przy małym wykorzystaniu pamięci EMC. Przy małej liczbie uwzględnianych pomiarów, dokładność metody uśredniania ważonego jest praktycznie taka sama jak aproksymacji metodą

najmniejszych kwadratów [17]. W pamięci EMC przechowuje się przy tym jedynie uśrednioną wartość parametru i odpowiadającą jej wariancję. Jednak metodę tę stosować można jedynie do wyznaczania wartości parametrów stałych t.j. wówczas, gdy cel nie manewruje. W przypadku gdy prędkość lub kurs celu zmieniają się, powyższa metoda gładzenia nie może być stosowana. Celowym jest wówczas stosowanie funkcji wagowej w postaci wykładniczej.

Analiza ruchu obiektów powietrznych wskazuje, że korelacja między pomierzonymi wartościami parametru zmniejsza się wykładniczo ze wzrostem przedziału czasu między pomiarami. Celowym jest więc uwzględnianie rezultatów poprzednich pomiarów ze zmniejszającymi się współczynnikami wagowymi. Uśrednioną wartość parametru wyznacza się wówczas ze wzoru :

$$\bar{v}_n = (1 - \varphi) v_n + \varphi \cdot \bar{v}_{n-1} \quad , \quad (23)$$

gdzie φ - współczynnik gładzenia.

Przekształcając wzór /23/ otrzymujemy :

$$\bar{v}_n = \sum_{k=2}^n (1 - \varphi) \cdot \varphi^{n-k} \cdot v_k = \sum_{k=2}^n \eta(k) \cdot v_k \quad , \quad (24)$$

gdzie $\eta(k) = (1 - \varphi) \cdot \varphi^{n-k}$ - wagowa funkcja k-tego pomiaru. Zależność $\eta(k)$ od porządkowego numeru pomiaru ma charakter wykładniczy. Dokładność obliczenia parametrów ruchu celu z wykorzystaniem prezentowanej metody zależy od charakteru ruchu celu oraz wartości współczynnika φ . Im mniejsza wartość współczynnika, tymw mniejszym stopniu uwzględniane są poprzednie pomiary. Wartość φ dobiera się eksperymentalnie. Stwierdzono [17], że porządane dokładność śledzenia celów uzyskać można, przy wartości współczynnika φ :

$$0.35 \leq \varphi \leq 0.65$$

1.1.3. Aproksymacja toru lotu za pomocą filtru Kalmana.

Filtr Kalmana jest to układ równań pozwalający na estymację parametrów stochastycznego procesu stacjonarnego. Parametry procesu wyznacza się w oparciu o ciąg pomiarów oraz dane o błędach pomiarów. Parametry szacowane są z dużą dokładnością, przy czym kolejne pomiary uwzględniane są z coraz to mniejszą wagą. Uniemożliwia to zastosowanie filtru Kalmana w jego klasycznym rozumieniu [15] do aproksymacji toru lotu celów manewrujących.

W pracy [4] uzyskano aparat matematyczny, który umożliwia wyznaczenie parametrów toru lotu celów, poruszających się ruchem jednostajnym oraz zmiennym. Przyjęte założenia powodują, że w procesie

estymacji parametrów uwzględniane są 3 ostatnie pomiary położenia celu. Istotną zaletą wyprowadzonych wzorów jest, że mogą być one stosowane również wówczas, gdy odstępy pomiędzy kolejnymi pomiarami nie są takie same. Wzory na wyznaczanie aproksymowanych wartości położenia i prędkości lotu celu mają postać :

$$\bar{X}_n = X_{en} + \alpha_n \cdot (X_n - X_{en}) \quad , \quad (25)$$

$$\bar{V}_{xn} = \bar{V}_{xn-1} + \frac{\beta_n}{\tau_n} \cdot (X_n - X_{en}) \quad (26)$$

$$X_{en} = X_{n-1} + V_{xn-1} \cdot \tau_n \quad ,$$

gdzie : \bar{X}_n, \bar{V}_{xn} - aproksymowane wartości położenia i prędkości lotu w momencie ostatniego / n-tego / pomiaru,

$\bar{X}_{n-1}, \bar{V}_{xn-1}$ - aproksymowane wartości położenia i prędkości lotu w momencie przedostatniego / n-1 / pomiaru,

X_n - pomierzone, ostatnie położenie celu,

X_{ne} - położenie celu ekstrapolowane na moment ostatniego pomiaru,

τ_n - odstęp czasu między dwoma ostatnimi pomiarami ($\tau_n = t_n - t_{n-1}$),

α_n, β_n - współczynniki filtru Kalmana.

Wyznaczone w pracy [4] współczynniki filtru Kalmana mają wartości :

$$\alpha_n = \frac{1 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2}}{2 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2}} \quad , \quad (27)$$

$$\beta_n = \frac{\frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \cdot \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2}}{2 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2}} \quad , \quad (28)$$

gdzie : τ_{n-1} - odstęp czasu między dwoma poprzednimi pomiarami

($\tau_{n-1} = t_{n-1} - t_{n-2}$) ,

t_n, t_{n-1}, t_{n-2} - czas trzech ostatnich pomiarów.

Błąd ekstrapolowanego położenia celu (X_{ne}) wyznacza się ze wzoru :

$$\sigma_{xe}^2 = \sigma_x^2 \cdot \left(1 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2} \right), \quad (29)$$

gdzie σ_x^2 - wariancja błędu pomiaru położenia.

Błędy aproksymowanych wartości położenia i prędkości lotu w momencie ostatniego pomiaru (\bar{X}_n, \bar{V}_n) wynoszą :

$$\sigma_{\bar{x}_n}^2 = \sigma_x^2 \frac{1 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2}}{2 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2}}, \quad (30)$$

$$\sigma_{\bar{v}_{xn}}^2 = \sigma_x^2 \frac{3}{\tau_{n-1}^2 \cdot \left(2 + 2 \frac{\tau_n}{\tau_{n-1}} + 2 \frac{\tau_n^2}{\tau_{n-1}^2} \right)}. \quad (31)$$

Przytoczone wzory dotyczą współrzędnej X oraz składowej prędkości V_x . Według analogicznych zależności wyznacza się współrzędną y i składową prędkości V_y .

Wysoką przydatność przytoczonej metody wyznaczania parametrów toru lotu celów potwierdziły przeprowadzone badania [4]. Jej istotną wadą jest złożony aparat matematyczny. Wadę tę w pewnym zakresie likwiduje się zakładając, że τ_n oraz τ_{n-1} przyjmują wartości ze skończonego, niewielkiego zbioru. Założenie to, praktycznie uzasadnione, pozwala na wcześniejsze obliczenie wszystkich niezbędnych wartości parametrów filtra α_n i β_n . W trakcie śledzenia celów, w zależności od τ_n oraz τ_{n-1} potrzebne wartości α_n i β_n pobierane są z uprzednio przygotowanych tablic.

1.2. Synteza danych o położeniu i parametrach torów lotu celów.

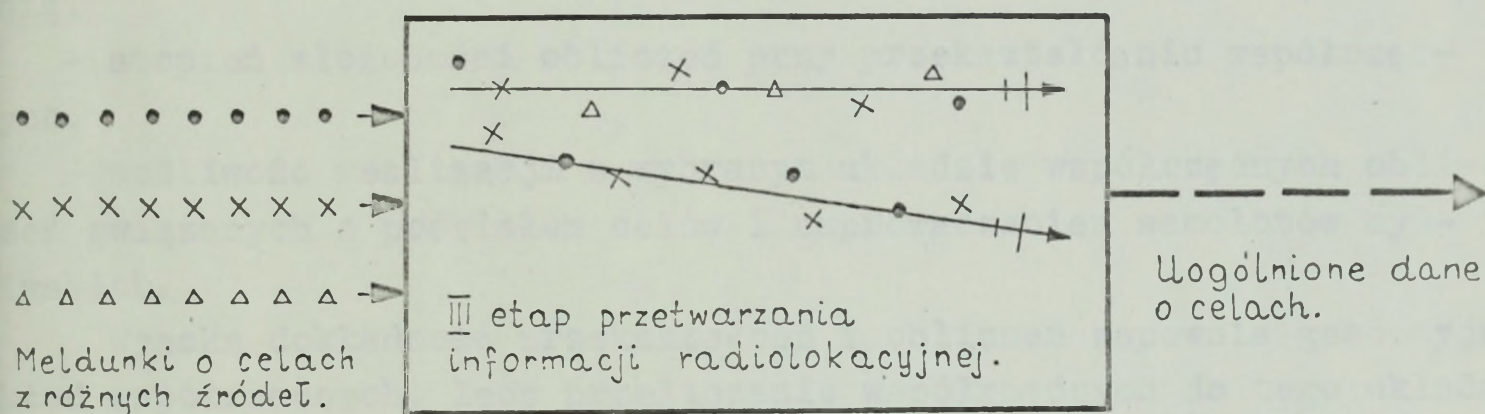
Drugi etap przetwarzania informacji radiolokacyjnej realizowany jest bezpośrednio na stacji radiolokacyjnej bądź w obiekcie bezpośrednio ze stacją współpracującym. Z punktu widzenia procesu przetwarzania informacji radiolokacyjnej, obiekty realizujące ten etap stanowią źródło informacji wtórnej / ZIW /. Dane o celach uzyskane po II etapie przetwarzania przekazywane są z ZIW na SD jednostki radiotechnicznej / brygady, pułku, samodzielnego batalionu /. Stanowisko dowodzenia dane o tym samym celu uzyskiwać może z różnych źródeł. Czas przekazywania meldunków nie jest przy tym koordynowany,

a położenie celu określane może być w różnych układach współrzędnych, z dokładnością charakterystyczną dla danego źródła.

Celem III etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej jest uzyskanie syntetycznych danych o położeniu i parametrach torów lotu celów, w oparciu o informacje przekazywane z kilku źródeł. Etap ten obejmuje :

- sprowadzenie informacji do jednolitego układu współrzędnych oraz odniesienie jej do czasu przetwarzania,
- identyfikację meldunków odnoszących się do tego samego celu,
- uogólnienie danych o celach.

Zadania III etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej w sposób uproszczony przedstawiono na rysunku 5.



Rysunek 5. Schemat III etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Powyższe zadania realizuje się poprzez okresowe bądź sekwencyjne przetwarzanie meldunków przekazywanych z ZIW. Okresowe - polega na tym, że meldunki przekazywane z ZIW są gromadzone i przetwarzane cyklicznie, przy czym określony jest czas cyklu uogólniania T_{cu} . Czas opóźnienia informacji wynosi w tym przypadku :

$$\tau_o = T_{cu} + T_{pn} ,$$

gdzie T_{pn} - czas przetwarzania n meldunków.

Przy omawianej metodzie, w czasie gromadzenia meldunków, EMC może być wykorzystywana do realizacji innych zadań. Przetwarzanie sekwencyjne polega na kolejnym przetwarzaniu napływających meldunków.

W przypadku tej metody czas opóźnienia wynosi :

$$\tau_o = T_o + T_p ,$$

gdzie : T_o - czas oczekiwania meldunku w kolejce do przetwarzania,
 T_p - czas przetwarzania pojedynczego meldunku.

Czas oczekiwania w kolejce, przy odpowiedniej szybkości obliczeń, może być pominięty. Metoda sekwencyjnego przetwarzania daje więc krótszy czas opóźnienia informacji lecz jest trudniejsza w zastosowaniu, m.in. ze względu na konieczność wykorzystywania EMC do realizacji zadań nie związanych bezpośrednio z przetwarzaniem informacji radiolokacyjnej.

1.2.1. Ujednoczenie informacji w czasie i przestrzeni.

Podstawowym problemem w ramach omawianego zadania jest wybór układu współrzędnych. Decyzja o przyjęciu określonego układu uwzględniać powinna m.in. :

- możliwość przekształcania współrzędnych z wymaganą dokładnością,
- stopień złożoności obliczeń przy przekształcaniu współrzędnych,
- możliwość realizacji w wybranym układzie współrzędnych obliczeń związanych z podziałem celów i naprowadzaniem samolotów myśliwskich.

Wysoką dokładność przekształceń i obliczeń zapewnia geodezyjny układ współrzędnych, lecz przeliczanie współrzędnych do tego układu jest zadaniem złożonym. Najprostrzym w zastosowaniu jest układ prostokątny. Łatwo realizuje się w nim podział celów i naprowadzanie samolotów myśliwskich. Błędy przekształceń na odległościach zbliżonych do zasięgu wykrywania RLS mieszczą się w dopuszczalnych granicach. Stąd, układ prostokątny wykorzystywany jest dla potrzeb dowodzenia obroną powietrzną na szczeblach taktycznych. Z układu geodezyjnego korzysta się natomiast przy przekazywaniu meldunków o celach na wyższe szczeble dowodzenia obroną powietrzną.

Przetwarzane informacje o położeniu celów odniesione muszą być do tego samego czasu. Zadanie to realizuje się poprzez ekstrapolację współrzędnych celu na czas przetwarzania. Czas ekstrapolacji jest krótki i w związku z tym przyjmuje się hipotezę o jednostajnym, prostoliniowym ruchu celów. Stąd, współrzędne ekstrapolowane wyznaczają się z zależności :

$$X_e = X(t_k) + V_x(t_k) \cdot \tau_e \quad ,$$

gdzie : τ_e - czas / odstęp / ekstrapolacji,

t_k - czas określenia współrzędnych i prędkości celu.

Przy założeniu, że błąd pomiaru współrzędnych i błąd określania prędkości są skorelowanymi błędami o rozkładzie normalnym, błąd ekstrapolacji wyraża się :

$$\sigma_{xe}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_{vx}^2 \cdot \tau_e^2 + 2k_x \cdot \sigma_x \cdot \sigma_{vx} \cdot \tau_e$$

Przy obliczaniu prędkości celu w oparciu o dwa ostatnie pomiary położenia

$$\sigma_{vx}^2 = \frac{2}{\Delta t^2} \cdot \sigma_x^2$$

$$k_x = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\sigma_{xe}^2 = \sigma_x^2 \left(1 + 2 \frac{\tau_e}{\Delta t} + 2 \frac{\tau_e^2}{\Delta t^2} \right)$$

gdzie : σ_x^2 - wariancja błędu pomiaru położenia celu,

t - czas pomiędzy dwoma ostatnimi pomiarami położenia celu.

1.2.2. Identyfikacja meldunków.

Celem identyfikacji jest ustalenie, które z meldunków przekazywanych z różnych źródeł dotyczą tego samego celu i ile celów faktycznie jest śledzonych w systemie. Wyróżnia się dwie podstawowe metody identyfikacji danych :

- 1) poprzez grupowanie,
- 2) z wykorzystaniem informacji pomocniczych przekazywanych z ZIW.

W przypadku konkretnego systemu metody te mogą być w różny sposób implementowane. Meldunki przekazywane z ZIW zawierać mogą numery celów. W wyniku identyfikacji meldunków, na SD poszczególnym celom nadawany jest numer systemowy / uogólniony /. Często, dla uproszczenia numer ten określa się mianem numeru trasy.

Meldunek przekazywany z j-tego źródła o i-tym celu zapisać możemy w postaci zbioru :

$$R_{ij} = \{ N_{ij}, ZN_{ij}, ZZ_{ij}, X_{ij}, Y_{ij}, V_{xij}, V_{yij}, H_{ij}, \dots \}$$

Elementy meldunku określające położenie celu oraz kierunek i prędkość lotu $X_{ij}, Y_{ij}, V_{xij}, V_{yij}, H_{ij}, \dots$ określa się mianem danych lub współrzędnych metrycznych.

Oznaczamy zbiór kolejnych współrzędnych metrycznych :

$$U_{ij} = \{ U_{kij} \} \quad k=1, \dots, K, \quad U_{ij} \subset R_{ij}$$

gdzie : K - liczba współrzędnych metrycznych w meldunku.

Obok współrzędnych metrycznych w skład meldunku wchodzić mogą

informacje pomocnicze, takie jak :

N_{ij} - numer celu określony w źródle,

ZN_{ij} - znacznik nowego celu,

ZZ_{ij} - znacznik zaniku celu, itp.

Informacje te określa się mianem danych bądź elementów służbowych.

Wprowadza się pojęcie rozbieżności między meldunkami R_{ij} i R_{ls} .

Mianem tym określa się liczbę ρ_m :

$$\rho_m = \rho_{ijlx} = \sqrt{\sum_{k=1}^k \beta_k \cdot (U_{kij} - U_{kls})},$$

gdzie β_k - wagowy współczynnik k-tej współrzędnej metrycznej meldunku.

Dla grupy 3 i więcej meldunków, dla każdej pary określić można wskaźnik rozbieżności ρ_m .

W grupie d meldunków wyróżnić można D par meldunków :

$$D = C_d^2 = \frac{d!}{2! (d-2)!}.$$

Dla grupy tej określa się normę grupy :

$$\rho_g = \sqrt{\frac{1}{D} \sum_{m=1}^D \rho_m}$$

W ogólnym przypadku norma grupy jest tym mniejsza, im mniejsza jest rozbieżność między meldunkami. Norma jest miarą tożsamości meldunków w grupie i może być wykorzystana w procesie identyfikacji meldunków z różnych źródeł.

Zdefiniowane wyżej pojęcia i wskaźniki wykorzystywane są do identyfikacji meldunków o celach metodą grupowania. Ze względu na błędy pomiarów, współrzędne metryczne określone w różnych meldunkach o tym samym celu różnią się między sobą. Dlatego meldunki (R_{ij} i R_{ls}) z dwóch różnych źródeł utożsamia się, jeśli różnica między ich metrycznymi współrzędnymi nie przekracza dopuszczalnej normy :

$$\begin{aligned} |X_{ij} - X_{ls}| &\leq \Delta X_{dop}, & , \\ |Y_{ij} - Y_{ls}| &\leq \Delta Y_{dop}, & , \\ |H_{ij} - H_{ls}| &\leq \Delta H_{dop}. & \text{itd.} \end{aligned}$$

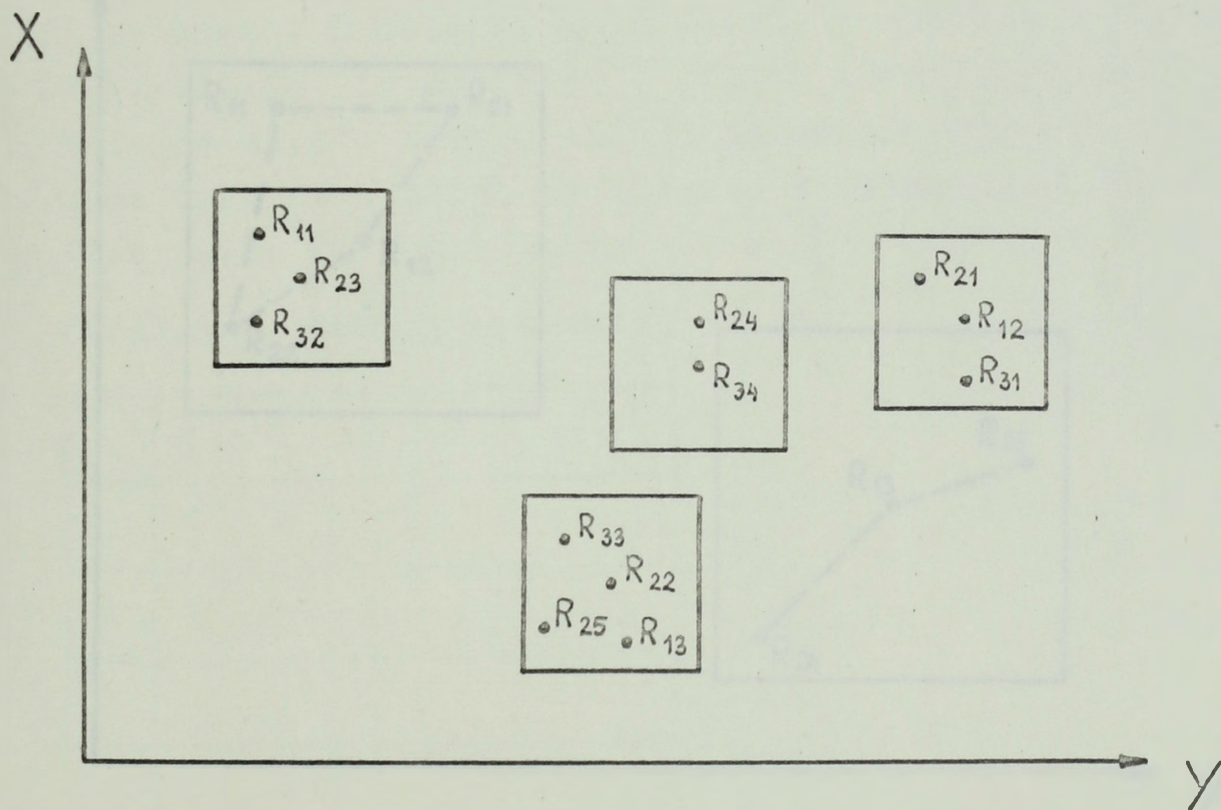
Powyższy zestaw warunków można zapisać w postaci :

$$|U_{kij} - U_{kls}| \leq \Delta U_{kdop}, \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

Wprowadza się wskaźnik tożsamości meldunków R_{ij} i R_{ls} :

$$W_T(R_{ij}, R_{ls}) = \begin{cases} 1 & \text{gdy } |U_{kij} - U_{kls}| \leq \Delta U_{kdop.} \text{ dla} \\ & k=1, 2, \dots, K, \\ 0 & \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases}$$

Dla wybrania meldunków odnoszących się do tego samego celu, ze zbioru wszystkich meldunków wybiera się dowolny, porównuje go z pozostałymi i wszystkie meldunki dla których wskaźnik tożsamości $W_T=1$ odnosi do jednego celu. W podobny sposób postępuje się z pozostałymi, nie utożsamionymi meldunkami. W ten sposób wyróżnia się podstawowe grupy meldunków / rysunek 6 /.



Rysunek 6. Identyfikacja meldunków przez grupowanie ; podstawowe grupy meldunków.

Praktyka wskazuje, że możliwe odchylenia współrzędnych celu mogą być duże. W związku z tym, w grupie podstawowej mogą znajdować meldunki o różnych celach. Rodzi to konieczność dalszej analizy meldunków w grupie. Identyfikację meldunków w grupie podstawowej prowadzi się w oparciu o następujące, logiczne zasady :

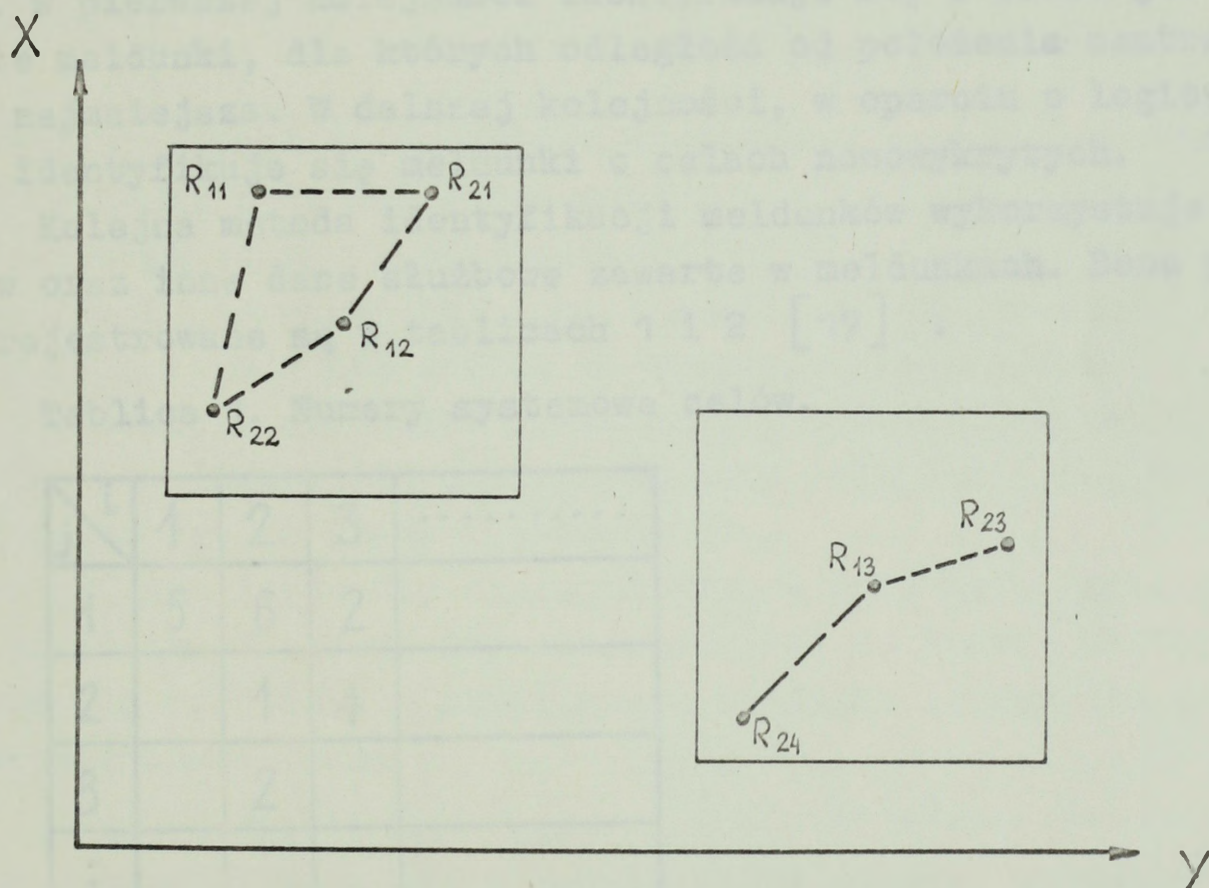
- a) jeśli w grupie są meldunki z jednego ZIW, to jest tyle celów ile jest meldunków;
- b) jeśli każdy z meldunków w grupie pochodzi z innego źródła,

to jest jeden cel;

c) jeśli w grupie jest równa liczba meldunków z każdego źródła to przyjmuje się, że w grupie jest tyle celów ile meldunków przekazano z jednego ZIW;

d) jeśli w grupie liczby meldunków z różnych ZIW nie są takie same, to przyjmuje się, że jest tyle celów jaka jest maksymalna liczba meldunków z jednego źródła.

W przypadkach a i b identyfikację meldunków w grupie uznaje się za zakończoną. W pozostałych przypadkach konieczne jest grupowanie meldunków w ramach grupy podstawowej / rysunek 7 /.



Rysunek 7. Różne warianty łączenia meldunków w grupie podstawowej, gdy z dwóch źródeł uzyskano meldunki o dwóch celach.

W tym celu dla każdego wariantu grupowania wyznacza się normę grupowania :

$$P_{gh} = \sqrt{\frac{1}{q} \sum_{v=1}^q P_{gv}^2}$$

gdzie : q - liczba celów w grupie podstawowej,

P_{gv} - norma grupy utożsamionej z jednym celem.

Za optymalny przyjmuje się ten wariant grupowania meldunków, dla którego norma ma wartość najmniejszą. W efekcie realizacji powyższego algorytmu zidentyfikowane zostają meldunki odnoszące się do tych

samych celów.

Podstawową wadą opisaney metody jest duże zapotrzebowanie na moc obliczeniową EMC. Przy analizie meldunków w grupie podstawowej, w przypadku gdy każde z m źródeł przekazuje informacje o n celach, konieczne jest rozpatrzenie

$$h = (m - 1) n!$$

wariantów grupowania.

Metoda grupowania stosowana może być w postaci uproszczonej. Grupy podstawowe wydziela się wówczas wokół ekstrapolowanego położenia celu bądź wokół meldunków ze źródła uznanego za priorytetowe. W pierwszej kolejności identyfikuje się z celem już śledzonym te meldunki, dla których odległość od położenia centralnego jest najmniejsza. W dalszej kolejności, w oparciu o logiczne zasady identyfikuje się meldunki o celach nowo wykrytych.

Kolejna metoda identyfikacji meldunków wykorzystuje numery celów oraz inne dane służbowe zawarte w meldunkach. Dane pomocnicze rejestrowane są w tablicach 1 i 2 [17].

Tablica 1. Numery systemowe celów.

$j \backslash i$	1	2	3
1	5	6	2	
2		1	4	
3		2		
⋮				

W tablicy 1, kolumny i odpowiadają kolejnym źródłom informacji, natomiast j to numer nadawany celowi przez ZIW. Wewnątrz tablicy zapisane są numery celów w systemie numeracji SD / numery tras/. Dla przykładu: cel ze źródła 3 o numerze 1 ma numer systemowy 2. Cel ten śledzony jest równocześnie przez ZIW 2 z numerem 3. W tablicy 2 kolumny i to numery źródeł informacji, natomiast r to numery systemowe celów / tras /. Wewnątrz tablicy zaznacza się, które źródło dany cel śledzi.

Tablica 2. Informacje o śledzeniu celów przez poszczególne ZIW.

$r \backslash i$	1	2	3
1		+	+	
2		+		
3	+	+	+	
⋮				
⋮				
⋮				
⋮				
⋮				

Wykorzystując tablice, w prosty stosunkowo sposób można identyfikować meldunki z celami / trasami /.

Zasady postępowania są następujące [17]:

1. W pierwszej kolejności analizuje się znacznik zaniku celu / ZZ_{ij} /. Gdy cel zanikł to koryguje się tablice 1 i 2. Z tablicy 1 odczytuje się numer systemowy, a następnie w tablicy 2 sprawdza się liczbę ZIW śledzonych dany cel. Jeśli cel śledziło tylko jedno źródło trasę likwiduje się.

2. Analizuje się znacznik ZN_{ij} - nowy cel. Jeśli cel nie jest nowym to odnajduje się odpowiadającą mu trasę. Następnie porównuje się współrzędne określone w meldunku ze współrzędnymi ekstrapolowanymi trasy:

$$|U_{kij} - U_{ker}| \leq \Delta U_{k dop}, \quad k=1,2,\dots K. \quad (32)$$

Meldunek identyfikuje się z trasą, jeśli warunki są spełnione.

3. W przypadku gdy znacznik ZN_{ij} wskazuje na nowy cel, to porównuje się współrzędne określone w meldunku ze wszystkimi śledzonymi trasami. Gdy w żadnym przypadku warunki /32/ nie są spełnione, to mamy do czynienia z nowym celem dla całego systemu. Nadawany jest mu numer systemowy i wpisywany do tablic 1 i 2 /zawiązanie nowej trasy /.

4. Jeśli meldunek o nowym celu może być dowiązany do kilku tras, to podejmuje się próbę identyfikacji w oparciu o indeks przynależności. W przypadku gdy tylko jedna z tras ma taki sam indeks, to meldunek identyfikuje się z tą trasą.

5. Trasy z identycznym indeksem przynależności, z którymi meldunek może być utożsamiony tworzą grupę podstawową. Meldunek o nowym celu nie może być dowiązany do trasy, do której dowiązано już inny cel przekazany z tego samego źródła.

Jeśli dla wszystkich tras z grupy podstawowej dowiązanie nie jest możliwe, to przyjmuje się, że jest to nowy cel w skali systemu. Gdy tylko jedna trasa spełnia opisane warunki, meldunek identyfikuje się z tą trasą.

6. Gdy po wszystkich opisanych wyżej operacjach w grupie podstawowej pozostało kilka tras, meldunek identyfikuje się z tą trasą, dla której odległość położenia określonego w meldunku od ekstrapolowanego położenia już śledzonego celu jest najmniejsza.

Przedstawiony algorytm identyfikacji meldunków z wykorzystaniem danych służbowych nie jest pełny, ponieważ nie obejmuje działań specyficznych, np. korekty w przypadku błędnego utożsamienia meldunku z trasą. Algorytm może być szczególnie przydatny przy sekwencyjnym przetwarzaniu meldunków. Można wykorzystywać go również przy cyklicznym przetwarzaniu danych przekazywanych z ZIW.

1.2.3. Tradycyjne metody uogólniania informacji radiolokacyjnej.

Uogólnianie informacji o celu prowadzi do wyznaczenia aktualnego położenia oraz parametrów lotu celu w oparciu o dostępne, utożsamione z danym celem meldunki. Znanych jest szereg metod uogólniania. Pozwalają one uzyskiwać mniej lub bardziej dokładne dane o celu. Proces uogólniania łączony jest często z aproksymacją toru lotu według zasad charakterystycznych dla II etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej. W przypadku tym, w procesie uogólniania uwzględnia się uogólnione w poprzednim cyklu przetwarzania, ekstrapolowane dane o celu.

Proces uogólniania przebiegać może według dwóch podstawowych schematów. Pierwszy z nich ma zastosowanie łącznie z identyfikacją meldunków poprzez grupowanie. Na wstępie wyznacza się wówczas uogólnione dane o celu w oparciu o utożsamione meldunki. Następnie, uogólniony meldunek dowiązywany jest do jednej z już prowadzonych tras bądź zawiązywana jest nowa trasa. Przy dowiązaniu do prowadzonej trasy może następować estymacja parametrów. Drugi schemat uogólniania jest typowym dla przetwarzania sekwencyjnego, lecz może być również stosowany przy przetwarzaniu cyklicznym. Podstawę stanowi tutaj fakt, że meldunki są identyfikowane w dowiązaniu do tras już prowadzonych. Meldunki rozpatrywane są pojedynczo, w kolejności ich uzyskiwania. Informację uogólnioną stanowią dane zawarte w meldunku lub informację tę uzyskuje się drogą przetwarzania danych z meldunku i danych uogólnionych w poprzednim cyklu.

Najprostszą metodą uogólniania informacji o celu jest aktualizacja danych w oparciu o reprezentanta. W metodzie tej, jako uogólnione przyjmuje się dane określone w meldunku przekazywanym ze źródła uznanego za podstawowe :

$$U_{kr} = U_{kij} \quad \left| \begin{array}{l} , k = 1, 2, \dots, K, \\ j = p. \end{array} \right.$$

gdzie : U_{kr} - uogólnione współrzędne trasy r ,
 p - numer źródła uznanego za reprezentanta.

Najczęściej jako źródło podstawowe przyjmuje się to ZIW, które określa dane o celach z najmniejszym błędem. Podstawową zaletą metody reprezentanta jest prostota realizacji.

Kolejną, znaną metodą uogólniania jest metoda uprzywilejowania czasowego. Oznacza się przez t_{ij} czas przekazania meldunku o celu i ze źródła o numerze j . Przy stosowaniu omawianej metody, jako dane uogólnione przyjmuje się dane zawarte w ostatnio przyjętym meldunku :

$$U_{kr} = U_{kij} \quad \left| \begin{array}{l} , k = 1, 2, \dots, K, \\ t_{ij} = \max \{ t_{ij} \}, j = 1, 2, \dots, J. \end{array} \right.$$

Stosowanie powyższej metody jest szczególnie uzasadnione w przypadku celów manewrujących.

Szerszy zakres informacji wykorzystywany jest w metodzie uśredniania. W przypadku tej metody, uogólnione dane o celu wyznacza się ze wzoru :

$$U_{kr} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m U_{kij} ,$$

gdzie m - liczba meldunków utożsamianych.

Jest to najprostsza z metod wykorzystujących pełny zakres dostępnych danych.

W przypadku gdy dane są informacje o błędach z jakimi pomierzono współrzędne celu, uogólniona informacja może być wyznaczana drogą uśredniania ważonego :

$$U_{kr} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\sigma_{kij}^2}} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sigma_{kij}^2} \cdot U_{kij} , k=1, \dots, K,$$

gdzie σ_{kij}^2 - wariancja pomiaru k -tej współrzędnej.

Przytoczony sposób wyznaczania uogólnionych współrzędnych oparty jest na metodzie największej wiarygodności. Mankamentem przedstawionej

metody jest, że uśrednia się dane ekstrapolowane, natomiast informacje o błędach odnoszą się do momentu pomiaru.

Bardziej złożoną od omówionych poprzednio jest metoda uśredniania ważonego, uwzględniająca czas ekstrapolacji danych. Uogólnione dane wyznacza się według wzoru :

$$U_{kr} = \frac{1}{\sum_{i=1}^m W_{kij}} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{W_{kij}} \cdot U_{kij}, \quad k=1, \dots, K,$$

gdzie: $W_{kij} = f(P_{kij}, t_{eij})$ - waga współrzędnej zawartej w meldunku,

P_{kij} - informacja o błędzie pomiaru k-tej współrzędnej,

t_{eij} - czas ekstrapolacji danych.

Wagę informacji wyznacza się w różny sposób. W pracy [17] podaje się następujący wzór na wyznaczanie współczynnika wagowego ekstrapolowanej informacji :

$$W_{kij} = P_{kij} \cdot e^{-[\alpha_{kij} \cdot t_{eij}]^2},$$

gdzie α_{kij} - współczynnik uwzględniający błąd ekstrapolacji.

Jeśli przedmiotem uogólniania są współrzędne X, Y celu, w charakterze wagi informacji można wykorzystywać wariancję ekstrapolowanych współrzędnych :

$$W_{xij} = \frac{1}{\sigma_{xeij}^2},$$

$$\sigma_{xeij}^2 = \sigma_{xij}^2 \cdot \sqrt{1 + 2 \frac{t_{eij}}{\Delta t} + 2 \frac{t_{eij}^2}{\Delta t^2}},$$

gdzie Δt - czas między dwoma ostatnimi pomiarami położenia celu w źródle.

Identyczne wzory stosuje się do ważenia współrzędnej Y. Jako wagę składowych prędkości w punkcie ekstrapolacji przyjmuje się [17] :

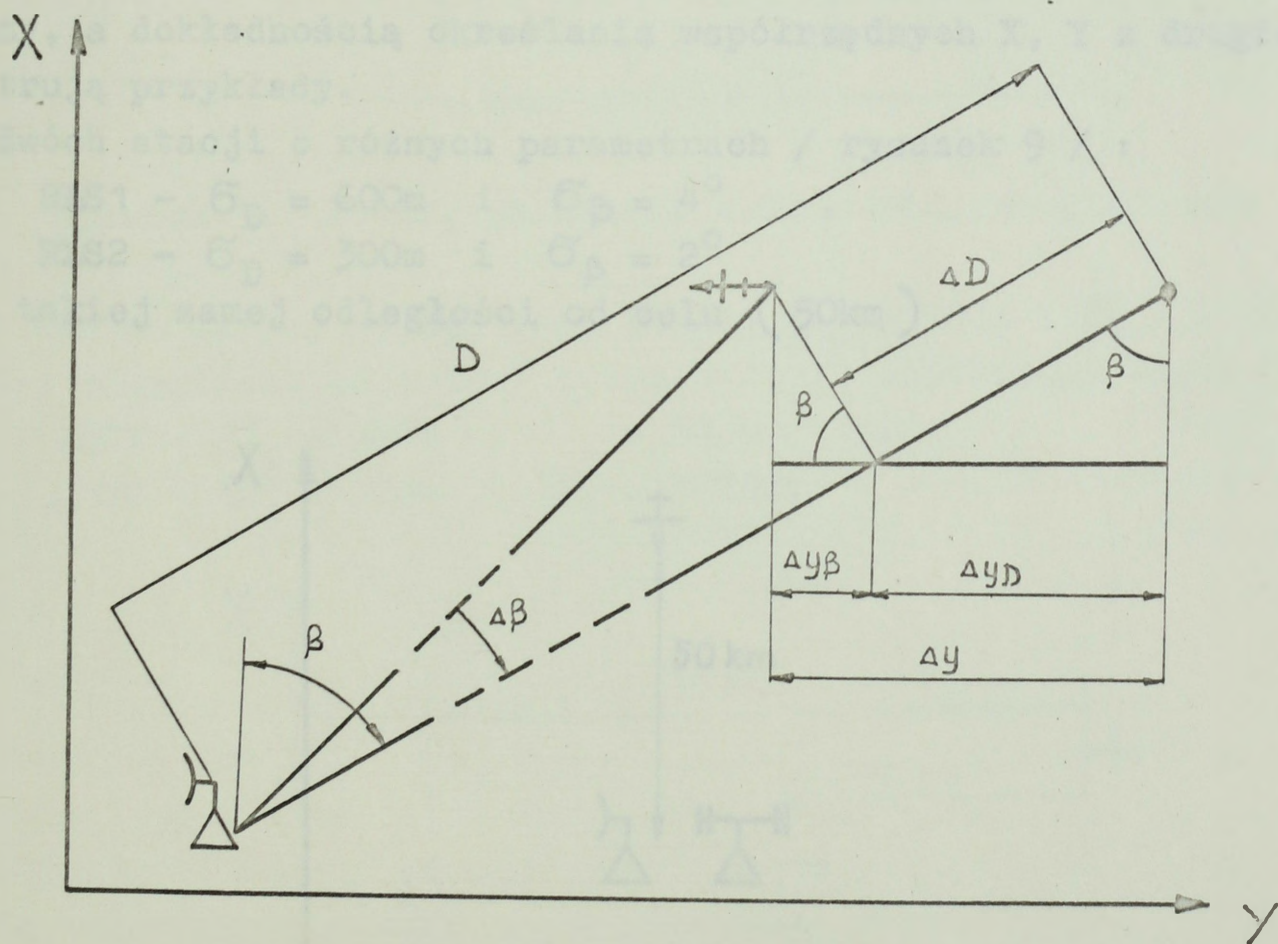
$$W_{vxij} = \frac{1}{\sigma_{vxij}^2} = \frac{\Delta t^2}{2} \cdot \frac{1}{\sigma_{xij}^2}.$$

1.2.4. Uogólnianie informacji radiolokacyjnej metodami opracowanymi przez autora.

Analiza funkcjonowania zautomatyzowanych zestawów rakiet przeciwlotniczych oraz procesu naprowadzania samolotów myśliwskich pozwala na sformułowanie tezy, że dokładność określania współrzędnych

celów przez współczesne stacje radiolokacyjne jest w zasadzie wystarczająca do kierowania działaniami aktywnych środków walki. Podstawowym natomiast problemem jest zapewnienie ciągłości śledzenia celów manewrujących oraz ciągłości śledzenia w warunkach zakłóceń. W warunkach tych przewidywać można np. małą skuteczność metody reprezentanta oraz stosunkowo dużą metody uprzywilejowania czasowego. W systemie zautomatyzowanym oczekiwać można napływu kilku meldunków o tym samym celu w takim samym bądź zbliżonym czasie. W tej sytuacji uznano za celową modyfikację metody uprzywilejowania czasowego w taki sposób, aby uwzględniała ona dokładność przekazywanych informacji. Jest to uzasadnione tym bardziej, że dokładność współrzędnych zależy z jednej strony od parametrów technicznych stacji, z drugiej natomiast od położenia celu względem danej RLS.

Przyjmuje się, że dokładność pomiaru współrzędnych biegunowych określana w parametrach technicznych RLS jest to błąd średni kwadratowy pomiaru. Błędy pomiaru, ΔD i $\Delta\beta$ są więc zmiennymi losowymi o rozkładzie normalnym i określonych wariancjach σ_D^2 i σ_β^2 .



Rysunek 8. Wyznaczanie błędów pomiaru współrzędnych prostokątnych celu.

Błędy pomiaru współrzędnej y / rysunek 8 / wynikające z błędów pomiaru współrzędnych β i D wynoszą :

$$\Delta y_{\beta} \approx 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta \beta}{2} \cdot \cos \beta \quad ,$$

$$\Delta y_D = \Delta D \cdot \sin \beta \quad .$$

Przy małych kątach $\Delta \beta (1 \div 3^\circ)$ przyjmuje się

$$2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Delta \beta}{2} \approx \frac{\Delta \beta}{180}$$

Stąd

$$\Delta y \approx D \cdot \Delta \beta \cdot 510^{-3} \cdot \cos \beta \quad ,$$

$$\Delta y_D = \Delta D \cdot \sin \beta \quad ,$$

$$\Delta y \approx \Delta y_{\beta} + \Delta y_D \quad ,$$

$$\sigma_y^2 = \sigma_{\beta}^2 \cdot D^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \cos^2 \beta + \sigma_D^2 \cdot \sin^2 \beta \quad .$$

Analogicznie

$$\sigma_x^2 = \sigma_{\beta}^2 \cdot D^2 \cdot 25 \cdot 10^{-6} \cdot \sin^2 \beta + \sigma_D^2 \cdot \cos^2 \beta \quad .$$

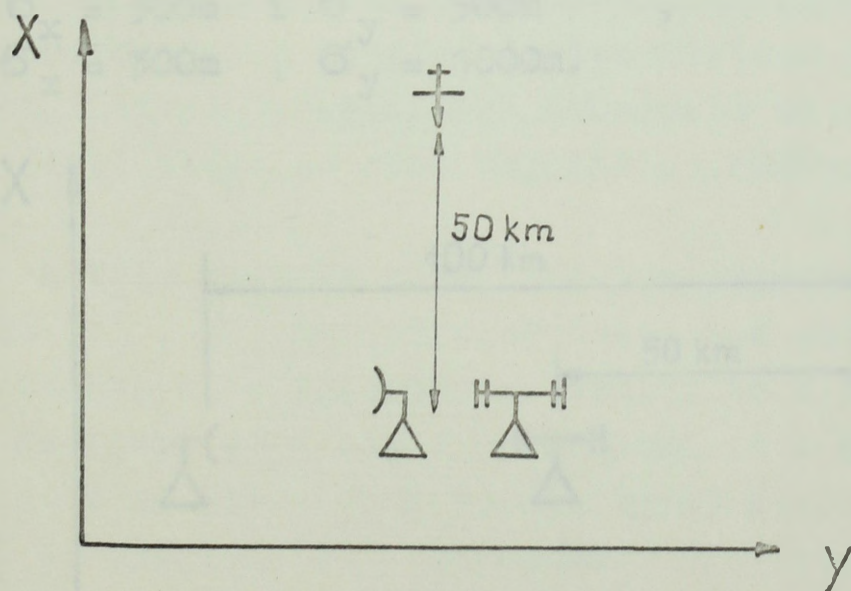
Zależność pomiędzy parametrami RLS i jej położeniem z jednej strony, a dokładnością określania współrzędnych X, Y z drugiej, ilustrują przykłady.

Dla dwóch stacji o różnych parametrach / rysunek 9 / :

$$\text{RLS1} - \sigma_D = 600\text{m} \quad \text{i} \quad \sigma_{\beta} = 4^\circ \quad ,$$

$$\text{RLS2} - \sigma_D = 300\text{m} \quad \text{i} \quad \sigma_{\beta} = 2^\circ$$

oraz takiej samej odległości od celu (50km)



Rysunek 9. Pomiar położenia celu przez stacje radiolokacyjne różnego typu.

uzyskuje się błędy pomiaru :

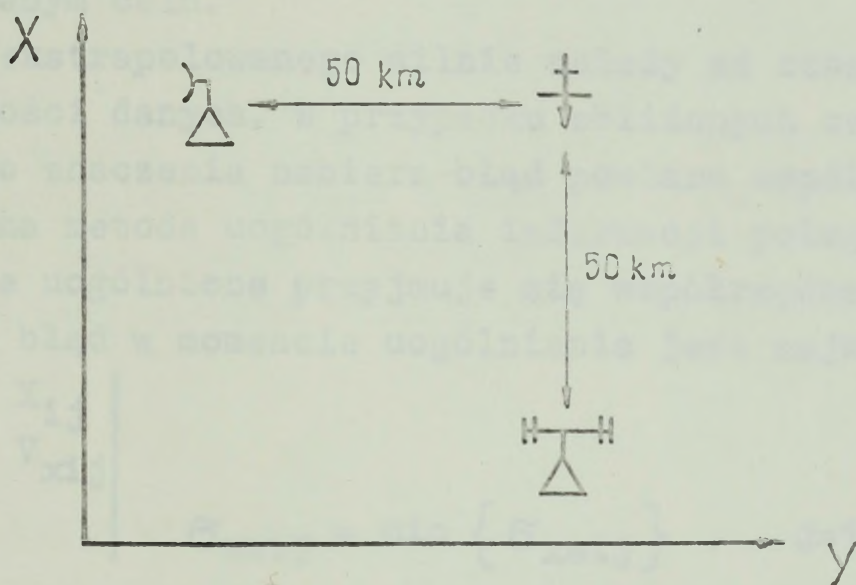
$$\text{RLS1} - \sigma_x = 600\text{m} \text{ i } \sigma_y = 1000\text{m} \quad ,$$

$$\text{RLS2} - \sigma_x = 300\text{m} \text{ i } \sigma_y = 500\text{m} \quad .$$

Jeśli 2 stacje radiolokacyjne o takich samych parametrach $\sigma_D = 300\text{m}$ i $\sigma_\beta = 2^\circ$ śledzą cel z tej samej odległości lecz na różnych kierunkach / rysunek 10 /, błędy pomiaru współrzędnych wynoszą :

$$\text{RLS1} - \sigma_x = 300\text{m} \text{ i } \sigma_y = 500\text{m} \quad ,$$

$$\text{RLS2} - \sigma_x = 500\text{m} \text{ i } \sigma_y = 300\text{m} \quad .$$

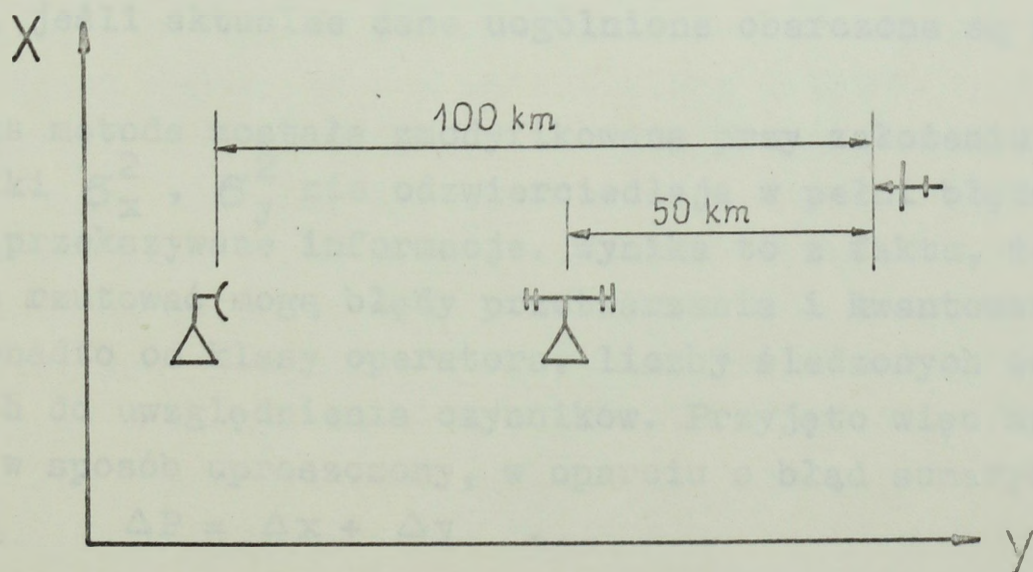


Rysunek 10. Pomiar położenia celu z różnych kierunków.

Przy takich samych parametrach stacji $\sigma_D = 300\text{m}$ i $\sigma_\beta = 2^\circ$ oraz różnej odległości od celu / rysunek 11 /, uzyskujemy błędy pomiarów :

$$\text{RLS1} - \sigma_x = 300\text{m} \text{ i } \sigma_y = 500\text{m} \quad ,$$

$$\text{RLS2} - \sigma_x = 300\text{m} \quad , \quad \sigma_y = 1000\text{m}.$$



Rysunek 11. Pomiar położenia celu z różnej odległości.

Z powyższej analizy wynika, że dokładność pomiaru współrzędnych w istotny sposób zależy od parametrów RLS oraz od położenia celu względem stacji. Dane o błędach mogą być przekazywane ze stacji bądź generowane w punkcie III obróbki informacji. Odnoszą się one jednak do momentu pomiaru. W momencie uogólniania celowym jest posługiwać się błędem położenia ekstrapolowanego :

$$\sigma_{xeij} = \sigma_{xij} \cdot \sqrt{1 + 2 \frac{t_{eij}}{\Delta t_{ij}} + 2 \frac{t_{eij}^2}{\Delta t_{ij}^2}},$$

gdzie : t_{eij} - czas ekstrapolacji,

t_{ij} - odstęp czasu między dwoma ostatnimi meldunkami z danej RLS o danym celu.

Błąd położenia ekstrapolowanego silnie zależy od czasu ekstrapolacji, t.j. od aktualności danych. W przypadku zbliżonych czasów ekstrapolacji, istotnego znaczenia nabiera błąd pomiaru współrzędnej.

Proponowana metoda uogólniania informacji polega na tym, że jako współrzędne uogólnione przyjmuje się współrzędne z tego meldunku, dla którego błąd w momencie uogólniania jest najmniejszy :

$$\left. \begin{array}{l} X_r = X_{ij} \\ V_{xr} = V_{xij} \end{array} \right| \sigma_{xeij} = \min \{ \sigma_{xeij} \}, \quad j=1,2, \dots,$$

$$\left. \begin{array}{l} Y_r = Y_{ij} \\ V_{yr} = V_{yij} \end{array} \right| \sigma_{yeij} = \min \{ \sigma_{yeij} \}, \quad j=1,2, \dots$$

W efekcie, jako dane uogólnione przyjmowane są dane najlepsze spośród aktualnie dostępnych, z uwzględnieniem zarówno czasu jak i błędów pomiaru. W specyficznych przypadkach prowadzić to może do zignorowania meldunku, jeśli aktualne dane uogólnione obciążone są mniejszym błędem.

Powyższa metoda została zmodyfikowana przy założeniu, że obliczane wskaźniki σ_x^2 , σ_y^2 nie odzwierciedlają w pełni błędów jakimi obciążone są przekazywane informacje. Wynika to z faktu, że na błąd współrzędnych rzutować mogą błędy przetwarzania i kwantowania. Zależą one ponadto od klasy operatora, liczby śledzonych celów i innych, trudnych do uwzględnienia czynników. Przyjęto więc szacować błąd pomiaru w sposób uproszczony, w oparciu o błąd sumaryczny :

$$\Delta P = \Delta x + \Delta y$$

stąd

$$\sigma_{pij}^2 = \sigma_{xij}^2 + \sigma_{yij}^2,$$
$$\sigma_{peij}^2 = \sigma_{pij}^2 \cdot \sqrt{1 + 2 \frac{t_{eij}}{\Delta t_{ij}} + 2 \frac{t_{eij}^2}{\Delta t_{ij}^2}}.$$

W prezentowanej metodzie przyjmuje się jako dane uogólnione te dane, dla których błąd sumaryczny w momencie uogólniania jest najmniejszy:

$$\left. \begin{array}{l} X_r = X_{ij} \\ Y_r = Y_{ij} \\ VX_r = VX_{ij} \\ VY_r = VY_{ij} \end{array} \right| \sigma_{peij} = \min \{ \sigma_{peij} \}, \quad j=1,2, \dots$$

Zaletą powyższej metody jest, że błąd pomiaru charakteryzuje jedna liczba, co ma znaczenie, gdy dane o błędach przekazywane są z RLS. Ponadto metoda ta jest prosta w realizacji.

Powyższe metody nazwane zostały metodami wyboru najlepszych danych.

1.3. Wnioski.

W poprzednich rozdziałach przedstawiono podstawowe metody przetwarzania danych stosowane w II i III etapie przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Opracowane one zostały w oparciu o teorię pomiarów i decyzji statycznych. Jedynie najprostsze z nich i teoretycznie najmniej efektywne zostały zweryfikowane w praktyce. Pozostałe mogą być wstępnie ocenione w wyniku analizy logicznej.

Przydatność metod stosowanych na II etapie przetwarzania informacji radiolokacyjnej zależy od sposobu uzyskiwania danych w ramach etapu I. Przy automatycznym pomiarze położenia celów aktualne dane dostępne są w każdym cyklu przetwarzania. Urządzenia do automatycznego pomiaru współrzędnych są aktualnie stosowane, jednak trudno jest mówić o ich pełnej weryfikacji. Niewątpliwie kolejne konstrukcje osiągną pożądany poziom niezawodności. Niemniej jednak, przewidując przeciwdziałania przeciwnika powietrznego, należy przyjąć, że w złożonych sytuacjach cele śledzone będą w sposób półautomatyczny, z udziałem operatora. W systemie półautomatycznym operator co jakiś czas dokonuje korekty śledzenia wskazując aktualne położenie celu. Nie można zakładać stałego odstępu między poszczególnymi korektami. Ze stałym odstępem przetwarzana może być jedynie

informacja ekstrapolowana. Przetwarzanie jej jednak niczego, poza spełnieniem formalnego wymogu, nie wnosi. Stąd nie do przyjęcia są algorytmy zakładające cykliczny dostęp do danych o położeniu celów. Praktycznie każdy z omówionych algorytmów II obróbki informacji może być stosowany przy różnych odstępach między kolejnymi pomiarami, jednak wiąże się to z jego rozbudową. Dotyczy to szczególnie algorytmu aproksymacji toru lotu metodą najmniejszych kwadratów.

Jednym z podstawowych kryteriów oceny metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej jest dokładność śledzenia celów. Zdaniem autora wskaźnik ten jest istotny w określonych granicach. Zwiększanie dokładności ponad pewną, możliwą do określenia granicę mija się z celem szczególnie wówczas, jeśli powoduje to rozbudowę algorytmów przetwarzania. Dużą dokładność śledzenia toru lotu osiągnąć można poprzez aproksymację metodą najmniejszych kwadratów. Konieczne jest przy tym uwzględnianie dużej liczby pomiarów. Nie jest to zdaniem autora celowe z dwóch powodów. Pierwszy, to duże obciążenie EMC szczególnie wówczas, gdy odstępy między pomiarami nie są jednakowe. Drugi powód jest taki, że wykorzystywanie dużej liczby pomiarów / 4 ÷ 6 / mija się z celem w warunkach manewrowania celów. W tej sytuacji uwzględnienie takiej liczby pomiarów okazać się może wręcz szkodliwe. Oczywiście, wadę tę można zlikwidować rozbudowując algorytm, ale nie przemawia to na korzyść metody. Przy uwzględnianiu natomiast małej liczby pomiarów / 2 ÷ 3 /, wyniki zbliżone uzyskiwać można metodami prostszymi, np. metodą uśredniania parametrów [17].

W przypadku aproksymacji metodą najmniejszych kwadratów i uśredniania parametrów toru lotu konieczne jest stosowanie detektora manewru. Pomijając problem niezawodności takiego detektora, wykrycie manewru zmusza do zastosowania metod przetwarzania całkowicie odmiennych. Dotyczy to również aproksymacji, gdzie zmiana hipotezy toru lotu powoduje wymianę prawie całego aparatu matematycznego. Funkcjonowanie dwóch odmiennych torów przetwarzania informacji znacznie zwiększa program przetwarzania. Stąd, w miarę możliwości stosowane powinny być, zdaniem autora, uniwersalne metody aproksymacji toru lotu. Do nich zaliczyć można uśrednianie z wykładniczą funkcją wagową i aproksymację za pomocą filtra Kalmana. Metoda wykładniczego ważenia jest metodą empiryczną, której skuteczność w dużej mierze zależy od właściwego doboru współczynników gładzenia. Można przypuszczać, że dużą efektywność uzyskuje się tą metodą przy równoczesnym wykrywaniu manewru i zmianie współczynnika

gładzenia. W ten sam sposób, poprzez zmianę współczynników uwzględniane mogą być różne odstępy czasu między pomiarami.

W świetle przytoczonych faktów i ich analizy wyjątkowo korzystnie prezentuje się metoda estymacji parametrów wykorzystująca filtr Kalmana. Może ona być stosowana przy torze prostoliniowym, krzywoliniowym oraz przy różnych odstępach czasu między pomiarami położenia celu.

W ramach opisu III etapu przetwarzania informacji radiolokacyjnej omówione zostały 2 metody identyfikacji meldunków: poprzez grupowanie i w oparciu o informacje wspomagające. Klasyczne ujęcie metody identyfikacji meldunków poprzez ich grupowanie jest charakterystyczne dla metod teoretycznych. Praktyczna realizacja metody grupowania jest niemożliwa przy niskim poziomie ETO, przy wysokim natomiast, zastosowane mogą być metody, zdaniem autora, równie efektywne lecz prostsze. Uproszczone wersje omawianej metody są praktycznie stosowane. Wynika to jednak z obiektywnych przyczyn. Przy małej przepustowości kanałów przekazywania danych, meldunki z RLS zawierają jedynie współrzędne celu. Nie stwarza to możliwości stosowania innych metod. Aktualny poziom ETO, przepustowość kanałów transmisji, pozwalają na przekazywanie w meldunkach danych wspomagających, służbowych. W takiej sytuacji celowym jest wykorzystanie tych danych do uproszczenia i zwiększenia niezawodności procesu identyfikacji. Stosowane mogą być metody oparte na różnego rodzaju tablicach i rejestrach. Zdaniem autora, zakres informacji wspomagających w miarę możliwości powinien być poszerzany, np. o znacznik manewrowania celu. Pozwoliłoby to na efektywniejsze gładzenie toru lotu na III etapie przetwarzania.

Aktualne możliwości sprzętowe pozwalają w zasadzie na sekwencyjne przetwarzanie meldunków przekazywanych z RLS. Problem stanowią jedynie zadania nie związane z przetwarzaniem informacji radiolokacyjnej, które realizowane są na EMC przy podziale czasu. Jest to główny powód dla którego przetwarzanie cykliczne jest ciągle stosowane.

Metody uogólnienia informacji radiolokacyjnej stanowią podstawowy przedmiot badań w mniejszej pracy. Wśród omówionych metod wyróżnić można metody wykorzystujące dane o błędach oraz te, które danych tych nie wykorzystują. Pierwsze z wymienionych powinny dawać większą dokładność śledzenia. Spośród tych drugich, stosowanie metody reprezentanta wydaje się uzasadnione jedynie możliwościami

sprzętowymi. Usrednianie informacji nosi w sobie element gladzenia toru lotu; usredniane sa dane mniej oraz bardziej aktualne. Stad, oczekiwać można spadku efektywności uogólniania w przypadku celów manewrujących. Spadek ten powinien być mniejszy przy przy uwzględnianiu błędów ekstrapolowanych. Wysokiej efektywności śledzenia zarówno celów manewrujących jak i niemanewrujących oczekuje się od metody wyboru najlepszych danych.

Powyższe wnioski uzyskane drogą analizy logicznej mają charakter jakościowy. Ocena szczegółowa, ilościowa metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej uzyskana może być bądź w wyniku praktycznej realizacji tych metod, bądź w oparciu o symulację komputerową.

ROZDZIAŁ 2. STOSOWANE SYSTEMY ZBIERANIA I UOGÓLNIANIA INFORMACJI RADIOLOKACYJNEJ.

2.1. Planszeto-foniczny system rozpoznania radiolokacyjnego OPL armii.

Podstawowym źródłem informacji o sytuacji powietrznej jest, na szczeblu armii, batalion radiotechniczny / brt /. Przeznaczony jest on przede wszystkim do :

- wykrywania i rozpoznawania obiektów powietrznych oraz ciągłego śledzenia ich na wyznaczonym obszarze i na podejściach do niego,
- zapewnienia informacji o sytuacji powietrznej połączonemu stanowisku dowodzenia obroną przeciwlotniczą i lotnictwem / PŁSD OPL i L / armii oraz stanowiskom dowodzenia oddziałów rakiet i artylerii plot.,
- powiadamiania o sytuacji powietrznej wojska oraz inne oskani-
ne obiekty.

W skład batalionu radiotechnicznego wchodzi m.in. :

- 4 / lub więcej / kompanii radiotechnicznych / krt /,
- 2 posterunki radiotechniczne.

Kompania radiotechniczna stanowi podstawowe źródło informacji o sytuacji powietrznej.

Rozwinięta na stanowisku bojowym stanowi radiolokacyjny posterunek wykrywania / RPW /. W skład jego wchodzi m.in. :

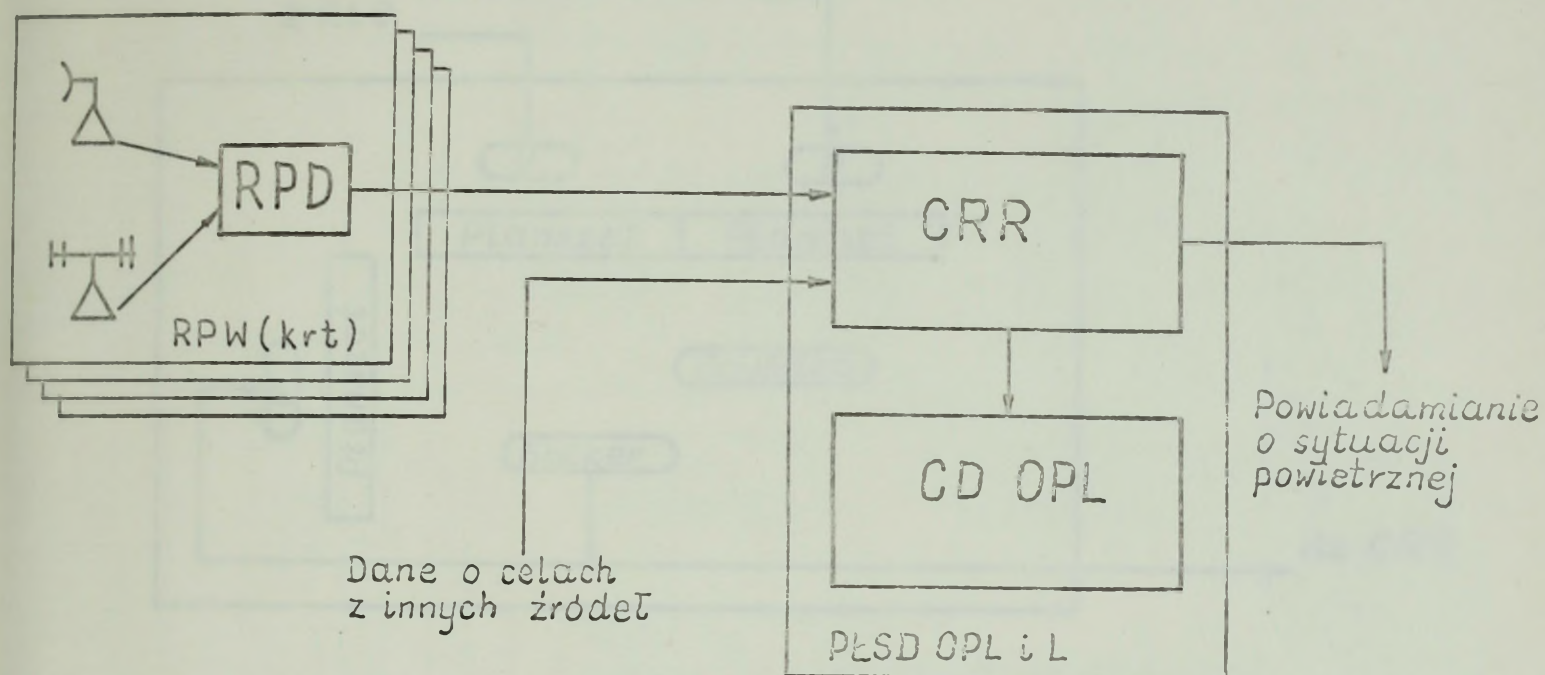
- ruchomy punkt dowodzenia / RPD /,
- dwie, trzy stacje radiolokacyjne.

Posterunek radiotechniczny m.in. kieruje batalionem radiotechnicznym w zakresie wykrywania obiektów powietrznych, opracowywania informacji radiolokacyjnej i powiadamiania o sytuacji powietrznej; tworzy on wówczas Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego armii /CRR/.

Batalion radiotechniczny stanowi na szczeblu armii trzon systemu zbierania i przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej. Ze względu na aktualnie obowiązujący sposób funkcjonowania i stosowaną technologię pracy, system ten określa się mianem planszeto-fonicznego.

Schemat zbierania danych o obiektach powietrznych w systemie OPL na szczeblu armii przedstawia rysunek 12.

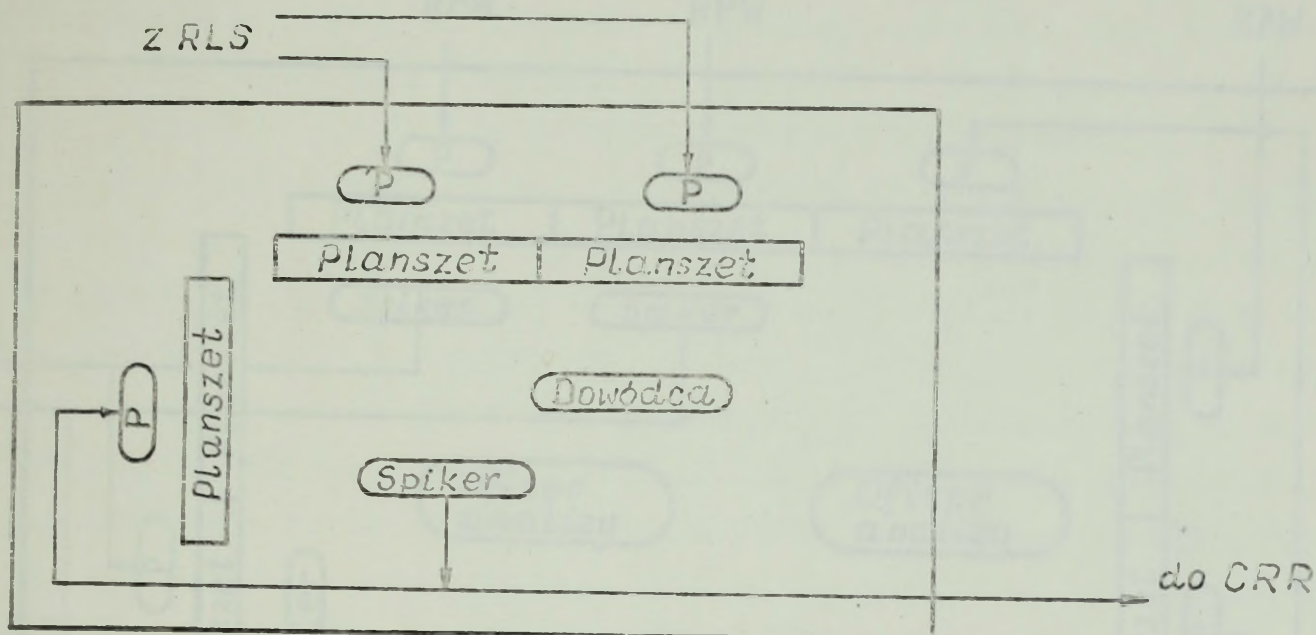
Dane o obiektach powietrznych przekazywane są fonicznie w kanałach łączności radiowej i przewodowej. Przetwarzanie i uogólnianie informacji radiolokacyjnej ma miejsce na RPD krt oraz CRR armii.



Rysunek 12. Zbieranie informacji o obiektach powietrznych w systemie OPL na szczeblu armii.

Na RPD, meldunki o obiektach powietrznych wykrytych i śledzonych przez RLS wyrysowane są na planszetach. Uogólnienia informacji dokonuje dowódca krt / bądź dowódca plutonu dowodzenia / oraz spiker. Dowódca krt m.in. wskazuje cele, które powinny być śledzone przez podległe RLS. Podział celów jest równoznaczny z wyborem reprezentanta - stacji, w oparciu o którą sporządzane będą meldunki o celu. Spiker śledzi tory lotu wyrysowane na planszetach i przekazuje meldunki o celach do CRR. W przypadku informacji równoległych / gdy 2-3 RLS śledzą ten sam cel / ustala w porozumieniu z dowódcą, z której RLS będzie korzystał przy meldowaniu; jest to równoznaczne z wyborem reprezentanta. Dane przekazywane przez spikera mogą być zobrazowane na kolejnym planszecie. Przetwarzanie informacji radiolokacyjnej na RPD obejmuje zmianę układu współrzędnych przy określaniu położenia celów. Położenie to operator RLS określa we współrzędnych biegunowych, natomiast spiker - według siatki OP-61. Do przekształcenia informacji wykorzystuje się planszet, na którym z jednej strony naniesione są współrzędne biegunowe, z drugiej natomiast - siatka OP-61 z aktualnym kodem. Schemat zbierania i przetwarzania danych o obiektach powietrznych na RPD przedstawia rysunek 13.

Zasady uogólniania informacji radiolokacyjnej na CRR są podobne jak na RPD krt. Dane o obiektach powietrznych przekazywane z RPW zobrazowywane są na planszetach. Uogólnienia informacji



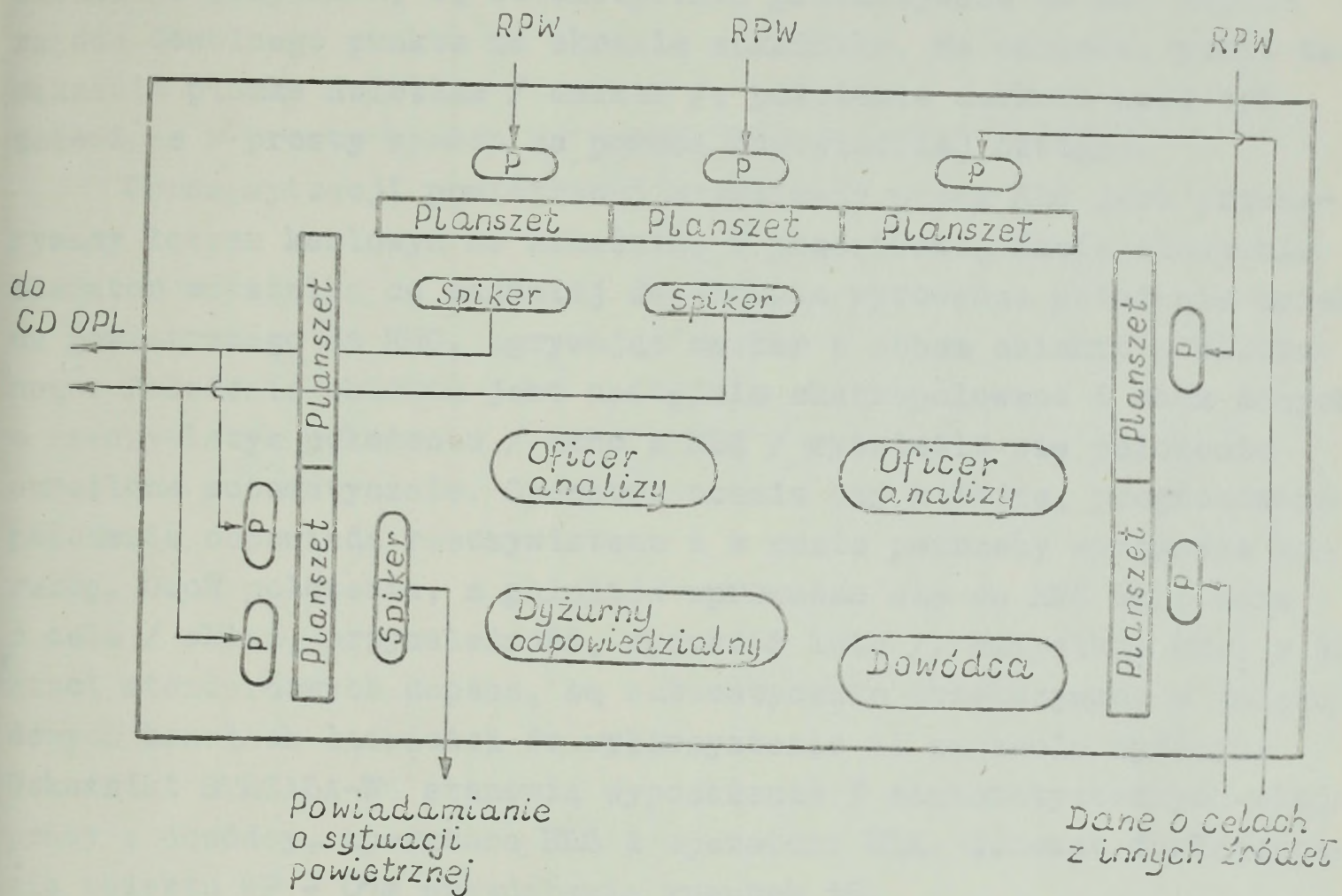
Rysunek 13. Zbieranie danych o obiektach powietrznych na RPD;
P - planszeczista.

dokonyuje oficer analizy oraz spiker. Oficer analizy obserwuje planszety i odrzuca równoległe meldunki o celu. Meldunki nazywa się równoległymi, jeżeli pochodzą z dwóch lub więcej źródeł informacji oraz w meldunkach tych :

- współrzędne celu są w przybliżeniu takie same,
- szybkość celu, kurs i wysokość są przybliżone,
- skład celu i przynależność są zgodne.

W przypadku informacji równoległych, oficer analizy ustala źródło podstawowe; jest nim zwykle RPW, który może najdłużej obserwować cel. Spiker przekazuje dane w oparciu o jedno, podstawowe źródło informacji. Pozostałe informacje, jako uzupełniające, wykorzystuje się do udokładnienia położenia celu i jego charakterystyk. W przypadku równoległego śledzenia celów i przeciążenia RPW, dowódca brt bądź dyżurny odpowiedzialny może dokonać podziału celów.

Na CRRR, w odróżnieniu od RPD, nie zmienia się układu współrzędnych; dane przyjmowane z RPD jak i przekazywane w sieci powiadomienia określają położenie celu wg siatki OP-61. Jeden z możliwych wariantów organizacji zbierania i uogólniania informacji radiolokacyjnej na CRRR przedstawia rysunek 14.



Rysunek 14. Schemat zbierania i uogólniania informacji radiolokacyjnej na CRR armii; P - planszecista.

2.2. Zbieranie i przetwarzanie informacji radiolokacyjnej w systemie WOZDUCH - 1M.

W systemie WOZDUCH - 1M proces zbierania i dystrybucji danych o obiektach powietrznych jest w znacznym stopniu zautomatyzowany. Jego automatyzację umożliwiają obiekty WP - 01M i WP - 02M stanowiące wyposażenie batalionu radiotechnicznego WOPK / brt WOPK /.

Obiekt WP - 01M przeznaczony jest do automatyzacji śledzenia celów i przekazywania danych o celach w kompanii radiotechnicznej. Obiekt sprzężony jest z dwoma stacjami radiolokacyjnymi / RLS / oraz wysokościomierzem / RIH /, przy czym RLS nie mogą być wykorzystywane równolegle. Śledzenie celów i półautomatyczne formowanie meldunków o celach odbywa się w oparciu o wskaźnik STRZAŁA-W1 i specjalizowaną, elektroniczną maszynę cyfrową. Wskaźnik, z jednej strony, spełnia rolę wskaźnika wynośnego RLS, z drugiej natomiast jest urządzeniem wejściowym i wyjściowym EMC. Z pulpitu wskaźnika

wprowadzać można do EMC dane. Między innymi, po przyciśnięciu odpowiedniego przycisku, są automatycznie przekazywane do EMC współrzędne dowolnego punktu na ekranie wskaźnika. Na ekranie, punkt ten wskazuje plamka świetlna / marker /; położenie markera może być zmienione w prosty sposób za pomocą odpowiedniej dźwigni.

Obraz sytuacji powietrznej uzyskiwany przez RLS jest przekazywany łączem kablowym na wskaźnik. W początkowej fazie śledzenia operator wskaźnika co najmniej dwukrotnie wprowadza położenie obiektu powietrznego do EMC, zgrywając marker z echem obiektu powietrznego. Położenie obiektu jest następnie ekstrapolowane i obok danych o rzeczywistym położeniu / echo z RLS / wyświetla się położenie określone automatycznie. Operator ocenia czy kolejne, prognozowane położenie odpowiada rzeczywistemu i w razie potrzeby wprowadza korektę. Obok położenia, z pulpitu wprowadza się do EMC inne dane o celu / skład, przynależność, wysokość lotu /. Wszystkie one, w postaci standardowych depech, są automatycznie przekazywane w telekodowych kanałach łączności do wykorzystania na szczeblu wyższym. Wskaźniki STRZAŁA-W1 stanowią wyposażenie 3 zautomatyzowanych miejsc pracy : dowódcy, operatora RLS i operatora RLH. Schemat funkcjonowania obiektu WP - O1M przedstawia rysunek 15.

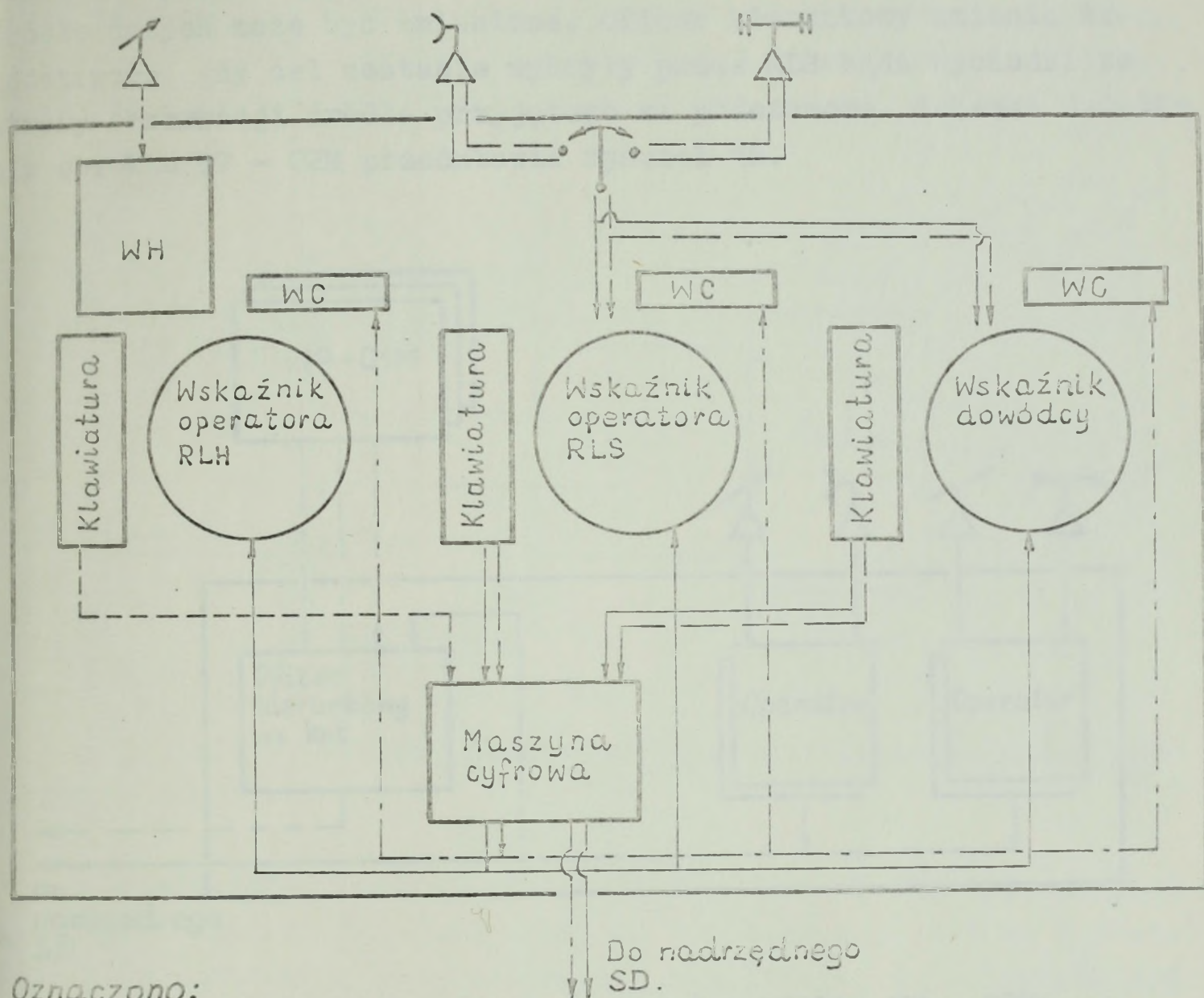
Obiekt WP - O1M umożliwia śledzenie przy jednym wskaźniku 5-6 obiektów powietrznych; meldunki o nich przekazywane są co 10 sek. Maksymalna liczba śledzonych obiektów powietrznych wynosi 12, błąd średni współrzędnych X, Y obiektu określonych w meldunku - 1,2 km [2] .

Obiekt WP - O2M stanowi wyposażenie SD brt. Sprzężony jest z trzema RLS i dwoma RLH, przy czym równocześnie mogą pracować dwie RLS i dwa RLH. Obiekt umożliwia półautomatyczne śledzenie obiektów powietrznych oraz przetwarzanie i przekazywanie o nich informacji w oparciu o dane :

- a) uzyskiwane z 2 bezpośrednio współpracujących RLS,
 - b) przekazywane w kanałach telekodowych z 2-3 podległych brt.
- Dane, w postaci standardowych depech, przekazywane są w telekodowych kanałach łączności do wykorzystania w nadrzędnych i współdziałających SD OPK.

W obiekcie WP - O2M ma miejsce uogólnienie informacji radiolokacyjnej przekazywanej z różnych źródeł. Uogólnienia dokonuje się poprzez :

- a) podział celów do śledzenia,
- b) wybór podstawowego źródła danych o celu.



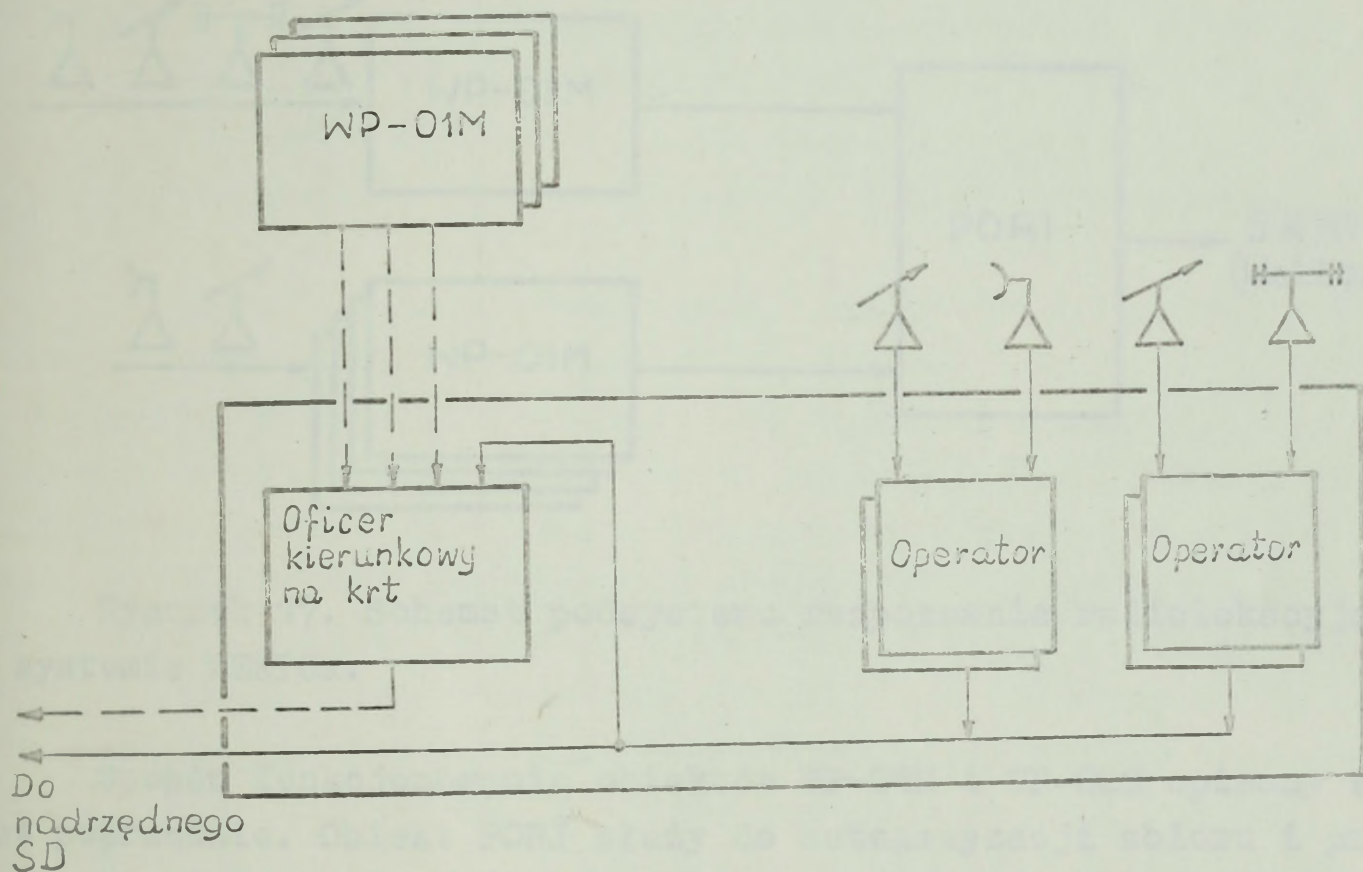
Oznaczono:

- położenie celu,
- - - - skład i przynależność,
- wysokość lotu,
- - - - skład, przynależność i wysokość.

Rysunek 15. Schemat funkcjonowania obiektu WP - 01M;
 WH - wskaźnik pomiaru wysokości, WC - wskaźnik cyfrowy.

Podział celów w relacjach : RLS - RLS, RLS - krt, krt - krt dokonuje dowódca brt przy współpracy z oficerem odpowiedzialnym za pracę RLS i oficerem kierunkowym na krt. Podstawowym źródłem informacji są dwie RLS bezpośrednio współpracujące z obiektem. Dane z tych RLS uzyskuje się w sposób identyczny jak w obiekcie WP - 01M. Jako uzupełniające traktuje się dane przekazywane z krt. Dane przekazywane przez operatorów RLS oraz z podległych pododdziałów śledzone są przez oficera kierunkowego na krt. Gdy cel nie jest śledzony przez RLS, a dane o nim są przekazywane z krt, oficer ten

dokonyuje wyboru i powoduje retransmisję danych z wybranej krt. Źródło danych może być zmienione. Oficer kierunkowy zmienia źródło podstawowe, gdy cel zostanie wykryty przez RLS bądź wychodzi ze strefy obserwacji źródła przyjętego za podstawowe. Schemat działania obiektu WP - O2M przedstawia rysunek 16.



Rysunek 16. Schemat funkcjonowania obiektu WP - O2M;

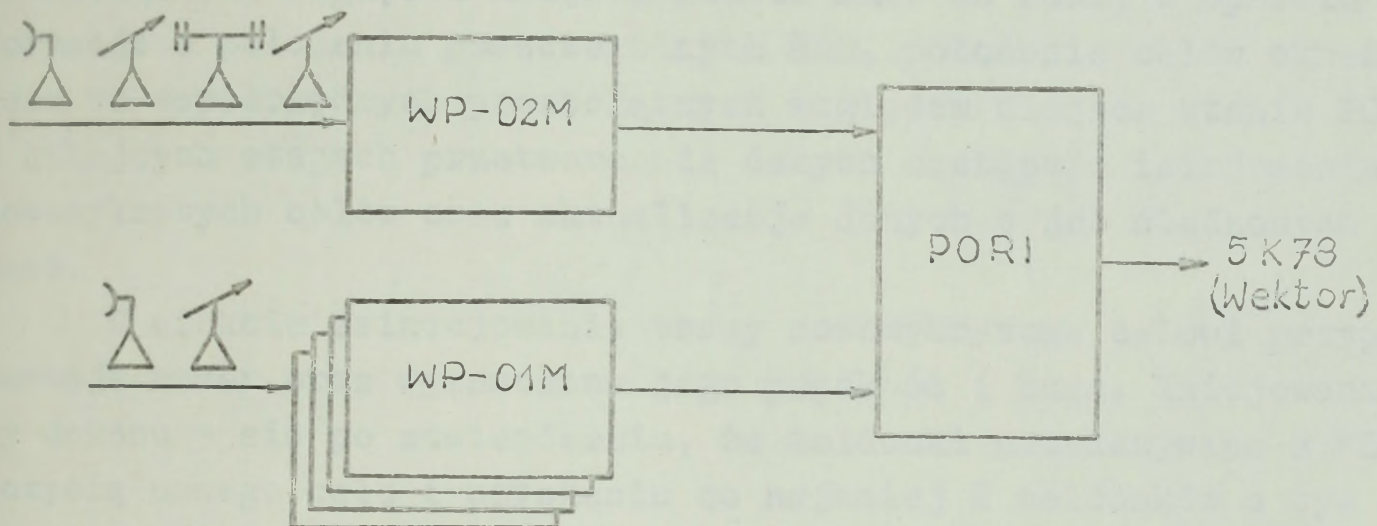
— dane o celach z RLS, --- dane o celach z podległych krt.

Obiekt WP - O2M umożliwia przekazywanie danych o 10-12 celach śledzonych przez własne RLS i 12-15 celach śledzonych przez krt. Dane przekazywane są cyklicznie, co 10 sek. Błąd średni określania współrzędnych X, Y celu grupowego wynosi $\pm 1,5 - 2$ km [3].

2.3. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego w systemie WEKTOR.

System WEKTOR przeznaczony jest do automatyzacji kierowania działaniami bojowymi na połączonym stanowisku dowodzenia : brygady rakiet plot / BRPlot./, pułku lotnictwa myśliwskiego / plm / i batalionu radiotechnicznego / brt / WOPK. Nazwę WEKTOR posiada równocześnie obiekt 5K78, przeznaczony do kierowania walką BRPlot. i plm. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego tworzy batalion radiotechniczny wyposażony w obiekty : PORI, WP-O2M i WP-O1M. W podsystemie tym, WP-O2M funkcjonuje jako obiekt na wyposażeniu kompanii

radiotechnicznej, t.j. przekazuje dane o obiektach powietrznych wykrywanych przez 2 sprzężone z nim RLS; SD brt funkcjonuje w oparciu o obiekt PORI. Schemat podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego w systemie WEKTOR przedstawia rysunek 17.



Rysunek 17. Schemat podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego w systemie WEKTOR.

Sposób funkcjonowania obiektów WP-01M i WP-02M opisany został już poprzednio. Obiekt PORI służy do automatyzacji zbioru i przetwarzania informacji radiolokacyjnej uzyskiwanej z podległych krt / posterunków radiotechnicznych - RLP /. W PORI, w sposób automatyczny realizuje się :

- przyjęcie meldunków o sytuacji powietrznej przekazywanych w kanałach telekodowych,
- przeliczenie współrzędnych określanych w meldunkach do układu współrzędnych PORI,
- identyfikacja nowych obiektów powietrznych i inicjowanie tras,
- identyfikacja informacji o tych samych celach przekazywanej z różnych źródeł i opracowanie uogólnionej informacji o celach,
- przekazanie w kanale telekodowym uogólnionej informacji do wykorzystania w obiekcie WEKTOR,
- szacowanie obciążenia poszczególnych RLP i, w przypadku przeciążenia, przekazywanie rozkazów zaprzestania śledzenia poszczególnych obiektów powietrznych.

W sposób półautomatyczny, z udziałem operatora realizuje się :

- inicjowanie trasy nowego celu / jeśli wprowadzono zakaz inicjowania automatycznego /,

- określanie współrzędnych celów - nosicieli zakłóceń,

- przekazywanie rozkazów na RLP.

W pierwszym etapie automatycznego przetwarzania meldunków następuje przeliczenie współrzędnych obiektów powietrznych / celów /. Dane przekazywane z RLP określają położenie celów we współrzędnych prostokątnych względem miejsca stania RLP. Na PORI, w oparciu o informacje o położeniu poszczególnych RLP, położenie celów określane jest we współrzędnych prostokątnych względem miejsca stania PORI. W kolejnych etapach przetwarzania danych następuje inicjowanie tras nowo wykrytych celów oraz aktualizacja danych o już śledzonych obiektach.

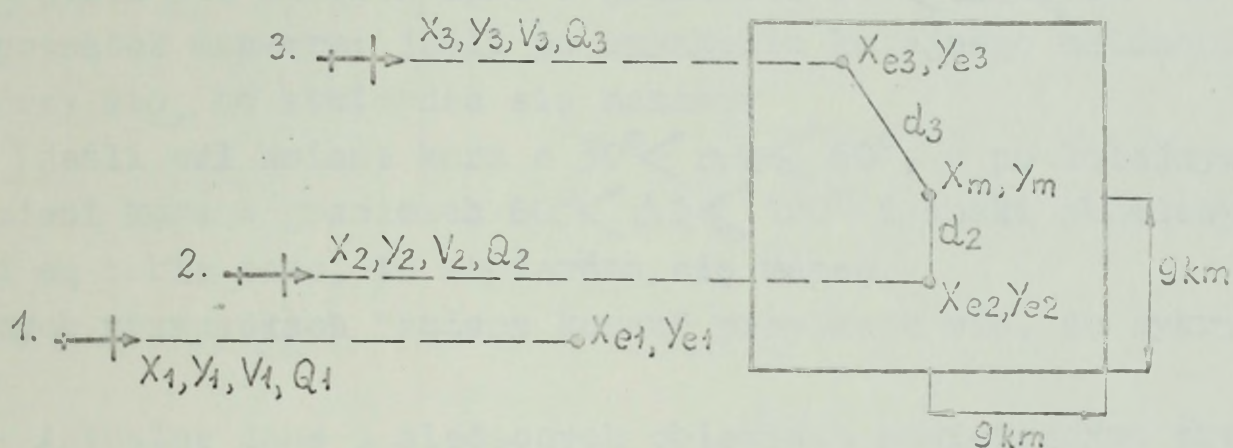
W efekcie zainicjowania trasy nowo wykrytemu celowi przypisany zostaje numer oraz wyznaczona jego prędkość i kurs. Inicjowanie trasy dokonuje się po stwierdzeniu, że meldunki przekazywane z RLP dotyczą nowego celu i uzyskaniu co najmniej 2 meldunków o tym celu z jednego źródła. Inicjowanie trasy może odbywać się w sposób automatyczny lub półautomatyczny. W przypadku inicjowania automatycznego, konieczne są co najmniej 3 meldunki o celu, a odstęp czasu pomiędzy I meldunkiem i ostatnim nie może być mniejszy od 28 sek. Po uzyskaniu pierwszego meldunku wyznacza się obszar / bramkę / o wymiarach 30km x 30km, w którym powinien znaleźć się kolejny meldunek. Po upływie 28 sek. i uzyskaniu co najmniej 3 meldunków, w oparciu o meldunki skrajne wyznacza się kurs celu i jego prędkość. W przypadku uzyskania powyżej 5 meldunków w wymaganym czasie oraz obszarze, przyjmuje się, że wykryto cel grupowy; przyjmuje się, że liczba samolotów w grupie równa jest $\frac{1}{3}$ liczby meldunków. W przypadku inicjowania półautomatycznego, kolejne dwa położenia celu wskazuje operator, wykorzystując urządzenia do precyzyjnego określania położenia. W obiekcie WEKTOR wykorzystuje się dane wyłącznie o trasach zainicjowanych.

Uogólnianie i aktualizacja danych o położeniu obiektów powietrznych realizowane są w sposób automatyczny. Meldunki przekazywane z RLP porównywane są z trasami już prowadzonymi. Jeśli różnica między współrzędnymi określonymi w meldunku (X_m, Y_m) a ekstrapolowanymi współrzędnymi i-tej trasy (X_{ei}, Y_{ei}) nie przekracza 9km / meldunek mieści się w bramce /, meldunek utożsamia się z trasą. Gdy powyższy warunek spełniony jest dla kilku tras,

meldunek utożsamia się z tą trasą, dla której odległość

$$d_i = \sqrt{(X_{ei} - X_m)^2 + (Y_{ei} - Y_m)^2}$$

jest najmniejsza / rysunek 18 /.



Rysunek 18. Schemat identyfikacji meldunku z trasą;

$X_1, Y_1, V_1, Q_1, X_2, Y_2, V_2, Q_2, \dots$ - współrzędne i parametry śledzonych torów lotu; meldunek (X_m, Y_m) identyfikuje się z trasą 2, ponieważ $d_2 < d_3$ a trasa 1 w ogóle nie może być brana pod uwagę.

Do aktualizacji danych o położeniu wykorzystuje się meldunki z jednego, priorytetowego źródła. Za źródło priorytetowe przyjmuje się to, które pierwsze wykryło cel. Źródło priorytetowe może być zmienione automatycznie bądź ręcznie. Automatyczna zmiana źródła priorytetowego następuje w przypadku, gdy źródło dotychczas traktowane jako priorytetowe nie przekazało meldunku przez 60 sek. Fakt przekazywania meldunków przez źródła niepriorytetowe jest rejestrowany, ale dane zawarte w meldunkach nie są wykorzystywane do aktualizacji położenia celu. Przy wyznaczaniu aktualnego położenia celu następuje aproksymacja toru lotu wg ogólnej zasady :

$$\bar{V}_n = (1 - \rho) \bar{V}_{n-1} + \rho V_n$$

$$\bar{Q}_n = (1 - \rho) \bar{Q}_{n-1} + \rho Q_n$$

gdzie : \bar{Q}_n, \bar{V}_n - uśrednione parametry ruchu celu po uwzględnieniu ostatniego meldunku,

$\bar{Q}_{n-1}, \bar{V}_{n-1}$ - poprzednie, uśrednione parametry ruchu celu,

V_n, Q_n - prędkość i kurs celu wyznaczone z wykorzystaniem ostatniego meldunku,

ρ - współczynnik wagowy.

W pierwszej fazie śledzenia celu parametrów nie uśrednia się. W miarę uzyskiwania kolejnych meldunków o celu, parametry uśrednia się wykorzystując 6 różnych wartości współczynnika φ . W przypadku stwierdzenia manewrowania celu, przechodzi się na wyznaczanie nieuśrednionych parametrów toru lotu.

Zasady wykrywania manewru celu są następujące :

- a) jeśli cel zmienia kurs o $\Delta Q \leq 30^\circ$ to manewru nie ma;
- b) jeśli cel zmienia kurs w granicach $30^\circ < \Delta Q \leq 60^\circ$ to zaznacza się początek manewru; jeśli po uzyskaniu kolejnego meldunku sytuacja powtórzy się, to stwierdza się manewr;
- c) jeśli cel zmieni kurs o $30^\circ < \Delta Q \leq 60^\circ$, a po kolejnym meldunku zmieni kurs w granicach $60^\circ < \Delta Q \leq 120^\circ$ i znaki składowych prędkości są takie same, to stwierdza się manewr.

W innych przypadkach "zmiany kursu" przyjmuje się, że wykryto nowy cel.

Aktualne dane o śledzonych obiektach powietrznych przekazywane są do wykorzystania w obiekcie WEKTOR cyklicznie, co 12,5 sek. Dane o położeniu są ekstrapolowane na czas wydawania informacji. Według przytoczonego wyżej schematu PORI może przetwarzać dane o 40 obiektach powietrznych [20] .

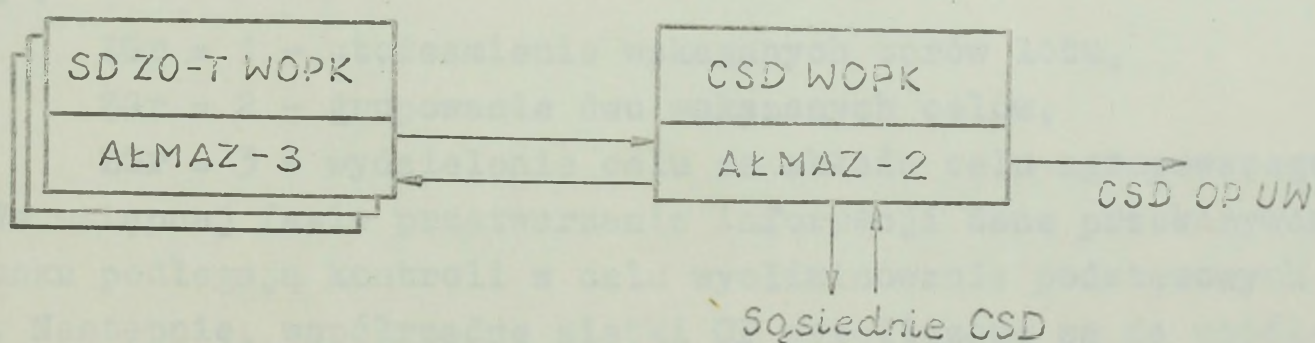
2.4. Przetwarzanie danych o obiektach powietrznych w systemie AŻMAZ - 2.

System AŻMAZ - 2 przeznaczony jest do automatyzacji dowodzenia działaniami bojowymi związków operacyjno - taktycznych / ZO-T / na centralnym stanowisku dowodzenia wojsk OPK / CSD WOPK /. W systemie AŻMAZ, sposób zbierania i przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej w istotny sposób odbiega zarówno od przedstawionych w rozdziale 1 metod teoretycznych, jak i metod praktycznie stosowanych w innych, prezentowanych w niniejszej pracy systemach. Wynika to z dwóch zasadniczych powodów : po pierwsze, z zadań realizowanych na CSD, po drugie, z możliwości urządzeń wchodzących w skład systemu. Omówione poprzednio podsystemy zbierania i przetwarzania danych o obiektach powietrznych zabezpieczają kierowanie ogniem środków WOPK. Uzyskane w wyniku przetwarzania informacje umożliwić powinny podział celów pomiędzy środki ogniowe oraz wskazywanie celów do zwalczania z pożądaną dokładnością. Ponadto, dane te powinny pozwalać na naprowadzenie grup samolotów myśliwskich na cele.

Podstawowym zadaniem realizowanym na CSD WOPK jest wybór wariantu działań bojowych wojsk OPK na większe ugrupowania bojowe

nieprzyjaciela. Wariant działań przedstawia sobą ustalony według jednolitej koncepcji porządek wykorzystania sił i środków WOPK w toku bitwy powietrznej, ich rozdziaku na kierunki i rubieże. Zastosowanie tego lub innego wariantu powinno zapewniać wymagany do wykonania zadania stosunek sił. Ten stan może być stworzony przez ześrodkowanie lub rozłożenie wysiłków ZO-T WOPK na większe lub najważniejsze ugrupowania nieprzyjaciela powietrznego. Wybór wariantu działania WOPK wiąże się z właściwą oceną sytuacji oraz odgadnięciem koncepcji nieprzyjaciela. W rezultacie oceny nieprzyjaciela powinny zostać ujawnione kierunki głównego i pomocniczego ataku, siły nieprzyjaciela na każdym kierunku oraz grupy zabezpieczenia ataku / demonstracyjne, pozorujące, stosowania zakłóceń itp /. Ocena zamiaru przeciwnika wymaga wstępnego, operacyjnego zgrupowania celów powietrznych, w wyniku którego ujawnią się ugrupowania wykonujące to samo zadanie bojowe. Przedstawione w postaci uogólnionej / zgrupowanej / informacje ułatwiają przewidywanie działań przeciwnika przez dowodzącego i grupę operacyjną. Kierowanie operacyjnym grupowaniem informacji jest jednym z głównych zadań w centrum rozpoznawczo - informacyjnym / CRI / WOPK [32] .

Dane o sytuacji powietrznej przekazywane są na CSD WOPK z SD ZO-T OPK w kanałach telekodowych. Informacja uogólniona na CSD przekazywana jest do podległych ZO-T, sąsiednich CSD i na CSD obrony powietrznej Układu Warszawskiego / CSD OP UW / - rysunek 19.



Rysunek 19. Przekazywanie danych o sytuacji powietrznej na szczeblu operacyjnym wojsk OPK.

Proces przetwarzania informacji radiolokacyjnej na CSD WOPK obejmuje 3 podstawowe zadania :

- 1) inicjowanie tras nowo odkrytych celów,
- 2) aktualizację danych o celach,

3) identyfikację celów [33] .

Identyfikacja celów stanowi oryginalną formę uogólniania informacji radiolokacyjnej dla potrzeb dowodzenia na szczeblu operacyjnym.

Pod pojęciem identyfikacji rozumie się łączenie bądź utożsamianie danych. Identyfikacji celów dokonuje się :

- podczas grupowania celów,
- przy przekazywaniu innemu SD celów do śledzenia,
- w przypadku zaistnienia dublujących się informacji.

W wyniku identyfikacji ustala się cel główny oraz rejestruje numery celów z nim identyfikowanych.

Grupowanie celów może być pierwotne oraz wtórne. Grupowania pierwotnego dokonują SD ZO-T OPK na rzecz i w myśl zaleceń CSD. Grupowania wtórnego dokonuje CRI na rzecz CSD OP UW. Odpowiedzialność za dokładność śledzenia celu zgrupowanego pierwotnie ponosi to SD ZO-T, które dokonało grupowania, natomiast w przypadku celów zgrupowanych wtórnie - CSD WOPK. Dla celu zgrupowanego jest automatycznie wyznaczana sumaryczna charakterystyka.

Dane o celach przekazywane są w formie standardowych meldunków. Wyróżniono 9 typów meldunków, przy czym z punktu widzenia analizowanego procesu istotnymi są meldunki typu I, II, i III. Meldunek typu I określa położenie celu we współrzędnych siatki OP. Meldunek typu II zawiera informacje o składzie, prędkości, wysokości i kursie lotu celu a także o efektach ognia podległych sił i środków. Meldunek typu III zawiera informacje wykorzystywane przy grupowaniu celów. Upraszczając nieco, wskaźnik ZGr przekazywany w meldunku oznacza :

ZGr = 1 - utożsamienie wskazanych torów lotu,

ZGr = 2 - grupowanie dwu wskazanych celów,

ZGr = 3 - wydzielenie celu ze składu celu zgrupowanego.

We wstępnej fazie przetwarzania informacji dane przekazywane w meldunku podlegają kontroli w celu wyeliminowania podstawowych błędów. Następnie, współrzędne siatki OP przeliczane są na współrzędne X, Y oraz współrzędne geograficzne φ, λ . W przypadku otrzymania meldunków typu I i II, każdorazowo sprawdza się czy nie dotyczą one nowego celu. Sprawdzenia dokonuje się poprzez porównanie numeru celu w meldunku z numerami celów głównych i identyfikowanych. W przypadku gdy numer celu jest precedensowym, rejestruje się trasę nowego celu.

Aktualizacja trasy śledzonej odbywa się w oparciu o dane

ze źródła priorytetowego; priorytet źródła ustala oficer CRI. W ramach aktualizacji sprawdza się czy współrzędne określone w meldunku znajdują się w obszarze przewidzianym dla danego celu. Sprawdza się ponadto czy współrzędne nie wykraczają poza obszar zobrazowania na ekranie sytuacji powietrznej. W przypadku wyniku pozytywnego, aktualizuje się dane o celu i rejestruje czas aktualizacji. Negatywny wynik sprawdzenia powoduje zignorowanie meldunku. Trasa celu jest automatycznie likwidowana, jeśli przez 8 min. nie przekazano nowego meldunku o celu oraz gdy kilka kolejnych meldunków wykracza poza zakres zobrazowania. W kolejnej fazie aktualizacji sprawdza się warunki grupowania celów wtórnie zgrupowanych; sprawdza się czy cel mieści się w obramowaniu grupy. W przypadku gdy warunki nie są spełnione, następuje wydzielenie celu ze składu celu zgrupowanego bądź rozformowanie grupy. Schemat aktualizacji danych o celu przedstawia rysunek 20.

Wtórne grupowania celów dokonuje się w celu zintegrowania danych i przekazania ich na CSD OP UW. Na CSD OP UW przekazywane mogą być dane o 15 celach maksymalnie. Wtórnie grupowane są cele o zbliżonych / w rozpatrywanej skali / : położeniu, kursie, prędkości i wysokości lotu. Warunki grupowania ustala oficer grupowania w momencie tworzenia grupy. Przewiduje się 3 rodzaje obramowania grupy :

400 x 500km - maszynowe obramowanie grupy,

150 x 200km - wprowadzane po komendzie "I obramowanie grupy",

400 x 500km - wprowadzane po komendzie "II obramowanie grupy".

Obramowania grupy według wysokości dokonuje się w zakresie odpowiednich przedziałów :

pierwszy - 0,1 ÷ 0,9km,

drugi - 1 ÷ 16km,

trzeci - 17 ÷ 70km.

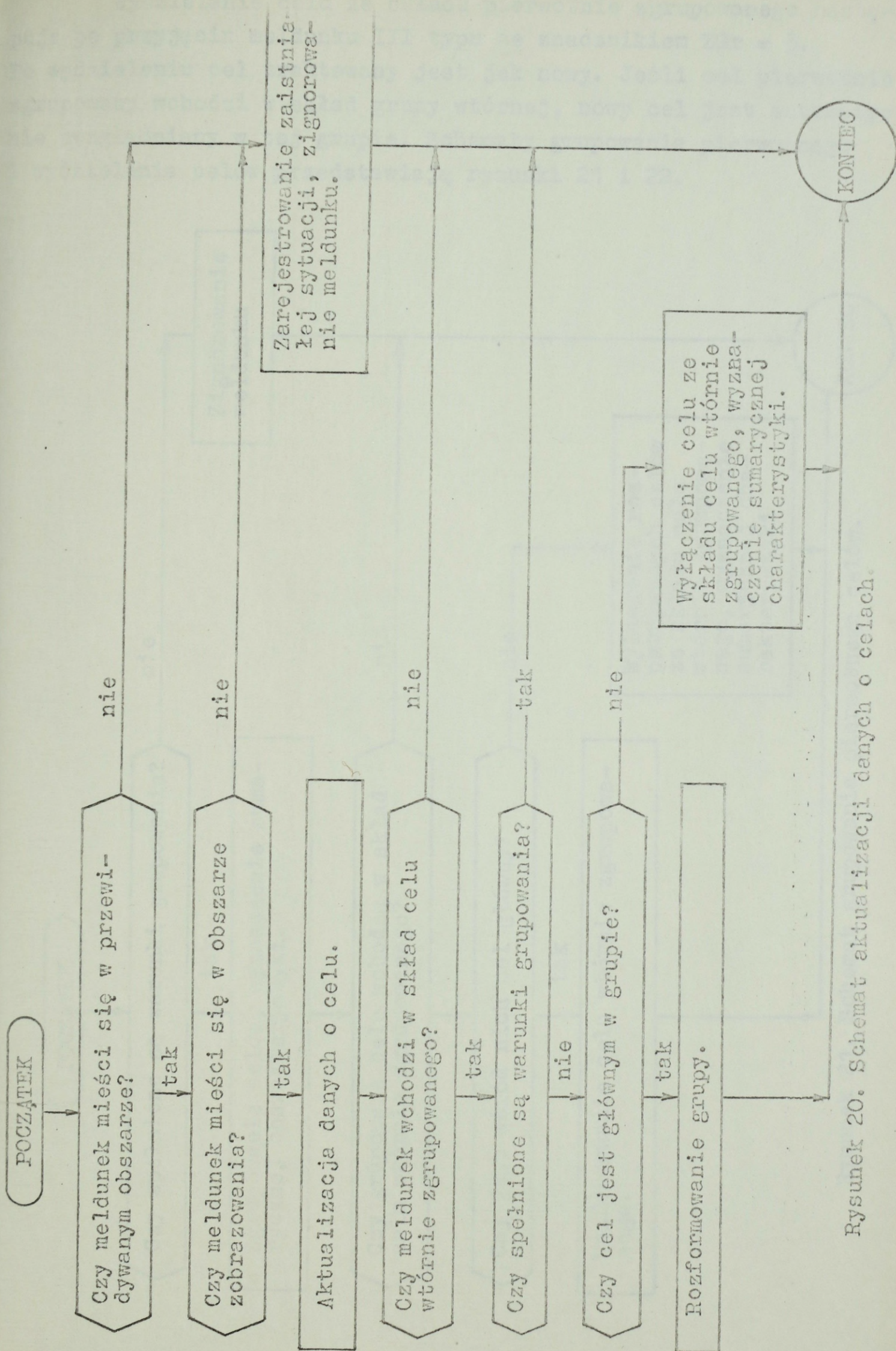
Grupowania pierwotnego celów dokonuje się po przyjęciu z SD ZO-T meldunku III typu ze wskaźnikiem ZGr = 2. Automatyczne grupowanie wykona się, jeśli :

- cel jest śledzony tylko przez jednego abonenta,

- cel jest śledzony przez kilku abonentów, lecz znajduje się w obszarze danego abonenta,

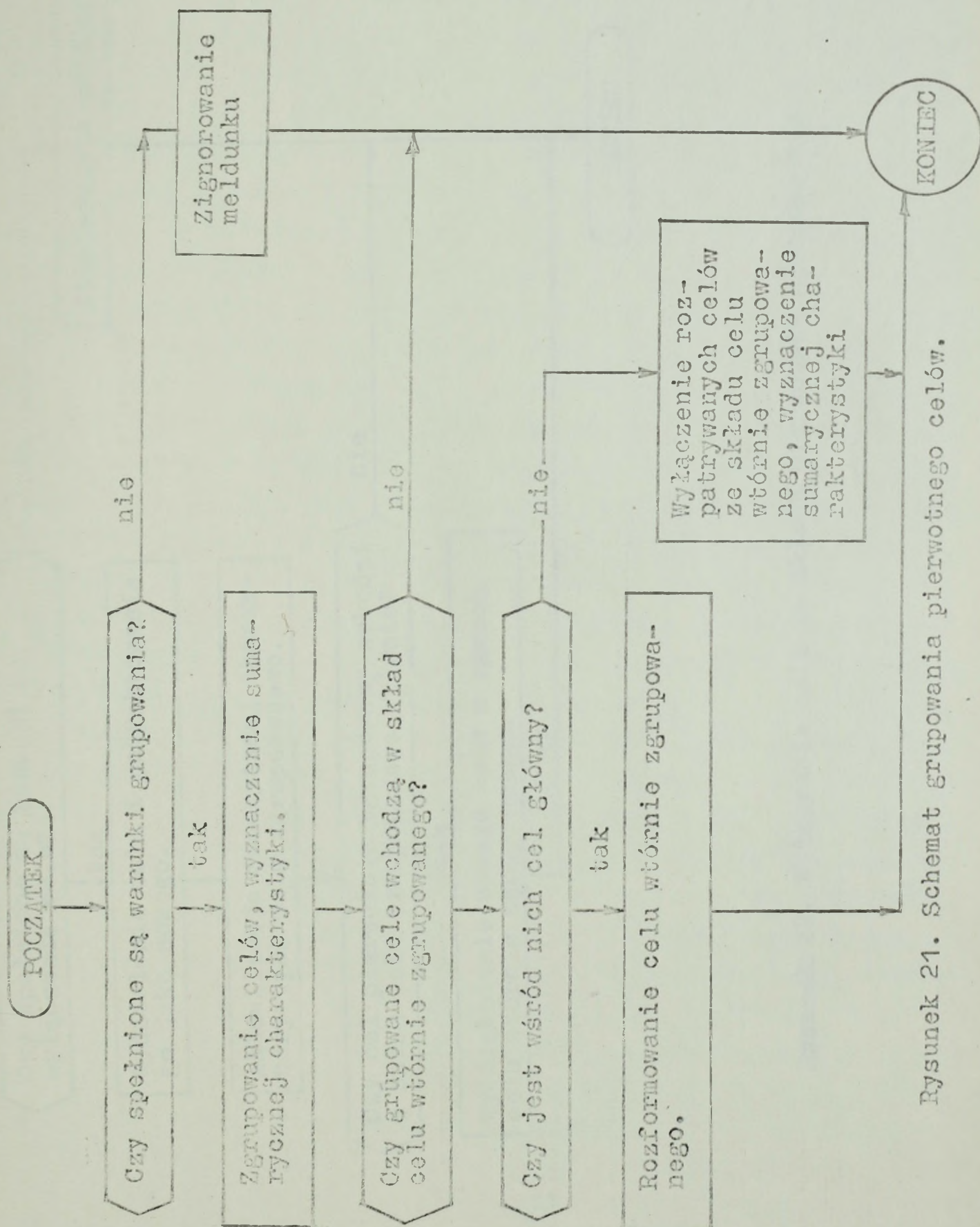
- abonent który przysłał meldunek ma priorytet.

W przypadku, gdy cele grupowane pierwotnie wchodzi w skład celu zgrupowanego wtórnie, są z tego ostatniego wyłączone. Gdy cel grupowany pierwotnie jest celem głównym w grupie wtórnej, grupę rozformowuje się.

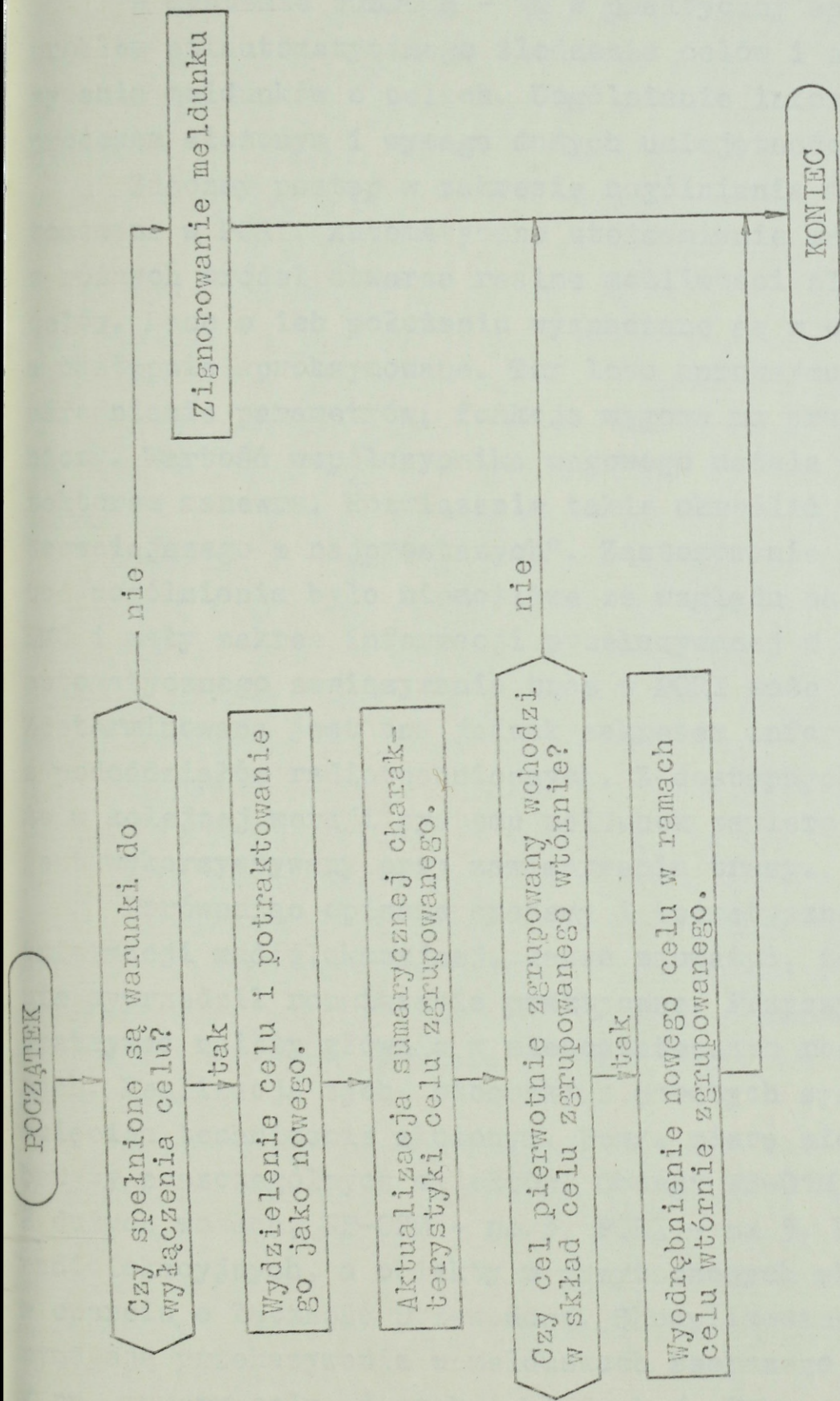


Rysunek 20. Schemat aktualizacji danych o celach.

Wydzielanie celu ze składu pierwotnie zgrupowanego następuje po przyjęciu meldunku III typu ze znacznikiem ZGr = 3. Po wydzieleniu cel traktowany jest jak nowy. Jeśli cel pierwotnie zgrupowany wchodzi w skład grupy wtórnej, nowy cel jest automatycznie uwzględniany w tej grupie. Schematy grupowania pierwotnego i wydzielenia celów przedstawiają rysunki 21 i 22.



Rysunek 21. Schemat grupowania pierwotnego celów.



Rysunek 22. Wyłączanie celu ze składu pierwotnie zgrupowanego.

2.5. Wnioski

Przedstawiony opis funkcjonowania aktualnie istniejących systemów zbierania i uogólniania informacji ilustruje proces ich rozwoju i pozwala na sformułowanie pewnych wniosków.

W systemie WOZDUCH - 1M w praktyczny sposób został rozwiązany problem półautomatycznego śledzenia celów i automatycznego przekazywania meldunków o celach. Uogólnianie informacji natomiast jest procesem złożonym i wymaga dużych umiejętności osób funkcyjnych.

Znaczny postęp w zakresie uogólniania stanowi rozwiązanie zastosowane w PORI. Automatyczne utożsamianie meldunków przekazywanych z różnych źródeł stwarza realne możliwości śledzenia dużej liczby celów. Dane o ich położeniu wyznaczane są w oparciu o reprezentanta a następnie aproksymowane. Tor lotu aproksymuje się poprzez ważne uśrednianie parametrów; funkcja wagowa ma przy tym charakter wykładniczy. Wartość współczynnika wagowego ustala się w powiązaniu z detektorem manewru. Rozwiązanie takie określić można mianem "najskuteczniejszego z najprostszych". Zastosowanie innych, złożonych metod uogólniania było niemożliwe ze względu na małą moc obliczeniową EMC i mały zakres informacji przekazywanej w meldunkach. Skuteczność automatycznego zawiązywania tras w PORI może budzić wątpliwości. Zdeterminowana jest ona jednak zakresem informacji przekazywanej z pododdziałów radiotechnicznych. Z dostępnych informacji wynika, że w kolejnej wersji systemu meldunek zawiera numer celu i numer ten jest wykorzystywany przy zawiązywaniu trasy.

Porównując opisane systemy i teoretyczne metody przetwarzania informacji radiolokacyjnej, łatwo zauważyć, że rozwój teorii znacznie wyprzedził rozwiązania praktyczne. Przyczyny tego stanu rzeczy upatrywać należy głównie w niedostatecznym rozwoju środków technicznych. Realizacja tych stosunkowo prostych systemów jest przedsięwzięciem technicznie złożonym. Pewną miarę złożoności systemu są gabaryty poszczególnych obiektów. Obiekt WP-01M zainstalowany jest na 2 dużych wozach, WP-02M - na 3, PORI - na 5. Nie obejmuje to stacji radiolokacyjnych, a obiekty w przytoczonych składach pracować mogą w oparciu o łączność przewodową. Skomplikowane metody uogólniania wymagają przekazywania w meldunkach szerszego zakresu informacji / np. numeru celu, danych o błędach /. Przy narzuconych wymaganiach czasowych wymaga to większej szybkości transmisji danych. Realizacja skomplikowanych algorytmów przetwarzania informacji wymaga większej

mocy obliczeniowej. Przy stosowanej w opisywanych systemach technice lampowo - tranzystorowej są to problemy trudne do rozwiązania.

Praktyczne rozwiązania w zakresie przetwarzania informacji radiolokacyjnej zależą nie tylko od poziomu techniki. Drugim czynnikiem, który musi być brany pod uwagę, są realne potrzeby. Przykładem tego może być system AEMAZ - 2. Specyfika zadań realizowanych na CSD OPK powoduje, że podstawowy wskaźnik oceny systemów przetwarzania danych radiolokacyjnych, dokładność śledzenia poszczególnych celów, traci na znaczeniu. System AEMAZ - 2 stanowi tutaj przede wszystkim ilustrację problemu, który w nieco węższym zakresie dostrzec można również w systemie OPL. Celem przetwarzania jest ujawnienie zamiarów nieprzyjaciela i zasadniczych elementów jego ugrupowania. W przypadku tym duże znaczenie ma forma prezentacji danych. Obraz sytuacji budowany jest w oparciu o dane fragmentaryczne. Trudno jest wyobrazić sobie pełną algorytmizację i automatyzację tego procesu.

Stąd, system AEMAZ - 2 posiada jeszcze jedną specyficzną cechę. Jest nią szeroka ingerencja człowieka w proces automatycznego śledzenia celów. Polega ona na inicjowaniu grupowania celów.

Również w innych omówionych obiektach operator uczestniczy w procesie śledzenia celów. W WP-01M operator ustala przynależność znacznika do trasy w warunkach krzyżowania się tras. Natomiast w PORI operator ma możliwość zawiązywania tras celów. Nie wszystkie tego typu rozwiązania traktować można jako wady systemu.

Zaprezentowane przykłady systemów zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej wskazują, że dla dalszego ich rozwoju zasadnicze znaczenie ma rozwój techniki. Najważniejsze jest zwiększenie szybkości i niezawodności transmisji danych. Powiększenie zakresu przekazywanej w meldunkach informacji / np. o numer celu, znacznik nowego celu, znacznik manewru / pozwala na zastosowanie prostszych i prawdopodobnie skuteczniejszych algorytmów identyfikacji meldunków.

Zwiększenie mocy obliczeniowej EMC jest nieodzownym warunkiem usprawnienia procesu uogólniania informacji radiolokacyjnej. Zastosowane mogą być wówczas złożone metody aproksymacji toru lotu i uogólniania danych z różnych źródeł. Umożliwia to również zastosowanie niezłożonych procedur współdziałania maszyny cyfrowej z człowiekiem / operatorem /.

Człowiek nie może być z procesu przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej wyeliminowany. Jest on niezbędny wtedy, gdy

trzeba przeciwstawić się twórczemu działaniu przeciwnika. Ponadto realizuje zadania, które na danym etapie rozwoju techniki obliczeniowej nie mogą być zautomatyzowane. Człowiek działa stosunkowo wolno. W proces przetwarzania danych o celach włączony musi być w taki sposób, aby go nie spowalniać, lecz w miarę możliwości podnosić jego jakość. Sytuacje, w których pożądana bądź konieczna jest ingerencja operatora powinny być w miarę możliwości sygnalizowane. Aby w pełni wykorzystać możliwości operatora, miejsce jego pracy musi być przystosowane do realizacji konkretnych zadań. Dotyczy to m.in. sposobu wprowadzania informacji do EMC i zobrazowania danych o sytuacji powietrznej. Szczególnie w tym ostatnim przypadku rozwiązania techniczne nie odpowiadają w pełni potrzebom.

ROZDZIAŁ 3. ZAUTOMATYZOWANY SYSTEM ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO OPL ARMII I FRONTU.

Zautomatyzowany system rozpoznania radiolokacyjnego OPL projektowany jest na bazie doświadczeń uzyskanych przy budowie i eksploatacji systemu DUNAJEC, użytkowanego aktualnie w wojskach OPK. Stanowić on ma integralną część zautomatyzowanego systemu dowodzenia obroną przeciwlotniczą DUNAJEC - P.

3.1. Zbieranie i przetwarzanie informacji radiolokacyjnej w systemie DUNAJEC - P.

Podstawowymi elementami zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego są, w systemie DUNAJEC - P, obiekty DP-10, DP-20 i DP-10R. Pod pojęciem obiektu rozumie się przede wszystkim kabinę wyposażoną w określone urządzenia i przeznaczoną do realizacji określonych funkcji. Kabina ta odgrywa główną rolę w zespole elementów / urządzeń, agregatów, stacji radiolokacyjnych / stale ze sobą współdziałających. Zespół ten również określany jest mianem obiektu. Podstawowe zadania realizowane w systemie rozpoznania radiolokacyjnego to zbieranie i uogólnianie informacji radiolokacyjnej oraz kierowanie działaniami pododdziałów radiotechnicznych. W poszczególnych obiektach zadania te realizowane są w różnej formie i różnym zakresie.

Obiekt DP-10 przeznaczony jest na wyposażenie kompanii radiotechnicznej. Powinien on zapewniać :

- zobrazowanie informacji radiolokacyjnej z dwu odległościomierzy i dwu wysokościomierzy,
- automatyzację pomiaru współrzędnych celów i śledzenia ich torów lotu,
- odbiór drogą radiową informacji radiolokacyjnej z dwóch zewnętrznych źródeł rozpoznania oraz uogólnienie tej informacji z informacją z własnych RLS,
- 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",
- automatyczne wspomaganie w zakresie kierowania działaniami pododdziału radiotechnicznego.

Obiekt DP-20 przeznaczony jest dla Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego / CRR / OPL armii i frontu. Ponadto, obiekt DP-20 stanowić ma wyposażenie SD batalionu radiotechnicznego prt / BRT /. W zakresie zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej, w obu odmianach tego obiektu realizowane mają być praktycznie takie same zadania^{5/} :

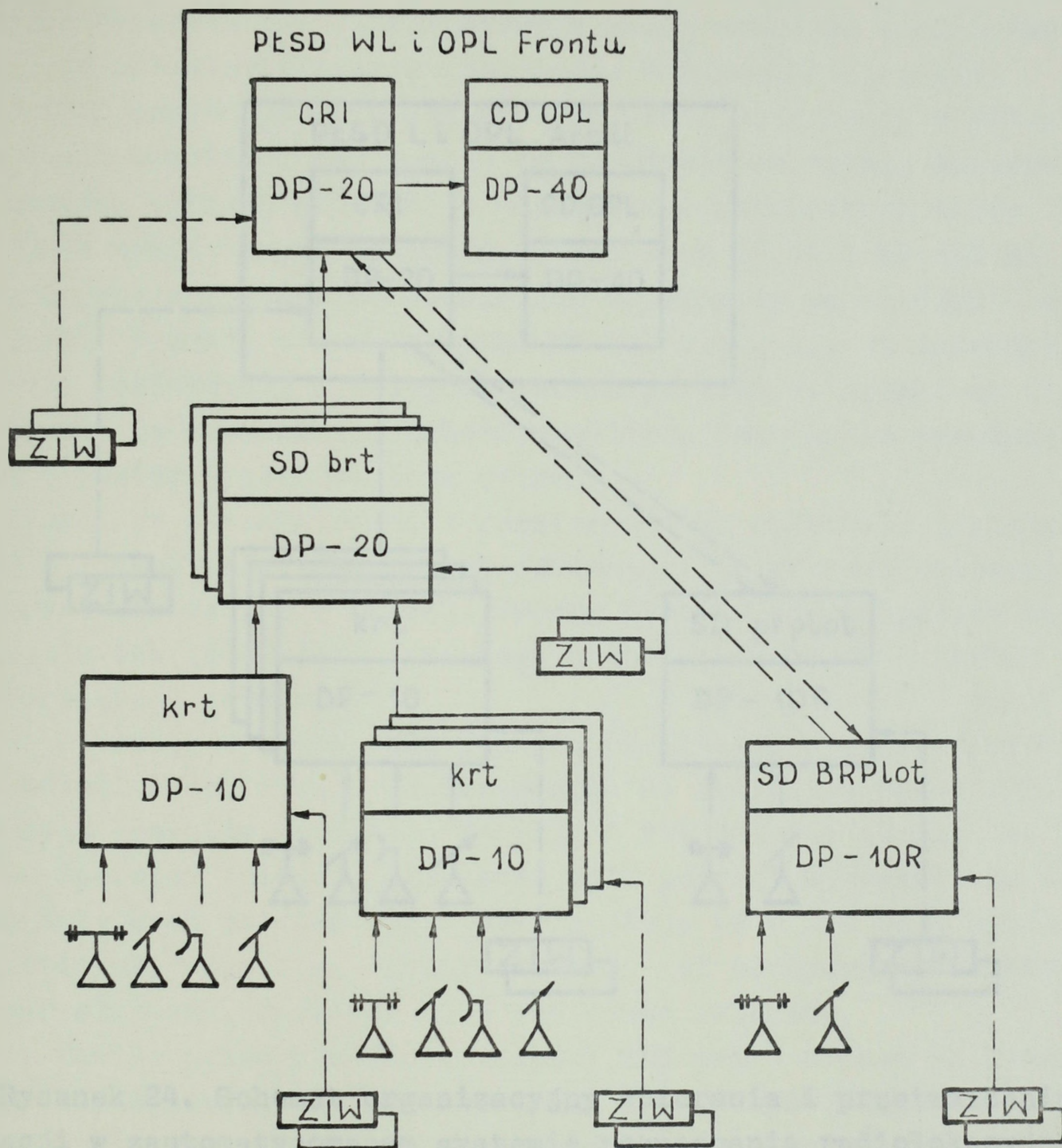
- odbiór danych dotyczących minimum 196 tras uogólnionych z 10 źródeł informacji wtórnej / ZIW / - obiektów DP-10, DP-10R itp.
- uogólnienie informacji z ZIW oraz śledzenie i zobrazowanie 64 tras uogólnionych,
- półautomatyczne śledzenie 4-6 nośników zakłóceń aktywnych w oparciu o dane z ZIW,
- automatyczne nadawanie obiektom własnych numerów maszynowych,
- automatyczne przekazywanie do CRR bądź do Centrum Dowodzenia / CD / danych dotyczących tras uogólnionych, z dyskretnością zależną od długości kolejki celów do przekazania.

Obiekt DP-10R przeznaczony jest głównie do automatyzacji kierowania ogniem pułku rakiet plot. W zakresie zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej DP-10R zapewnić powinien :

- odbiór i zobrazowanie informacji radiolokacyjnej z jednego odległościomierza oraz jednego wysokościomierza,
- automatyzację pomiaru współrzędnych celów i śledzenie ich torów lotu,
- odbiór drogą radiową informacji radiolokacyjnej z dwóch dodatkowych źródeł,
- odbiór ze szczebla nadrzędnego informacji o sytuacji powietrznej wraz z decyzją o zwalczaniu celów,
- uogólnienie informacji radiolokacyjnej z różnych źródeł oraz śledzenie tras uogólnionych,
- zobrazowanie 32 tras uogólnionych,
- automatyzację przesyłania danych o celach śledzonych przez własną RLS z cyklem aktualizacji "po każdej zmianie parametrów trasy".

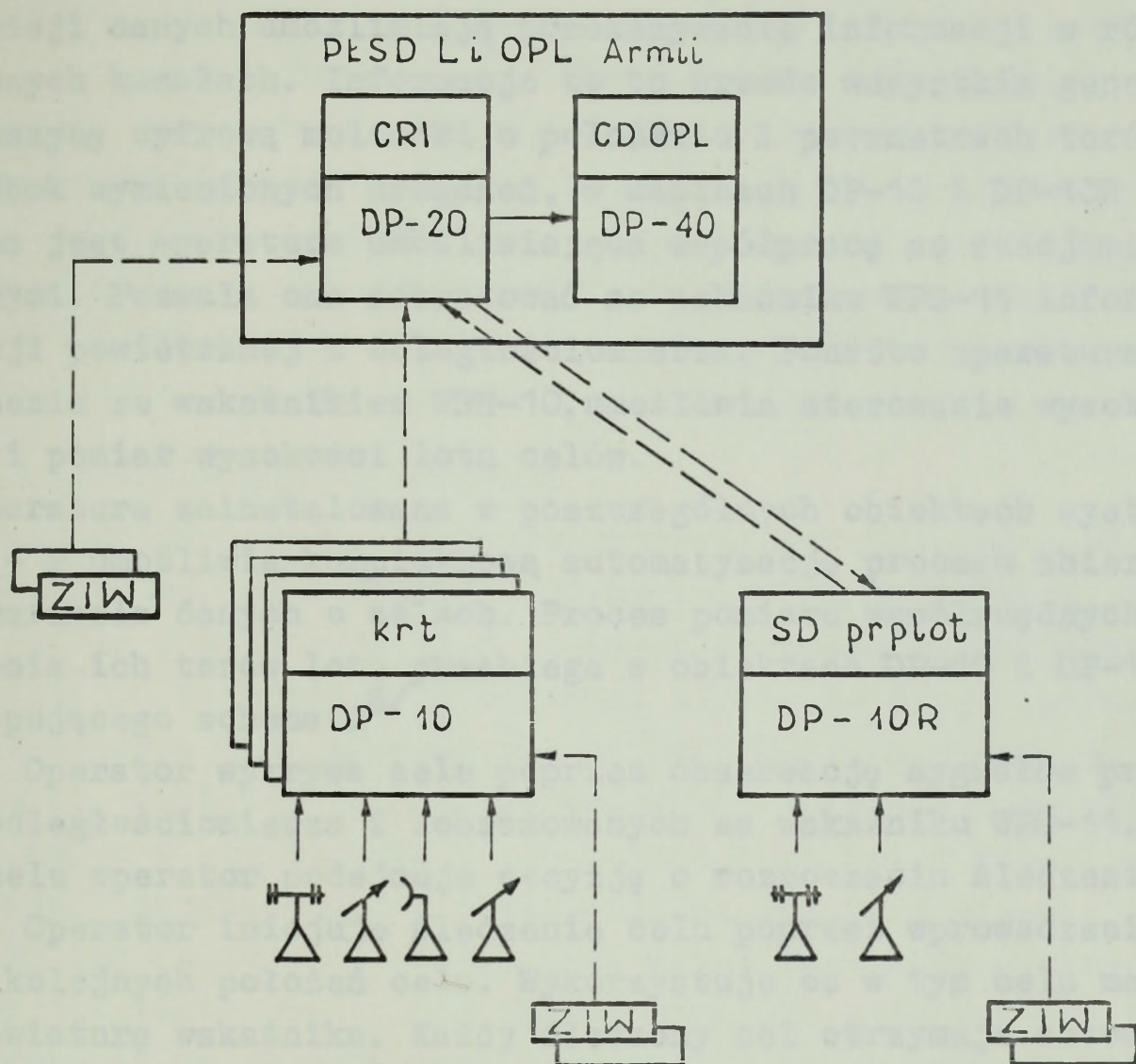
Warianty organizacji zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej w systemie DUNAJEC - P przedstawiają rysunki 23 i 24.

5/ Plan wdrażania oraz koncepcja budowy polowego zautomatyzowanego systemu dowodzenia obroną przeciwlotniczą wojsk operacyjnych. MON, Dowództwo Wojsk OPL, 1985 r.



- - - - -> przekazywanie informacji w kanałach radiowych,
 —————> przekazywanie informacji w kanałach przewodowych,
 [ZIW] — dodatkowe źródła informacji wtórnej.

Rysunek 23. Schemat organizacji zbierania i przetwarzania informacji w zautomatyzowanym systemie rozpoznania radiolokacyjnego OPL frontu.



Rysunek 24. Schemat organizacyjny zbierania i przetwarzania informacji w zautomatyzowanym systemie rozpoznania radiolokacyjnego OPL armii; oznaczenia-jak na rysunku poprzednim.

Podstawowymi urządzeniami we wszystkich opisywanych wcześniej obiektach / kabinach / są : wskaźnik WPS-11, maszyna cyfrowa UMJS oraz urządzenia łączności i transmisji danych. Wskaźnik WPS-11 stanowi, z jednej strony, urządzenie wejścia i wyjścia maszyny cyfrowej, z drugiej natomiast, stanowić może wskaźnik wynośny RLS. Dane do maszyny cyfrowej operator wprowadza z klawiatury wskaźnika lub za pomocą urządzenia zwanego markerem. Za pomocą markera mogą być szybko określone i wprowadzone do EMC współrzędne wskazanego przez operatora, dowolnego punktu na ekranie; mogą to być współrzędne wykrytego przez RLS celu. UMJS jest minikomputerem przystosowanym

do pracy w warunkach pola walki. Współpracuje ze wskaźnikami WPS-11, wskaźnikami pomiaru wysokości WRH-10, urządzeniami transmisji danych i pamięcią kasetową PK-1. UMJS steruje pracą urządzeń zewnętrznych i realizuje równoległe szereg programów. Urządzenia łączności i transmisji danych umożliwiają przekazywanie informacji w różnych, telekodowych kanałach. Informacje te to przede wszystkim generowane przez maszynę cyfrową meldunki o położeniu i parametrach torów lotu celów. Obok wymienionych urządzeń, w kabinach DP-10 i DP-10R zainstalowana jest aparatura umożliwiająca współpracę ze stacjami radiolokacyjnymi. Pozwala ona zobrazować na wskaźniku WPS-11 informacje o sytuacji powietrznej z odległościomierza. Ponadto aparatura ta, w połączeniu ze wskaźnikiem WRH-10, umożliwia sterowanie wysokościomierzem i pomiar wysokości lotu celów.

Aparatura zainstalowana w poszczególnych obiektach systemu DUNAJEC - P umożliwia kompleksową automatyzację procesu zbierania i przetwarzania danych o celach. Proces pomiaru współrzędnych celów i śledzenia ich torów lotu przebiega w obiektach DP-10 i DP-10R wg następującego schematu^{6/} :

a. Operator wykrywa cele poprzez obserwację sygnałów przekazanych z odległościomierza i zobrazowanych na wskaźniku WPS-11. Po wykryciu celu operator podejmuje decyzję o rozpoczęciu śledzenia;

b. Operator inicjuje śledzenie celu poprzez wprowadzenie do EMC dwu kolejnych położzeń celu. Wykorzystuje on w tym celu marker oraz klawiaturę wskaźnika. Każdy śledzony cel otrzymuje automatycznie numer służbowy. Operator może ten numer zmienić ;

c. Chwilę przed przejściem anteny RLS przez azymut na którym znajduje się śledzony cel, na wskaźniku WPS-11 wyświetlane jest automatycznie prognozowane położenie celu. Niemal równocześnie, w momencie przechodzenia anteny RLS przez azymut celu, na wskaźniku wyświetlane jest położenie celu pomierzone przez RLS /"echo celu"/;

d. Operator wskaźnika spełnia rolę detektora błędu. Jeśli położenie prognozowane i pomierzone różnią się, to operator wykonuje czynność zwaną korektą, t.j. wskazuje / wprowadza do EMC / rzeczywiste, pomierzone przez RLS położenie celu;

e. Operator, jeśli uzna to za celowe i możliwe, może funkcję wprowadzania korekt do wybranego celu zlecić automatowi.

6/ Projekt wstępny. Obiekt kompanijny DUNAJEC-10, Przemysłowy Instytut Telekomunikacji, 1978 r.

Automat ten nosi nazwę Modułu Automatycznego Wykrywania / MAW /. Automatyczne śledzenie wykorzystuje się w sprzyjających warunkach. Zakłada się, że w przypadku wystąpienia zakłóceń korekty wprowadzać będzie operator.

Przetwarzanie informacji radiolokacyjnej w oparciu o UMJS odbywać się może różnymi metodami. Przy wyborze odpowiednich dla danego systemu metod uwzględnionych musi być szereg czynników, w tym również efektywność systemu. Oszacowanie tej efektywności, w zależności od sposobu przetwarzania a także innych czynników, jest celem niniejszej rozprawy doktorskiej. Powinna ona ułatwiać ocenę przydatności poszczególnych metod i rozwiązań dla projektowanego, zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego.

3.2. Cel i koncepcja badań systemu.

Poszczególne metody^{7/} przetwarzania informacji radiolokacyjnej wykorzystują mniej lub bardziej złożony aparat matematyczny. Wiąże się to z reguły z mniejszym bądź większym zakresem wykorzystywanej przy uogólnianiu informacji. Przyjmować można, że metody bardziej złożone, wykorzystujące szerszy zakres informacji o systemie, dają lepsze wyniki. Niemniej jednak nie wszystkie informacje o systemie, o występujących w nim błędach i zjawiskach mogą być w ścisły sposób sformułowane i uwzględnione w obliczeniach. Powstaje pytanie w jaki sposób fakt ten rzutuje na efektywność metod złożonych. Istnieje ryzyko, że ich zastosowanie nie da zdecydowanie lepszych wyników.

Stosowanie metod wykorzystujących duży zakres informacji związane jest najczęściej z większymi, szeroko rozumianymi kosztami. Dane o błędach pomiarów w najprostszym sposobie określa źródło informacji. W przypadku takim, dane te przekazywane muszą być do punktu uogólniania w kanałach transmisji danych. Wymaga to większej przepustowości tych kanałów. Metody złożone wymagają ponadto większej mocy obliczeniowej EMC. Zapotrzebowanie na moc obliczeniową zwiększa się dodatkowo, jeśli dane o błędach w systemie generowane są w punkcie uogólniania. Jeśli uwzględni się przy tym wysokie wymagania niezawodnościowe jakie spełniać musi system, okazać się może, że przy określonym poziomie rozwoju techniki obliczeniowej stosowanie skomplikowanych metod jest praktycznie niemożliwe^{8/}.

^{7/} Opis metod oraz wstępna ocena ich przydatności zawarte są w rozdziale 1.

^{8/} Sytuację taką ilustrują przykłady systemów opisanych w rozdziale 2.

Uzasadnione jest więc stosowanie metod możliwie prostych, takich które pozwalają jednak na uzyskanie zadowalających wyników.

Tak więc, przy wyborze metod uogólniania informacji radiolokacyjnej uwzględniać należy rzeczywiste potrzeby pola walki. Potrzeby te mogą być różnie formułowane. Informacja o położeniu i parametrach torów lotu celów wykorzystywana jest do kierowania działaniami pododdziałów rakiet plot. i lotnictwa myśliwskiego. W obu przypadkach powinna ona umożliwiać szybkie i bezbłędne wykrycie wskazanego celu przez radiolokacyjne stacje wykrywania bezpośredniego / SNR, SSWN itp. /. Charakterystyki tych stacji, parametry wiązki stanowią punkt wyjścia do oszacowania porządanej dokładności śledzenia celów. Szczególnie niekorzystna z punktu widzenia kierowania ogniem OPL jest sytuacja, w której na skutek zdecydowanie błędnej hipotezy toru lotu zachodzi konieczność przerwania śledzenia celu. Dotyczyć to może zarówno celów faktycznie istniejących jak i nieistniejących. Mimo że śledzenie celu realnego podejmuje się ponownie, to sytuacje takie w poważnym stopniu mogą dezorganizować działania obrony przeciwlotniczej. Stąd, dla oceny efektywności różnych wariantów uogólniania informacji radiolokacyjnej oraz porównania jej z potrzebami, jako wskaźniki efektywności śledzenia celów przyjmuje się :

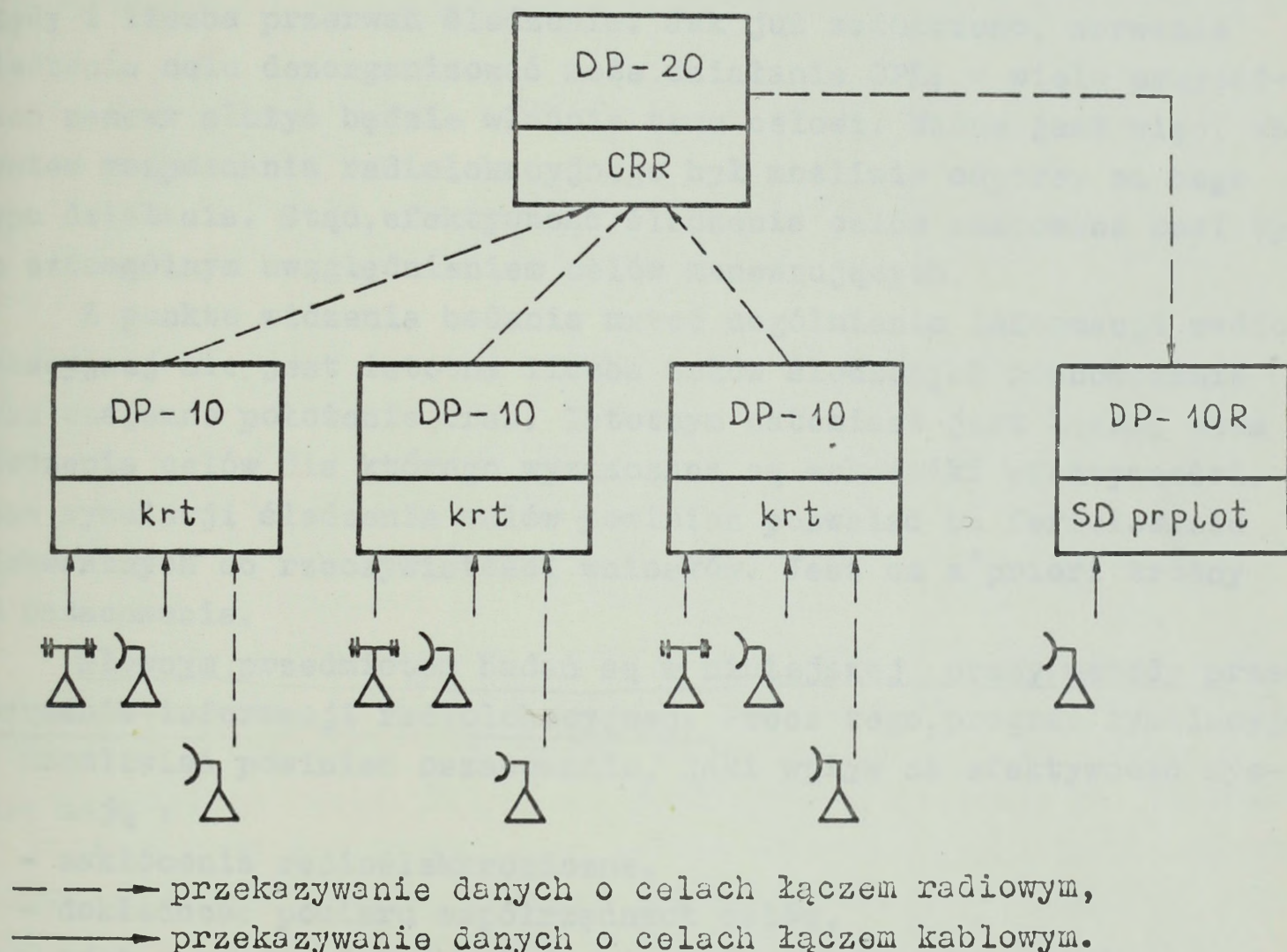
- 1) błąd śledzenia,
- 2) liczbę przerw w śledzeniu.

Błąd śledzenia definiuje się jako odległość pomiędzy rzeczywistym położeniem celu a położeniem określonym w wyniku pracy systemu rozpoznania radiolokacyjnego. Przerwanie śledzenia następuje, gdy przez określony czas żaden z meldunków o położeniu celu nie może być utożsamiony ze śledzonym celem.

Na drodze analitycznej, wartości przyjętych wskaźników mogą być szacowane w odniesieniu do pojedynczego punktu przetwarzania i przy silnych założeniach upraszczających. W przypadku złożonego systemu, jego efektywność może być oszacowana poprzez badanie systemu rzeczywistego lub na drodze symulacji komputerowej.

Przyjęte wskaźniki jakości mają charakter względny. Mogą one przyjmować różne wartości w zależności od konfiguracji systemu, stosowanych metod przetwarzania, liczby i sposobu lotu celów oraz czasu pracy systemu. W niniejszej pracy przedmiotem badań jest zautomatyzowany system rozpoznania radiolokacyjnego OPL wyposażony w obiekty DP-10, DP-10R i DP-20. System ten funkcjonować może

w różnych zestawieniach. Poszczególne konfiguracje różnić się mogą liczbą współpracujących RLS oraz liczbą punktów przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Jako wzorcowy przyjmuje się uproszczony model systemu rozpoznania radiolokacyjnego armii / rysunek 25 /.



Rysunek 25. Model systemu rozpoznania radiolokacyjnego OPL armii.

Przyjęty model nie uwzględnia niektórych powiązań informacyjnych. W systemie rzeczywistym np. CRR otrzymuje informację o sytuacji powietrznej z CRR frontu oraz wybranych, dodatkowych źródeł / sąsiednie CRR, DP-10R itp./ . Powyższy model przyjęto przy założeniu, że informacje przekazywane z krt są najbardziej aktualne i dokładne i one decydują o efektywności systemu. Liczba źródeł informacji dostępnych w każdym z obiektów jest zbliżona do rzeczywistej i umożliwia badanie procesu uogólniania informacji radiolokacyjnej.

Efektywność śledzenia celów oceniana powinna być przede wszystkim w punktach wykorzystujących informację radiolokacyjną do kierowania ogniem, t.j. na SD OPL A i SD prplot. Dla śledzenia procesu przetwarzania informacji, wskaźniki efektywności wyznaczone powinny być dla wszystkich obiektów. Zakłada się, że uzyskane w wyniku badań wnioski mogą być odniesione do innych konfiguracji systemu.

Istotny wpływ na błędy śledzenia celów ma kształt torów lotu. Można oczekiwać, że w przypadku celów manewrujących zwiększą się błędy i liczba przerw śledzenia. Jak już zaznaczono, zerwanie śledzenia celu dezorganizować może działanie OPL; w wielu przypadkach manewr służyć będzie właśnie temu celowi. Ważne jest więc, aby system rozpoznania radiolokacyjnego był możliwie odporny na tego typu działania. Stąd, efektywność śledzenia celów szacowana musi być ze szczególnym uwzględnieniem celów manewrujących.

Z punktu widzenia badania metod uogólniania informacji radiolokacyjnej nie jest istotna liczba celów śledzonych równocześnie oraz wzajemne położenie tras. Istotnym natomiast jest łączny czas śledzenia celów dla którego wyznaczane są wskaźniki efektywności. Czas symulacji śledzenia celów powinien pozwalać na formułowanie adekwantnych do rzeczywistości wniosków. Jest on a priori trudny do oszacowania.

Głównym przedmiotem badań są w niniejszej pracy metody przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Prócz tego, program symulacyjny umożliwiać powinien oszacowanie, jaki wpływ na efektywność systemu mają :

- zakłócenia radioelektroniczne,
- dokładność pomiaru współrzędnych celów,
- odstęp czasu między kolejnymi pomiarami współrzędnych,
- wielkość bramki selekcyjnej.

ROZDZIAŁ 4. SYMULACJA FUNKCJONOWANIA WIELOSZCZEBLOWEGO, ZAUTOMATYZOWANEGO SYSTEMU ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO

4.1. Koncepcja symulacji funkcjonowania systemu.

Symulacja funkcjonowania systemu zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej obejmować musi następujące, podstawowe procesy :

- wykrywanie i półautomatyczne śledzenie celów przez operatorów RLS,
- przetwarzanie danych o celach w ramach II etapu obróbki informacji radiolokacyjnej,
- przekazywanie danych o celach do dalszego wykorzystania,
- uogólnianie informacji radiolokacyjnej uzyskiwanej z kilku źródeł.

Każdy z wymienionych procesów obejmuje szereg działań i zjawisk, które muszą być sformułowane w postaci określonych zależności i parametrów. Obok danych charakteryzujących system, podstawę do symulacji stanowią informacje o rzeczywistym położeniu celów. Dane te mogą być formułowane w różny sposób. Ze względu na zakres badań, celowym jest uzyskiwanie ich na drodze symulacji lotu celów.

Podstawowe, występujące w systemie zdarzenia i działania / pomiar współrzędnych celu, formowanie, przekazywanie i uogólnianie danych / mają charakter dyskretny. Upoważnia to do traktowania systemu rozpoznania radiolokacyjnego jako systemu dyskretnego. Działanie takiego systemu symuluje się zwykle poprzez symulację kolejnych zdarzeń [6]. Modelowany system charakteryzuje duża liczba zdarzeń występujących w różnych miejscach i w różnym czasie. Powiązania między zdarzeniami są nieraz bardzo złożone. Ustalenie więc kolejności zdarzeń w skali całego systemu może nastroić wiele trudności. Dlatego symulacja funkcjonowania systemu rozpoznania radiolokacyjnego prowadzona jest w oparciu o metodę kwantowania czasu. Metodę kolejnych zdarzeń wykorzystuje się natomiast, do symulacji poszczególnych obiektów bądź procesów w ramach ustalonego przedziału czasu.

Podstawowymi elementami modelowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego są stacje radiolokacyjne oraz obiekty DP-10, DP-20 i DP-10R. Do podstawowych funkcji realizowanych w obiektach DP-10 i DP-10R należą :

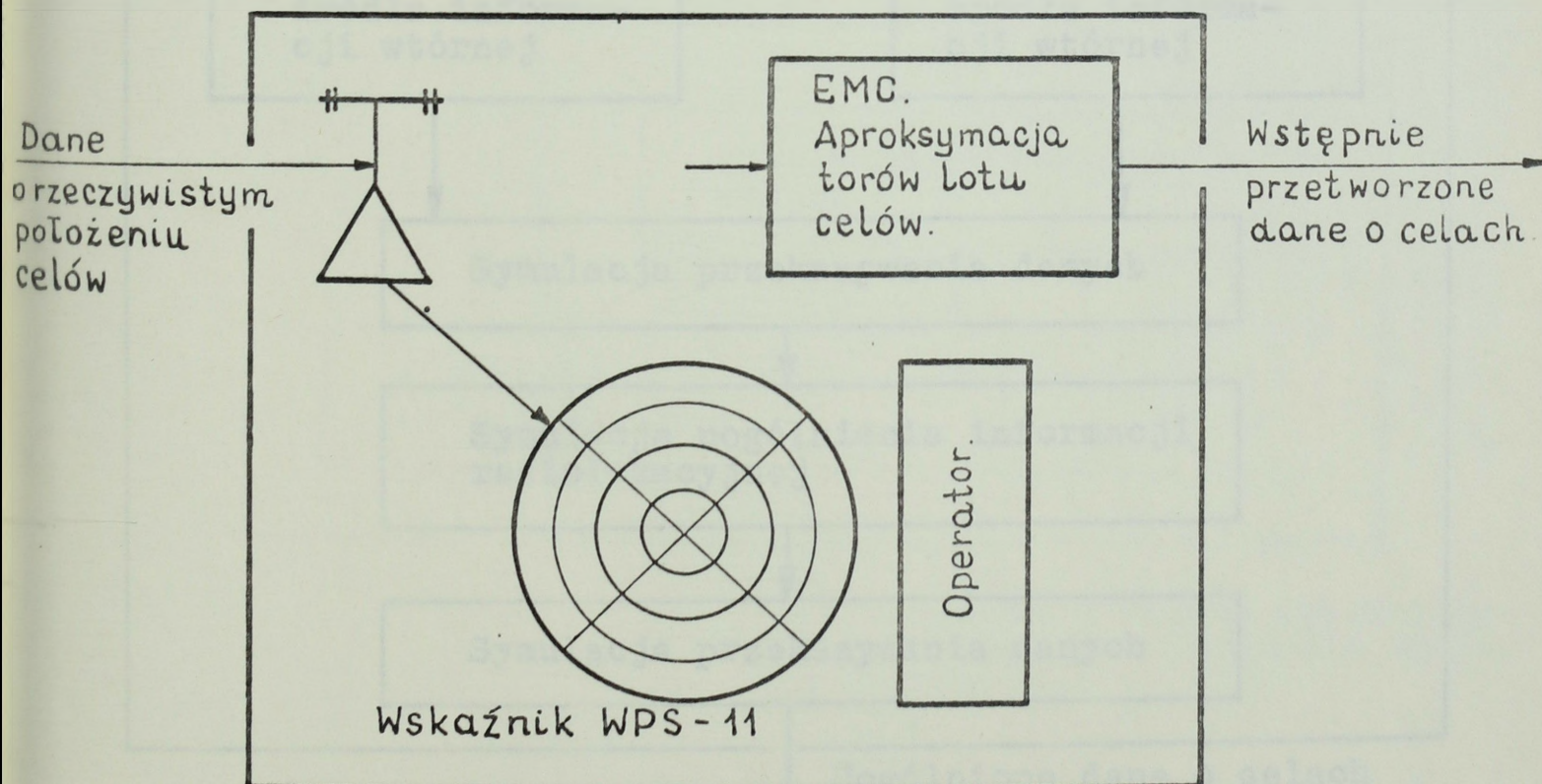
- wykrywanie, określanie parametrów torów lotu i półautomatyczne śledzenie celów,

- przetwarzanie danych o celach w ramach II etapu obróbki informacji radiolokacyjnej,
- uogólnianie danych o celach uzyskiwanych z różnych źródeł,
- przekazywanie danych.

Podstawowe funkcje objęte symulacją i realizowane w obiekcie DP-20 to :

- uogólnianie informacji o położeniu i parametrach lotu celów uzyskiwanej z podległych DP-10,
- przekazywanie uogólnionych danych o celach.

Jak z powyższego zestawienia wynika, obok funkcji unikalnych, związanych z konkretnym obiektem istnieją funkcje realizowane w obiektach różnego typu. W tej sytuacji celowym jest, aby podstawowe elementy / moduły / modelu symulacyjnego odpowiadały poszczególnym funkcjom / procesom /. Pracę konkretnego obiektu można natomiast symulować poprzez odpowiednie zestawienie poszczególnych modułów. Zadania wykrycia i śledzenia celu oraz przetwarzania danych w ramach II obróbki informacji radiolokacyjnej są, w rozpatrywanym systemie, ściśle ze sobą powiązane. Stacja radiolokacyjna, operator oraz aparatura i procedury wstępnego przetwarzania / aproksymacji / danych tworzą źródło informacji wtórnej / rysunek 26 /. Celowym jest więc symulowanie pracy tych elementów w ramach jednego modułu.



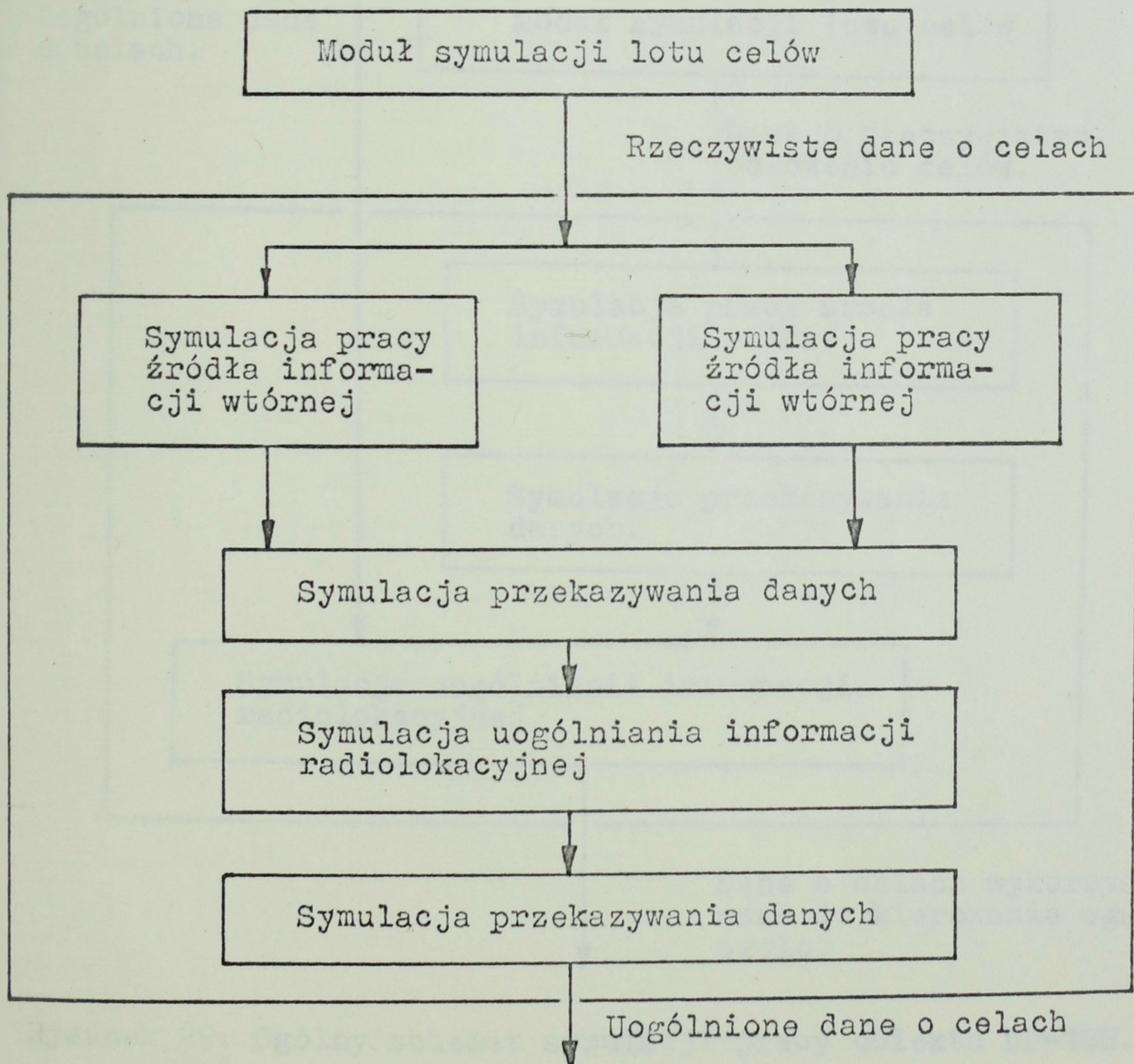
Rysunek 26. Ogólny schemat funkcjonowania źródła informacji wtórnej.

Tak więc w ramach modelu symulacyjnego wyróżnia się moduły symulacji :

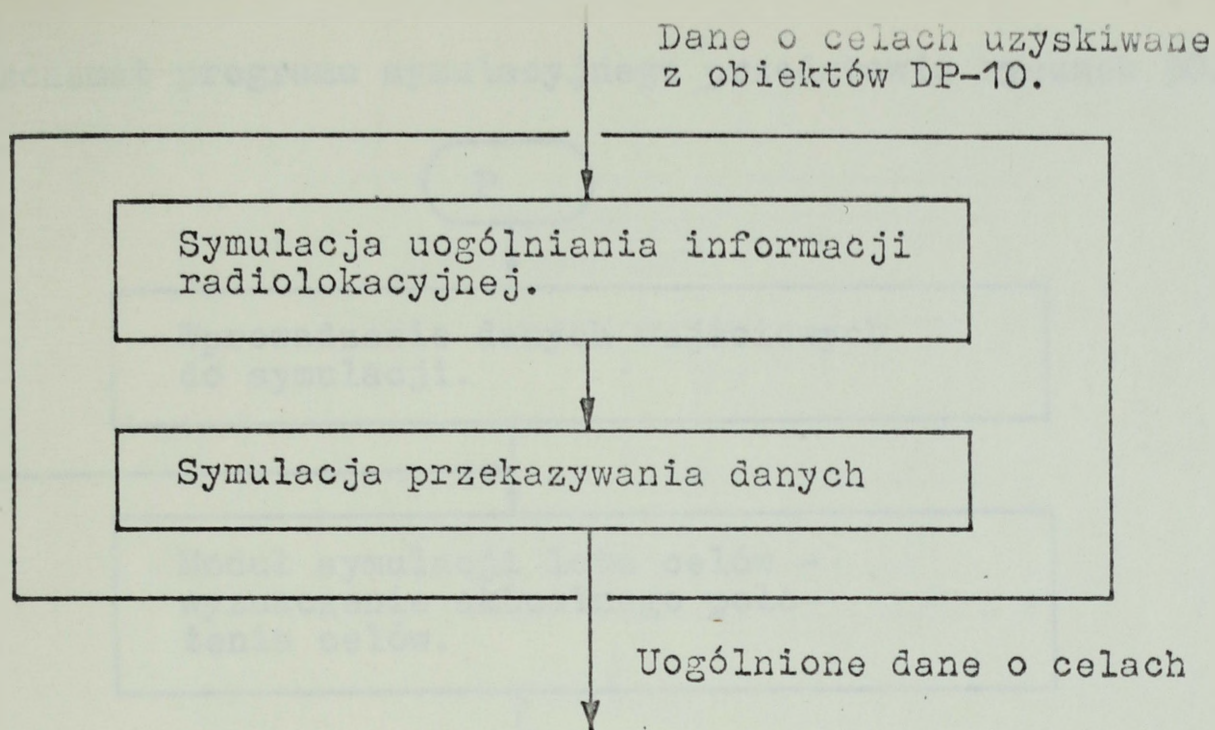
- 1) lotu celów,
- 2) pracy źródła informacji wtórnej,
- 3) uogólniania danych o celach,
- 4) przekazywania danych o celach.

Na kolejnych rysunkach : 27, 28, 29, przedstawiono schematy symulacji funkcjonowania poszczególnych obiektów badanego systemu w oparciu o wyodrębnione moduły.

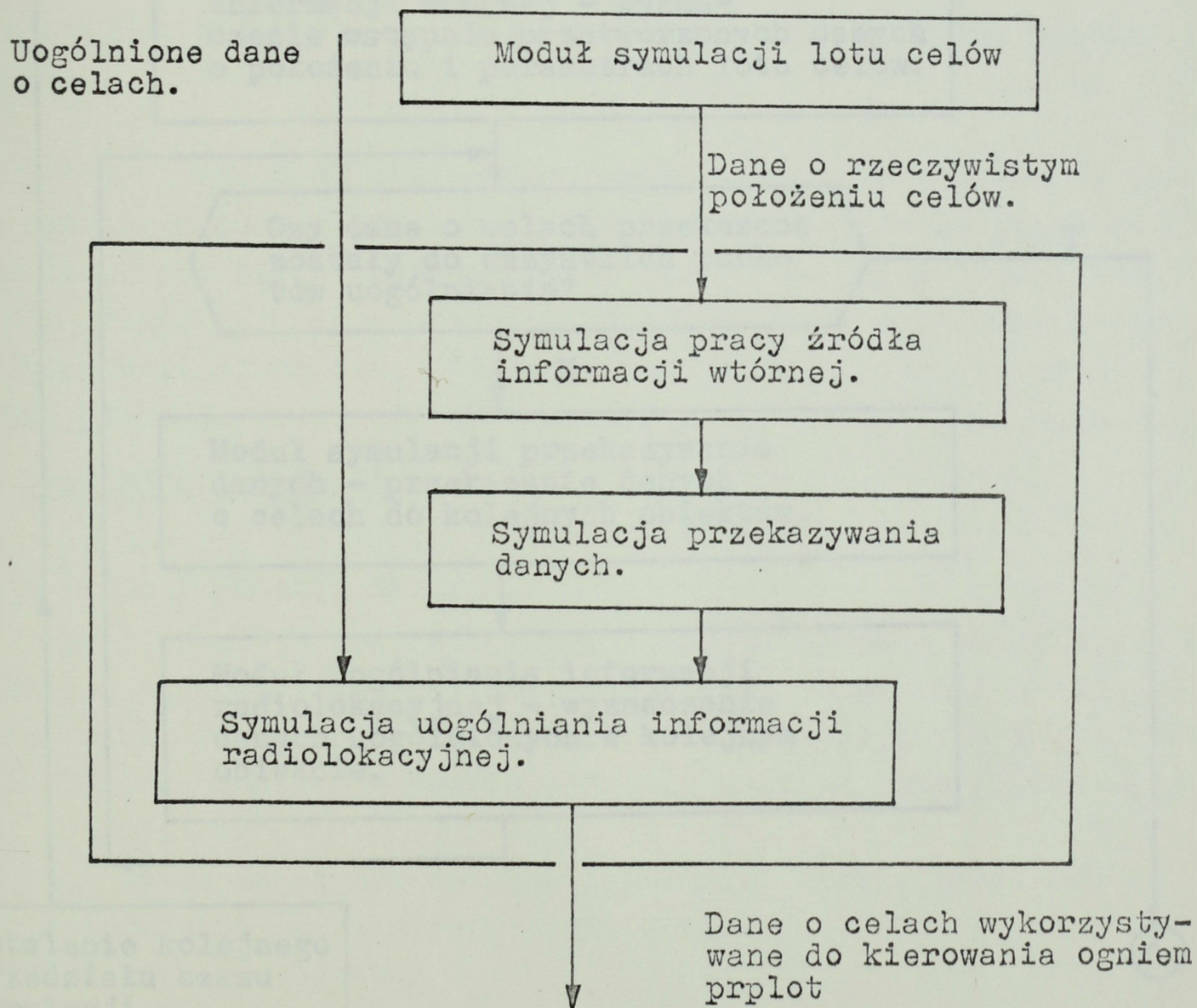
Powyższa koncepcja umożliwiła zbudowanie programu symulacyjnego, który pozwala na badanie systemów radiolokacyjnych o różnym składzie i organizacji. Maksymalnie, badany system obejmować może do 15 źródeł informacji wtórnej / w uproszczeniu : RLS / oraz do 8 punktów uogólniania informacji radiolokacyjnej. Każdy z punktów uogólniania przetwarzać może informację z maksymalnie 4 źródeł.



Rysunek 27. Ogólny schemat symulacji pracy obiektu DP-10.

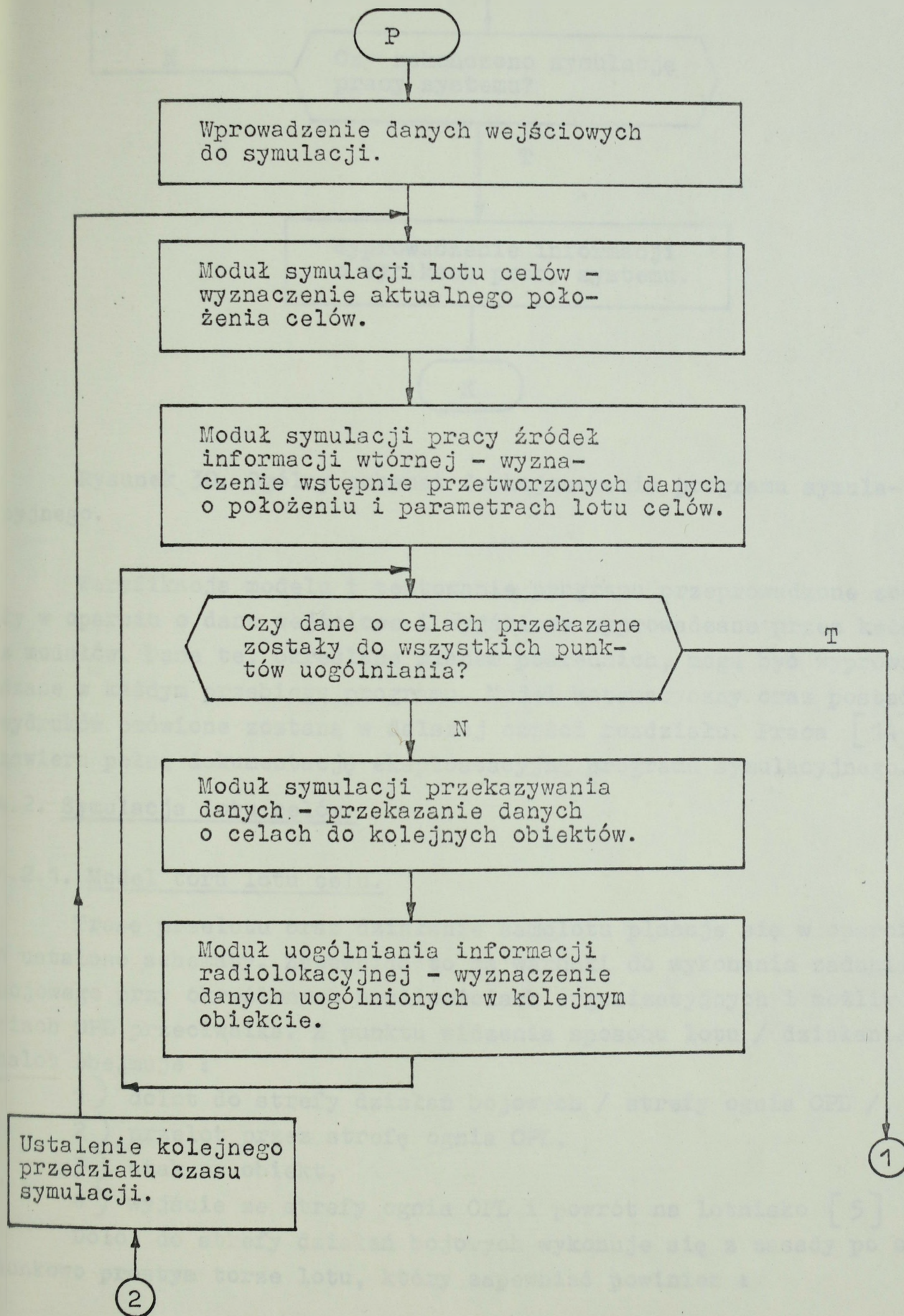


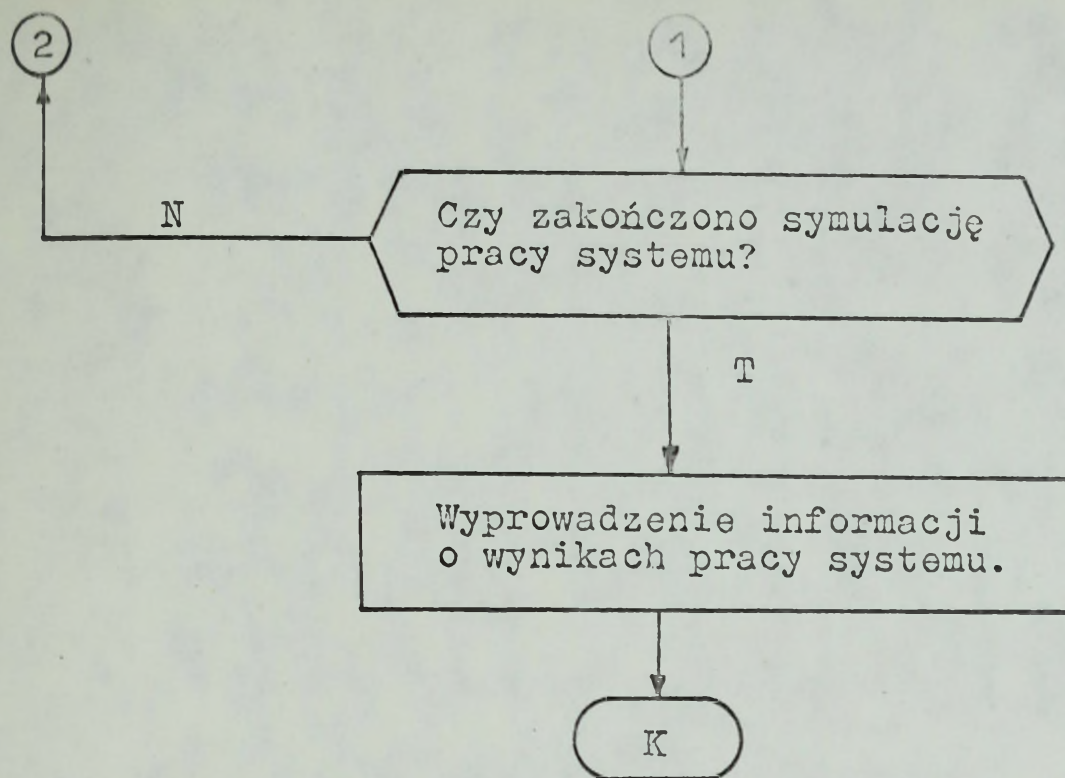
Rysunek 28. Ogólny schemat symulacji pracy obiektu DP-20.



Rysunek 29. Ogólny schemat symulacji pracy obiektu DP-10R.

Ogólny schemat programu symulacyjnego przedstawia rysunek 30.





Rysunek 30. Ogólny schemat funkcjonowania programu symulacyjnego.

Weryfikacja modelu i testowanie programu przeprowadzone zostały w oparciu o dane wejściowe i wyjściowe wyprowadzane przez każdy z modułów. Dane te, określane mianem pośrednich, mogą być wyprowadzane w każdym przebiegu programu. Model matematyczny oraz postać wydruków omówione zostaną w dalszej części rozdziału. Praca [14] zawiera pełną dokumentację eksploatacyjną programu symulacyjnego.

4.2. Symulacja lotu celów.

4.2.1. Model toru lotu celu.

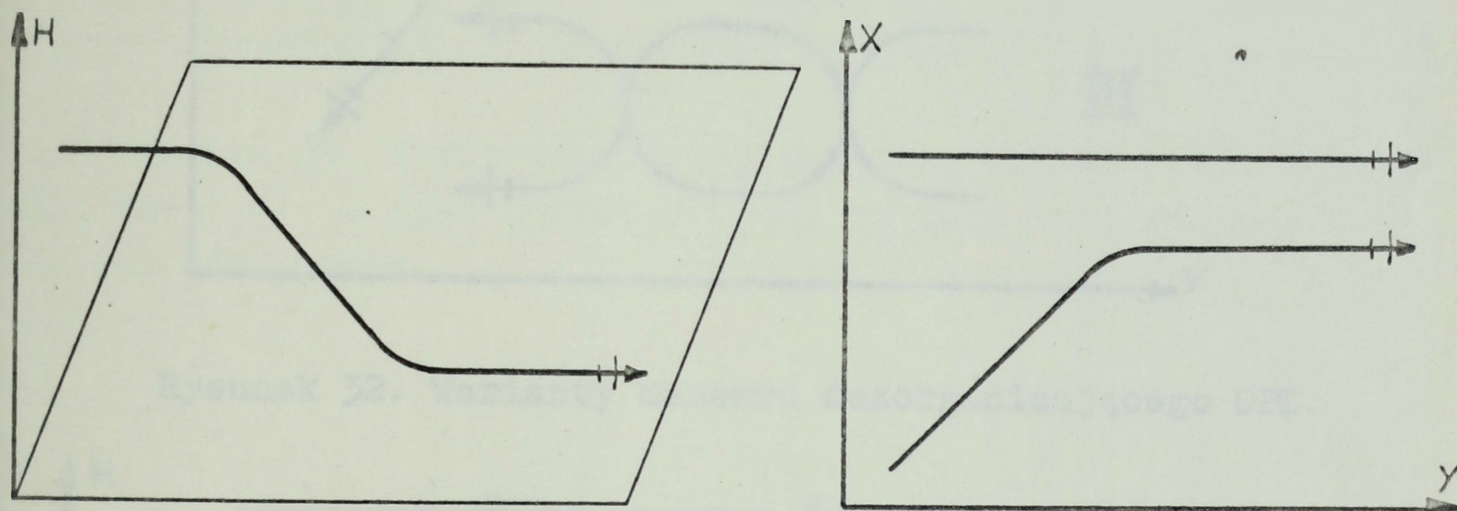
Trasę przelotu oraz działanie samolotu planuje się w oparciu o ustalone schematy. Zapewnić to ma warunki do wykonania zadania bojowego przy określonych możliwościach organizacyjnych i możliwościach OPL przeciwnika. Z punktu widzenia sposobu lotu / działania / , nalot obejmuje :

- 1) dołot do strefy działań bojowych / strefy ognia OPL / ,
- 2) przelot przez strefę ognia OPL,
- 3) atak na obiekt,
- 4) wyjście ze strefy ognia OPL i powrót na lotnisko [5] .

Dolot do strefy działań bojowych wykonuje się z zasady po stosunkowo prostym torze lotu, który zapewnić powinien :

- krótki czas i drogę do lotu,
- możliwie późne wykrycie samolotu przez stacje radiolokacyjne przeciwnika.

Stąd jest to tor w miarę możliwości prostoliniowy. Zmiana kierunku lotu związana jest zwykle z osiaganiem właściwej trasy do lotu przez samoloty startujące z różnych lotnisk. Opóźnienie wykrycia osiąga się przez zmniejszenie wysokości lotu bezpośrednio przed do lotem do strefy wykrywania RLS / rysunek 31 /.



Rysunek 31. Podstawowe profile toru lotu celów na trasie do lotu do rejonu działań bojowych.

Bezpośrednio przed do lotem do strefy ognia środków OPL oraz w strefie ognia, samoloty wykonywać mogą manewr przeciwrakietowy. Celem tego manewru jest :

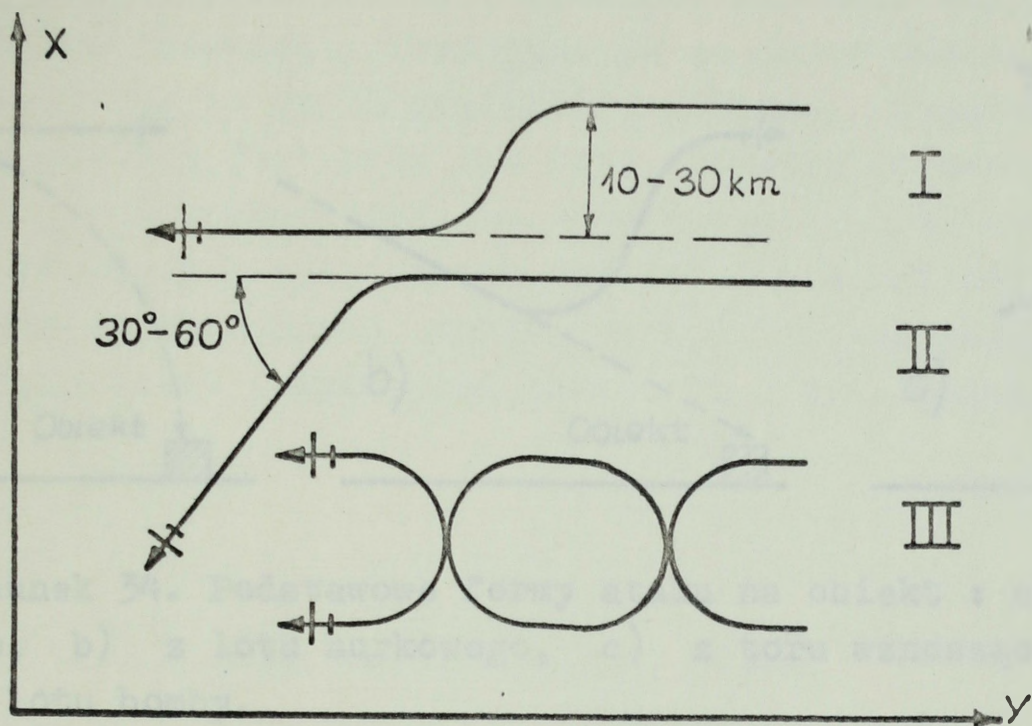
- dezorganizacja OPL,
- uniknięcie trafienia rakietą plot.

Typowe manewry mające na celu dezorganizację OPL przedstawia rysunek 32 [27] .

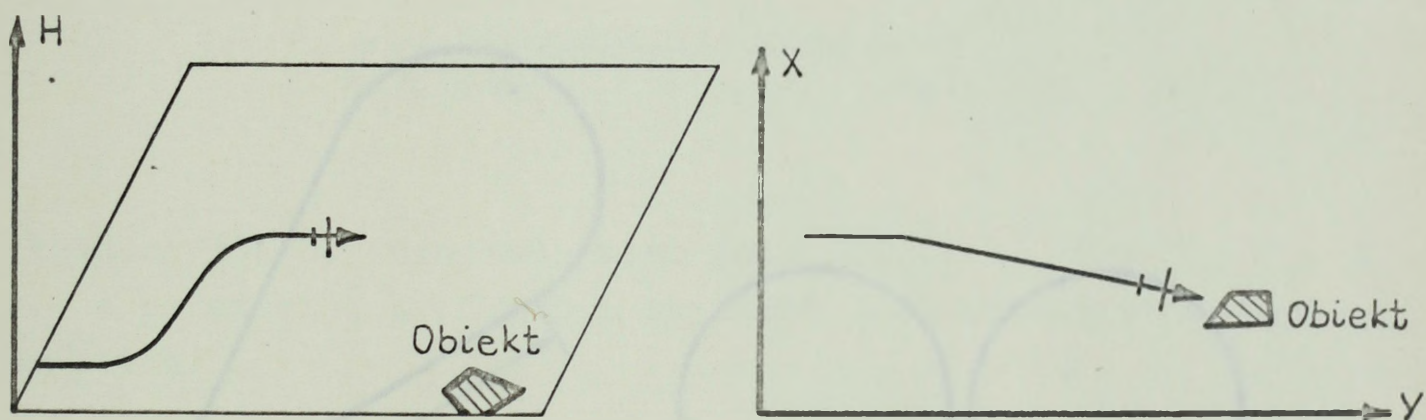
Dla uniknięcia trafienia rakietą, samolot może wykonać manewr polegający na zmianie kursu i wysokości lotu z dużym przeciążeniem. W ruchu poziomym, przy prędkości celu 300 m/sek i przeciążeniu rzędu 4g oznacza to zakręt po łuku o promieniu 2-2,5 km.

W pobliżu obiektu ataku cel może wykonać manewr :
 kursem - dla wyjścia bezpośredniego na cel,
 zwiększenia wysokości / "górką" / - dla osiągnięcia wysokości dogodnej do wykonania ataku / rysunek 33 /.

Atak na obiekt wykonany może być z lotu poziomego, nurkowego bądź wznoszącego [16]. Podstawowe formy ataku przedstawia rysunek 34.



Rysunek 32. Warianty manewru dezorganizującego OPL.

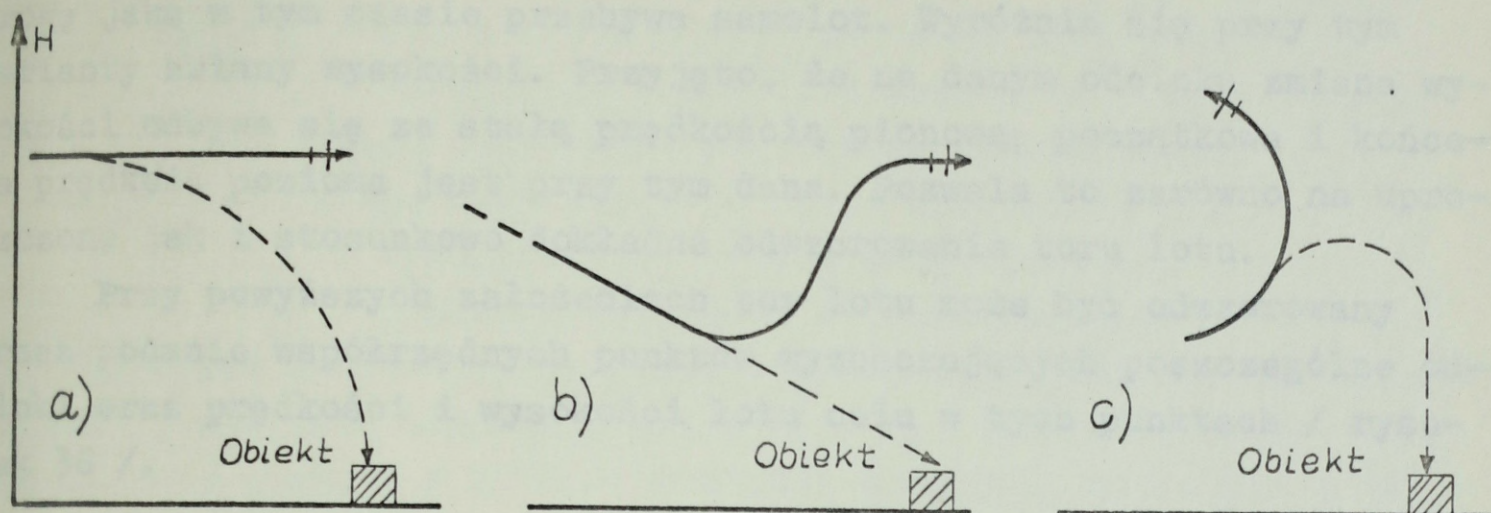


Rysunek 33. Zmiana parametrów toru lotu celu bezpośrednio przed atakiem na obiekt.

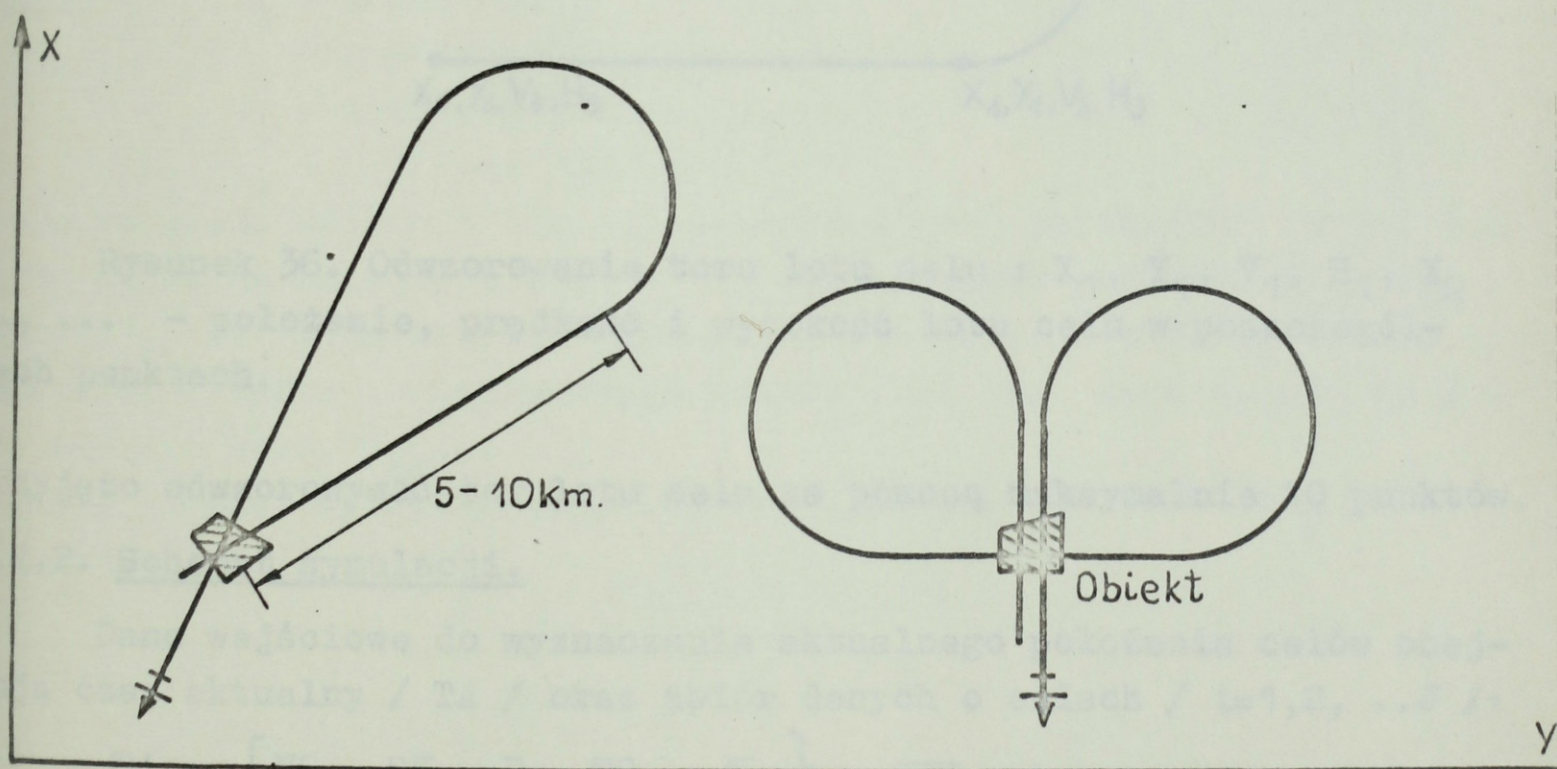
Po wykonaniu zadania bojowego cel wychodzi ze strefy ognia OPL najczęściej po najkrótszej drodze, na dogodnej wysokości, rozwijając maksymalną w danych warunkach prędkość.

W oparciu o powyższe ustalenia sformułowane zostały założenia do modelu toru lotu. Przyjęto, że każdy tor lotu może być podzielony na odcinki prostoliniowe bądź krzywoliniowe na których cel:

- a) porusza się ze stałą prędkością lub zmienną prędkością lotu,
- b) porusza się na ustalonej wysokości lub zmienia wysokość lotu.



Rysunek 34. Podstawowe formy ataku na obiekt : a) z lotu poziomego, b) z lotu nurkowego, c) z toru wznoszącego;
 ---> tor lotu bomby.

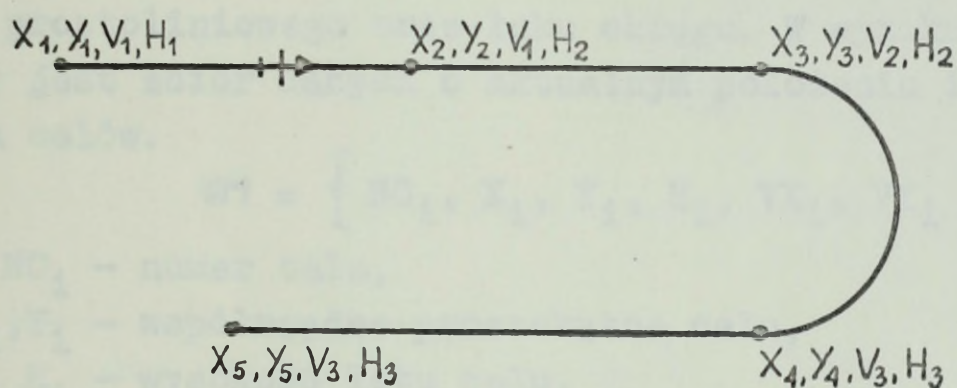


Rysunek 35. Przykłady torów lotu celu przy kilkakrotnym atakowaniu tego samego obiektu.

Zmiana kursu oraz prędkości lotu celu odbywa się z zasady w sposób jednostajny; odcinek krzywoliniowy jest więc łukiem koła. Tor lotu przy zmianie wysokości ma bardziej złożony charakter. Możliwości manewrowe samolotu w tym zakresie opisywane są zwykle w postaci

tablic określających czas wznoszenia się na określoną wysokość oraz drogę jaką w tym czasie przebywa samolot. Wyróżnia się przy tym warianty zmiany wysokości. Przyjęto, że na danym odcinku zmiana wysokości odbywa się ze stałą prędkością pionową; początkowa i końcowa prędkość pozioma jest przy tym dana. Pozwala to zarówno na uproszczone jak i stosunkowo dokładne odwzorowanie toru lotu.

Przy powyższych założeniach tor lotu może być odwzorowany przez podanie współrzędnych punktów wyznaczających poszczególne odcinki oraz prędkości i wysokości lotu celu w tych punktach / rysunek 36 /.



Rysunek 36. Odwzorowanie toru lotu celu : $X_1, Y_1, V_1, H_1, X_2, Y_2, \dots$ - położenie, prędkość i wysokość lotu celu w poszczególnych punktach.

Przyjęto odwzorowywać tor lotu celu za pomocą maksymalnie 10 punktów.

4.2.2. Schemat symulacji.

Dane wejściowe do wyznaczania aktualnego położenia celów obejmują czas aktualny / TA / oraz zbiór danych o celach / $i=1,2, \dots, J$ /:

$$D1 = \{ NC_i, SK_i, P_i, TS_i, K_i \}_{i=1, \overline{J}},$$

gdzie :

NC_i - numer celu,

SK_i - skład celu,

P_i - priorytet celu,

TS_i - czas początku lotu celu,

K_i - zbiór danych o torze lotu celu.

Tor lotu celu opisuje się poprzez podanie położenia i parametrów toru lotu celu w kolejnych, węzłowych punktach / $k=1,2, \dots, K$ / :

$$K_i = \{ X_{ik}, Y_{ik}, L_{ik}, H_{ik}, V_{ik} \} \quad k=1, K$$

gdzie: X_{ik}, Y_{ik} - współrzędne punktu na torze lotu celu,
 L_{ik} - informacja o sposobie dolotu do danego punktu
 / 0 - gdy cel osiąga dany punkt po torze prostoliniowym,
 1 - gdy cel osiąga dany punkt po torze krzywoliniowym /,
 H_{ik} - wysokość lotu celu w danym punkcie,
 V_{ik} - prędkość lotu celu w danym punkcie.

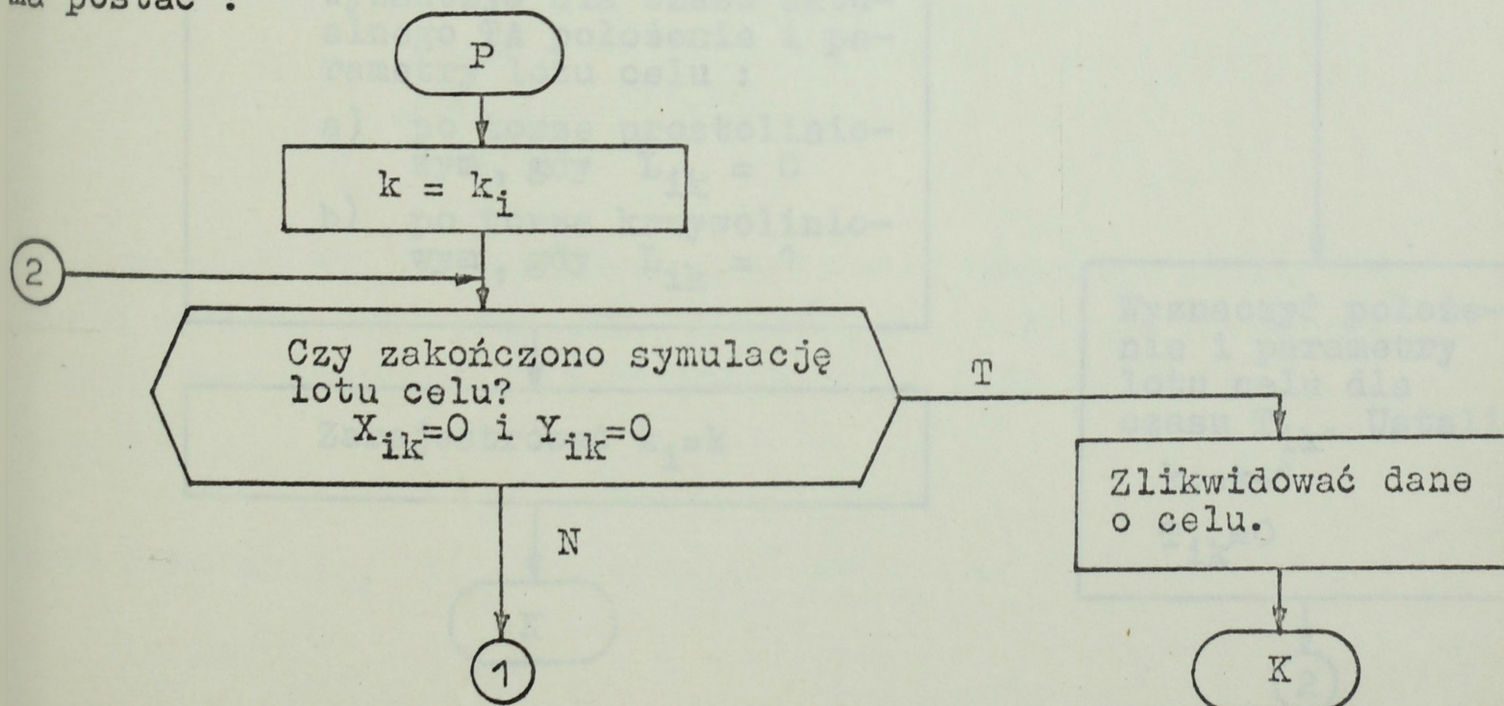
Program umożliwia cykliczne wyznaczanie położenia do 20 celów / $J=20$ /. Tor lotu każdego z celów może być opisywany za pomocą maksymalnie 10 punktów / $K=10$ /. Pomiędzy podanymi, węzłowymi punktami cel porusza się ruchem jednostajnym bądź jednostajnie zmiennym po torze prostoliniowym lub krzywoliniowym. Tor krzywoliniowy składa się z odcinka prostoliniowego oraz łuku okręgu. W wyniku pracy modułu wyznaczany jest zbiór danych o aktualnym położeniu i parametrach torów lotu celów.

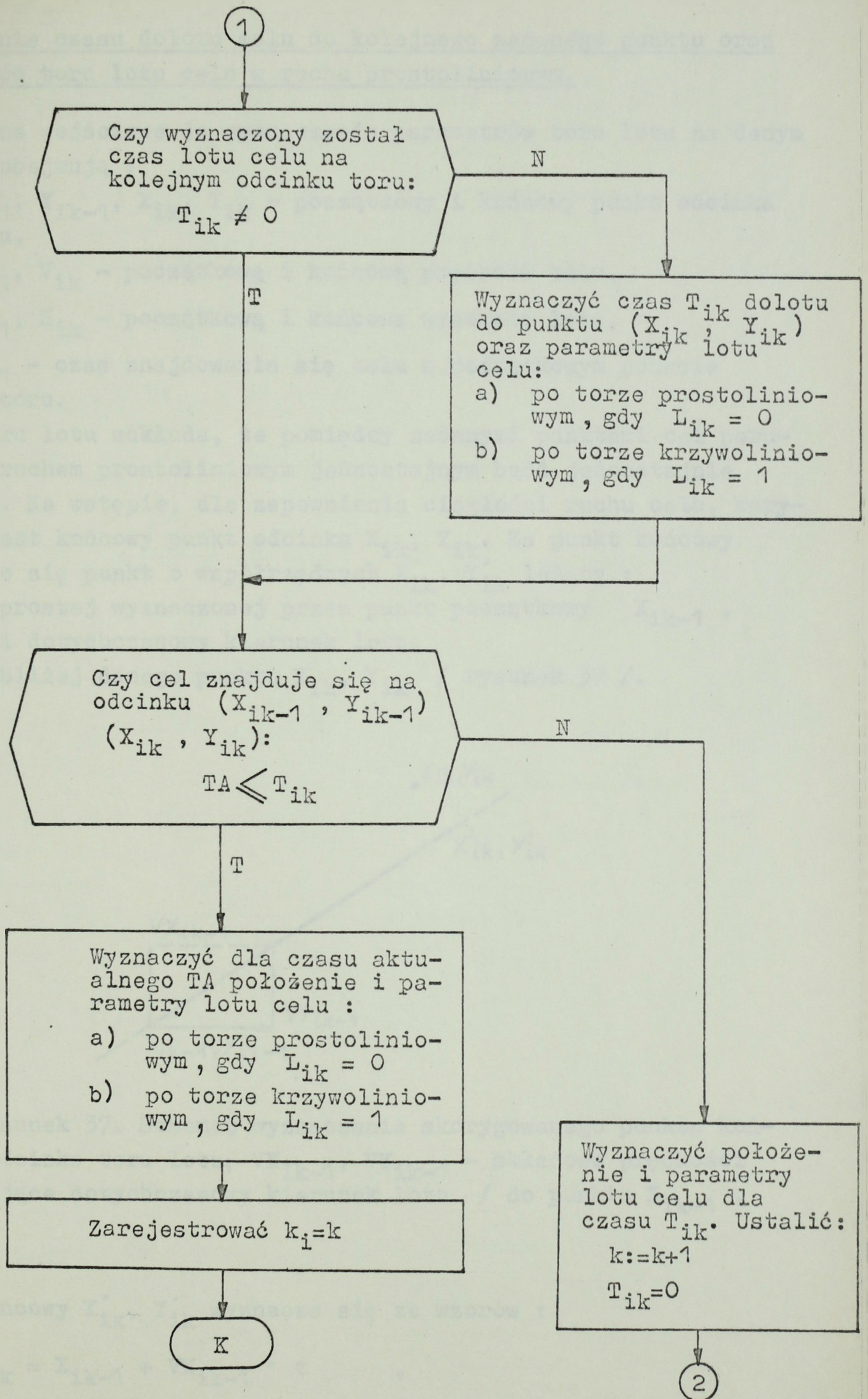
$$W1 = \{ NC_i, X_i, Y_i, H_i, VX_i, VY_i \} \quad i=1, J$$

gdzie : NC_i - numer celu,
 X_i, Y_i - współrzędne prostokątne celu,
 H_i - wysokość lotu celu,
 VX_i, VY_i - składowe prędkości.

Dane powyższe uzyskuje się poprzez określanie parametrów toru i czasu lotu celów na kolejnych odcinkach wyznaczonych punktami X_{ik}, Y_{ik} / $k=1, 2, \dots, K$ /. Na wstępie symulacji, dla każdego z celów ustala się wartości : numer rozpatrywanego punktu, $k=2$ oraz czas dolotu do końca odcinka toru, $T_{ik}=0$.

Ogólny schemat wyznaczania położenia i parametrów toru lotu celu ma postać :





Wyznaczanie czasu dolotu celu do kolejnego zadanego punktu oraz parametrów toru lotu celu w ruchu prostoliniowym.

Dane wejściowe do wyznaczania parametrów toru lotu na danym odcinku obejmują :

$X_{ik-1}, Y_{ik-1}, X_{ik}, Y_{ik}$ - początkowy i końcowy punkt odcinka toru lotu,

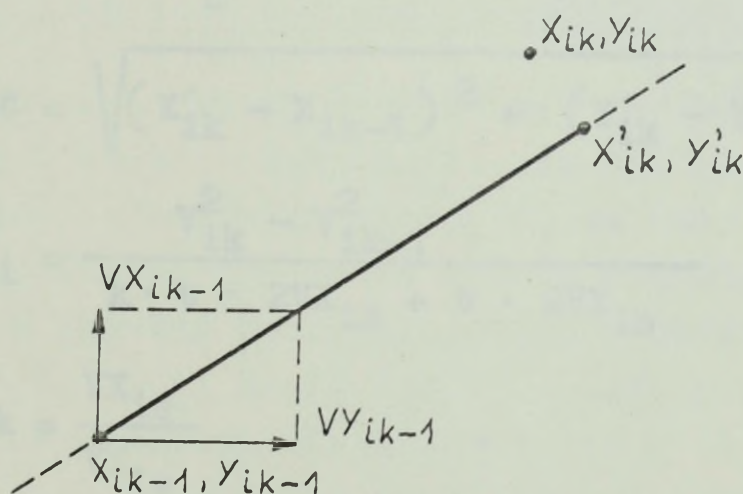
V_{ik-1}, V_{ik} - początkową i końcową prędkość celu,

H_{ik-1}, H_{ik} - początkową i końcową wysokość lotu,

T_{ik-1} - czas znajdowania się celu w początkowym punkcie odcinka toru.

Model toru lotu zakłada, że pomiędzy zadanymi punktami cel porusza się ruchem prostoliniowym jednostajnym bądź jednostajnie zmiennym. Na wstępie, dla zapewnienia ciągłości ruchu celu, korygowany jest końcowy punkt odcinka X_{ik}, Y_{ik} . Za punkt końcowy przyjmuje się punkt o współrzędnych X'_{ik}, Y'_{ik} leżący :

- na prostej wyznaczonej przez punkt początkowy X_{ik-1}, Y_{ik-1} i dotychczasowy kierunek lotu,
- najbliżej danego punktu X_{ik}, Y_{ik} / rysunek 37 /.



Rysunek 37. Schemat wyznaczania skorygowanego punktu końcowego odcinka toru lotu; $V_{X_{ik-1}}, V_{Y_{ik-1}}$ - składowe prędkości wyznaczające dotychczasowy kierunek lotu / do punktu X_{ik-1}, Y_{ik-1} /.

Punkt końcowy X'_{ik}, Y'_{ik} wyznacza się ze wzorów :

$$X'_{ik} = X_{ik-1} + V_{X_{ik-1}} \cdot t \quad ,$$

$$Y_{ik} = Y_{ik-1} + VY_{iy-1} \cdot t$$

$$t = \frac{VX_{ik-1} \cdot (X_{ik} - X_{ik-1}) + VY_{ik-1} \cdot (Y_{ik} - Y_{ik-1})}{VX_{ik-1}^2 + VY_{ik-1}^2}$$

Parametry toru lotu na danym odcinku / składowe prędkości oraz przyspieszenia : VX_{ik-1} , VY_{ik-1} , AX_i , AY_i oraz czas dolotu do punktu końcowego, T_{ik} / rysunek 38 / wyznacza się ze wzorów :

$$VX_{ik-1} = VX_{is} - AX_i \cdot \frac{t}{2} \quad ,$$

$$VY_{ik-1} = VY_{is} - AY_i \cdot \frac{t}{2} \quad ,$$

$$VX_{is} = \frac{X'_{ik} - X_{ik-1}}{t} \quad ,$$

$$VY_{is} = \frac{Y'_{ik} - Y_{ik-1}}{t} \quad ,$$

$$t = \frac{d}{V_{is}} \quad ,$$

$$V_{is} = \frac{V_{ik-1} + V_{ik}}{2} \quad ,$$

$$d = \sqrt{(X'_{ik} - X_{ik-1})^2 + (Y'_{ik} - Y_{ik-1})^2} \quad ,$$

$$AY_i = \frac{V_{ik}^2 - V_{ik-1}^2}{k \cdot t \cdot 2VX_{is} + t \cdot 2VY_{is}} \quad ,$$

$$k = \frac{VX_{is}}{VY_{is}} \quad ,$$

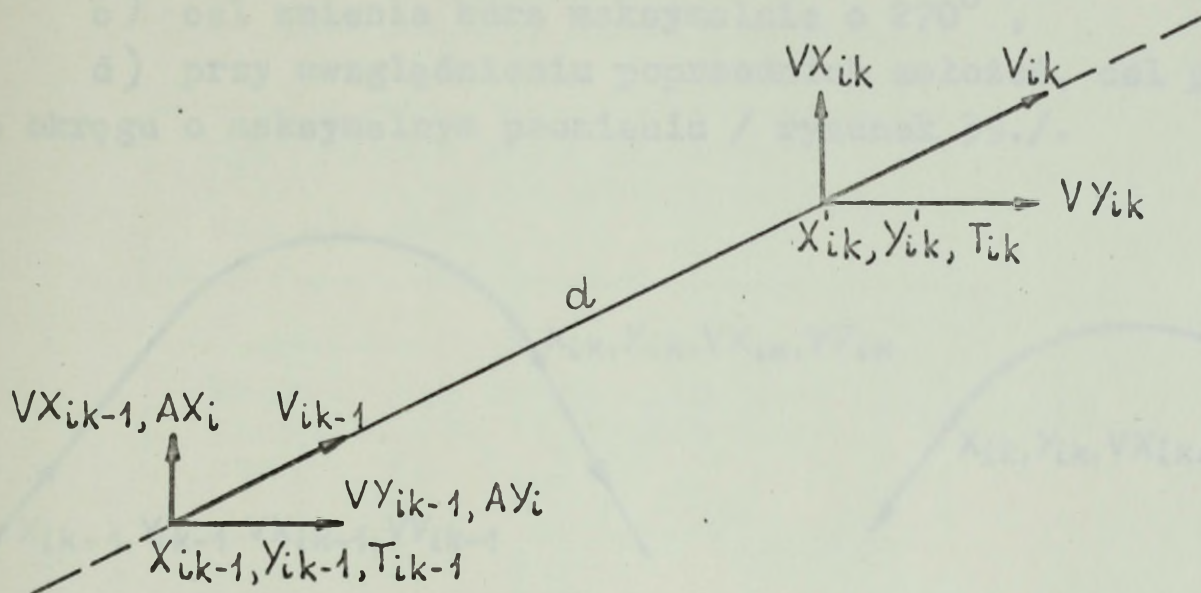
$$AX_i = k \cdot AY_i \quad ,$$

$$T_{ik} = T_{ik-1} + t \quad ,$$

$$VX_{ik} = VX_{ik-1} + AX_i \cdot t \quad ,$$

$$VY_{ik} = VY_{ik-1} + AY_i \cdot t \quad .$$

$$V_{H_{ik-1}} = \frac{H_{ik} - H_{ik-1}}{t}$$



Rysunek 38. Schemat do wyznaczania parametrów toru lotu celu i czasu dolotu do punktu końcowego odcinka.

Wyznaczanie czasu dolotu celu do kolejnego zadanego punktu oraz parametrów toru lotu celu w ruchu krzywoliniowym.

Model lotu po torze krzywoliniowym zakłada, że określony jest początkowy i końcowy kurs celu. Dla uproszczenia procedury formowania danych wejściowych przyjęto, że kurs celu określany będzie poprzez składowe prędkości celu w punkcie początkowym i końcowym. Stąd, w przypadku krzywoliniowego odcinka toru lotu, odcinek poprzedni i następny muszą być odcinkami prostoliniowymi.

Dane wejściowe do obliczeń obejmują więc :

$X_{ik-1}, Y_{ik-1}, X_{ik}, Y_{ik}$ - początkowe i końcowe położenie celu,

V_{ik-1}, V_{ik} - początkową i końcową prędkość,

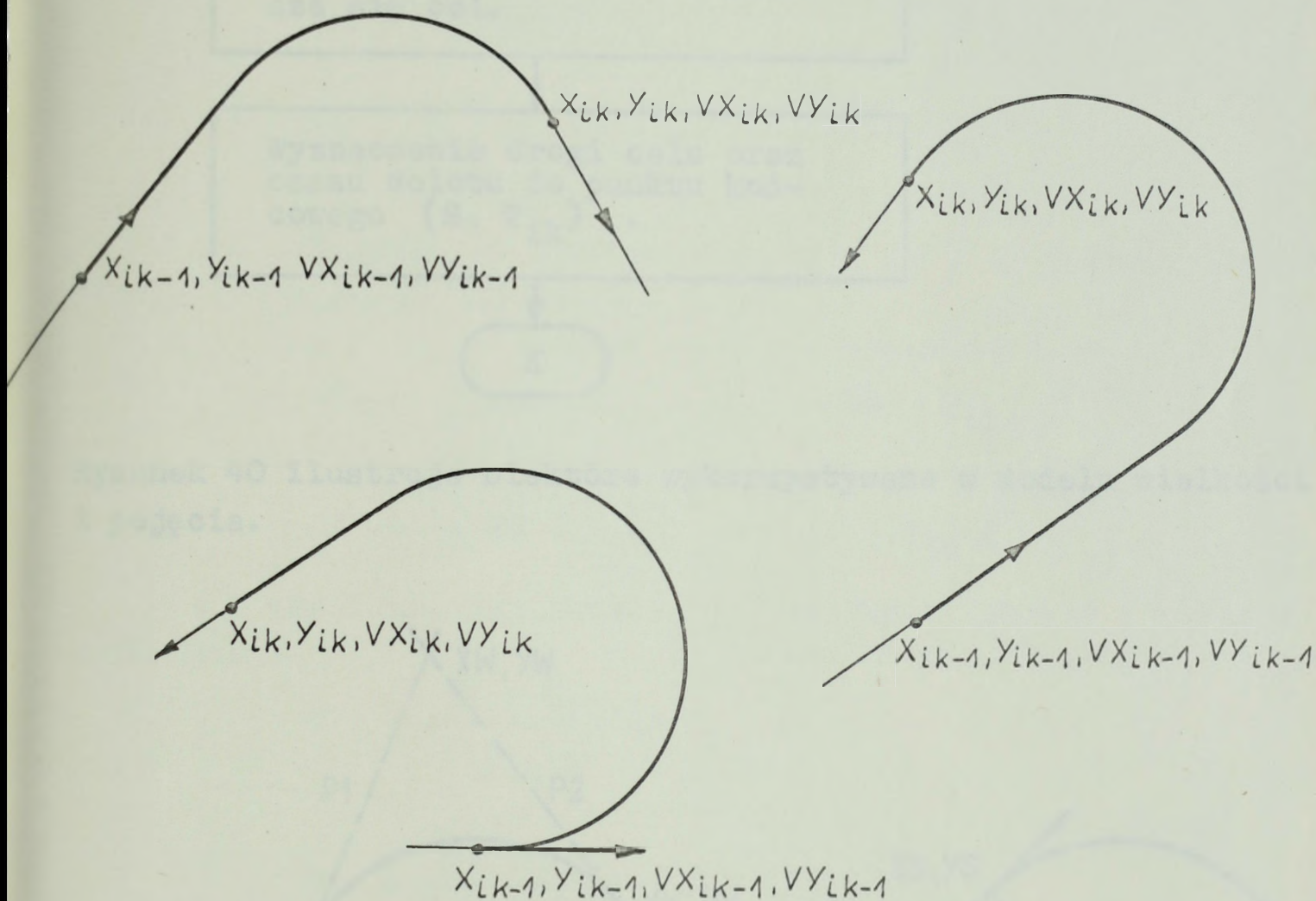
$V_{X_{ik-1}}, V_{Y_{ik-1}}, V_{X_{ik}}, V_{Y_{ik}}$ - początkowe i końcowe składowe prędkości celu,

H_{ik-1}, H_{ik} - początkową i końcową wysokość lotu,

T_{ik-1} - czas znajdowania się celu w punkcie początkowym.

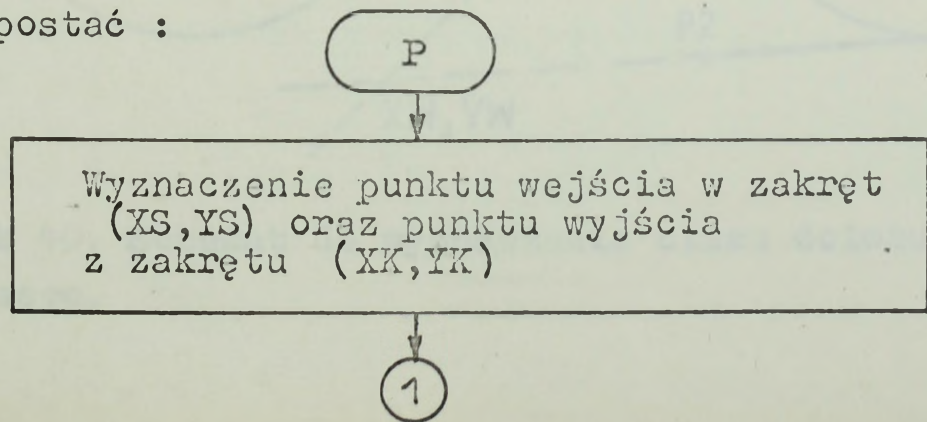
Model toru lotu na odcinku krzywoliniowym opracowany został przy następujących, podstawowych założeniach :

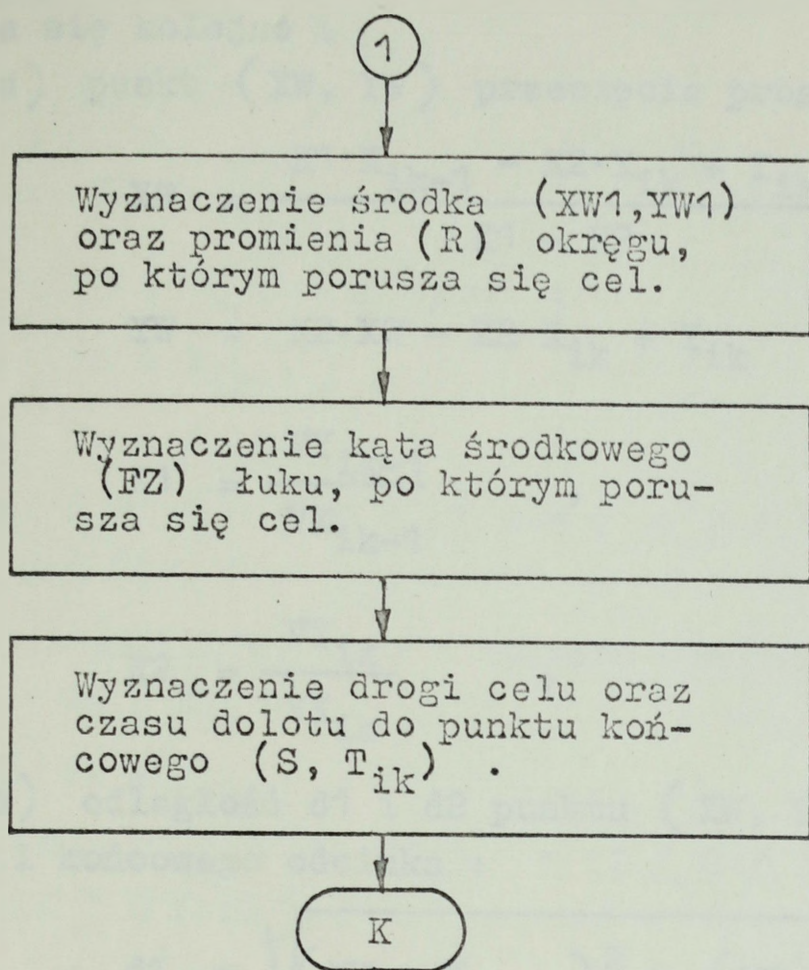
- a) rozpatrywany odcinek jest styczny do poprzedniego i następnego odcinka toru lotu,
- b) odcinek krzywoliniowy składa się z odcinka prostoliniowego oraz łuku okręgu; w szczególnym przypadku odcinek prostoliniowy może nie występować,
- c) cel zmienia kurs maksymalnie o 270° ,
- d) przy uwzględnieniu poprzednich założeń, cel porusza się po okręgu o maksymalnym promieniu / rysunek 39./.



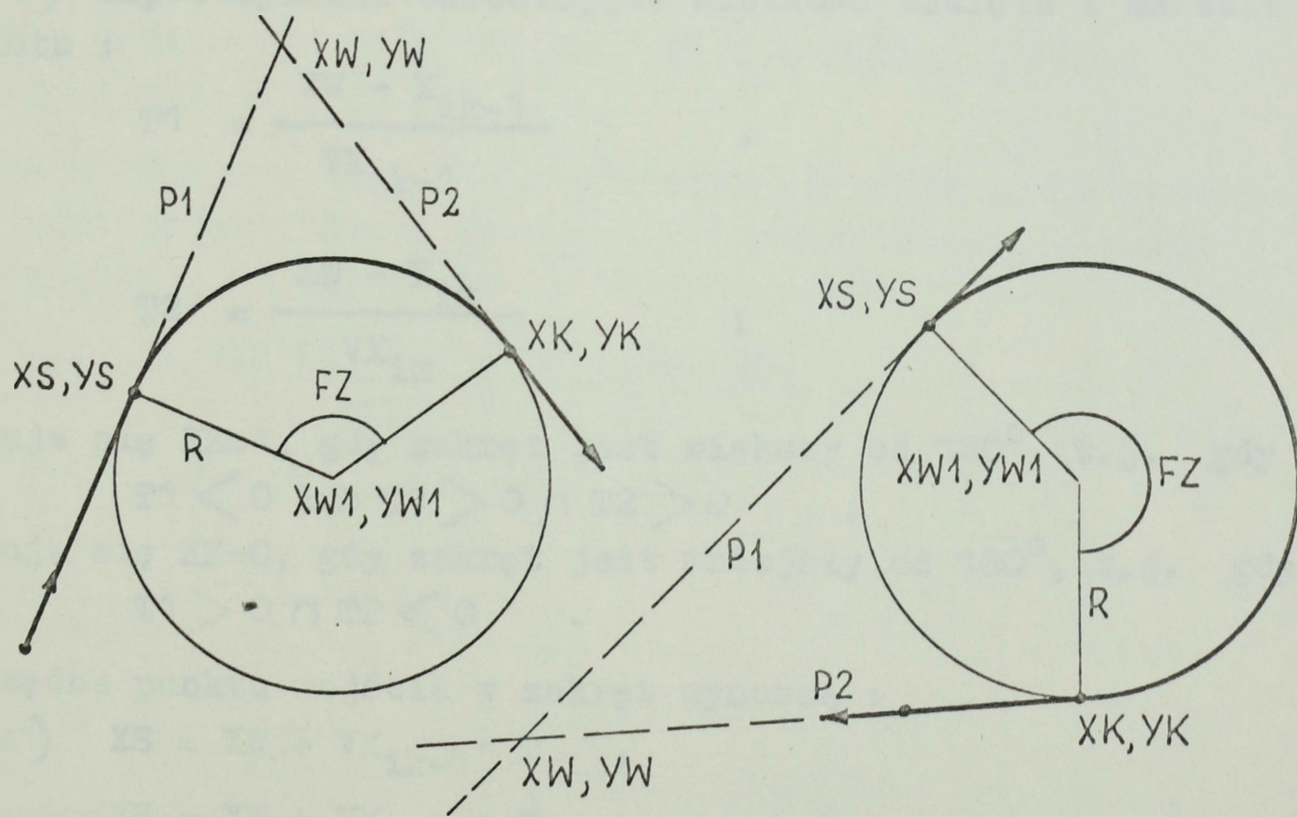
Rysunek 39. Przykłady krzywoliniowych odcinków toru lotu; $VX_{ik-1}, VY_{ik-1}, VX_{ik}, VY_{ik}$ - składowe prędkości określające kurs celu.

Ogólny schemat wyznaczania czasu dolotu celu do punktu końcowego ma postać :





Rysunek 40 ilustruje niektóre wykorzystywane w modelu wielkości i pojęcia.



Rysunek 40. Schemat do wyznaczania czasu dolotu celu do punktu końcowego.

Dla wyznaczenia punktu wejścia w zakręt oraz punktu wyjścia, oblicza się kolejno :

a) punkt (XW, YW) przecięcia prostych P1 i P2 :

$$XW = \frac{K1 \cdot X_{ik-1} - K2 \cdot X_{ik} + Y_{ik} - Y_{ik-1}}{K1 - K2} ,$$

$$YW = K2 \cdot XW - K2 \cdot X_{ik} + Y_{ik} ,$$

$$K1 = \frac{VY_{ik-1}}{VX_{ik-1}} ,$$

$$K2 = \frac{VY_{ik}}{VX_{ik}} ;$$

b) odległość $d1$ i $d2$ punktu (XW, YW) od punktu początkowego i końcowego odcinka :

$$d1 = \sqrt{(XW - X_{ik-1})^2 + (YW - Y_{ik-1})^2} ,$$

$$d2 = \sqrt{(XW - X_{ik})^2 + (YW - Y_{ik})^2} ;$$

c) współczynniki określające wielkość zakrętu i kształt toru lotu :

$$T1 = \frac{XW - X_{ik-1}}{VX_{ik-1}} ,$$

$$T2 = \frac{XW - X_{ik}}{VX_{ik}} ;$$

przyjmuje się $KZ=1$, gdy zakręt jest większy od 180° , t.j. gdy

$$T1 < 0 \text{ lub } T1 > 0 \cap T2 > 0 ;$$

przyjmuje się $KZ=0$, gdy zakręt jest mniejszy od 180° , t.j. gdy

$$T1 > 0 \cap T2 < 0 .$$

Współrzędne punktu wejścia w zakręt wynoszą :

$$a) \quad XS = XW + VX_{ik-1} \cdot T ,$$

$$YS = YW + VY_{ik-1} \cdot T ,$$

$$T = \frac{d2}{V_{ik-1}} ,$$

gdy $T_1 > 0 \cap T_2 > 0$ lub $T_1 < 0 \cap T_2 > 0 \cap d_1 \leq d_2$;

$$b) \quad X_S = X_W - V_{X_{ik-1}} \cdot T \quad ,$$

$$Y_S = Y_W - V_{Y_{ik-1}} \cdot T \quad ,$$

$$T = \frac{d_2}{V_{ik-1}}$$

gdy $T_1 > 0 \cap T_2 < 0 \cap d_1 \geq d_2$;

$$c) \quad X_S = X_{ik-1} \quad ,$$

$$Y_S = Y_{ik-1} \quad ,$$

gdy $T_1 > 0 \cap T_2 < 0 \cap d_1 < d_2$ lub $T_1 < 0 \cap T_2 > 0 \cap d_1 > d_2$
lub $T_1 < 0 \cap T_2 < 0$.

Współrzędne punktu wyjścia z zakrętu wynoszą :

$$a) \quad X_K = X_{ik} \quad ,$$

$$Y_K = Y_{ik} \quad ,$$

gdy $T_1 > 0 \cap T_2 > 0$ lub $T_1 > 0 \cap T_2 < 0 \cap d_1 \geq d_2$ lub
 $T_1 < 0 \cap T_2 > 0 \cap d_2 \geq d_1$;

$$b) \quad X_K = X_W - V_{X_{ik}} \cdot T \quad ,$$

$$Y_K = Y_W - V_{Y_{ik}} \cdot T \quad ,$$

$$T = \frac{d_1}{V_{ik}} \quad ,$$

gdy $T_1 < 0 \cap T_2 > 0 \cap d_1 > d_2$ lub $T_1 < 0 \cap T_2 < 0$ lub
 $T_1 > 0 \cap T_2 < 0 \cap d_1 < d_2$.

Środek okręgu (X_{W1}, Y_{W1}) wyznacza się jako punkt przecięcia prostych, prostopadłych do P_1 i P_2 i przechodzących przez punkty (X_S, Y_S) (X_K, Y_K) :

$$X_{W1} = \frac{W_{K2} \cdot X_K - Y_K + Y_S + W_{K1} \cdot Y_S}{W_{K2} - W_{K1}} \quad ,$$

$$Y_{W1} = W_{K2} \cdot X_{W1} - W_{K2} \cdot X_K + Y_K \quad ,$$

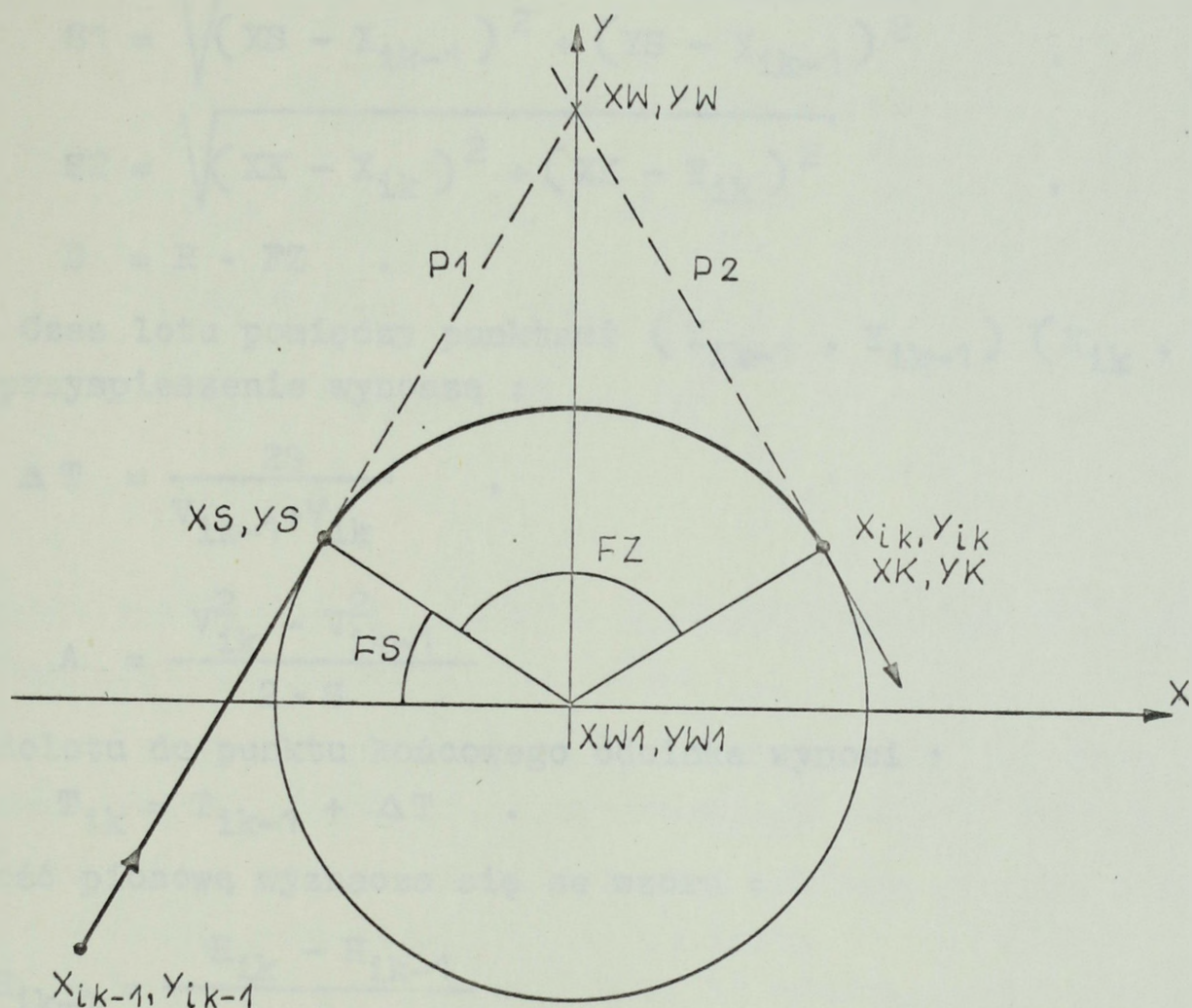
$$W_{K1} = - \frac{1}{K_1} \quad ,$$

$$W_{K2} = - \frac{1}{K_2} \quad .$$

Promień okręgu wynosi :

$$R = \sqrt{(X_{W1} - X_K)^2 + (Y_{W1} - Y_K)^2}$$

Kąt środkowy / FZ / łuku po którym porusza się cel w prosty sposób wyznaczyć można po przekształceniu układu współrzędnych / obrót i przesunięcie / w taki sposób, aby środek okręgu (XW_1, YW_1) znajdował się w początku układu współrzędnych, a punkt przecięcia prostych P1 i P2 (XW, YW) na dodatniej części osi Y / rysunek 41 /.



Rysunek 41. Schemat do wyznaczania kąta środkowego łuku po którym porusza się cel.

Do wyznaczenia kąta FZ oblicza się :

$$KS = \frac{XS}{YS}$$

$$FS = \text{arc tg } KS$$

Kąt FZ wyznacza się ze wzorów :

$$FZ = \pi - 2 \cdot |FS|, \text{ gdy zakręt jest mniejszy od } 180^\circ ;$$

$$FZ = \pi + 2 \cdot |FS|, \text{ gdy zakręt jest większy od } 180^\circ .$$

Drogę oraz czas lotu na krzywoliniowym odcinku toru lotu oblicza się przyjmując ze względów technologicznych, że

droga całkowita / S / stanowi sumę :

$$S = S1 + D + S2 ,$$

gdzie :

S1 - droga na I odcinku prostoliniowym,

D - droga na łuku,

S2 - droga na II odcinku prostoliniowym.

W każdym przypadku $S1 = 0$ lub $S2 = 0$;

$$S1 = \sqrt{(XS - X_{ik-1})^2 + (YS - Y_{ik-1})^2} ,$$

$$S2 = \sqrt{(XK - X_{ik})^2 + (YK - Y_{ik})^2} ,$$

$$D = R \cdot FZ .$$

Czas lotu pomiędzy punktami (X_{ik-1}, Y_{ik-1}) (X_{ik}, Y_{ik}) oraz przyspieszenie wynoszą :

$$\Delta T = \frac{2S}{V_{ik-1} + V_{ik}} ,$$

$$A = \frac{V_{ik}^2 - V_{ik-1}^2}{2 \cdot S}$$

Czas dolotu do punktu końcowego odcinka wynosi :

$$T_{ik} = T_{ik-1} + \Delta T .$$

Prędkość pionową wyznacza się ze wzoru :

$$V_{H_{ik-1}} = \frac{H_{ik} - H_{ik-1}}{\Delta T} .$$

W dalszych obliczeniach wykorzystuje się następujące parametry krzywoliniowego odcinka toru lotu : T_{ik} , $V_{H_{ik-1}}$, $S1_i$, $S2_i$, D_i , R_i , A_i , FS_i , KZ_i , XK_i , YK_i ; $S1_i = S1$, $S2_i = S2$, $D_i = D$ itp.

Wyznaczanie aktualnego położenia i składowych prędkości celu na prostoliniowym odcinku toru lotu.

Obok danych wejściowych, charakteryzujących punkty k-1 i k, dane do obliczeń obejmują parametry rozpatrywanego odcinka toru lotu :

VX_{ik-1} , VY_{ik-1} - składowe prędkości celu w początkowym punkcie odcinka,

AX_i, AY_i - składowe przyspieszenia celu na rozpatrywanym odcinku,

VH_i - pionową składową prędkości celu na danym odcinku. Aktualne położenie (X_i, Y_i, H_i) i parametry toru lotu celu (VX_i, VY_i) wyznacza się ze wzorów :

$$X_i = X_{ik-1} + VX_{ik-1} \cdot \Delta T + \frac{AX_i \cdot \Delta T^2}{2} ,$$

$$Y_i = Y_{ik-1} + VY_{ik-1} \cdot \Delta T + \frac{AY_i \cdot \Delta T^2}{2}$$

$$H_i = H_{ik-1} + VH_i \cdot \Delta T$$

$$VX_i = VX_{ik-1} + AX_i \cdot \Delta T ,$$

$$VY_i = VY_{ik-1} + AY_i \cdot \Delta T ,$$

$$\Delta T = TA - T_{ik-1}$$

Wyznaczanie aktualnego położenia i składowych prędkości celu na krzywoliniowym odcinku toru lotu.

Obok danych charakteryzujących punkty $k-1$ i k , dane do obliczeń obejmują parametry rozpatrywanego odcinka toru lotu :

$S1_i$ - drogę jaką przebywa cel na I odcinku prostoliniowym,

D_i - drogę jaką przebywa cel po łuku,

$S2_i$ - drogę jaką przebywa cel na II odcinku prostoliniowym,

R_i - promień okręgu po którym porusza się cel,

A_i - przyspieszenie w ruchu na danym odcinku,

FS_i - kąt początkowy w ruchu po łuku,

$KZ_i=0$, gdy zakręt jest mniejszy od 180° ,

$KZ_i=1$, gdy zakręt jest większy od 180° ,

XK_i, YK_i - współrzędne punktu końcowego łuku.

Obliczenia wykonuje się po przekształceniu układu współrzędnych / rysunek 42 /.

Na wstępie oblicza się drogę (SA) jaką przebył cel w czasie $T_{ik-1} - TA$ oraz prędkość i składowe przyspieszenia :

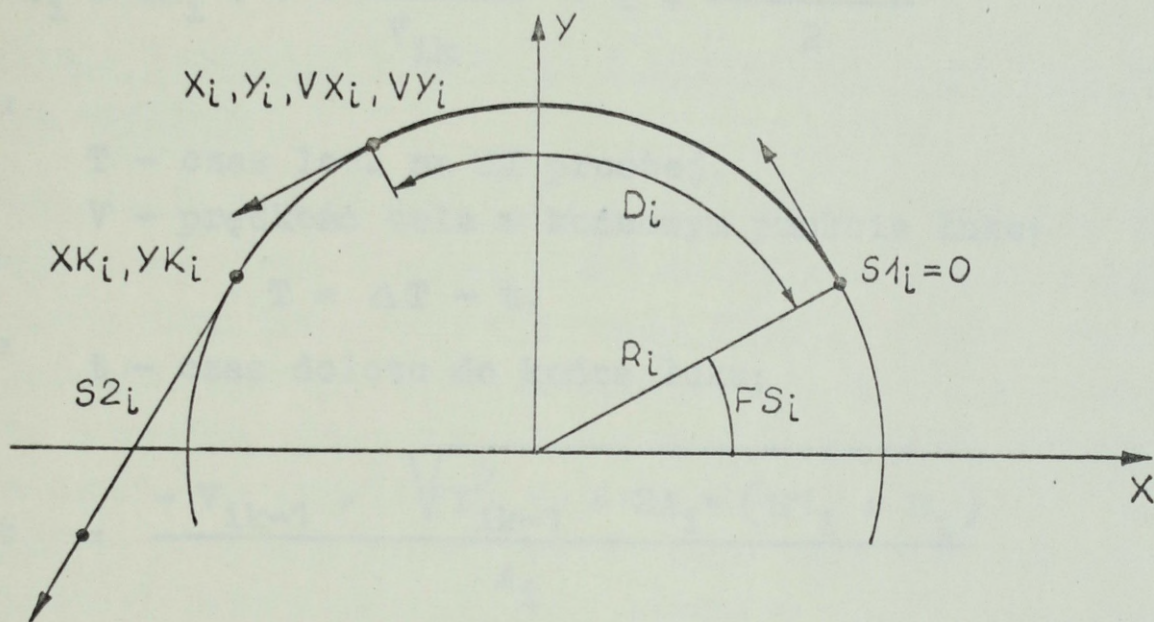
$$SA = V_{ik-1} \cdot \Delta T + \frac{A_i \cdot \Delta T^2}{2}$$

$$V_i = V_{ik-1} + A_i \cdot \Delta T$$

$$AX_i = A_i \cdot \frac{VX_{ik-1}}{V_{ik-1}}$$

$$AY_i = A_i \cdot \frac{VY_{ik-1}}{V_{ik-1}}$$

$$\Delta T = T_A - T_{ik-1}$$



Rysunek 42. Schemat do wyznaczania aktualnych parametrów lotu celu X_i, Y_i, VX_i, VY_i .

Droga SA wskazuje czy cel aktualnie porusza się po prostej czy po łuku koła. W zależności od tego, aktualne położenie i składowe prędkości obliczane są w różny sposób :

a) cel znajduje się na I prostej, $SA \leq S1_i$:

$$VX_i = V_i \cdot \frac{VX_{ik-1}}{V_{ik-1}},$$

$$VY_i = V_i \cdot \frac{VY_{ik-1}}{V_{ik-1}},$$

$$X_i = X_{ik-1} + VX_{ik-1} \cdot \Delta T + \frac{AX_i \cdot \Delta T^2}{2},$$

$$Y_i = Y_{ik-1} + VY_{ik-1} \cdot \Delta T + \frac{AY_i \cdot \Delta T^2}{2};$$

b) cel znajduje się na II prostej, $SA \geq S1_i + D_i$:

$$VX_i = V_i \cdot \frac{VX_{ik}}{V_{ik}} ,$$

$$VY_i = V_i \cdot \frac{VY_{ik}}{V_{ik}} ,$$

$$X_i = XK_i + V \cdot \frac{VX_{ik}}{V_{ik}} \cdot T + \frac{AX_i \cdot T^2}{2} ,$$

$$Y_i = YK_i + V \cdot \frac{VY_{ik}}{V_{ik}} \cdot T + \frac{AY_i \cdot T^2}{2}$$

gdzie :

T - czas lotu na II prostej,

V - prędkość celu w końcowym punkcie łuku;

$$T = \Delta T - t,$$

gdzie : t - czas dolotu do końca łuku;

$$t = \frac{-V_{ik-1} + \sqrt{V_{ik-1}^2 + 2A_i \cdot (S1_i + D_i)}}{A_i}$$

$$V = V_{ik-1} + A_i \cdot t ,$$

$$AX_i = A_i \cdot \frac{VX_{ik}}{V_{ik}} ,$$

$$AY_i = A_i \cdot \frac{VY_{ik}}{V_{ik}} ;$$

c) cel znajduje się na łuku, $S1_i + D_i > SA > S1_i$:

$$X_i = R_i \cdot \cos (FK) ,$$

$$Y_i = R_i \cdot \sin (FK) ,$$

$$VX_i = V_i \cdot \sin (FK) \left. \vphantom{VX_i} \right\} \text{ dla } FS_i < 0 \cap KZ_i=0 \quad \text{lub}$$

$$VY_i = -V_i \cdot \cos (FK) \left. \vphantom{VY_i} \right\} FS_i > 0 \cap KZ_i=1,$$

$$VX_i = -V_i \cdot \sin (FK) \left. \vphantom{VX_i} \right\} \text{ dla } FS_i < 0 \cap KZ_i=1 \quad \text{lub}$$

$$VY_i = V_i \cdot \cos (FK) \left. \vphantom{VY_i} \right\} FS_i > 0 \cap KZ_i=0 ;$$

$$\begin{aligned}
 FK &= \pi + FS_i - F && \text{dla } FS_i < 0 \cap KZ_i = 0, \\
 FK &= \pi + FS_i + F && \text{dla } FS_i < 0 \cap KZ_i = 1, \\
 FK &= FS_i + F && \text{dla } FS_i > 0 \cap KZ_i = 0, \\
 FK &= FS_i - F && \text{dla } FS_i > 0 \cap KZ_i = 1;
 \end{aligned}$$

$$F = \frac{DS}{R_i}, \quad DS = SA - S1_i,$$

gdzie :

DS - droga jaką przebył cel po łuku,
 F - droga kątowna celu,
 FK - kąt położenia celu.

Wyznaczanie końcowego położenia i parametrów toru lotu celu na danym odcinku.

Położenie i prędkość celu dla każdego z odcinków określają dane wejściowe. Mogą być one również obliczone jako położenie i parametry toru lotu celu dla czasu $TA = T_{ik}$. Zadane oraz obliczone wartości powinny być identyczne. Nie można jednak wykluczyć, że w wyniku złożonych obliczeń i zaokrągleń wystąpią drobne różnice między omawianymi wartościami. W celu uniknięcia skokowej zmiany parametrów lotu celu, jako dane charakteryzujące punkt końcowy przyjmuje się dane uzyskane z obliczeń. Dane te stanowią równocześnie opis punktu początkowego następnego odcinka. Położenie i parametry toru lotu w tym punkcie wyznacza się przyjmując $TA = T_{ik}$.

4.3. Symulacja pracy źródła informacji wtórnej.

4.3.1. Model źródła informacji wtórnej.

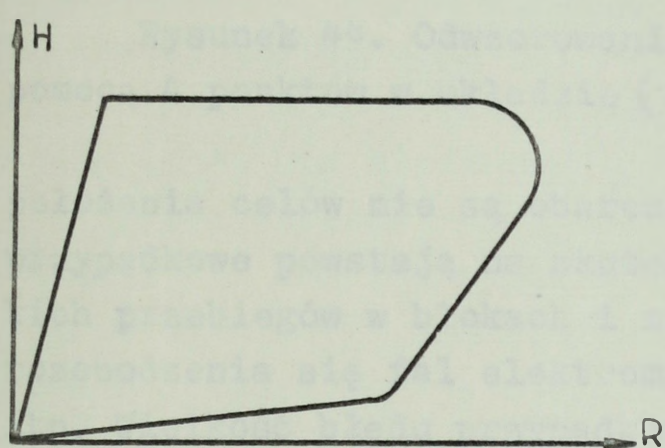
Efektom pracy źródła informacji wtórnej^{9/} są, generowane cyklicznie, dane o położeniu i parametrach torów lotu celów oraz dane o błędach pomiarów. Informację wejściową stanowią dane o położeniu celów uzyskiwane za pomocą RLS.

Każdy z typów RLS charakteryzuje zespół parametrów taktyczno - technicznych. Z punktu widzenia prowadzonych badań nie wszystkie z tych parametrów są istotne. Podstawowymi parametrami

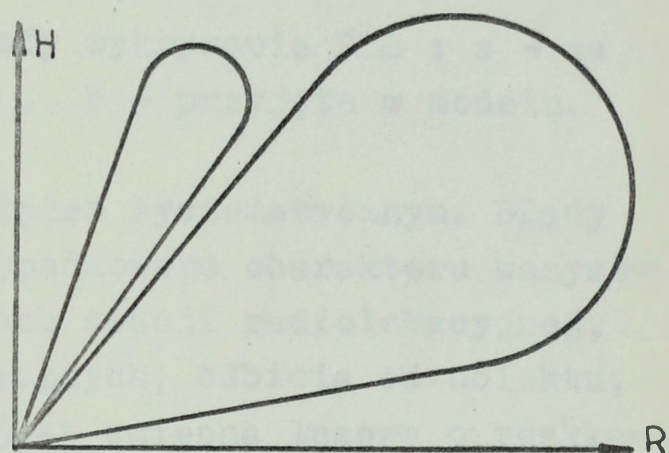
^{9/} Źródło informacji wtórnej / ZIW / zdefiniowane zostało w punkcie 4.1.

uwzględnianymi przez model są : strefa wykrywania RLS, dokładność pomiaru współrzędnych celu, odporność stacji na zakłócenia oraz szybkość obrotów anteny.

Strefą wykrywania RLS nazywa się przestrzeń, w granicach której stacja wykrywa cele z założonym prawdopodobieństwem oraz założoną dokładnością. Strefa wykrywania RLS w płaszczyźnie pionowej jest przedstawiana w postaci wykresu. Strefa wykrywania stacji wstępnego poszukiwania ma zwykle kształt typu "cosecans" lub "wachlarz" / rysunek 43./



Typ „cosecans”.



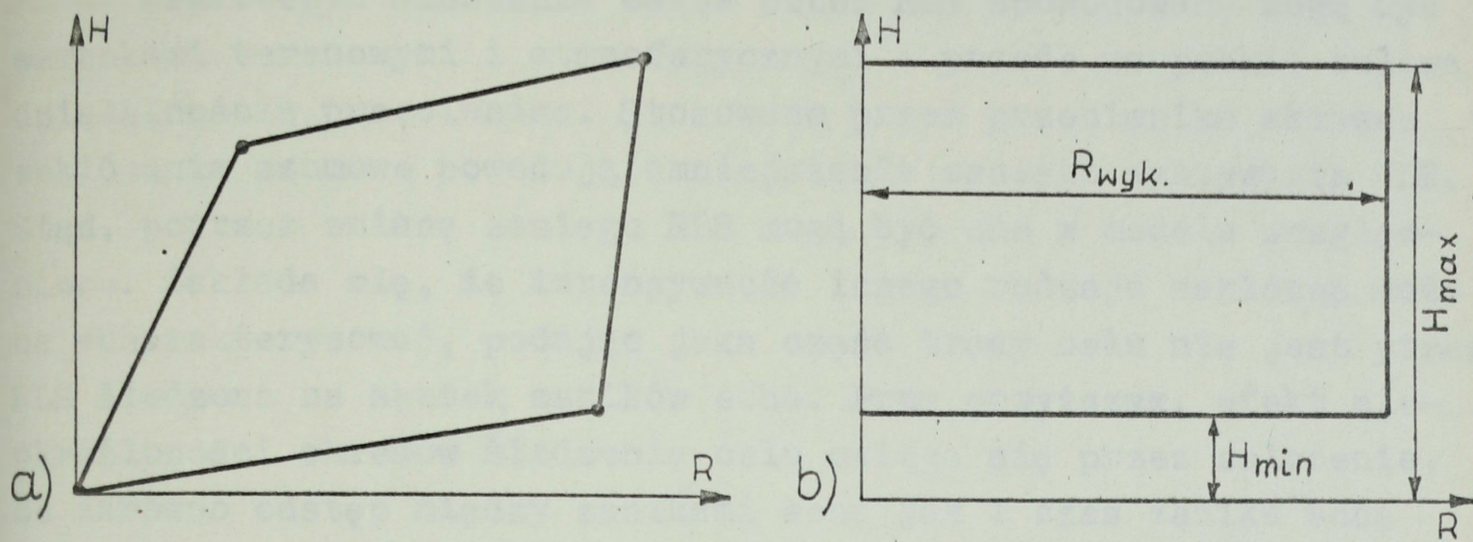
Typ „wachlarz”.

Rysunek 43. Kształt strefy wykrywania RLS w płaszczyźnie pionowej.

W rzeczywistości kształt strefy wykrywania odbiegać może od przedstawionych na rysunku wzorów.

Strefę wykrywania RLS odwzorować można z dobrym przybliżeniem przez podanie 3-5 punktów w układzie współrzędnych (R, H). Z punktu widzenia potrzeb mniejszej pracy, tak dokładne odwzorowanie strefy wykrywania nie jest konieczne. Stąd, strefę tę charakteryzuje się zasięgiem (R_{wyk}) oraz maksymalną i minimalną wysokością wykrywania (H_{max} i H_{min}) - rysunek 44.

Pomiar położenia celu przez RLS obarczony jest błędem systematycznym i przypadkowym. Błąd systematyczny uwarunkowany jest najczęściej dokładnością stojenia i regulacji, stanem aparatury oraz dokładnością dowiązania i orientowania RLS w terenie. Błędy systematyczne mogą być w większości przypadków określone i uwzględnione przy pomiarach. W modelu zakłada się, że pomiary



Rysunek 44. Odwzorowanie strefy wykrywania RLS : a - za pomocą 4 punktów w układzie (H, R) , b - przyjęte w modelu.

położenia celów nie są obciążone błędem systematycznym. Błędy przypadkowe powstają na skutek przypadkowego charakteru wszystkich przebiegów w blokach i zespołach stacji radiolokacyjnej, rozchodzenia się fal elektromagnetycznych, odbicia od obiektu, itp. Wielkość błędu przypadkowego jest zmienną losową o rozkładzie normalnym $N(0, \sigma)$; σ - średni błąd kwadratowy pomiarów. Średni błąd kwadratowy pomiaru odległości oraz azymutu RLS - cel wyznacza się drogą eksperymentów. Ponadto parametry te mogą być oszacowane w oparciu o wzory :

a) błąd średni kwadratowy pomiaru odległości,

$$\sigma_R = \frac{c \cdot \tau_i}{2 \cdot \sqrt{2} \pi \nu_r},$$

gdzie :

c - prędkość rozchodzenia się fal elektromagnetycznych,

τ_i - czas trwania impulsu,

ν_r - współczynnik zdolności rozdzielczej pojedynczego impulsu;

b) błąd średni kwadratowy pomiaru azymutu,

$$\sigma_A = \frac{\theta_\beta}{\sqrt{2} \cdot \nu_r},$$

gdzie :

θ_β - szerokość charakterystyki kierunkowej anteny w płaszczyźnie poziomej [28] .

W omawianym modelu przyjęto, że średnie kwadratowe błędy pomiaru współrzędnych celu przez RLS są dane.

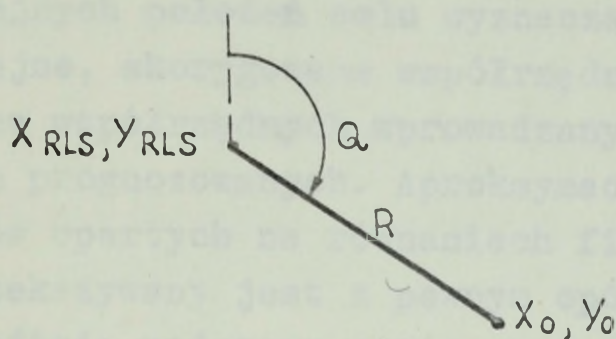
Zakłócenia śledzenia celów przez RLS spowodowane mogą być warunkami terenowymi i atmosferycznymi a przede wszystkim celową działalnością przeciwnika. Stosowane przez przeciwnika aktywne zakłócenia szumowe powodują zmniejszenie zasięgu wykrywania RLS. Stąd, poprzez zmianę zasięgu RLS mogą być one w modelu uwzględnione. Zakłada się, że intensywność innego rodzaju zakłóceń można scharakteryzować, podając jaka część trasy celu nie jest przez RLS śledzona na skutek zaników echa. Przy powyższym, efekt nieokreśloności okresów śledzenia celu osiąga się przez założenie, że zarówno odstęp między zanikami echa jak i czas zaniku echa są zmiennymi losowymi o rozkładzie wykładniczym; dany jest przy tym średni odstęp pomiędzy zanikami (a) oraz średni czas trwania zaniku (b). Stosunek a/b wskazuje jaka część trasy nie będzie przez RLS śledzona.

Przedstawione wyżej, podstawowe parametry przyjmują różne wartości dla różnych typów stacji radiolokacyjnych. Omawiany program symulacyjny umożliwia symulację pracy systemu w skład którego wchodzi stacje radiolokacyjne 5 różnych typów.

Błąd pomiaru współrzędnych celu uwarunkowany jest zarówno błędami wynikającymi z parametrów technicznych RLS jak i błędami odczytu / zdejmowania / współrzędnych przez operatora. Błąd operatora związany jest m.in. z parametrami urządzenia wskaźnikowego. Na ekranie wskaźnika znacznik celu ma określone wymiary. Operator dokonuje odczytu współrzędnych celu określając wzrokiem środek znacznika. Operacja ta obarczona jest pewnym błędem. Doświadczalnie stwierdzono [28], że wartość średniego kwadratowego błędu przy tej operacji wynosi około 3% względem położenia rzeczywistego. Kolejnym czynnikiem rzutującym na błędy odczytu jest niedokładne ogniskowanie plamki. Średni błąd kwadratowy z tym związany jest rzędu: w odległości - kilkudziesięciu metrów, w azymucie - kilku minut [28]. Prócz tego, błąd odczytu współrzędnych celu zależy od właściwości operatora, jego predyspozycji i wyszkolenia oraz aktualnej kondycji psychofizycznej.

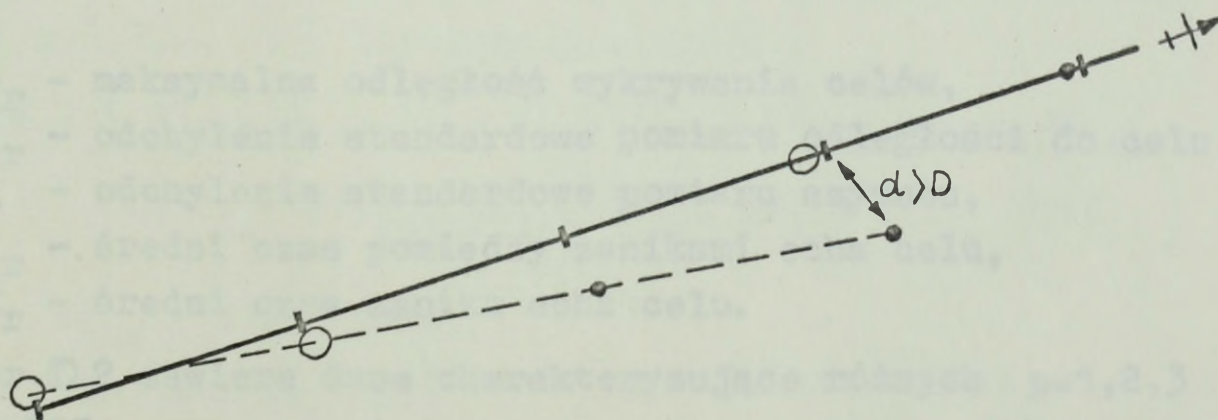
Model odczytu współrzędnych celu przyjęty został w oparciu o konsultacje w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji oraz Dowództwie Wojsk OPL. Przyjęto, że odległość pomiędzy położeniem

celu wskazywanym przez RLS a położeniem określonym przez operatora (R) jest zmienną losową o rozkładzie normalnym $N(0, \sigma_0)$; σ_0 - charakterystyczny dla danego typu operatora błąd średni kwadratowy pomiaru. Kierunek (Q) błędu jest natomiast zmienną losową o rozkładzie równomiernym; $Q \in [0, 360^\circ]$ - rysunek 45.



Rysunek 45. Schemat wyznaczania położenia celu z uwzględnieniem błędów operatora; X_{RLS}, Y_{RLS} - współrzędne celu określone przez RLS; X_0, Y_0 - współrzędne celu określone przez operatora; R, Q - wielkość i kierunek błędu operatora.

Kolejne parametry charakteryzujące własności operatora związane są z półautomatycznym sposobem śledzenia celu. Przyjęto, że odstęp czasu między korektami śledzenia toru lotu jest zmienną losową o rozkładzie wykładniczym; określony jest przy tym średni odstęp między korektami. Przyjęto ponadto, że operator dokonuje korekty, jeśli odległość d między położeniem celu określanym przez RLS a generowanym automatycznie przekracza określony próg D /rysunek 46/.



Rysunek 46. Schemat działania operatora; (- rzeczywiste położenie celu, O - położenie wskazywane przez operatora, • - położenie wyznaczone automatycznie.

Przetwarzanie informacji w źródle informacji wtórnej obejmuje II obróbkę informacji radiolokacyjnej oraz ekstrapolację danych o celach na czas przekazania meldunków. Przetwarzanie odbywa się w układzie współrzędnych topograficznych (X,Y). Stąd, w pierwszej kolejności następuje przeliczenie danych o położeniu z układu współrzędnych biegunowych.

Cel i sposoby II obróbki informacji radiolokacyjnej były już omawiane^{10/}. W modelowanym systemie, po wskazaniu przez operatora dwu kolejnych położzeń celu wyznaczane jest położenie prognozowane. Kolejne, skorygowane współrzędne celu wyznacza się jako średnią ważoną współrzędnych wprowadzanych przez operatora oraz współrzędnych prognozowanych. Aproksymacja odbywa się z wykorzystaniem wzorów opartych na równaniach filtra Kalmana^{10/}.

Meldunek przekazywany jest z pewnym opóźnieniem w stosunku do momentu przejścia podstawy czasu przez azymut celu. Wynika stąd konieczność ekstrapolacji położenia celu i innych danych na moment przekazania. Z tego powodu m.in. przekazywanie meldunków o celu rozpoczyna się od momentu wskazania przez operatora II położenia celu. Obok danych o położeniu i składowych prędkości celu, meldunek zawiera średnie błędy kwadratowe pomiaru współrzędnych.

4.3.2. Schemat symulacji.

Dane wejściowe do symulacji funkcjonowania źródeł informacji wtórnej zawarte są w zbiorach: $D1, D2, D3$ i $W1$.

Zbiór $D1$ zawiera dane charakteryzujące różne ($r=1,2,3,4,5$) stacje radiolokacyjne:

$$D1 = \{ RD_r, B1_r, B2_r, T1_r, T2_r \} \quad r=1,2,\dots,5,$$

gdzie:

- RD_r - maksymalna odległość wykrywania celów,
- $B1_r$ - odchylenie standardowe pomiaru odległości do celu,
- $B2_r$ - odchylenie standardowe pomiaru azymutu,
- $T1_r$ - średni czas pomiędzy zanikami echa celu,
- $T2_r$ - średni czas zaniku echa celu.

Zbiór $D2$ zawiera dane charakteryzujące różnych $p=1,2,3$ operatorów RLS:

$$D2 = \{ B3_p, T3_p, T4_p, T5_p, D1_p \} \quad p=1,2,3,$$

^{10/} Rozdział 1 niniejszej pracy.

gdzie :

$B3_p$ - odchylenie standardowe błędu operatora,
 $T3_p$ - średni czas między korektami,
 $T4_p$ - minimalny czas między korektami,
 $T5_p$ - maksymalny czas między korektami,
 $D1_p$ - błąd automatycznego śledzenia powodujący korektę toru lotu przez operatora.

Zbiór $D3$ zawiera dane charakteryzujące źródła ($s=1,2,\dots,15$) informacji wtórnej :

$$D3 = \{ X_s, Y_s, H_s, r_s, P_s, L_s, K_s \} \quad s=1,2,\dots,15 \quad ,$$

gdzie :

X_s, Y_s - współrzędne prostokątne RLS,
 H_s - wysokość położenia RLS,
 r_s - typ RLS,
 P_s - typ operatora,
 L_s - szybkość obrotów anteny,
 K_s - początkowy azymut anteny.

Zbiór $W1$ zawiera dane o aktualnym położeniu celów wyznaczone przez moduł symulacji lotu :

$$W1 = \{ NC_i, X_i, Y_i, VX_i, VY_i, H_i \} \quad i=1,2,\dots,10 \quad ,$$

gdzie :

$NC_i, X_i, Y_i, \dots, H_i$ - opisane w p. 4.2.2.

Ponadto dane wejściowe do symulacji stanowią :

TA - czas aktualny,
TC - cykl symulacji.

Efekt symulacji stanowi zbiór danych, które obrazują aktualny stan śledzenia celów ($i=1-2,\dots,10$) przez poszczególne źródła ($s=1,2,\dots,15$) informacji wtórnej :

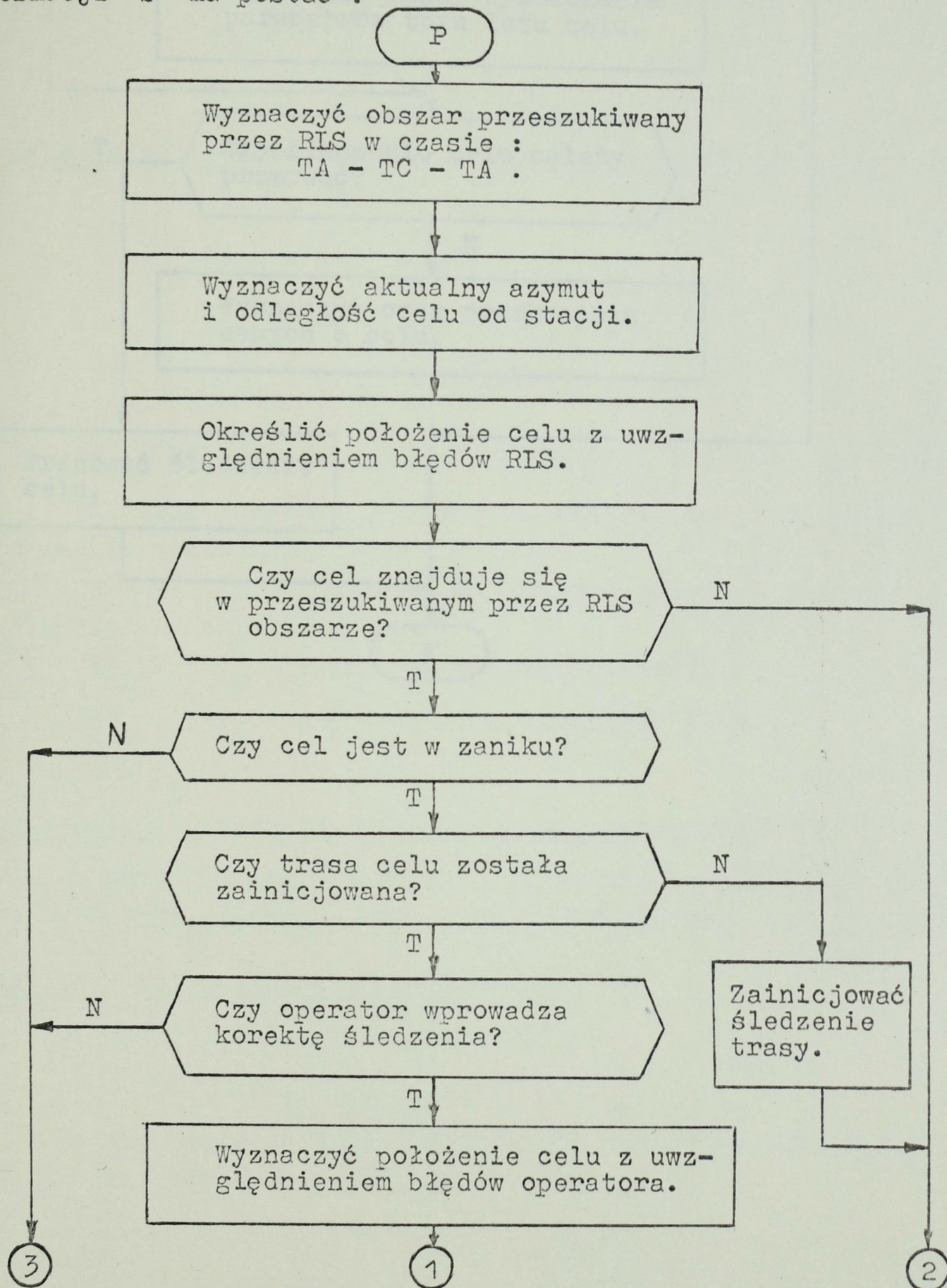
$$W2 = \left\{ NC_{is}, X_{is}, Y_{is}, H_{is}, VX_{is}, VY_{is}, SX_{is}, SY_{is}, \right. \\ \left. SVX_{is}, SVY_{is}, TK_{is}, DK_{is}, TP_{is}, TPZ_{is}, TKZ_{is} \right\}$$

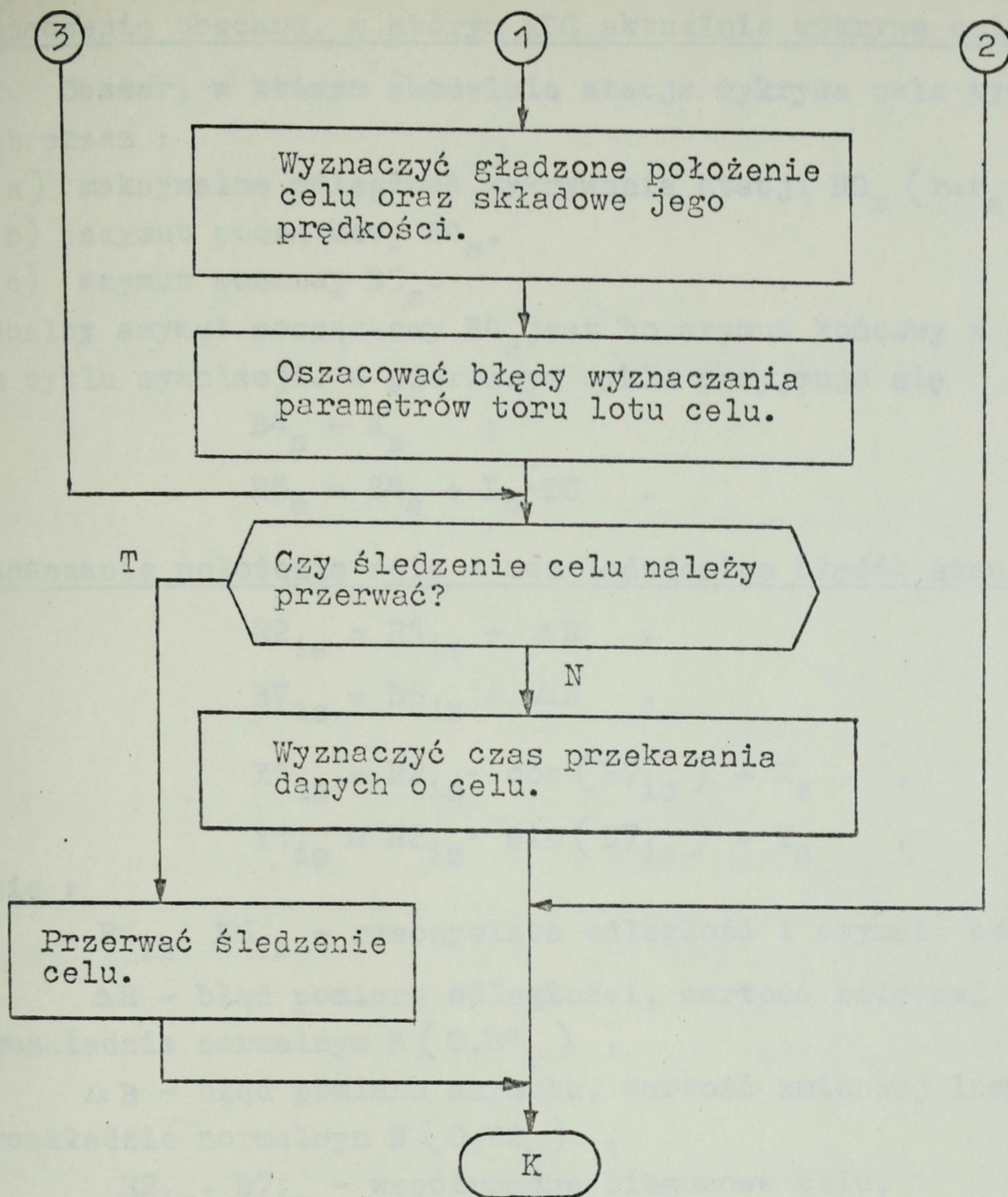
gdzie :

NC_{is} - numer celu,
 X_{is}, Y_{is}, H_{is} - położenie celu "i" określone przez źródło "s",
 VX_{is}, VY_{is} - składowe prędkości celu,
 SX_{is}, SY_{is} - odchylenie standardowe pomiaru współrzędnych,
 SVX_{is}, SVY_{is} - odchylenie standardowe pomiaru prędkości celu,

- TK_{is} - czas ostatniej korekty,
 DK_{is} - odstęp czasu między dwiema ostatnimi korektami,
 TP_{is} - czas przekazania danych o celu,
 TPZ_{is} - czas początkowy ostatniego zaniku informacji o celu,
 TKZ_{is} - czas końcowy ostatniego zaniku informacji o celu.

Ogólny schemat symulacji śledzenia celu "i" przez źródło informacji "s" ma postać :





Wyznaczenie obszaru, w którym RLS aktualnie wykrywa cele.

Obszar, w którym aktualnie stacja wykrywa cele wyznaczony jest przez :

- maksymalną odległość wykrywania stacji $RD_r (r=r_s)$,
- azymut początkowy $B4_s$,
- azymut końcowy $B5_s$.

Aktualny azymut początkowy $B4_s$ jest to azymut końcowy w poprzednim cyklu symulacji. W pierwszym cyklu przyjmuje się

$$B4_s = K_s \quad ;$$
$$B5_s = B4_s + L_s \cdot TC \quad .$$

Wyznaczanie położenia celu z uwzględnieniem błędów stacji.

$$R2_{is} = R1_{is} + \Delta R \quad ,$$
$$B7_{is} = B6_{is} + \Delta B \quad ,$$
$$X1_{is} = R2_{is} \cdot \cos(B7_{is}) + X_s \quad ,$$
$$Y1_{is} = R2_{is} \cdot \sin(B7_{is}) + Y_s \quad ,$$

gdzie :

$R1_{is}$, $B6_{is}$ - rzeczywista odległość i azymut cel - stacja,

ΔR - błąd pomiaru odległości, wartość zmiennej losowej o rozkładzie normalnym $N(0, B1_r)$,

ΔB - błąd pomiaru azymutu, wartość zmiennej losowej o rozkładzie normalnym $N(0, B2_r)$,

$R2_{is}$, $B7_{is}$ - współrzędne biegunowe celu,

$X1_{is}$, $Y1_{is}$ - współrzędne prostokątne celu,

$$r = r_s \quad .$$

Badanie czy cel znajduje się w obszarze wykrywania RLS.

Cel znajduje się w obszarze wykrywania, jeśli :

$$R2_{is} \leq RD_r \quad \text{oraz} \quad B5_s \geq B7_{is} > B4_s$$

Badanie czy cel znajduje się w zaniku.

Cel znajduje się w zaniku, jeśli :

$$TA \geq TPZ_{is} \cap TKZ_{is} < 0 \quad .$$

Przyjmuje się, że w momencie TA nastąpił koniec zaniku, t.j.

$TKZ_{is} = TA$, gdy :

$$a \leq b$$

gdzie : a - wartość zmiennej losowej o rozkładzie równomiernym, $a \in [0, 1]$;

$$b = e^{-\frac{TC}{T^2_r}}, \quad r=r_s .$$

Cel nie znajduje się w zaniku, gdy $TKZ_{is} > 0$.

Przyjmuje się, że w momencie TA nastąpił zanik echa, t.j.

$TPZ_{is} = TA$ i $TKZ_{is} = -1$, gdy :

$$c \leq d$$

gdzie : c - wartość zmiennej losowej o rozkładzie równomiernym, $c \in [0, 1]$;

$$d = e^{-\frac{TC}{T^1_r}}, \quad r=r_s .$$

Badanie czy trasa została zainicjowana.

Półautomatyczne śledzenie celu oraz przekazywanie o nim danych rozpoczyna się w momencie, gdy wyznaczone zostaną składowe prędkości celu. Ma to miejsce wówczas, gdy operator zainicjuje trasę, t.j. wskaże dwa kolejne położenia celu. Do tego momentu VX_{is} i VY_{is} posiadają wstępnie ustaloną, fikcyjną wartość $VX_{is} = VY_{is} = 10000$ m/sek.

Badanie czy operator wprowadza korektę śledzenia.

Operator koryguje automatycznie prowadzoną trasę :

a) gdy od ostatniej korekty upłynął maksymalny, dopuszczalny czas :

$$TA - TK_{is} > T5_p, \quad p = p_s ;$$

b) jeśli rozbieżność (D) pomiędzy położeniem wyznaczonym automatycznie a wskazywanym przez stację przekracza normę :

$$D > D^1_p ,$$

gdzie :

$$D = \sqrt{(X^1_{is} - XE_{is})^2 + (Y^1_{is} - YE_{is})^2} ,$$

$$XE_{is} = X_{is} + VX_{is} \cdot (TA - TK_{is}) ,$$

$$YE_{is} = Y_{is} + VY_{is} \cdot (TA - TK_{is}) ,$$

$$p = p_s$$

$X_{is}, Y_{is}, VX_{is}, VY_{is}$ - położenie i prędkość celu ustalone w wyniku ostatniej korekty / w momencie TK_{is} /;

c) w wybranym przez siebie momencie, takim że :

$$TA - TK_{is} \geq T^4_p \quad \text{ i } a \leq b \quad ,$$

gdzie :

a - zmienna losowa o rozkładzie równomiernym, $a \in [0, 1]$;

$$b = e^{-\frac{TC}{T^3_p}} \quad , \quad p = p_s \quad .$$

Wyznaczanie położenia celu z uwzględnieniem błędów operatora.

$$X2_{is} = X1_{is} + d \cdot \cos(b) \quad ,$$

$$Y2_{is} = Y1_{is} + d \cdot \sin(b) \quad ,$$

gdzie :

d - wielkość błędu operatora, wartość zmiennej losowej o rozkładzie normalnym $N(0, B^3_p)$;

b - kierunek błędu operatora, wartość zmiennej losowej o rozkładzie równomiernym, $b \in (0, 360)$.

Wyznaczanie aproksymowanych wartości położenia i składowych prędkości celu.

Aktualne dane o celu (X, Y, VX, VY) wyznacza się wykorzystując dane dotychczasowe ($X_{is}, Y_{is}, VX_{is}, VY_{is}$) oraz dane uzyskane w wyniku ostatniej korekty ($X2_{is}, Y2_{is}$) :

$$X = XE_{is} - W_p \cdot (XE_{is} - X2_{is}) \quad ,$$

$$Y = YE_{is} - W_p \cdot (YE_{is} - Y2_{is}) \quad ,$$

$$VX = VX_{is} + W_v \cdot (VX2_{is} - VX_{is}) \quad ,$$

$$VY = VY_{is} + W_v \cdot (VY2_{is} - VY_{is}) \quad ,$$

gdzie :

$$VX2_{is} = \frac{X2_{is} - X_{is}}{TA - TK_{is}} \quad ,$$

$$VY2_{is} = \frac{Y2_{is} - Y_{is}}{TA - TK_{is}} \quad ,$$

XE_{is}, YE_{is} - ekstrapolowane współrzędne celu,

$$XE_{is} = X_{is} + VX_{is} \cdot (TA - TK_{is}) \quad ,$$

$$YE_{is} = Y_{is} + VY_{is} \cdot (TA - TK_{is}) \quad ,$$

W_p, W_v - współczynniki wyznaczone w oparciu o równania filtru Kalmana,

$$W_p = \frac{1 + 2 \cdot W + 2 \cdot W^2}{2 + 2 \cdot W + 2 \cdot W^2},$$

$$W_v = \frac{W + 2 \cdot W^2}{2 + 2 \cdot W + 2 \cdot W^2},$$

$$W = \frac{TA - TK_{is}}{DK_{is}}.$$

W ramach aktualizacji danych o celu rejestrowane są :

$$\begin{aligned} X_{is} &= X, & Y_{is} &= Y, \\ VX_{is} &= VX, & VY_{is} &= VY. \end{aligned}$$

Szacowanie błędów wyznaczania parametrów toru lotu celu oraz innych danych wynikowych.

Błąd pomiaru położenia szacuje się uwzględniając błędy RLS :

$$SX1^2 = [R2_{is} \cdot B2_s \cdot \sin(B7_{is})]^2 + [B1_s \cdot \cos(B7_{is})]^2$$

$$SY1^2 = [B1_s \cdot \sin(B7_{is})]^2 + [R2_{is} \cdot B2_s \cdot \cos(B7_{is})]^2$$

Współczynniki gładzenia toru lotu W_p i W_v ustalone zostały przy założeniu, że punkt $(X2_{is}, Y2_{is})$ każdorazowo traktujemy jako trzeci punkt trasy. Błędy wyznaczania parametrów toru lotu celu szacuje się przy założeniu analogicznym. Przyjmuje się ponadto, że błędy pomiaru współrzędnych w momentach : $TK_{is} - DK_{is}$, TK_{is} , TA są takie same. Stąd, odchylenie standardowe (SX_{is}, SY_{is}) błędów współrzędnych celu szacuje się ze wzorów :

$$SX_{is}^2 = (1 - W_p)^2 \cdot SXE^2 + W_p \cdot SX1^2,$$

$$SY_{is}^2 = (1 - W_p)^2 \cdot SYE^2 + W_p \cdot SY1^2,$$

gdzie : SXE, SYE - błąd standardowy położenia ekstrapolowanego,

$$SXE^2 = SX1^2 (1 + 2 \cdot W + 2 \cdot W^2),$$

$$W = \frac{TA - TK_{is}}{DK_{is}}$$

Odchylenie standardowe (SVX_{is} , SVY_{is}) błędów wyznaczania składowych prędkości celu szacuje się ze wzorów :

$$SVX_{is}^2 = w_v^2 \cdot SVX^2 + (1 - w_v)^2 \cdot SVX1^2 ,$$

$$SVY_{is} = w_v^2 \cdot SVY^2 + (1 - w_v)^2 \cdot SVY1^2 ,$$

gdzie :

$$SVX^2 = \frac{2 \cdot SX1^2}{DK_{is}^2} , \quad SVY^2 = \frac{2 \cdot SY1^2}{DK_{is}^2} ,$$

$$SVX1^2 = \frac{2 \cdot SX1^2}{(TA - TK_{is})^2} , \quad SVY1^2 = \frac{2 \cdot SY1^2}{(TA - TK_{is})^2} .$$

Ponadto rejestruje się :

- odstęp między dwoma ostatnimi korektami

$$DK_{is} = TA - TK_{is} ,$$

- czas ostatniej korekty

$$TK_{is} = TA .$$

Badanie czy śledzenie celu należy przerwać.

Śledzenie celu przerywa się, jeśli czas od ostatniej korekty przekroczy ustaloną normę :

$$TA - TK_{is} > 120 \text{ sek.}$$

Wyznaczanie czasu przekazania danych o celu.

Czas przekazania danych o celu wyznacza się, zakładając opóźnienie / w stosunku do czasu pomiaru / takie jak czas obrotu anteny o 75° :

$$TP_{is} = TA + \frac{75}{L_s}$$

Przerwanie śledzenia celu.

W zbiorze danych wynikowych ustala się :

$$NC_{is} = X_{is} = Y_{is} = H_{is} = 0 .$$

Inicjowanie śledzenia trasy.

Trasa zostaje zainicjowana po wskazaniu przez operatora dwu kolejnych położenia celu. Po pierwszym wskazaniu przyjmuje się :

$$NC_{is} = NC_{i-1} , \quad X_{is} = X2_{is} , \quad Y_{is} = Y2_{is} , \quad TK_{is} = TA .$$

Po drugim wskazaniu wyznacza się :

$$VX_{is} = \frac{X2_{is} - X_{is}}{TA - TK_{is}}, \quad VY_{is} = \frac{Y2_{is} - Y_{is}}{TA - TK_{is}}$$

$$X_{is} = X2_{is}, \quad Y_{is} = Y2_{is}, \quad SX_{is} = SX1, \quad SY_{is} = SY1$$

$$SVX_{is} = 2 \frac{SX_{is}}{TA - TK_{is}}, \quad SVY_{is} = 2 \frac{SY_{is}}{TA - TK_{is}},$$

$$DK_{is} = TA - TK_{is}, \quad TK_{is} = TA.$$

4.4. Symulacja przekazywania danych.

4.4.1. Model przekazywania danych.

Badany system rozpoznania radiolokacyjnego posiada określoną strukturę terytorialną. Pomędzy poszczególnymi obiektami, dane o celach przekazywane są w telekodowych kanałach łączności radiowej. W kanałach tych dane przekazywane są z szybkością modulacji 600 lub 1200 bodów przy stopie błędów $1 \cdot 10^{-5}$.

Do podstawowych parametrów charakteryzujących poszczególne relacje łączności należą : szybkość transmisji informacji, dokładność przekazywania danych i niezawodność transmisji.

Szybkość transmisji informacji zależy od organizacji przekazywania danych, sposobu kodowania oraz rozwiązań zapewniających porządaną niezawodność transmisji. Jako jednostki informacji w omawianym systemie traktowane mogą być meldunki o położeniu i parametrach lotu celów. Meldunki przekazywane są w ramach 69 bitowych depesz. Depesza, poza informacją o celu, zawiera informacje dodatkowe, umożliwiające wykrywanie błędów transmisji. W celu eliminacji błędów stosuje się 3-krotne przekazywanie tych samych depesz. Powoduje to zwiększenie niezawodności transmisji przy równoczesnym zmniejszeniu szybkości przekazywania informacji. W omawianym modelu przyjęto szybkość przekazywania informacji w danym kanale charakteryzować liczbą meldunków przekazywanych w jednostce czasu.

W ramach depeszy, poszczególne pozycje meldunku o celu / numer celu, współrzędne, składowe prędkości itp. / mają przyporządkowane pola o ustalonej długości. Dokładność przekazywania danych związana jest ściśle z wielkością tego pola oraz

ze sposobem kodowania. Z punktu widzenia przeprowadzonych badań istotna jest dokładność przekazywania współrzędnych i prędkości celów oraz danych o błędach pomiarów. W depe szach, dane te zapisywane są w postaci binarnych liczb całkowitych ze znakiem. Dokładność transmisji wyrażoną w [m] i [m/sek] określają dane wejściowe charakteryzujące poszczególne relacje łączności.

Niezawodność transmisji danych związana jest z właściwościami sprzętu łączności oraz z zakłóceniami. Na niezawodność transmisji mają istotny wpływ takie parametry łącza jak : szerokość pasma przenoszenia, charakterystyka tłumienia, charakterystyka fazowa, zmiany poziomu transmisji, krótkie przerwy transmisji itp. Parametry te decydują o stopie błędów w danym kanale łączności. Przyczynami zakłóceń transmisji mogą być : szумы kosmiczne, szумы własne, sygnały niepożądane emitowane przez nadajnik własnej radiostacji, odbiór sygnałów na niepożądanych częstotliwościach odbiornika, iskrzenie w agregatach prądotwórczych i szereg innych [23]. Ponadto zakłócenia spowodowane mogą być celową działalnością przeciwnika. W ujęciu kompleksowym charakterystyka zakłóceń transmisji jest trudna do sprecyzowania. Wiadomo, że mogą one występować w różnym czasie i różnym natężeniu. Z punktu widzenia prowadzonych badań istotnym jest, że poszczególne relacje łączności mogą być zakłócone niezależnie od siebie; spowodować to może zmniejszenie zakresu informacji dostępnej przy uogólnianiu.

W omawianym modelu przyjęto, że zakłócenia mogą mieć formę zakłóceń krótkotrwałych oraz zaników transmisji. Pod pojęciem zakłóceń krótkotrwałych rozumie się zakłócenia, których czas jest porównywalny z czasem przekazywania pojedynczej depe szy. Zakłada się, że powstające w tym przypadku błędy są skutecznie i w pełni eliminowane dzięki przyjętej metodzie kontroli i zabezpieczenia danych. Pod pojęciem zaniku transmisji rozumie się sytuację, w której meldunki o celach nie są odbierane bądź są zniekształcone w stopniu uniemożliwiającym ich wykorzystanie. Intensywność zakłóceń jak i odporność aparatur na te zakłócenia charakteryzuje się poprzez wskazanie jaką część ogólnego czasu transmisji stanowią zaniki. Efekt nieokreśloności czasu wystąpienia zaniku osiąga się przy założeniu, że zarówno odstęp czasu pomiędzy zanikami transmisji jak i czas zaniku transmisji są zmiennymi losowymi o rozkładzie wykładniczym.

Dane, średni odstęp między zanikami (a) i średni czas trwania zaniku (b), pozwalają uzyskać założoną strukturę zakłóceń. Stosunek b/a wskazuje jaką część ogólnego czasu transmisji stanowią zaniki.

Zgodnie z przyjętą koncepcją symulacji systemu, omawiany moduł wykorzystywany jest również do przekazywania danych w ramach obiektu / np. przy symulacji obiektu DP-10 /. Jest to transmisja symulowana ze względów technologicznych, w dotychczasowym rozumieniu - fikcyjna. Charakteryzuje się ona nieograniczoną szybkością i dokładnością oraz brakiem zaników.

4.4.2. Schemat symulacji.

Dane wejściowe do symulacji tworzą zbiory $\mathbb{D}6$, $\mathbb{D}7$ i $\mathbb{W}3$. Zbiór $\mathbb{D}6$ zawiera dane charakteryzujące poszczególne ($z=1,2, \dots, 23$) relacje łączności :

$$\mathbb{D}6 = \left\{ NO_z, DK1_z, DK2_z, DK3_z, ST_z, CZ_z, LM_z \right\}_{z=\overline{1,23}},$$

gdzie :

NO_z - numer obiektu / źródła informacji wtórnej lub obiektu uogólniania /,

$DK1_z$ - dokładność przekazywania współrzędnych,

$DK2_z$ - dokładność przekazywania składowych prędkości celu,

$DK3_z$ - dokładność przekazywania danych o błędach pomiaru współrzędnych,

ST_z - średni czas między zanikami transmisji,

CZ_z - średni czas trwania zaniku,

LM_z - liczba meldunków przekazywanych w jednostce czasu.

Zbiór $\mathbb{D}7$ określa strukturę organizacyjną badanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego oraz aktualny stan przetwarzania danych o celach :

$$\mathbb{D}7 = \left\{ NO_z, N1_z, N2_z, N3_z, N4_z, ZT_z \right\}_{z=\overline{1,23}},$$

gdzie :

NO_{iz} - numer obiektu / obiektu uogólniania lub źródła informacji wtórnej /,

$N1_z, N2_z, N3_z, N4_z$ - numery obiektów, które do danego obiektu przekazują meldunki o celach,

ZT_z - informacja o wygenerowaniu aktualnych danych o celach przez dany obiekt; $ZT_z=0$, gdy obiekt nie wygenerował

w danym cyklu danych o celach; $ZT_z=1$, gdy obiekt dane takie wygenerował.

Dla $\{NO_z: z=1,15\}$ $N1_z=N2_z=N3_z=N4_z=0$ oraz, po realizacji modułu symulacji źródeł informacji wtórnej, $ZT_z=1$.

Zbiór $W3$ obejmuje dane o celach śledzonych przez źródła informacji wtórnej oraz obiekty uogólniania ($z=1,2,\dots,23$):

$$W3 = \{W3_{iz}\} \quad i=\overline{1,10}, \quad z=\overline{1,23}, \quad W3 = W2 \cup W4,$$

gdzie:

$W2$ - zbiór danych o celach śledzonych przez źródła informacji wtórnej,

$$W2 = \{W2_{iz}\} \quad i=\overline{1,10}, \quad z=\overline{1,15},$$

$$W2_{iz} = \langle NC_{iz}, X_{iz}, Y_{iz}, H_{iz}, VX_{iz}, VY_{iz}, SX_{iz}, SY_{iz}, SVX_{iz}, SVY_{iz}, TK_{iz}, DK_{iz}, TP_{iz}, TPZ_{iz}, TKZ_{iz} \rangle,$$

$$NC_{iz} \equiv NC_{is}, \quad X_{iz} \equiv X_{is}, \quad Y_{iz} \equiv Y_{is}, \quad \text{itd.},$$

$NC_{is}, X_{is}, Y_{is}, \dots$ - opisane w p. 4.3.2;

$W4$ - zbiór danych o celach śledzonych przez obiekty uogólniania,

$$W4 = \{W4_{iz}\} \quad i=\overline{1,10}, \quad z=\overline{16,23},$$

$$W4_{iz} = \langle NC_{iz}, X_{iz}, Y_{iz}, H_{iz}, VX_{iz}, VY_{iz}, SX_{iz}, SY_{iz}, SVX_{iz}, SVY_{iz}, TK_{iz}, RZ_{iz}, TP_{iz} \rangle,$$

NC_{iz} - numer celu,

X_{iz}, Y_{iz} - współrzędne celu,

H_{iz} - wysokość lotu celu,

VX_{iz}, VY_{iz} - składowe prędkości lotu,

$SX_{iz}, SY_{iz}, SVX_{iz}, SVY_{iz}$ - błąd średni kwadratowy pomiaru współrzędnych i prędkości celu,

TK_{iz} - czas ostatniego uogólniania,

TP_{iz} - czas przekazania meldunku,

RZ_{iz} - numer źródła podstawowego / przy uogólnianiu metodą reprezentanta /.

Ponadto, dane wejściowe stanowią: TA - czas aktualny i TC - cykl symulacji.

Moduł symulacji przekazywania danych generuje zbiór ($W5$)

meldunków o celach przekazywanych z poszczególnych obiektów w rozpatrywanym okresie czasu :

$$W5 = \{ NP_{iz}, XP_{iz}, YP_{iz}, HP_{iz}, VXP_{iz}, VYP_{iz}, SXP_{iz}, SYP_{iz}, TPP_{iz} \}$$

$$i = \overline{1, 10}, \quad z = \overline{1, 23},$$

gdzie :

NP_{iz} - numer celu w meldunku,

$XP_{iz}, YP_{iz}, HP_{iz}$ - położenie celu określone w meldunku,

VXP_{iz}, VYP_{iz} - składowe prędkości celu,

SXP_{iz}, SYP_{iz} - błąd średni kwadratowy pomiaru współrzędnych celu,

TPP_{iz} - czas przekazania meldunku.

Ponadto, omawiany moduł generuje zbiór ($W6$) danych o zanikach transmisji na poszczególnych łączach :

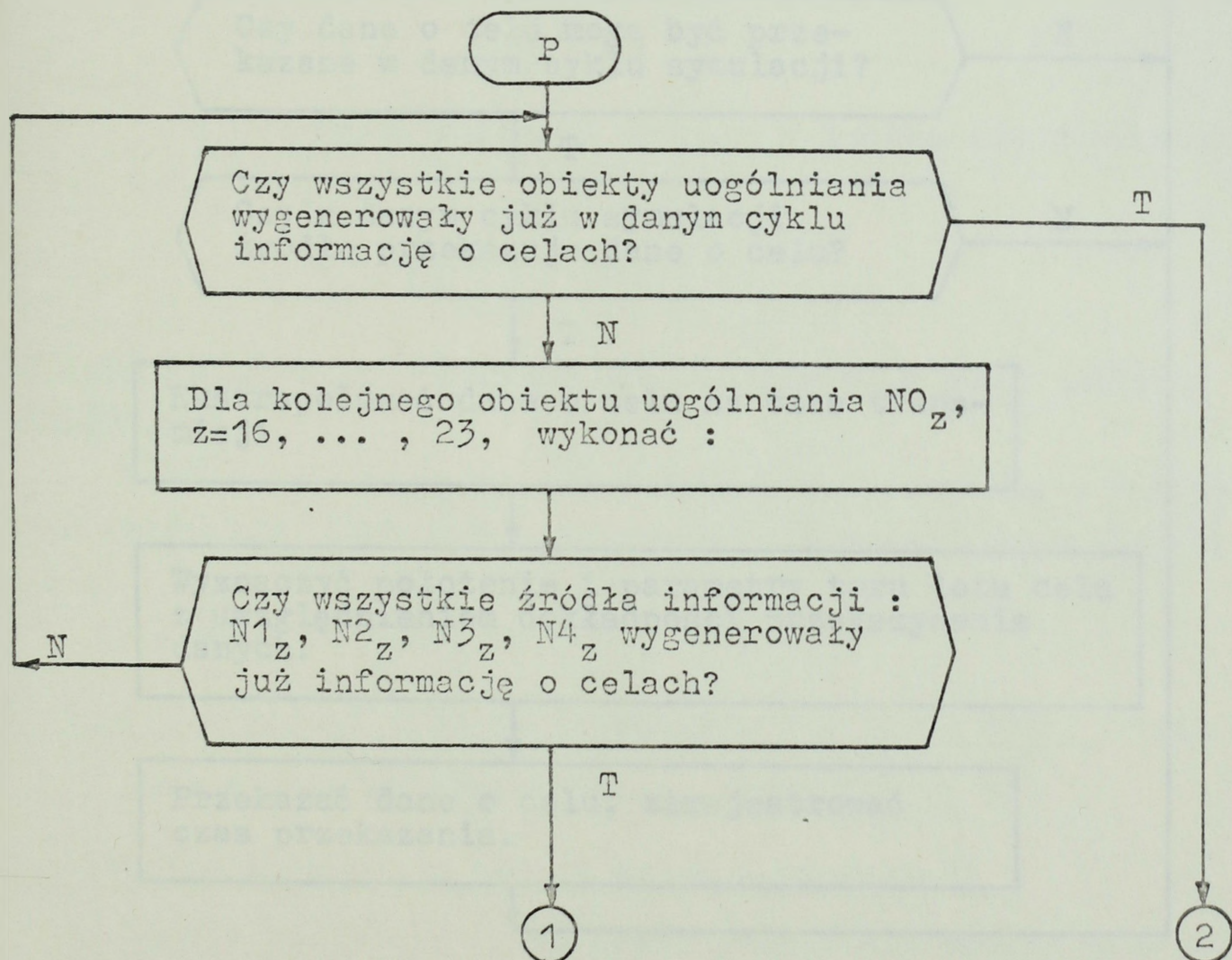
$$W6 = \{ TPZ_z, TKZ_z \} \quad z = \overline{1, 23},$$

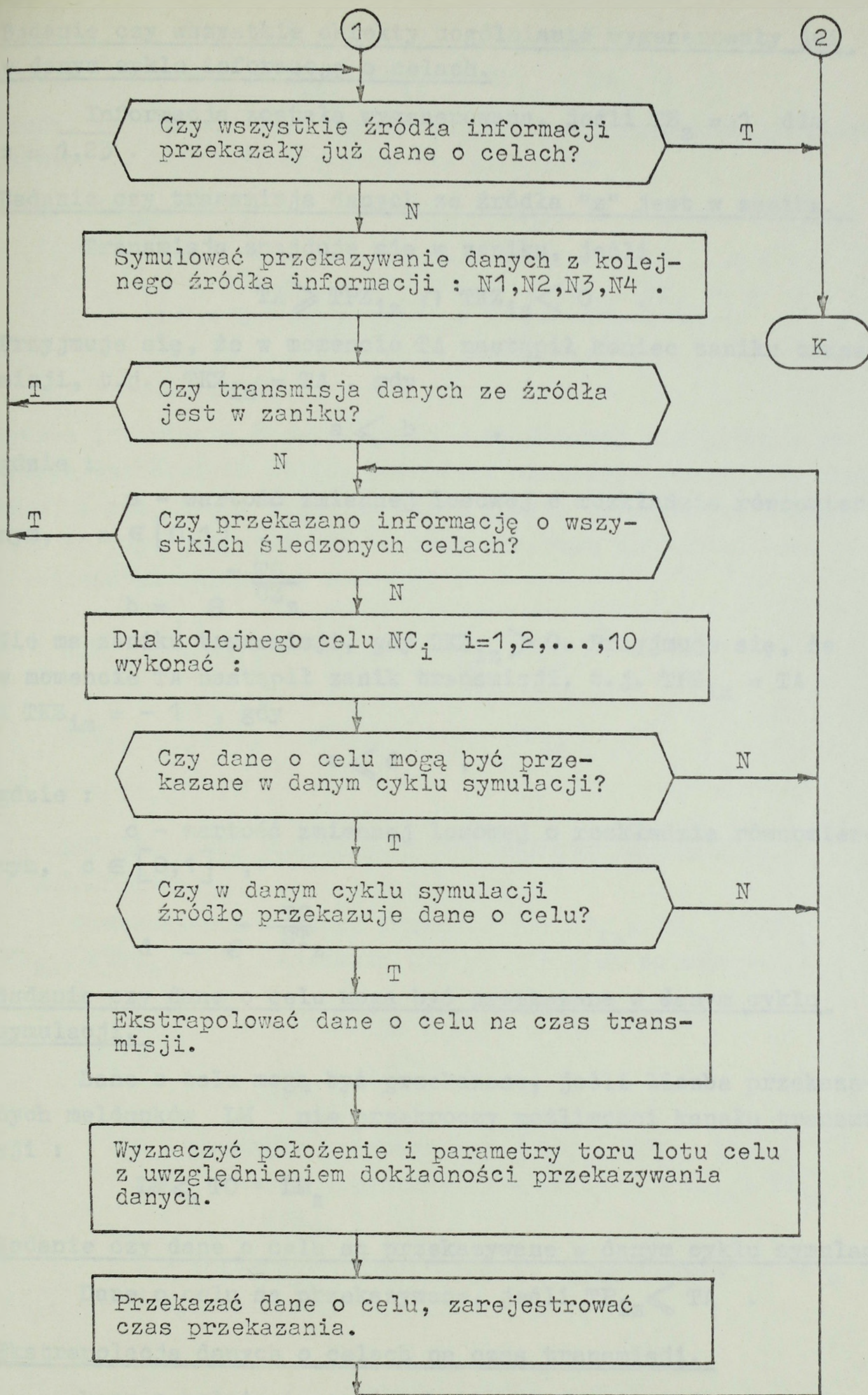
gdzie :

TPZ_z - czas początku zaniku transmisji danych,

TKZ_z - czas końca zaniku transmisji danych.

Ogólny schemat symulacji przekazywania danych ma postać :





Badanie czy wszystkie obiekty uogólniania wygenerowały już w danym cyklu informację o celach.

Informacja została wygenerowana, jeśli $TZ_z = 1$ dla $z = 1, 2, 3$.

Badanie czy transmisja danych ze źródła "z" jest w zaniku.

Transmisja znajduje się w zaniku, jeśli

$$TA \geq TPZ_{iz} \cap TKZ_{iz} < 0$$

Przyjmuje się, że w momencie TA nastąpił koniec zaniku transmisji, t.j. $TKZ_{iz} = TA$, gdy

$$a \leq b$$

gdzie :

a - wartość zmiennej losowej o rozkładzie równomiernym, $a \in [0, 1]$,

$$b = e^{-\frac{TC}{CZ}_z}$$

Nie ma zaniku transmisji, gdy $TKZ_{iz} > 0$. Przyjmuje się, że w momencie TA nastąpił zanik transmisji, t.j. $TPZ_{iz} = TA$ i $TKZ_{iz} = -1$, gdy

$$c \leq d$$

gdzie :

c - wartość zmiennej losowej o rozkładzie równomiernym, $c \in [0, 1]$,

$$d = e^{-\frac{TC}{ST}_z}$$

Badanie czy dane o celu mogą być przekazane w danym cyklu symulacji.

Dane o celu mogą być przekazane, jeśli liczba przekazanych meldunków LM nie przekroczy możliwości kanału transmisji :

$$LM \leq TC \cdot LM_z$$

Badanie czy dane o celu są przekazywane w danym cyklu symulacji.

Dane o celu są przekazywane, jeśli $TP_{iz} \leq TA$.

Ekstrapolacja danych o celach na czas transmisji.

Dane o położeniu celów ekstrapoluje się według wzorów :

$$XE_{iz} = X_{iz} + VX_{iz} \cdot (TP_{iz} - TK_{iz}) ,$$

$$YE_{iz} = Y_{iz} + VY_{iz} \cdot (TP_{iz} - TK_{iz}) .$$

Średni kwadratowy błąd współrzędnych, przekazywanych ze źródła informacji wtórnej, wyznacza się ze wzorów :

$$SXE_{iz} = SX_{iz} \cdot W , \quad SYE_{iz} = SY_{iz} \cdot W ,$$

$$W = \sqrt{1 + 2 \frac{TP_{iz} - TK_{iz}}{DK_{iz}} + 2 \cdot \left(\frac{TP_{iz} - TK_{iz}}{DK_{iz}} \right)^2} ,$$

$$z = 1, 2, \dots, 15.$$

Zakres informacji przekazywanej w meldunkach nie pozwala na ścisłe oszacowanie błędów położenia ekstrapolowanego w punkcie uogólniania. Błędy wyznacza się w sposób uproszczony przyjmując, że uogólnione położenie oraz składowe prędkości lotu są niezależnymi zmiennymi losowymi :

$$SXE_{iz} = \sqrt{SX_{iz}^2 + SVX_{iz}^2 \cdot (TP_{iz} - TK_{iz})^2} ,$$

$$SYE_{iz} = \sqrt{SY_{iz}^2 + SVY_{iz}^2 \cdot (TP_{iz} - TK_{iz})^2} ,$$

$$z = 16, \dots, 23 .$$

Wyznaczanie danych o celu z uwzględnieniem dokładności przekazywania.

Przekazywane w kanał transmisji : $XP_{iz}, YP_{iz}, VXP_{iz}, VYP_{iz}, SXP_{iz}, SYP_{iz}$ wyznacza się wg ogólnych zależności :

$$PP = N \cdot d ,$$

$$N = E \left(\frac{P}{d} + 0.5 \right) ,$$

gdzie :

PP - parametr przekazywany ($XP_{iz}, YP_{iz}, itp.$) ,

P - parametr wygenerowany w źródle ($XE_{iz}, YE_{iz}, VX_{iz}, VY_{iz}, SXE_{iz}, SYE_{iz}$) ,

d - dokładność przekazywania (odpowiednio : $DK1_z, DK2_z, lub DK3_z$) .

4.5. Symulacja uogólniania danych.

4.5.1. Model uogólniania.

Uogólnianie informacji radiolokacyjnej ma miejsce we wszystkich obiektach badanego systemu. W obiekcie DP-10 uogólniane są dane o celach wykrywanych przez różne stacje radiolokacyjne, w obiekcie DP-20 - dane przekazywane z podległych kompanii radiotechnicznych / obiektów DP-10 /, w obiekcie DP-10R natomiast - dane ze stacji radiolokacyjnej oraz dane z powiadamiania / z DP-20 /. Informacje uogólnione przekazywane są do wykorzystania w innych obiektach systemu. Uogólnianie informacji o celach oraz jej przekazywanie mogą być traktowane jako dwa niezależnie od siebie funkcjonujące procesy.

Uogólnianie stanowi jedną z szeregu procedur realizowanych przez EMC w omawianych obiektach. Z punktu widzenia przeprowadzonych badań istotne jest opóźnienie jakie wnosi obiekt uogólniania do procesu przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Cykl realizacji wszystkich zadań na EMC nie powinien przekraczać 10 sek. Czas uogólniania trudno jest w tej chwili ściśle określić. Zależy on od przyjętych metod przetwarzania oraz liczby śledzonych celów. Można jednak stwierdzić, że opóźnienie wnoszone przez obiekt limitowane jest przede wszystkim czasem przekazywania informacji uogólnionej. Stąd, w modelu przyjmuje się czas uogólniania równy 0.

Przetwarzanie danych o poszczególnych celach odbywa się cyklicznie, w ustalonej kolejności. Cel, o którym przyjęty został I meldunek wprowadzany jest do kolejki na pozycję gwarantującą przetwarzanie w I kolejności. Dane uogólnione nie są wyznaczane, jeśli w czasie od ostatniego uogólnienia nie został przyjęty nowy meldunek o celu bądź przyjęte meldunki nie spełniają określonych wymagań. Ustalony jest minimalny odstęp czasu, po którym informacje o celu mogą być ponownie uogólnione. Dane o celu wyznacza się dla czasu przyjęcia ostatniego meldunku o tym celu.

Meldunki o celach przekazywane są również cyklicznie, w ustalonej kolejności. W pierwszej kolejności przekazywane są meldunki o nowo wykrytych celach. Meldunek o celu nie jest przekazywany, jeśli od czasu przekazania ostatniego meldunku dane o celu nie zostały zaktualizowane. Liczba meldunków o celu przekazywanych w cyklu symulacji zależy od przepustowości

kanalu transmisji danych. Przepustowość tę przyjęto charakteryzować liczbą meldunków przekazywanych w jednostce czasu. Dla wszystkich meldunków przekazywanych w danym cyklu przyjmuje się czas przekazania równy TA.

Przetwarzanie danych o celach obejmuje : inicjowanie trasy, kojarzenie meldunków ze śledzonymi trasami, likwidację tras i uogólnianie danych o celach / aktualizację parametrów trasy /. Terminem "trasa" określa się tor lotu celu opisany za pomocą określonych parametrów uzyskanych w wyniku przetwarzania informacji radiolokacyjnej o celu; pomiędzy trasą a rzeczywistym torem lotu występują różnice wynikające z błędów pomiaru parametrów toru lotu oraz błędów przetwarzania danych.

Inicjowanie trasy polega na zarejestrowaniu faktu wykrycia nowego celu oraz pierwszych informacji o tym celu. Inicjowanie jest stosunkowo złożonym procesem, w ramach którego stwierdza się czy meldunek dotyczy nowego celu, czy też może być skojarzony z trasą już śledzoną. W omawianym modelu proces ten został odwzorowany w sposób uproszczony, wynikający z zakresu i celu badań. W modelu wiadomym jest a priori, które z meldunków dotyczą poszczególnych celów. Trasa inicjowana jest po uzyskaniu pierwszego meldunku o celu.

Skojarzenie meldunku z trasą polega na stwierdzeniu, że meldunek dotyczy tego samego co i trasa celu oraz, że może być wykorzystany do aktualizacji parametrów trasy. Meldunek kojarzony jest z trasą, jeśli różnice pomiędzy danymi określonymi w meldunku a parametrami trasy nie przekraczają ustalonych norm. Nie skojarzenie meldunku z trasą pociąga za sobą operacje zmierzające do ustalenia przynależności danego meldunku bądź jego odrzucenia jako błędnego^{11/}. W programie symulacyjnym meldunek kojarzony jest z trasą, jeśli współrzędne celu zawarte w meldunku mieszczą się w bramce wyznaczonej wokół prognozowanego położenia celu. Położenie prognozowane wyznacza się w oparciu o parametry trasy. Sposób wyznaczania bramki związany jest z konkretną metodą uogólniania. Nie skojarzenie meldunku z trasą wynika przede wszystkim z błędnej estymacji parametrów trasy. Fakt ten rzutuje na efektywność śledzenia i dlatego jest rejestrowany dla potrzeb oceny metod uogólniania.

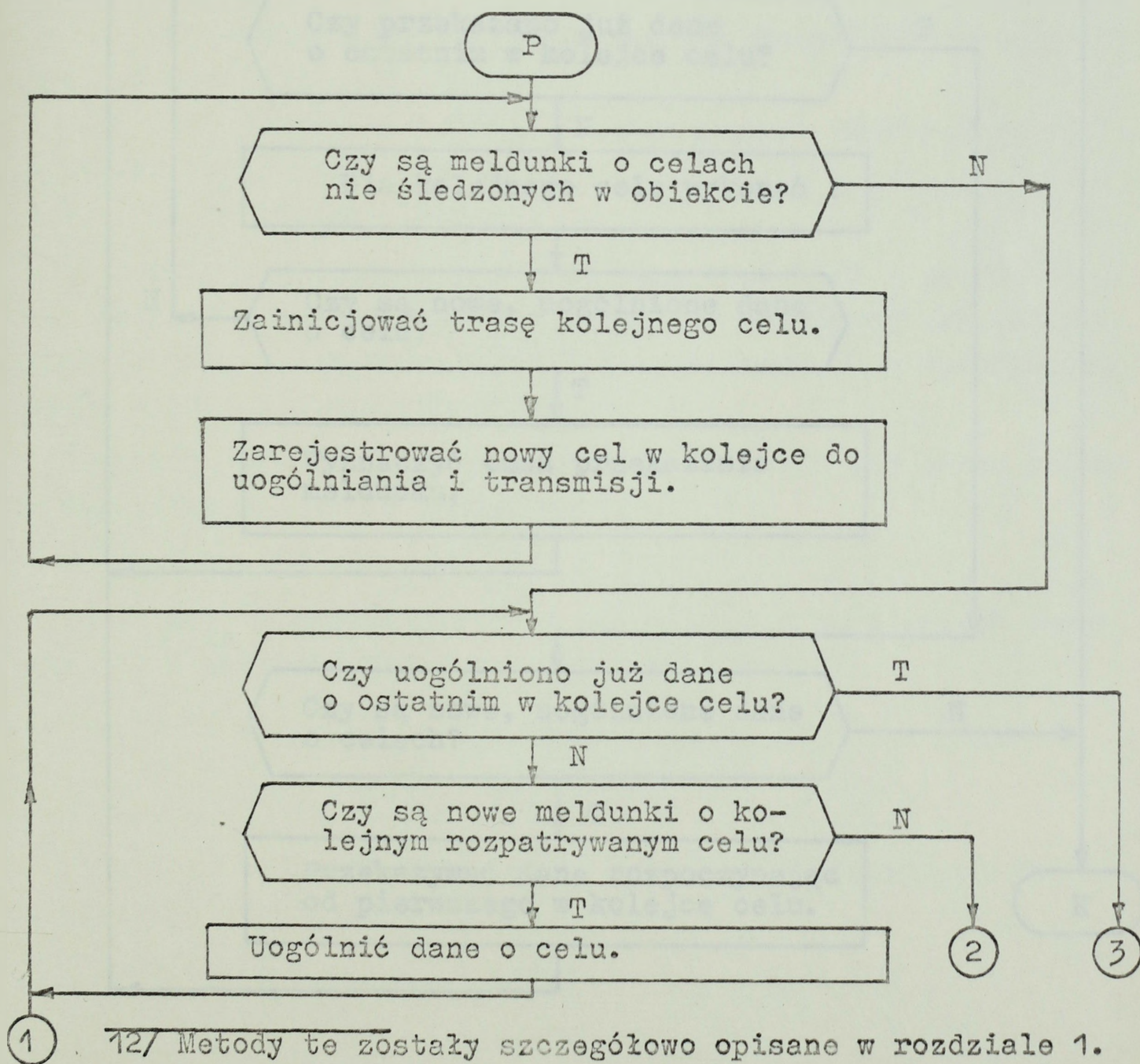
11/ Szczegółowy opis procedur wykorzystywanych na tym etapie przetwarzania informacji radiolokacyjnej zamieszczony jest w rozdziale 1 niniejszej pracy.

Likwidacja trasy ma miejsce w przypadku, gdy stacje radiolokacyjne zaprzestają śledzenia celu. Ponadto, trasa jest likwidowana, gdy przez określony czas żaden z meldunków nie został z trasą skojarzony. Przypadek ten określa się mianem "zerwania śledzenia". Jest on rejestrowany jako jeden z podstawowych wskaźników oceny procesu uogólniania danych. Trasa zerwana jest inicjowana ponownie i proces śledzenia jest kontynuowany.

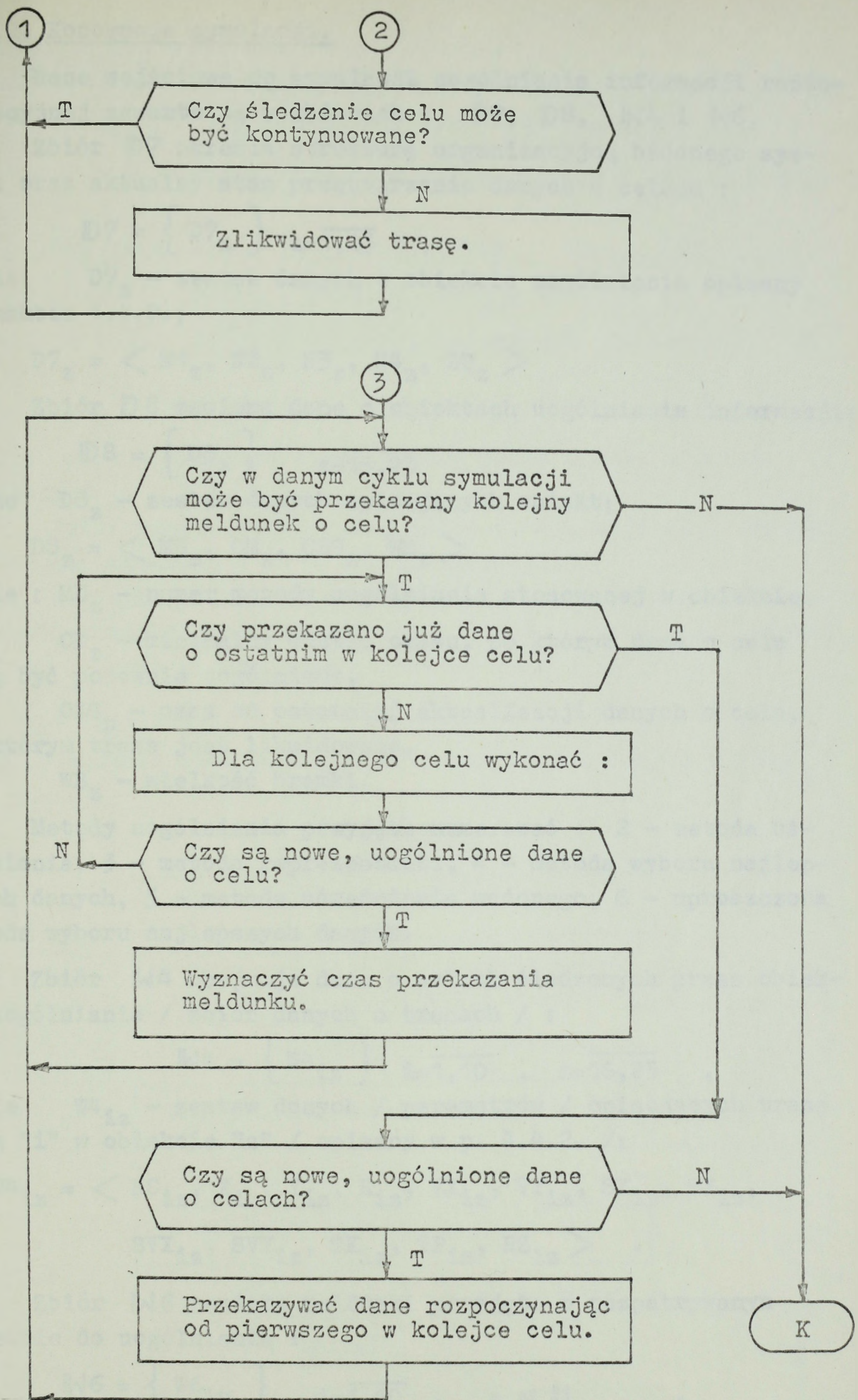
Omawiany moduł umożliwia symulację uogólniania informacji radiolokacyjnej następującymi metodami :

- 1) reprezentanta,
- 2) uśredniania,
- 3) uśredniania ważonego,
- 4) wyboru najlepszych danych,
- 5) wyboru najlepszych danych - uproszczoną^{12/}.

Ogólny schemat symulacji przetwarzania danych w obiekcie uogólniania ma postać :



^{12/} Metody te zostały szczegółowo opisane w rozdziale 1.



4.5.2. Koncepcja symulacji.

Dane wejściowe do symulacji uogólniania informacji radiolokacyjnej zawarte są w zbiorach : D7, D8, W4 i W6.

Zbiór D7 określa strukturę organizacyjną badanego systemu oraz aktualny stan przetwarzania danych o celach :

$$D7 = \left\{ D7_z \right\}_{z=\overline{1,23}} ,$$

gdzie $D7_z$ - zestaw danych o obiekcie uogólniania opisany w punkcie 4.4.2.;

$$D7_z = \langle N1_z, N2_z, N3_z, N4_z, ZT_z \rangle$$

Zbiór D8 zawiera dane o obiektach uogólniania informacji:

$$D8 = \left\{ D8_z \right\}_{z=\overline{16,23}}$$

gdzie $D8_z$ - zestaw danych opisujących obiekt;

$$D8_z = \langle MU_z, CM_z, CZS_z, WB_z \rangle$$

gdzie : MU_z - numer metody uogólniania stosowanej w obiekcie,

CM_z - minimalny odstęp czasu, po którym dane o celu mogą być ponownie uogólniane,

CZS_z - czas od ostatniej aktualizacji danych o celu, po którym trasa jest likwidowana,

WB_z - wielkość bramki.

Metody uogólniania przyjęto numerować : 2 - metoda uśredniania, 3 - metoda reprezentanta, 4 - metoda wyboru najlepszych danych, 5 - metoda uśredniania ważonego, 6 - uproszczona metoda wyboru najlepszych danych.

Zbiór W4 obejmuje dane o celach śledzonych przez obiekty uogólniania / zbiór danych o trasach / :

$$W4 = \left\{ W4_{iz} \right\}_{i=\overline{1,10}, z=\overline{16,23}} ,$$

gdzie $W4_{iz}$ - zestaw danych / parametrów / opisujących trasę celu "i" w obiekcie "z" / opisany w p. 4.4.2. /;

$$W4_{iz} = \langle NC_{iz}, X_{iz}, Y_{iz}, H_{iz}, VX_{iz}, VY_{iz}, SX_{iz}, SY_{iz}, \\ SVX_{iz}, SVY_{iz}, TK_{iz}, TP_{iz}, RZ_{iz} \rangle .$$

Zbiór W6 zawiera meldunki przyjęte w rozpatrywanym obiekcie do uogólnienia :

$$W6 = \left\{ W6_{iu} \right\}_{i=\overline{1,10}, u \in U_z} ,$$

gdzie : U_z - zbiór źródeł / obiektów / przekazujących meldunki do rozpatrywanego obiektu "z" ;

$$U_z = \{ u \neq 0 : u = N1_z, N2_z, N3_z \text{ lub } N4_z \} ;$$

$W6_{iu}$ - meldunek o celu "i" przyjęty ze źródła o numerze "u" ;

$$W6_{iu} = \langle XP_{iu}, YP_{iu}, VXP_{iu}, VYP_{iu}, SXP_{iu}, SYP_{iu}, SVYP_{iu}, SVXP_{iu}, TPP_{iu} \rangle .$$

Istnieje ścisły związek pomiędzy opisywanym już zbiorem $W5$ i $W6$:

$$W6 \subset W5 , \quad W6_{iu} = W5_{iz} \quad \text{dla } u=z$$

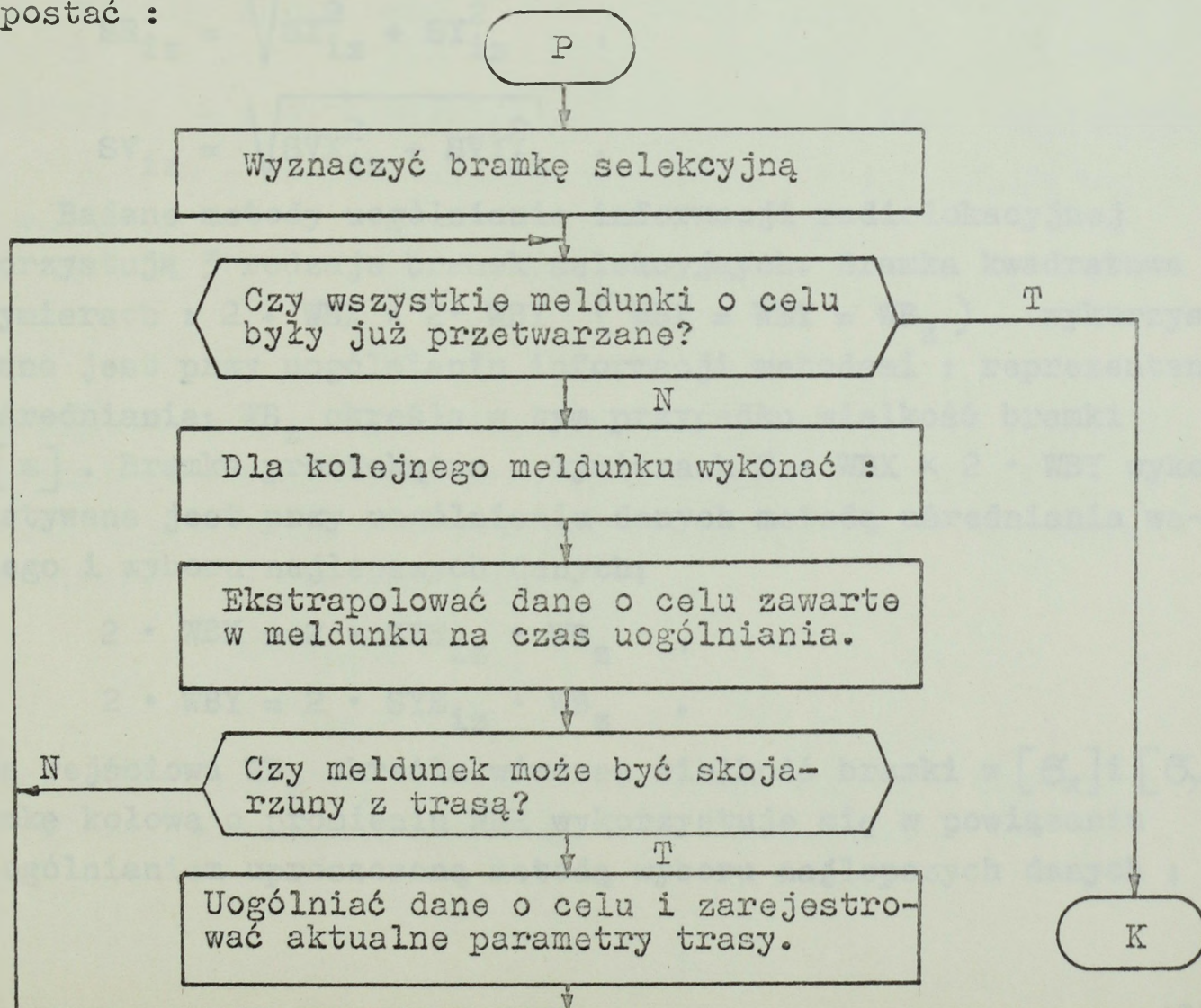
gdzie $W5_{iz}$ - meldunek wygenerowany przez źródło / obiekt /, opisany w p. 4.4.2.

Prócz wymienionych wyżej zbiorów, dane wejściowe obejmują :
 TA - czas aktualny i TC - cykl symulacji.

W wyniku symulacji uogólniania informacji radiolokacyjnej aktualizowany jest zbiór $W4$, t.j. dla rozpatrywanego obiektu "z" wyznaczane są aktualne parametry tras ($i=\overline{1,10}$) :

$$X'_{iz}, Y'_{iz}, VX'_{iz}, VY'_{iz}, SX'_{iz}, SY'_{iz}, SVX'_{iz}, SVY'_{iz}, TK'_{iz}$$

Ogólny schemat symulacji procesu uogólniania danych o celu ma postać :



Wyznaczanie bramki selekcyjnej.

Bramkę selekcyjną wyznacza się wokół prognozowanego na czas uogólniania położenia celu :

$$XB = XE_{iz} = X_{iz} + VX_{iz} \cdot (TA - TK_{iz}) \quad ,$$

$$YB = YE_{iz} = Y_{iz} + VY_{iz} \cdot (TA - TK_{iz}) \quad ,$$

gdzie XB, YB to współrzędne środka bramki. Wymiary bramki selekcyjnej, w zależności od metody uogólniania, są ustalone bądź zależą od błędów wyznaczania współrzędnych celu. W drugim przypadku, obliczyć należy błąd ekstrapolowany współrzędnych celu. W oparciu o informacje dostępne w procesie uogólniania nie jest możliwe ściśle wyznaczenie tego błędu. Wyznacza się go w sposób uproszczony, przyjmując że uogólnione położenie i prędkość celu są niezależnymi zmiennymi losowymi :

$$SXE_{iz}^2 = SX_{iz}^2 + SVX_{iz}^2 \cdot \Delta t^2 \quad ,$$

$$SYE_{iz}^2 = SY_{iz}^2 + SVY_{iz}^2 \cdot \Delta t^2 \quad ,$$

$$SRE_{iz}^2 = SR_{iz}^2 + SV_{iz}^2 \cdot \Delta t^2 \quad ,$$

gdzie :

$$\Delta t = TA - TK_{iz} \quad ,$$

$$SR_{iz} = \sqrt{SX_{iz}^2 + SY_{iz}^2} \quad ,$$

$$SV_{iz} = \sqrt{SVX_{iz}^2 + SVY_{iz}^2} \quad .$$

Badane metody uogólniania informacji radiolokacyjnej wykorzystują 3 rodzaje bramek selekcyjnych. Bramka kwadratowa o wymiarach : $2 \cdot WBX \times 2 \cdot WBY$ ($WBX = WBY = WB_z$) wykorzystywana jest przy uogólnianiu informacji metodami : reprezentanta i uśredniania; WB_z określa w tym przypadku wielkość bramki w [m]. Bramka prostokątna o wymiarach $2 \cdot WBX \times 2 \cdot WBY$ wykorzystywana jest przy uogólnianiu danych metodą uśredniania ważonego i wyboru najlepszych danych;

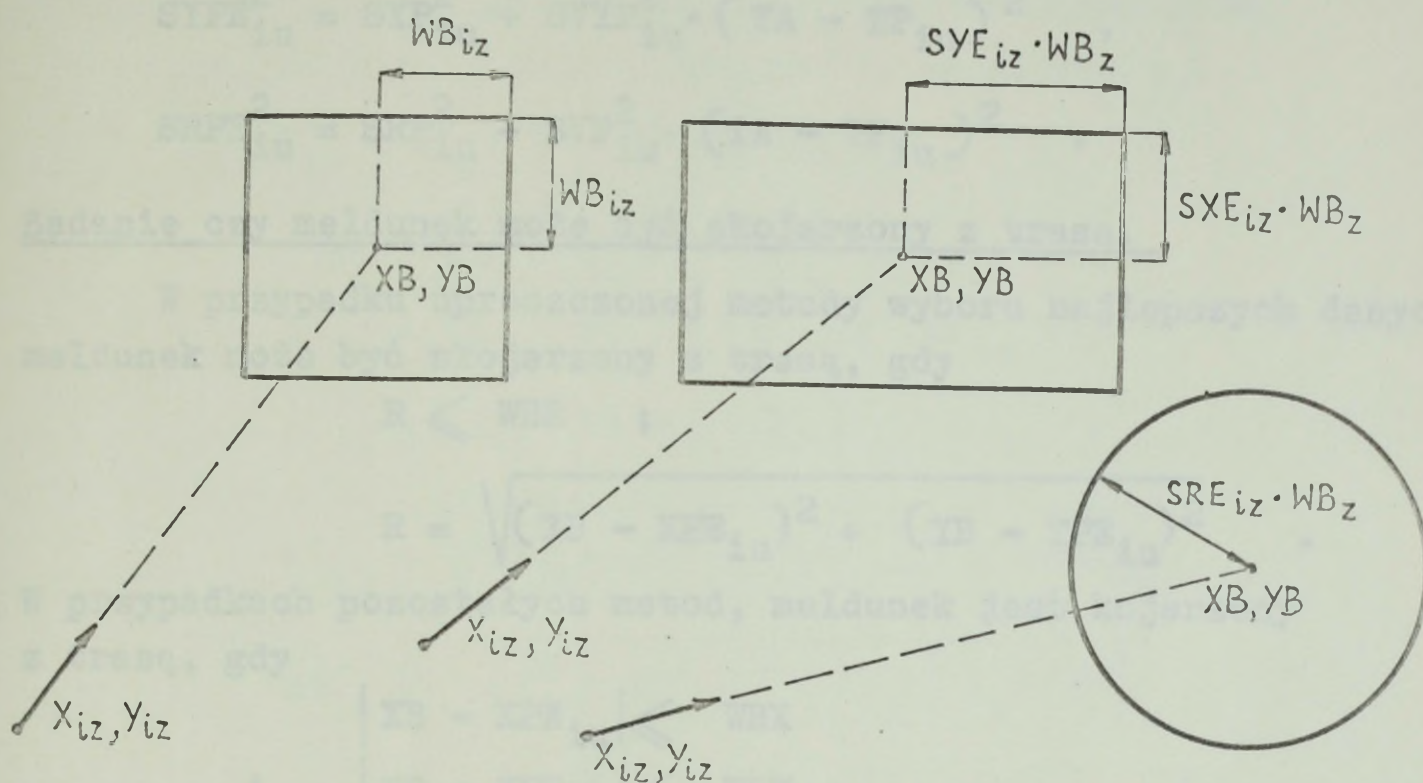
$$2 \cdot WBX = 2 \cdot SXE_{iz} \cdot WB_z \quad ,$$

$$2 \cdot WBY = 2 \cdot SYE_{iz} \cdot WB_z \quad .$$

Dana wejściowa WB_z określa wówczas wielkość bramki w $[\sigma_x]$ i $[\sigma_y]$. Bramkę kołową o promieniu WBR wykorzystuje się w powiązaniu z uogólnianiem uproszczoną metodą wyboru najlepszych danych ;

$$WBR = SRE_{iz} \cdot WB_Z$$

Dana wejściowa WB_Z określa wielkość bramki w $[\sigma_R]$
/ rysunek 47 /.



Rysunek 47. Bramki selekcyjne wykorzystywane przez różne metody uogólniania.

Ekstrapolacja danych zawartych w meldunku na czas uogólniania.

Dane o położeniu zawarte w meldunku ekstrapoluje się wg wzorów :

$$XPE_{iu} = XP_{iu} + VXP_{iu} \cdot (TA - TP_{iu}) \quad ,$$

$$YPE_{iu} = YP_{iu} + VYP_{iu} \cdot (TA - TP_{iu}) \quad .$$

W przypadku danych ze źródeł informacji pierwotnej ($u=\overline{1,15}$), w większości, czas ekstrapolacji w punkcie uogólniania jest krótki w porównaniu z czasem ekstrapolacji danych w źródle.

W związku z tym przyjmuje się :

$$SXPE_{iu} = SXP_{iu} \quad ,$$

$$SYPE_{iu} = SYP_{iu} \quad , \quad u=\overline{1,15} \quad ,$$

gdzie $SXPE_{iu}$ i $SYPE_{iu}$ to błędy współrzędnych celu zawartych w meldunku, ekstrapolowanych na czas uogólnienia.

Dane o błędach przyjęte z obiektów uogólniania ($u=16, \dots, 23$) ekstrapolowane są wg wzorów :

$$SXPE_{iu}^2 = SXP_{iu}^2 + SVXP_{iu}^2 \cdot (TA - TP_{iu})^2 ,$$

$$SYPE_{iu}^2 = SYP_{iu}^2 + SVYP_{iu}^2 \cdot (TA - TP_{iu})^2 ,$$

$$SRPE_{iu}^2 = SRP_{iu}^2 + SVP_{iu}^2 \cdot (TA - TP_{iu})^2 .$$

Badanie czy meldunek może być skojarzony z trasą.

W przypadku uproszczonej metody wyboru najlepszych danych, meldunek może być skojarzony z trasą, gdy

$$R \leq WBR ;$$

$$R = \sqrt{(XB - XPE_{iu})^2 + (YB - YPE_{iu})^2} .$$

W przypadkach pozostałych metod, meldunek jest kojarzony z trasą, gdy

$$i \quad \begin{cases} |XB - XPE_{iu}| \leq W BX \\ |YB - YPE_{iu}| \leq W BY . \end{cases}$$

Uogólnianie danych o celu metoda reprezentanta.

Jako aktualne, uogólnione dane o celu przyjmuje się dane zawarte w meldunku, jeśli meldunek pochodzi od reprezentanta, t.j. :

$$X'_{iz} = XPE_{iu} , Y'_{iz} = YPE_{iu} , VX' = VXP_{iu} , VY' = VYP_{iu} ,$$

$$TK_{iz} = TA , RZ'_{iz} = u , \text{ gdy } u = RZ_{iz} \text{ lub } RZ_{iz} = 0$$

W związku z powyższym, reprezentantem jest źródło, które pierwsze wykryło cel.

Uogólnianie danych o celu metoda uśredniania.

Przy zastosowaniu metody uśredniania aktualne, uogólnione dane o celu / parametry trasy / wyznacza się jako średnią :

$$X'_{iz} = \frac{X_{iz} + XPE_{iu}}{2} , \quad Y'_{iz} = \frac{Y_{iz} + YPE_{iu}}{2}$$

$$VX'_{iz} = \frac{VX_{iz} + VXP_{iu}}{2} , \quad VY'_{iz} = \frac{VY_{iz} + VYP_{iu}}{2} ,$$

$$TK'_{iz} = TA .$$

W procesie uogólniania nie uwzględnia się danych uogólnionych, wyznaczonych w poprzednim cyklu symulacji. Stąd przyjmuje się :

$$X_{iz} = XPE_{iu} , \dots , VY_{iz} = VYP_{iu} \text{ dla } TK_{iz} \neq TA .$$

Uogólnianie danych o celach metodą uśredniania ważonego.

Aktualne dane o celu wyznacza się wg wzorów :

$$X'_{iz} = X_{iz} \cdot W1 + (1-W1) \cdot XPE_{iu} ,$$

$$Y'_{iz} = Y_{iz} \cdot W2 + (1-W2) \cdot YPE_{iu} ,$$

$$VX'_{iz} = VX_{iz} \cdot W3 + (1-W3) \cdot VXP_{iu} ,$$

$$VY'_{iz} = VY_{iz} \cdot W4 + (1-W4) \cdot VYP_{iu} ,$$

$$SX'_{iz} = \sqrt{SX_{iz}^2 \cdot W1^2 + (1-W1)^2 \cdot SXPE_{iu}^2} ,$$

$$SY'_{iz} = \sqrt{SY_{iz}^2 \cdot W2^2 + (1-W2)^2 \cdot SYPE_{iu}^2} ,$$

$$SVX'_{iz} = \sqrt{SVX_{iz}^2 \cdot W3^2 + (1-W3)^2 \cdot SVXP_{iu}^2} ,$$

$$SVY'_{iz} = \sqrt{SVY_{iz}^2 \cdot W4^2 + (1-W4)^2 \cdot SVYP_{iu}^2} ,$$

$$TK'_{iz} = TA ,$$

gdzie :

$$W1 = \frac{SXPE_{iu}^2}{SXPE_{iu}^2 + SX_{iz}^2} ,$$

$$W2 = \frac{SYPE_{iu}^2}{SYPE_{iu}^2 + SY_{iz}^2} ,$$

$$W3 = \frac{SVXP_{iu}^2}{SVXP_{iu}^2 + SVX_{iz}^2} ,$$

$$W4 = \frac{SVYP_{iu}^2}{SVYP_{iu}^2 + SVY_{iz}^2} .$$

Przyjmuje się $W1 = W2 = W3 = W4 = 0$ dla $TK_{iz} \neq TA$.

Uogólnianie metoda wyboru najlepszych danych.

Metoda wyboru najlepszych danych należy do metod wykorzystujących informacje o błędach pomiarów. Jako aktualne, uogólnione dane o celu przyjmuje się :

$$1) X'_{iz} = XPE_{iu} \quad , \quad VX'_{iz} = VXP_{iu} \quad , \quad SX'_{iz} = SXPE_{iu} \\ SVX'_{iz} = SVXP_{iu} \quad , \quad TK'_{iz} = TA \quad , \quad \text{gdy } SXPE_{iu} \leq SX_{iz} \quad ;$$

$$2) Y'_{iz} = YPE_{iu} \quad , \quad VY'_{iz} = VYP_{iu} \quad , \quad SY'_{iz} = SYPE_{iu} \\ SVY'_{iz} = SVYP_{iu} \quad , \quad TK'_{iz} = TA \quad , \quad \text{gdy } SYPE_{iu} \leq SY_{iz} \quad .$$

Dane zawarte w meldunku przyjmuje się jako dane uogólnione również wówczas, gdy $TK_{iz} \neq TA$.

Uogólnianie uproszczoną metoda wyboru najlepszych danych.

Uogólnianie powyższą metoda polega na wyborze meldunku obarczonego najmniejszym błędem, przy czym błąd szacowany jest w sposób uproszczony :

$$X'_{iz} = XPE_{iu} \quad , \quad Y'_{iz} = YPE_{iu} \quad , \quad SR'_{iz} = SRPE_{iu} \quad , \quad SV'_{iz} = SVP_{iu} \\ TK'_{iz} = TA \quad , \quad \text{gdy } SRPE_{iu} \leq SR_{iz}$$

Dane zawarte w meldunku przyjmuje się jako dane uogólnione również wówczas, gdy $TK_{iz} \neq TA$.

4.6. Wyniki symulacji.

Program symulacji funkcjonowania zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego wyprowadza wyniki pośrednie i końcowe. Wyniki pośrednie przeznaczone są do kontroli funkcjonowania i weryfikacji poszczególnych modułów.

Obejmują one :

- informacje o rzeczywistym położeniu celów,
- informacje generowane przez poszczególne źródła informacji wtórnej,
- informacje generowane przez obiekty uogólniania,
- meldunki przyjmowane do uogólniania.

Końcowy wynik symulacji stanowią tablice zawierające wartości wskaźników przyjętych do oceny procesu uogólniania oraz inne dane, które mogą być wykorzystane do oceny funkcjonowania

systemu w różnych aspektach.

Wyniki wyprowadzane są dla każdego ze źródeł informacji wtórnej i obiektów uogólniania. Charakterystyka pracy źródła informacji wtórnej drukowana jest w postaci przedstawionej na rysunku 48.

RLS NR n4

NC	T4	T2	T3	T4	T5	T6	L1

Rysunek 48. Postać wydruku danych o pracy źródła informacji wtórnej.

OBIEKT n2, METODA UOGÓLNIANIA n3

C	T1	T2	T3	L1	T4	T5	T6	L2	T7	T8	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L0

Rysunek 49. Postać wydruku danych o pracy obiektu uogólniania.

Na wydruku oznaczono :

n1 - numer źródła informacji wtórnej,

NC - numer celu,

T1 - czas lotu celu,

- T2 - czas lotu celu poza strefą wykrywania RLS,
- T3 - czas śledzenia celu,
- T4 - czas zaników echa na wskaźniku,
- T5 - czas zaników transmisji ze stacji,
- T6 - łączny czas zaników danych (T5 + T6) ,
- L1 - czas zaniku danych w [%] .

Charakterystyka pracy obiektu uogólniania drukowana jest w postaci przedstawionej na rysunku 49.

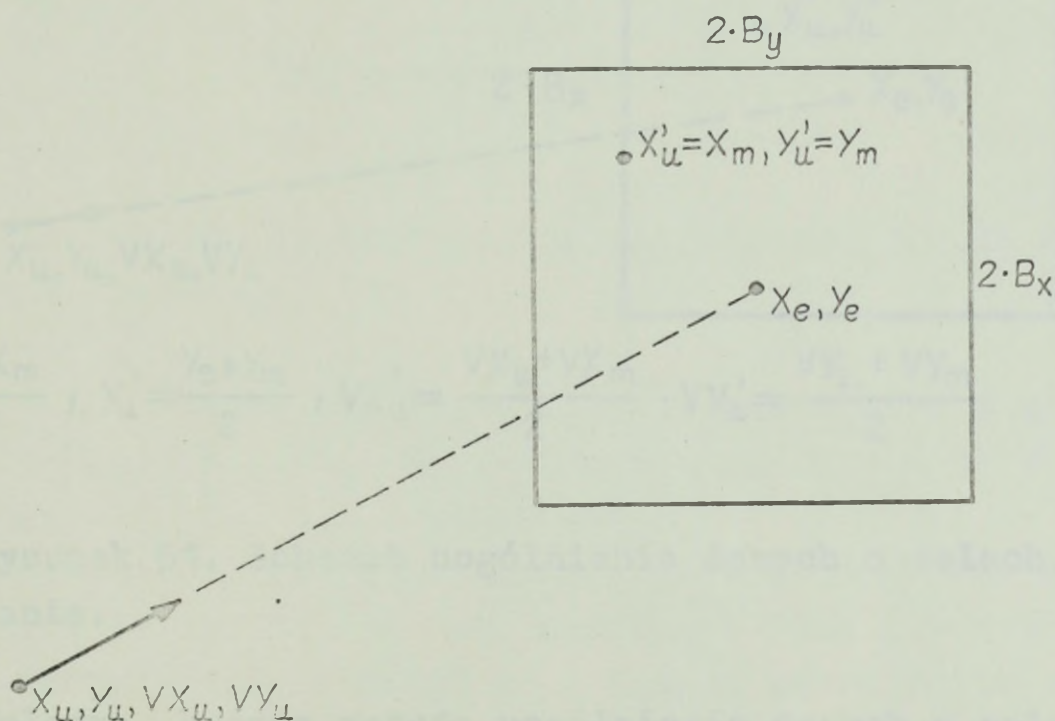
Na wydruku oznaczono :

- n2 - numer obiektu uogólniania,
- n3 - numer metody uogólniania,
- NC - numer celu,
- T1 - czas lotu celu,
- T2 - łączny czas lotu celu poza strefą wykrywania RLS,
- T3 - łączny czas śledzenia celu przez RLS przekazujące dane do obiektu,
- L1 - średnia liczba RLS śledzących cel,
- T4 - łączny czas zaników echa,
- T5 - łączny czas zaników transmisji,
- T6 - łączny czas zaników danych (T4 + T5) ,
- L2 - czas zaników danych w procentach,
- T7 - czas śledzenia celu w obiekcie,
- T8 - czas braku danych o celu w obiekcie,
- L3 - liczba pomiarów błędu śledzenia,
- L4, L5, ... L9 - liczba błędów w poszczególnych przedziałach wartości,
- L10 - liczba przypadków przerwania śledzenia celu.

5.1. Przedmiot badań.

Celem badań jest oszacowanie efektywności zautomatyzowanego, wieloszczeblowego systemu rozpoznania radiolokacyjnego w przypadkach stosowania w tym systemie różnych metod przetwarzania danych o celach. Jako wskaźniki efektywności systemu przyjęto błąd śledzenia obiektów powietrznych oraz liczbę przypadków przerwania śledzenia. Wyniki badań służyć mają sformułowaniu wniosków o przydatności i warunkach stosowania poszczególnych metod uogólniania informacji radiolokacyjnej. Badania obejmować muszą efektywność śledzenia celów poruszających się po torach krzywoliniowych oraz efektywność śledzenia celów w warunkach zakłóceń.

Przedmiotem badań są przede wszystkim metody uogólniania informacji radiolokacyjnej. Najprostszą z badanych metod jest metoda reprezentanta / rysunek 50 /.

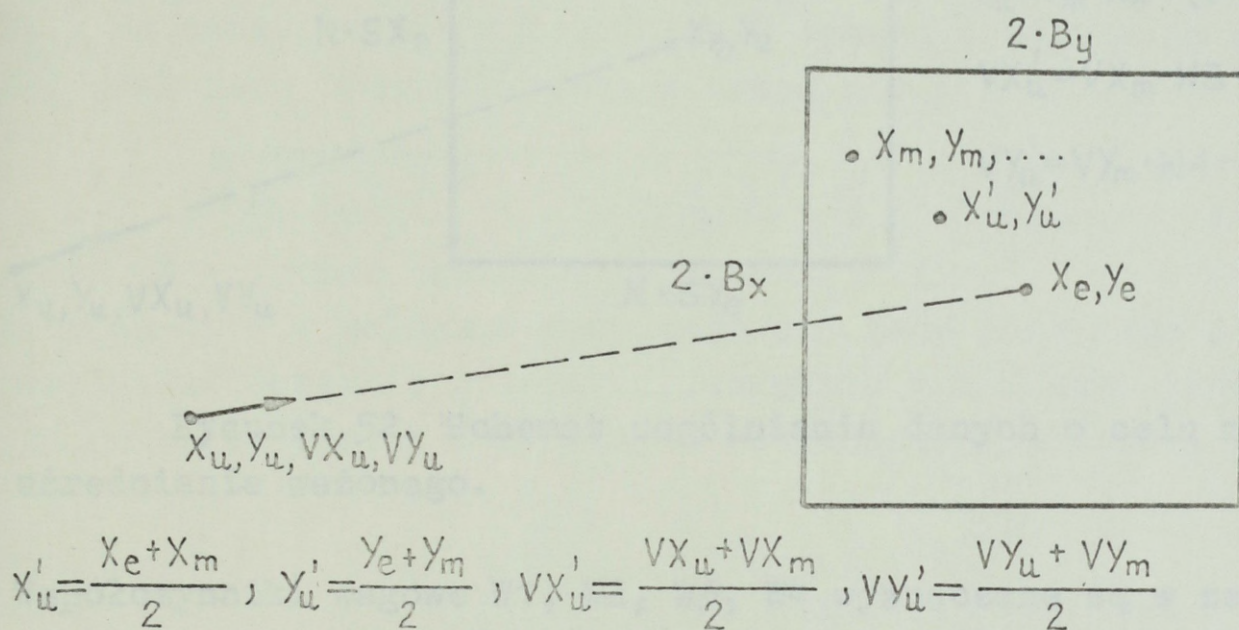


Rysunek 50. Schemat uogólniania informacji radiolokacyjnej metodą reprezentanta.

Aktualne dane o trasie (X_u, Y_u, VX_u, VY_u) ekstrapolowane są (X_e, Y_e) na czas przyjęcia kolejnego meldunku. Meldunek (X_m, Y_m) identyfikuje się z trasą, jeśli różnica w określaniu współrzędnych $(|X_m - X_e|, |Y_e - Y_m|)$ nie przekracza ustalonej

normy (B_x, B_y) . Dane zawarte w meldunku przyjmuje się jako nowe dane o trasie $(X'_u = X_m, Y'_u = Y_m)$, jeśli meldunek pochodzi ze źródła uznanego za reprezentanta. W przeciwnym razie meldunek nie jest wykorzystywany. Reprezentantem jest to źródło informacji, które pierwsze wykryło cel.

Uogólnione dane o położeniu celu i parametrach jego toru lotu wyznaczone mogą być metodą uśredniania. Aktualne dane o trasie (X_u, Y_u) ekstrapoluje się (X_e, Y_e) na czas przyjęcia kolejnego meldunku. Meldunek o położeniu celu (X_m, Y_m) identyfikuje się z trasą w sposób identyczny jak w metodzie omówionej poprzednio. Nowe, uogólnione dane o trasie $(X'_u, Y'_u, VX'_u, VY'_u)$ wyznacza się jako średnią arytmetyczną / rysunek 51 /.



$$X'_u = \frac{X_e + X_m}{2}, \quad Y'_u = \frac{Y_e + Y_m}{2}, \quad VX'_u = \frac{VX_u + VX_m}{2}, \quad VY'_u = \frac{VY_u + VY_m}{2}$$

Rysunek 51. Schemat uogólniania danych o celach metodą uśredniania.

Kolejną, badaną metodą uogólniania danych o celach jest metoda uśredniania ważonego. Metoda ta wykorzystuje informacje o błędach :

SX, SY - odchylenie standardowe pomiaru współrzędnych celu,

SVX, SVY - odchylenie standardowe pomiaru składowych prędkości.

Podobnie jak w metodach omawianych poprzednio, aktualne dane o trasie (X_u, Y_u, SX_u, SY_u) ekstrapolowane są $(X_e, Y_e, SX_e,$

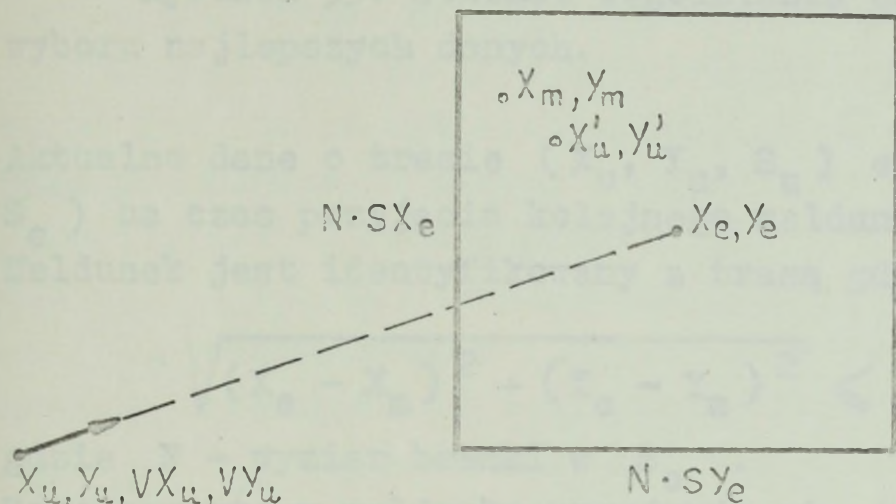
SY_e) na czas przyjęcia kolejnego meldunku. Meldunek (X_m, Y_m) identyfikuje się z trasą, jeśli różnica między położeniem ekst-rapolowym a położeniem określonym w meldunku spełnia warunki :

$$|X_m - X_e| \leq N \cdot SX_e$$

$$|Y_m - Y_e| \leq N \cdot SY_e$$

gdzie N - wymiar "bramki" w $[SX]$ i $[SY]$.

Nowe, uogólnione dane (X'_u, Y'_u, \dots) wyznacza się jako średnią ważoną / rysunek 52 /.



$$X'_u = X_m \cdot W1 + (1 - W1) \cdot X_e$$

$$Y'_u = Y_m \cdot W2 + (1 - W2) \cdot Y_e$$

$$VX'_u = VX_m \cdot W3 + (1 - W3) \cdot VX_e$$

$$VY'_u = VY_m \cdot W4 + (1 - W4) \cdot VY_e$$

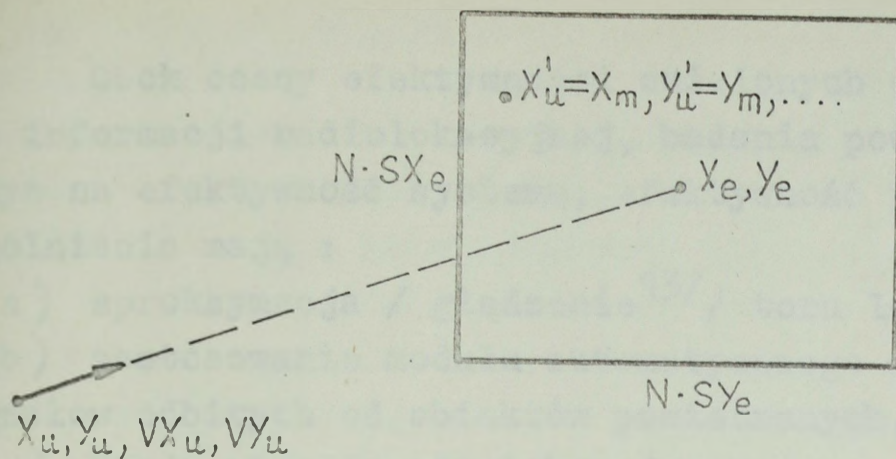
Rysunek 52. Schemat uogólniania danych o celu metodą uśredniania ważonego.

Współczynniki wagowe $W1, W2, W3, W4$ wyznaczane są w zależności od błędów SX_m, SY_m, SX_e, SY_e , itd. Szczegółowe dane dotyczące tej metody zawarte są w rozdziałach 1 i 4.

Położenie i parametry toru lotu celu mogą być aktualizowane metodą wyboru najlepszych danych. Metoda ta wykorzystuje te same informacje o błędach co i metoda uśredniania ważonego. W metodzie tej, meldunek identyfikuje się z trasą w sposób identyczny jak w metodzie omówionej wyżej. Dane zawarte w meldunku (X_m, Y_m, \dots) przyjmuje się jako nowe uogólnione dane, jeśli są one obarczone błędem mniejszym niż błąd danych posiadanych dotychczas / rysunek 53 /.

Uproszczona metoda wyboru najlepszych danych wykorzystuje przybliżony, średni błąd pomiaru współrzędnych i prędkości celu :

$$S = \sqrt{SX^2 + SY^2} \quad , \quad SV = \sqrt{SVX^2 + SVY^2} \quad .$$



$$X'_u = X_m, V X'_u = V X_m, \\ \text{gdy } S X_m \ll S X_e.$$

$$Y'_u = Y_m, V Y'_u = V Y_m, \\ \text{gdy } S Y_m \ll S Y_e.$$

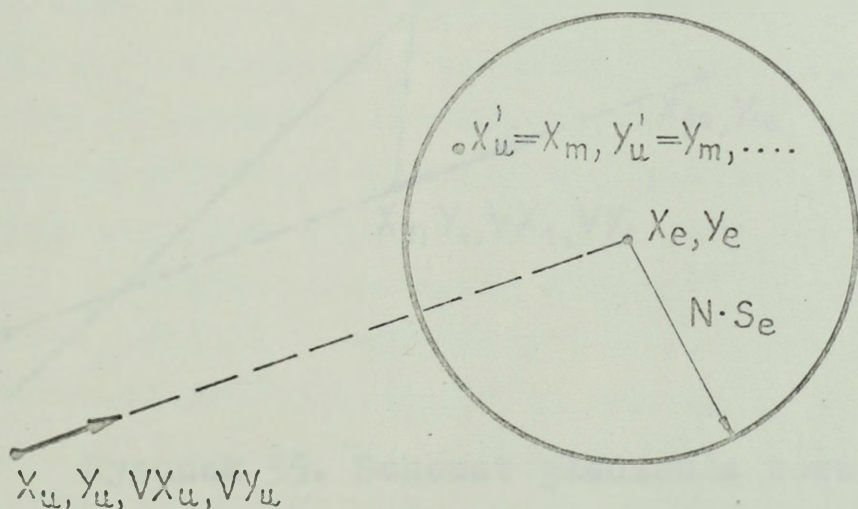
Rysunek 53. Schemat uogólniania danych o celach metoda wyboru najlepszych danych.

Aktualne dane o trasie (X_u, Y_u, S_u) ekstrapoluje się (X_e, Y_e, S_e) na czas przyjęcia kolejnego meldunku o położeniu celu. Meldunek jest identyfikowany z trasą gdy :

$$\sqrt{(X_e - X_m)^2 + (Y_e - Y_m)^2} \ll N \cdot S_e,$$

gdzie N - wymiar bramki w S_e .

Dane zawarte w meldunku przyjmuje się jako nowe dane o trasie, jeśli błąd danych o położeniu zawartych w meldunku jest mniejszy od błędu danych posiadanych dotychczas / rysunek 54 /.



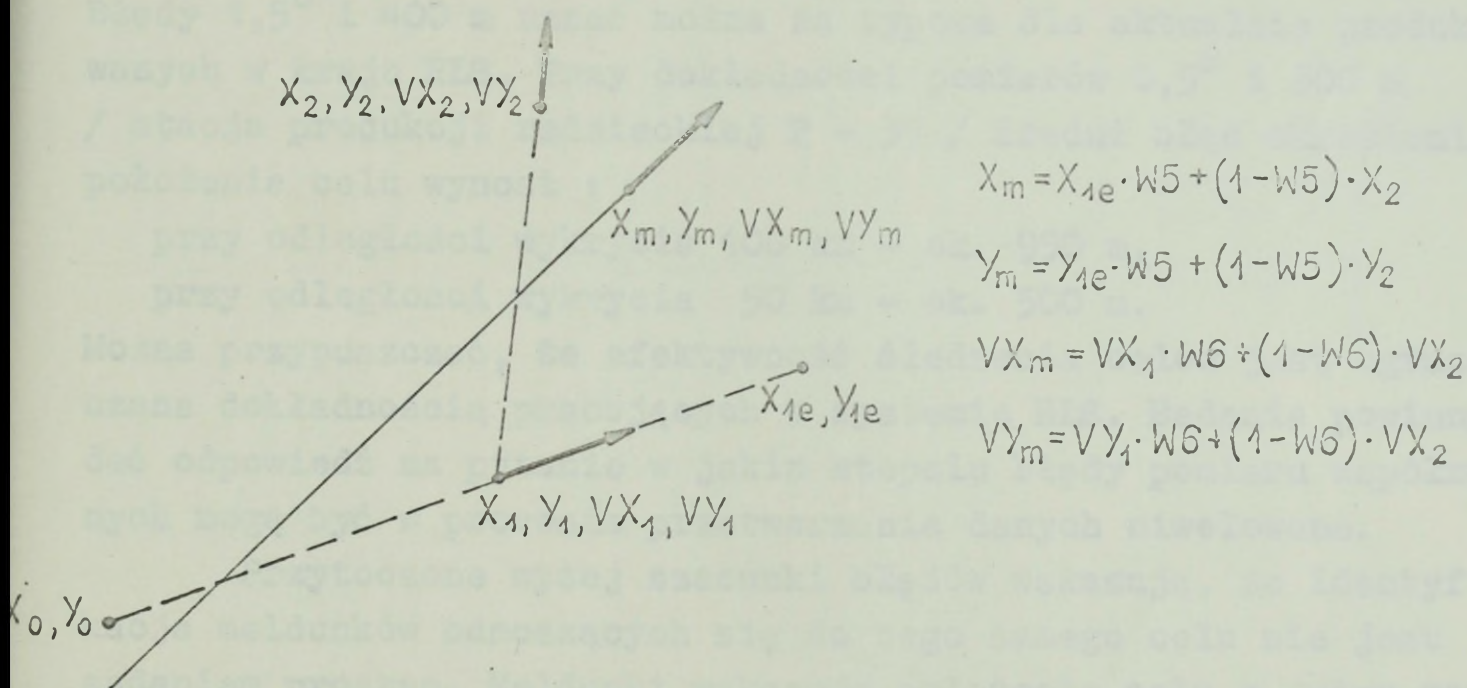
$$X'_u = X_m, Y'_u = Y_m, V X'_u = V X_m, \dots \\ \text{gdy } S_m \ll S_e.$$

Rysunek 54. Schemat uogólniania danych o celach uproszczoną metoda wyboru najlepszych danych.

Obok oceny efektywności omówionych wyżej metod uogólniania informacji radiolokacyjnej, badania powinny wskazać jaki wpływ na efektywność systemu, efektywność poszczególnych metod uogólniania mają :

- a) aproksymacja / gładzenie^{13/} / toru lotu,
- b) zastosowanie modułu automatycznego wykrywania / MAW / sygnałów odbitych od obiektów powietrznych,
- c) błędy stacji radiolokacyjnych,
- d) wielkość bramki selekcyjnej,
- e) odstęp czasu między korektami śledzenia celów.

Gładzenie toru lotu realizowane może być w ramach II obróbki informacji radiolokacyjnej. Problematyka związana z tym etapem przetwarzania danych o celach omówiona została szczegółowo w rozdziale 1. Istotą procesu gładzenia jest, że dane o położeniu celu (X_2, Y_2) zdejmowane półautomatycznie / przez operatora / lub automatycznie / przez MAW / nie są przekazywane w meldunku ale są wstępnie przetwarzane. Dane przekazywane w meldunku (X_m, Y_m, VX_m, VY_m) wylicza się z uwzględnieniem współrzędnych (X_1, Y_1, X_0, Y_0) pomierzonych poprzednio / rysunek 55 /.



$$X_m = X_{1e} \cdot W_5 + (1 - W_5) \cdot X_2$$

$$Y_m = Y_{1e} \cdot W_5 + (1 - W_5) \cdot Y_2$$

$$VX_m = VX_1 \cdot W_6 + (1 - W_6) \cdot VX_2$$

$$VY_m = VY_1 \cdot W_6 + (1 - W_6) \cdot VY_2$$

Rysunek 55. Schemat gładzenia toru lotu celu.

13/ Termin "gładzenie toru lotu" stosowany jest w miejsce terminu "aproksymacja toru lotu". Najczęściej odnosi się on do przybliżonych, empirycznych metod aproksymacji / podobnie jak termin "współczynniki gładzenia" / . Genezę tego terminu ilustruje rysunek 55.

Współczynniki wagowe W5 i W6 wyznacza się uwzględniając odstępy czasu między pomiarami. Korzyści wynikające z gładzenia toru lotu są oczywiste w przypadkach, gdy cel porusza się ruchem prostoliniowym. Badania powinny natomiast dać odpowiedź jaki jest wpływ gładzenia na efektywność śledzenia torów krzywoliniowych.

Moduł automatycznego wykrywania zapewnia automatyczne wykrywanie sygnałów radiolokacyjnych odbitych od celów i automatyczny pomiar współrzędnych celów. Pomiar nie obarczony jest więc błędami operatora. Ponadto, MAW umożliwia pomiar współrzędnych przy każdym obrocie anteny. Uznać należy, że MAW oraz inne tego typu urządzenia będą w najbliższym czasie coraz szerzej stosowane. Stąd, poszczególne metody uogólniania oceniane być muszą również we współdziałaniu z MAW.

Dokładność pomiaru współrzędnych celu w zasadniczy sposób zależy od parametrów taktyczno-technicznych stacji radiolokacyjnej. Przy średnim błędzie pomiaru azymutu $- 1,5^{\circ}$ i odległości $- 400$ m, średnia różnica pomiędzy położeniem rzeczywistym i pomierzonym wynosi :

przy odległości wykrycia 100 km -- ok. 2600 m,

przy odległości wykrycia 50 km -- ok. 1350 m.

Błędy $1,5^{\circ}$ i 400 m uznać można za typowe dla aktualnie produkowanych w kraju RLS. Przy dokładności pomiarów $0,5^{\circ}$ i 300 m / stacja produkcji radzieckiej P - 37 / średni błąd określania położenia celu wynosi :

przy odległości wykrycia 100 km -- ok. 950 m,

przy odległości wykrycia 50 km -- ok. 500 m.

Można przypuszczać, że efektywność śledzenia celów jest ograniczana dokładnością pracujących w systemie RLS. Badania powinny dać odpowiedź na pytanie w jakim stopniu błędy pomiaru współrzędnych mogą być w procesie przetwarzania danych niwelowane.

Przytoczone wyżej szacunki błędów wskazują, że identyfikacja meldunków odnoszących się do tego samego celu nie jest zadaniem prostym. Meldunki wskazują położenie celu z dużym rozrzutem. Szczególnie szybko rośnie w tych warunkach błąd położenia ekstrapolowanego. Stąd, spodziewać się można, że efektywność śledzenia celów w dużej mierze zależy będzie od właściwego doboru bramki selekcyjnej.

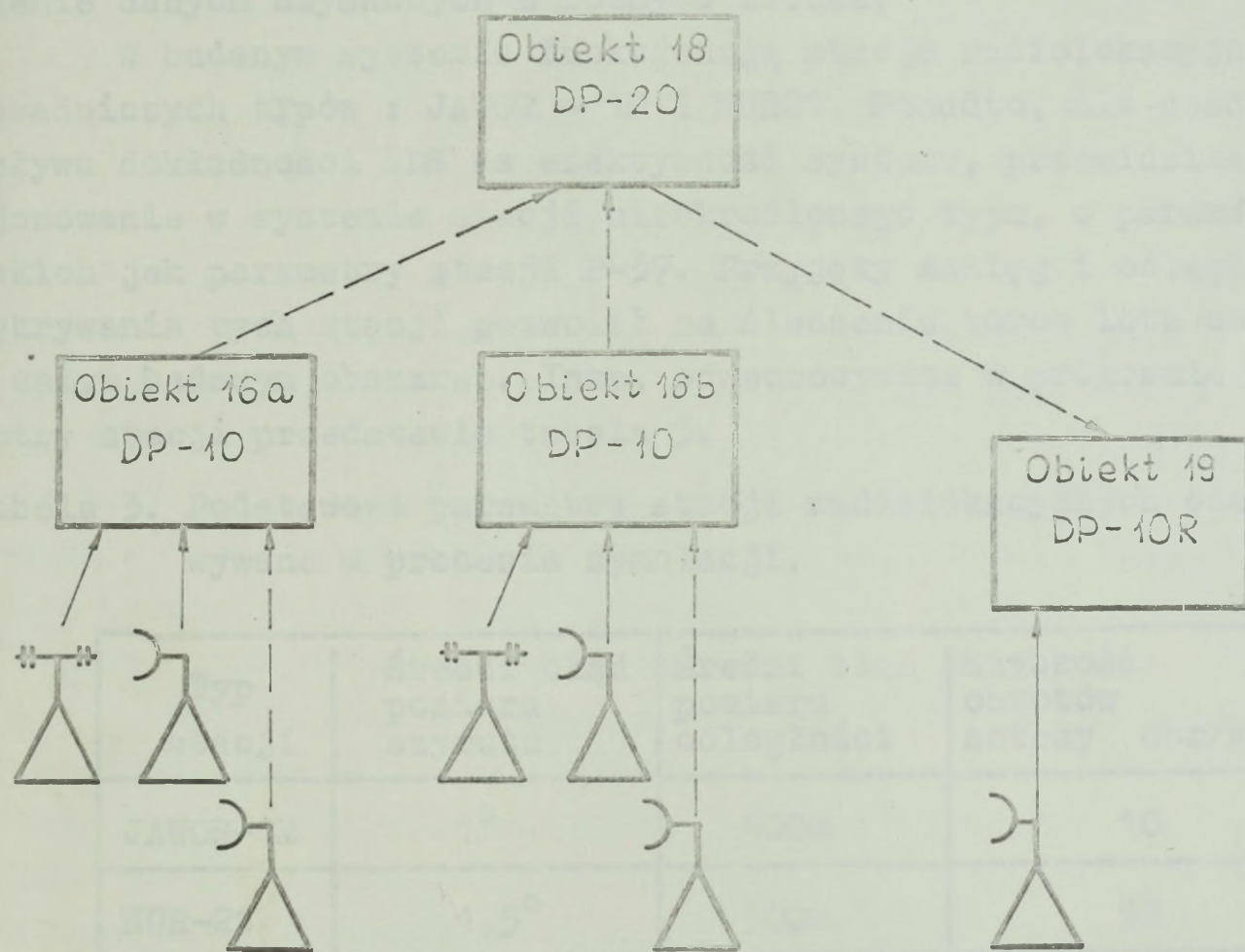
Wpływ odstępów czasu między korektami może mieć złożony charakter. Z jednej strony, korekta ogranicza błąd śledzenia

celu do wartości błędu pomiaru, z drugiej natomiast, małe odstępstwa między korektami zwiększają błędy prognozowania położenia w ruchu prostoliniowym.

5.2. Dane wejściowe do symulacji i przebieg eksperymentów.

Efektywność zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego szacowana była drogą symulacji komputerowej. Program symulacyjny opracowany został w oparciu o zaprezentowaną w rozdziale 4 koncepcję symulacji. Badany system oraz działania przeciwnika powietrznego określone zostały w danych wejściowych do tego programu.

Strukturę organizacyjną badanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego przedstawia rysunek 56.



- przekazywanie danych łączem przewodowym
- - - - - przekazywanie danych w telekodowym kanale łączności radiowej.

Rysunek 56. Struktura organizacyjna badanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego.

System ten stanowi uproszczone odwzorowanie systemu rozpoznania radiolokacyjnego OPL armii. Obiekty 16a i 16b reprezentują kompanie radiotechniczne brt. Obiekty DP-10 znajdujące się na ich wyposażeniu przetwarzają dane o celach z dwóch własnych stacji oraz jednej, znajdującej się w pobliżu / RSWP pz/pcz/, RSWP ZT /. Przetwarzanie danych w obiekcie DP-10 obejmuje II obróbkę informacji radiolokacyjnej uzyskiwanej z własnych stacji / z gładzeniem lub bez gładzenia / oraz uogólnianie informacji uzyskiwanej ze wszystkich źródeł. Obiekt 18 reprezentuje CRR armii. Znajdujący się na wyposażeniu CRR obiekt DP-20 uogólnia informacje przekazywane z podległych krt. Obiekt 19 reprezentuje SD prplot. W obiekcie DP-10R przetwarzane są informacje uzyskiwane z własnej RLS oraz przekazywane z CRR. Przetwarzanie informacji obejmuje w tym przypadku II obróbkę informacji radiolokacyjnej oraz uogólnienie danych uzyskanych z różnych źródeł.

W badanym systemie funkcjonują stacje radiolokacyjne 2 zasadniczych typów : JAWOR - 1M i NUR21. Ponadto, dla zbadania wpływu dokładności RLS na efektywność systemu, przewidziano funkcjonowanie w systemie stacji nieokreślonego typu, o parametrach takich jak parametry stacji P-37. Przyjęty zasięg i odległość wykrywania tych stacji pozwolił na śledzenie torów lotu celów w całym badanym obszarze. Inne, odwzorowywane w programie parametry stacji przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Podstawowe parametry stacji radiolokacyjnych odwzorowywane w procesie symulacji.

Typ stacji	Średni błąd pomiaru azymutu	Średni błąd pomiaru odległości	Szybkość obrotów anteny obr/min
JAWOR-1M	1°	600m	10
NUR-21	1,5°	300m	12
P-37	0,5°	400m	6

W badaniach zasadniczych każdy z obiektów DP-10 uzyskiwał informacje z dwu stacji typu NUR-21 oraz jednej typu JAWOR-1M ; obiekt DP-10R współpracował ze stacją typu NUR-21. Przy badaniu czynników warunkujących efektywność systemu, wszystkie stacje

radiolokacyjne charakteryzowały się dużą dokładnością / taką jak P-37 /.

Operatora stacji radiolokacyjnej w badanym systemie charakteryzują następujące parametry :

błąd średni - 0,

odchylenie standardowe błędu operatora - 400m ,

minimalny odstęp między korektami położenia tego samego celu - 10sek,

maksymalny odstęp między korektami położenia tego samego celu - 20sek,

średni odstęp między korektami - 15sek.

W przypadku symulacji funkcjonowania modułu automatycznego wykrywania, błędy operatora nie występują a odstęp czasu między pomiarami położenia wynosi 10sek.

W ramach eksperymentów badano funkcjonowanie systemu wykorzystującego poszczególne, omawiane wcześniej metody uogólniania. Metodom tym przyporządkowane zostały numery :

2 - metoda uśredniania,

3 - metoda reprezentanta,

4 - metoda wyboru najlepszych danych,

5 - metoda uśredniania ważonego,

6 - uproszczona metoda wyboru najlepszych danych.

Informacje o położeniu celów zawarte w meldunkach są w systemie przetwarzane cyklicznie. Dane o celach nowo wykrytych przetwarzane są w I kolejności. Minimalny odstęp czasu między kolejnymi uogólnieniami informacji o tym samym celu wynosi 5sek. Przerwanie śledzenia celu następuje w momencie, gdy przez 15sek żaden z przyjętych meldunków nie został dowiązany do prowadzonej trasy.

W modelowanym systemie, meldunki o położeniu celów przekazywane są bądź łączami przewodowymi, bądź w kanałach telekodowych. Przyjęto, że łączami kablowymi informacje przekazywane są bezbłędnie i bez opóźnień. Natomiast dane o położeniu przekazywane w kanałach telekodowych obarczone są błędem kwantowania wynoszącym 200m. Przepustowość kanałów transmisji danych została tak dobrana aby średni czas oczekiwania na transmisję wynosił 5sek.

Efektywność systemu rozpoznania radiolokacyjnego badano w odniesieniu do przypadków, gdy :

1) cele poruszają się po łukach kół o promieniu 4km,

2) cele poruszają się po łukach kół o promieniu 8km,

3) cele poruszają się po torach prostoliniowych.

Odległość celów od stacji radiolokacyjnych wynosiła w każdym przypadku 40 - 100km / rysunek 57 /.

Badanie efektywności systemu rozpoznania radiolokacyjnego w warunkach występowania zakłóceń radioelektronicznych przeprowadzono poprzez symulację zaników znaczników celów na wskaźnikach RLS, na okres 10 - 40sek. Wyróżniono przy tym 3 stopnie intensywności zakłóceń :

1 - łączny czas zaników znacznika celu stanowi 30% czasu lotu celu,

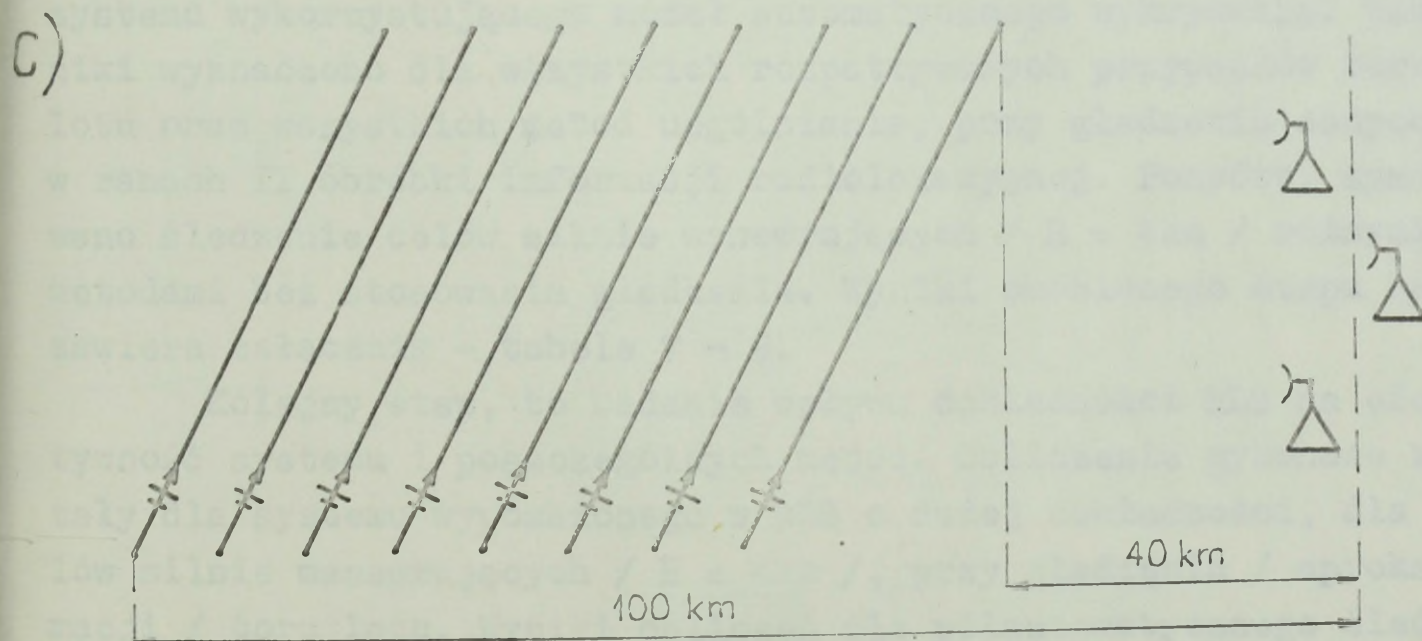
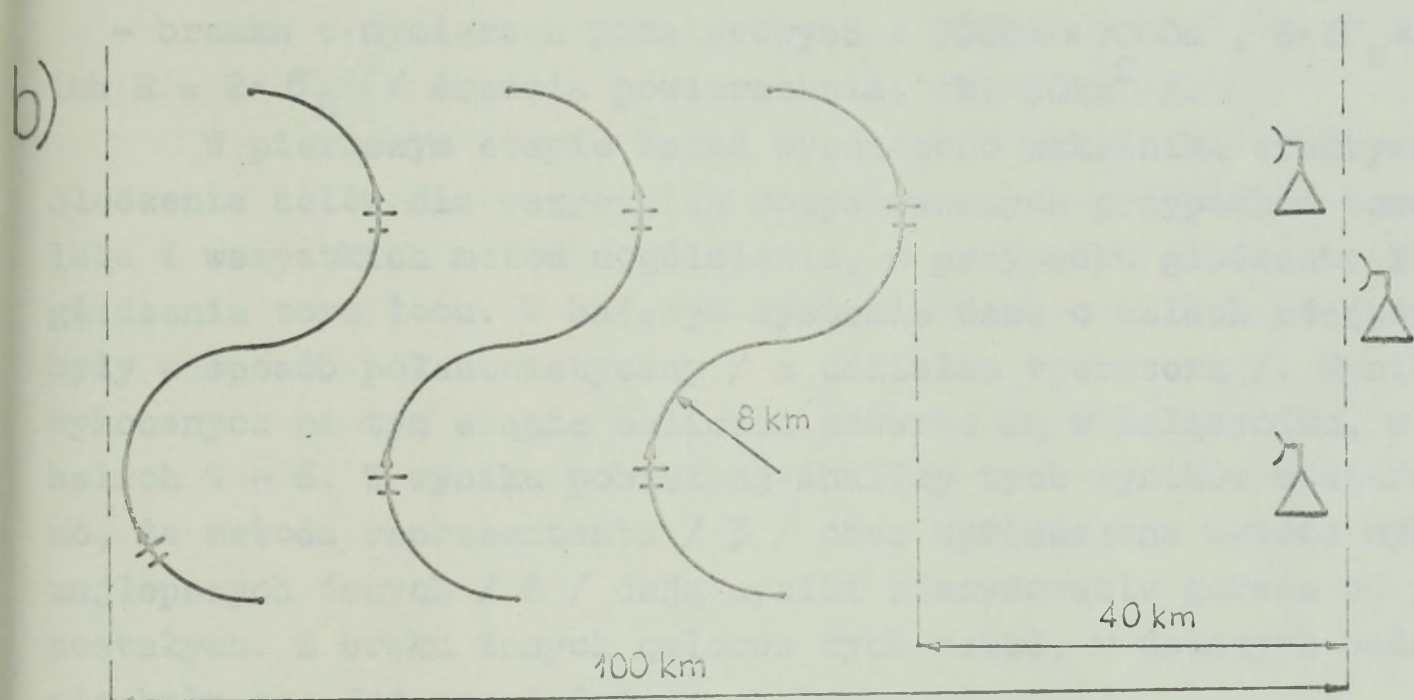
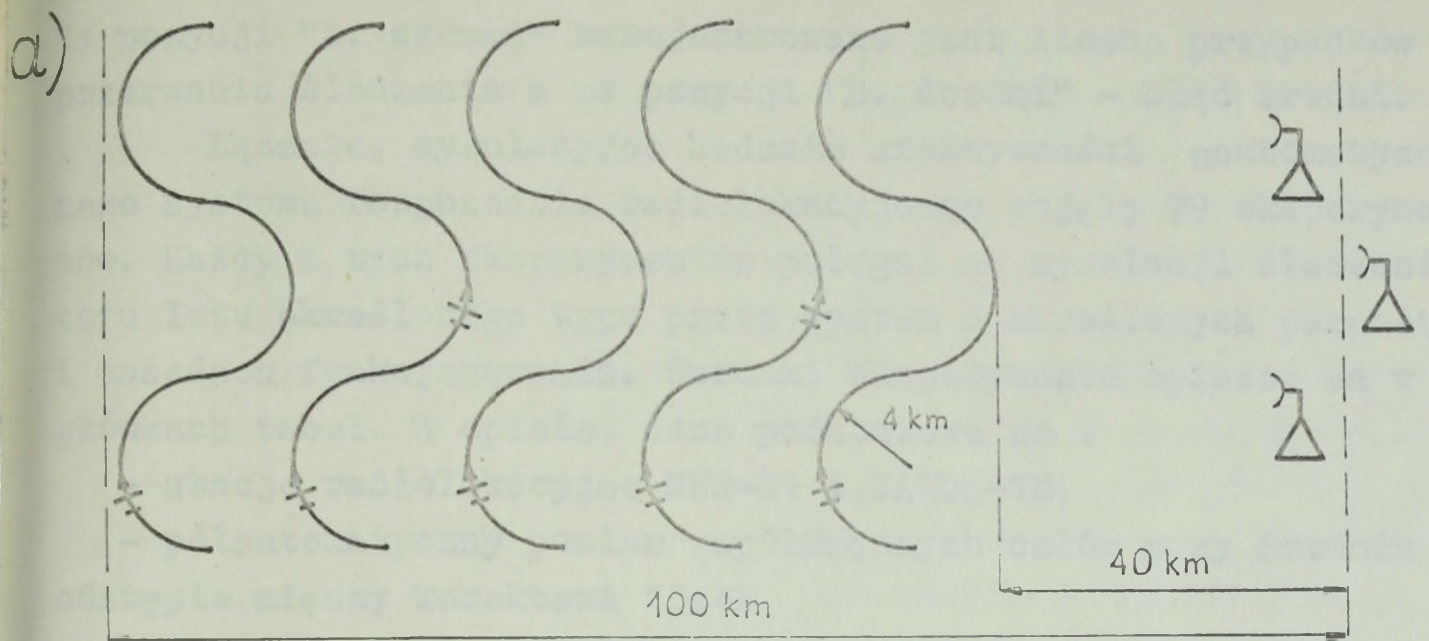
2 - łączny czas zaników znacznika celu stanowi 40% czasu lotu celu,

3 - łączny czas zaników znacznika celu stanowi 55% czasu lotu celu.

Program symulacyjny zlicza błędy śledzenia poszczególnych celów w przedziałach wartości. Przedziały te ustalają dane wejściowe. W oparciu o wyniki wstępnego przetwarzania przyjęto, że błędy śledzenia celów zliczane będą z przyporządkowaniem do następujących przedziałów : $[0, 1000)$, $[1000, 2000)$, $[2000, 3000)$ $[3000, 4000)$, $[4000, 5000)$, $[5000, \infty)$ metrów.

Pomiar błędów śledzenia poszczególnych celów odbywał się cyklicznie, co 2sek. Symulowany czas śledzenia celów ustalony został drogą eksperymentów. Stwierdzono, że przy czasach śledzenia celów wynoszących 30min. uzyskane wyniki różnią się między sobą w granicach 5-10%. Dokładność tę uznano za wystarczającą. Stąd, w ramach każdego z eksperymentów symulacyjnych rejestrowanych było 1000 wyników pomiarów. Odpowiada to czasowi śledzenia ≈ 33 min.

Wyniki symulacji funkcjonowania systemu rozpoznania radiolokacyjnego drukowane były w postaci omówionej w punkcie 4.6. Dla ułatwienia ich prezentacji i analizy przeniesiono je do przytaczanych w załączniku tabel. Tabela zawiera sumaryczne wyniki śledzenia wszystkich celów rozpatrywanych w danym eksperymencie. W tabeli, poszczególne kolumny przyporządkowane zostały poszczególnym metodom uogólniania a wiersze - wskaźnikom efektywności systemu. Metody uogólniania reprezentowane są przez przypisane im numery. Błędy śledzenia celów prezentowane są z rozbićm na, omawiane już, przedziały wartości. Na pozycji "Błąd - 1000m" zarejestrowana jest liczba błędów w przedziale $[0, 1000m)$, na pozycji "Błąd - 2000m" liczba błędów w przedziale $[1000, 2000m)$ itd.



Rysunek 57. Różne rodzaje torów lotu celów objęte badaniami symulacyjnymi.

Na pozycji "L. zerwań" zarejestrowana jest liczba przypadków przerwania śledzenia a na pozycji "B. średni" - błąd średni.

Łącznie, symulacyjne badania efektywności zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego objęły 79 eksperymentów. Każdy z tych eksperymentów polegał na symulacji śledzenia toru lotu określonego typu przez system o określonych parametrach i zasadach funkcjonowania. Warunki eksperymentu opisane są w nagłówkach tabel. W opisie, dane podstawowe to :

- stacje radiolokacyjne NUR-21 i JAWOR-1M,
- półautomatyczny pomiar współrzędnych celów przy średnim odstępie między korektami 15sek,
- brak zakłóceń,
- bramka o wymiarach podstawowych : $7000m \times 7000m$, $6 \cdot \sigma_x \times 6 \cdot \sigma_y$ lub $R = 2 \cdot \sigma_R$ / średnia powierzchnia, ok. $50km^2$ /.

W pierwszym etapie badań wyznaczono wskaźniki efektywności śledzenia celów dla wszystkich rozpatrywanych przypadków toru lotu i wszystkich metod uogólniania, w przypadku gładzenia i nie gładzenia toru lotu. W badanym systemie dane o celach zdejmowane były w sposób półautomatyczny / z udziałem operatora /. Wyniki wykonanych na tym etapie obliczeń zawarte są w załączniku, w tabelach 1 - 6. W wyniku pobieżnej analizy tych wyników stwierdzono, że metoda reprezentanta / 3 / oraz uproszczona metoda wyboru najlepszych danych / 6 / dają wyniki zdecydowanie gorsze od pozostałych. Z braku innych walorów tych metod, w dalszych badaniach nie były one już uwzględniane.

W drugim etapie wyznaczane były wskaźniki efektywności systemu wykorzystującego moduł automatycznego wykrywania. Wskaźniki wyznaczono dla wszystkich rozpatrywanych przypadków toru lotu oraz wszystkich metod uogólniania, przy gładzeniu danych w ramach II obróbki informacji radiolokacyjnej. Ponadto, symulowano śledzenie celów silnie manewrujących / $R = 4km$ / różnymi metodami bez stosowania gładzenia. Wyniki omówionego etapu badań zawiera załącznik - tabele 7 - 9.

Kolejny etap, to badanie wpływu dokładności RLS na efektywność systemu i poszczególnych metod. Obliczenia wykonane zostały dla systemu wyposażonego w RLS o dużej dokładności, dla celów silnie manewrujących / $R = 4km$ /, przy gładzeniu / aproksymacji / toru lotu. Wyniki obliczeń dla półautomatycznego śledzenia celów zawiera tabela 10. Wyniki, uzyskane w tych samych

warunkach lecz przy automatycznym śledzeniu celów, zawiera tabela 11. Na bazie systemu wykorzystującego dokładne RLS ponownie badano wpływ aproksymacji / gładzenia/toru lotu na efektywność systemu. Wyniki nie stosowania aproksymacji przedstawiono w tabeli 12; mogą one być porównywane z wynikami zarejestrowanymi w tabeli 11.

Następny etap badań miał na celu oszacowanie efektywności systemu w warunkach stosowania zakłóceń. Wyniki śledzenia torów: krzywoliniowego / $R = 4\text{km}$ / i prostoliniowego, dla poziomów zakłóceń : 30, 40 i 55%, zawierają tabele 13 - 18.

Uzyskane dotychczas wyniki wskazały, że istotny wpływ na efektywność metody uśredniania mają wymiary bramki selekcyjnej. Zbadano więc wpływ wielkości bramki na efektywność metod dających najgorsze wyniki. Wyniki obliczeń zawarte są w tabelach 19 i 20.

Kolejne badania miały na celu oszacowanie, jaki wpływ na efektywność śledzenia torów krzywoliniowych ma zwiększanie odstępów czasu między pomiarami położenia celu. Wskaźniki efektywności wyznaczone dla dużych odstępów czasu między pomiarami zawiera tabela 21.

Ostatnie eksperymenty przeprowadzono przy zastosowaniu różnych metod uogólniania, w różnego typu obiektach. Uzyskane wyniki zawiera tabela 22.

5.3. Opis wyników badań i wnioski.

W ramach badania zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego przeprowadzonych zostało szereg eksperymentów symulacyjnych. Każdy z nich polegał na symulacji śledzenia określonego typu toru lotu przez system o określonych parametrach. Wskaźniki efektywności systemu wyznaczone w wyniku kolejnych eksperymentów zawiera załącznik. Ponadto, wyniki najistotniejsze przedstawione zostały w formie wykresów na rysunkach 58 - 65. Na wykresie, na osi poziomej oznaczone są granice przedziałów błędu / B /, a na osi pionowej, ilość błędów w procentach / L /. Dla wartości błędu $B = 1000, 2000, \dots, 5000$ punkt na krzywej wskazuje ile błędów / w procentach / miało wartość mniejszą, z przedziału $[0, B)$. Obok wykresu, w tabeli podane są dla każdej z metod :

- błąd średni śledzenia / BS / w metrach,
- liczba przerw w śledzeniu / P /.

Każdy z wierszy tabeli odpowiada metodzie, której numer podany

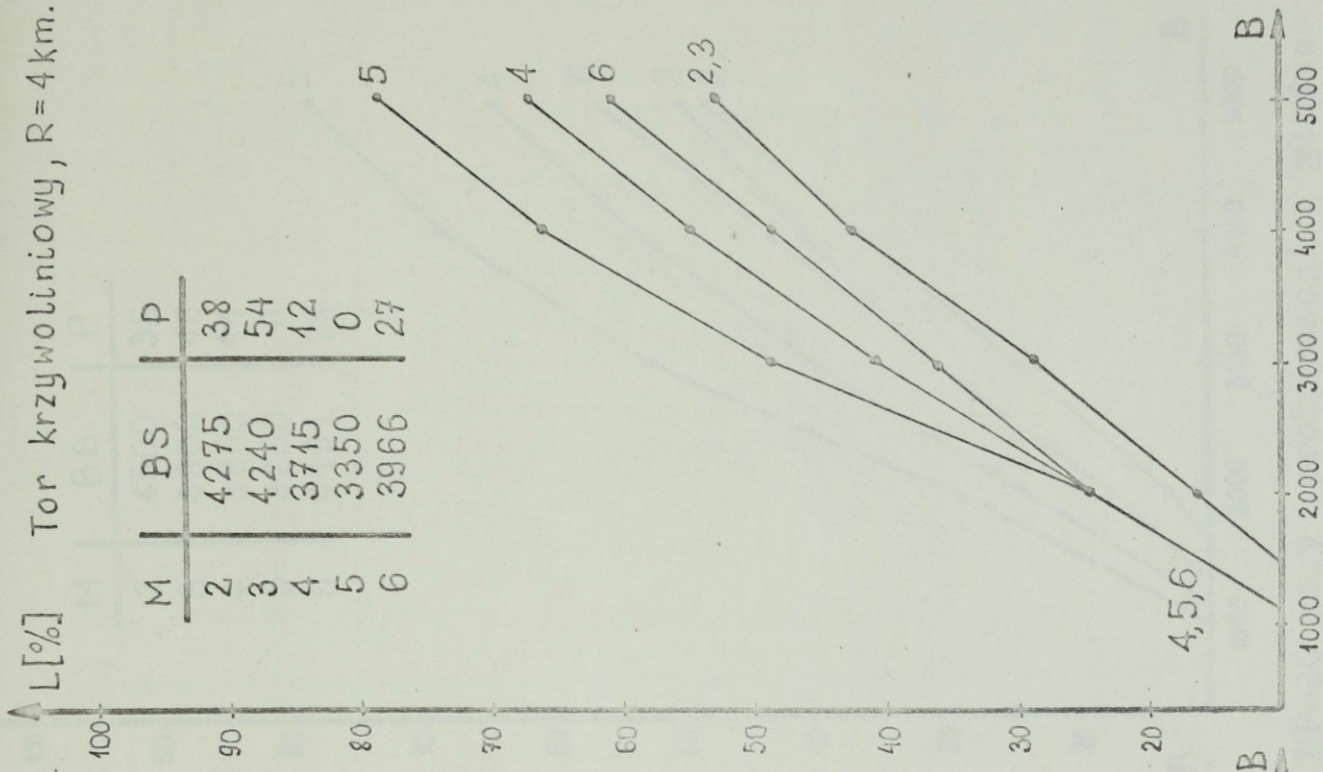
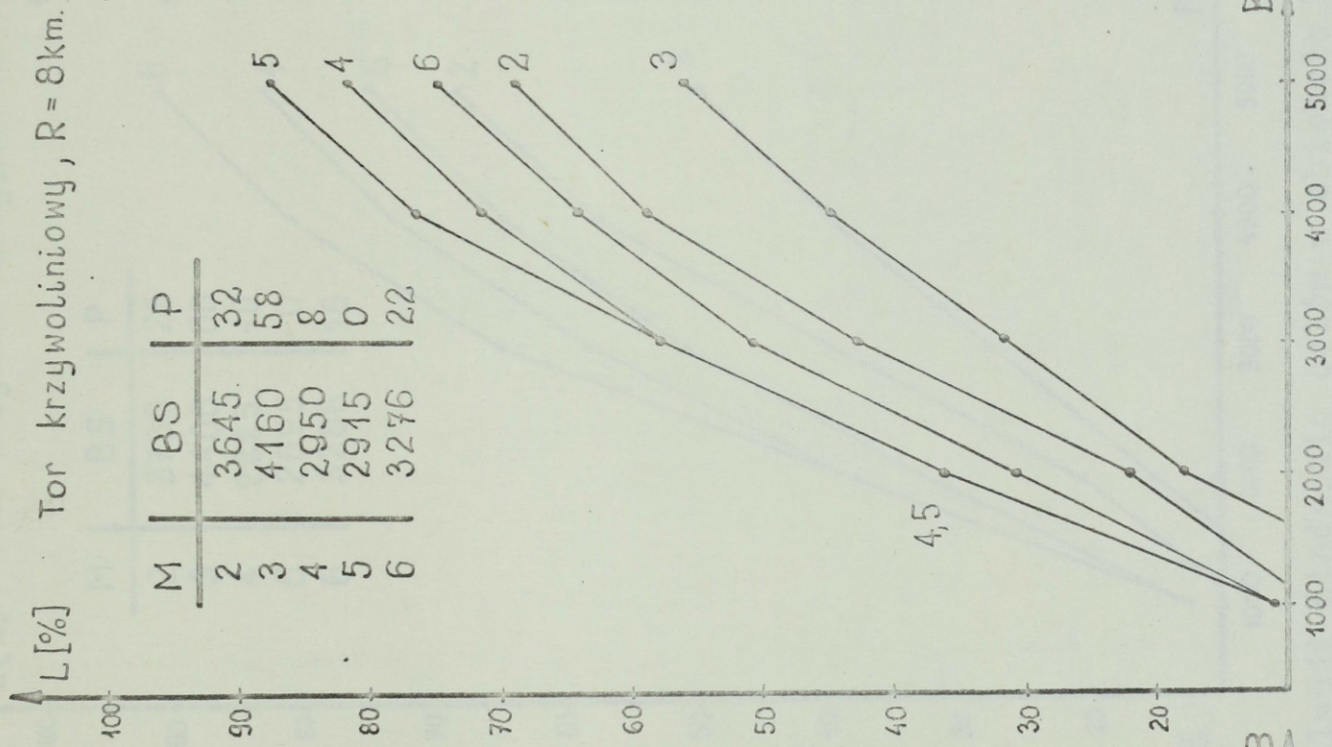
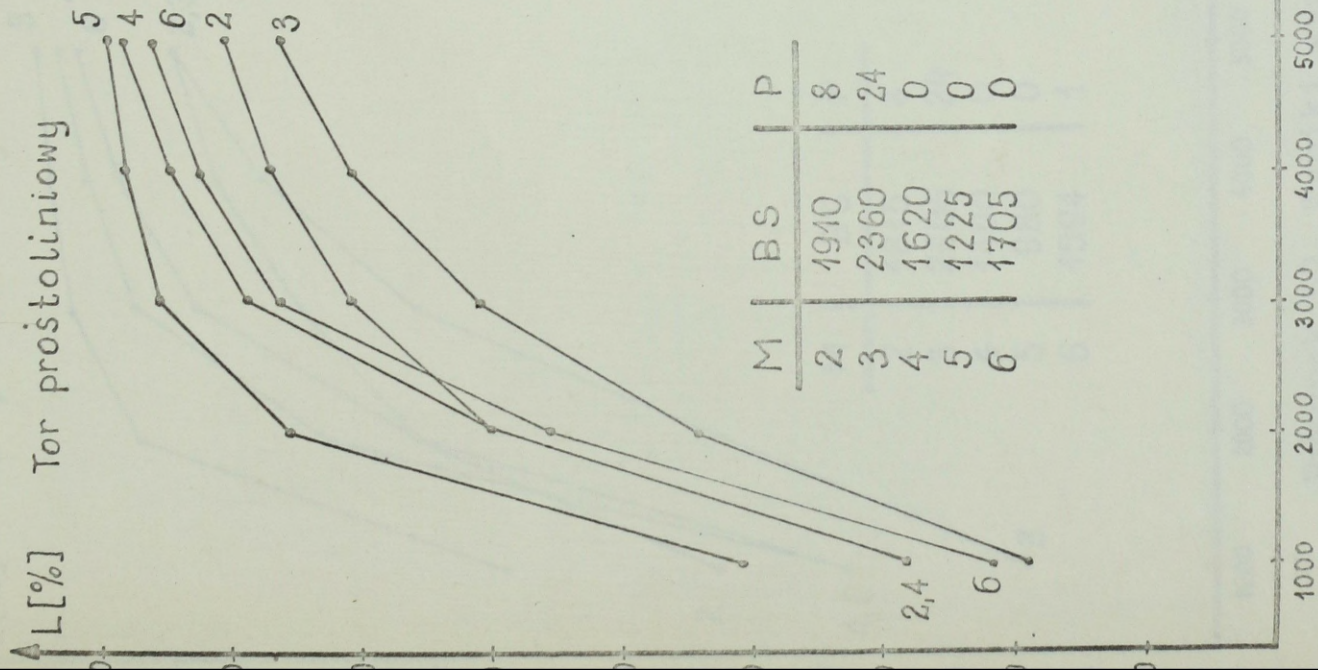
jest w pierwszej kolumnie / M /.

Wyniki obliczeń wykonanych na I etapie badań pozwoliły na orientację w zakresie możliwości poszczególnych metod uogólniania i wpływu gładzenia na efektywność systemu / rysunki 58, 59, 60 /. Wskazują one wyraźnie na większą efektywność metod wykorzystujących dane o błędach / głównie 4 i 5 /. Dotyczy to zarówno dokładności śledzenia jak i liczby zerwań. W grupie tej zdecydowanie wyróżnia się metoda uśredniania ważonego / 5 /. W świetle przeprowadzonych eksperymentów metoda 6, wykorzystująca przybliżone dane o błędach, nie wykazuje istotnych zalet. Spośród metod nie wykorzystujących danych o błędach / 2, 3 /, metoda reprezentanta / 3 / daje zdecydowanie gorsze wyniki. Ze względu na brak istotnych walorów, metody 3 i 6 w dalszych badaniach nie były uwzględniane.

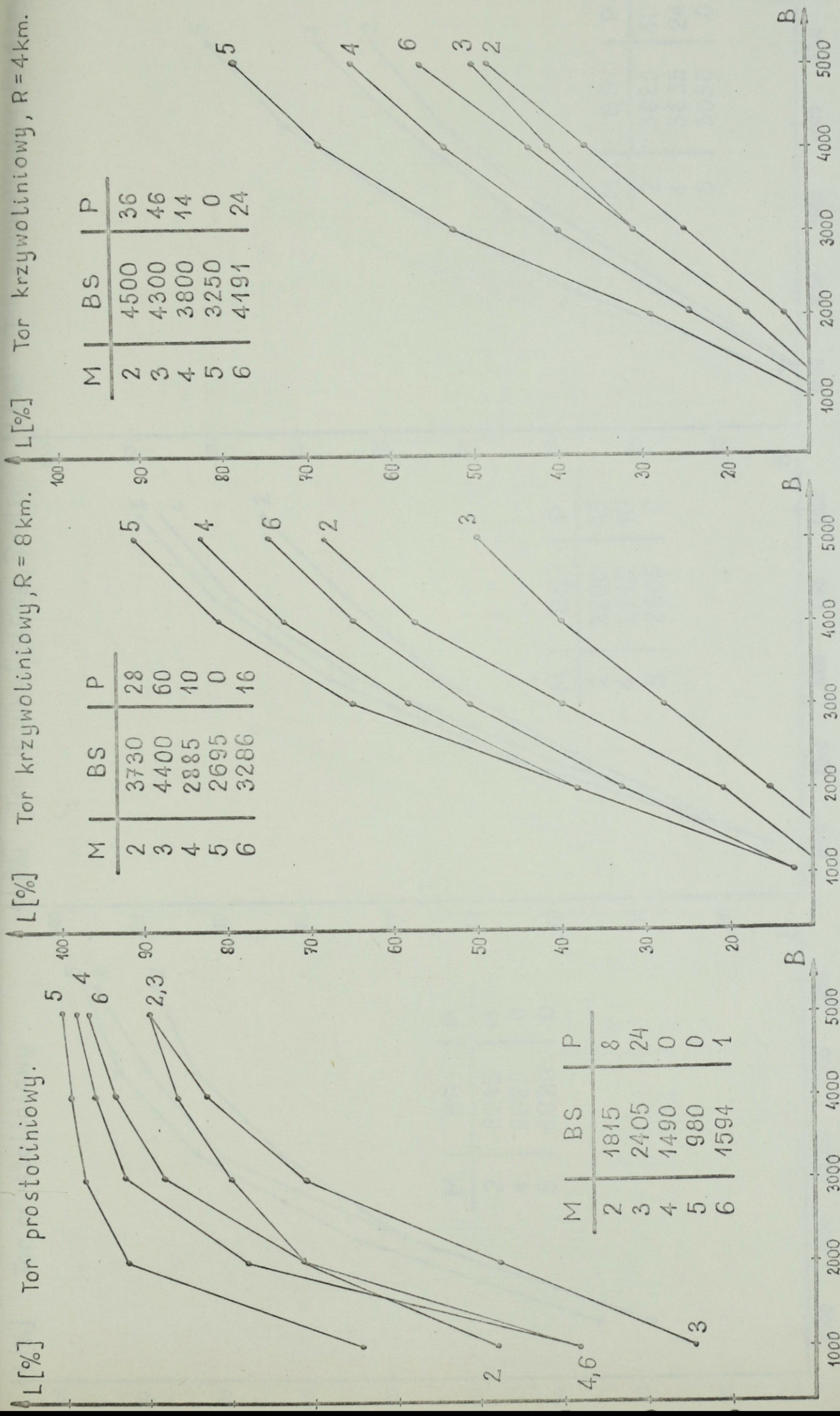
Gładzenie toru lotu miało zdecydowanie korzystny wpływ na efektywność śledzenia toru prostoliniowego. Powodowało ono dla każdej z metod wzrost dokładności śledzenia o 20-30%. W przypadku torów krzywoliniowych, gładzenie miało korzystny wpływ na wyniki uogólniania metodą 4; zarejestrowano duży / do 50% / spadek liczby przerw śledzenia. Gładzenie krzywoliniowego toru lotu w połączeniu z metodami 2 i 5 powodowało spadek dokładności śledzenia o 10-15% przy praktycznie tej samej liczbie przerw. Należy jednak zaznaczyć, że wyniki uzyskane metodą 2 są w obu przypadkach niedostateczne ze względu na dużą liczbę przerw śledzenia.

Gładzenie toru lotu zmniejsza wpływ błędu przypadkowego na pomiar prędkości / i kierunku / lotu celu. Wpływ ten jest szczególnie duży przy dużych błędach pomiaru współrzędnych i stosunkowo małym / 15-20sek / odstępie czasu między pomiarami. Dlatego też, gładzenie toru lotu powodowało wzrost efektywności śledzenia celów metodą 4 nawet w przypadku torów krzywoliniowych.

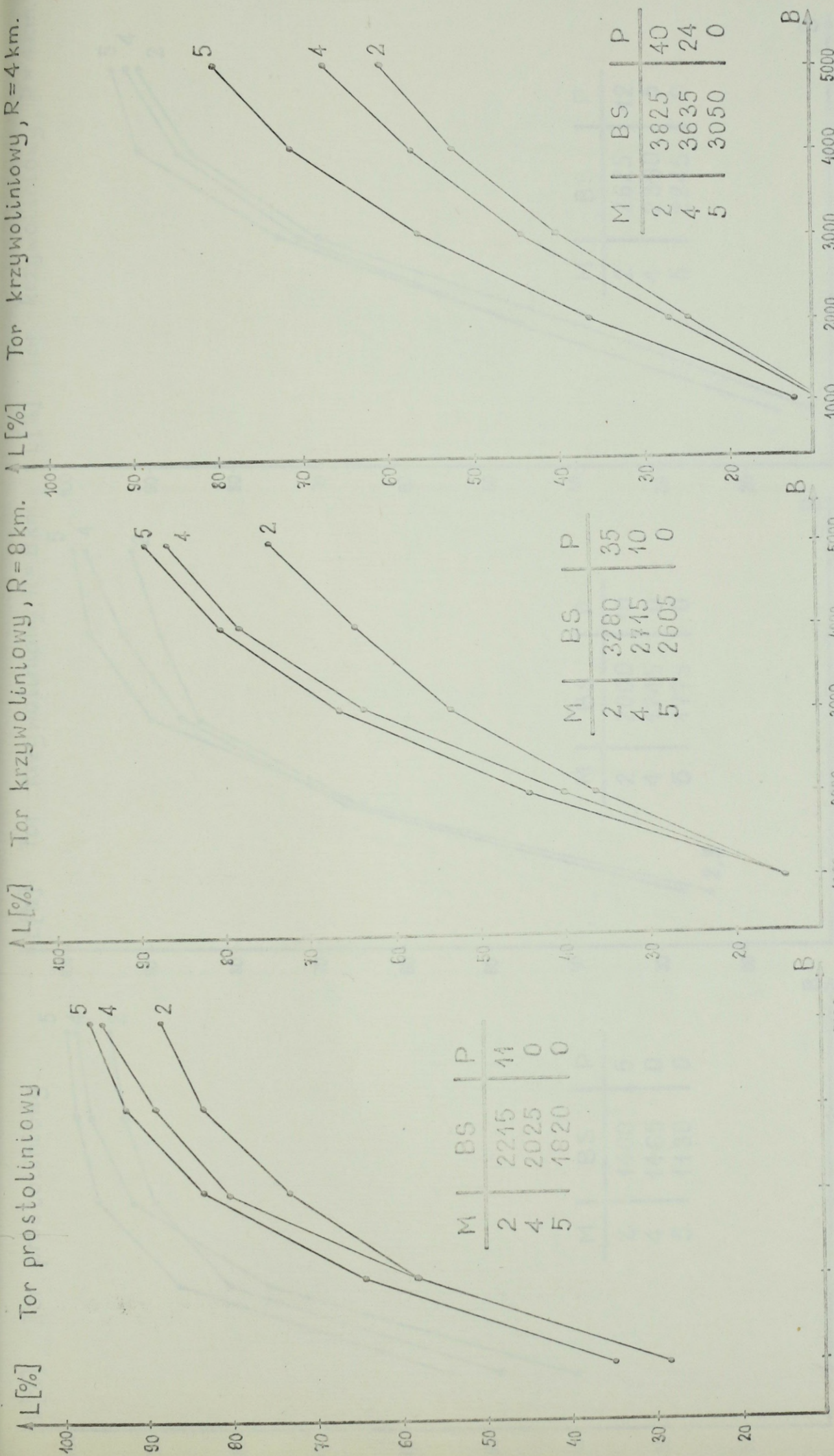
W przypadku wszystkich metod, efektywność śledzenia zmniejszyła się w zasadniczy sposób dla torów krzywoliniowych. Za pozytywne uznać można wyniki uzyskane metodą 5 i, przy słabym manewrowaniu / $R = 8\text{km}$ /, metodą 4. W przypadkach tych, błąd średni zwiększył się o 100-150% przy dopuszczalnej liczbie przerw w śledzeniu. Duże błędy śledzenia krzywoliniowego toru lotu spowodowane były stosunkowo dużym odstępem czasu / 15-20sek / między pomiarami położenia celu. Istotny wzrost dokładności śledzenia uzyskać można jedynie przez zmniejszenie odstępów czasu



Rysunek 58. Wyniki śledzenia celów w obiekcje DP-10 przy aproksymacji / gładzeniu / torów lotu i stosowaniu różnych / 2, 3, 4, 5, 6 / metod uogólniania informacji. Pozostałe dane do obliczeń - podstawowe.

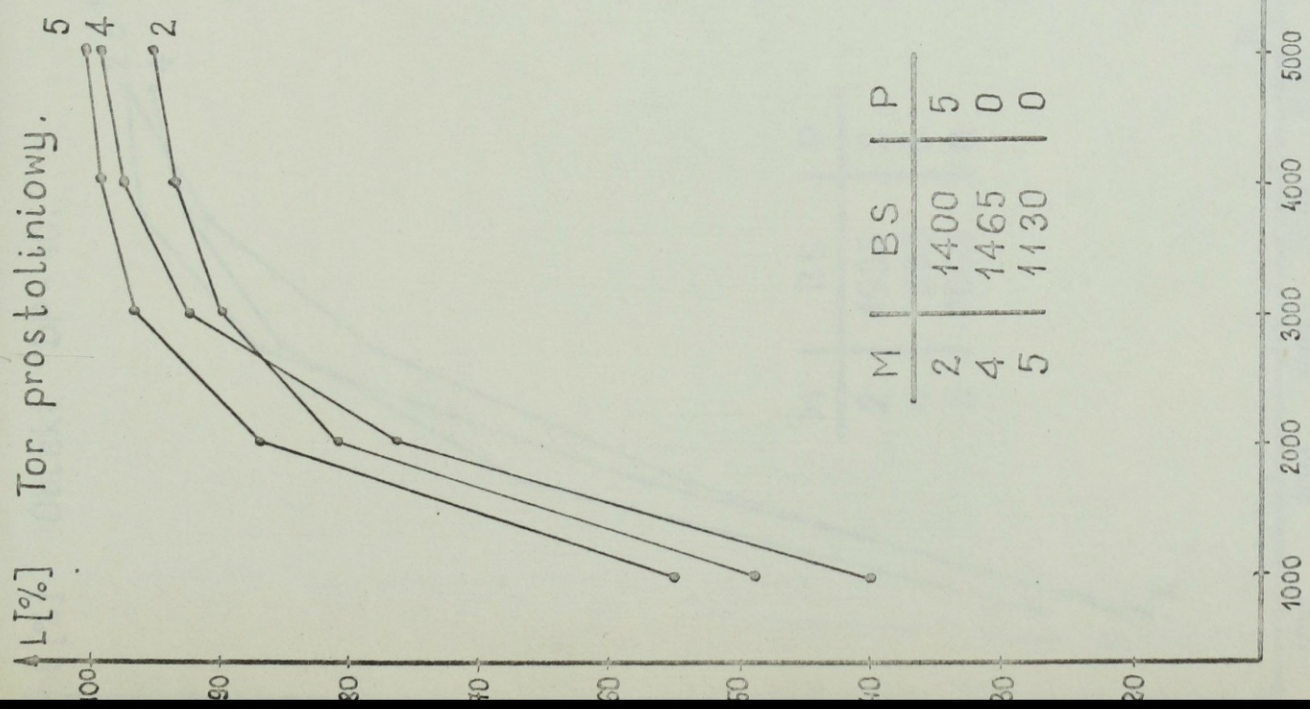


Rysunek 59. Wyniki symulacji śledzenia celów w obiekcie DP-20 przy aproksymacji / gładzeniu / torów lotu i stosowaniu różnych / 2, 3, 4, 5, 6 / metod uogólniania informacji. Pozostałe dane do obliczeń - podstawowe.

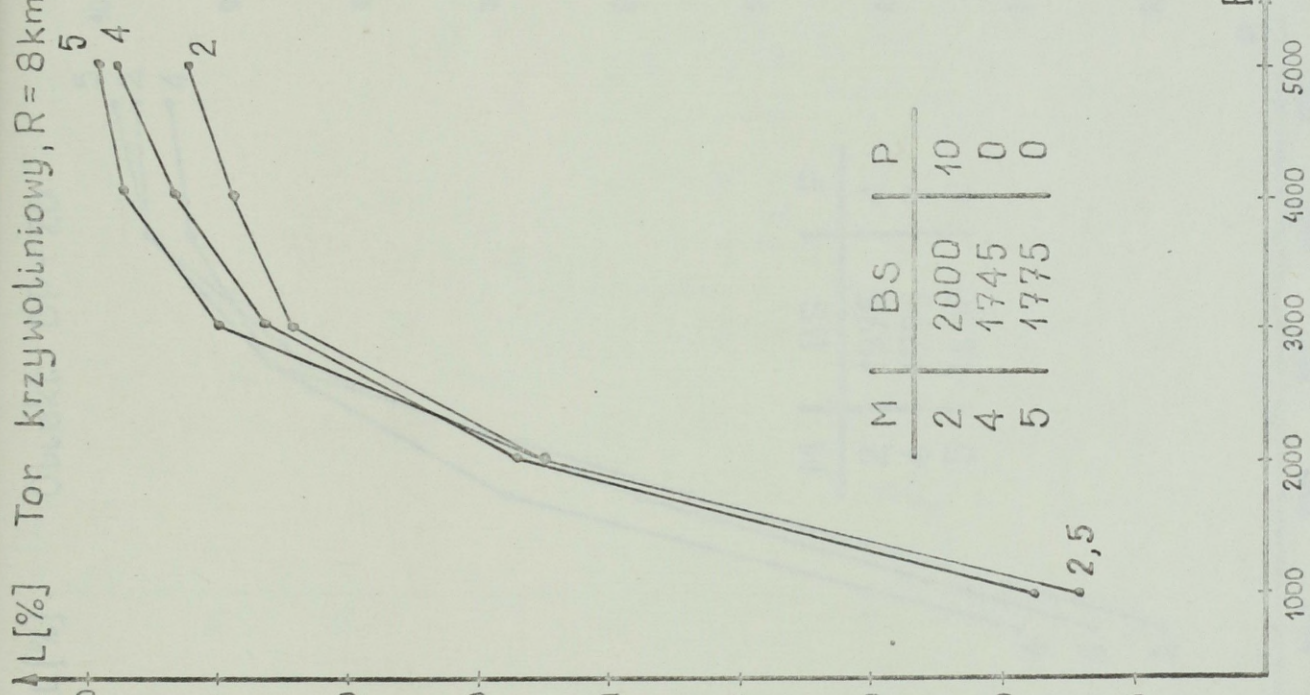


Rysunek 60. Wyniki symulacji śledzenia celów w obiekcie DP-10 przy stosowaniu różnych / 2, 4, 5 / metod uogólniania informacji, bez aproksymacji / gładzenia / torów lotu. Pozostałe dane do obliczeń - podstawowe.

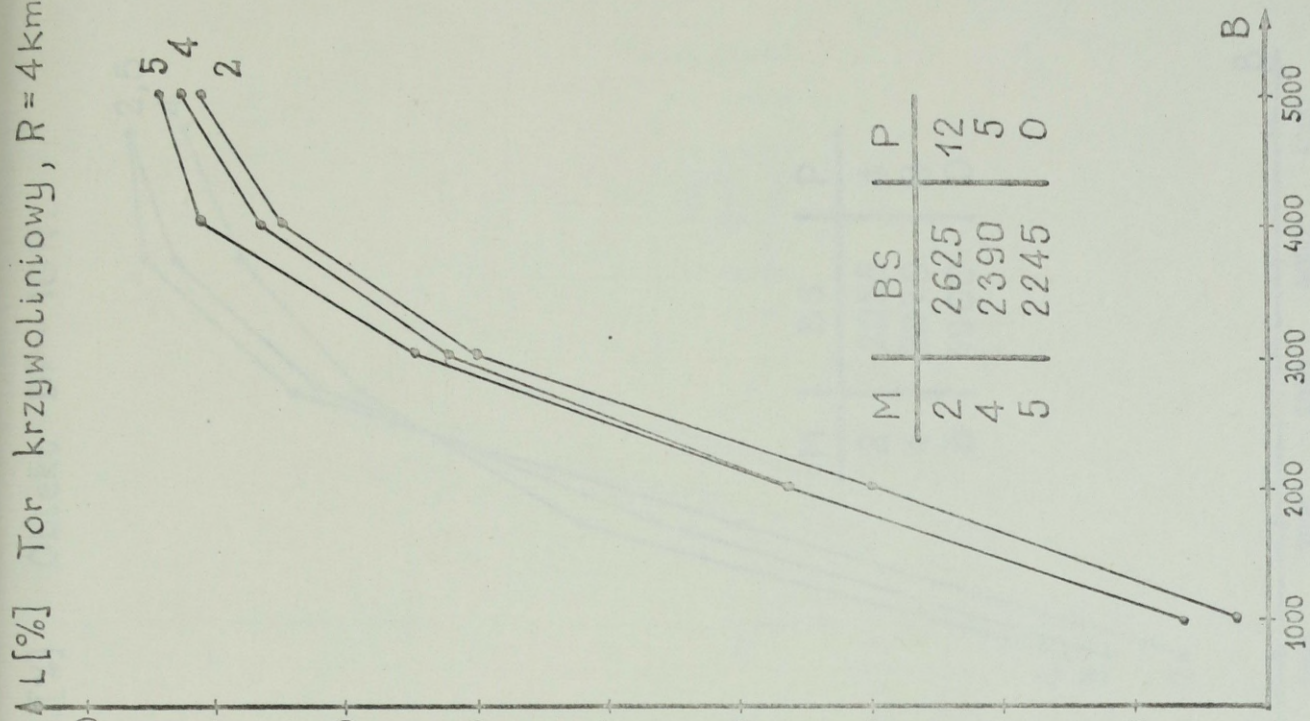
▲ L[%] Tor prostoliniowy.



▲ L[%] Tor krzywoliniowy, R=8km.



▲ L[%] Tor krzywoliniowy, R=4km.



Rysunek 61. Wyniki symulacji śledzenia celów w obiekcie DP-10 różnymi / 2, 4, 5 / metodami, przy stosowaniu modułu automatycznego śledzenia / MAW / i gładzenia torów lotu. Pozostałe dane do obliczeń -- podstawowe.

L [%]

Obiekt DP - 10.

L [%]

L [%]

Obiekt DP - 20

L [%]

Obiekt DP - 10R.

L [%]

B

B

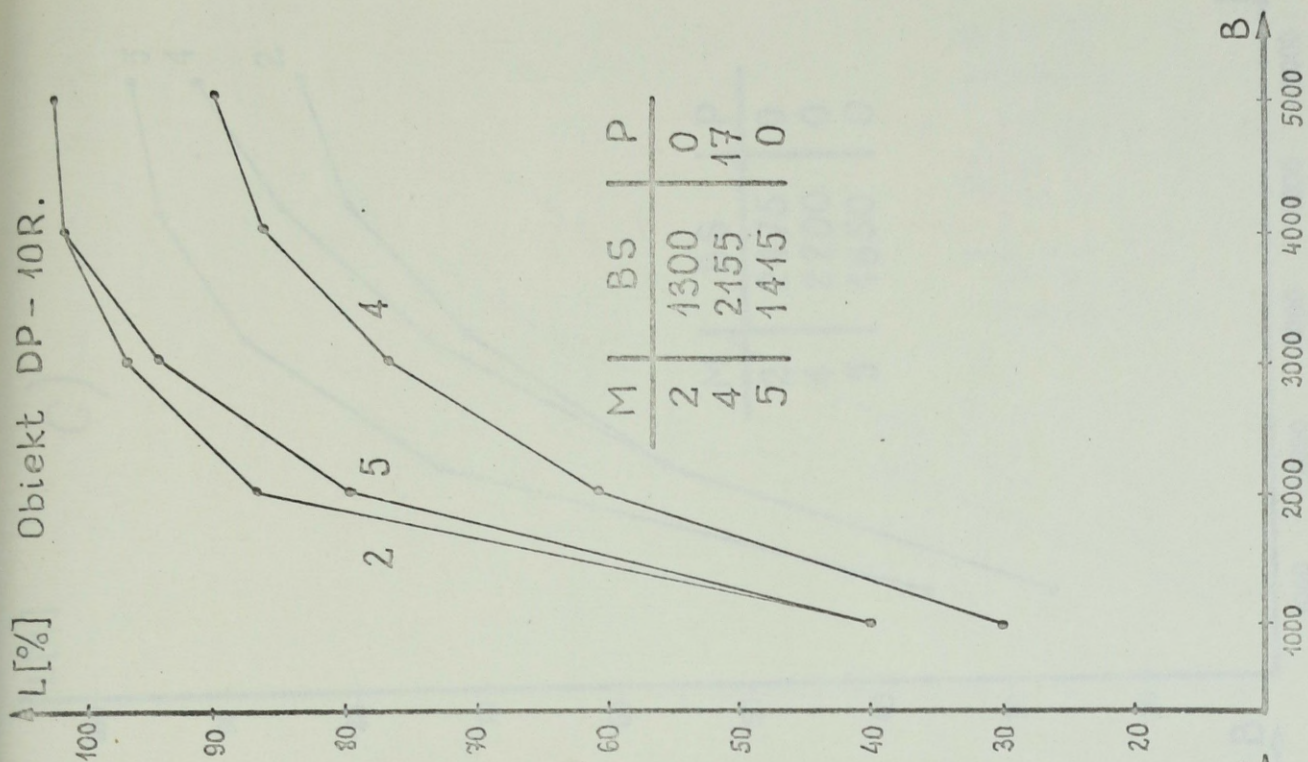
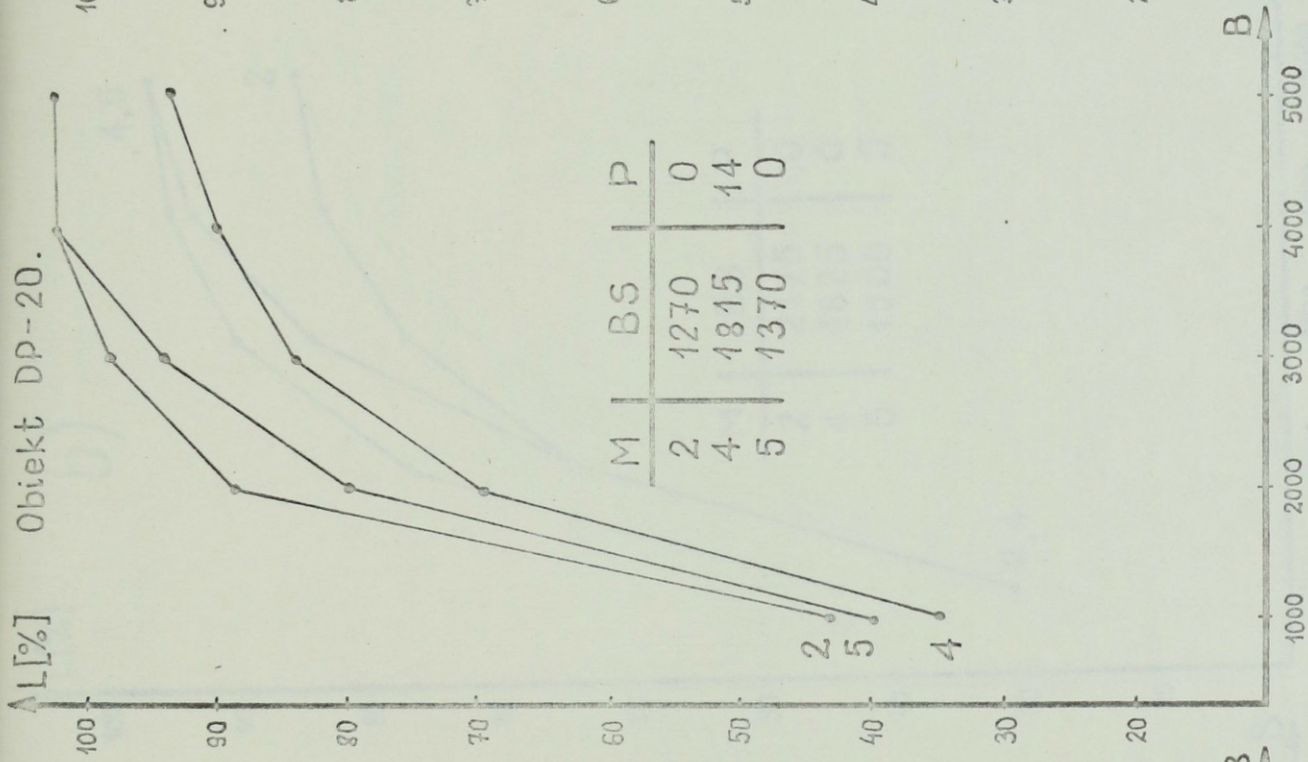
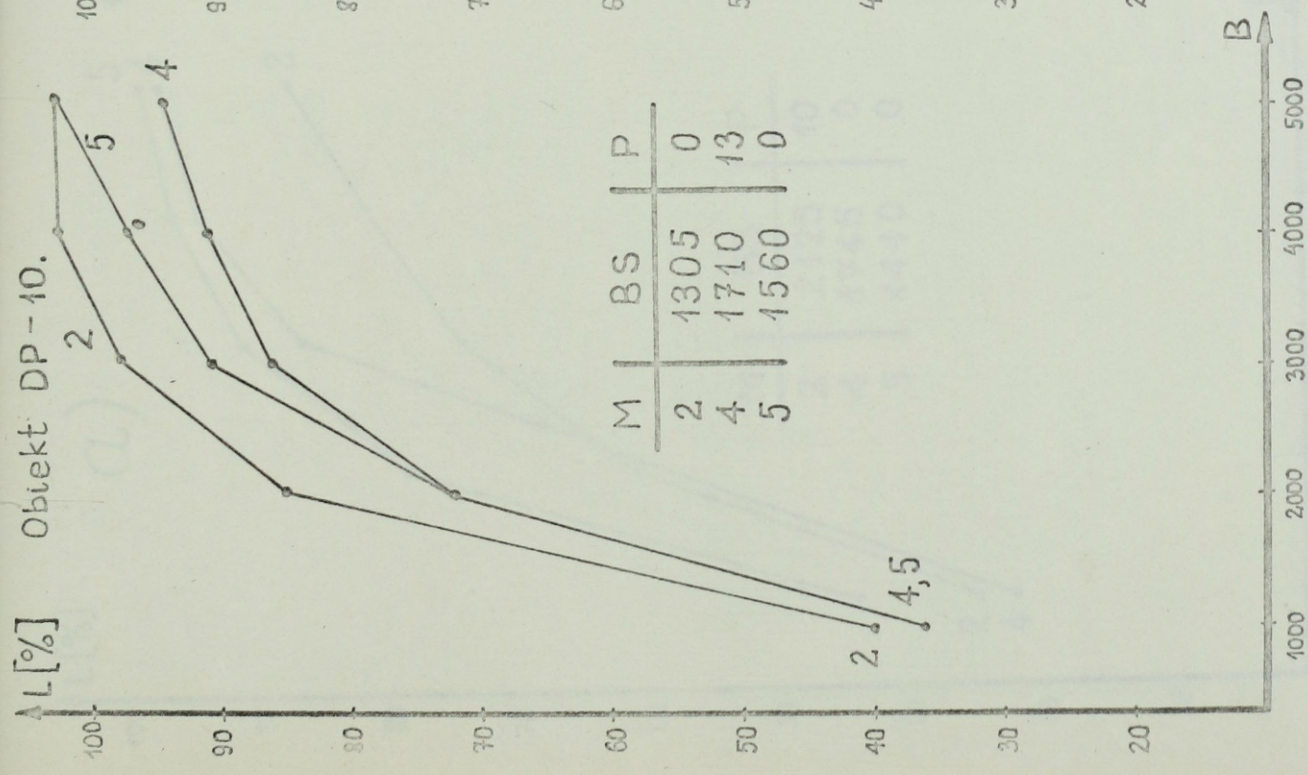
B

M	BS	P
2	1935	2
4	1835	6
5	2005	0

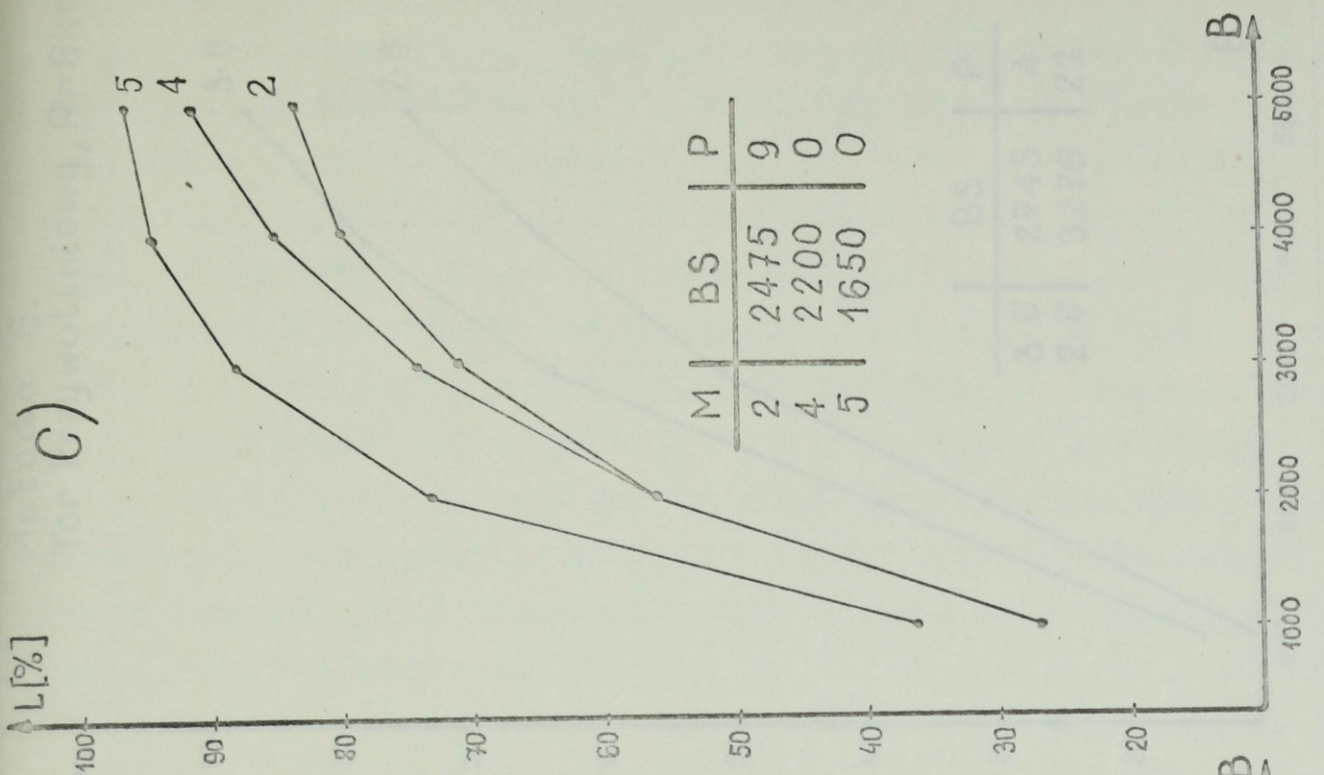
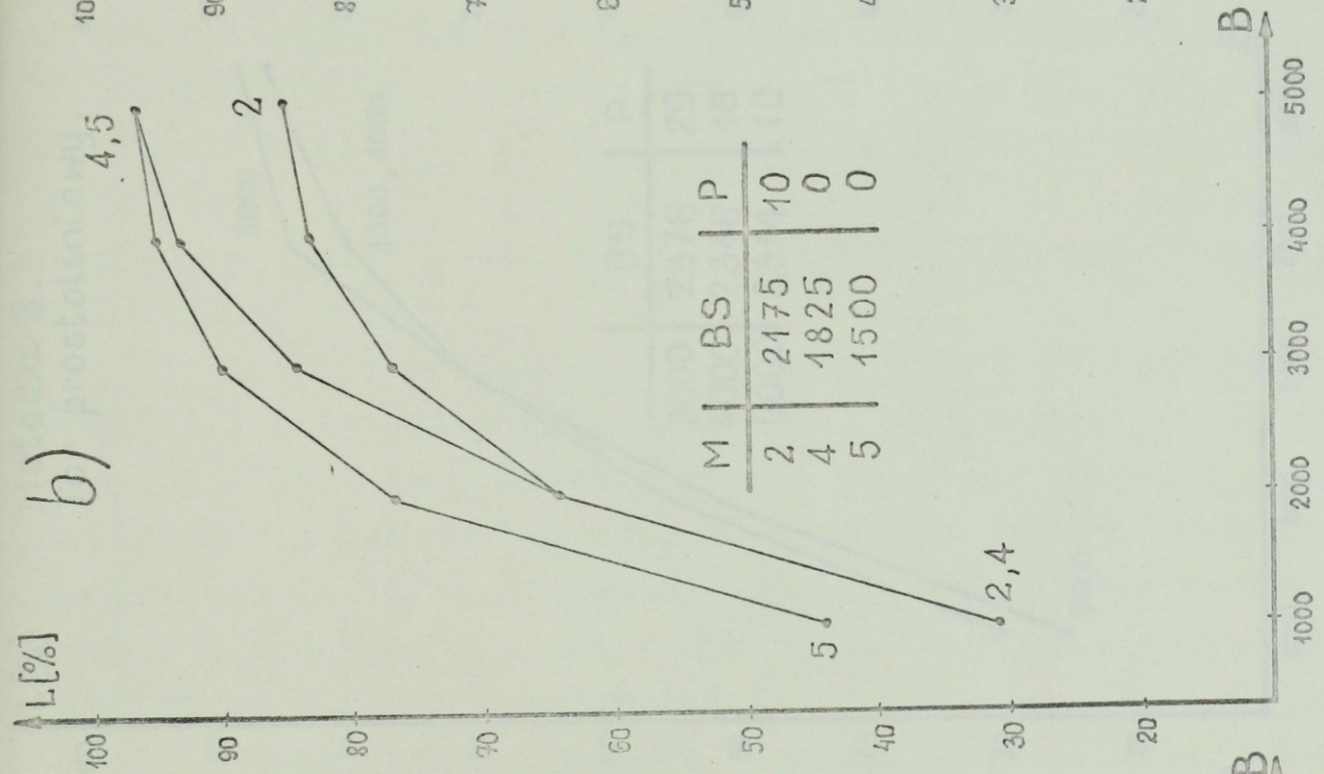
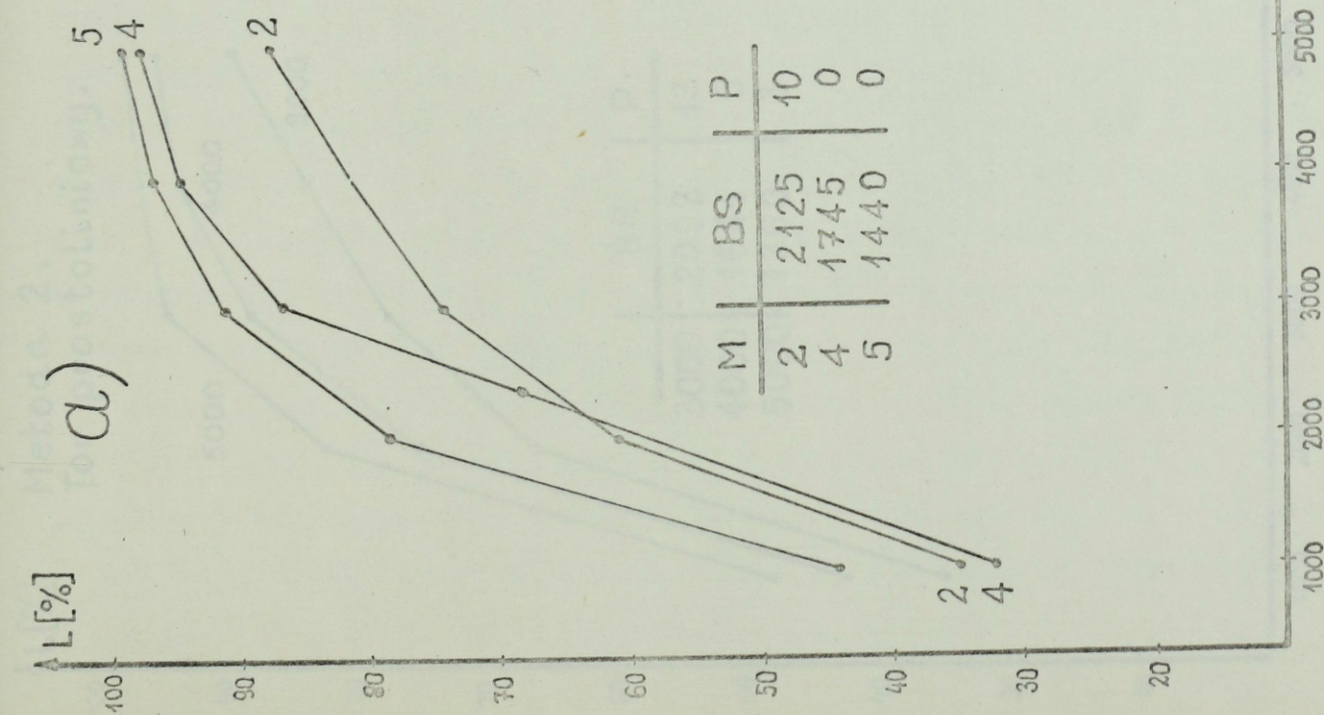
M	BS	P
2	1975	4
4	1795	7
5	1850	0

M	BS	P
2	2055	4
4	2070	9
5	1900	0

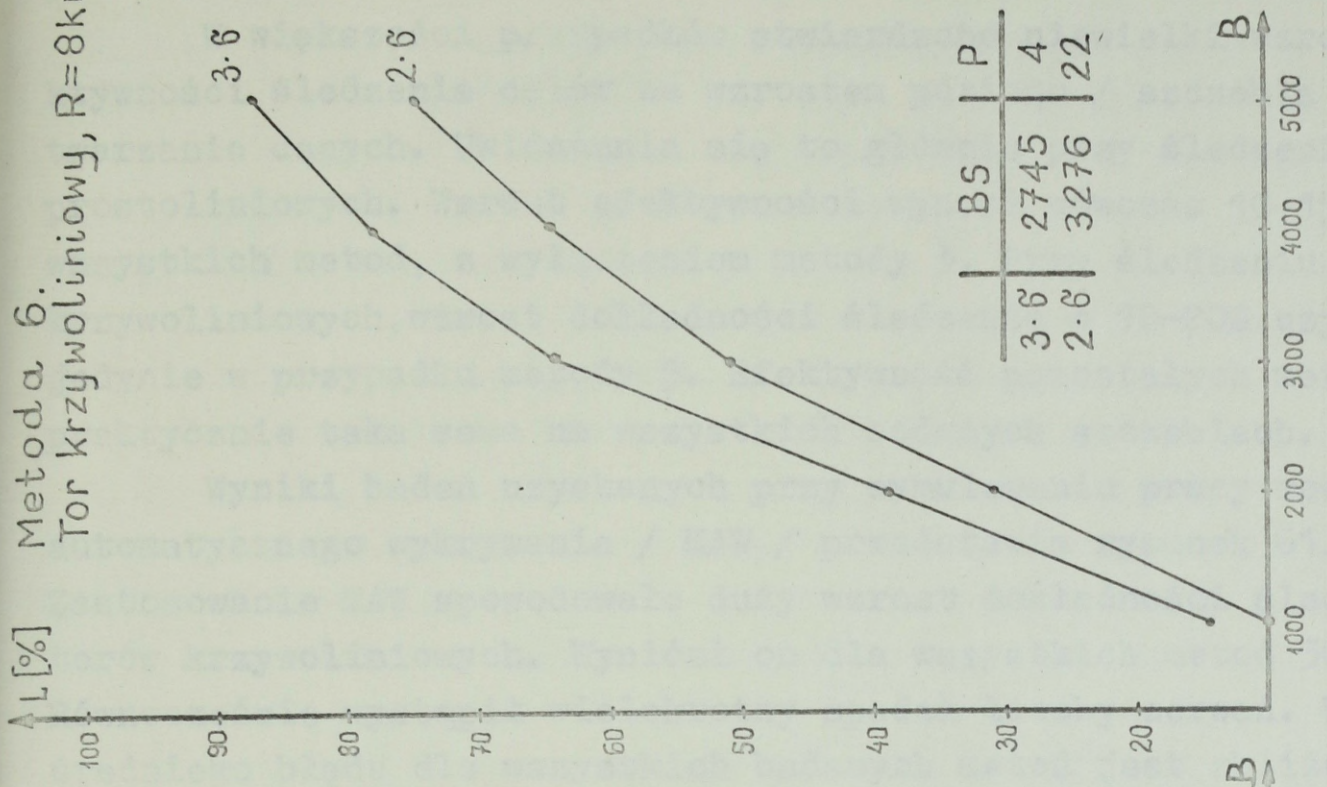
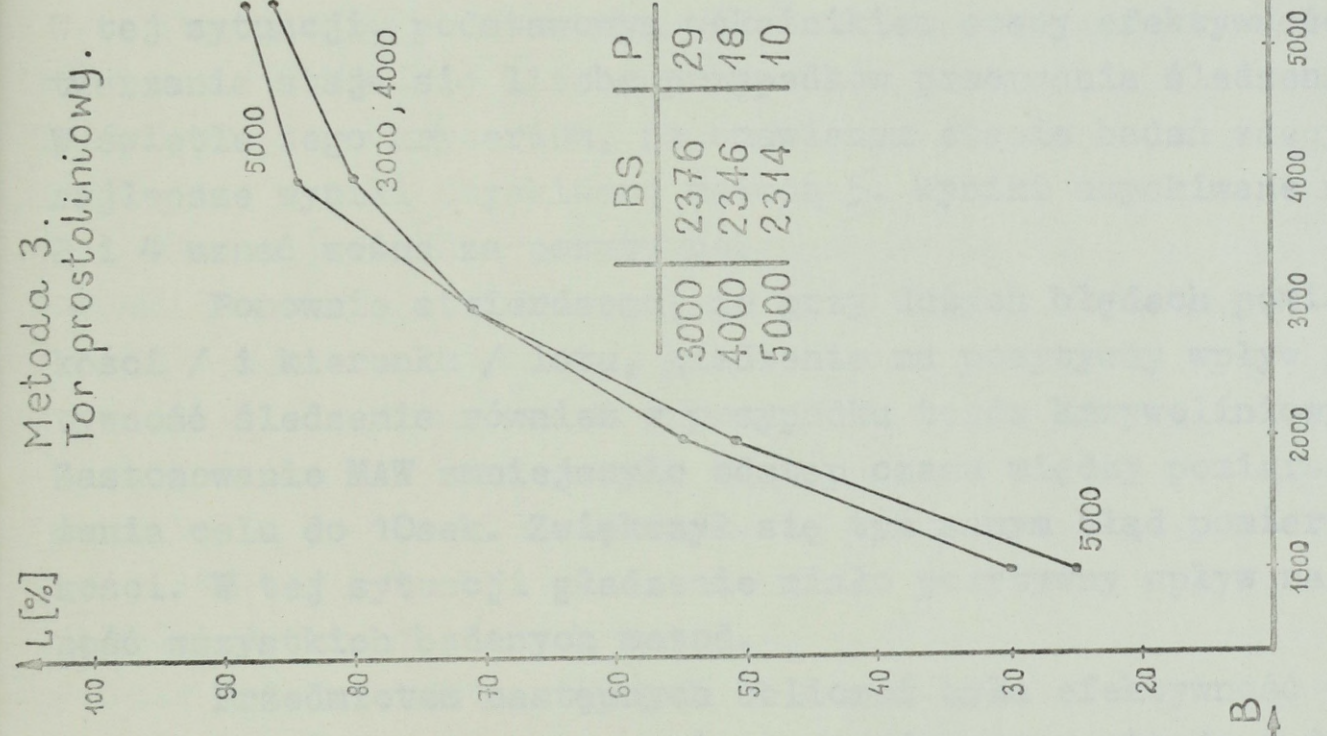
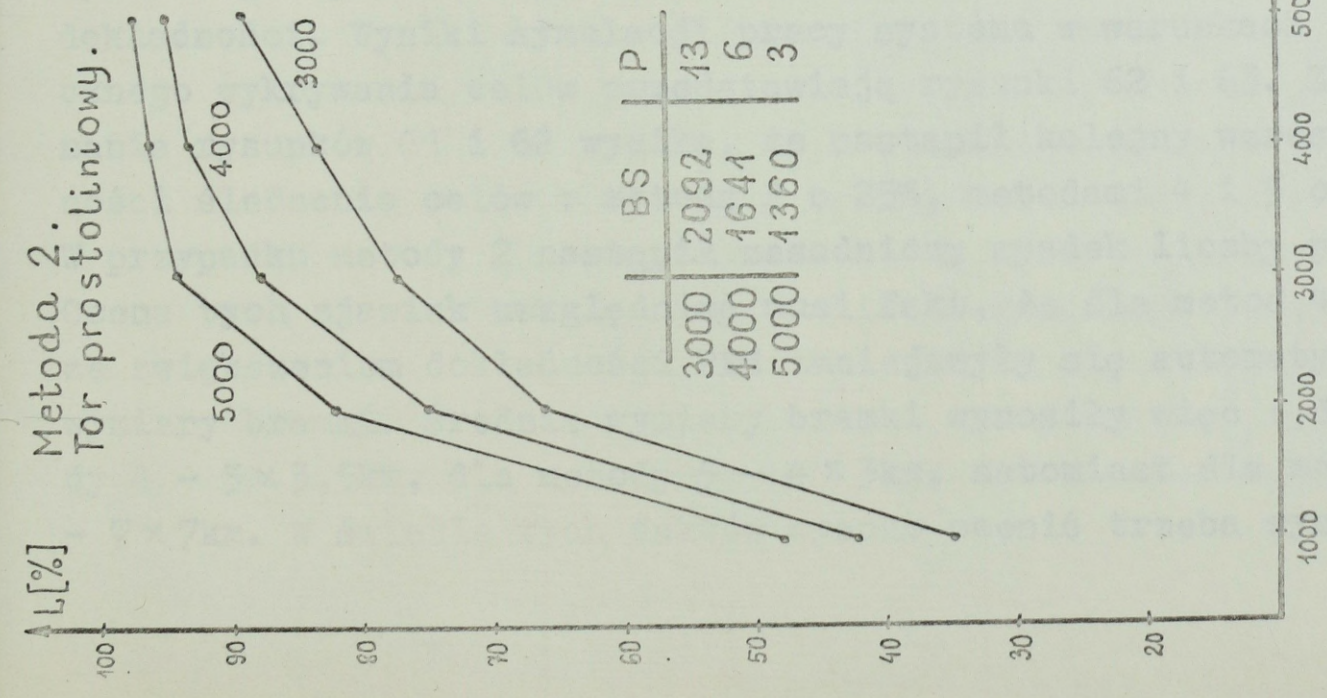
Rysunek 62. Wyniki symulacji śledzenia celów w różnych obiektach przy stosowaniu stacji radiolokacyjnych o dużej dokładności. Dane do obliczeń: tor krzywoliniowy / R=4km/, z gładzeniem, automatyczny pomiar współrzędnych / MAW /; pozostałe dane - podstawowe.



Rysunek 63. Wyniki symulacji śledzenia celów w różnych obiektach przy stosowaniu stacji radiolokacyjnych o dużej dokładności. Dane do obliczeń: tor krzywoliniowy / R=4km /, bez gładzenia, automatyczny pomiar współrzędnych / MAW /; pozostałe dane - podstawowe.



Rysunek 64. Wyniki symulacji śledzenia celów w obiekcie DP-10 w warunkach zakłóceń.
 Łączny czas zaników echa celu wynosi: a - 30%, b - 40%, c - 55% czasu lotu celu.
 Dane do obliczeń: tor prostoliniowy, z gładzeniem; pozostałe dane - podstawowe.



Rysunek 65. Wyniki symulacji śledzenia celów w obiekcie DP-10 przy stosowaniu różnych wymiarów bramki : 2 · 3000m, 2 · 4000m, 2 · 5000m lub 2 · 6R i 3 · 6R. Dane do obliczeń : gładzenie torów lotu; pozostałe dane - podstawowe.

między pomiarami położenia i równoczesne zmniejszenie błędów pomiarów.

W większości przypadków stwierdzono niewielki wzrost efektywności śledzenia celów ze wzrostem poziomu / szczebla / przetwarzania danych. Uwidacznia się to głównie przy śledzeniu torów prostoliniowych. Wzrost efektywności wynosi wówczas 10-15% dla wszystkich metod, z wyłączeniem metody 3. Przy śledzeniu torów krzywoliniowych, wzrost dokładności śledzenia o 10-20% uzyskano jedynie w przypadku metody 5. Efektywność pozostałych metod jest praktycznie taka sama na wszystkich badanych szczeblach.

Wyniki badań uzyskanych przy symulowaniu pracy modułu automatycznego wykrywania / MAW / przedstawia rysunek 61. Zastosowanie MAW spowodowało duży wzrost dokładności śledzenia torów krzywoliniowych. Wyniósł on dla wszystkich metod 30-40%. Równocześnie wystąpił wielokrotny spadek liczby zerwań. Wartość średniego błędu dla wszystkich badanych metod jest zbliżona. W tej sytuacji, podstawowym wskaźnikiem oceny efektywności przetwarzania staje się liczba przypadków przerwania śledzenia. W świetle tego kryterium, na omawianym etapie badań zdecydowanie najlepsze wyniki uzyskiwano metodą 5. Wyniki uzyskiwane metodami 2 i 4 uznać można za pozytywne.

Ponownie stwierdzono, że przy dużych błędach pomiaru prędkości / i kierunku / lotu, gładzenie ma pozytywny wpływ na efektywność śledzenia również w przypadku torów krzywoliniowych. Zastosowanie MAW zmniejszyło odstęp czasu między pomiarami położenia celu do 10sek. Zwiększył się tym samym błąd pomiaru prędkości. W tej sytuacji gładzenie miało pozytywny wpływ na efektywność wszystkich badanych metod.

Przedmiotem następnych obliczeń była efektywność zautomatyzowanego systemu rozpoznania wyposażonego w stacje o dużej dokładności. Wyniki symulacji pracy systemu w warunkach automatycznego wykrywania celów przedstawiają rysunki 62 i 63. Z porównania rysunków 61 i 62 wynika, że nastąpił kolejny wzrost dokładności śledzenia celów : metodą 2 o 25%, metodami 4 i 5 o 15%. W przypadku metody 2 nastąpił zasadniczy spadek liczby przerwania. Ocena tych zjawisk uwzględniać musi fakt, że dla metod 4 i 5, ze zwiększeniem dokładności RLS zmniejszyły się automatycznie wymiary bramki. Średnie wymiary bramki wynosiły więc : dla metody 4 - $5 \times 3,5\text{km}$, dla metody 5 - $4 \times 3\text{km}$, natomiast dla metody 2 - $7 \times 7\text{km}$. W świetle tych faktów wysoko ocenić trzeba wyniki

uzyskane metodą 5. Równocześnie, wyjątkowo korzystnie prezentuje się metoda 2, która dotychczas dawała wyniki najgorsze. Jest to niewątpliwie związane z wymiarami bramki, które wzrosły w odniesieniu do błędów. Świadczy to o silnym związku między efektywnością tej metody a wymiarami bramki. Jednak zasadniczym czynnikiem, decydującym w tym przypadku o wysokiej efektywności, jest właściwa relacja między błędami pomiaru położenia celu a odstępem czasu między pomiarami. Małe błędy pomiaru pozwoliły zmniejszyć odstęp między pomiarami, a to z kolei, na ścisłe odwzorowanie śledzonej trasy. Potwierdzają to znacznie gorsze wyniki uzyskane w analogicznych warunkach, przy półautomatycznym śledzeniu celów / odstęp czasu między pomiarami 15 - 20sek /. Nieco gorsze wyniki uzyskane metodą 5 związane są z małymi wymiarami bramki oraz z faktem, że przy takiej samej dokładności wszystkich stacji radiolokacyjnych, współczynniki wagowe poszczególnych pomiarów straciły na znaczeniu.

W warunkach stosowania stacji radiolokacyjnych o dużej dokładności, ponownie stwierdzono nieco większą dokładność śledzenia celów w obiekcie DP-20. Równocześnie wszystkie badane metody dawały minimalnie gorszą / o 5-10% / dokładność śledzenia w obiekcie DP-10R.

Wyniki badania systemu w warunkach zakłóceń przedstawia rysunek 64. Badano system wyposażony w standardowy zestaw stacji radiolokacyjnych. Uzyskane wyniki wskazują, że w badanych warunkach efektywność śledzenia torów prostoliniowych zmniejszyła się w sposób umiarkowany. Z porównania rysunków 58 i 64 wynika, że błąd śledzenia celów poszczególnymi metodami wzrósł: metodą 2 - 25%, metodą 4 - 40%, metodą 5 - 30%. Stwierdzono niewielki spadek efektywności metod 2 i 4 przy małym poziomie zakłóceń, duży natomiast, przy wzroście intensywności zakłóceń w przedziale 40-55%. Spadek efektywności metody 5 był w analogicznych warunkach równomierny. Uzyskane wyniki śledzenia wszystkimi badanymi metodami uznać należy za pozytywne. Zaznaczyć jednak należy, że odnoszą się one do przypadku, gdy każdy z celów śledzony jest przez kilka stacji radiolokacyjnych.

Ze wzrostem zakłóceń, zmiany efektywności śledzenia torów krzywoliniowych mają podobny charakter i zakres. Jednak zdecydowanie większe / o 100-150% / błędy śledzenia oraz duża liczba przerw / dla metody 2 i 4 / nie pozwalają na jednoznaczną, pozytywną ocenę wyników. Podobnie, jak już stwierdzono wcześniej, wzrost efektywności śledzenia wymaga dokładniejszego i częstszego

pomiaru współrzędnych celów.

Rysunek 65 przedstawia wyniki śledzenia torów lotu wybranymi metodami przy różnych wymiarach bramki selekcyjnej. Zwiększenie bramki w każdym przypadku powoduje duży, wielokrotny spadek liczby przerw w śledzeniu. Dokładność śledzenia celów zmieniła się natomiast w sposób zróżnicowany. Dla toru prostoliniowego szczególnie duży spadek błędu / o 30% / uzyskano dla metody 2. Natomiast dokładność pozostałych metod praktycznie nie zmieniła się. Dokładność śledzenia torów krzywoliniowych zwiększyła się o ok. 15%. Mimo to, wyników śledzenia silnego manewru nie można uznać za pozytywne.

Zwiększenie odstępów czasu między pomiarami położenia celu powyżej 20sek. zmniejszyło efektywność śledzenia celów manewrujących, w sposób niedopuszczalny / Załącznik, tabela 21 /. Dotyczy to również metody 5, dla której błąd śledzenia przekroczył wartość 3500m. Przyrost efektywności odnotowano w przypadku, gdy na skutek dużych odstępów czasu między pomiarami, tor zygzakowaty śledzony był jako tor prostoliniowy. Uznać to jednak należy za przypadek szczególny.

W świetle dotychczas przeprowadzonych eksperymentów, najkorzystniejsze wyniki śledzenia celów uzyskuje się przy uogólnianiu danych metodą uśredniania ważonego. Stosowanie tej metody wymaga znajomości błędów pomiaru współrzędnych celów a także błędów pomiaru prędkości. Błędy te mogą być stosunkowo łatwo oszacowane przy uogólnianiu informacji w obiekcie DP-10, natomiast w innych obiektach, ścisłe oszacowanie tych błędów jest praktycznie niemożliwe. Przeprowadzono więc badania symulacyjne systemu, w którym, w obiekcie DP-20 i DP-10R, stosowane są metody nie wykorzystujące danych o błędach, t.j. metoda uśredniania i metoda reprezentanta. Uzyskane wyniki / Załącznik, tabela 22 / uznać należy za pozytywne. Zastosowanie metody uśredniania i reprezentanta na wyższych poziomach przetwarzania powoduje wprawdzie pewien spadek dokładności / 15-20% / śledzenia celów, ale w zasadniczy sposób upraszcza proces przetwarzania.

Opisane wyżej wyniki eksperymentów umożliwiają sformułowanie szeregu wniosków dotyczących przydatności poszczególnych metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej oraz warunków i efektów ich stosowania. Do podstawowych - zaliczyć należy następujące wnioski i ustalenia :

1. Wybór metody uogólniania danych o sytuacji powietrznej staje się poważnym i złożonym problemem jedynie w odniesieniu do celów manewrujących. W przypadku jednostajnego, prostoliniowego toru lotu, metodami zdecydowanie najlepszymi są metody uśredniania. Najwyższą efektywność śledzenia celów uzyskano metodą uśredniania ważonego, ale wynika to ze stosowania w ramach tej metody zmieniającej się branki selekcyjnej. Zastosowanie podobnego mechanizmu w połączeniu z metodą uśredniania zwykłego stanowi rozwiązanie najlepsze. Efekt podobny uzyskać można stosując przy uśrednianiu zwykłym stałą, lecz stosunkowo dużą brankę. Rozwiązanie takie jest dopuszczalne przy dużej dokładności stacji radiolokacyjnych / np. $\sigma_{\beta} \approx 0.5^{\circ}$, $\sigma_D \approx 300\text{m}$ /. W przypadku obu wymienionych metod, korzystny wpływ na efektywność śledzenia celów ma aproksymacja / gładzenie / toru lotu. Przy uśrednianiu, aproksymacja nabiera istotnego znaczenia ze zmniejszaniem się dokładności RLS.

Wpływ różnych czynników na efektywność zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego jest bardziej złożony w przypadku celów manewrujących. Stąd kolejne, przytaczane wnioski i ustalenia dotyczą przede wszystkim tego właśnie przypadku.

2. Efektywność śledzenia celów manewrujących zależy w sposób zasadniczy zarówno od metod przetwarzania jak i dokładności RLS oraz częstości pomiaru współrzędnych celów / przez operatora lub MAW /. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono silne związki pomiędzy poszczególnymi czynnikami warunkującymi efektywność systemu. Powodują one, że efektywność poszczególnych metod uogólniania informacji nie może być oceniana w oderwaniu od innych czynników. Właściwy sposób przetwarzania danych o celach pozwala na zwiększenie efektywności systemu rozpoznania radiolokacyjnego, w granicach określonych przez parametry i właściwości poszczególnych elementów systemu. Tak więc, jako punkt wyjścia do oceny efektywności poszczególnych metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej, przyjmuje się techniczne właściwości systemu.

3. Dokładne stacje radiolokacyjne oraz stosowanie automatycznego pomiaru współrzędnych umożliwiają osiągnięcie wysokiej efektywności systemu rozpoznania radiolokacyjnego, przy zastosowaniu prostych metod przetwarzania danych o celach. Najwyższą efektywność osiągnięto stosując metodę uśredniania, a także

metodę uśredniania ważonego. W obu tych przypadkach aproksymacja toru lotu celu zdecydowanie zmniejsza efektywność systemu. Natomiast wyraźnie korzystne jest stosowanie aproksymacji łącznie z metodami wyboru najlepszych danych. Wyniki uzyskiwane wówczas uznać można za pozytywne.

4. W warunkach aktualnie istniejących, t.j. dokładności stacji radiolokacyjnych $\sigma_{\beta} = 1 - 1,5\%$, $\sigma_D = 400 - 600m$ i przy stosowaniu modułu automatycznego wykrywania, zdecydowanie najwyższą efektywność systemu uzyskuje się stosując ważne uśrednianie danych o celach. Przy słabym manewrowaniu celu, również wysoką efektywność uzyskuje się metodą wyboru najlepszych danych. Silny manewr powoduje, że wyniki uzyskane metodą uśredniania i metodą wyboru najlepszych danych są do siebie zbliżone i uznać je można za pozytywne. Należy jednak zaznaczyć, że dotyczy to metody uśredniania wykorzystującej dużą bramkę. Gdy bramka przy uśrednianiu jest stała i równa średniej bramce wykorzystywanej przy wyborze najlepszych danych, metoda uśredniania daje wyraźnie gorsze wyniki. Odstęp czasu między pomiarami położenia, wynoszący dla MAW 10sek, jest zbyt mały w stosunku do błędów pomiaru położenia. W tych warunkach aproksymacja / gładzenie / torów lotu ma korzystny wpływ na efektywność wszystkich metod.

5. Przejście ze śledzenia automatycznego na półautomatyczne powoduje znaczny spadek efektywności śledzenia. Przy odstępie czasu między korektami w granicach 15 - 20sek, praktycznie jedynie metoda 5 pozwalała na śledzenie torów lotu. W przypadku metody 4 trudno jest mówić o śledzeniu toru lotu ze względu na duże błędy. Niemniej jednak, ciągłość śledzenia celu zachowywana jest w większości przypadków manewru. Metoda 2 natomiast, nawet przy stosowaniu dużej bramki, daje zdecydowanie najgorsze wyniki. W omawianych warunkach, aproksymacja toru lotu ma niekorzystny wpływ na efektywność metod uśredniania, a pozytywny, na efektywność wyboru najlepszych danych.

6. Duża efektywność metod wykorzystujących dane o błędach związana jest m.in. ze zmianą wymiarów bramki selekcyjnej w zależności od zaistniałej sytuacji. W eksperymentach bramka miała różne wymiary, od małych / $5 \times 5km$ / do dużych / np. $12 \times 12km$ /. Bramka stosowana łącznie z metodą uśredniania musi zmieniać się w podobny sposób lub posiadać stały, duży wymiar. Duża bramka

selekcyjna rodzi możliwość występowania błędów i negatywnych zjawisk nie ujętych badaniami w niniejszej pracy. Uniknięcie ich, przynajmniej częściowe, jest możliwe na drodze szerokiego wykorzystywania w systemie informacji służbowych, takich jak : numer celu, wskaźnik manewru, wskaźnik nowego celu itd. Przy małej dokładności pomiarów i półautomatycznym śledzeniu celów, wykorzystanie informacji służbowych zadecydować może o skuteczności śledzenia celów manewrujących.

7. Odstęp czasu między pomiarami położenia musi być odpowiednio duży w stosunku do błędów pomiarów. Zbyt mały - powoduje duże błędy wyznaczania prędkości i kierunku lotu celu. Z drugiej jednak strony, zbyt duży odstęp ogranicza możliwości śledzenia torów krzywoliniowych. W świetle przeprowadzonych badań, za właściwy uznać należy odstęp między pomiarami w granicach 15 - 20sek. Dla dużych dokładności pomiarów, odstęp ten zmniejsza się do ok. 10sek.

8. Uwzględniając realia projektowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego / m.in. dokładność RLS, właściwości MAW /, największą efektywność śledzenia celów osiągnąć można, gdy proces przetwarzania informacji na szczeblu kompanii i batalionu radiotechnicznego obejmuje,

- a) jeżeli nie wykorzystuje się danych o błędach :
- aproksymację / gładzenie / toru lotu,
 - uogólnianie metodą uśredniania danych o celach niemanewrujących,
 - wykrywanie manewru celu,
 - uogólnianie metodą uprzywilejowania czasowego^{14/} danych o celach manewrujących,
- b) jeżeli wykorzystuje się dane o błędach :
- aproksymację toru lotu,
 - uogólnianie danych o celach metodą uśredniania ważonego.

Przy zwykłym uśrednianiu stosowanie aproksymacji, detektora manewru i obydwu metod uogólniania jest konieczne do osiągnięcia wysokiej efektywności systemu. Aproksymację toru lotu łącznie z uśrednianiem ważonym zaleca się stosować jedynie ze względu na fakt, że przy uogólnianiu nie zawsze dostępnych jest kilka meldunków o tym samym celu. Metody uśredniania funkcjonują wówczas

^{14/} Metoda uprzywilejowania czasowego opisana jest w rozdziale 1.

jak metody uprzywilejowania czasowego.

Metoda uprzywilejowania czasowego nie była przedmiotem badań w niniejszej pracy. W wyniku badania procesu uogólniania metodami wyboru najlepszych danych stwierdzono, że metody te działają podobnie do metody uprzywilejowania czasowego.

9. Na szczeblu pułku i brygady radiotechnicznej stosowanie metod wykorzystujących dane o błędach nastroczać może wiele trudności. Błędy danych przekazywanych z różnych radiotechnicznych batalionów są trudne do oszacowania; można przypuszczać, że są one zbliżone. W tej sytuacji zaleca się stosowanie w CRR frontu metody uśredniania bądź metody reprezentanta. Metoda reprezentanta jest zalecana m.in. ze względu na fakt, że przy małej wysokości lotu, cel śledzony jest zwykle przez jeden, a co najwyżej przez dwa bataliony radiotechniczne. W tej sytuacji, również metoda uśredniania funkcjonować będzie bardzo często jak metoda reprezentanta lub metoda uprzywilejowania czasowego.

10. Na podstawie uzyskanych wyników zaleca się wykorzystywanie na SD prplot metody reprezentanta. Jako reprezentanta proponuje się RSWP prplot przy założeniu, że podejmuje ona śledzenie celu jedynie wówczas, gdy nie jest on śledzony przez CRR lub gdy dane z CRR są mało dokładne.

11. Zastosowanie wytypowanych metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej pozwala uzyskać znacznie większą efektywność przetwarzania danych o sytuacji powietrznej niż w systemach aktualnie stosowanych. Na stanowiskach dowodzenia obroną przeciwlotniczą ułatwia ona ocenę możliwości zwalczania celów przez poszczególne pododdziały ogniowe. Dotychczas, przy małej dokładności śledzenia celów, trudno było niejednokrotnie stwierdzić, w którą strefę ognia śledzony cel wchodzi. W takich warunkach zcentralizowane kierowanie ogniem jest praktycznie niemożliwe. Duża dokładność śledzenia celów zwiększa prawdopodobieństwo wykrycia i uchwycenia przez pododdział ogniowy wskazanego do zwalczania celu. Wykrycie celu na odpowiedniej odległości jest warunkiem wykorzystania dużych, potencjalnych możliwości tych pododdziałów. Fakty te trudno jest przecenić. Ich wpływ na efektywność walki obrony przeciwlotniczej z nalotem oszacować można na drodze symulacji komputerowej.

Odrębny problem stanowi działanie obrony przeciwlotniczej

ZAKOŃCZENIE

Symulacyjne badania zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego prowadzone były z inicjatywy Dowództwa Wojsk OPL. Podjęto je w związku z budową zautomatyzowanego systemu dowodzenia obroną przeciwlotniczą DUNAJEK-P. Celem badań było oszacowanie wpływu różnych metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej na efektywność projektowanego systemu. Przedstawiona rozprawa doktorska stanowi podsumowanie tych badań oraz pewne ich poszerzenie.

Dotychczasowy stan wiedzy o efektywności zbierania i uogólniania informacji radiolokacyjnej w systemach zautomatyzowanych nie pozwalał na ilościową ocenę różnych metod przetwarzania informacji. Dotyczy to w szczególności oceny kompleksowej, uwzględniającej szeroko właściwości i warunki funkcjonowania systemu rzeczywistego. W przedstawionej pracy, efektywność uogólniania informacji radiolokacyjnej oceniano w zależności od :

- kształtu teru lotu,
- dokładności stacji radiolokacyjnych,
- sposobu zbierania danych o położeniu celów i wstępnego ich przetwarzania,

- intensywności zakłóceń radioelektronicznych oraz niektórych innych czynników. Wnioski z badań symulacyjnych uzupełnione zostały wnioskami wynikającymi z logicznej analizy teoretycznych oraz praktycznie stosowanych metod przetwarzania informacji radiolokacyjnej.

Osiągnięciem przedstawionej pracy jest, zdaniem autora, oszacowanie wpływu metod przetwarzania informacji oraz niektórych innych czynników na efektywność śledzenia celów. Umożliwiło to rekomendację konkretnych metod i zasad do stosowania w poszczególnych ogniwach zautomatyzowanego systemu rozpoznania radiolokacyjnego.

Za ważne osiągnięcie autor uważa wnioski i spostrzeżenia dotyczące śledzenia celów manewrujących oraz śledzenia w warunkach zakłóceń. Wyniki badań zwróciły uwagę na ograniczenia przy śledzeniu celów manewrujących oraz dużą, w tym przypadku, rolę informacji dodatkowych / służbowych / w meldunku. Równocześnie stwierdzono stosunkowo mały spadek efektywności systemu w warunkach zakłóceń. Mimo uproszczeń w modelu zakłóceń, wyniki te, zdaniem autora, zasługują na uwagę.

Wyniki uogólniania informacji metodami wyboru najlepszych danych nie potwierdziły w pełni ich przydatności. Pierwsza z nich, wykorzystująca pełną informację o błędach, może być uznana za dobrą i użyteczną, szczególnie przy małej szybkości EMC. Natomiast w przypadku uproszczonej metody wyboru najlepszych danych nie stwierdzono żadnych istotnych zalet.

Pierwotnie ustalony zakres prac badawczych poszerzony został w wyniku włączenia do programu badań kolejnych, wyklaniających się problemów. Te dodatkowe zagadnienia to : wymiary bramki selekcyjnej, odstęp czasu między pomiarami położenia celu oraz dokładność pomiaru współrzędnych przez stację radiolokacyjną. Jednak nie wszystkie problemy związane z automatycznym przetwarzaniem informacji radiolokacyjnej mogły być w niniejszej pracy poruszone. Z konieczności ograniczono się do zagadnień, które uznano za najważniejsze. Nie badano m.in., jaki wpływ na efektywność systemu mają : opóźnienia, liczba stacji radiolokacyjnych, zakłócenia w liniach łączności, sekwencyjne przetwarzanie meldunków czy też dokładność pracy operatora.

Wyniki badań symulacyjnych poszerzyły wiedzę o związkach i zjawiskach występujących w procesie automatycznego przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Wykorzystywane są one przy ocenie różnych rozwiązań projektowych w systemie DUNAJEC-P oraz przy formułowaniu wymagań i wniosków dotyczących tych rozwiązań. Nie dają one wystarczających podstaw do przyjęcia takiego bądź innego rozwiązania w projektowanym systemie. Decyzje takie uwzględniać muszą również potrzeby, względy ekonomiczne, możliwości realizacji oraz inne jeszcze czynniki. Niemniej, uzyskane wyniki stanowią istotną wskazówkę i pomoc.

Program symulacji funkcjonowania systemu rozpoznania radiolokacyjnego wykorzystywany może być nadal w różny sposób. Może on być włączony do programu symulacji funkcjonowania systemu OPL. W innym przypadku, dokładność śledzenia celów, rozkład błędów oszacowane za pomocą tego programu wykorzystywane mogą być jako parametry w innych programach. Może on być wykorzystywany również do dalszych badań procesu przetwarzania informacji radiolokacyjnej w systemach zautomatyzowanych.

WYKAZ PODSTAWOWYCH OZNACZEŃ

- A, A_i - przyspieszenie celu na rozpatrywanym odcinku toru lotu,
 AX_i, AY_i - składowe przyspieszenia celu na rozpatrywanym odcinku toru lotu,
 \bar{a}_{xn} - składowa przyspieszenia celu wyznaczona metodą najmniejszych kwadratów,
 $B1_r$ - odchylenie standardowe pomiaru odległości do celu przez RLS,
 $B2_r$ - odchylenie standardowe pomiaru azymutu celu przez RLS,
 $B3_p$ - odchylenie standardowe błędu operatora,
 $B7_{is}$ - azymut celu pomierzony przez RLS,
 CM_z - minimalny odstęp czasu, po którym dane o celu mogą być ponownie uogólniane,
 CZ_z - średni czas trwania zaniku transmisji danych z obiektu,
 CZS_z - czas od ostatniej aktualizacji danych o celu, po którym trasa jest likwidowana,
 D, D_i - droga jaką przebywa cel po łuku koła,
 $D1_p$ - błąd automatycznego śledzenia powodujący korektę toru lotu przez operatora,
 DK_{is} - odstęp czasu między dwiema ostatnimi korektami,
 $DK1_z$ - dokładność przekazywania współrzędnych celu,
 $DK2_z$ - dokładność przekazywania składowych prędkości celu,
 $DK3_z$ - dokładność przekazywania danych o błędach pomiaru współrzędnych,
 FS, FS_i - kąt początkowy w ruchu po okręgu,
 H_i - aktualna wysokość lotu celu,
 H_{ik} - wysokość lotu celu w kolejnym, zadany punkcie,
 H_{i2} - aktualna wysokość lotu celu zarejestrowana w obiekcie,
 HP_{i2} - wysokość celu przekazana w meldunku,
 HP_{iu} - wysokość celu w przyjętym meldunku,
 K_s - początkowy azymut anteny,
 KZ, KZ_i - wskaźnik określający wielkość zakrętu; $KZ=0$ - zakręt mniejszy od 180° , $KZ=1$ - zakręt większy od 180° ,

- L_{ik} - informacja o sposobie dolotu celu do kolejnego, zadanego punktu toru lotu; $L_{ik}=0$ - gdy dołot odbywa się po torze prostoliniowym, $L_{ik}=1$ - gdy dołot odbywa się po łuku koła,
- L_s - szybkość obrotów anteny RLS,
- LM_z - liczba meldunków przekazywanych w jednostce czasu przez kanał transmisji danych,
- MU_z - numer metody uogólniania stosowanej w obiekcie; 2 - metoda uśredniania, 3 - metoda reprezentanta, 4 - metoda wyboru najlepszych danych, 5 - metoda uśredniania ważonego, 6 - uproszczona metoda wyboru najlepszych danych;
- NC_i, NC_{is}, NC_{iz} - numer celu zarejestrowany w kolejnych etapach symulacji,
- NO_z - numer obiektu / obiektu uogólniania lub źródła informacji wtórnej /,
- NP_{iz}, NP_{iu} - numer celu w meldunku przekazywanym oraz przyjętym,
- $N1_z, N2_z, N3_z, N4_z$ - numery obiektów, które do danego obiektu / NO_z / przekazują dane o celach,
- P_s - typ operatora,
- R, R_i - promień łuku, po którym porusza się cel,
- r_s - typ stacji radiolokacyjnej,
- $R2_{is}$ - odległość do celu pomierzona przez RLS,
- RZ_{iz} - numer źródła podstawowego przy uogólnianiu metodą reprezentanta,
- ST_z - średni czas między zanikami transmisji danych z obiektu,
- SX_{is}, SY_{is} } odchylenie standardowe współrzędnych celu, zarejestrowanych w różnego typu obiektach,
- SX_{iz}, SY_{iz} }
- SVX_{is}, SVY_{is} } odchylenie standardowe składowych prędkości celu zarejestrowanych w różnego typu obiektach,
- SVX_{iz}, SVY_{iz} }
- SKP_{iz}, SYP_{iz} } odchylenia standardowe współrzędnych celu przekazywanych oraz przyjętych w meldunkach,
- SKP_{iu}, SYP_{iu} }
- $SXPE_{iu}, SYPE_{iu}$ - odchylenie standardowe współrzędnych celu przyjętych w meldunku i ekstrapolowanych na czas uogólniania,
- $S1, S1_i$ - droga na prostoliniowym odcinku toru jaką przebywa cel przed zakretem,

- S_2, S_{2_i} - droga na prostoliniowym odcinku toru jaką przebywa cel po wyjściu z zakrętu,
 T_c - odstęp czasu między kolejnymi pomiarami położenia celu,
 T_{ik} - czas dolotu do końcowego punktu rozpatrywanego odcinka toru lotu,
 t_k - czas kolejnego / $k=1,2,\dots,n$ / pomiaru współrzędnych celu,
 T_A - czas aktualny,
 T_C - cykl symulacji,
 TK_{is} - czas ostatniej korekty położenia,
 TK_{iz} - czas ostatniego uogólniania danych o celu,
 TKZ_{is} - czas końca ostatniego zaniku znacznika celu,
 TKZ_z - czas końca zaniku transmisji danych,
 TP_{is} - czas przekazania danych o celu,
 TPP_{iz}, TPP_{iu} - czas przekazania i przyjęcia meldunku o celu,
 TPZ_{is} - czas początku zaniku znacznika celu,
 TPZ_z - czas początku zaniku transmisji z obiektu,
 $T1_r$ - średni czas pomiędzy zanikami echa,
 $T2_r$ - średni czas zaniku echa celu,
 $T3_p$ - średni czas między korektami,
 $T4_p$ - minimalny odstęp czasu między korektami,
 $T5_p$ - maksymalny odstęp czasu między korektami,
 U_{kij}, U_{kls} - kolejna współrzędna metryczna celu przekazana w meldunku,
 U_{kr} - kolejna, uogólniona metryczna współrzędna celu / trasy /,
 WB_z - wymiar bramki selekcyjnej,
 V_{ik} - prędkość celu w kolejnym danym punkcie toru lotu,
 V_k - prędkość celu wyznaczona w oparciu o pomiar współrzędnych celu w momentach t_{k-1} i t_k ,
 \bar{V}_n - estymata prędkości celu w momencie t_n ,
 V_{xk} - składowa prędkości celu wyznaczona w oparciu o pomiar współrzędnej X w momentach t_{k-1} i t_k ,
 \bar{V}_{xn} - estymata składowej prędkości celu w momencie t_n ,
 VX_i, VY_i - aktualne składowe prędkości celu,
 VX_{is}, VY_{is} } składowe prędkości celu zarejestrowane
 VX_{iz}, VY_{iz} } w różnego typu obiektach,

- VXP_{iz}, VYP_{iz}
 VXP_{iu}, VYP_{iu} } składowe prędkości celu przekazane oraz
 przyjęte w meldunkach,
- VX_{ik}, VY_{ik} - składowe prędkości celu w kolejnym, danym
 punkcie toru lotu,
- X_e - ekstrapolowana współrzędna celu,
- $X_{en+m}, X_e t_{n+m}$ - współrzędna celu ekstrapolowana na czas kolej-
 nego $n+1, n+2, \dots$ pomiaru,
- X_i, Y_i - aktualne, rzeczywiste położenie celu,
- X_{ik}, Y_{ik} - współrzędne kolejnego, danego punktu toru lotu
 celu,
- X_{is}, Y_{is}
 X_{iz}, Y_{iz} } współrzędne celu zarejestrowane w różnego
 typu obiektach,
- $X_n, X t_n$ - estymata współrzędnej celu dla czasu t_n ,
- X_s, Y_s - współrzędne stacji radiolokacyjnej,
- XK, YK, XK_i, YK_i - współrzędne punktu końcowego łuku,
- XP_{iz}, YP_{iz}
 XP_{iu}, YP_{iu} } współrzędne celu przekazane i przyjęte
 w meldunkach,
- XPE_{iu}, YPE_{iu} - współrzędne celu przyjęte w meldunku i ekstra-
 polowane na czas uogólniania,
- XS, YS, XS_i, YS_i - współrzędne punktu początkowego łuku,
- $X1_{is}, Y1_{is}$ - współrzędne celu pomierzone przez RLS,
- $X2_{is}, Y2_{is}$ - współrzędne celu określone przez operatora,
- ZT_z - informacja o wygenerowaniu aktualnych danych
 o celach przez obiekt; $ZT_z=0$ gdy obiekt nie
 wygenerował w danym cyklu informacji o celach,
 $ZT_z=1$ gdy obiekt dane takie wygenerował,
- $\sigma_{\bar{a}xm}$ - błąd średni kwadratowy obliczeń składowej
 przyspieszenia,
- σ_{vk} - błąd średni kwadratowy pomiaru prędkości celu
 w przedziale czasu $t_{k-1} - t_k$,
- $\sigma_{\bar{v}n}$ - błąd średni kwadratowy obliczonej dla czasu
 t_n prędkości celu,
- $\sigma_{\bar{v}xm}$ - błąd średni kwadratowy obliczonej składowej
 prędkości celu,
- σ_x, σ_{xk} - błąd średni kwadratowy pomiaru współrzędnej
 celu,
- σ_{xe} - błąd średni kwadratowy wyznaczania współrzęd-
 nej ekstrapolowanej,

- σ_{xn} - błąd średni kwadratowy współrzędnej celu wyznaczonej dla czasu ostatniego pomiaru,
- σ_{xn+m} - błąd średni kwadratowy współrzędnej celu extrapolowanej na czas kolejnego ($n+1, n+2, \dots$) pomiaru.

2. Bujewski J.: ...
3. Bujewski J.: ...
4. BURAK S.: ...
5. ...
6. GORDON G.: ...
7. Instrukcja obsługi ...
8. Informator ...
9. Instrukcja ...
10. KPIBOW ...
11. KOZŁOWSKI ...
12. KWIEKOWSKI J.: ...
13. ...
14. ...
15. ...

BIBLIOGRAFIA.

1. ADAMSKI S.: Taktyka działań lotnictwa NATO w zmasowanym nalo-
cie. Przegląd WL i WOPK 10/1983.
2. Bojowoja rabota na obiekcie WP-01M sistiemy "Wozduch-1M".
Rukowodstwo radiotechniczeskim wojskam protivowozdusz-
noj oborony strony.
3. Bojowoja rabota na obiekcie WP-02M sistiemy "Wozduch-1M".
Rukowodstwo radiotechniczeskim wojskam protivowoz-
dusznoj oborony strony.
4. BURAK S.: Badanie efektywności procesu uogólniania w zautoma-
tyzowanym systemie radiolokacyjnym przy zastosowaniu
ważenia informacji w źródle. Praca doktorska, WAT, 1979.
5. DOŁBŃIA W.: Bojowoje poriadki takticzeskich istrebitelej.
Zarubieżnoje Wojennoje Obozrenije 9/1983.
6. GORDON G.: Symulacja systemów. Wydawnictwo Naukowe Techniczne
1974.
7. Instrukcja oddziałów radiotechnicznych wojsk OPL. Kompania
radiotechniczna. MON, Szefostwo Wojsk OPL, 1975 .
8. Informator podstawowych wiadomości o sprzęcie radiolokacji
i automatyzacji. Dowództwo Wojsk OPK, 1979.
9. Instrukcja wojsk obrony przeciwlotniczej. Wykorzystanie i pra-
ca bojowa oddziałów radiotechnicznych / Pułk, Batalion/.
MON, Szefostwo Wojsk OPL, 1975.
10. KIRIŁOW W.: Ispolzowanie opytia lokalnych wojn w taktikie
WWS NATO. Zarubieżnoje Wojennoje Obozrenije 2/1982.
11. KOŁODZIŃSKI E.: Adekwatność modelu symulacyjnego w badaniach
skuteczności systemu obrony powietrznej. Myśl Wojsko-
wa 4/1982.
12. KWIATKOWSKI J.: Rozpoznanie radiolokacyjne dla potrzeb dowodze-
nia obroną przeciwlotniczą frontu w świetle rozwoju
środków automatyzacji. Praca doktorska, ASG WP, 1981.
13. ŁOWKIEWICZ J. GAJEWSKI J.: Podstawy taktyki lotnictwa myś-
liwsko-bombowego. ASG WP, 1976.
14. MIRSKI T. GĘBALA A. PLASOTA H.: Symulacyjne badanie metod
uogólniania informacji radiolokacyjnej.
Dowództwo Wojsk OPL, 1983.
15. NIEREDELŃSKI A.: Systemy cyfrowe automatyki przemysłowej.
Wydawnictwo Naukowe Techniczne, 1977.

16. Obrona przeciwlotnicza wojsk. Część II / dywizja, pułk /.
MON, Szefostwo Wojsk OPL, 1975.
17. Osnowy postrojenija awtomatizirovanych sistiem uprawnienija
wojsk PWO; 1978.
18. PIĄTKOWSKI K.: Zautomatyzowane systemy dowodzenia wojsk
obrony powietrznej kraju. ASG WP, 1979.
19. RALSTON A.: Wstęp do analizy numerycznej. Państwowe Wydawni-
ctwo Naukowe, 1971.
20. RISOMAKIN W. JEWDOKITOW.W.: Awtomatizacja uprawnienija i bo-
jeweje primenienije ASU wojsk PWO. Ministerstwo
Oborony SSSR, 1981.
21. SAWICKI B.: Systemy radiolokacyjne. Część II. Drugi poziom
obróbki informacji radiolokacyjnej. WAT, 1980.
22. SAWICKI B.: Systemy radiolokacyjne. Część III. Trzeci poziom
obróbki informacji radiolokacyjnej. WAT, 1980.
23. SIERADZAN R. PUCHALSKI F. HĄCEL E.: Transmisja danych w sys-
temach informatycznych. Wydawnictwo MON, 1974.
24. SOBIERAJ J. HALERZ B. TRZEBIATOWSKI T. HAŁKA H.: Możliwości
i sposoby pokonywania obrony przeciwlotniczej przez
lotnictwo frontowe. Rozprawa doktorska, ASG WP, 1977.
25. Sposoby prowadzenia rozpoznania powietrznego. Wojskowy
Przegląd Zagraniczny 5/1977.
26. Taktyka użycia środków walki radioelektronicznej w lotnictwie
Stanów Zjednoczonych. Wojskowy Przegląd Zagraniczny
5/1983.
27. TARABANOW W.: Protiwoborstwo awiacji i naziemnych sredstw PWO.
Zarubieżnoje Wojennoje Obozrienije 1/1982.
28. Technika radiolokacji. Dowództwo Wojsk OPK, 1972.
29. WALERYCH R.: Środki i sposoby działania lotnictwa taktycznego
NATO przeciwko systemowi OPL wojsk lądowych.
Myśl Wojskowa 8/1979.
30. WALTER R.: Zwalczenie celów na małych wysokościach.
Wojskowy Przegląd Zagraniczny 2/1982.
31. Vademecum z zakresu obrony przeciwlotniczej wojsk lądowych.
ASG WP, 1980.
32. Zautomatyzowany zestaw 5D72. Podręcznik. Dowództwo Wojsk OPK,
1981.
33. Zautomatyzowany zestaw 5D72. Zasada budowy algorytmu maszyno-
wego. Dowództwo Wojsk OPK, 1982.

Tabela 1. Wyniki symulacji głośności waha przy użyciu metodami.

Dane do obliczeń: tor prostoliniowy, 2 głośniki, pozostałe dane - podane.

WZD :	OBJĘT 15						OBJĘT 18						OBJĘT 19					
	Metoda nr 1						Metoda nr 1						Metoda nr 1					
	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7	2	3	4	5	6	7
1000h	382	292	355	514	523	476	426	426	426	426	426	426	458	262	362	670	361	
2000h	318	250	352	356	366	230	234	234	234	234	234	234	232	252	367	263	536	
3000h	418	168	178	96	171	90	226	226	226	226	226	226	120	228	156	50	164	
4000h	57	94	64	32	72	55	174	174	174	174	174	174	64	103	42	20	31	
5000h	78	52	24	14	34	25	72	72	72	72	72	72	36	45	26	8	31	
p. 5000h	90	142	20	4	27	118	115	115	115	115	115	115	100	110	24	2	37	
Metoda średnia	8	24	0	0	0	8	24	24	24	24	24	24	10	20	0	0	7	
Suma średni	1910	2330	1620	1225	1705	1815	2405	2405	2405	2405	2405	2405	1810	2315	1530	970	1664	

ZALĄCZNIK. WYNIKI OBLICZEŃ NA EMC.

Tabela 1. Wyniki symulacji śledzenia celów różnymi metodami.

Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, z gładzeniem; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16						OBIEKT 18						OBIEKT 19					
	Metoda nr :						Metoda nr :						Metoda nr :					
	2	3	4	5	6		2	3	4	5	6		2	3	4	5	6	
1000m	382	292	358	514	323		478	234	380	640	385		468	262	362	650	361	
2000m	318	250	352	338	366		230	234	394	274	341		232	252	388	268	356	
3000m	118	168	178	96	171		90	226	144	50	162		100	228	156	50	164	
4000m	52	94	64	32	72		58	118	42	22	55		64	102	42	20	51	
5000m	38	52	24	14	34		26	72	16	8	25		36	46	26	8	31	
p. 5000m	90	142	20	4	27		118	116	22	2	30		100	110	24	2	37	
Liczba zerwań	8	24	0	0	0		8	24	0	0	1		10	20	0	0	1	
Błąd średni	1910	2360	1620	1225	1705		1815	2405	1490	980	1594		1810	2315	1560	970	1664	

Tabela 2. Wyniki symulacji śledzenia celów różnymi metodami.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / R=8km /, z gładzeniem; pozostałe dane - podstawowe

BŁĄD :	OBIEKT 16						OBIEKT 18						OBIEKT 19					
	Metoda nr :						Metoda nr :						Metoda nr :					
	2	3	4	5	6		2	3	4	5	6		2	3	4	5	6	
1000m	78	50	104	94	100		66	32	114	124	113		84	40	102	126	116	
2000m	134	130	248	236	208		136	114	258	260	215		142	130	240	262	183	
3000m	206	140	212	238	199		188	122	198	256	181		206	130	212	238	162	
4000m	160	130	148	176	133		168	128	152	156	137		186	122	168	166	141	
5000m	100	108	104	114	106		112	102	98	114	99		132	98	102	120	116	
p. 5000m	318	438	184	140	254		332	500	180	90	255		246	480	174	84	282	
Liczba zerwań	32	58	8	0	22		28	60	10	0	16		20	54	8	0	18	
Błąd średni	3645	4160	2950	2915	3276		3730	4400	2885	2695	3286		3525	4290	2974	2670	3445	

Tabela 3. Wyniki symulacji śledzenia celów różnymi metodami.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / R=4km / , z gładzeniem; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD	OBIEKT 16						OBIEKT 18						OBIEKT 19					
	Metoda nr :						Metoda nr :						Metoda nr :					
	2	3	4	5	6		2	3	4	5	6	2	3	4	5	6		
1000m	54	52	74	68	56		40	58	68	84	52	48	48	80	92	48		
2000m	106	112	176	186	146		92	106	170	204	133	94	104	174	212	120		
3000m	134	148	164	232	143		122	134	154	232	108	90	114	154	228	127		
4000m	134	118	136	166	141		112	100	128	154	144	112	122	118	136	136		
5000m	104	110	122	120	120		120	88	114	102	124	112	108	112	96	121		
p. 5000m	466	460	328	228	388		510	484	364	222	439	524	484	360	236	448		
Liczba zerwań	38	54	12	0	27		36	46	14	0	24	36	52	12	0	28		
Błąd średni	4275	4240	3715	3350	3966		4500	4300	3800	3250	4195	4550	4345	3715	3255	4230		

Tabela 4. Wyniki nie stosowania aproksymacji torów lotu celów.
Dane do symulacji : tor prostoliniowy, bez gładzenia;
pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	276	260	348	341	293	414	277	295	427
2000m	305	325	293	293	325	297	293	367	293
3000m	154	207	186	157	206	173	157	200	172
4000m	96	98	88	78	89	52	88	65	47
5000m	53	55	41	38	36	25	55	38	24
p.5000m	111	54	44	93	51	39	130	35	37
L.zerwań	11	0	0	12	0	0	17	0	0
B.średni	2215	2025	1820	2005	1960	1585	2340	1865	1580

Tabela 5. Wyniki nie stosowania aproksymacji torów lotu celów.
Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / R=8 km /,
bez gładzenia; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	141	143	153	131	156	204	143	162	199
2000m	220	260	289	181	265	352	166	256	341
3000m	168	233	227	168	235	211	215	213	205
4000m	108	150	136	114	138	87	101	141	102
5000m	95	73	91	87	72	57	83	81	63
p.5000m	275	137	105	319	134	79	292	147	90
L.zerwań	35	10	0	33	10	0	31	12	0
B.średni	3280	2715	2605	3505	2645	2215	3300	2745	2295

Tabela 6. Wyniki nie stosowania aproksymacji torów lotu celów.
Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4 \text{ km}$ /,
bez gładzenia; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	88	81	124	75	63	162	57	64	159
2000m	162	194	241	151	151	251	159	174	252
3000m	150	166	198	149	150	217	129	161	222
4000m	123	130	146	123	118	126	118	120	127
5000m	85	100	92	85	100	85	95	95	82
p. 5000m	389	326	199	417	418	159	424	386	158
L. zerwań	40	24	0	34	28	0	38	19	0
B. średni	3825	3635	3050	3985	4020	2825	3985	3895	2780

Tabela 7. Wyniki stosowania MAW.
Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, z gładzeniem, MAW;
pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	493	397	547	600	453	673	634	418	667
2000m	319	363	324	278	350	254	256	344	248
3000m	94	158	92	47	127	49	30	147	60
4000m	30	50	26	10	33	16	11	50	20
5000m	14	16	7	12	15	7	9	18	4
p. 5000m	47	15	4	53	22	1	60	23	1
L. zerwań	5	0	0	5	1	0	5	1	0
B. średni	1400	1465	1130	1225	1345	950	1220	1480	930

Tabela 8. Wyniki stosowania MAW.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ /,
z gładzeniem, MAW; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	117	158	158	126	148	195	109	138	182
2000m	279	303	316	261	260	366	216	296	377
3000m	301	259	274	300	261	264	322	256	256
4000m	146	137	160	182	173	113	203	158	119
5000m	58	79	55	59	86	35	70	80	38
p.5000m	96	65	33	72	72	27	80	72	28
L.zerwań	12	5	0	9	7	0	10	5	0
B.średni	2625	2390	2245	2525	2492	2030	2680	2488	2132

Tabela 9. Wyniki stosowania MAW.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ /,
bez gładzenia, MAW; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	182	193	213	159	217	242	124	208	236
2000m	319	309	321	306	317	377	296	319	393
3000m	195	214	220	174	214	213	184	229	210
4000m	104	110	111	110	107	84	120	114	87
5000m	59	72	61	60	65	41	68	66	42
p.5000m	139	100	72	191	80	43	208	64	32
L.zerwań	19	8	0	26	10	0	25	5	0
B.średni	2505	2385	2266	2775	2295	2038	2955	2220	1970

Tabela 10. Wyniki wykorzystania dokładnych RLS.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ / , duża dokładność RLS, z gładzeniem; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	84	114	120	65	85	137	67	80	132
2000m	157	184	205	145	169	210	141	172	214
3000m	154	154	175	128	174	168	131	166	172
4000m	131	112	163	111	123	173	119	116	171
5000m	111	99	113	132	82	104	121	82	103
p.5000m	361	339	223	419	367	208	421	384	208
L.zerwań	31	15	0	36	14	0	36	16	0
B.średni	3765	3575	3175	4065	3720	3115	4050	3780	3110

Tabela 11. Wyniki wykorzystania dokładnych RLS.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ / , duża dokładność RLS, z gładzeniem, MAW; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	199	280	224	190	305	240	171	260	234
2000m	381	397	329	361	390	352	336	369	341
3000m	301	185	244	317	170	248	340	169	257
4000m	97	70	134	91	65	108	112	85	113
5000m	14	31	49	12	20	38	10	47	40
p.5000m	17	36	19	29	50	14	30	70	15
L.zerwań	2	6	0	4	7	0	4	9	0
B.średni	1935	1835	2005	1975	1795	1895	2055	2070	1900

Tabela 12. Wyniki wykorzystania dokładnych RLS.

Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ / , duża dokładność RLS, bez gładzenia, MAW; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	395	358	366	428	354	401	405	299	385
2000m	449	362	367	455	347	397	471	309	406
3000m	121	136	168	91	138	137	98	160	142
4000m	21	54	67	8	55	50	10	86	53
5000m	3	28	22	8	32	10	7	48	9
p.5000m	10	61	8	10	74	5	9	98	5
L.zerwań	0	13	0	0	14	0	0	17	0
B.średni	1305	1710	1560	1270	1815	1370	1300	2155	1415

Tabela 13. Wyniki symulacji śledzenia celów w warunkach zakłóceń.

Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, metoda uogólniania - 2, z gładzeniem, zakłócenia RLS; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Zakłócenia - 30%			Zakłócenia - 40%			Zakłócenia - 55%		
	Obiekt nr :			Obiekt nr :			Obiekt nr :		
	16	18	19	16	18	19	16	18	19
1000m	354	389	379	306	358	332	265	339	320
2000m	264	233	271	328	260	240	287	257	293
3000m	130	120	104	130	109	108	146	132	129
4000m	69	57	64	63	73	78	87	52	55
5000m	56	38	36	20	14	36	30	27	46
p.5000m	122	163	146	150	186	206	180	194	162
L.zerwań	10	12	12	10	11	15	9	8	7
B.średni	2125	2190	2135	2175	2275	2520	2475	2335	2280

Tabela 14. Wyniki symulacji śledzenia celów w warunkach zakłóceń.
 Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / R= 4km /, metoda uogólniania - 2, z gładzeniem, zakłócenia RLS; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Zakłócenia - 30%			Zakłócenia - 40%			Zakłócenia - 55%		
	Obiekt nr :			Obiekt nr :			Obiekt nr :		
	16	18	19	16	18	19	16	18	19
1000m	50	54	54	28	27	33	27	16	19
2000m	98	71	79	81	47	80	77	87	65
3000m	107	111	108	110	78	75	103	74	100
4000m	115	96	106	88	86	82	97	80	73
5000m	91	87	100	80	82	63	72	60	82
p. 5000m	536	581	553	612	680	667	617	684	661
L. zerwań	30	29	30	35	32	31	29	28	28
B. średni	4455	4640	4555	4745	5045	4905	4770	4960	4930

Tabela 15. Wyniki symulacji śledzenia celów w warunkach zakłóceń.
 Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, metoda uogólniania - 4, z gładzeniem, zakłócenia RLS; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Zakłócenia - 30%			Zakłócenia - 40%			Zakłócenia - 55%		
	Obiekt nr :			Obiekt nr :			Obiekt nr :		
	16	18	19	16	18	19	16	18	19
1000m	323	373	368	303	358	352	262	296	358
2000m	363	337	319	348	317	313	282	309	335
3000m	179	174	181	193	206	223	198	175	135
4000m	79	70	71	86	74	71	109	115	107
5000m	26	32	32	42	24	25	54	46	29
p. 5000m	29	19	29	31	21	26	93	59	38
L. zerwań	0	0	1	0	0	0	0	3	3
B. średni	1745	1620	1675	1825	1730	1750	2200	2010	1775

Tabela 16. Wyniki symulacji śledzenia celów w warunkach zakłóceń.
 Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / R= 4km /, metoda uogólniania - 4, z gładzeniem, zakłócenia RLS; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Zakłócenia - 30%			Zakłócenia - 40%			Zakłócenia - 55%		
	Obiekt nr :			Obiekt nr :			Obiekt nr :		
	16	18	19	16	18	19	16	18	19
1000m	69	67	63	49	59	60	44	39	39
2000m	145	131	120	132	142	134	116	99	94
3000m	146	135	124	167	158	178	116	117	143
4000m	148	124	136	111	122	138	103	113	125
5000m	81	105	97	96	87	109	93	99	118
p. 5000m	409	438	460	444	432	381	523	533	481
L. zerwań	11	12	15	12	12	11	16	15	15
B. średni	3980	4135	4210	4120	4045	3940	4375	4485	4380

Tabela 17. Wyniki symulacji śledzenia celów w warunkach zakłóceń.
 Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, metoda uogólniania - 5, z gładzeniem, zakłócenia RLS; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Zakłócenia - 30%			Zakłócenia - 40%			Zakłócenia - 55%		
	Obiekt nr :			Obiekt nr :			Obiekt nr :		
	16	18	19	16	18	19	16	18	19
1000m	439	557	538	442	513	522	363	475	505
2000m	338	309	317	331	344	341	368	334	316
3000m	131	72	74	130	83	65	146	93	83
4000m	46	36	45	45	28	32	58	43	42
5000m	24	6	12	14	18	17	25	25	25
p. 5000m	22	11	14	36	24	23	40	30	29
L. zerwań	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. średni	1440	1165	1205	1500	1280	1260	1650	1415	1390

Tabela 18. Wyniki symulacji śledzenia celów w warunkach zakłóceń.
 Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ /, metoda uogólniania - 5, z gładzeniem, zakłócenia RLS; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Zakłócenia - 30%			Zakłócenia - 40%			Zakłócenia - 55%		
	Obiekt nr :			Obiekt nr :			Obiekt nr :		
	16	18	19	16	18	19	16	18	19
1000m	90	81	84	79	107	114	67	76	78
2000m	158	155	157	152	155	154	122	123	126
3000m	192	194	188	144	146	144	143	137	140
4000m	163	190	175	119	123	123	139	133	132
5000m	110	111	110	93	89	91	104	103	101
p. 5000m	288	269	286	411	380	373	425	428	423
L. zerwań	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B. średni	3555	3535	3560	3900	3775	3676	4025	4055	4010

Tabela 19. Wyniki stosowania różnych bramek selekcyjnych.
 Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, z gładzeniem, obiekt 16; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Metoda nr 2			Metoda nr 3			Metoda nr 6	
	Wymiar bramki:			Wymiar bramki:			Wymiar bramki:	
	3000m	4000m	5000m	3000m	4000m	5000m	$2 \cdot \sigma_R$	$3 \cdot \sigma_R$
1000m	346	418	481	302	283	253	323	344
2000m	311	327	338	237	265	262	366	368
3000m	108	125	116	175	159	213	171	170
4000m	58	47	21	84	104	124	72	60
5000m	55	22	10	49	59	40	34	20
p. 5000m	122	61	34	153	130	108	27	32
L. zerwań	13	6	3	29	18	10	0	0
B. średni	2092	1641	1360	2376	2346	2314	1705	1635

Tabela 20. Wyniki stosowania różnych bramek selekcyjnych.
Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ /,
z gładzeniem, obiekt 16; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Metoda nr 2			Metoda nr 3			Metoda nr 6	
	Wymiar bramki:			Wymiar bramki:			Wymiar bramki	
	3000m	4000m	5000m	3000m	4000m	5000m	$2 \cdot \sigma_R$	$3 \cdot \sigma_R$
1000m	52	55	47	50	54	52	56	90
2000m	89	126	150	107	118	135	146	182
3000m	96	172	212	126	172	135	143	198
4000m	122	146	158	110	124	132	141	154
5000m	99	110	123	107	115	125	120	98
p.5000m	542	391	310	500	417	421	388	276
L.zerwań	48	29	19	60	47	35	27	12
B.średni	4524	3998	3745	4367	4087	3984	3966	3470

Tabela 21. Wyniki zwiększenia czasu między korektami.
Dane do obliczeń : tor krzywoliniowy / $R=4\text{km}$ /,
z gładzeniem, korekta co 20 sek; pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	OBIEKT 16			OBIEKT 18			OBIEKT 19		
	Metoda nr :			Metoda nr :			Metoda nr :		
	2	4	5	2	4	5	2	4	5
1000m	34	66	48	36	58	57	29	67	61
2000m	118	148	174	112	129	182	124	111	175
3000m	130	153	195	98	116	202	86	114	204
4000m	117	125	169	99	120	167	97	122	162
5000m	112	108	114	111	123	114	103	127	105
p.5000m	487	397	300	525	446	278	532	452	293
L.zerwań	41	14	0	36	17	0	37	13	0
B.średni	4354	3943	3677	4427	4162	3572	4410	4195	3600

Tabela 22. Wyniki stosowania różnych metod uogólniania informacji radiolokacyjnej na różnych szczeblach.
 Dane do obliczeń : tor prostoliniowy, z gładzeniem;
 pozostałe dane - podstawowe.

BŁĄD :	Nr obiektu / nr metody			Nr obiektu / nr metody		
	$\frac{16}{5}$	$\frac{18}{2}$	$\frac{19}{2}$	$\frac{16}{5}$	$\frac{18}{2}$	$\frac{19}{3}$
1000m	503	392	373	541	459	441
2000m	344	396	368	329	368	359
3000m	107	115	132	89	121	94
4000m	26	39	38	28	14	22
5000m	11	25	32	11	10	14
p.5000m	8	53	67	2	48	59
L.zerwań	0	5	6	0	4	6
B.średni	1272	1448	1643	1164	1310	1451

Wydrukowano w 5 egz.
 Egz. nr 1-5 - Bibl.Nauk.DZS
 Wyk. mjr Gębala
 Druk T.J. dn.12.07.85 r.
 Druk ASG WP nr 01461/WW

