



# AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

## NUMERYCZNA MAPA PRZESTRZENI RADIOLOKACYJNEJ

Projekt badawczy typu „grant” nr 0 T00A 021 16

PROJEKT WYKONAWCZY NUMERYCZNEJ MAPY  
PRZESTRZENI RADIOLOKACYJNEJ

Zadanie badawcze IV

60995

Biblioteka Główna  
Akademii Obrony Narodowej



05-004364-001-0

WARSZAWA

2000



**AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ**

---

**WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OBRONY POWIETRZNEJ**

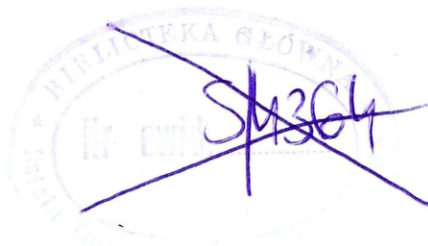


**NUMERYCZNA MAPA PRZESTRZENI  
RADIOLOKACYJNEJ**

**Projekt badawczy typu "grant" nr 0 T00A 021 16**

**PROJEKT WYKONAWCZY NUMERYCZNEJ MAPY  
PRZESTRZENI RADIOLOKACYJNEJ**

**Zadanie badawcze IV**



---

**Zespół badawczy:**

prof. dr hab. inż. Stefan ANTCZAK - kierownik projektu

dr hab. inż. Czesław FLANEK

dr hab. inż. Franciszek MROCZKO

dr inż. Marian KOSELSKI

dr inż. Jerzy JANUSZEWICZ

dr inż. Mirosław CHRZANOWSKI

mgr inż. Jan KUCHARSKI

dr inż. Krzysztof KALIŃSKI

---

## SPIIS TREŚCI

WSTĘP .....	5
<b>1. WSTĘPNE ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE.....</b>	<b>7</b>
1.1. Środowisko zewnętrzne .....	7
1.1.1. Numeryczny Model Terenu.....	7
1.1.2. Wymagania na aplikacje programowe .....	10
1.1.3. Wymagania na sprzęt komputerowy .....	11
1.2. Struktura numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej .....	12
1.2.1. Pojęcie strefy wykrywania radaru.....	13
1.2.2. Formalizacja strefy wykrywania radaru .....	14
1.2.3. Baza danych przestrzennych .....	17
1.2.4. Moduł tworzenia NMPR .....	20
1.2.5. Procedura transformacji NMT .....	20
1.2.6. Procedury użytkowe i sterujące .....	20
1.2.7. Baza danych parametrów radarów i ich dyslokacji .....	21
1.2.8. Procedury zobrazowywania danych.....	21
<b>2. PROJEKT BAZ DANYCH .....</b>	<b>23</b>
2.1. Ogólne wiadomości o bazach danych i ich projektowaniu .....	23
2.1.1. Terminy podstawowe .....	23
2.1.2. Architektura systemu bazy danych .....	27
2.1.3. Modele baz danych .....	31
2.1.4. projektowanie baz danych .....	34
2.1.4.1 Projektowanie systemu danych.....	35
2.1.4.2 Tworzenie bazy danych.....	35
2.1.4.3 Metody analizy i syntezy treści bazy danych.....	36
2.2. Struktura baz danych .....	41
2.2.1. Wiadomości wstępne.....	41
2.2.2. Wstępny model bazy danych.....	45
2.2.3. Normalizacja bazy danych.....	51
2.2.4. Czynniki kształtujące rozmiar projektowanej bazy danych .....	57
2.2.4.1. Metoda podziału przestrzeni powietrznej .....	57
2.2.4.2. Informacje o elementarnym sześciacie .....	58
2.2.5. Rozmiar bazy danych .....	60
2.2.5.1. Rozmiar tabeli opisującej przestrzeń .....	60
2.2.5.2. Rozmiar tabeli zawierającej parametry radarów .....	62
2.2.6. Parametry przestrzennej bazy danych.....	64
2.2.6.1. Pierwszy etap racjonalizacji .....	65
2.2.6.2. Drugi etap racjonalizacji .....	67
2.2.6.3. Trzeci etap racjonalizacji .....	68

2.3. Eksperymentalny model bazy danych .....	71
2.3.1. Specyfikacja zastosowanego systemu zarządzania bazą danych.....	71
2.3.2. Obliczenia projektowe.....	74
2.3.3. Przykładowa struktura bazy danych.....	77
2.4. Wnioski .....	80
<b>3. ALGORYTM OBLICZANIA STREFY WYKRYWANIA RADARU.....</b>	<b>82</b>
3.1. Zasięg wykrywania radaru impulsowego .....	83
3.3. Wpływ temperatury szumów systemu na zasięg radaru.....	84
3.3. Stosunek sygnału do szumu $D(n)$ .....	88
3.4. Wpływ współczynnika propagacji .....	92
3.5. Straty w atmosferze .....	96
3.6. Wpływ zakłóceń czynnych .....	96
3.7. Zakłócenia bierne .....	97
3.8. Przykład obliczeń .....	99
3.9. Strefa wykrywania radaru dla liniowego i wykładniczego modelu troposfery .....	100
3.9.1. Liniowy model troposfery .....	100
3.9.2. Wykładniczy model troposfery.....	102
<b>4. TWORZENIE ODWZOROWANIA RZESTRZENI RADIOLOKACYJNEJ.....</b>	<b>105</b>
4.1. Określanie wymiarów strefy wykrywania radaru .....	105
4.2. Transformacja współrzędnych geograficznych z elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę i odwrotnie .....	108
4.3. Wyznaczanie horyzontu radiowego .....	109
4.4. Struktura matrycy danych.....	112
4.5. Wyznaczanie zasięgu płaskiego dla różnych skutecznych powierzchni odbicia obiektu powietrznego.....	113
4.6. Wyznaczanie zasięgu płaskiego dla różnych prawdopodobieństw wykrywania obiektów powietrznych .....	115
4.7. Zastosowanie trójkątów sferycznych .....	116
4.8. Tworzenie odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej.....	117
4.9. Ogólny algorytm tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej.....	120
<b>V. ZAKOŃCZENIE.....</b>	<b>124</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>126</b>
<b>Załącznik 1 .....</b>	<b>138</b>
<b>Załącznik 2 .....</b>	<b>143</b>
<b>Załącznik 3 .....</b>	<b>153</b>
<b>Załącznik 4.....</b>	<b>163</b>
<b>Załącznik 5.....</b>	<b>169</b>

## WSTĘP

Jednym z istotnych elementów projektu badawczego „Numeryczna mapa przestrzeni radiolokacyjnej” jest realizacja zintegrowanego modelu badawczego numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej (lub modeli cząstkowych) umożliwiających weryfikację przyjętych rozwiązań teoretycznych i prowadzenie badań. Aby wykonać taki model konieczne jest opracowanie zadania badawczego „Projekt wykonawczy numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej”. Stanowi ono podstawę do realizacji modelu (lub modeli cząstkowych). Podstawy teoretyczne do realizacji tego zadania zostały opracowane podczas realizacji następujących zadań badawczych:

1. Analiza geograficznych systemów informacyjnych pod względem ich przydatności w radiolokacji.
2. Podstawy teoretyczne odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej.
3. Podstawy teoretyczne wykorzystania współrzędnych geodezyjnych i kartograficznych w odwzorowaniu przestrzeni powietrznej.

W niniejszym opracowaniu zawarto wyniki badań, rozwiązania projektowe i algorytmy, które będą wykorzystywane w realizacji modelu komputerowego numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej (NMPR). Opracowanie składa się z czterech rozdziałów.

W rozdziale pierwszym zawarta jest ogólna koncepcja i struktura NMPR oraz wstępne wymagania, które wytyczają dalsze kierunki realizacji projektu wykonawczego.

Rozdział drugi zawiera analizę problemów związanych z wykorzystaniem technologii baz danych w projekcie. Opracowany projekt bazy danych umożliwia jej realizację w oparciu o dowolny system zarządzania bazami danych. Zrealizowany w oparciu o Microsoft Access eksperymentalny model bazy danych pozwolił na weryfikację przyjętych rozwiązań.

W rozdziale trzecim przedstawiona została problematyka obliczeń zasięgu radarów impulsowych oraz wykreślanie charakterystyk pokrycia. Uwzględniono w nim

wiele czynników wpływających na zasięg radaru, takich jak np. temperatura szumów systemu, stosunek sygnału do szumu, prawdopodobieństwo wykrycia, prawdopodobieństwo fałszywego alarmu, współczynnik propagacji itp. W załącznikach do tego rozdziału zawarte są odpowiednie charakterystyki i wykresy niezbędne do wykonania obliczeń zasięgu i wykresu pokrycia radarów impulsowych.

W rozdziale czwartym przedstawiono są algorytm tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej oraz aparat matematyczny pozwalający na praktyczną realizację modelu komputerowego. Przedstawiony algorytm umożliwia tworzenie rastrowego odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej metodą porównania odległości sferycznych.

## **1. WSTĘPNE ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE**

W realizowanym projekcie można wyróżnić dwa główne elementy: środowisko zewnętrzne oraz właściwą Numeryczną Mapę Przestrzeni Radiolokacyjnej (NMPR). Środowisko zewnętrzne obejmuje standardowe elementy, które zostaną zakupione lub wykorzystane z dostępnych zasobów, są to:

- numeryczny model terenu (NMT),
- oprogramowanie standardowe (system operacyjny, GIS i inne),
- baza sprzętowa.

Parametry powyższych elementów stanowią poważne ograniczenia dla realizowanej NMPR a zespół projektowy ma ograniczony wpływ na ich dobór ze względu na dostępność niektórych technologii oraz ograniczenia finansowe. Od ich wyboru zależy będzie kształt i parametry realizowanego projektu.

### **1.1. Środowisko zewnętrzne**

#### **1.1.1. Numeryczny Model Terenu**

NMT jest istotnym źródłem danych dla projektowanej NMPR. Wybór konkretnego NMT determinuje do dalszych prac następujące parametry i własności:

- model i standard danych cyfrowych,
- zakres informacyjny,
- dokładność,
- szczegółowość,
- dyskretność.

Instytucją „statutowo” odpowiedzialną za dostarczanie siłom zbrojnym numerycznych danych o środowisku geograficznym jest Oddział Topograficzny Sztabu Generalnego WP. Komórka ta opracowuje następujące wojskowe, numeryczne produkty topograficzne:

- numeryczne mapy wektorowe,
- mapy rastrowe,

- numeryczne modele terenu,
- numeryczne bazy danych obrazowych,
- numeryczne wykazy nazw obiektów toponomicznych (gazetery).

Opracowywane są one zgodnie z Polskimi Normami Obronnymi lub standardami przyjętymi przez organizacje międzynarodowe, względnie zgodnie ze specyfikacjami przyjętymi i opublikowanymi przez producenta.

Stan prac tej komórki przedstawia się następująco (według G. Kurzei i J. Wiśniowskiego [24]). Produkty opracowane:

- numeryczny model rzeźby terenu na obszar Polski;
- mapa wektorowa o rozdzielczości mapy w skali 1:1000000;
- wektorowy zapis treści Wojskowej Mapy Topograficznej w skali 1:50000;
- seria ortofotomap w skalach 1:10000 - 1:50000;

Produkty w opracowaniu lub w fazie projektowania:

- mapa wektorowa Vmap Level 1;
- mapy rastrowe w formacie CDRG na obszar Polski;
- gazetery;
- numeryczny model terenu DTED na wybrane rejony.

Na razie dla zespołu badawczego dostępne są następujące produkty na CD-ROM:

1. Numeryczny Model Terenu DTED Level 1 (zasięg geograficzny 49°N do 55°N, 014°E do 025°E),
2. Numeryczny Model Terenu DTED Level 2 (zasięg geograficzny 15°-16°E 53°-54°N, 15°-16°E 54°-55°N),
3. Mapa Rastrowa Polski w skali 1:250 000 Ośrodki szkolenia Poligonowego w skali 1:50 000,
4. Vector Map Level 0 – EURNASIA (Azja, Europa),
5. Vector Map Level 0 – NOAMER (Ameryka Północna).
6. Vector Map Level 0 – SOAMAFR (Afryka, Ameryka Południowa).

Tabela 1

## Porównanie dostępnych danych geograficznych (NMT)

Parametr/cecha	AON	Zarz. Topograficzny DTED 1
Rozdzielczość informacyjna	b.d.	jak dla map operacyjnych 1:250 000
Model danych	matrycowy z ekstremami	Matrycowy
Format danych	niestandardowy	DTED 1
Interwał matrycy	250 m	100m (3'')
Dokładność pionowa	b.d.	±30
Dokładność pozioma	b.d.	±50
Układ geodezyjny odniesienia poziomego	b.d.	WGS-84
Układ współrzędnych	b.d.	WGS-84
System odniesienia pionowego	b.d.	MSL
Zakres informacyjny	Obszar Polski	obszar Polski
Zakres wysokości	4094 m (12 bitów)	2 bajty
Dodatkowe informacje	Pokrycie terenu (lasy, wody, zabudowa – 4 bity)	Brak

b.d. – brak danych

Oprócz tego jest ogólnie dostępny model terenu DTED Level 0 poprzez Internet. Do wykorzystania przez zespół badawczy jest również numeryczny model terenu (matrycowy) wykorzystywany w AON. Model ten można porównać z następującymi produktami topograficznymi Oddziału Topograficznego: DTED Level 1 i DTED Level 2 (oraz DTED Level 0).

Z powyżej wymienionych dostępnych numerycznych danych geograficznych kryterium dokładnościowe spełniają jedynie dane matrycowe. Ograniczenie to powoduje, że w projekcie NMPR możemy uwzględnić jedynie rzeźbę terenu bez pokrycia i

infrastruktury urbanistycznej i pozostaje wybór pomiędzy danymi AON a DTED 1 Zarządu Topograficznego. Analiza porównawcza tych dwóch typów numerycznych danych geograficznych została przedstawiona w tabeli 1. Wybór jednego z tych typów NMT implikuje daleko idące konsekwencje w zakresie wyboru oprogramowania, opracowywaniu algorytmów i realizacji aplikacji programowych. Problem ten został przeanalizowany w następnym punkcie.

### **1.1.2. Wymagania na aplikacje programowe**

Na rynku oprogramowania działa wiele firm zajmujących się produkcją, dystrybucją narzędzi dla GIS, kompletnych systemów GIS oraz świadczących usługi polegające na opracowaniu specjalizowanych systemów dla potrzeb konkretnych użytkowników. Wydaje się, że w tak szerokiej ofercie można znaleźć narzędzia rozwiązujące problem wykorzystywania, przetwarzania i zobrazowania danych geograficznych. Jednakże mają one też i wady, które poważnie utrudniają ich specjalistyczne wykorzystanie:

- operują na danych wprowadzonych na etapie tworzenia aplikacji, można je aktualizować tylko w ściśle określony przez producenta sposób,
- produkowane są jako oddzielne, zamknięte aplikacje, co utrudnia lub uniemożliwia ich pełne wykorzystanie w specjalizowanym systemie i tworzenie własnych specjalizowanych aplikacji kompatybilnych z resztą systemu,
- osadzone są na konkretnych (często specjalizowanych) platformach systemowych i sprzętowych,
- wysoka cena, wynikająca głównie z konieczności zakupu kompletnego produktu z elementami niepotrzebnymi w specjalizowanym systemie.

Można więc rozważać samodzielne tworzenie specjalizowanego oprogramowania GIS, lecz to rozwiązanie ma również poważne wady:

- należy opracować i oprogramować podstawowe problemy wynikające z teorii i praktyki geodezji, wymaga to wykorzystania wysokokwalifikowanego geodety, jednakże nie wyklucza to powstania błędów w podstawowych aplikacjach, co rzutować może na wyliczenia specjalistyczne,

- wydłuży się czas uruchomienia całego systemu ,
- nie uzyska się wysokiej niezawodności stworzonego oprogramowania, nieuniknione błędy będą się pojawiały na każdym etapie tworzenia systemu.

Racjonalnym rozwiązaniem jest więc wybranie komercyjnego oprogramowania GIS opartego o wielomodułowe pakiety. Modułowa struktura umożliwi złożenie systemu o wymaganych opcjach funkcjonalnych. Pożądane jest by moduły te były w wersjach umożliwiających ich samodzielną modyfikację i rozwój.

Taka aplikacja GIS powinna oferować pewien zbiór funkcji użytkowych, dostępnych za pośrednictwem dedykowanego interfejsu. Interfejs taki powinien się składać z ekranowych okienek graficznych, menu, ikon, okienek dialogowych. Część funkcji ogólnego zastosowania musi być dostępna bezpośrednio. Mogą one nie spełniać wszystkich wymogów użytkownika. Musi istnieć zatem możliwość tworzenia własnych funkcji użytkowych na bazie bibliotek funkcji podstawowych, stanowiących jądro systemu GIS. Funkcje te powinny być udostępnione wraz z aplikacją GIS.

Z zestawienia tego widać, że sprawa wyboru odpowiedniego oprogramowania dla opracowywanej numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej NMPR nie jest prosta (przy ograniczonych środkach finansowych), gdyż oprogramowanie to składa się najczęściej z modułu podstawowego i szeregu dodatkowych specjalistycznych aplikacji. Gdyby w projekcie zastosowano nietypowe dane numeryczne wykorzystanie komercyjnych GIS będzie możliwe po przeprowadzeniu konwersji danych.

### **1.1.3. Wymagania na sprzęt komputerowy**

Na obecnym etapie badań można jedynie postawić ogólne wymagania dobrych parametrów graficznych (duży monitor, wysoka rozdzielczość obrazu, szybkość przetwarzania grafiki trójwymiarowej i tekstur) duża pojemność nośników danych i możliwości ich przetwarzania. Na podstawie dotychczasowych analiz proponuje się zestaw komputerowy o następujących parametrach:

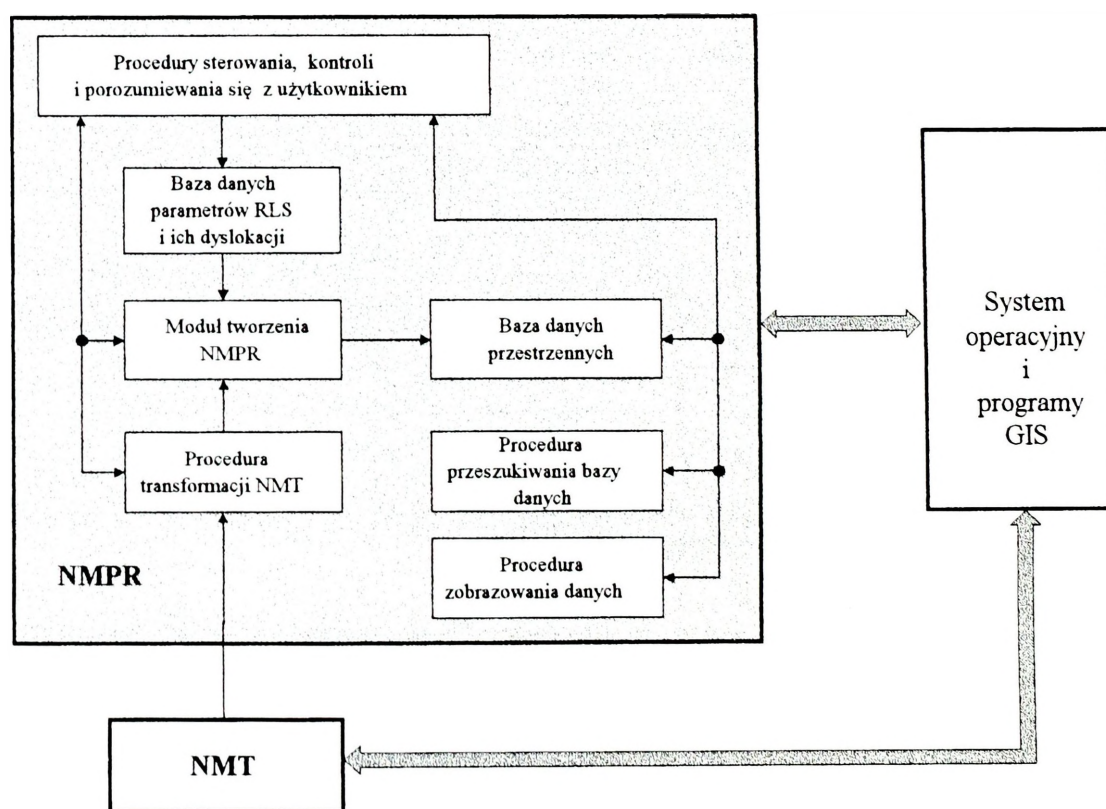
- procesor Pentium III 500 MHz,
- pamięć RAM 256 MB,
- dysk twardy 20 GB –2 szt.,

- monitor 19",
- drukarka kolorowa,
- skaner 1200x1200 dpi,
- nagrywarka CD-ROM,
- akcelerator graficzny.

Wymagania na sprzęt komputerowy uzależnione będą od zastosowanego systemu operacyjnego i oprogramowania GIS. Niewykluczone jest zastosowanie specjalistycznego systemu operacyjnego i sprzętu.

## 1.2. Struktura numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej

Na podstawie wyników przeprowadzonych dotychczas prac badawczych zespół proponuje zbudowanie NMPR według struktury funkcjonalnej przedstawionej na rysunku 1.1



Rys. 1.1 Struktura numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej

Struktura ta określa ogólne wytyczne do realizacji projektu i w trakcie realizacji będzie ulegała koniecznym modyfikacjom w zależności od potrzeb i możliwości technicznych.

### 1.2.1. Pojęcie strefy wykrywania radaru

Z punktu widzenia wykorzystania radaru przydatna jest znajomość jego strefy wykrywania czyli przestrzeni, w której możliwe jest wykrycie z założonym prawdopodobieństwem obiektu powietrznego o określonej skutecznej powierzchni odbicia. Dla określenia tej strefy wykorzystuje się odpowiednie charakterystyki zasięgowe. Charakterystyką zasięgową nazywa się funkcję określającą miejsca geometryczne punktów, w których opromieniowane obiekty powietrzne o założonej skutecznej powierzchni odbicia wyemitują sygnał odbity (o mocy co najmniej równej mocy progowej odbiornika) umożliwiający wykrycie tego obiektu. Charakterystyka zasięgowa dzieli zatem całą przestrzeń powietrzną na dwa obszary. Obszar, w którym znajdujący się obiekt powietrzny o założonej skutecznej powierzchni odbicia zostanie wykryty z wymaganym (ustalonym) prawdopodobieństwem oraz na obszar, w którym znajdujący się obiekt powietrzny nie zostanie wykryty.

Wiarygodne odtworzenie strefy wykrywania radaru wymaga przedstawienia charakterystyki zasięgowej w trójwymiarowym układzie współrzędnych (rys. 1.2). Dla radaru o ustalonej dyslokacji jego anteny charakterystykę taką można wyrazić za pomocą funkcji:

$$R_{\max}(\beta, \varepsilon) = R_{\max} f(\beta, \varepsilon) \quad (1.1)$$

gdzie:

$R_{\max}$  – zasięg radaru w swobodnej przestrzeni na kierunku maksimum charakterystyki antenowej,

$f(\beta, \varepsilon)$  – charakterystyka kierunkowa anteny radaru jako funkcja dwóch zmiennych: azymutu -  $\beta$  i kąta wzniesienia (elewacji) -  $\varepsilon$ .

W praktyce przedstawianie takiej trójwymiarowej charakterystyki oraz korzystanie z niej jest utrudnione. Dlatego też często strefy wykrywania radaru przedstawiane

są w jednej płaszczyźnie, zwykle w tej, w której nie jest przesuwana wiązka w procesie przeszukiwania (dla radaru obserwacji okrężnej – w płaszczyźnie poziomej). Dla tego przypadku charakterystyka kierunkowa jest bardzo wąska w płaszczyźnie poziomej. Wskutek obracania się anteny strefy wykrywania w tej płaszczyźnie, dla określonej wysokości, są kołami (bez uwzględnienia wpływu terenu).

Dla potrzeb NMPR strefa wykrywania radaru będzie przedstawiana i analizowana w trójwymiarowym układzie współrzędnych. Konieczne będzie również wykorzystanie formalnego jej opisu jak również dyskretnego modelu.

### 1.2.2. Formalizacja strefy wykrywania radaru

Dla potrzeb tworzenia numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej proponuje się wykorzystanie następującego opisu formalnego.

Jeżeli na przestrzeni trójwymiarowej  $X, Y, H$  określimy funkcję taką że:

$$R(x,y,h) = \begin{cases} 1 & \text{dla } p(\sigma) \geq p_{\min} \\ 0 & \text{dla } p(\sigma) < p_{\min} \end{cases} \quad (1.2)$$

gdzie:

$x, y, h$  – współrzędne przestrzenne,

$\sigma$  – skuteczna powierzchnia odbicia obiektu powietrznego,

$p(\sigma)$  – prawdopodobieństwo wykrycia obiektu powietrznego o skutecznej powierzchni odbicia  $\sigma$ ,

$p_{\min}$  – założone minimalne prawdopodobieństwo wykrycia obiektu powietrznego.

to tak określoną przestrzeń nazywać będziemy przestrzenią radiolokacyjną, a funkcję  $R(x,y,h)$  – funkcją podatności radiolokacyjnej. Przestrzeń radiolokacyjna jest zatem taką przestrzenią, na której określono podatność na działanie fal elektromagnetycznych umożliwiającą lokalizację obiektów powietrznych przez radary. Dla potrzeb praktycznej realizacji, powyżej wprowadzona definicja jest zbyt ogólna i należy ją dostosować do techniki komputerowej, a w szczególności do rastrowej mapy terenu. Proponuje się więc następujące formalne określenie odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej.

Niech  $R(x,y,h)$  będzie funkcją podatności radiolokacyjnej określoną na pewnym obszarze geograficznym ( $x \in X, y \in Y$ ) i pałapie wysokości ( $h \in H$ ). Próbując funkcję  $R(x,y,h)$  dla pewnego zbioru punktów  $\{x_i, y_j, h_k\}$ , ( $i = 1, 2, \dots, I; j = 1, 2, \dots, J; k = 1, 2, \dots, K$ ) należących do przestrzeni  $X, Y, H$  otrzymamy dyskretną funkcję podatności radiolokacyjnej  $Z$  określoną na skończonym zbiorze punktów o liczności  $I \cdot J \cdot K$ :

$$Z = R(x_i, y_j, h_k) \quad (1.3)$$

Funkcja  $Z$  tworzy dyskretne odwzorowanie przestrzeni radiolokacyjnej. Próbkę są wybierane w węzłach określonych przez cyfrową mapę terenu oraz dyskretność podziału pałapu wysokości. Takie odwzorowanie przestrzeni radiolokacyjnej może być podstawą do stworzenia bazy danych opisującej w przestrzeni  $X, Y, H$  podatność radiolokacyjną dla założonego prawdopodobieństwa wykrywania obiektów powietrznych i ich skutecznej powierzchni odbicia.

Dla jednoznacznego określenia przynależności dowolnego punktu przestrzeni  $X, Y, H$  do określonego elementu próbkowania przydatny będzie następujący zapis formalny odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej:

$$\bigwedge_{x \in x_i \pm \Delta x} \bigwedge_{y \in y_j \pm \Delta y} \bigwedge_{h \in h_k \pm \Delta h} Z(x, y, h) = Z(x_i, y_j, h_k) \quad (1.4)$$

Oznacza to, że wartość funkcji próbkowanej punktowo przyporządkowuje się dla każdego punktu przestrzeni oddalonego od punktu próbkowania we współrzędnych  $x, y, h$  odpowiednio o  $\Delta x, \Delta y, \Delta h$ . Ten wycinek przestrzeni będzie więc prostopadłością o wymiarach  $2\Delta x, 2\Delta y, 2\Delta h$ . Ze względu na jego niewielkie, w stosunku do rozpatrywanej przestrzeni radiolokacyjnej, rozmiary można go uznać w uproszczeniu za wycinek jednorodny dla wartości funkcji podatności radiolokacyjnej.

Bazując na opisie formalnym przestrzeni radiolokacyjnej i funkcji podatności radiolokacyjnej można dokonać formalizacji dotychczas stosowanych pojęć w radiolokacji takich jak: strefa wykrywania radaru, strefa informacji radiolokacyjnej rozumiana

jako suma stref wykrywania pojedynczych radarów (strefa informacji radiolokacyjnej jest nazywana często także polem radiolokacyjnym).

Strefę informacji radiolokacyjnej stanowić będzie pewien skończony zbiór elementów próbkowania przestrzeni radiolokacyjnej  $S$ , dla których wartość funkcji podatności radiolokacyjnej (wzór 1.3) jest równa jedności, tzn.  $Z(x_i, y_j, h_k) = 1$ . Zgodnie z przyjętym powyżej rozumieniem strefy informacji radiolokacyjnej, zbiór  $S$  składa się z ustalonego zbioru podzbiorów  $S_n$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), który spełnia warunek:

$$S = \bigcup_{n=1}^N S_n \quad (1.5)$$

Zbiór  $S$  oraz podzbiory  $S_n$  można umieścić w macierzy binarnej. Macierz binarna zawierająca zbiór  $S$  będzie miała następującą postać:

$$B = [b_{ijk}]_{i=1, \dots, I; j=1, \dots, J; k=1, \dots, K} \quad (1.6)$$

gdzie:

$$b_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{gdy } Z(x_i, y_j, h_k) = 1 \\ 0 & \text{gdy } Z(x_i, y_j, h_k) = 0 \end{cases}$$

Każdy z podzbiorów  $S_n$  stanowi strefę wykrywania radaru o identyfikatorze „ $n$ ”. Podzbiór  $S_n$  można z kolei umieścić w następującej macierzy binarnej:

$$B^n = [b_{ijk}^n]_{i=1, \dots, I; j=1, \dots, J; k=1, \dots, K} \quad (1.7)$$

gdzie:

$$b_{ijk}^n = \begin{cases} 1 & \text{gdy } Z_n(x_i, y_j, h_k) = 1 \\ 0 & \text{gdy } Z_n(x_i, y_j, h_k) = 0 \end{cases}$$

Korzystając z opisów przedstawionych powyżej można również dokonać formalnego opisu pojęcia współczynnika przekrycia pola radiolokacyjnego. Współczynnik ten może być charakteryzowany jako wielokrotność podatności radiolokacyjnej w do-

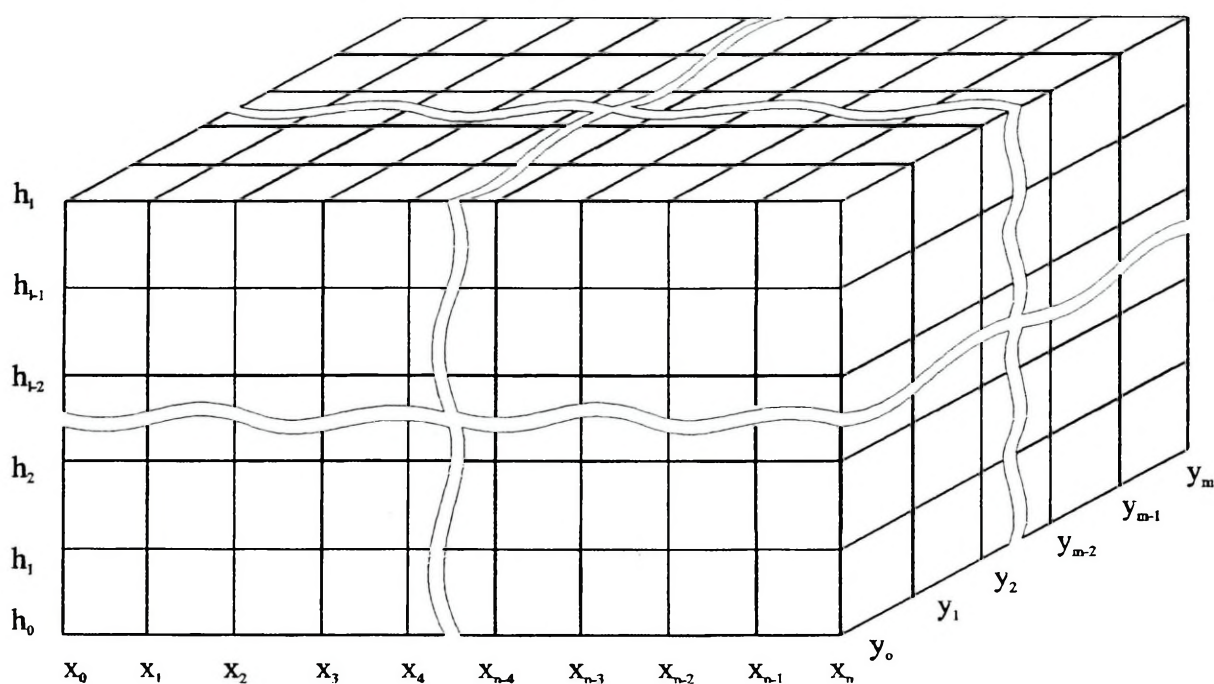
wolnym punkcie przestrzeni  $X, Y, H$ . Na podstawie wzorów 1.3, 1.5, 1.6 i 1.7 zatem, współczynnik przekrycia  $k_p$  w punkcie  $x_i, y_j, h_k$  formalnie można zapisać następująco:

$$k_p(x_i, y_j, h_k) = \sum_{n=1}^N R_n(x_i, y_j, h_k) \quad (1.7)$$

Wartość współczynnika  $k_p(x_i, y_j, h_k)$  będzie zatem zawsze mniejsza lub co najwyżej równa liczbie radarów  $N$ .

### 1.2.3. Baza danych przestrzennych

Baza danych przestrzennych będzie miała strukturę trójwymiarowej tablicy, której każdy element będzie rekordem zawierającym informacje o parametrach przestrzeni radiolokacyjnej. Informacja ta będzie dotyczyła obszaru zawartego w elementarnym prostopadłościanie. Przykładową przestrzenną strukturę takiej tablicy przedstawiono na rys. 1.2.



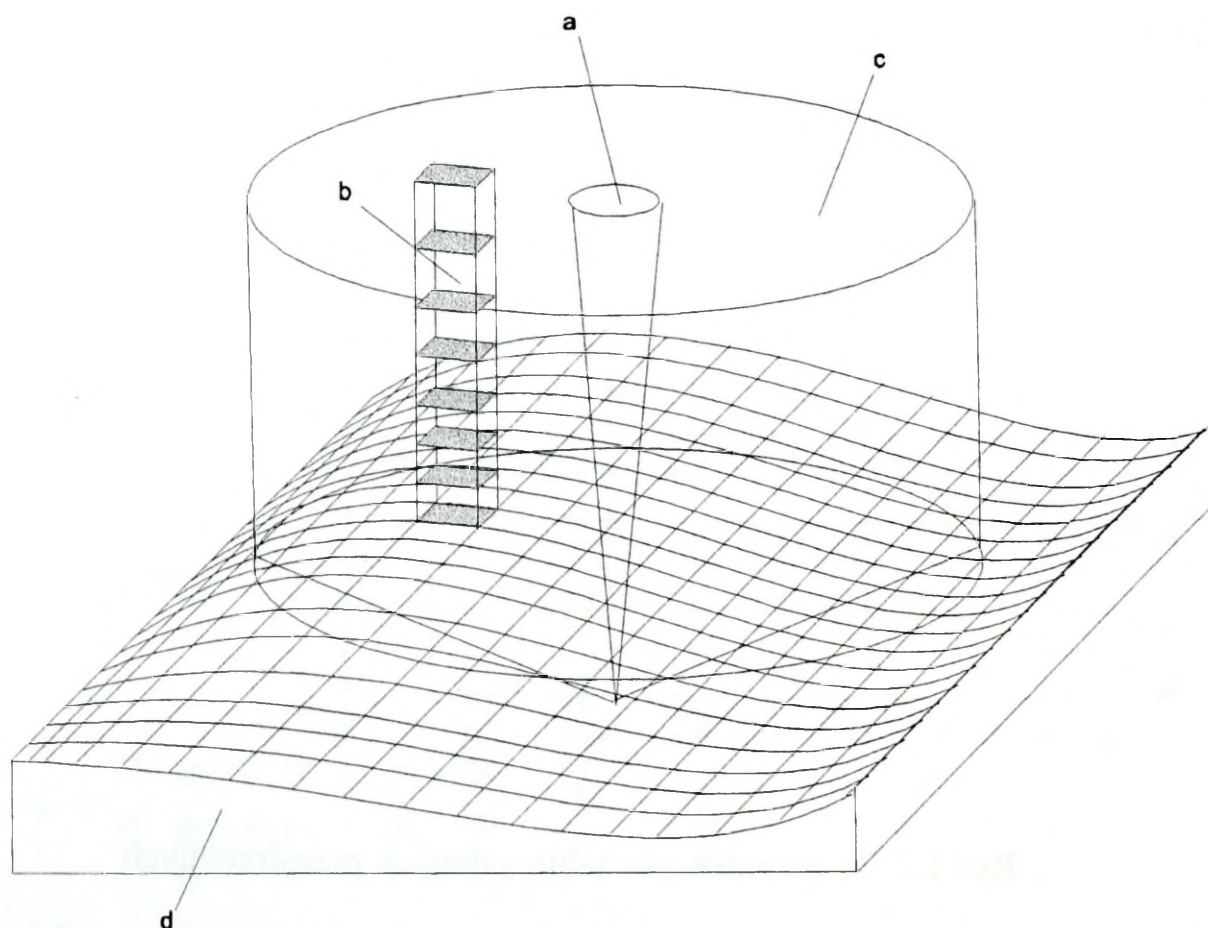
Rys 1.2. Trójwymiarowa tablica danych przestrzennych

Jako identyfikatory poszczególnych elementów tablicy (bazy danych) proponuje się przyjąć system współrzędnych stosowany w wybranej NMT. Również podstawa

sześcianu tablicy powinna być równa elementarnemu kwadratowi NMT lub jego wielokrotności.

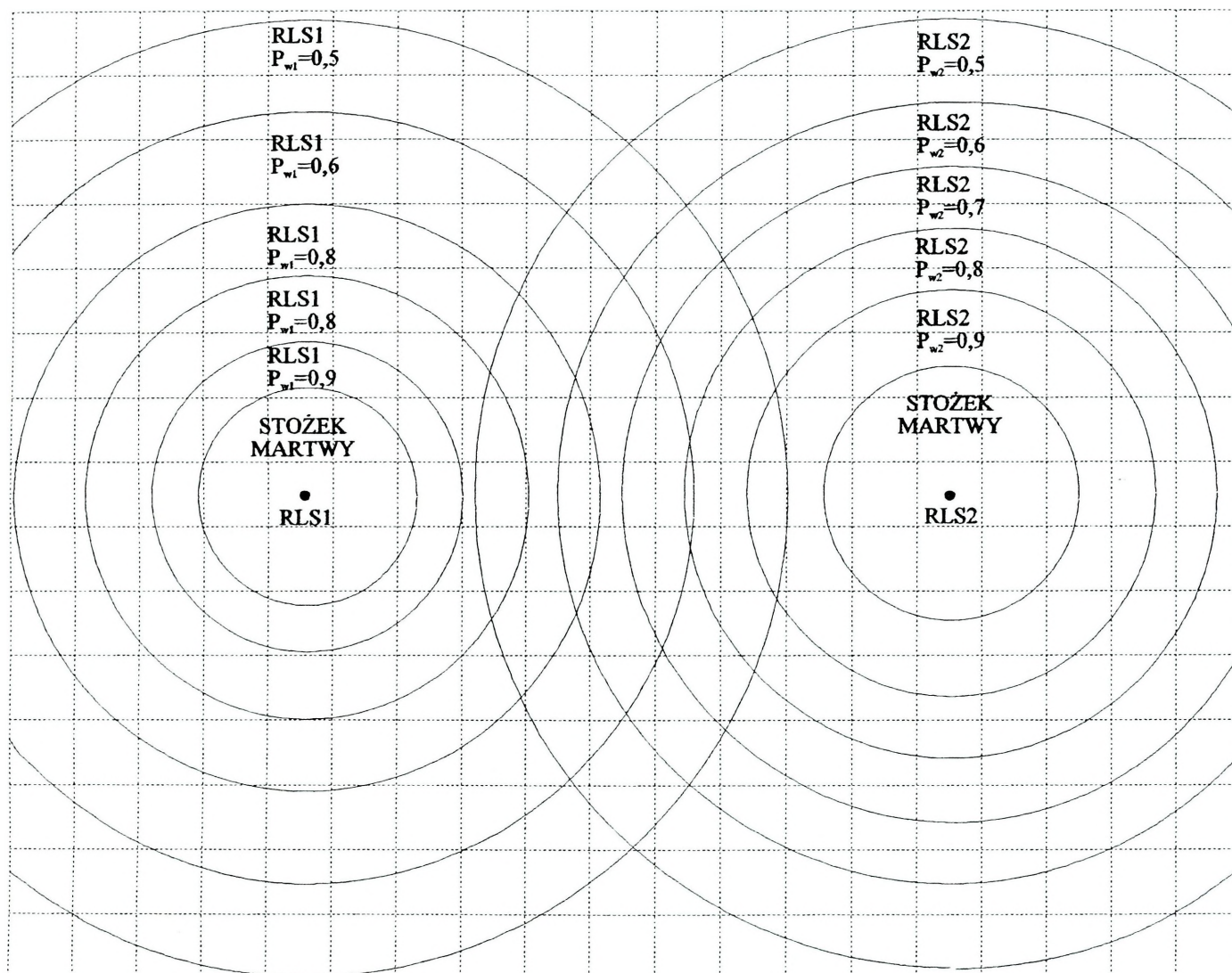
Przestrzeń powietrzna zostanie podzielona na elementarne części w kształcie prostopadłościanu o podstawie przyjętej w numerycznej mapie terenu. W rzeczywistości nie będą to prostopadłościany, lecz wycinki kuli. Uproszczenie to nie wnosi jednak istotnego błędu.

Podział ten należy przeprowadzić w dwóch etapach. W pierwszym z nich należy podzielić przestrzeń powietrzną na słupy o podstawie przyjętej w numerycznej mapie terenu. W drugim etapie należy podzielić przestrzeń powietrzną na warstwy o określonej wysokości. Warstwy te powinny być równoległe do poziomu morza i mogą mieć równe wysokości lub zmienne. Z dotychczasowych analiz wynika, że konieczne będzie zastosowanie różnych wysokości elementarnych warstw ze względu na ograniczoną pojemność nośników danych.



Rys. 1.3. Model strefy wykrywania radaru: a - stożek martwy, b - prostopadłościan elementarny, c - przestrzeń wykrywania radaru, d - teren

W wyniku takiego podziału otrzymuje się przestrzeń powietrzną zbudowaną z elementarnych prostopadłościanów o zadanych wymiarach (rys 1.3). Modelem tej przestrzeni będzie trójwymiarowa tablica danych, w której zawarte będą wartości funkcji podatności radiolokacyjnej danego radaru.



Rys. 1.4. Przykładowa zawartość tablicy danych

Na tak przygotowaną tablicę danych należy „nałożyć” strefy wykrywania radarów (rys 1.4) z uwzględnieniem w miarę możliwości wszystkich czynników na nie wpływających. Realizować to będzie moduł tworzenia NMPR.

#### 1.2.4. Moduł tworzenia NMPR

Moduł tworzenia NMPR jest jednym z głównych modułów, a od zastosowanych w nim metod zależy będzie jakość mapy przestrzeni radiolokacyjnej. Realizować on będzie następujące funkcje:

- przeliczanie współrzędnych lokalnych na globalne,
- wyznaczanie strefy wykrywania radarów,
- wpisywanie wyznaczonej strefy w strukturę bazy danych przestrzennych,
- wyznaczenie wpływu terenu na wpisaną strefę i wprowadzenie korekt.

Poszczególne funkcje realizowane będą przez oddzielne procedury. **Konieczne jest opracowanie podstaw teoretycznych i algorytmów dla tych procedur.**

#### 1.2.5. Procedura transformacji NMT

Istotnym zewnętrznym źródłem informacji dla proponowanej NMPR będzie numeryczna mapa terenu (NMT), zawierająca między innymi informacje o rzeźbie terenu. Z przeprowadzonych analiz wynika, że nie można się spodziewać, aby struktura danych jakiegokolwiek numerycznej mapy terenu spełniała bezpośrednio wymagania systemu radiolokacyjnego. Konieczne więc będzie przetworzenie numerycznej mapy terenu w radiolokacyjną numeryczną mapę terenu (RNMT). Realizować to będzie procedura transformacji NMT. W szczególności będą to następujące procesy:

- wyznaczenie rzeczywistych wysokości przeszkód terenowych przez dodanie do przeszkody zawartej w NMT wysokości dodatkowych (np. lasów, budynków, itp.),
- wyznaczenie rzeczywistych wysokości w przypadku zmiany dyskretności siatki podziału.

#### 1.2.6. Procedury użytkowe i sterujące

O sposobie wykorzystania numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej decydować będzie oprogramowanie. Powinno ono zawierać następujące procedury: sterowania, kontroli i porozumiewania się z użytkownikiem oraz procedury przeszukiwania bazy danych przestrzennych. Realizować one będą między innymi następujące funkcje:

- określania ciągłości strefy informacji radiolokacyjnej na danej wysokości,
- określania ciągłości śledzenia obiektu powietrznego dla założonej trajektorii jego lotu,
- rozmieszczania urządzeń radiolokacyjnych,
- wprowadzania parametrów różnych typów radarów,
- wprowadzania lokalizacji radarów,
- wyliczania wartości funkcji podatności radiolokacyjnej (strefy wykrywania) dla radarów o określonym typie i lokalizacji,
- „czyszczenia” bazy danych z wycofanych lub przemieszczonych radarów,
- porozumiewania się z użytkownikiem,
- zarządzania i przetwarzania w obrębie bazy danych,
- analizy parametrów przestrzeni radiolokacyjnej.

### **1.2.7. Baza danych parametrów radarów i ich dyslokacji**

Dla poprawnego funkcjonowania NMPR potrzebna będzie baza danych parametrów radarów i ich dyslokacji. Na podstawie informacji zawartych w tej bazie danych oraz w numerycznej mapie terenu budowany będzie model przestrzeni radiolokacyjnej za pomocą procedury tworzenia NMPR. Z punktu widzenia wykonawczego jest to prosta i nieskomplikowana baza danych. Problemem pozostaje jedynie właściwy dobór parametrów oraz zdobycie danych dla obecnie stosowanych radarów w kraju i na świecie.

### **1.2.8. Procedury zobrazowywania danych**

Dla każdej numerycznej mapy bardzo ważne jest odpowiednie zobrazowanie danych przestrzennych. W realizowanym projekcie numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej jest to również bardzo istotne. Przy rozwiązywaniu tego problemu można oprzeć się na rozwiązaniach zastosowanych w programie RADMAP, udoskonalić je i dostosować do nowych technologii informatycznych. W programie tym stosowane były zobrazowania typu 2D, a ponieważ NMPR jest modelem trójwymiarowym ko-

nieczne będzie również zastosowanie zobrazowania 3D. Konieczne jest też opracowanie odpowiednich wydruków dla dokumentacji wyników badań.

## 2.PROJEKT BAZ DANYCH

### 2.1. Ogólne wiadomości o bazach danych i ich projektowaniu

Dynamiczny wzrost zapotrzebowania na nowoczesne techniki gromadzenia i przechowywania informacji spowodował, że bazy danych stały się samodzielną dyscypliną informatyczną, która mimo krótkiego rozwoju zdołała wypracować własną terminologię oraz metodologię projektowania.

W tej dziedzinie istnieje w Polsce wiele nieporozumień i różnic w stosowanych przekładach terminów angielskich. Ustalona poniżej terminologia będzie stosowana w dalszych częściach pracy.

#### 2.1.1. Terminy podstawowe

W ogromnym uproszczeniu i dużym skrócie można powiedzieć, że *bazy danych* (ang. *data base*) są komputerowymi reprezentacjami fragmentów istniejącego (niekoniecznie fizycznie) świata rzeczywistego, który jest przedmiotem zainteresowania użytkowników baz. Fragmenty te będą niekiedy nazywane *wycinkami*, *światem modelowanym*, *światem rzeczywistym*.

Proces przechodzenia od świata rzeczywistego do jego informacyjnej reprezentacji w komputerze nazywamy *modelowaniem świata rzeczywistego*. Z punktu widzenia projektanta bazy danych, modelowanie składa się z następujących etapów:

- 1) wyselekcjonowanie typu informacji, jakie będą potrzebne przyszłym użytkownikom bazy,
- 2) zapisanie ich w ustrukturalizowanej formie akceptowanej przez komputer,
- 3) wprowadzenie do komputera konkretnych danych odzwierciedlających stan świata rzeczywistego.

Etap (1) nazywany jest niekiedy *konceptualizacją* świata rzeczywistego, etap (2) odnosi się do utworzenia tzw. *schematu danych*, czyli zapisania

„skonceptualizowanego” wycinka w pewnym języku narzuconym przez komputer, zaś etap (3), który zwykle poprzedzony jest pewnymi operacjami wykonywanymi przez komputer na schemacie w celu utworzenia odpowiadających temu schematowi fizycznych struktur danych, polega na założeniu bazy danych.

W komentarzu do etapu (2) należy powiedzieć, że schemat danych musi być zgodny z tzw. *modelem danych*, przez który rozumiany jest pewien ustrukturalizowany, dobrze zdefiniowany sposób opisu świata rzeczywistego. Jeśli na przykład świat opisywany jest za pomocą grafów, to wchodzi się na grunt *modelu sieciowego*, posłużenie się drzewami oznacza, że korzysta się z *modelu hierarchicznego*, wykorzystanie logiki jest możliwe w ramach *modelu logicznego* itd. Terminy „schemat danych” i „model danych” niekiedy stosowane są zamiennie, co jest dopuszczalne, jeśli nie prowadzi do nieporozumień. Wyraźnie jednak należy podkreślić, że schemat danych jest opisem konkretnego wycinka za pomocą reguł i środków dostępnych w ramach wybranego modelu danych. Model jest zatem pojęciem szerszym niż schemat.

Pojawiający się w pracy termin *informacja*, potraktowany został aksjomatycznie, to znaczy nie będzie on definiowany (ze względu na dużą trudność takiego przedsięwzięcia), wystarczające będzie bazowanie na ogólnej intuicji. Nieodzowny jest jednak następujący komentarz uściślający ten termin. Występują różnice pomiędzy informacjami prostymi, czyli takimi, których w danym kontekście nie można lub nie należy rozkładać na informacje prostsze i informacjami zagregowanymi, które są złożeniem informacji prostych według pewnych zasad.

Pomiędzy informacjami mogą występować *relacje*. Oczywiście relacja też jest informacją i w gruncie rzeczy można ją traktować tak samo, jak inne typy informacji. Zatem proces agregowania informacji jest niczym innym, jak określaniem pewnych relacji na informacjach.

Terminy *informacja* i *dane* uważane są za różne, mimo że stosunkowo często są traktowane jako synonimy. Również i w tym opracowaniu, tam gdzie nie prowadzi to do niejasności, będą terminy te traktowane zamiennie. Przez *dane* (ang. *data*) rozumiane są informacje przedstawione w konkretny sposób, za pomocą takiej, a nie innej metody reprezentacji. Przez metodę reprezentacji rozumie się (nie wdając się w

szczegóły), pewien zbiór reguł syntaktycznych, które pozwalają tworzyć na przykład napisy oraz zasady interpretowania tych napisów, czyli reguły semantyczne. Modele danych, o których była mowa wyżej, można traktować jako metody reprezentacji. Metodą reprezentacji są więc tabelki, które nawiązują do relacyjnego modelu danych.

Podobnie jak z informacjami, dane mogą być proste lub zagregowane. Należy dodać, że ta sama informacja – prosta lub zagregowana – może być przedstawiona na różne sposoby za pomocą różnych metod reprezentacji, tzn. informacja jest reprezentowana przez różne dane. Może się naturalnie zdarzyć, że (syntaktycznie) różne dane mają taką samą semantykę, czyli opisują tę samą informację.

Agregowanie informacji, ujawnianie relacji, wskazywanie reguł ma na celu strukturalizowanie informacji lub inaczej mówiąc utworzenie schematu danych. Należy podkreślić, że projektant bazy poddawany jest zazwyczaj silnemu ograniczeniu, którego źródłem jest komputer, gdzie baza będzie ulokowana. Ograniczenie polega na tym, że klasa modeli akceptowanych przez komputer narzuca sposób strukturalizacji informacji, na przykład dopuszczalne są tylko określone tabelki, co zmusza projektanta do swojego rodzaju przetłumaczenia „skonceptualizowanego” wycinka świata rzeczywistego na język dopuszczalnych modeli.

Relacje na informacjach zostały uznane także za informacje. Analogicznie relacje na danych traktowane są jako dane, czyli informacje reprezentowane w określony sposób. Jest rzeczą pragmatycznego wyboru dokonywanego przez projektanta bazy danych w procesie opisywania świata, czy relacje ujawniane są na poziomie agregowania informacji czy agregowania danych. Zazwyczaj projektant korzysta z obu możliwości jednocześnie.

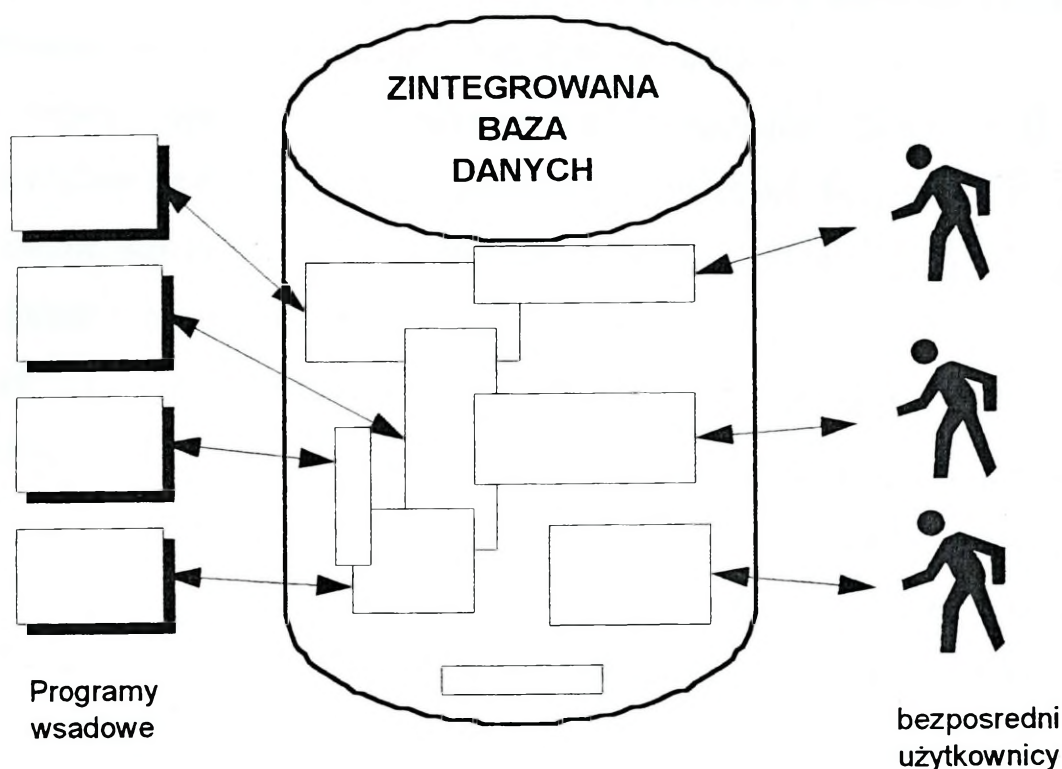
Przez bazę danych rozumie się zbiór danych zorganizowanych według wzoru określonego przez schemat danych. Zbiór ten określany jest jako *plik* (ang. *file*) lub w bardziej złożonych przypadkach – *zbiór plików*. W bazie danych, oprócz zbioru danych istotne są także inne elementy. Oto one:

- 1) zapewnienie trwałości danych (ang. *data persistency*), czyli dane nie „ulatniają” się po zakończeniu sesji pracy z komputerem – są stale dostępne,

- 2) efektywny (szybki) dostęp do dużej liczby danych, w szczególności zawartych w wielu plikach; w bardziej złożonych przypadkach żąda się zapewnienia jednoczesnego dostępu do danych wielu użytkownikom (ang. *multi-access*),
- 3) „podtrzymywanie” choć jednego modelu danych, czyli możliwość opisu wycinka w postaci schematu danych,
- 4) języki wyższego rzędu (przyjazne dla użytkownika) do:
  - opisu schematu danych,
  - manipulowania danymi, np. wyszukiwania, aktualizowania, usuwania danych,
- 5) zarządzanie transakcjami (ang. *concurrency control*), czyli zapewnienie prawidłowego dostępu do danych wielu użytkownikom, którzy pracują z bazą w tym samym czasie,
- 6) syntaktyczna kontrola danych (ang. *validation*), której celem jest sprawdzenie składniowych aspektów danych,
- 7) semantyczna kontrola danych, która korzysta z tzw. zależności semantycznych (ang. *integrity constraints*) zdefiniowanych przez projektanta bazy w celu sprawdzenia, czy dane znajdujące się w bazie lub dane wprowadzane do bazy spełniają warunki stanowiące element modelowanego świata,
- 8) zapewnienie niezależności danych (ang. *data independence*), przez co rozumie się to, że niewielkie zmiany w schemacie danych, albo zmiana fizycznego sposobu przechowywania danych w komputerze nie powinny prowadzić do istotnych zmian w jej eksploatacji,
- 9) ochrona danych rozumiana jako:
  - uniemożliwienie dostępu do danych i/lub uniemożliwienie wykonywania pewnych operacji na danych osobom nieuprawnionym,
  - fizyczne zabezpieczenie danych przed zniszczeniem lub kradzieżą,
- 10) skuteczne odtwarzanie danych po awariach systemu,
- 11) obserwowanie, monitorowanie i ocena procesów zachodzących w bazie.

Środki sprzętowe i programistyczne, które pozwalają zrealizować zadania opisane powyżej noszą nazwę *systemu zarządzania bazą danych* – *SZBD* (ang. *data base management system* – *DBMS*). Bazę danych wraz z jej systemem zarządzania nazywamy *systemem bazy danych*. Często terminy *system zarządzania bazą danych* i

system bazy danych stosowane są wymiennie. Do tej uwagi terminologicznej należy dodać, że często używa się terminu *baza danych* w rozumieniu *system bazy danych*.



Rys. 2.1. System bazy danych

System zarządzania bazą danych spełnia rolę „pośrednika” między fizyczną bazą danych, komputerem i systemem operacyjnym z jednej strony, a różnymi osobami związanymi z bazą danych w różnych fazach jej projektowania, tworzenia i eksploatacji. Są to między innymi: projektanci, realizatorzy, programiści zastosowań oraz programiści systemowi, administrator i użytkownicy (rys.2.1). Aby sprostać tym zadaniom system zarządzania bazą danych musi mieć dostęp do jednego lub kilku opisów bazy danych, czyli do wspomnianych wcześniej *modeli danych*.

### 2.1.2. Architektura systemu bazy danych

W architekturze systemu bazy danych wydzielono trzy ogólne poziomy (rys.2.2):

- poziom wewnętrzny wraz ze schematem fizycznym,
- poziom pojęciowy wraz ze schematem pojęciowym,

- poziom zewnętrzny wraz ze schematem zewnętrznym.

Ogólnie mówiąc, poziom wewnętrzny jest poziomem najbliższym pamięci fizycznej i dlatego odnosi się do sposobu, w jaki dane są rzeczywiście pamiętane. Programiście najbliższym jest zewnętrzny poziom jego zastosowań i dlatego odnosi się przede wszystkim do sposobu, w jaki dane są widziane przez poszczególnych użytkowników. Poziom pojęciowy jest „poziomem pośrednim” między dwoma poziomami. O ile poziom zewnętrzny odnosi się do obrazu danych widzianego przez poszczególnych użytkowników, o tyle poziom pojęciowy można rozważyć jako poziom definiowania wspólnego dla wszystkich użytkowników obrazu danych. Podobnie jest tylko jeden „obraz wewnętrzny” reprezentujący całą bazę danych tak, jak jest ona rzeczywiście pamiętana. Rozważmy bardziej szczegółowo poszczególne poziomy systemy danych.

#### *Poziom wewnętrzny*

Schemat fizyczny określa sposoby organizacji danych w pamięci zewnętrznej komputera. Opis ten można rozpatrywać w sposób bardziej lub mniej szczegółowy: przy najwyższym stopniu szczegółowości rozważa się poszczególne bity przechowywane w pamięci, ich znaczenie i adres, zakładając zaś najniższy stopień szczegółowości, operuje się pojęciami takimi jak rekord i plik.

#### *Poziom pojęciowy*

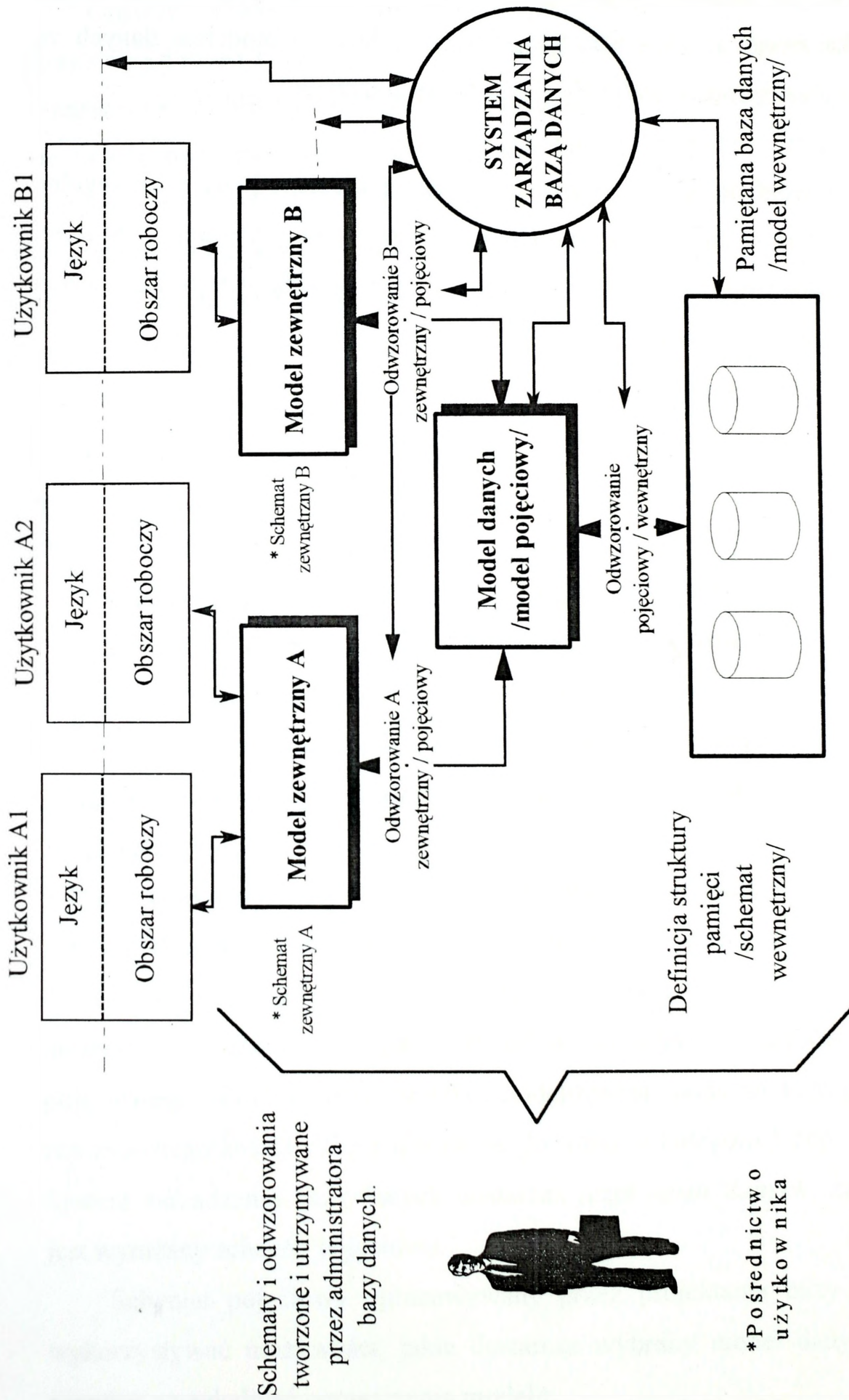
Schemat pojęciowy stanowi zasadniczy element w architekturze systemu bazy danych. Jest on abstrakcyjnym, lecz wiernym opisem pewnego wycinka rzeczywistości, dotyczy na przykład określonej instytucji, w której użytkowanie bazy danych jest niezbędne w celach zarządzania. Przejście od świata rzeczywistego do schematu pojęciowego odbywa się w wyniku modelowania, podczas którego obiekty świata rzeczywistego zostają zakwalifikowane do różnych kategorii i odpowiednio nazwane. System zarządzania bazą danych dostarcza *język opisu danych*, za pomocą którego jest wyrażany schemat pojęciowy.

Schemat pojęciowy opracowywany przez projektanta bazy danych powinien wykorzystywać możliwości, jakie dostarcza wybrany model danych oraz powinien również uwzględniać ograniczenia modelu.

Podsumowując to, co dotychczas powiedziano na temat poziomu pojęciowego, można stwierdzić, że schemat pojęciowy stanowi wynik procesu modelowania pewnego wycinka świata rzeczywistego zgodnie z wybranym modelem danych za pomocą pojęć i wyrażeń dopuszczalnych w języku opisu danych.

#### *Poziom zewnętrzny*

Poziom ten odnosi się do sposobu, w jaki dane są widziane przez poszczególne grupy użytkowników. Schemat zewnętrzny, nazywany czasami *obrazem*, odpowiadający całości lub części schematu pojęciowego, określa więc postać danych z punktu widzenia programu użytkowego.



Rys.2.2. Architektura systemu bazy danych

### 2.1.3. Modele baz danych

Aby było możliwe korzystanie z systemu bazy danych dowolnego typu, należy przede wszystkim dokonać opisu rozważanego zastosowania: opisu danych, które mają być przechowywane w bazie oraz opisu przewidywanych operacji na danych. Opisu takiego można dokonać tylko wtedy, gdy dysponuje się modelem danych umożliwiającym zrozumienie i interpretację rozważanego zastosowania.

Tworzenie modelu danych jest jedną z najważniejszych czynności w projektowaniu baz danych. Istnieje kilka podstawowych modeli danych. Są to:

- hierarchiczny model danych,
- relacyjny model danych,
- sieciowy model danych,
- logiczny model danych.

Najpopularniejszym i najszerzej obecnie stosowanym jest relacyjny model danych. Jednak w ostatnich latach bardzo dynamicznie zaczęły rozwijać się wzmocnione semantycznie bazy sieciowe i logiczne. Te drugie wprowadzają do baz danych zupełnie nowy element, jakim jest zdolność do wnioskowania. O ile bazy dotychczasowe są tylko pasywnym odbiciem świata rzeczywistego, o tyle bazy z wnioskowaniem mogą aktywnie, drogą inferencji, tworzyć nowe dane, które nie są zapisane wprost w bazie. Możliwość wprowadzenia do bazy danych mechanizmów wnioskujących ogromnie rozszerza zakres zastosowań baz, ale też zmienia metodologię ich projektowania i utrzymywania. Samo wnioskowanie w ogromnych zasobach niejednorodnych danych jest problemem samym w sobie, którego rozwiązanie nie jest łatwe. Bazy, które dziś stanowią odwzorowanie informacyjne świata rzeczywistego, a przez to są pasywnym odbiciem świata, przekształca się dzięki mechanizmowi inferencyjnemu w aktywne narzędzie do penetrowania rzeczywistości, do odkrywania w niej nieznanych dotychczas zależności i generowania danych wynikających z tych zależności. Narzędzie takie w systemie informacyjnym (w tym również radiolokacyjnym) mogłoby w znacznym stopniu wspomagać procesy decyzyjne, wpływając na wzrost ich szybkości i trafność podejmowanych decyzji. Na dużą uwagę zasługują tutaj tzw. bazy niedefinitywne, których koncepcja odnosi się do założenia Reitera o zamkniętości świata. Bazy te stanowią dobre wprowadzenie do

rozważań nad modelowaniem sytuacji z niepełną informacją, gdzie można korzystać z podejścia logicznego, w tym z nieklasycznych (niemonotonicznych) logik zaproponowanych przez Reitera i McCarthy'ego. W jakimś sensie zatem systemy baz danych przekształca się z narzędzi do rejestrowania rzeczywistości w środki do jej rozpoznawania i penetrowania. Sądzi się, że jest to transformacja o charakterze jakościowym, zmieniająca status i znaczenie dziedziny baz danych.

Wykorzystanie modelu hierarchicznego, sieciowego, czy logicznego prowadzi zwykle do powstania złożonych struktur danych, obejmujących wiele różnych typów rekordów oraz powiązań między tymi rekordami. Wykorzystanie takiej struktury danych wymaga dobrej znajomości jej elementów, przynajmniej w zakresie działania programu użytkowego.

Takiej znajomości rzeczy można wymagać od użytkowników profesjonalnych (programista, projektant, administrator bazy danych), natomiast trudno jest oczekiwać, by użytkownik końcowy, działający bezpośrednio na bazie danych, mógł bez trudu zrozumieć i właściwie wykorzystać złożoną strukturę danych. Ponieważ bezpośrednia praca użytkowników końcowych na podstawie bazy danych jest jednym z podstawowych wymagań stawianym współczesnym systemom zarządzania bazami danych, wprowadzenie modelu danych spełniającego wymagania tych użytkowników było konieczne. Za moment powstania relacyjnego modelu danych uważa się rok 1970, w którym ukazała się praca E.F.Codda dająca podwaliny tego modelu. W pracy tej, której pojawienie się było początkiem jakościowo nowego spojrzenia na bazy danych, Codd zaproponował relacyjny model danych. Jego idea oparta jest na pojęciu *n*-członowej relacji matematycznej (zmieniającej się w czasie, ale o pewnych cechach niezmiennych), jako podstawowego elementu przedstawienia logicznego obrazu sformatowanej bazy danych. Zdefiniował także szereg operacji na relacjach, umożliwiających formułowanie zapytań i kwerend do relacyjnej bazy danych. Przez całkowite oddzielenie logicznego obrazu bazy danych (zbioru relacji) od jej obrazu fizycznego (dowolnych struktur danych służących do implementacji relacji i sposobu dostępu do nich) stało się możliwe pełne zrealizowanie postulatu niezależności danych, tj. niezależności struktur danych w programach użytkowych.

Projektowaną bazę danych najwygodniej można zrealizować w oparciu o relacyjny model danych. Pociąga to za sobą wiele zalet, z których najważniejsze to:

- 1) udostępnienie schematów danych łatwych do wykorzystywania,
- 2) zapewnienie logicznej i fizycznej niezależności danych,
- 3) udostępnienie języków wysokiego poziomu, z których mogą korzystać również nieinformatycy,
- 4) optymalizacja dostępu do bazy danych,
- 5) zapewnienie integralności danych i ich poufności,
- 6) różnorodność zastosowań,
- 7) udostępnienie podejścia metodologicznego do problemu konstruowania schematów.

Z nieformalnego punktu widzenia i w dużym uproszczeniu, relacyjną bazę danych można postrzegać jako parę złożoną z następujących składników:

- zbioru tabel, których wiersze opisują obiekty lub związki występujące w modelowanym świecie,
- zbioru zależności semantycznych, które opisują ogólne prawidłowości (zasady, reguły) występujące w wycinku rzeczywistości.

Ogólnie można powiedzieć, że pierwszy składnik tej pary ujmuje aspekt ilościowy modelowanego świata, tabele bowiem zawierają konkretne dane faktograficzne. Drugi składnik natomiast dostarcza informacji ogólniejszych.

Obiekty i związki między obiektami są reprezentowane formalnie (syntaktycznie) zawsze w ten sam sposób. Uważa się to za jedną z najistotniejszych zalet podejścia relacyjnego. Od razy należy jednak zwrócić uwagę na to, że jednolitość opisu, choć atrakcyjna formalnie i użytkowo, jest źródłem pewnych ograniczeń w procesie modelowania.

Problematyka relacyjnych baz danych jest bardzo szeroka. Relacyjne podejście do reprezentowania świata rzeczywistego, ze względu na swoją jednorodność syntaktyczną, bliskie związki z algebrą, a dokładnie z teorią relacji, oraz pewną elegancją, doczekało się starannego ujęcia formalnego. W punkcie tym zostaną wyjaśnione i usystematyzowane podstawowe pojęcia związane z tym modelem danych.

Głównym obiektem relacyjnej bazy danych jest *tabela* (ang. *table*). Jest to kolekcja powiązanych informacji przedstawiana zwykle jako układ poziomych wierszy i pionowych kolumn. Już teraz warto zaznaczyć, że relacyjna baza danych może składać się z wielu połączonych między sobą tabel. Definiuje się w niej poprzez wspólne pola zależności pomiędzy tabelami. Zależności te nazywane są *relacjami*.

Każdy wiersz tabeli zawiera różnorodne informacje dotyczące konkretnego elementu. Dane z jednego wiersza to *rekord* (ang. *record*), a składowe każdego wiersza tworzą z powiązanych danych pełną jednostkę informacji.

W każdej kolumnie tabeli są przechowywane informacje konkretnego typu dla każdego rekordu. Ta kategoria danych nosi nazwę *pola* (ang. *field*).

Z definicji każda tabela w relacyjnej bazie danych ma jedno pole lub więcej pól, które jednoznacznie identyfikują każdy rekord. Taki niepowtarzalny identyfikator jest zwany *kluczem podstawowym* (ang. *primary key*). Można także zdefiniować klucz jako kombinację różnych pól, które to pola razem tworzą jednoznaczny identyfikator rekordu. Taka grupa pól nosi nazwę *klucza złożonego*. Taki klucz dopuszcza powtórzenia wartości poszczególnych pól, ale wszystkie pola, tworzące klucz złożony, nie mogą być duplikowane.

#### 2.1.4. Projektowanie baz danych

Proces budowy bazy danych, w odróżnieniu od procesu przetwarzania danych, polega nie tyle na transformacji danych wejściowych na dane wyjściowe, lecz na stworzeniu możliwie wiernego opisu wybranego wycinka rzeczywistości, aby na podstawie tego opisu udostępniać informacje różnym klasom użytkowników. Baza danych jako instrument odzwierciedlenia pewnej zmieniającej się wiedzy o wybranym wycinku rzeczywistości ujmuje w formy danych informacje, których treść i strona semantyczna są interpretowane w ramach języka naturalnego lub języka fachowego użytkownika. Dotyczy to zarówno danych wejściowych, źródłowych, jak i danych wynikowych pojawiających się na wyjściu.

### 2.1.4.1. Projektowanie systemu danych

Zasadniczą funkcją każdego systemu informacyjnego jest dostarczanie użytkownikom właściwych i dokładnych reprezentacji rzeczywistości. W tym celu należy tworzyć i przechowywać kolekcje danych – w maksymalnym stopniu reprezentatywne dla równoważnego obszaru rzeczywistości, utrzymywane i wykorzystywane przez odpowiednie programy przetwarzania, które pozwolą na odtwarzanie obrazów rzeczywistości. Jakość kolekcji danych będzie w bardzo poważnym stopniu determinować jakość usług świadczonych przez system informacyjny.

Zaprojektowanie kolekcji danych jest zatem bardzo ważną fazą w procesie tworzenia systemu informacyjnego. Kolekcje danych są tworzone i organizowane w celu ich użytkowania przez mniej lub bardziej złożone procedury przetwarzania. Projektowanie danych oraz procedur przetwarzania danych nie są więc procesami niezależnymi.

### 2.1.4.2. Tworzenie bazy danych

Tworzenie bazy oznacza konstruowanie systemu danych. Różnorodność zadań, jakim musi sprostać system bazy danych, wskazuje na wagę pracy nad jego konstruowaniem, gdyż od tego będzie zależało późniejsze jego użytkowanie, efektywność jego eksploatacji, modyfikowanie oraz rozwijanie.

W procesie budowy bazy danych bardzo często napotyka na wiele trudności, które wynikają pośrednio lub bezpośrednio z liczby i różnorodności problemów, które w tym procesie należy rozwiązywać.

Znaczna część trudności wynika z dużej liczby celów, czasami sobie przeciwstawnych. Na przykład, jeżeli pragnie się prawidłowo odzwierciedlać rzeczywistość organizacyjną, będzie się próbowało zwiększyć liczbę charakterystyk opisujących zjawiska. Nastąpi w ten sposób zwiększenie, być może nawet bardzo wyraźne, rozmiaru przechowywanych danych, co może negatywnie wpłynąć na koszty i parametry eksploatacyjne.

Byłoby także pożądane, aby na każdym etapie procesu tworzenia bazy w wyraźny sposób określić zadania, które się rozpatruje, jak również te aspekty innych

zadań, które mają być rozpatrzone w późniejszym okresie. Co więcej, jeśli przyjęte rozwiązanie musi zadowalać przeciwstawne cele, należy wyraźnie określić zasady przyjętego kompromisu.

Aktualnie istnieje kilka standardowych metod budowy baz danych. Są one uporządkowanym, w sposób mniej lub bardziej naukowy, uogólnieniem długoletnich doświadczeń firm komputerowych i informatycznych, specjalizujących się w tworzeniu oprogramowania.

W procesie tworzenia baz danych stosowane są różne podejścia. Do najważniejszych z nich należą:

- podejście sekwencyjne (klasyczne), pozwalające budować system w sposób szeregowy przez realizację kolejnych etapów projektowania,
- podejście strukturalne, pozwalające na częściowo-równoległą realizację procesów analizy, projektowania i implementacji,
- budowanie prototypu przyszłego systemu z późniejszą jego weryfikacją, modyfikacją itp.

W zasadzie każda z metod tworzenia baz danych w rzeczywistości jest procesem iteracyjnym, wielokrotnie realizującym te same etapy. Rzadko zdarza się bowiem w praktyce, by nie wprowadzano zmian w częściowo lub całkowicie zrealizowany projekt czy też oprogramowanie. Ponadto bazy danych muszą być poddawane niemalże ciągłej ewolucji, aby nadążyć za zmieniającą się rzeczywistością, wciąż rosnącymi potrzebami i wymaganiami użytkowników, a także rozwojem technologii informatycznych.

#### **2.1.4.3. Metody analizy i syntezy treści bazy danych**

Z definicji bazy danych wynika, że istotnymi cechami różniącymi metody i technologie baz danych od tradycyjnych systemów przetwarzania danych są integracja i standaryzacja zarówno treści informacji gromadzonych i przetwarzanych w systemie, jak i technologii przetwarzania. Stosowanie odpowiednich metod analizy i syntezy treści informacji w bazach danych jest o tyle istotne, że metody te są również podstawą gospodarowania zasobami danych w toku eksploatacji bazy danych.

Podejmując się określenia zawartości bazy danych musimy wziąć pod uwagę kilka faktów. Po pierwsze, niemal zawsze bazę danych projektuje się w otoczeniu innych funkcjonujących systemów informacyjnych. Baza danych ma za zadanie przejąć lub rozszerzyć możliwości informowania użytkowników realizowane przez istniejące systemy. Po drugie, otoczenie bazy danych narzuca projektantowi wiele ograniczeń, w tym determinuje tak istotne sprawy, jak: możliwość zasilania i aktualizacji bazy danych, wyjściową formę i zawartość rejestrów i słowników (skorowidzów danych), zasady identyfikacji informacji i kodowania, metody kontroli i korekty danych wejściowych. Po trzecie, projektant bazy danych ma niewielki lub żaden wpływ na otoczenie bazy danych. Część systemów otoczenia bazy danych pozostaje poza możliwością oddziaływania projektanta, np. ogólnokrajowe czy ustalone normami międzynarodowymi zasady kodowania, identyfikacji, nomenklatury, klasyfikacje itp. wchodzące do rejestrów i słowników systemów otoczenia. Po czwarte, trzeba przyjąć do wiadomości, że potrzeb informacyjnych użytkowników bazy danych nigdy nie można do końca określić, i z faktu nieokreśloności potrzeb informacyjnych wyciągnąć odpowiednich wniosków dla elastyczności rozwiązań, zwłaszcza w dalszych, „niższych” fazach procesu projektowego. Stąd też podkreśla się, że w pracy nad systemem bazy danych należy uwzględnić wnikliwą analizę potencjalnego otoczenia przyszłej bazy danych.

Celem syntezy treści bazy danych jest określenie:

- zakresu podmiotowego bazy danych,
- zakresu przedmiotowego bazy danych,
- zasad podmiotowej integracji danych, pobieranych z otoczenia bazy danych,
- zasad przedmiotowej integracji danych, pobieranych z otoczenia bazy danych.

Przez *zakres podmiotowy* bazy danych rozumiemy zbiór jednoznacznie wydzielonych obiektów lub procesów realnych, które będą opisywane w bazie danych.

Przez *zakres przedmiotowy* bazy danych rozumiemy cechę lub zbiór cech obiektów, których wartości gromadzimy w bazie danych. Zakres przedmiotowy danej opisuje jej nazwa.

*Integracja podmiotowa* danych polega na tym, aby identyfikacja obiektów opisywanych w systemach informatycznych, należących do otoczenia bazy danych, była identyczna z identyfikacją obiektów w bazie danych.

Z kolei przez *integrację przedmiotową* rozumiemy doprowadzenie do zgodności identyfikacji cech (atrybutów), których wartości gromadzimy w bazie danych, z odpowiednimi cechami (atrybutami), których wartości są gromadzone w systemach należących do otoczenia bazy danych.

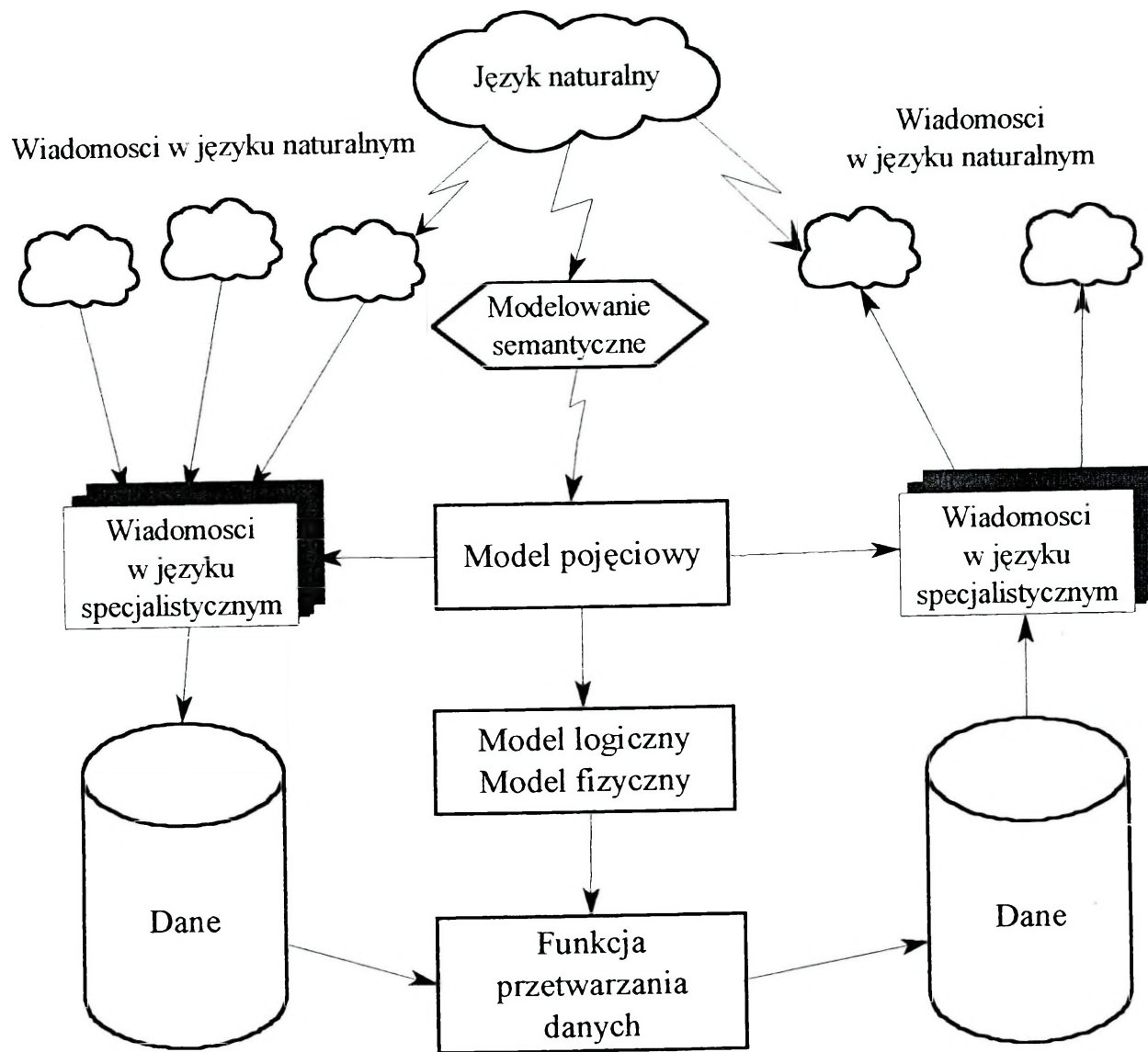
Określając cele i funkcje bazy danych, projektant musi dysponować zasobem wiedzy o organizacji, dla której projektuje bazę danych, charakteryzując dwa aspekty tej organizacji:

- potrzeby informacyjne użytkowników, opisane w formie dynamicznego modelu użytkownika,
- systemy informatyczne tworzące potencjalne otoczenie projektowanej bazy danych.

Zależnie od specyficznych cech i funkcji systemu informatycznego przeważający może się okazać raz aspekt potrzeb użytkownika, innym razem – otoczenia bazy danych. W pierwszym przypadku odwzorowaniem potrzeb informacyjnych użytkownika finalnego jest jego język; w drugim – decyduje zwykle sposób obserwacji obiektów i ich opisu w systemach, będących potencjalnym otoczeniem bazy danych. Obu tym aspektom odpowiada inne podejście do projektowania bazy danych. W pierwszym przypadku właściwe wydaje się zastosowanie tzw. podejścia semantycznego, w drugim – tzw. podejścia infologicznego.

Modelowanie semantyczne jest procesem definiowania ról i relacji symboli stosowanych do opisu wybranego wycinka rzeczywistości.

Schematycznie przedstawiono to na rysunku 2.3, w którym modelowanie semantyczne realizowane jest jako proces umiejscowiony między językiem naturalnym (lub fachowym), w jakim użytkownik interpretuje dane, a modelem pojęciowym bazy danych, będącym integralną częścią projektu bazy danych.



2.3. Proces transformacji informacji w dane

**Podjęcie infologiczne** opiera się na założeniu, że system bazy danych powinien, z jednej strony, dawać możliwości pełnego i elastycznego opisu wybranego wycinka rzeczywistości, a z drugiej – powinien imitować funkcje umysłu ludzkiego produkowania informacji o tej rzeczywistości na podstawie zawartości pamięci. Informacje o rzeczywistości uzyskuje się obserwując pewne wydzielone i zidentyfikowane obiekty. Tak więc rzeczywistość, która ma być opisana w projektowanej bazie danych, jest zbiorem powiązanych ze sobą obiektów.

Z drugiej strony, jeżeli projektując model danych chcemy by maksymalnie wiernie odzwierciedlić fizyczną strukturę bazy danych, to otrzymamy „czysto” fizyczny model danych.

W niniejszej pracy skoncentrujemy się na możliwości stworzenia modelu danych jak najlepiej odzwierciedlającego rzeczywistość z punktu widzenia użytkownika bazy danych. Model taki nazywamy *modelem infologicznym*.

Rodzi się pytanie, dlaczego nie można zaprojektować bazy danych w taki sposób, aby jej struktura fizyczna odpowiadała obrazowi rzeczywistości, jaką postrzega użytkownik? Wtedy bowiem różnica między modelem infologicznym a modelem fizycznym byłaby minimalna. Odpowiedź na tak postawione pytanie jest następująca. Nie dysponujemy jeszcze na tyle tanimi i szybkimi urządzeniami pamięciowymi, aby rozwiązania takie były praktycznie możliwe. Aby wyszukiwać dane z bazy wystarczająco szybko i po rozsądnym koszcie, musimy organizować struktury fizyczne danych w sposób optymalnie dostosowany do możliwości urządzeń pamięciowych, jakimi dysponujemy. „Rzeczywiste” dane w bazie danych (tzn. dane o rzeczywistości) trzeba uzupełniać zbiorami indeksów i innymi pomocniczymi danymi, które ułatwiają wyszukiwanie danych w bazie.

Podczas projektowania bazy danych, bierze się pod uwagę pewne funkcje, które powinna ona realizować w rzeczywistej sytuacji. Podstawowym celem bazy danych jest zazwyczaj albo automatyczne wykonywanie pewnego procesu, albo co najmniej wspomaganie wykonywania pewnego procesu przez dostarczanie żądanych informacji. Można powiedzieć, że baza danych jest niejako odbiciem interesujących szczegółów rzeczywistości. Oczywiście nie może ona przechowywać wszystkich szczegółów każdej rzeczy z modelowanej rzeczywistości. Zwykle staramy się przechowywać tylko szczegóły ważne z naszego punktu widzenia.

## 2.2. Struktura baz danych

### 2.2.1. Wiadomości wstępne

Proces tworzenia bazy danych powinien rozpocząć się od zestawienia problemów, na które napotyka projektant definiując system danych. Można zakwalifikować je do trzech grup.

Pierwszą z nich są *problemy reprezentacji* dotyczące zasadniczo sposobu wyrażania semantyki:

jakie są klasy zjawisk, które będą reprezentowane w bazie;

- za pomocą jakich pojęć lub ich kombinacji reprezentować zjawiska,
- za pomocą jakich danych odzwierciedlać każde ze zjawisk.

Druga grupa to *problemy użytkownika* dotyczące sposobu wyrażania reprezentacji zjawisk. Sprowadzają się one do podjęcia decyzji:

- jaki model wybrać w celu strukturalizowania danych, które odpowiadają poszczególnym pojęciom,
- w jaki sposób strukturalizować reprezentację zjawisk,
- jakie są ścieżki logiczne, które trzeba potraktować w sposób uprzywilejowany w przestrzeni danych?

Trzecia grupa to *problemy eksploatacji* dotyczące takiego rozmieszczenia danych, aby zapewnić eksploatację na zadowalającym poziomie. Aby w efektywny sposób odpowiedzieć na żądania informacyjne, należy zdecydować:

- jaką przyjąć organizację danych i metody dostępu,
- jak zapewnić bezpieczeństwo i poufność danych?

Problemy te uzasadniają potrzebę usystematyzowania zadań i dlatego też powinny być brane pod uwagę według określonej kolejności. Należy również zaznaczyć, że część z nich należy rozpatrywać oddzielnie: problemy natury organicznej i fizycznej oraz problemy natury funkcjonalnej i logicznej.

#### **Czynniki wpływające na tworzenie bazy danych**

Wybór konkretnego podejścia do tworzenia bazy danych powinien być dokonywany pod wpływem analizy warunków, w jakich ma powstawać

i funkcjonować projektowany system. Przy projektowaniu bazy danych dla potrzeb NMPR wzięto pod uwagę następujące czynniki:

- wielkość przedsięwzięcia,
- zakres wiedzy o otoczeniu projektowanej bazy danych,
- czas przeznaczony na realizację systemu,
- charakter współpracy z użytkownikiem.

W procesie projektowania bazy danych NMPR zastosowano podejście sekwencyjne (klasyczne), pozwalające budować system w sposób szeregowy przez realizację kolejnych etapów projektowania.

### **Etapy tworzenia bazy danych**

Przedstawione powyżej problemy uzasadniają potrzebę usystematyzowania zadań projektowania bazy danych realizując je oddzielnymi etapami..

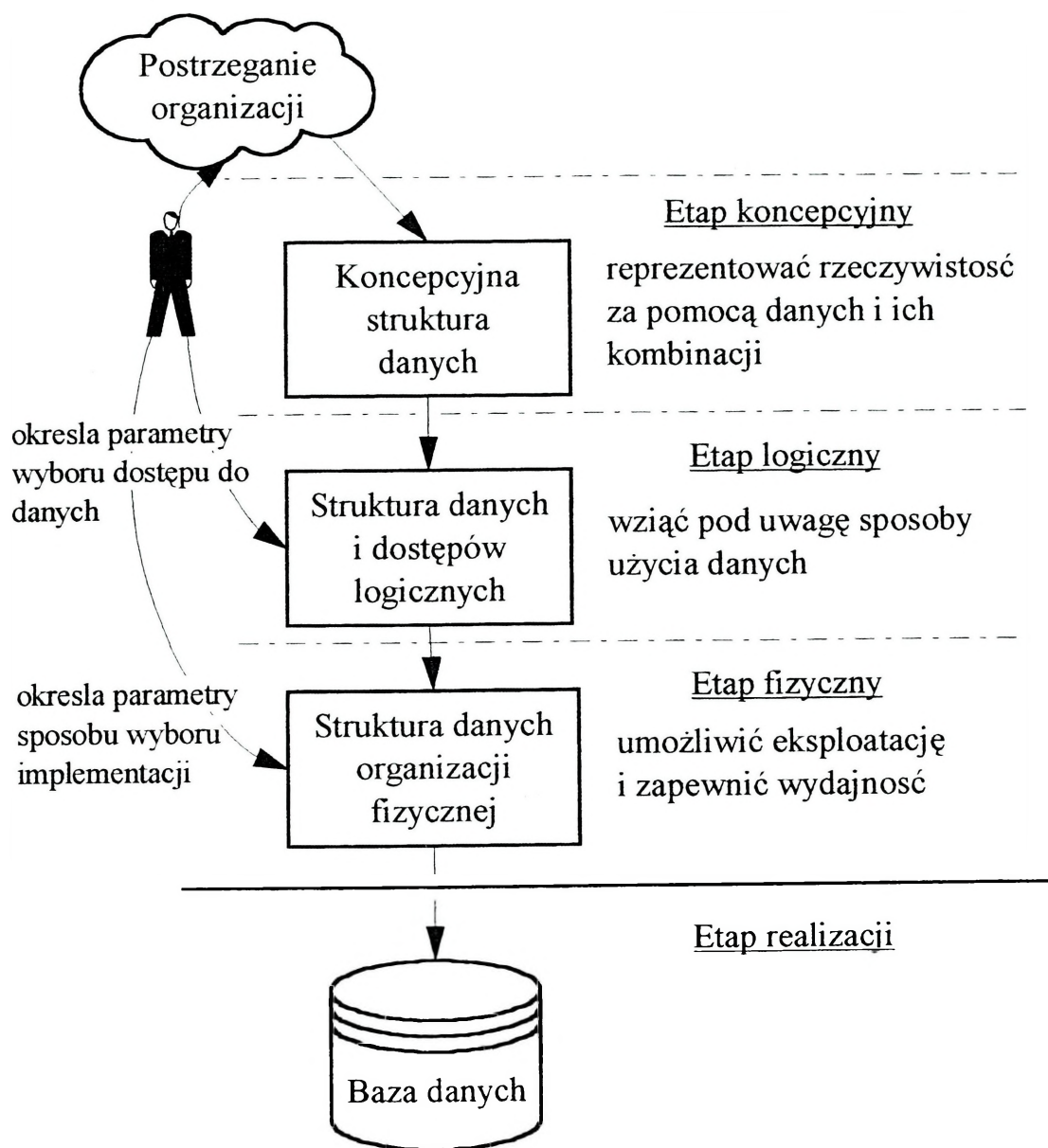
Pierwszym zadaniem w projektowaniu bazy danych jest właściwe wyrażenie semantyki rzeczywistości. Zadanie to prowadzi do znalezienia odpowiedniego wyrażenia pojęciowego faktów w rzeczywistym systemie. Prowadzi to do podzielenia procesu definiowania systemu danych na trzy kolejno następujące po sobie etapy (rys.2.4):

- etap koncepcyjny (pojęciowy),
- etap logiczny,
- etap fizyczny.

*Etap koncepcyjny* powinien pozwolić na dobrą reprezentację wziętych pod uwagę zjawisk organizacyjnych. Jako dobrą rozumie się reprezentację kompletną, wierną, spójną i zapewniającą możliwość jej rozwijania.

*Etap logiczny* powinien zapewnić definicję rozwiązania, w którym będą wzięte pod uwagę wszystkie warunki użytkowania danych.

*Etap fizyczny* powinien doprowadzić do ostatecznego sformułowania rozwiązania technicznego, za pomocą którego będzie możliwa realizacja bazy danych.



Rys. 2.4. Etapy projektowania

### Metody i narzędzia wspomagające proces budowy

Metody wspomagające proces budowy bazy danych polegają na:

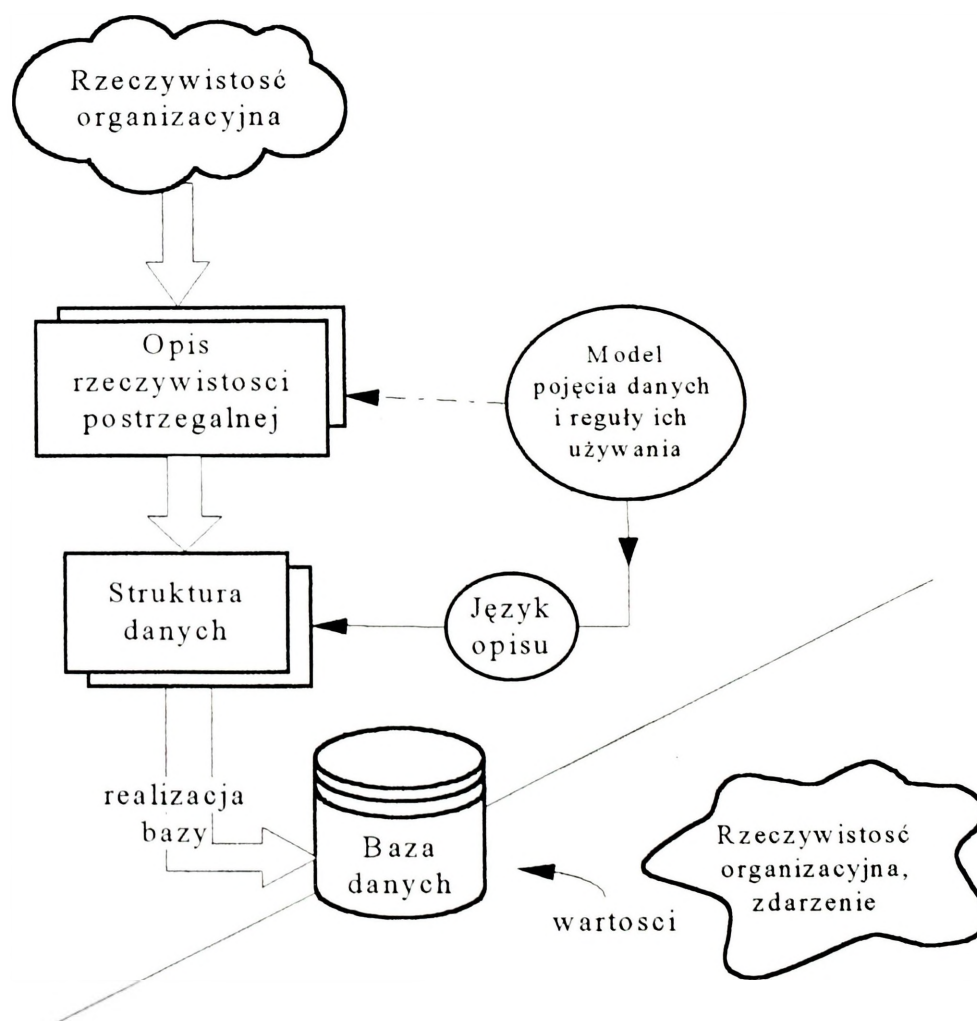
- zorganizowaniu prac w formie etapów;
- wyszczególnieniu problemów do rozwiązania na każdym z etapów;
- wskazaniu sposobów ich przedstawienia i rozwiązywania.

Aby metoda mogła przejść ze stadium normatywnego do stadium naukowego, musi opierać się na sprecyzowanych pojęciach. Rozwiązywanie problemów procesu budowy w sposób naukowy wymaga umiejętności proponowania modeli rozwiązań oraz dysponowania językami w celu wyrażenia rozwiązania za pomocą zespołu pojęć.

Wspomaganie ujmowane najszerzej można sobie wyobrazić w ten sposób, że pewna liczba problemów, występujących w ramach postępowania metodycznego, byłaby realizowana w sposób automatyczny przez narzędzia.

Dla etapów koncepcyjnego i logicznego budowy systemu informacyjnego przyjmuje się następujący plan prezentacji:

- 1) cele etapu,
- 2) informacje i parametry brane pod uwagę na początku etapu,
- 3) uzyskane rezultaty i sposób ich wyrażenia; są one przedstawiane w formie struktury danych i opisanej w języku definiowania danych (rys.2.5),
- 4) metoda transformacji informacji wejściowych etapu w informacje wynikowe.



## 2.5. Funkcje komplementarne modelu, struktury danych, języka opisu i bazy danych

### 2.2.2. Wstępny model bazy danych

Biorąc pod uwagę problemy reprezentacji, które zasadniczo dotyczą sposobu wyrażania semantyki rzeczywistości, w celu pełnego i elastycznego opisu wybranego wycinka rzeczywistości wykorzystano na tym etapie podejście infologiczne.

Decydując się na zastosowanie podejścia infologicznego musimy zdefiniować obiekty, powiązania między tymi obiektami oraz atrybuty tych obiektów.

W wyniku analizy NMPR stwierdzono, że baza danych tego systemu powinna zawierać następujące obiekty:

- RADAR
- ELEMENTARNY PROSTOPADŁOŚCIAN PRZESTRZENI  
POWIETRZNEJ

#### Informacje o radarach

Wymienione poniżej informacje są potrzebne do określenia typu radaru, parametrów taktyczno-technicznych, przynależności w ramach struktur organizacyjnych, stanu pracy oraz lokalizacji w terenie. Są one podstawą do wyznaczenia stref wykrywania pojedynczych radarów, a także kompanii i batalionów radiotechnicznych.

- 
- ⇒ numer radaru,
  - ⇒ numer kompanii radiotechnicznej,
  - ⇒ numer batalionu radiotechnicznego,
  - ⇒ stan pracy,
  - ⇒ lokalizacja stacji radiolokacyjnej w terenie.
- 
- ⇒ typ stacji radiolokacyjnej,
  - ⇒ maksymalne odległości wykrywania na poszczególnych wysokościach (zasięgi),
  - ⇒ minimalne odległości wykrywania na poszczególnych wysokościach (określające stożek martwy),
  - ⇒ pasmo pracy,
  - ⇒ parametry anteny:
    - polaryzacja,
-

- 
- zysk kierunkowy
  - wysokość zawieszenia anteny,
  - masa całkowita,
  - szerokość wiązki między punktami połowy mocy,
  - wysokość wiązki,
  - rozpiętość największej anteny,
  - wysokość największej anteny,
  - inne dane (pochylenie charakterystyki, współczynnik fali bieżącej, ilość i typ anten)
- ⇒ liczba kanałów,
  - ⇒ moc nadajników,
  - ⇒ czas trwania impulsu oraz częstotliwość powtarzania,
  - ⇒ współczynnik szumów oraz czułość odbiornika,
  - ⇒ prędkość obrotowa anteny,
  - ⇒ dokładność określania współrzędnych: odległości i azymutu,
  - ⇒ rozróżnialność: w odległości i azymucie,
  - ⇒ możliwość przestrajania aparatury nadawczo-odbiorczej,
  - ⇒ układy przeciwwzakłócenieniowe,
  - ⇒ czas włączenia,
  - ⇒ rodzaj zasilania,
  - ⇒ pobór mocy,
  - ⇒ informacje o mobilności radaru,
  - ⇒ możliwość manewru (czas rozwijania i zwijania),
  - ⇒ potrzebna ilość pojazdów do przebazowania,
  - ⇒ charakterystyki promieniowania (graficzne),
  - ⇒ inne dane o parametrach radaru.
-

Informacje o elementarnych prostopadłościanach przestrzeni powietrznej

Poniższe informacje służą do jednoznacznego zidentyfikowania prostopadłościanu oraz określenia, przez które radary zostanie wykryty obiekt powietrzny o zadanej skutecznej powierzchni odbicia przy ustalonym prawdopodobieństwie poprawnego wykrycia.

- ⇒ współrzędne prostokątne położenia elementarnego prostopadłościanu w przestrzeni powietrznej,
- ⇒ informacje o wykryciu lub niewykryciu przez poszczególne stacje radiolokacyjne obiektu powietrznego o określonej skutecznej powierzchni odbicia i przy założonym prawdopodobieństwie poprawnego wykrycia znajdującego się w danym sześciacie.

W tabeli 2.1 został przedstawiony pełny opis obiektów wyróżnionych w analizowanym problemie:

Tabel 2.1. Opis obiektów i ich własności

L.p.	TYP OBIEKTU	OZNACZENIE SYMBOLICZNE	DEFINICJA WŁASNOŚCI
1.	RADAR	Nr_SRL	Numer jednoznacznie określający radar
		Nr_krt	Numer kompanii radiotechnicznej
		Nr_brt	Numer batalionu radiotechnicznego
		Stan	Stan pracy radaru
		Typ	Typ radaru
		Lok_X	Długość geograficzna lokalizacji radaru
		Lok_Y	Szerokość geograficzna lokalizacji radaru
2.	PARAMETRY RADARU	Pasmo	Pasmo pracy radaru
		h_ant	Wysokość zawieszenia anteny
		Mobilna	Informacja, czy radar jest mobilny,
		Skład	Ilość samochodów potrzebnych do przebazowania radaru
		Czas_rozw	Czas rozwijania radaru
		Czas_zw	Czas zwijania radaru
		itd	itd.
3.	STREFA WYKRYWANIA RADARU DLA PIERWSZEJ WARTOŚCI SPO I PIERWSZEJ WARTOŚCI P <sub>PW</sub>	Strefa_1_1	Strefa wykrywania radaru dla pierwszej wartości SPO i pierwszej wartości P <sub>PW</sub>
		1_1_max_H1	Maksymalny zasięg wykrywania na wysokości H1
		1_1_min_H1	Minimalny zasięg wykrywania na wysokości H1
		1_1_max_H2	Maksymalny zasięg wykrywania na wysokości H2

4.		1_1_min_H2	Minimalny zasięg wykrywania na wysokości H2
		1_1_max_H3	Maksymalny zasięg wykrywania na wysokości H3
		1_1_min_H3	Minimalny zasięg wykrywania na wysokości H3
		itd.	itd.
	STREFA WYKRYWANIA RADARU DLA N- TEJ WARTOŚCI SPO I M-TEJ WARTOŚCI P <sub>PW</sub>	Strefa_n_m	Strefa wykrywania radaru dla n-tej wartości SPO i m-tej wartości P <sub>PW</sub>
		n_m_max_H1	Maksymalny zasięg wykrywania na wysokości H1
		n_m_min_H1	Minimalny zasięg wykrywania na wysokości H1
		n_m_max_H2	Maksymalny zasięg wykrywania na wysokości H2
		n_m_min_H2	Minimalny zasięg wykrywania na wysokości H2
		n_m_max_H3	Maksymalny zasięg wykrywania na wysokości H3
		n_m_min_H3	Minimalny zasięg wykrywania na wysokości H3
	itd.	itd.	
	5.	ELEMENTARNY PROSTOPAD- ŁOŚCIAN PRZESTRZENI POWIETRZNEJ	WSP_X
WSP_Y			Współrzędna Y położenia prostopadłościanu w przestrzeni
WSP_H			Współrzędna H położenia prostopadłościanu w przestrzeni
1_1_1			Informacja, czy znajdujący się w sześcianie obiekt powietrzny o pierwszej wartości skutecznej powierzchni odbicia zostanie wykryty przez radar o numerze 1 przy założonej pierwszej wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia

		1_1_m	Informacja, czy znajdujący się w sześcianie obiekt powietrzny pierwszej wartości skutecznej powierzchni odbicia zostanie wykryty przez radar o numerze 1 przy założonej m-tej wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia
		itd.	itd.
		1_n_1	Informacja, czy znajdujący się w sześcianie obiekt powietrzny o n-tej wartości skutecznej powierzchni odbicia zostanie wykryty przez radar o numerze 1 przy założonej pierwszej wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia
		1_n_m	Informacja, czy znajdujący się w sześcianie obiekt powietrzny o n-tej wartości skutecznej powierzchni odbicia zostanie wykryty przez radar o numerze 1 przy założonej m.-tej wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia
		itd.	Itd
		k_n_m	Informacja, czy znajdujący się w sześcianie obiekt powietrzny o n-tej wartości skutecznej powierzchni odbicia zostanie wykryty przez radar o numerze k przy założonej m-tej wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia

### 2.2.3. Normalizacja bazy danych

Modelowanie koncepcyjne polega na:

- wyrażaniu za pomocą schematów relacji i powiązań, które zostały przyjęte w semantycznym modelu bazy danych;
- normalizacji tych schematów.

Pierwszy krok to utworzenie schematów relacji w dowolnej formie. Dopuszczalne są w niej opisy zawierające atrybuty nieelementarne, mogące ulec rozkładowi na zestawy atrybutów, listy itp. Jest to forma relacji najbardziej zbliżona do naturalnego człowiekowi opisu rzeczywistości. Forma dowolna będąca pierwszym podejściem do opisu relacji ma postać:

**Radar** (Nr\_rad, Nr\_brt, Nr\_krt, Stan, Typ, Parametry, Strefa\_1\_1, Strefa\_1\_2, ... ,  
Strefa\_1\_m, Strefa\_2\_1, Strefa\_2\_2, ... , Strefa\_2\_m, ... ,  
Strefa\_n\_1, ... , Strefa\_n\_m, Lok\_X, Lok\_Y)

**Przestrzeń** (WSP\_X, WSP\_Y, WSP\_H, 1\_1\_1, 1\_1\_2, ... , 1\_1\_m, 1\_2\_1, 1\_2\_2, ... ,  
1\_2\_m, ... , 1\_n\_1, 1\_n\_2, ... , 1\_n\_m, ... , 2\_1\_1, ... , k\_n\_m)

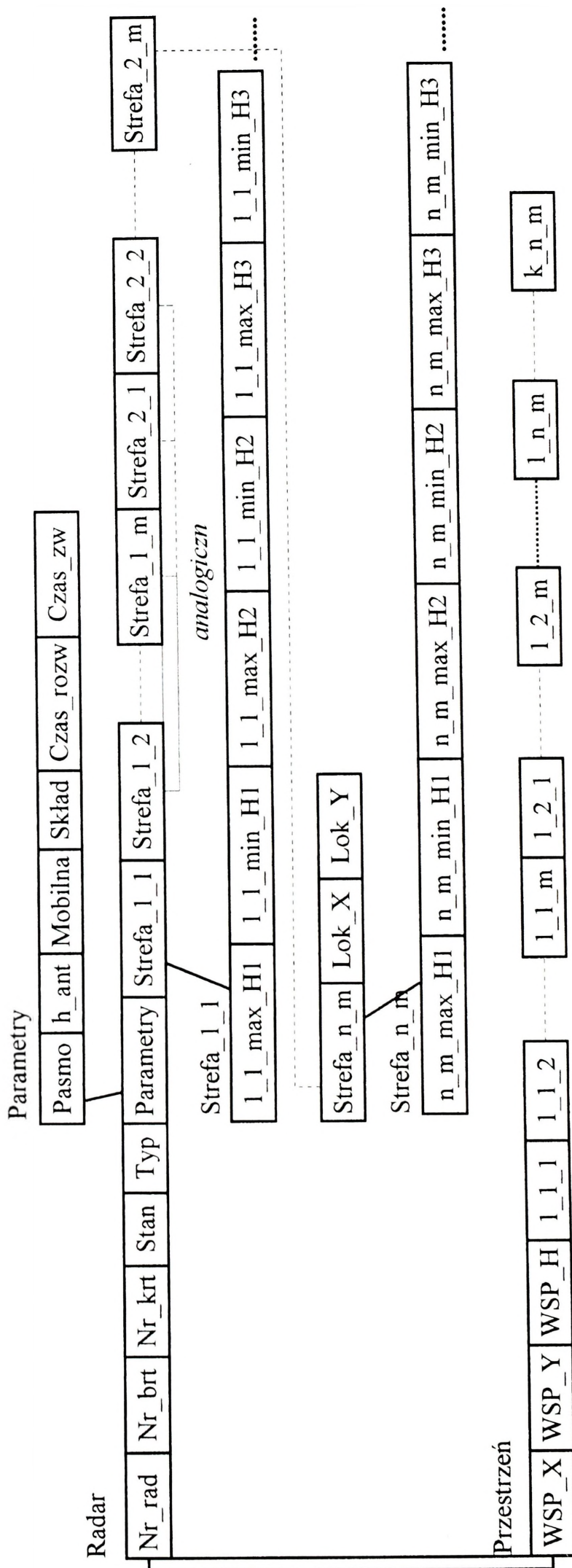
Podane powyżej relacje w pełni definiują opisywaną sytuację rzeczywistą. Struktura bazy danych w formie dowolnej przedstawiona jest na rys. 2.6.

Rzeczą zupełnie podstawową jest wymóg, aby pojedyncze pole każdej tabeli zawierało informację elementarną, jednostkową. O tabeli spełniającej go powiemy, że jest w *pierwszej postaci normalnej (1NF)*.

Wobec takiej definicji 1NF relacje przyjmą następującą postać:

**Radar** (Nr\_rad, Nr\_brt, Nr\_krt, Stan, Typ, Lok\_X, Lok\_Y, Pasma, h\_ant, Mobilna,  
Skład, Czas\_rozw, Czas\_zw, ... , 1\_1\_max\_H1, 1\_1\_max\_H2, ... ,  
1\_1\_min\_H1, 1\_1\_min\_H2, ... , 1\_m\_max\_H1, 1\_m\_max\_H2, ... ,  
1\_m\_min\_H1, 1\_m\_min\_H2, ... , n\_m\_max\_H1, n\_m\_max\_H2, ... ,  
n\_m\_min\_H1, n\_m\_min\_H2, ...)

**Przestrzeń** (WSP\_X, WSP\_Y, WSP\_H, 1\_1\_1, 1\_1\_2, ... , 1\_1\_m, 1\_2\_1, 1\_2\_2, ... ,  
1\_2\_m, ... , 1\_n\_1, 1\_n\_2, ... , 1\_n\_m, ... , 2\_1\_1, ... , k\_n\_m)



Rys. 2.6. Struktura bazy danych w formie dowolnej

Tak przedstawione relacje są w 1NF. Struktura bazy danych w 1NF uwzględnia teraz wszystkie składniki elementarne. Struktura ta przedstawiona jest na rys 2.7.

Uniknięcie *redundancji danych* (ich niepotrzebnego powtarzania w tabeli i w bazie danych) to zadanie kolejnych etapów normalizacji.

Tabela jest w *drugiej postaci normalnej (2NF)*, gdy każde z pól nie wchodzących w skład klucza zależy od całego klucza, a nie od jego części.

Z definicji tej wynika, że aby doprowadzić tabelę do 2NF należy ustalić klucze poszczególnych relacji, a następnie sprawdzić, czy atrybuty zawarte w kluczu niosą informację o całym kluczu, a nie o jego fragmentach.

### **Radar**

- Nr\_rad (klucz główny)

### **Przestrzeń**

- WSP\_X + WSP\_Y + WSP\_H (klucz główny)

Również z przedstawionej definicji wynika wprost, że rozważanie, czy tabela (relacja) jest w 2NF ma sens wtedy, gdy klucze mają więcej niż jeden składnik. Jeśli tabela ma klucze składające się tylko z jednego atrybutu, to jest automatycznie w 2NF. Wobec tego tabela **Radar** jest tabelą w 2NF.

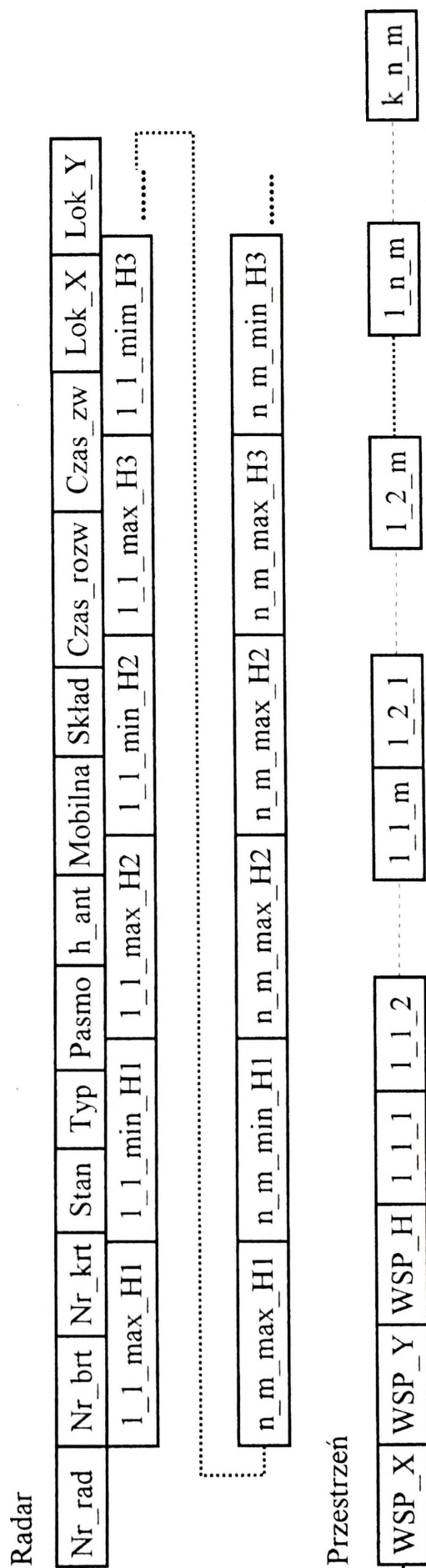
Tabela **Przestrzeń** również jest w 2NF, gdyż wszystkie atrybuty nie wchodzące w skład kluczy są funkcjonalnie zależne od tych kluczy.

Jak widać relacje w 2NF zawierają ogromne ilości redundantnych informacji. Przejście do 3NF jest pierwszym etapem likwidacji tej redundancji.

*Trzecia postać normalna (3NF)* wyklucza bowiem istnienie w tabeli pól nie należących do klucza głównego, a zależnych od wartości pola również nie należących do klucza głównego.

W tabeli **Radar** występują atrybuty, które są funkcjonalnie zależne od kluczy, ale również odnoszą się do innych atrybutów nie wchodzących w skład kluczy. Wobec tego powstaną nowe tabele **Parametry**, **Strefa\_1\_1**, **Strefa\_1\_m**, ..., **Strefa\_n\_m**. W celu powiązania tych tabel z konkretną stacją radiolokacyjną należy do każdej z nich dodać atrybut **Typ**, będący jednocześnie kluczem obcym tej tabeli.

W wyniku zaistniałych zależności wynikających z definicji 3NF, relacje w tej formie przyjmą następującą postać:



Rys. 2.7. Struktura bazy danych w 1NF

**Radar** (Nr\_rad, Nr\_brt, Nr\_krt, Stan, Typ, Lok\_X, Lok\_Y)

**Parametry** (Typ, Pasma, h\_ant, Mobilna, Skład, Czas\_rozw, Czas\_zw, ...)

**Strefa\_1\_1** (Typ, 1\_1\_max\_H1, 1\_1\_max\_H2, ..., 1\_1\_min\_H1, 1\_1\_min\_H2, ...)

**Strefa\_1\_m** (Typ, 1\_m\_max\_H1, 1\_m\_max\_H2, ..., 1\_m\_min\_H1, 1\_m\_min\_H2, ...)

.....

.....

.....

**Strefa\_n\_m** (Typ, n\_m\_max\_H1, n\_m\_max\_H2, ..., n\_m\_min\_H1, n\_m\_min\_H2, ...)

**Przestrzeń** (WSP\_X, WSP\_Y, WSP\_H, 1\_1\_1, 1\_1\_2, ..., 1\_1\_m, 1\_2\_1, ..., 1\_2\_m, ..., 1\_n\_1, ..., 1\_n\_m, ..., k\_n\_m)

Czwarta postać normalna (4NF) nie pozwala na występowanie w jednej tabeli zależności wielowartościowych, o ile nie dotyczą one klucza tej tabeli.

Warunek ten jest spełniony przez wszystkie nasze relacje.

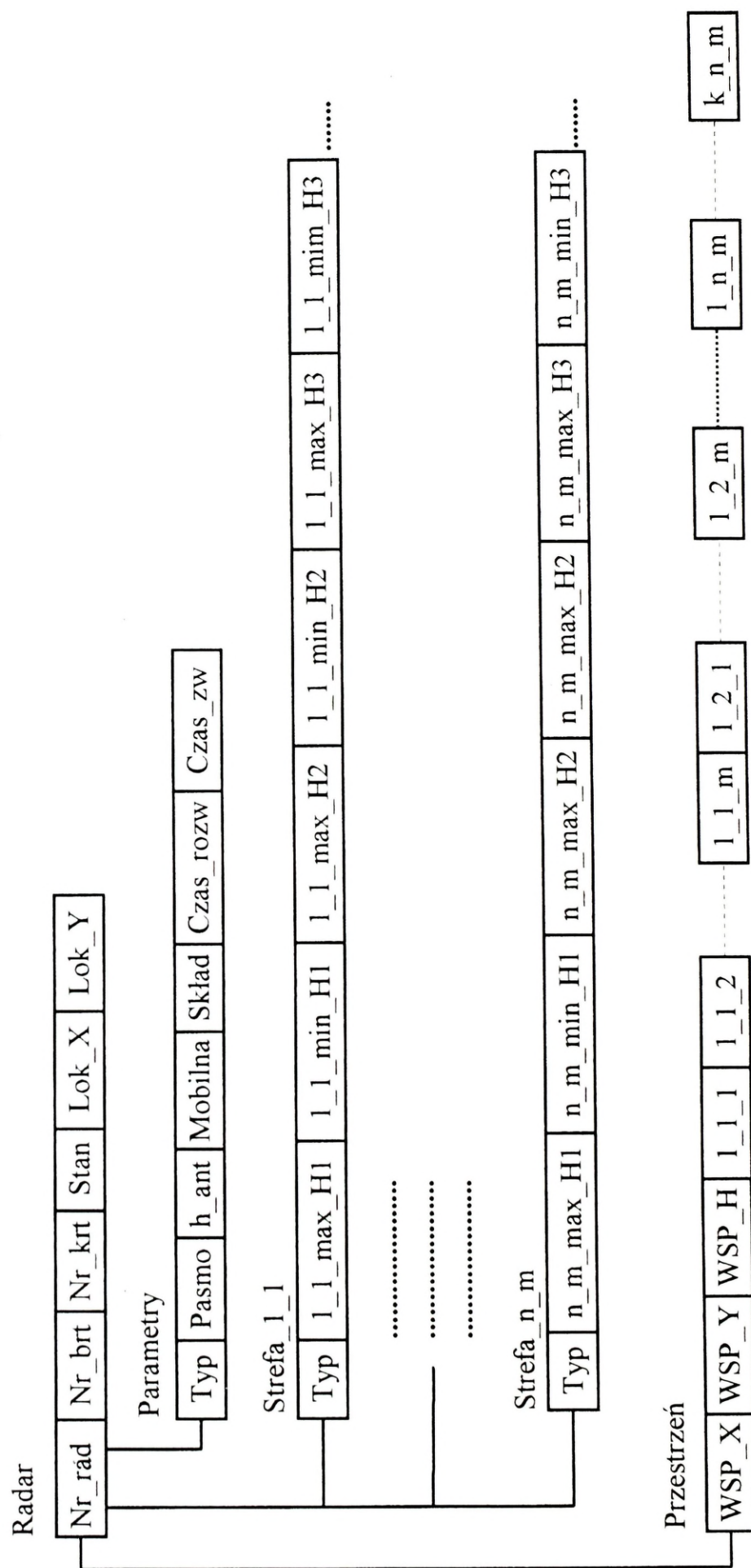
Tabela jest w piątej postaci normalnej (5FN), jeśli dopisywanie kolejnych wierszy tabeli nie powoduje powielania informacji.

Również ten warunek jest spełniony przez wszystkie nasze tabele.

Struktura projektowanej bazy danych w 5NF jest tożsama ze strukturą w 3NF. Przedstawia ją rys.2.8.

W wyniku normalizacji rozwiązany został problem redundancji danych. Zoptymalizowano objętość bazy danych, efektywność jej obsługi i zminimalizowano zagrożenie nieuchronnymi błędami przy wprowadzaniu danych.

Ostateczną postać struktury bazy danych można będzie podać po dokładnym przeanalizowaniu rozmiarów projektowanych tabel, zwłaszcza tabeli opisującej przestrzeń. Obliczenia umożliwią także dokonanie wyboru ilości tabel zawierających strefy wykrywania poszczególnych radarów. Wpływ na to będzie miała ilość przyjętych wartości skutecznych powierzchni odbicia obiektu powietrznego i progów prawdopodobieństw poprawnego wykrycia.



Rys.2.8. Struktura bazy danych w 5NF.

### 2.2.4. Czynniki kształtujące rozmiar projektowanej bazy danych

Poniższe obliczenia mają na celu oszacowanie ilości danych, które można umieścić w projektowanej bazie. Wynikają one bezpośrednio z potrzeb NMPR.

Objętość bazy danych zależy będzie przede wszystkim od:

- 1) sposobu podziału przestrzeni powietrznej na elementarne prostopadłościany,
- 2) liczby radarów,
- 3) dokładności wprowadzania stref wykrywania dla tych radarów,
- 4) liczby dyskretnej wartości skutecznych powierzchni odbicia obiektu powietrznego, dla których wprowadzane będą strefy wykrywania,
- 5) liczby dyskretnej wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia, dla których wprowadzane będą strefy wykrywania.

#### 2.2.4.1. Metoda podziału przestrzeni powietrznej

Przestrzeń powietrzną należy podzielić na elementarne części w kształcie prostopadłościanu. Podział ten należy przeprowadzić w dwóch etapach. W pierwszym z nich dzieli się przestrzeń powietrzną na słupy o ustalonej podstawie. W drugim etapie należy podzielić przestrzeń powietrzną na warstwy o określonej wysokości. W wyniku takiego podziału otrzymuje się przestrzeń powietrzną zbudowaną z elementarnych prostopadłościanów o żądanych wymiarach. Metoda podziału przedstawiona została w rozdziale pierwszym.

Wymiary prostopadłościanów decydować będą o dokładności uzyskiwanych informacji, jak również o objętości bazy danych. Z punktu widzenia użytkownika pożądane jest, aby prostopadłościany miały jak najmniejsze wymiary, tzn. były zbliżone rozmiarami do wymiarów kwadratów siatki podstawowej NMT. Ich ilość  $N$  wyniesie

$$N = N_S \cdot N_H, \quad (2.1)$$

gdzie:  $N$  - całkowita liczba prostopadłościanów,

$N_S$  - liczba prostopadłościanów w jednej warstwie,

$N_H$  - liczba prostopadłościanów w jednym słupie (liczba warstw).

$$N_S = \frac{S}{a^2}, \quad (2.2)$$

gdzie:  $S$  - powierzchnia, nad którą rozpatrywana będzie przestrzeń powietrzna,  
 $a$  - bok podstawy prostopadłościanu.

$$N_H = \frac{H}{h}, \quad (2.3)$$

gdzie:  $H$  - wysokość, do której analizowana będzie przestrzeń powietrzna,  
 $h$  - wysokość prostopadłościanu.

Zatem ostatecznie liczbę sześcianów elementarnych wyznaczyć można za pomocą zależności

$$N = \frac{S \cdot H}{a^2 \cdot h} \quad (2.4)$$

#### 2.2.4.2. Informacje o elementarnym sześcianie

Wyznaczona w poprzednim punkcie wartość  $N$  określa liczbę elementarnych sześcianów a tym samym liczbę rekordów je opisujących i jest jednym z istotnych czynników decydujących o objętości bazy danych. Drugim istotnym czynnikiem jest rozmiar rekordu opisującego pojedynczy sześcian elementarny. Zawarta w nim będzie informacja o wartości funkcji podatności radiolokacyjnej dla każdego eksploatowanego radaru. Wartość tej funkcji zależeć będzie od dwóch parametrów: prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia i skutecznej powierzchni odbicia. W konsekwencji takich założeń, na rozmiar rekordu opisującego sześcian elementarny będą miały wpływ następujące czynniki:

- liczba eksploatowanych radarów,
- liczba istotnych wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia
- liczba istotnych wartości skutecznej powierzchni odbicia.

#### **Liczba radarów**

Aby NMPR mogła być w pełni wykorzystana, baza danych powinna posiadać informacje o parametrach i lokalizacji wszystkich radarów na terytorium RP. Oszacowanie tej liczby, zwłaszcza dla potrzeb projektowanego systemu, jest zadaniem bardzo trudnym w związku z trwającą restrukturyzacją sił powietrznych. Dla potrzeb

projektowanej NMPR przyjęto, że liczba radarów nie przekroczy 100. Jednakże już ze wstępnych analiz wynika, że ze względu na ograniczenia dostępnego sprzętu komputerowego (szczególnie pojemności pamięci dyskowych) liczba ta prawdopodobnie będzie musiała być zredukowana.

### Wartości skutecznej powierzchni odbicia

Skuteczna powierzchnia odbicia obiektu powietrznego jest istotnym parametrem decydujący o zasięgu radaru. Od jej wartości zależą dane w tabelach opisujących strefy wykrywania poszczególnych radarów. Tabeli 2.2 przedstawiono średnie wartości skutecznej powierzchni odbicia najczęściej spotykanych obiektów, otrzymane na podstawie opracowania pomiarów przeprowadzonych dla fal o długości  $\lambda = 10$  cm.

Tabela 2.2. Przykładowe wartości skutecznych powierzchni odbicia

TYP SAMOLOTU	$\sigma$ [m <sup>2</sup> ]
B-52	100
TU-162, Black Jack	15
B-1A	10
FB-111	7
F-4	6
F-15C	4
MIG-29	3
RAFALE	3
F-16	2
B-1B	1,5
F-22	0,1
B-2	0,1
F-117A	0,025

W wyniku przeprowadzonej analizy wpływu wartości skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego na zasięg jego wykrycia, dla potrzeb projektu przyjęto trzy dyskretne wartości: 0.1, 1.0 oraz 5.0.

### Wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia

W praktyce radiolokacyjnej i badaniach naukowych przyjmuje się prawdopodobieństwo poprawnego wykrycia z zakresu od 0.5 do 0.95. W wyniku przeprowadzonych analiz dla potrzeb projektu przyjęto następujące wartości: 0.5, 0.7 i 0.9.

### 2.2.5. Rozmiar bazy danych

Zasadniczy wpływ na rozmiar projektowanej bazy danych mają parametry poszczególnych tabel. Część z poniższych obliczeń ma charakter typowo szacunkowy i zadaniem ich jest wyznaczenie rzędu wielkości rozmiarów danych oraz określenie skali rozważanego problemu. Dlatego rzeczywiste rozmiary zaimplementowanych tabel mogą różnić się od wyznaczonych w tym punkcie wartości. Ewentualne różnice mogą wynikać ze specyfiki użytego systemu zarządzania bazami danych, lub oprogramowania GIS a w szczególności od sposobu adresowania pamięci oraz rodzajów formatów danych.

#### 2.2.5.1. Rozmiar tabeli opisującej przestrzeń

Liczba rekordów odpowiada wyznaczonej w punkcie 2.2.4.1 (wzór 2.4) liczbie prostopadłościanów

$$N = \frac{S \cdot H}{a^2 \cdot h}$$

Każdy rekord składał się będzie z następujących pól:

- a) Pola informacyjne o wykrywaniu obiektu przez kolejne SRL. Ilość ich wynosi  $K$ . Wielkość jednego pola w rekordzie wyrażona w bitach wynosi

$$R_p = N_{SPO} \cdot N_{PPW}, \quad (2.5)$$

gdzie:  $N_{SPO}$  - liczba uwzględnianych dyskretnych wartości skutecznej powierzchni odbicia,

$N_{PPW}$  - liczba uwzględnianych wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia.

- b) pola identyfikujące rekord.

Identyfikatorem rekordu będą trzy pola określające współrzędne prostopadłościanu ( $x, y, h$ ). Informację w każdym polu będzie można zapisać na 2 bajtach. Zatem wielkość identyfikatora w bajtach wyniesie

$$R_{ID} = 6. \quad (2.6)$$

Zatem wielkość rekordu

$$R_R = K \cdot R_p + R_{ID}. \quad (2.7)$$

gdzie:  $K$  - liczba stacji radiolokacyjnych.

W projekcie bazy danych z maksymalną liczbą danych i wykorzystaniu optymalnego dla tego projektu systemu zarządzania bazami danych, wielkość  $R_{ID}$  można pominąć w szacunkowych obliczeniach

$$\frac{R_{ID}}{R_R} = \frac{R_{ID}}{K \cdot R_p + R_{ID}} \approx 0,052. \quad (2.8)$$

Powyższa zależność występuje dla  $K = 100$  i  $R_p = 9 \text{ bitów}$ .

Wartość  $R_{ID}$  nie wpłynie znacząco na rozmiar tabeli przestrzeni, zatem można przyjąć dla dużej tabeli wielkość rekordu w bitach

$$R_R = K \cdot R_p \quad (2.9)$$

Wielkość tabeli przestrzeni wyniesie

$$R = N \cdot R_R, \quad (2.10)$$

Po dokonaniu podstawień i przekształceń

$$R = \frac{S \cdot H}{a^2 \cdot h} \cdot K \cdot N_{SPO} \cdot N_{PPW} [\text{bit}] \quad (2.11)$$

Wskazane jest, aby projektowana baza danych zrealizowana była w optymalnie dobranym systemie zarządzania bazami danych. System taki powinien umożliwić jak najbardziej efektywne wykorzystanie nośnika danych. Analizując pojedyncze pole rekordu, informacja w nim zawarta powinna zajmować obszar  $N_{SPO} \cdot N_{PPW}$ . Jeżeli zatem przyjąć  $N_{SPO} = 3$  oraz  $N_{PPW} = 3$  obszar ten powinien wynosić 9 bitów, a nie 2 bajty. Taka niekorzystna właściwość w systemie zarządzania bazami danych (SZBD) zwiększyłaby każde pole o 7 bitów, co stanowi ponad 77%.

Wyniki obliczeń z wykorzystaniem wzoru 2.11 przedstawiono w tabeli 1.1 (Załącznik 1). Pełny opis danych użytych do obliczeń przedstawiono w punkcie 2.2.6.1. Pozostałe tabele zestawione są w załączniku 1.

Projektowana tabela przestrzeni w optymalnym SZBD będzie miała wielkość 1702 gigabajty.

#### 2.2.5.2. Rozmiar tabeli zawierającej parametry radarów

Każdemu typowi radaru przypisana zostanie tabela zawierająca jego strefy wykrywania w zależności od skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego oraz wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia. Jeżeli minimalne oraz maksymalne odległości wykrywania na poszczególnych wysokościach wyrazi się w *kilometrach*, to przyjmować będą one wartości całkowite, a rozmiar pola wyniesie będzie 2 bajty. Rozmiar tabeli w *bajtach* wyniesie

$$R_{STR} = (2 + 2) \cdot \frac{H}{h} \cdot K_{TYP} \cdot N_{SPO} \cdot N_{PPW}, \quad (2.12)$$

gdzie:  $R_{STR}$  - wielkość tabeli zawierającej strefy wykrywania radarów,

$K_{TYP}$  - liczba typów radarów,

$H$  - pułap maksymalny,

$h$  - rozmiar pionowy przedziału wysokości (warstwy).

Każdy typ radaru opisany będzie ponadto informacjami, które wymienione zostały w punkcie 2.2.2 (*Informacja o radarach*, Tabela 2.1 Pole „Parametry radaru”). Do ich zapisania potrzebnych będzie około 2,8 kbajtów (28 parametrów x 100 bajtów). Mając na uwadze możliwość ewentualnej zmiany struktury i zawartości tabeli, do obliczeń wielkość tę należy zwiększyć dwukrotnie. Rozmiar tabeli w kbajtach wyniesie

$$R_{PRM} = 5,6 \cdot K_{TYP} \quad (2.13)$$

Każdy radar charakteryzowany będzie zbiorem atrybutów, których opis zamieszczony został w tabeli 2.1 w polu „Radar”. Do ich zapisania potrzebna będzie tabela o rozmiarze (w bajtach)

$$R_{RAD} = 25 \cdot K_{TYP}. \quad (2.14)$$

Pełny zbiór atrybutów opisujących wszystkie radary zawarty będzie w trzech powyższych tabelach. Sumę ich rozmiarów porównano z rozmiarem tabeli przestrzeni, co pozwoli ocenić wpływ liczby parametrów radarów na rozmiar całej bazy danych. Dla uproszczenia obliczeń przyjęto, że każdy radar jest innego typu, tak więc

$$K_{TYP} = K \quad (2.15)$$

$$R_{STR} + R_{PRM} + R_{RAD} = K \cdot \left( 4 \cdot \frac{H}{h} \cdot N_{SPO} \cdot N_{PW} + 560 + 2,5 \right) \quad (2.16)$$

Do wzoru podstawiono dane z punktu 2.2.4.2 i otrzymano

$$R_{STR} + R_{PRM} + R_{RAD} = 0,57 [MB]$$

Zatem procentowy wpływ tabel określających parametry stacji radiolokacyjnych na wielkość całej bazy danych wynosi

$$\frac{R_{STR} + R_{PRM} + R_{RAD}}{R + R_{STR} + R_{PRM} + R_{RAD}} = \frac{0,57}{1742848} = 0,36 \cdot 10^{-6}$$

Wielkość ta jest tak mała, że przy wyznaczaniu wielkości bazy danych można ją pominąć, gdyż nie będzie miała na nią znaczącego wpływu.

Kolejne punkty przedstawiają proces optymalizacji tabeli opisującej przestrzeń, której rozmiar praktycznie odpowiada rozmiarowi projektowanej bazy danych.

### 2.2.6. Parametry przestrzennej bazy danych

Wykonanie bazy danych spełniającej maksymalne kryteria byłoby możliwe tylko w oparciu o nowoczesne superkomputery wyposażone w bardzo duże matryce dysków twardej i dysponujące olbrzymią mocą obliczeniową. Wynika to z wielkich rozmiarów takiej bazy danych.

W przypadku, gdyby przestrzeń radiolokacyjna została podzielona na sześciiany o boku równym 100 m, rozmiar tabeli przestrzeni wyniósłby ponad 1700 gigabajtów dla obszaru Polski.. Od komputera, na którym zostałyby zainstalowane takie bazy danych, należy wymagać nie tylko wystarczającej ilości nośnika danych, ale co jest równie ważne, mocy obliczeniowej, która pozwoli w szybki sposób wykonywać potrzebne operacje. Na dzisiejszym etapie rozwoju komputerów jest to problem do rozwiązania. Wśród ofert czołowych światowych producentów sprzętu komputerowego można znaleźć modele nadające się do takiego zadania. Przykładem może być firma IBM, która przedstawiła nową grupę serwerów AS/400e. Składa się ona z ośmiu lub dwunastu procesorów, co w porównaniu do poprzednich modeli oznacza 4÷6-krotny wzrost mocy obliczeniowej. W wyniku zastosowania nowoczesnych technologii zwiększono pamięć operacyjną do 20 gigabajtów, natomiast pojemność dysków twardej do 996 GB.

Ceny stacji roboczych są w tym wypadku bardzo silnym ograniczeniem projektanta. Dla lepszego uzmysłowienia wagi zagadnienia podamy, że cena stacji TDZ 2000 firmy Intergraph wyposażonej „jedynie” w dwa procesory, 128 MB pamięci RAM oraz 9,1 GB HDD wynosi ponad 25 000 USD, natomiast zapowiadany przez firmę Silicon Graphics najpotężniejszy superkomputer świata CRAY T3E-1200, który może być wyposażony w 2048 procesorów 600 MHz ma kosztować około 1 miliona funtów brytyjskich.

Należy zatem na projektowaną bazę danych nałożyć pewne ograniczenia, które umożliwią:

- 1) wykonanie schematu danych, na podstawie którego można będzie utworzyć system bazy danych możliwy do zrealizowania w oparciu o komputer klasy PC,

- posiadający procesor Pentium III 500 MHz, 256 MB RAM, kartę graficzną 3D 16MB oraz dwa dyski o pojemności 20 GB każdy,
- 2) wykonanie schematu danych oraz jego implementację w oparciu o standardowe oprogramowanie (system zarządzania bazami danych, GIS, standardowe języki programowania i ich kompilatory). Rozmiar tworzonej bazy danych należy ograniczyć do 10 GB.

Ze względu na szereg ograniczeń wzajemnie na siebie wpływających konieczne było opracowanie metody, która umożliwiłaby wyznaczanie parametrów przestrzennej bazy danych dla różnych założeń wejściowych (np. zwiększeniu lub zmniejszeniu pamięci dyskowej). Do tego celu wykorzystano własną metodę racjonalizacji. Po jej zastosowaniu (w trzech etapach) zaproponowano kilka wariantów dopuszczalnych, z których po analizie wybrano rozwiązanie umożliwiające osiągnięcie założonego celu projektu i odpowiednich parametrów NMPR.

#### 2.2.6.1. Pierwszy etap racjonalizacji

Celem tego etapu jest określenie maksymalnej pojemności bazy danych przy minimalnych ograniczeniach i określenie parametrów które najbardziej wpływają na jej rozmiar. Przyjęto więc następujące ograniczenia wyjściowe:

$$S = 541\,744 \text{ km}^2,$$

$$H = 30\,000 \text{ m},$$

$$K = 100,$$

$$N_{SPO} = 3,$$

$$N_{P_{PW}} = 3.$$

Przyjęta wartość powierzchni  $S$  oparta jest o opracowywaną przez Zarząd Topograficzny Sztabu Generalnego WP Numeryczną Mapę Polski, która ma stać się standardem stosowanym w całym Wojsku Polskim. Przyjmuje się, że z NMP otrzymamy dane opisujące teren za pomocą kwadratowej siatki dla obszaru 784×691 km zawierającego terytorium Polski.

Liczba stacji radiolokacyjnych  $K$  jest wartością bardziej elastyczną. Mając na uwadze perspektywę wojsk radiotechnicznych dotyczącą redukcji liczby stacji, wartość  $K$  może zostać zmniejszona.

Jednak największy wpływ na rozmiar tabeli ma wymiar podstawy prostopadłościanu  $a$ . NMPR oparta będzie na NMP, z której będzie można otrzymać dane opisujące teren za pomocą kwadratowej siatki z węzłami co 100 m (Zarząd Topograficzny) lub 250 m (AON). Na etapie maksymalizacji uwzględniamy więc maksymalną dokładność podziału przestrzeni oraz maksymalne dopuszczalne wartości pozostałych parametrów. Dzięki temu bierzemy pod uwagę do dalszej optymalizacji wszystkie możliwe i dopuszczalne rozwiązania.

W tabeli 2.3 zawarto wyniki obliczeń rozmiarów tabeli przestrzeni w zależności od  $a$  i  $h$  w oparciu o powyżej przyjęte założenia. W przypadku podziału przestrzeni radiolokacyjnej na sześciiany o boku  $a = 100$  m, rozmiar tabeli przestrzeni  $R$  wyniesie ponad 1700 gigabajtów. Baza danych o takich rozmiarach jest wprawdzie możliwa do zrealizowania, jednak ze względu na znaczny koszt sprzętu potrzebnego do jej sprawnego działania, sięgający dziesiątek lub setek tysięcy USD, część parametrów bazy danych należy poddać silnemu ograniczeniu.

Tabela 2.3. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$  i  $h$ .

H [m] a [m]	100	200	250	400	500	1 000	2 000	2 500	5 000	10000
100	1 743 685	871 842	697 474	435 921	348 737	174 368	87 184	69 747	34 874	17 437
200	435 921	217 961	174 368	108 980	87 184	43 592	21 796	17 437	8 718	4 359
250	278 990	139 495	111 596	69 747	55 798	27 899	13 949	11 160	5 580	2 790
400	108 980	54 490	43 592	27 245	21 796	10 898	5 449	4 359	2 180	1 090
500	69 747	34 874	27 899	17 437	13 949	6 975	3 487	2 790	1 395	697
1 000	17 437	8 718	6 975	4 359	3 487	1 744	872	697	349	174
2 000	4 359	2 180	1 744	1 090	872	436	218	174	87	44
2 500	2 790	1 395	1 116	697	558	279	139	112	56	28
5 000	697	349	279	174	139	70	35	28	14	7
10 000	174	87	70	44	35	17	9	7	3	2

W tabeli zaznaczono wyniki, które spełniają założenie o objętości przestrzennej bazy danych 10 z tolerancją  $\pm 5$  GB. Jednak żadne z tych rozwiązań nie jest satysfakcjonujące, gdyż pary parametrów  $a$  i  $h$  znacznie odbiegają od rozróżnialności i dokładności określania współrzędnych przez radary będące na wyposażeniu Sił Powietrznych i służb kontroli ruchu lotniczego. Konieczne było więc zastosowanie kolejnego etapu racjonalizacji.

#### 2.2.6.2. Drugi etap racjonalizacji

Istotną cechą poprzedniego i obecnego etapu racjonalizacji (odróżniającą go od etapu następnego) są równe wymiary warstw wysokościowych tzn. że wartość parametru  $h$  jest stała dla każdej wysokości.

Określone dla tego etapu parametry sprzętu, w szczególności pojemność dysku twardego, nakładają ograniczenia, którym należy poddać bazę danych na tym etapie projektowania. Obliczenia tutaj przedstawione, stanowią kontynuację toku myślowego z poprzedniego etapu. Wykonane zostały z wykorzystaniem zależności (2.11), jednak dla wyselekcjonowanych wartości parametrów  $a$  i  $h$ , a dodatkowo przeanalizowano dokładniej wpływ parametru  $K$  (liczba radarów).

Wielkość tabeli przestrzeni  $R$  uzależniono więc od liczby stacji radiolokacyjnych  $K$ , zmieniając ich wielkość od 100 do 10 co 10. Dodatkowo obserwowano, jaki wpływ będą mieć zmiany parametrów  $a$  i  $h$ . W przypadku tych ostatnich skoncentrowano się na prostopadłościanie o polu podstawy równym elementarnemu kwadratowi siatki otrzymanej na podstawie NMP. Pod uwagę wzięto również pierwszą wielokrotność tego kwadratu.

W obliczeniach uwzględniono dla każdej wartości parametru  $a$  trzy różne wartości parametru  $h$ . Wyboru wartości dokonano tak, aby wysokość prostopadłościanu była równa bokowi podstawy lub jego wielokrotności. Taki sposób podziału przestrzeni mógłby usprawnić organizację struktury bazy oraz ułatwić analizę pola radiolokacyjnego na określonych wysokościach.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 2.4. Wyróżniono w niej komórki, które spełniają warunki przyjętego ograniczenia ( $10 \pm 5$  GB).

Tabela 2.4 Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

K		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
a[m]	h[m]										
100	100	1743685	1569316	1394948	1220579	1046211	871842	697474	523105	348737	174368
	250	697474	627727	557979	488232	418484	348737	278990	209242	139495	69747
	500	348737	313863	278990	244116	209242	174368	139495	104621	69747	34874
250	100	278990	251091	223192	195293	167394	139495	111596	83697	55798	27899
	250	111596	100436	89277	78117	66957	55798	44638	33479	22319	11160
	500	55798	50218	44638	39059	33479	27899	22319	16739	11160	5580
500	100	69747	62773	55798	48823	41848	34874	27899	20924	13949	6975
	250	27899	25109	22319	19529	16739	13949	11160	8370	5580	2790
	500	13949	12555	11160	9765	8370	6975	5580	4185	2790	1395

Założone powyżej warunki spełnia 16 kombinacji parametrów  $a$ ,  $h$  i  $K$ . Jednakże w każdej z tych kombinacji wartość parametru  $h$  (wysokość warstwy) jest co najmniej równa 250 m. Wysokość warstwy 250 m dla małych wysokości (do 1000 m) uniemożliwiałaby precyzyjne uwzględnienie wpływu terenu. W przypadku trudności technicznych związanych z wymaganiami programów standardowych (np. GIS) możliwe jest przyjęcie na etapie wstępnych badań wartości parametrów  $K=10$  i  $h=250$  m, jednakże należy sobie zdawać sprawę, że będzie to jedynie rozwiązanie przejściowe. Bardziej racjonalne będzie jednak zastosowanie kolejnego etapu racjonalizacji.

### 2.2.6.3. Trzeci etap racjonalizacji

Wyniki analizy poprzedniego etapu zostały przedstawione w tabeli 2.5. Wprowadzono do niej dodatkowy parametr  $w$  oznaczający liczbę warstw, na które podzielono pułap wysokości od wysokości 0 do  $H=30000$  m.

Tabela 2.5 Zestaw wariantów podziału przestrzeni

a [m]	h [m]	K	R [GB]	w	
250	250	10	11,16	120	
	500	10	5,58	60	
		20	11,16	60	
500	100	10	6,98	300	
		20	13,95	300	
	250	20	5,58	120	
		30	8,37	120	
		40	11,16	120	
		50	13,95	120	
		40	5,58	60	
	500	500	50	6,98	60
			60	8,37	60
			70	9,76	60
			80	11,60	60
			90	12,55	60
			100	13,95	60

Dla określonych kombinacji parametrów liczba warstw nie może zostać zmieniona, ale możliwe jest zastosowanie niejednakowych warstw i to jest celem tego etapu racjonalizacji. Takie podejście jest możliwe w przypadku odwzorowywania stref wykrywania radarów, których parametry wykazują największą zmienność dla niższych wysokości. Na małych wysokościach również największy wpływ ma rzeźba terenu. Oczywiście jest więc, że warstwy najniższe powinny mieć względnie mały przedział wysokości. W tabeli 2.6 przedstawiono kilka propozycji podziału warstw zawartych w granicach od 60 do 300. Na obecnym etapie nie są to jeszcze propozycje podziału warstw, lecz jedynie przykłady ilustrujące sposób ich wyznaczania.

Tabela 2.6 Struktura podziału warstw

Zakres wysokości	I wariant Ilość warstw (wysokość warstwy)	II wariant Ilość warstw (wysokość warstwy))	III wariant Ilość warstw (wysokość warstwy)
0 ÷ 100	<b>2</b> (50)	<b>4</b> (25)	<b>4</b> (25)
100 ÷ 500	<b>4</b> (100)	<b>8</b> (50)	<b>16</b> (25)
500 ÷ 1000	<b>1</b> (500)	<b>5</b> (100)	<b>10</b> (50)
1000 ÷ 2000	<b>2</b> (500)	<b>4</b> (250)	<b>10</b> (100)
2000 ÷ 5000	<b>6</b> (500)	<b>12</b> (250)	<b>12</b> (250)
5000 ÷ 10000	<b>5</b> (1000)	<b>10</b> (500)	<b>10</b> (500)
10000 ÷ 30000	<b>20</b> (1000)	<b>40</b> (1000)	<b>40</b> (1000)
Suma warstw	<b>40</b>	<b>83</b>	<b>102</b>

Nierównomierny podział warstw uwzględniający specyfikę stref wykrywania radarów stosowany był w praktyce od dawna. Z danych zawartych w powyższej tabeli wynika, że nawet przy minimalnej liczbie (60), można uzyskać zadowalającą dokładność dla małych wysokości.

Do dalszej realizacji projektu można wykorzystać jedną z kombinacji parametrów  $a$ ,  $K$  oraz  $w$  przedstawionych w tabeli 2.5 lub traktując te warianty jako propozycje wyznaczyć wariant pośredni. Można również powtórzyć proces racjonalizacji dla innych warunków początkowych (np. innej wartości pojemności pamięci dyskowych).

Oddzielnej analizie wymaga ustalenie struktury warstw. Ostateczny wybór uzależniony będzie od następujących czynników:

- parametrów numerycznej mapy terenu,
- dostępnego sprzętu komputerowego (szczególnie pamięci dyskowych),
- zastosowanego oprogramowania standardowego.

## 2.3. Eksperymentalny model bazy danych

W poprzednich punktach przeanalizowany został wpływ sprzętu komputerowego na realizację przestrzennej bazy danych dla całego obszaru RP. Nie mniej istotny wpływ na parametry bazy danych będzie miał system zarządzania bazami danych. Do przeanalizowania tego problemu wykonano eksperyment, którego celem było zweryfikowanie standardowego narzędzia do tworzenia i zarządzania bazami danych. Do eksperymentu wykorzystano program Microsoft Access 97.

Jego celem było jest znalezienie takich parametrów bazy danych, które umożliwią jej implementację w oparciu o dostępny (obecnie) sprzęt komputerowy oraz wybrany system zarządzania bazą danych.

Dlatego też główne ograniczenia to maksymalny rozmiar tabeli przestrzeni, moc obliczeniowa komputera i kształt rekordu wynikający ze specyfikacji programu Microsoft Access 97.

### 2.3.1. Specyfikacja zastosowanego systemu zarządzania bazą danych

Do praktycznej realizacji zaprojektowanej bazy danych wykorzystano program Microsoft® Access 97 z polskojęzycznym modułem COR.

Microsoft® Access jest systemem do tworzenia relacyjnych baz danych i aplikacji. Access ma wszelkie narzędzia potrzebne do tworzenia aplikacji baz danych w środowisku Windows. Przy użyciu Accessa można budować pełne aplikacje z tabelami przechowującymi dane, projektować przyjazne dla użytkownika formularze do wprowadzania informacji i tworzyć raporty, nadające się do publikacji.

Access implementuje szeroką gamę standardowych funkcji API (Application Program Interface) Windows. Posiada także wiele spośród użytecznych możliwości produktów opartych o Windows, między innymi interfejs wielu dokumentów (MDI), dzięki któremu można otwierać wiele okien do równoczesnego wyświetlania dowolnej liczby tabel, zapytań i formularzy. Aby uniknąć bałaganu na ekranie, istnieje możliwość minimalizowania okna do ikony.

Korzystając jedynie z narzędzi Accessa, można utworzyć całą aplikację bazy danych. Chociaż są dostępne inne narzędzia, to nie ma potrzeby, aby dla rozszerzania

aplikacji wzbogacać Access o programy do pisania raportów, do projektowania formularzy czy o generatory aplikacji.

Ponadto Access ułatwia tworzenie aplikacji, które obsługują duże i złożone systemy informacyjne (dzięki możliwości jednoczesnego wykorzystywania danych w różnych formatach baz danych, w tym także łączenie tabel z różnych baz). Można za jego pomocą importować istniejące zbiory FoxPro, dBASE czy Paradox i przekształcać je do formatu Accessa.

Dodatkową zaletą programu jest maksymalny rozmiar pliku bazy danych, który wynosi 1 gigabajt. Ponieważ baza danych może zawierać połączone tabele w innych plikach, całkowity rozmiar bazy danych jest ograniczony jedynie dostępnym miejscem do przechowywania danych. Liczba obiektów w bazie danych może wynosić 32 768. Access umożliwia jednoczesne korzystanie z bazy danych wielu użytkownikom.

W programie Microsoft® Access wyróżniono następujące typy atrybutów, którym w tabelach z punktu 2.2.3 odpowiada pole „Typ danych”:

- Tekst (Text) – typ tekstowy, standardowo wybierany po podaniu nazwy pola. Informacje typu tekstowego nie mogą być dłuższe niż 255 znaków. Maksymalny rozmiar pola 255 bajtów;
- Memo – typ notatnikowy, pozwala wpisać w pole tekst o długości do 64000 znaków. Maksymalny rozmiar pola – 64 000 bajtów;
- Liczba (Number) – typ liczbowy, stosowany do danych, na których zamierzamy wykonywać obliczenia numeryczne. Rozmiar pola dla danych liczbowych przedstawiono w tabeli 2.7.

Tabela 2.7. Rozmiary i charakterystyka pól dla danych typu liczbowego

NAZWA	ROZMIAR	CHARAKTERYSTYKA
Bajt (Byte)	1 bajt	Liczby naturalne od 0 do 255
Liczba całkowita (Integer)	2 bajty	Liczby całkowite od -32 768 do 32 767
Liczba całkowita długa (Long Integer)	4 bajty	Liczby całkowite od -2 147 483 648 do 2 147 483 647
Pojedyncza precyzja (Single)	4 bajty	Liczby rzeczywiste od -3.402823E38 do 3.402823E38 sześć cyfr znaczących po przecinku dziesiętnym
Podwójna precyzja (Double)	8 bajtów	Liczby rzeczywiste od -1.7976931349E308 do 1.7976931349E308 dziesięć cyfr znaczących po przecinku dziesiętnym

- Waluta (Currency) – typ kwotowy, zarezerwowany dla pieniędzy. Rozmiar pola – 8 bajtów;
- Data/Godzina (Data/Time) – ten typ pozwala na zapisywanie w polu daty lub godziny. Rozmiar pola – 8 bajtów;
- Tak/Nie (Yes/No) – typ logiczny, służy do przechowywania danych o wartościach logicznej prawdy lub fałszu. Rozmiar pola – 1 bit;
- Obiekt OLE (OLE Object) – typ specjalny, umożliwia przypisanie do pola obiektu osadzonego lub dołączonego (tekstu, obrazu, dźwięku). Maksymalny rozmiar pola – do 1 gigabajta;
- Licznik (Counter) – typ licznikowy. Dane tego typu to kolejne liczby naturalne automatycznie generowane przez Accessa. Służą numeracji i identyfikacji wierszy tabeli (rekordów). Rozmiar pola – 4 bajty.

Dysponując systemem zarządzania bazami danych, znając jego specyfikację i możliwości oraz mając tak przygotowaną strukturę danych, można przystąpić do praktycznej realizacji modelu bazy danych.

### 2.3.2. Obliczenia projektowe

W wykorzystywanej do tworzenia bazy danych wersji programu Microsoft® Access maksymalna liczba pól w tabeli wynosi 255.

Pojedynczy rekord tabeli przestrzeni będzie składał się z następującej liczby pól

$$n_R = n_T + K \cdot n_{SPO} \cdot n_{PPW} \quad (2.17)$$

gdzie:  $n_R$  - liczba pól w rekordzie,

$n_T$  - liczba pól „technicznych” zawierających między innymi identyfikator prostopadłościanu (jego współrzędne),

$n_{SPO}$  - liczba pól odpowiadająca ilości przyjętych wartości skutecznej powierzchni odbicia,

$n_{PPW}$  - liczba pól odpowiadająca ilości przyjętych wartości prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia.

Liczbę pól „technicznych”  $n_T$  określono na 10, co umożliwi dokonanie ewentualnych zmian identyfikatorów.

Na podstawie wzoru 2.17 można wyznaczyć maksymalną liczbę stacji  $K$

$$K = \frac{n_R - n_T}{n_{SPO} \cdot n_{PPW}} \quad (2.18)$$

$$K = \frac{255 - 10}{3 \cdot 3}$$

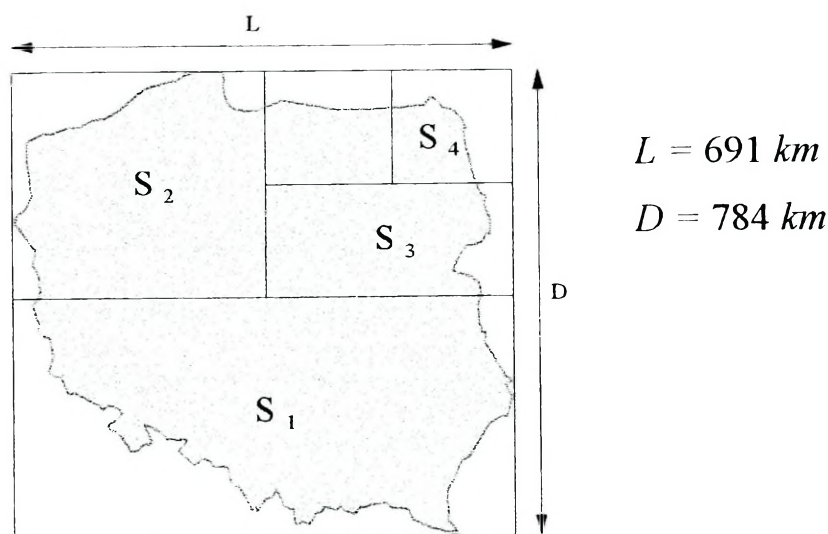
$$K = 27$$

Dalsze obliczenia przeprowadzono analogicznie, jak dla etapu pierwszego. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.3 (Zał. 1). Ma ona podobny układ, jak tabela 2.4.

Z zawartych w niej danych wynika, że wielkości bazy danych są wciąż zbyt duże i uniemożliwiają praktyczną realizację projektu. Dlatego w kolejnych krokach wartości parametrów powinny zostać zmniejszane.

W pierwszej kolejności przeanalizowano możliwość zmniejszenia obszaru, w oparciu o który zbudowana została przestrzeń powietrzna.

Prostokąt, który zawiera terytorium Polski ma wymiary  $784 \times 691$  km. Wykonana baza danych będzie wykorzystana tylko w eksperymencie i może zawierać dane tylko o fragmencie przestrzeni.



Rys. 2.9. Proponowany sposób podziału obszaru Polski

Tabela 1.4 (Załącznik 1) zawiera proponowane wymiary powierzchni, nad którą rozpatrywana będzie przestrzeń powietrzna opisywana w tworzonej bazie danych.

Kolejne cztery tabele 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 (Załącznik 1) utworzone są na podstawie tabeli 1.5 (Załącznik 1) z tym, że wartości parametrów  $S$  pochodzą z tabeli 1.4 (Załącznik 1).

Najbardziej zbliżone do oczekiwanych wyniki zawarte są w tabeli 1.8 (Załącznik 1). Na ich podstawie (komórki zaznaczone) można już utworzyć bazę danych. Jednak na postulowaną (ze względu na współpracę bazy danych z NMPR) wartość parametru  $a = 250$  m, są one wciąż za duże i przy  $h=a$  zmieniają się w zakresie od 1880 MB dla  $K=27$  do ponad 200 MB dla  $K=3$ .

Na tym etapie procesu minimalizacji danych ograniczenie wielkości tabeli przestrzeni do  $R \approx 100$  MB nie jest ostateczne. Może ono ulec zmianie w obu kierunkach w zależności od szybkości działania bazy danych na konkretnym komputerze.

Tabelę 1.8 (Załącznik 1) poddano dalszej minimalizacji, zmniejszając wysokość, do której rozpatrywana będzie przestrzeń radiolokacyjna do  $H = 20000$  m. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.9 (Załącznik 1).

Kolejne dwa kroki to:

- 1) zmniejszenie jednej z wartości  $N_{SPO}$  lub  $N_{P_{PW}}$  o jeden,
- 2) zmniejszenie wartości  $N_{SPO}$  i  $N_{P_{PW}}$  o jeden.

Wyniki przedstawiono w tabelach 1.10 i 1.11 (Załącznik 1). Zawarte w nich wartości umożliwiają już praktyczną realizację projektu. I tak dla  $a=h=250$  m w pierwszym kroku zmniejszają się z 837 do 93 MB (tabela 1.12 załącznik 1), a po dwukrotnym zwiększeniu liniowych wymiarów prostopadłościanu ich wartości zmniejszają się ze 105 do 12 MB. Natomiast po drugim zmniejszają się jeszcze bardziej i wynoszą odpowiednio 558 i 62 MB oraz 70 i 8 MB.

Bazując na danych zawartych w tabelach 1.9, 1.10 i 1.11 (Załącznik 1), do ostatecznej analizy wybrano kombinacje parametrów, które przedstawiono w tabeli 1.12 (Załącznik 1).

Analizując te dane pod kątem:

- możliwości dostosowania tworzonej bazy danych do projektu opracowanego w pierwszym etapie,
- ilości danych, które będzie można zgromadzić w bazie danych,
- ilości informacji, jakie można będzie z niej uzyskać,
- dokładności uzyskiwanych informacji

wybrano sześć kombinacji parametrów oznaczonych w tabeli 1.12 (Załącznik 1) numerami 3, 5, 6, 8, 10 i 12. Zestawione zostały w tabeli 2.8 w kolejności odpowiadającej wartościom parametrów  $a$ ,  $h$  i  $K$ . Wartości tych parametrów stanowią propozycje rozwiązań kompromisowych uwzględniających możliwości programowe i sprzętowe z jednej strony oraz potrzebę dokładności odwzorowania numeryczne mapy przestrzeni radiolokacyjnej z drugiej strony.

Tabela 2.8 Proponowane kombinacje parametrów dla NMPR

L.p.	S	a [m]	h [m]	K	H [km]	$\Delta N$	R [MB]
1	1/16 S	250	250	3	20	-1	93
2	1/16 S	250	500	9	20	-2	93
3	<b>1/16 S</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>6</b>	<b>20</b>	<b>-1</b>	<b>93</b>
4	1/16 S	500	500	27	20	-1	105
5	1/16 S	500	500	27	20	-2	70
6	1/16 S	500	500	18	20	0	105

Rozmiary zbudowanych na ich podstawie tabel we wszystkich przypadkach byłyby zbliżone do siebie.

Do opracowania przykładowej struktury bazy danych przyjęto parametry zawarte w trzecim wierszu tabeli 2.8.

### 2.3.3. Przykładowa struktura bazy danych

Znając liczbę stacji radiolokacyjnych oraz liczby dyskretnej wartości skutecznej powierzchni odbicia i prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia, można już zaprojektować strukturę bazy danych w 5NF. Bazując na zaproponowanej strukturze bazy danych należy opracować tabele: RADAR, PARAMETRY, STREFY (1\_1, 1\_2, 2\_1, 2\_2, 3\_1, 3\_2) i PRZESTRZEŃ relacyjnej bazy danych dla NMPR (tabele 2.9, 2.10, 2.11 i 2.12).

Tabela 2.9. RADAR

NAZWA POLA	TYP DANYCH	ROZMIAR POLA
Nr rad	Liczba	Bajt
Nr brt	Liczba	Bajt
Nr krt	Liczba	Bajt
Stan	Tak/Nie	
Typ	Tekst	6
Lok X	Liczba	Liczba całkowita
Lok Y	Liczba	Liczba całkowita

Tabela 2.10. PARAMETRY

NAZWA POLA	TYP DANYCH	ROZMIAR POLA
<b>Typ</b>	Tekst	6
Pasmo	Tekst	1
h ant	Liczba	Bajt
Mobilna	Tak/Nie	
Skład	Liczba	Bajt
Czas rozw	Liczba	Liczba całkowita
Czas zw	Liczba	Liczba całkowita

Tabela 2.11. STREFA\_1\_1

NAZWA POLA	TYP DANYCH	ROZMIAR POLA
<b>Typ</b>	Tekst	6
1 1 max 500	Liczba	Liczba całkowita
1 1 max 1000	Liczba	Liczba całkowita
itd.		
1 1 max 20000	Liczba	Liczba całkowita
1 1 min 500	Liczba	Liczba całkowita
1 1 min 1000	Liczba	Liczba całkowita
itd.		
1 1 min 20000	Liczba	Liczba całkowita

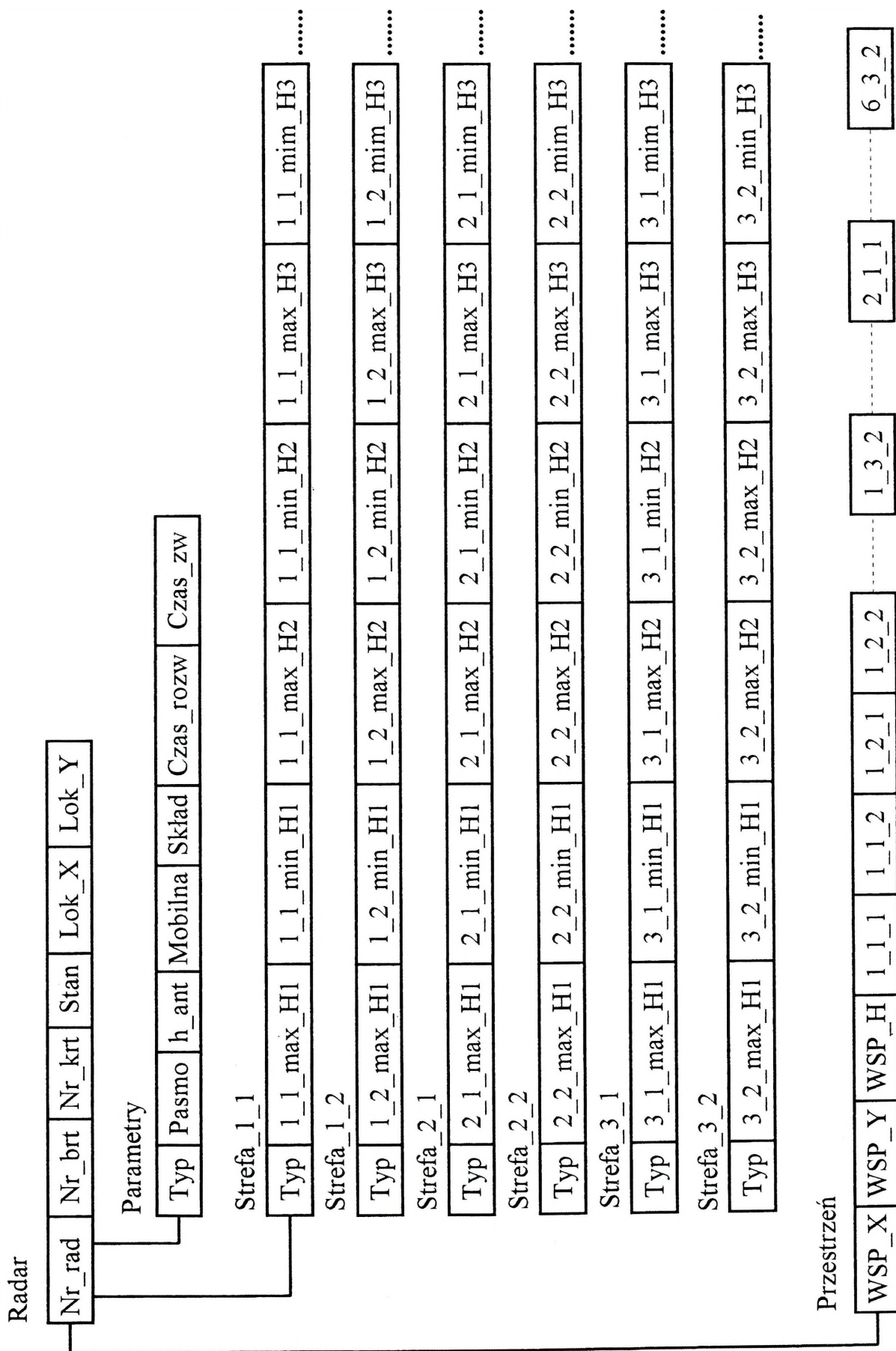
Dla pozostałych pięciu tabel Strefa\_1\_2, Strefa\_2\_1, Strefa\_2\_2, Strefa\_3\_1, Strefa\_3\_2 układ pól jest taki sam, jak dla tabeli Strefa\_1\_1.

Tabela 2.12. PRZESTRZEŃ

NAZWA POLA	TYP DANYCH	ROZMIAR POLA
<b>WSP X</b>	Liczba	Liczba całkowita
<b>WSP Y</b>	Liczba	Liczba całkowita
<b>WSP H</b>	Liczba	Liczba całkowita
1 1 1	Tak/Nie	
1 1 2	Tak/Nie	
1 2 1	Tak/Nie	
1 2 2	Tak/Nie	
1 3 1	Tak/Nie	
1 3 2	Tak/Nie	
2 1 1	Tak/Nie	
itd.		
2 3 2	Tak/Nie	
3 1 1	Tak/Nie	
itd.		
3 3 2	Tak/Nie	
itd.		
6 3 2	Tak/Nie	

Drukiem pogrubionym we wszystkich tabelach zaznaczone są pola klucza głównego.

Przykład struktury bazy danych w 5NF przedstawiono na rys.2.10.



Rys.2.10. Końcowa struktura bazy danych w 5NF.

Dla bazy danych o powyższej strukturze opracowano następujące procedury:

- wejścia do systemu bazy danych,
- zmiany lokalizacji radaru,
- przeglądania zmiany i wprowadzania kolejnych radarów,
- przeglądania zmiany i wprowadzania parametrów radarów,
- włączania i wyłączania radarów,
- usuwania radarów,
- aktualizacji przestrzeni radiolokacyjnej.

Ogólną ich ideę przedstawiono w algorytmach 1.1 – 1.7 (Zał. 1).

## 2.4. Wnioski

Analiza problemów związanych z praktyczną realizacją baz danych, poparta konsultacjami z zespołem analityków-programistów umożliwiła sformułowanie wniosków i przyjęcie następujących ustaleń oraz ograniczeń:

- wymiar podstawy prostopadłościanu elementarnego 3"x 3" ( $\approx 100 \times 100$  m),
- nierównomierny podział warstw,
- liczba warstw do 60,
- ograniczenie informacji dla jednego radaru – 1 bajt (6 bitów informacja właściwa, 2 bity techniczne),
- maksymalna liczba radarów 100,
- przestrzeń budowana dla całej Polski (można ograniczyć się do obszaru jednostek organizacyjnych np. korpusu, lecz maksymalnie do 0,25 obszaru RP),
- układ współrzędnych - geograficzny-przestrzenny WGS-84,
- ograniczenie pamięci dyskowej dla bazy danych do 10 GB.

Powyższe ustalenia powodują, że w oparciu o metody przedstawione w p. 2.2 konieczne jest przyjęcie (do etapu realizacji modelu komputerowego) pewnych ograniczeń. Dotyczą one liczby radarów oraz obszaru terenu. Cztery przykładowe rozwiązania, dla założeń przedstawionych w punkcie 2.2.3, przedstawiono w tabeli 2.14.

Tab. 2.14. Przykład wpływu liczby radarów na odległości ich rozmieszczenia w określonym terenie (np. obszar Polski)

Ilość radarów	Długość boku kwadratu terenu [km]
100	129
50	182
10	408
1	1290

W punktach 2.1. i 2.2. zaproponowano metodę tworzenia bazy danych dla NMPR. Metodę tę wykorzystano do przedstawienia przykładowej bazy danych. Istotną jej część stanowią dane związane z opisem elementarnych sześciątów i właśnie ich duża ilość stwarza najwięcej problemów technicznych (ograniczona pojemność pamięci). Dla ich rozwiązania i uzyskania odpowiednich parametrów bazy danych opracowano i zastosowano metodę racjonalizacji ilości danych przestrzennych (punkty 2.25. i 2.2.6). Wstępną weryfikację przyjętych rozwiązań przeprowadzono w oparciu o standardowy system zarządzania bazami danych Access. Zaproponowano także eksperymentalny model bazy danych. Model ten wykorzystano do weryfikacji przyjętych rozwiązań dotyczących struktury i zakresu informacyjnego bazy danych. Uzyskane za jego pomocą wyniki umożliwiły zweryfikowanie opinii, co do celowości wykorzystania dla potrzeb NMPR standardowego systemu zarządzania bazami danych (SZBD). Wynika z nich, że systemy te przygotowane są do zarządzania danymi o skomplikowanej strukturze przez co realizacja procedur trwa długo. Istotne są również ograniczenia na długość i strukturę rekordu.

### 3. ALGORYTM OBLICZANIA STREFY WYKRYWANIA RADARU

Wyznaczenie strefy wykrywania radaru można dokonać, korzystając z równania zasięgu stacji radiolokacyjnej, uwzględniając przy tym krzywiznę ziemi i wpływ warunków zewnętrznych na propagację fal elektromagnetycznych. Poniżej zostanie przedstawiony algorytm prowadzenia obliczeń strefy wykrywania radaru.

Wykonanie obliczeń tylko zasięgu radaru można dokonać według metody opisanej w pracy [5], [4], która to metoda będzie wykorzystana w prowadzonej pracy naukowej. Przy wykonywaniu obliczeń strefy wykrywania radaru, będzie się uwzględniać wpływ:

- parametrów technicznych radaru,
- ukształtowania terenu,
- krzywizny ziemi,
- refrakcji fal elektromagnetycznych,
- czynników atmosferycznych na propagację fal elektromagnetycznych.

Dla obliczenia zasięgu wolnoprzestrzennego przy ustalonym kącie elewacji  $\Theta$  należy przeprowadzić obliczenia zasięgu radaru według zależności przedstawionej poniżej oraz wypełnić arkusz pomocniczy, który ułatwia obliczenia, korzystając z wykresów i tabel przedstawionych w załączniku 3.

Dane do wykreślenia strefy wykrywania (charakterystyk pokrycia) otrzymuje się po wypełnieniu odpowiednich arkuszy, odpowiadających założonym wartościom kątów elewacji  $\Theta$  oraz uwzględniających krzywiznę ziemi. Oczywistym jest, że wykonywanie obliczeń w sposób ręczny jest bardzo uciążliwe i pracochłonne, stąd wydaje się być logicznym, aby wykorzystać do tego celu specjalny program komputerowy.

W opracowaniu przedstawiono algorytm obliczeń, zależności matematyczne, tabele i wykresy niezbędne do obliczenia strefy wykrywania dowolnego radaru oraz graficznego odwzorowania charakterystyk stref wykrywania radarów.

### 3.1. Zasięg wykrywania radaru impulsowego

Do wyznaczenia zasięgu wykrywania radaru impulsowego w wolnej przestrzeni wykorzystano zależności [5]

$$[R_0(\Theta)]^4 = \frac{P_t \cdot \tau \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi)^3 \cdot k \cdot T_s(\Theta) \cdot L_t \cdot L_p \cdot L_x \cdot M \cdot D(N)} \quad (3.1)$$

gdzie:  $R_0(\Theta)$  [m] – zasięg wykrywania radaru w zależności o kąta elewacji  $\Theta$ ,

$P_t$  [W] – moc szczytowa nadajnika,

$\tau$  [s] – czas trwania impulsu sondującego,

$G_t$  – zysk anteny nadawczej,

$G_r$  – zysk anteny odbiorczej,

$\gamma$  [m.] – długość fali,

$\sigma$  [m<sup>2</sup>] – powierzchnia skuteczna celu,

$T_s(\Theta)$  [°K] – temperatura szumów systemu zależna od kąta elewacji,

$L_t$  – straty w liniach przesyłowych dla nadawania,

$L_p$  – straty związane z kształtem wiązki anteny,

$L_x$  – całkowite straty obróbki sygnału,

$M$  – straty związane z niedopasowaniem filtra p. cz.,

$D(N)$  – stosunek sygnału do szumu na wejściu detektora niekoherentnego dla zadanych warunków wykrywania obiektów:  $P_d$  (prawdopodobieństwa wykrycia) i  $P_{fa}$  (prawdopodobieństwa fałszywego alarmu),

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/°K – stała Boltzmanna.

Bardzo wygodną formą w zastosowaniu (obliczeniach) powyższego równania jest postać logarytmiczna. W tej formie przyjmie ono postać

$$40 \lg R_0(\Theta)[\text{km}] = 10 \lg P_t + 10 \lg \tau + G_t [\text{dB}] + G_r [\text{dB}] + 20 \lg \gamma + \sigma [\text{dB}] - T_s(\Theta) [\text{dB}] - L_t [\text{dB}] - L_p [\text{dB}] - L_x [\text{dB}] - M [\text{dB}] - D(N) [\text{dB}] + 75,6 \quad (3.2)$$

Stała 75,6 wynika z zamiany jednostki miary z [m] na [km] zasięgu  $R$ . Gdybyśmy chcieli otrzymać wynik w [m] wtedy stała równania przyjmie wartość  $195,6 = -30\log 4\pi - 10\log k$  [5].

Równanie (3. 2) przedstawione jest na schemacie blokowym (rys.3.2), uzupełnionym członami dotyczącymi zakłóceń czynnych i biernych (bloki 6 i 7) oraz odbiciami od ziemi i wpływem atmosfery (bloki 9 i 10).

Parametry, które zadaje się z góry przy projektowaniu radaru zaznaczone są w blokach zgodnie z równaniem (3.2). Nieco złożone jest obliczenie dwóch wartości  $D(N)$  i  $T_s(\Theta)$ , które zasadniczo komplikują próbę automatyzacji obliczenia wykresu pokrycia. Parametry zadawane z góry oznaczone w poszczególnych blokach na rys.3.2 nie wymagają dokładniejszego omówienia, można jedynie pokazać ich proporcjonalność do  $[R_0]^4$  w równaniu (3.1).

### 3.2. Wpływ temperatury szumów systemu na zasięg wykrywania radaru

Pierwszym istotnym problemem jest wyznaczenie temperatury szumów systemu  $T_s(\Theta)$ , która zależy od kąta elewacji  $\Theta$ . Na wypadkową wartość  $T_s(\Theta)$  składają się trzy składniki:

- a) straty w urządzeniu promieniującym,
- b) straty w linii odbiorczej,
- c) szum odbiornika.

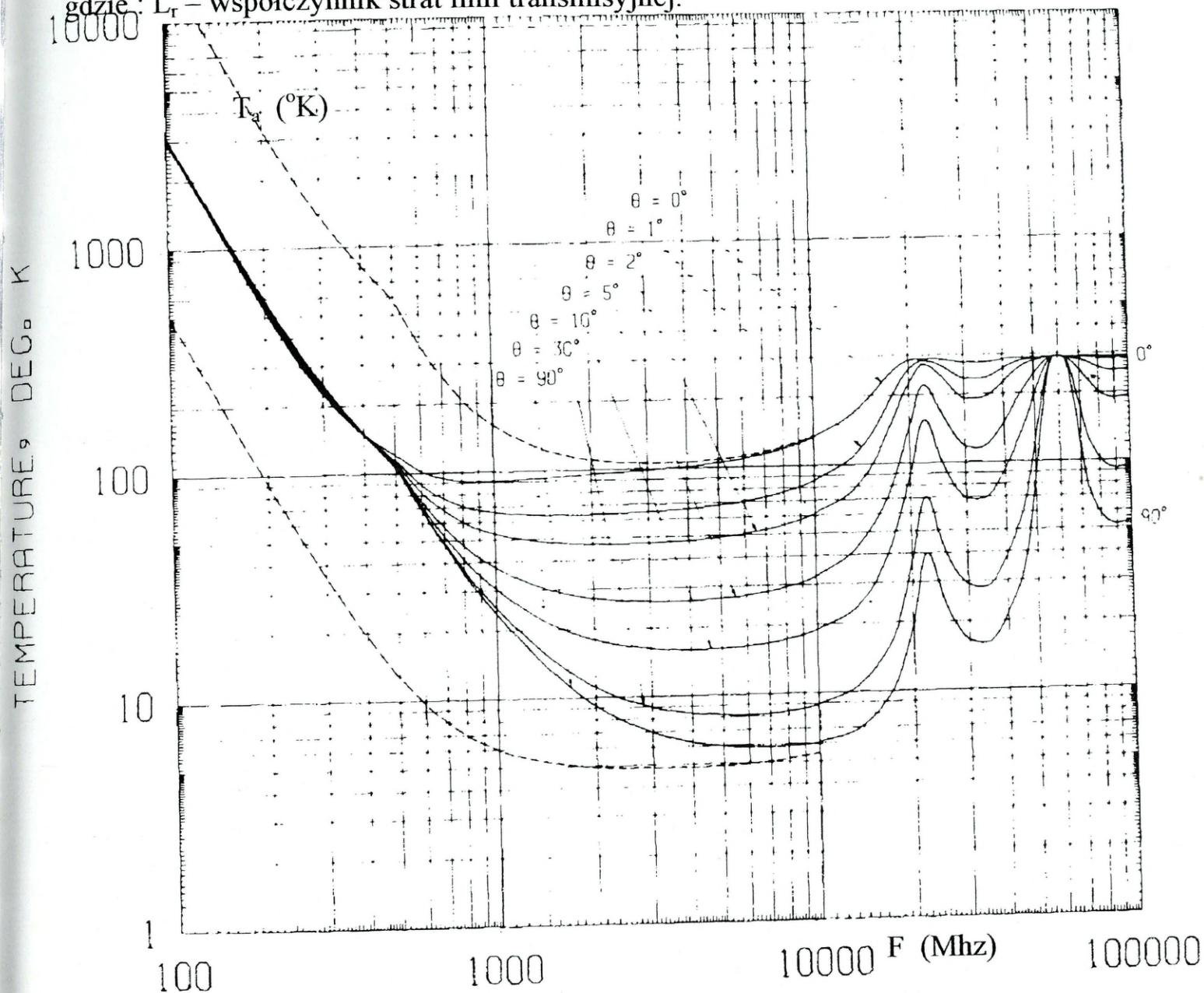
Każdy z tych składników można wyrazić za pomocą odpowiedniej temperatury szumów, ponieważ wzrost lub obniżenie temperatury jest związane z wprowadzaniem do układów elektronicznych tzw. szumów temperaturowych – napięcia szumów. W związku z tym występują zakłócenia sygnałów użytecznych napięciami szumów, co można potraktować jako straty związane z temperaturą. Wyróżniamy zatem:

- temperaturę szumów anteny  $T_a$ ,
- temperaturę szumów linii odbiorczej  $T_r$ ,
- efektywną temperaturę szumów odbiornika  $T_e$ .

Całkowita temperatura szumów  $-T_s$  jest sumą przedstawionych wyżej składowych temperatur szumów

$$T_s = T_a + T_r + T_e \cdot L_r \quad (3.3)$$

gdzie:  $L_r$  – współczynnik strat linii transmisyjnej.



Rys. 3.1. Zależność temperatury szumów od częstotliwości

Temperatura szumu linii odbiorczej  $T_r$  wyraża się wzorem

$$T_r = T_{tr} \cdot (L_r - 1) \quad (3.4)$$

gdzie:  $T_{tr}$  – typowa wartość  $T_{tr}$ , która wynosi  $290[^\circ\text{K}]$  i tyle na ogół przyjmuje się do wszystkich obliczeń.

Tabela 3.1. Temperatura szumów anteny w [°K] dla różnych kątów elewacji i różnych częstotliwości impulsu sondującego odczytana z wykresu rys.3.1.

Kąt elewacji $\Theta$ [°]	f [GHz]			
	1,5	2	3	4
0	93	95	100	105
0,2	87	86	90	90
0,5	78	80	80	91
0,8	70	70	70	72
1,0	62	63	64	67
1,2	60	60	60	60
1,5	55	55	55	56
1,8	51	50	50	52
3,0	49	48	48	49
2,5	45	43	43	44
3,0	42	39	39	40
3,5	38	35	35	35
4,0	35	32	32	32
4,5	32	29	29	29
5,0	30	38	27	28
6,0	28,5	26	24,5	24
7,0	27	24	22	22
8,0	25,5	22	19,5	19
9,0	23	19,5	18	17
10	22	18	16,5	16
12	21	17	15,5	15
14	20	16	14	14
16	18,5	15,2	13	12,5
18	18	14,8	12,2	12
20	17,5	14	11,5	11,5
22	17	13,2	11	11
24	16,5	12,5	10,6	10,6
26	16	12,2	10	9,7
28	15,5	12	9,5	9
30	15	11,1	9	8,2
40	14,5	10,8	8,5	7,8
50	14	10,3	8,1	7,6
60	13,6	10	7,7	7,2
70	12,2	9,5	7,3	7
90	13	9	7	6,2

Efektywna temperatura szumów  $T_e$  związana jest ze współczynnikiem szumów  $F_n$  zależnością

$$T_e = (F_n - 1) \cdot T_o \quad (3.5)$$

gdzie:  $F_n$  – współczynnik szumów (tab. 3.1, zał. 3).

$T_o = 290[\text{°K}]$  - temperatura odniesienia dla pomiarów współczynnika szumów.

Tak więc całkowitą temperaturę szumów można wyznaczyć za pomocą następującego wyrażenia

$$T_s = (0,876 \cdot T_a' - 254)/L_a + 290[\text{°K}] + T_{tr} \cdot (L_r - 1) + L_r \cdot T_o \cdot (F_n - 1) \quad (3.6)$$

Jako parametry zadane należy przyjąć:

$$L_a, L_r, F_n, T_o, T_{tr}, T_a', T_o = 290[\text{°K}], T_{tr} = 290[\text{°K}].$$

### 3.3. Stosunek sygnału do szumu $D(N)$ .

Aby obliczyć wartość minimalnego stosunku sygnału do szumu  $D(N)$ , należy najpierw znaleźć wartość odpowiadającą liczbie impulsów  $N$ , mieszczących się w paczce oświetlającej obiekt w czasie jednego obrotu anteny

$$N = E\left[\frac{k \cdot \Theta_a \cdot f_{psr}}{6 \cdot \omega \cdot \cos \Theta}\right] \quad (3.7)$$

gdzie:  $E[x]$  – oznacza zaokrąglenie do liczby całkowitej otrzymanej wartości,

$k$ - liczba kanałów,

$\Theta_a$  – szerokość wiązki anteny w azymucie w  $[\circ]$ ,

$f_{psr}$  – średnia częstotliwość powtarzania impulsów [Hz],

$\omega$  – prędkość obrotowa (kątowna) anteny [obr/min.],

$\Theta$ - kąt elewacji  $[\circ]$ .

Obliczenie wielkości  $N$  przedstawiono w bloku 1 na rys.3.2.

Obliczenie stosunku sygnału do szumu  $D(N)$  wymaganego dla zadanych warunków detekcji  $P_d$  (prawdopodobieństwa wykrycia celu) i  $P_{fa}$  (prawdopodobieństwa fałszywego alarmu) przedstawiono w blokach 2, 3 i 4 na rys.3.2.

Wielkość  $D(N)$  podana w decybelach jest sumą dwóch członów

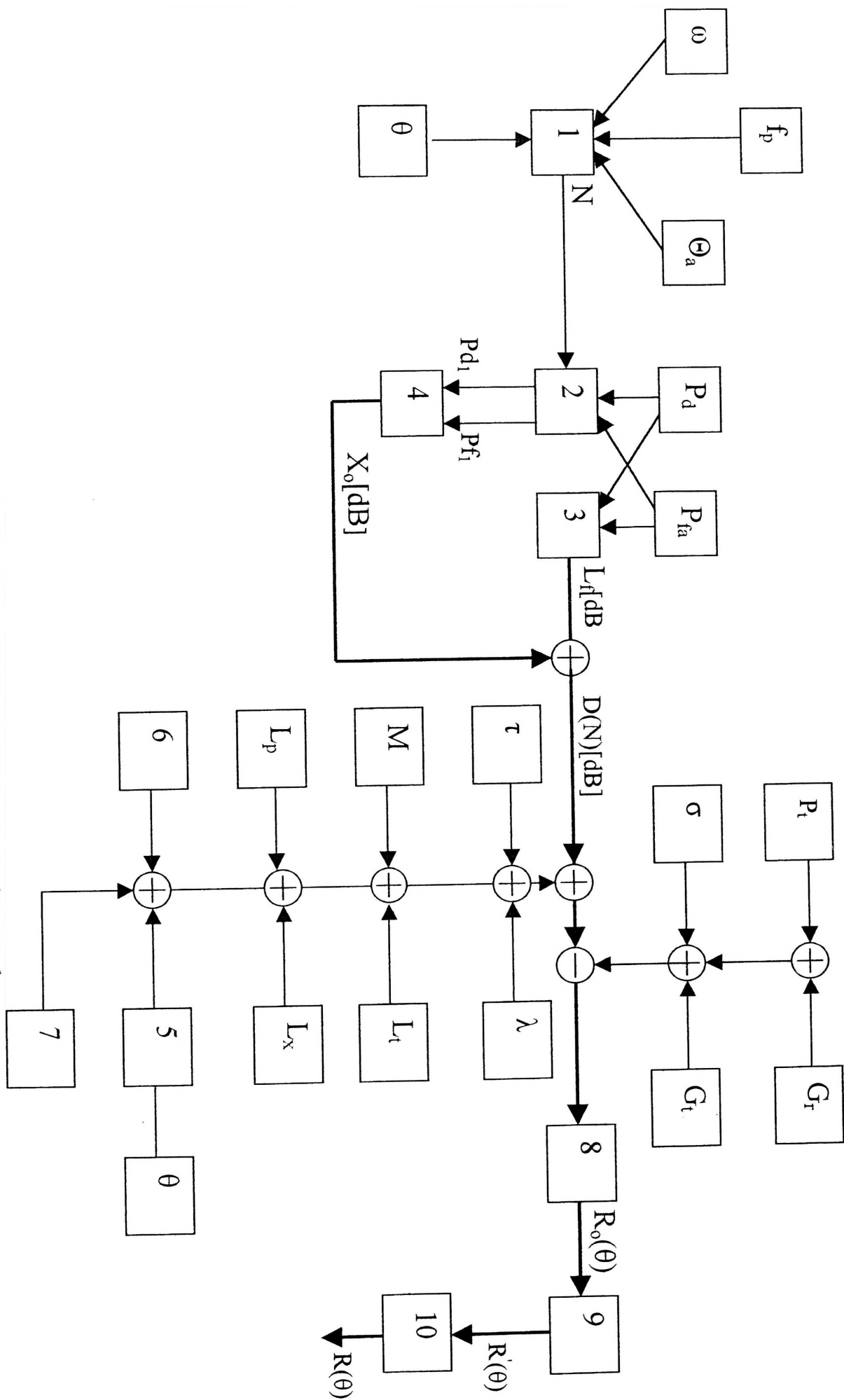
$$D(N) = \frac{L_f}{N} + X_0 [P_{d1}(P_d, N); P_{fa1}(P_{fa}, N)] \quad (3.8)$$

gdzie:  $L_f$  – współczynnik strat na fluktuację (z rys.3.1; zał. 3)  $L_f = f(P_d; P_{fa})$ ,

$N$ - liczba impulsów w paczce,

$X_0$  – stosunek sygnał-szum na wejściu detektora dla zadanych warunków detekcji (odczytujemy- z rys.3.2; zał. 3),

$P_d$  - prawdopodobieństwo wykrycia obiektu powietrznego,



Rys. 3.2. Algorytm obliczenia zasięgu radaru

$P_{fa}$  - prawdopodobieństwo fałszywego alarmu dla celu,

$P_{d1}$  - prawdopodobieństwo wykrycia pojedynczego impulsu,

$P_{fa1}$  - prawdopodobieństwo fałszywego alarmu dla pojedynczego impulsu.

Dla typowych warunków pracy urządzeń radiolokacyjnych przyjmuje się modele fluktuacji powierzchni skutecznej celu radiolokacyjnego według klasyfikacji Swarlinga. Najbardziej reprezentatywnym modelem fluktuacji obiektu promieniującego jest I-szy przypadek według Swerlinga; fluktuacje celu są małe, tak że amplitudy w paczce są silnie skorelowane.

Wartość  $L_f = f(P_d, P_{fa})$  można dla danych  $P_d$  i  $P_{fa}$  odczytać z wykresu rys.3.1 (zał. 3).

Wykres ten jest łatwy do przybliżenia nieskomplikowanym wyrażeniem analitycznym. Dla najczęściej stosowanych prawdopodobieństw:  $P_{fa} = 10^{-6}$  oraz  $P_d = 0,8$  wartość  $L_f$  wynosi 5.4, natomiast dla  $P_{fa} = 10^{-6}$  oraz  $P_d = 0,9$  wartość  $L_f$  wynosi 8.3.

Funkcja  $X_0$  stanowi zależność funkcji prawdopodobieństw detekcji  $P_{d1}$  i fałszywego alarmu  $P_{fa1}$  dla pojedynczego impulsu. Natomiast wartości  $P_d$  i  $P_{fa}$  wyznacza się z wykorzystaniem następujących zależności

$$P_d = \sum_{j=m}^N \binom{N}{j} \cdot P_{d1}^j (1 - P_{d1})^{N-j} \quad (3.9)$$

$$P_{fa} = \sum_{j=m}^N \binom{N}{j} \cdot P_{fa1}^j (1 - P_{fa1})^{N-j} \quad (3.10)$$

gdzie:  $P_{d1}$  - prawdopodobieństwo wykrycia pojedynczego impulsu,

$P_{fa1}$  - prawdopodobieństwo fałszywego alarmu dla pojedynczego impulsu,

$j = m, m+1, m+2, \dots, N$ ,

$$m = \frac{N}{2},$$

$N$  - liczba impulsów w paczce.

Często zdarza się, że sygnał odbity od obiektu wykrywanego może zagubić się na tle przypadkowych szumów. Analogicznie szum przekraczający poziom średni może zostać potraktowany jako sygnał wykrywanego obiektu.

Wskazane jest więc tak ustalić poziom szumów, aby otrzymać pewne optymalne warunki wykrywania  $P_d$  i fałszywego alarmu  $P_{fa}$ .

Zadając wartość  $P_d$  wymagamy, aby z  $N$  impulsowego sygnału otrzymać  $m$  sukcesów co skłania do posłużenia się wielomianem Bernoulliego.

W interesującym nas przypadku nie szukamy prawdopodobieństwa odniesienia  $m$  sukcesów w  $N$  próbach lecz pytamy o prawdopodobieństwo wykrycia pojedynczego impulsu  $P_{d1}$ . W naszym problemie  $P_d$  zadajemy z góry i szukamy prawdopodobieństwa wykrycia pojedynczego impulsu  $P_{d1}$  przyjmując kryterium wykrycia  $m = \frac{N}{2}$ , która nie jest wartością krytyczną.

I tak dla przykładu zadając pewną wartość  $P_d$  należy znaleźć wartość prawdopodobieństwa  $P_{d1}$  wykrycia pojedynczego impulsu na wejściu detektora niekoherentnego. Wartości te można zadać w postaci odpowiednich tablic dla wybranych wartości  $P_d$  np. od 0,5 do 0,9 co 0,05 dla odpowiednich wartości  $N$ , które mogą być np. od 2 do 20 co 2 lub od 20 do 50 co 4.

Można też rozwiązać to przy użyciu podprogramu, zakładając w pierwszym kroku np.  $P_{d1} = 0,5$  i wyliczyć  $P_d$ . Jeśli różni się ona od wartości zadanej podstawiamy  $P_{d1} = 0,5 + 0,1 = 0,6$  itd. Dobierając odpowiednią wartość kroku można dość szybko, w czwartym lub piątym kroku dopasować wartość  $P_{d1}$ .

Do obliczenia wartości  $P_{d1}$  można też zastosować wzór przybliżony, którego wykorzystanie znacznie przyspiesza proces obliczeń

$$P_{d1}^2(N^2 + X^2N) + P_{d1}N(X^2 + N - 1) + \frac{N-1}{4} = 0 \quad (3.11)$$

gdzie:  $X$  jest zmienną losową niezależną, dla której dystrybuanta rozkładu

normalnego  $\Phi(x) = P_d$ .

Wykresy:  $P_d = \sum_{j=m}^N \binom{N}{j} \cdot P_{d1}^j (1 - P_{d1})^{N-j}$  są krzywymi w miarę gładkimi i rosnącymi.

Dlatego należy rozważyć, czy liczenie za pomocą powyższych zależności nie potrwa

dużo dłużej niż np. wyszukiwanie wartości zapisanych w tablicy. I tak dla przykładu po znalezieniu wartości  $P_{d1}$  i  $P_{fa1}$  (na podstawie krzywych dla detektora niekoherentnego) z wykresu rys.3.2 (zał. 3) odczytać należy wartość  $X_0$ .

Aproksymowanie wykresu (rys.3.2, zał. 3), wyrażeniem analitycznym wydaje się być zbyt skomplikowane i lepiej w tym miejscu wprowadzić tablicę wartości  $X_0$  dla odpowiednich  $P_{d1}$  i  $P_{fa1}$  w bazie danych. Jest to chyba najistotniejszy problem w algorytmie obliczania strefy wykrywania. Ten właśnie element wnosi w tracie obliczeń względnie największe błędy.

Tak więc po znalezieniu  $X_0$  i dodaniu do  $L_f$  otrzymuje się wartość  $D(N)$  [dB]. Sumując wszystkie wielkości według schematu (rys.3.2), otrzymamy pewną wypadkową wartość w [dB], co zgodnie z równaniem (3.2) jest zasięgiem radaru w czwartej potędze wyrażonym w [dB].

Aby otrzymać zasięg w km należy obliczyć odwrotność logarytmu tej wartości (anty  $\lg x$ )

$$R(\Theta) [km] = \text{anty } \lg \frac{1}{40} K \quad (3.12)$$

gdzie:  $K$  - zasięg wykrywania radaru wyznaczony za pomocą równania (3.2)

Otrzymana wartość jest zasięgiem wykrywania radaru  $R_0$  (wyrażona w km) w wolnej przestrzeni dla danego kąta elewacji  $\Theta$ . Krok ten pokazany jest w bloku 8 na rys.3.2.

### 3.4. Wpływ współczynnika propagacji na zasięg wykrywania radaru

Zasięg wykrywania radaru  $R(\Theta)$  w wolnej przestrzeni należy pomnożyć przez tzw. współczynnik propagacji fal elektromagnetycznych  $F(\Theta)$  uwzględniający odbicia od powierzchni ziemi. Stąd też  $R'(\Theta) = R(\Theta) \cdot F(\Theta)$ . Wartość współczynnika  $F(\Theta)$  wyznaczyć można za pomocą następującej zależności

$$F(\Theta) = f(\Theta_1) + \zeta \cdot D \cdot f(\Theta_2) \cdot e^{-i\alpha} \quad (3.13)$$

gdzie:  $f(\Theta_1)$ ,  $f(\Theta_2)$  – unormowane zyski napięciowe odpowiednio dla promienia bezpośredniego i odbitego od ziemi,

- $\Theta_1$  – kąt określający kierunek do promienia bezpośredniego,
- $\Theta_2$  – kąt określający kierunek do promienia odbitego od ziemi,
- $\zeta$  – współczynnik odbicia (rys.3.5, zał. 3),
- $D$  – czynnik rozbieżności (rys.3.3, zał. 3),
- $\alpha$  – różnica faz między promieniem padającym a odbitym.

Różnica faz  $\alpha$  między promieniem bezpośrednim a odbitym zależy od różnicy dróg między tymi promieniami  $\Delta$  oraz od przesunięcia fazowego przy odbiciu od ziemi  $\varphi$  i wyrazić można za pomocą zależności

$$\alpha = \varphi + \frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda} \quad (3.14)$$

Przyjmując model płaskiej ziemi różnicę dróg jakie przebędą oba promienie wyznaczyć można z zależności

$$\Delta = R_2 - R_1 = 2h_1 \cdot \sin \Psi = \frac{2h_1 h_2}{r} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{h_2}{r} \right)^2 + \frac{3}{8} \left( \frac{h_2}{r} \right)^4 - \dots \right] \quad (3.15)$$

W pierwszym przybliżeniu różnica ta wynosi

$$\frac{2h_1 h_2}{r} \approx \Delta \quad (3.16)$$

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{h_1 + h_2}{r} \quad (3.17)$$

gdzie:  $\Psi$  – kąt między powierzchnią ziemi a promieniem odbitym,

$h_1$  – wysokość zawieszenia anteny,

$h_2$  – wysokość celu,

$r$  – odległość do celu mierzona wzdłuż ziemi.

Gdy  $\Psi \rightarrow 0$  to  $\Delta = 2h_1 \sin \psi \rightarrow 0$ . Tak więc różnica faz  $\alpha \rightarrow \varphi$ .

Czynnik fazowy  $\varphi$  obliczyć można korzystając z warunków ciągłości składowej stycznej pola elektrycznego  $E_t$  na granicy dwóch ośrodków o różnych wartościach stałej dielektrycznej. Tak więc głównie wartość przesunięcia fazowego  $\varphi$  zależy od polaryzacji fali elektromagnetycznej. W przypadku polaryzacji poziomej  $\varphi = 180^\circ$  dla  $\Psi = 0^\circ$  i rośnie liniowo osiągając  $\max \varphi_m = 180^\circ$  przy  $\Psi = 90^\circ$  w przedziale częstotliwości od 100 MHz do 10 GHz. W przybliżeniu można też przyjąć, że wartość współczynnika fazowego jest stała i wynosi  $\varphi = 180^\circ$ .

Inaczej jest w przypadku polaryzacji pionowej, gdy  $\varphi$  jest zarówno funkcją kąta  $\Psi$  jak i częstotliwości. I tak przykładowo dla  $\Psi = 0$  wartość  $\varphi = 180^\circ$  i maleje bardzo silnie (w zależności od częstotliwości) ze wzrostem kąta  $\Psi$  od  $0^\circ$  do  $30^\circ$ . Przy dalszym wzroście kąta  $\Psi$  wartość  $\varphi$  bardzo nieznacznie maleje. W przypadku uwzględnienia krzywizny ziemi równania (3.16) i (3.17) zmodyfikowane są przez tzw. czynniki korekcji  $J(S, T)$  i  $K(S, T)$

$$\Delta = \frac{2h_1 h_2}{r} \cdot J(S, T) \quad (3.18)$$

$$\operatorname{tg} \Psi = \frac{h_1 + h_2}{r} \cdot K(S, T) \quad (3.19)$$

Parametry  $S$  i  $T$  umożliwiają oszacowanie wpływu krzywizny ziemi na zasięg wykrywania radaru (rys.3.6 i 3.7, zał. 3). Ich wartości wyznaczyć można z następujących zależności

$$S = \frac{r}{u \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})} \quad (3.20)$$

$$T = \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad (3.21)$$

gdzie:  $r$  – odległość do celu mierzona wzdłuż ziemi,

$h_1$  - wysokość zawieszenia elementu promieniującego anteny radaru,

$h_2$  - wysokość lotu obiektu powietrznego,

$u$  - wartość współczynnika przeliczeniowego równa 4,123 dla wartości

$r$  podanej w kilometrach oraz  $h_1$  i  $h_2$  podanych w metrach.

Równanie (3.13) można zatem zapisać w następującej postaci

$$F = f(\Theta_1) \cdot \left[ 1 + x^2 + 2x \cdot \cos\left(\varphi + \frac{2\pi \cdot \Delta}{\lambda}\right) \right]^{1/2} \quad (3.22)$$

gdzie:

$$X = \frac{\xi \cdot D \cdot f(\theta_2)}{f(\theta_1)} \quad (3.23)$$

nazywa się *całkowitym współczynnikiem odbicia*.

W wyniku interferencji fal elektromagnetycznych występują minima i maksima natężenia odbieranych sygnałów, przy czym maksimum interferencyjnemu odpowiada  $\cos \alpha = 1$  a minimum  $\cos \alpha = -1$ . W punkcie pośrednim dla  $\cos \alpha_{sr} = 0$  wartość kąta  $\alpha$  określa się za pomocą zależności (3.14).

W przypadku polaryzacji poziomej tj. dla  $\varphi = \pi$ , zależność (3.22) przyjmie postać

$$F = f(\theta_1) \cdot \left( 1 + x^2 - 2x \cdot \cos \frac{4\pi \cdot h_1 \cdot \sin \psi}{\lambda} \right)^{1/2} \quad (3.24)$$

Natomiast wartości kątów interferencji dla tej polaryzacji można wyznaczyć z następujących zależności

$$\sin \Psi_{\max} = \frac{(2k-1) \cdot \lambda}{4 \cdot h_1} \quad (3.25)$$

$$\sin \Psi_{\min} = \frac{(k-1) \cdot \lambda}{2 \cdot h_1} \quad (3.26)$$

$$\sin \psi_{sr} = \frac{(2k-1) \cdot \lambda}{8 \cdot h_1} \quad (3.27)$$

Współczynnik rozmycia  $D$  można z wystarczającym przybliżeniem przyjąć jako  $D=1$ .

Gdy fala elektromagnetyczna jest spolaryzowana pionowo, czynnik odbicia jest funkcją kąta padania  $\varphi = \varphi(\Psi)$ .

Maksimum interferencyjne występuje dla  $\varphi(\Psi) + \frac{2\pi h_1 \sin \Psi}{\lambda} = 2(k-1)\pi$ , natomiast mini-

mum dla  $\varphi(\Psi) + \frac{2\pi h_1 \sin \Psi}{\lambda} = (2k-1)\pi$ , a punkt pośredni dla  $\varphi(\Psi) + \frac{2\pi h_1 \sin \Psi}{\lambda} = \frac{(2k-1)\pi}{2}$ .

Funkcję  $\varphi(\psi)$  można w zakresie  $0^\circ - 10^\circ$  przybliżyć wyrażeniem analitycznym, a dla większych kątów  $\psi$  przyjąć jako stałą. Przy rozchodzeniu się fal elektromagnetycznych w swobodnej przestrzeni wartość współczynnika odbicia (patrz 3.23) jest równa zero a wzór na określenie wartości współczynnika propagacji (3.24) przyjmuje postać

$$F = f(\theta_1) \quad (3.28)$$

### 3.5. Straty w atmosferze

W celu uwzględnienia strat w atmosferze należy metodą iteracji rozwiązać następujące równanie

$$R_{i+1}(\Theta) = R_i \cdot \delta_i \quad (3.29)$$

gdzie:  $\delta_1 = \text{antylog} \left[ \frac{-L_{\alpha 1}(\Theta) [dB]}{40} \right]$  dla  $i=1$

$$\delta_2 = \text{antylog} \left[ \frac{L_{\alpha 1}(\Theta) - L_{\alpha 2}(\Theta) [dB]}{40} \right] \quad \text{dla } i=2$$

Natomiast  $L_{\alpha i}$  oznacza tłumienie przy dwukierunkowej transmisji dla kolejnego kroku iteracji (odczytane z wykresu rys.3.4, zał. 3). Na tym rysunku przedstawione są zależności współczynników tłumienia  $L_{\alpha i} = f(R)$  dla różnych kątów elewacji  $\Theta_i$  w funkcji częstotliwości.

### 3.6. Wpływ zakłóceń czynnych

Przy uwzględnieniu występowania zakłóceń czynnych należy wyliczyć zastępczą temperaturę szumów systemu (blok nr 7 na rys.3.2).

Wartość gęstości mocy odbieranego sygnału zakłóceń można wyznaczyć z zależności

$$P_{sz} [W/Hz] = k \cdot T_j = \frac{P_{Tj} \cdot G_j \cdot G_r \cdot \lambda^2 \cdot F_j^2(\Theta)}{(4\pi \cdot R_j)^2 \cdot L_r} \quad (3.30)$$

gdzie:  $T_j$  [K] – zastępcza temperatura szumów zakłóceń,  
 $P_{sz}$  [W/Hz] – gęstość mocy urządzenia zakłócającego,  
 $G_j$  – zysk anteny urządzenia zakłócającego,  
 $G_r$  – zysk anteny odbiorczej,  
 $\lambda$  [m.] – długość fali,  
 $R_j$  [m.] – odległość urządzenia zakłócającego,  
 $F_j(\Theta)$  – unormowana napięciowa charakterystyka promieniowania  
uwzględniająca odbiór przez listki boczne lub przez listek główny,  
 $L_r > 1$  – straty sygnału użytecznego w liniach przesyłowych odbiornika.

Wypadkową temperaturę zastępczą szumów  $T_\varepsilon(\Theta)$  można wyznaczyć z zależności

$$T_\varepsilon(\Theta) = T_s(\Theta) + T_j \quad (3.32)$$

W przypadku nie uwzględniania zakłóceń czynnych wartość tej temperatury należy uwzględnić przy wyznaczaniu zasięgu radaru impulsowego w swobodnej przestrzeni (patrz 3.2).

### 3.7. Zakłócenia bierne

Dla zapewnienia odporności na zakłócenia bierne stosuje się układ TES i kompresję impulsu. Miarą skuteczności działania TES jest współczynnik poprawy

$$I = \left(\frac{S}{Z}\right)_{wy} / \left(\frac{S}{Z}\right)_{we} \quad (3.32)$$

gdzie:  $\left(\frac{S}{Z}\right)_{we}$  – stosunek sygnał – szum na wejściu układu kompensacji,

$\left(\frac{S}{Z}\right)_{wy}$  – stosunek sygnał – szum na wyjściu układu kompensacyjnego.

Podobnie jak w przypadku zakłóceń czynnych należy obliczyć zastępczą temperaturę szumów systemu. Natomiast wartość gęstości mocy sygnału określić można z zależności

$$P_{sz} [W / Hz] = k \cdot T_z = \frac{P_t \cdot \tau \cdot L_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot F_t^2(\Theta) \cdot F_r^2(\Theta) \cdot \lambda^2 \cdot \sigma_z}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \quad (3.33)$$

gdzie:  $k$  - stała Boltzmanna,

$T_z$  [°K] – zastępcza temperatura szumów przy zakłóceniach biernych,

$P_t$  [W] – moc szczytowa nadajnika,

$L_t < 1$  – straty w liniach przesyłowych dla nadawania,

$\tau$  [s] – czas trwania impulsu sondującego,

$G_t, G_r$  - zysk antenowy odpowiednio dla anteny nadawczej i odbiorczej stacji.

$F_t(\Theta), F_r(\Theta)$  – unormowanie napięciowe charakterystyki promieniowania dla nadawania i odbioru,

$\lambda$  - długość fali nadajnika,

$R$  [m] – odległość od obiektu zakłócającego,

$\sigma_z$  [m<sup>2</sup>] – wypadkowa powierzchnia skuteczna odbicia obiektu

$$\delta_z = \frac{c \cdot \tau_k \cdot \delta_p \cdot n_p}{2 \cdot d_p} \quad (3.34)$$

gdzie:  $c$  – stała,

$\tau_k$  – czas trwania impulsu po kompresji,

$\sigma_p$  – powierzchnia skuteczna standardowej paczki,

$d_p$  – długość drogi rozrzutu,

$n_p$  – ilość standardowych paczek TES otrzymamy

$$T_z^T = \frac{T_z}{I} \quad (3.35)$$

gdzie:  $I$  – współczynnik poprawy TES.

Tak więc wypadkowa temperatura szumów wyniesie

$$T_\varepsilon = T_s + T_z^T \quad (3.36)$$

## 3.8. Przykład obliczeń

Tabela 3.2

OBLCZENIE ZASIĘGU RADARU					
wg. D.K.Barton, Radars, vol.2. The Radar Equation, str.203					
Prawdopodobieństwo wykrycia - $P_d = 0.8$ ; Prawdopodobieństwo fałszywego alarmu - $P_{fa} = 10^{-6}$ ; Wysokość anteny nad ziemią $h = 8$ [m] Ilość impulsów $N = \frac{\Theta_a \cdot f_{psr}}{6 \cdot \omega \cdot \cos \Theta} = 18$ ; gdzie:					
$\Theta_a = 2^\circ$ ; $f_{psr} = 325$ [Hz]; $\omega = 6$ obr/min; $\Theta = 1^\circ$ ; Przypadek I celu wg Swarlinga					
A. Obliczenie $T_s$ : $T_s = T_a + T_r + T_e \cdot L_r$	B. Parametry radaru		C. Wartości w decybelach	Plus (+)	Minus(-)
a) Obliczenie $T_a$ . Dla $T_{tg} = T_{ta} = 290$ [°K] $T_a = (0,876 T_a' - 254) / L_a + 290$ gdzie: $T_a' = 64$ [°K] $L_a$ [dB] = 1.77; $L_a = 1.503$  <b><math>T_a = 158</math> [°K]</b>	$P_t$ [W]	$100 \cdot 10^3$	$10 \log P_t$	50	
	$\tau$ [s]	$10 \cdot 10^{-6}$	$10 \log \tau$		50
	$G_t$		$G_t$ [dB]	40,97	
	$G_r$		$G_r$ [dB]	40,97	
	$\delta$ [m <sup>2</sup> ]	1,0	$10 \log \delta$	0,00	
	$\lambda$ [m]	0,09375	$20 \log \lambda$		20,56
	$T_s$ [°K]	1697,8	$-10 \log T_s$		32,30
	D		$-D$ [dB]		9,00
	M		$-M$ [dB]		0,60
	$L_t$		$-L_t$ [dB]		2,00
	$L_p$		$-L_p$ [dB]		1,60
$L_x$		$-L_x$ [dB]		2,00	
b) Obliczenie $T_r = T_{tr} \cdot (L_r - 1)$ gdzie: $L_r$ [dB] = 3.0 $L_r = 1.58$ $T_{tr} = 290$ [°K] <b><math>T_r = 169.7</math> [°K]</b>	Stała równania zasięgu			75,60	
	Suma w kolumnach (+) i (-)			207,65	118,06
				118,06	
	Wypadkowa suma kolumn (+) i (-)			+89,48	-
c) Obliczenie $T_e = T_o \cdot (F_n - 1)$ gdzie: dla $T_e, T_r$ $F_n$ [dB] = 6.0 $F_n = 3,98$ $T_o = 290$ [°K]  <b><math>T_e = 864.2</math> [°K]</b>	Zasięgu wolnoprzestrzenny			$R_o$	172,6 [km]
	$R_o = 10^{89,48/40}$			$R$	172,6 [km]
	$R = R_o \cdot F$ gdzie $F = (F_t \cdot F_r)^{1/2} = 1,00$			$L_\alpha$ [dB] odpowiadający $R$	1,54 [dB]
	$L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub>			$\delta_1$	0,92
	$\delta_1$ - odpowiadający $L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub> $\delta_1 = \text{co log}(-L_\alpha \text{ [dB] }_{(1)}/40)$ $\{\delta_1 = 1/10^{1,54/40}\}$			$R_1$	157,9 [km]
<b><math>T_s = 1697.8</math> [°K]</b>	$R_1 = R \cdot \delta_1$			$L_\alpha$ [dB] odpowiadający $R_1$	1,45 [dB]
	$L_\alpha$ [dB] <sub>(2)</sub>				1,005
	$\delta_2$ odpowiadający $L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub> - $L_\alpha$ [dB] <sub>(2)</sub> $\delta_2$				
	$\{\delta_2 = 10^{(1,54 - 1,45)/40}\}$			$R$	158,8 [km]
$R = R_1 \cdot \delta_2$					

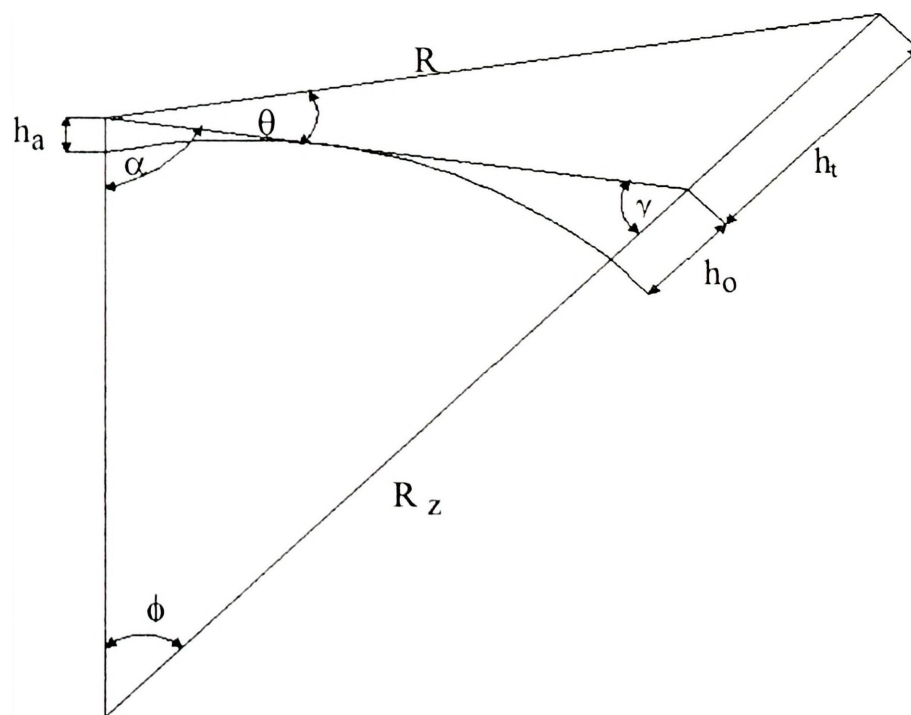
W tabeli 3.2 przedstawiono przykładowy sposób wyznaczania zasięgu radaru dla kąta elewacji  $\Theta = 1^\circ$  oraz  $P_{dl}(0,8;18) = 0,57$ ;  $L_f = 5,4$  [db];  $L_f = 5,4$  [db];  $P_{fa1}(10^{-6};18) = 0,07$  i  $X_0(0,57; 0,07) = 3,6$  [db].

### 3.9. Strefa wykrywania radaru dla liniowego i wykładniczego modelu troposfery

Przedstawiony w rozdziale poprzednim opis metody obliczenia zasięgu radarów impulsowych nie uwzględniał zjawisk refrakcji. Poniżej zostanie przedstawiony sposób obliczenia strefy wykrywania radaru z uwzględnieniem tego zjawiska, dla liniowego i wykładniczego modelu troposfery. Model liniowy uwzględnia zjawisko refrakcji poprzez obliczenie poprawki  $h_0$ . Model nieliniowy troposfery polega na obliczeniu wysokości rzeczywistej lotu obiektu, bez obliczania poprawki na refrakcję i uwzględnienie jej w zależności matematycznej.

#### 3.9.1. Liniowy model troposfery

Dla liniowego modelu troposfery  $h_t$  i  $h_0$  oblicza się w oparciu o zależności geometryczne, które przedstawiono na rys.3.3.



Rys.3.3. Zależności geometryczne do obliczenia  $h_t$  i  $h_0$ .

Obliczenia wykonujemy w oparciu o poniższe zależności

$$(k \cdot R_z + h_0)^2 = (k \cdot R_z + h_a)^2 + R^2 - 2(kR_z + h_a) \cdot R \cdot \cos(\alpha + \Theta) \quad (3.38)$$

$$h_t = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot C}}{2} \quad (3.39)$$

gdzie:

$$B = 2 \cdot k \cdot R_z$$

$$k \cdot R_z = 8500 \cdot 10^3 \text{ m.}$$

$$C = 2 \cdot (k \cdot R_z + h_a) \cdot R \cdot \cos(\alpha + \Theta) - 2 \cdot k \cdot R_z \cdot h_a - h_a^2 - R^2$$

$$\alpha = \arcsin \frac{k \cdot R_z}{k \cdot R_z + h_a} \quad (3.40)$$

$h_0$  oblicza się za pomocą wzoru

$$h_0 = \frac{k \cdot R_z}{\sin(\pi - \alpha - \phi)} - k \cdot R_z \quad (3.41)$$

gdzie:  $\phi = \arcsin \frac{R \cdot \sin(\alpha + \Theta)}{H_t + k \cdot R_z}$

Przykładowe obliczenia wysokości lotu obiektu zostały zawarte w załączniku 4. W oparciu o powyższe zależności oraz zależności geometryczne trójkąta wskazano na wielkości błędów jakie mogą powstać w przypadku nie uwzględniania wpływu refrakcji fal elektromagnetycznych.

### 3.9.2. Wykładniczy model troposfery

Zjawisko refrakcji w liniowym modelu troposfery przyczynia się do „spłaszczenia ziemi”. Wielkość tego spłaszczenia uzyskuje się z pomnożenia promienia ziemskiego przez współczynnik  $k$ . Wartość tego współczynnika określa się wzorem

$$k = \frac{1}{1 + \frac{R_z \cdot dn/dh}{n_0}} \quad (3.42)$$

gdzie:  $R_z$  – promień ziemi,

$n_0$  – wskaźnik refrakcji na wysokości  $h = 0$ .

W modelu tym zakłada się, że ujemny gradient wskaźnika refrakcji jest liniową funkcją wysokości

$$(dn/dh)/n_0 = -\frac{1}{4r_z} \quad (3.43)$$

stąd wartość  $k = \frac{4}{3}$ .

Wysokość  $h_1$  odpowiadającą danemu zasięgowi i kątowi elewacji oblicza się z zależności geometrycznych przyjmując jako promień Ziemi wartość  $k \cdot R_z$ .

W wykładniczym modelu troposfery wskaźnik refrakcji  $n$  jest funkcją wysokości  $h$  wyrażoną wzorem

$$n(h) = 1 + 0,000313 \cdot e^{-0,143859 \cdot h} \quad (3.44)$$

gdzie:  $h$  - mierzone jest w kilometrach.

Wysokość  $h_1$  dla danego zasięgu  $R$  ( $h_1, \theta$ ) i kąta elewacji  $\theta$ , oblicza się z następującej zależności (wyprowadzonej z prawa Snelliusa)

$$R(h_1, \Theta) = \int_0^{h_1} \frac{n(h)dh}{1 - \left( \frac{n_0 \cdot \cos \Theta}{n(h) \cdot (1 + h/R_z)} \right)} \quad (3.45)$$

Model wykładniczy wymaga sporządzenia wykresu w specjalnych współrzędnych nieliniowych, w którym linie stałej wysokości wyznaczone są ze wzoru (3.45), natomiast linie stałego zasięgu są elipsami.

Współrzędne prostokątne potrzebne do wykreślania tych linii (linii stałego zasięgu) oblicza się za pomocą wzorów

$$X = \zeta_0 \cdot \cos \Theta$$

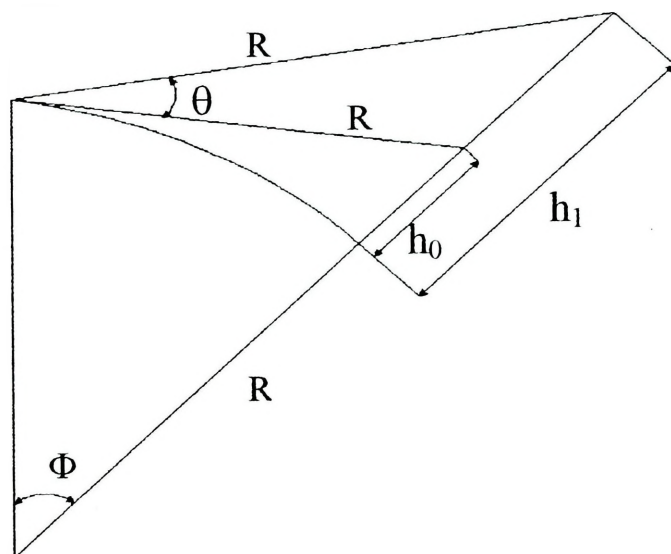
$$Y = E \cdot \zeta_0 \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{x}{\zeta_0} \right)^2} \quad (3.46)$$

gdzie: E jest współczynnikiem skali obliczonym z następujących zależności

$$E = (Y_{\max} / X_{\max}) / (R_{\max} / h_{\max}) \quad (3.47)$$

$$\zeta_0 = X_{\max} (R / R_{\max})^p \quad (3.48)$$

gdzie:  $p=1$



Rys.3.4. Zależności geometryczne, do obliczenia  $h_0$  i  $h_1$ .

Wysokość  $h_0$  (patrz rys.3.4) dla modelu nieliniowego oblicza się za pomocą wzoru (3.45) podstawiając za kąt  $\Theta$  wartość 0 a za  $R$  wartość  $R_1$ , czyli

$$R_1 = R_z \cdot \sin \phi \quad (3.49)$$

Korzystając z twierdzenia sinusów można wartość  $\phi$  wyznaczyć z zależności

$$\phi = \arcsin \left( \frac{R(90^\circ + \Theta)}{h_1 + R_z} \right) \quad (3.50)$$

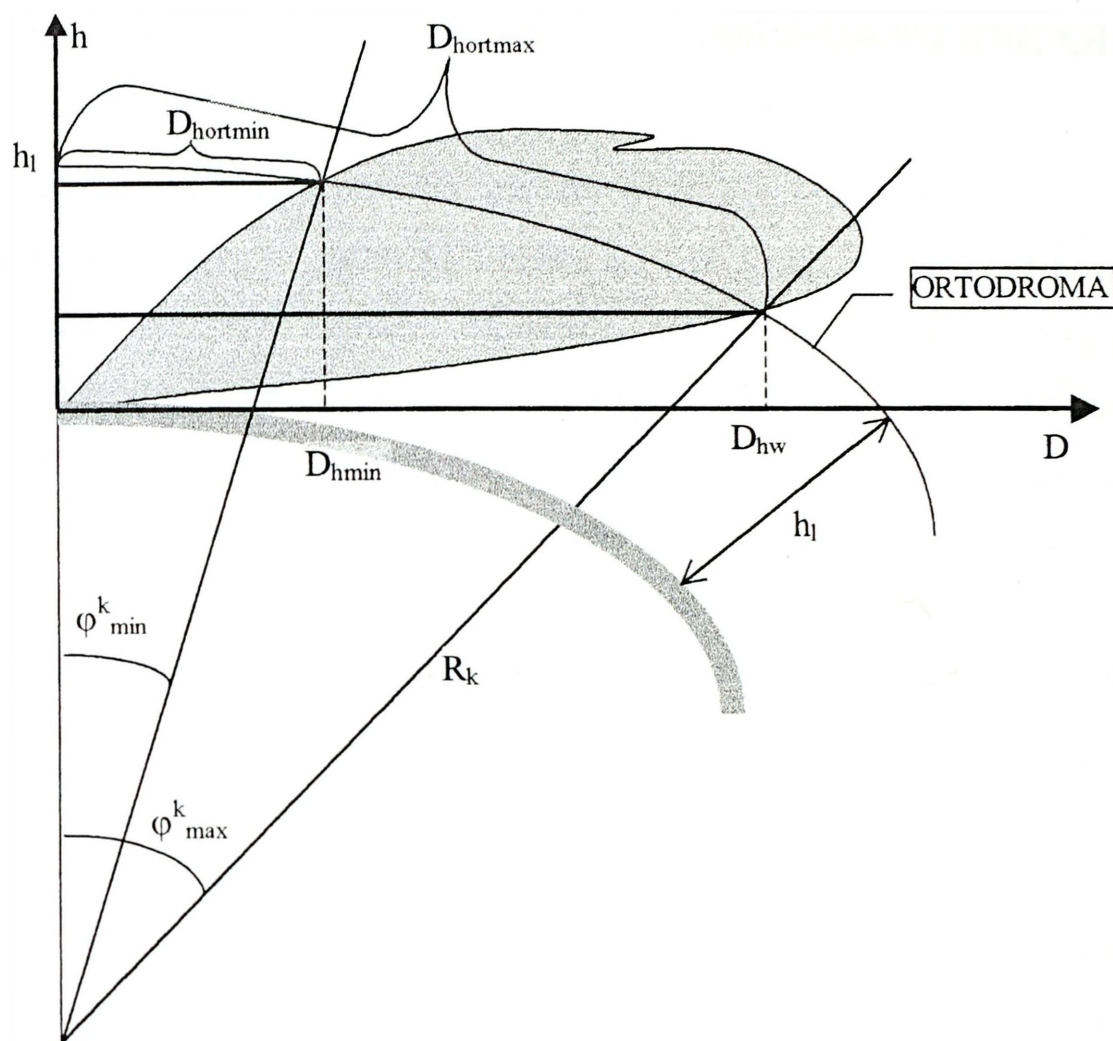
Model nieliniowy wymaga sporządzenia wykresu w odpowiednich współrzędnych, co na obecnym etapie pracy nie będzie realizowane.

## 4. TWORZENIE ODWZOROWANIA PRZESTRZENI RADIOLOKACYJNEJ

Podstawy teoretyczne tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej przedstawiono w [1, 2, 3]. Na teorii zawartej w tych opracowaniach bazują zamieszczone w niniejszym rozdziale zasady tworzenia tego odwzorowania. Odwzorowanie przestrzeni radiolokacyjnej zadanej grupy radarów jest sumą odwzorowań stref wykrywania pojedynczych radarów. Strefa wykrywania pojedynczego radaru z kolei charakteryzowana jest minimalną oraz maksymalną odległością wykrywania obiektów powietrznych na określonej wysokości ich lotu. Maksymalna odległość wykrywania zwana również zasięgiem wykrywania radaru, dla przyjętego prawdopodobieństwa wykrywania obiektów powietrznych i założonej ich skutecznej powierzchni odbicia, zależy od parametrów energetycznych radaru oraz ukształtowania terenu. Minimalna odległość wykrywania natomiast spowodowana jest tzw. stożkiem martwym i wyznacza się ją na podstawie maksymalnego kąta podniesienia charakterystyki antenowej radaru.

### 4.1. Określanie wymiarów strefy wykrywania radaru

Strefę wykrywania pojedynczego radaru proponuje się określać oddzielnie dla każdej rozpatrywanej wysokości lotu obiektu powietrzego ( $h_l$ ). Przyjmując zatem prawdopodobieństwo wykrywania obiektów powietrznych oraz ich skuteczną powierzchnię odbicia jako stałe (constans), dla każdej wysokości  $h_l$  należy wyznaczyć maksymalny ( $D_{hw}$ ) oraz minimalny ( $D_{hmin}$ ) zasięg wykrywania radaru wynikający z jego charakterystyki zasięgowej. Wielkości te można wyznaczyć zgodnie z teorią zasięgową radaru [3] lub z formularzy technicznych radarów. Na obecnym etapie badań przyjęto drugi sposób wyznaczania tych wielkości tzn. ze znanych charakterystyk zasięgowych radarów. Graficzną interpretację tych wielkości przedstawiono na rys. 4.1.



Rys.4.1. Ilustracja sposobu wyzn. sferycznej odległości wyktr. radaru

Dla potrzeb tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej we współrzędnych geograficznych-przestrzennych ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ,  $h$ ) niezbędne będzie również wyznaczenie odległości sferycznych<sup>1</sup> (po ortodromie) na określonych wysokościach tj. odległości minimalnej ( $D_{hortmin}$ ) oraz maksymalnej ( $D_{hortmax}$ ). W celu wyznaczenia tych wielkości należy dokonać konforemnego przekształcenia elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę (patrz punkt 4.2), a następnie wyznaczyć kąty  $\varphi_{min}^k$  oraz  $\varphi_{max}^k$  (patrz rysunek 4.1).

Promień ekwiwalentnej kuli  $R_k$  można wyznaczyć z zależności [27]

<sup>1</sup>Odległością sferyczną nazywa się odległość między dwoma punktami mierzona po łuku koła wielkiego na powierzchni kuli lub po ortodromie na określonej wysokości

$$R_k = \sqrt{MN} = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 \varphi_{sr}} \quad (4.1)$$

gdzie:

$$M = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi_{sr})^3}} - \text{promień krzywizny przekroju południkowego w}$$

punkcie środkowym o szerokości geograficznej  $\varphi_{sr}$   
rozpatrywanej części powierzchni elipsoidy obrotowej,

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 \varphi_{sr})}} - \text{promień krzywizny przekroju prostopadłego do}$$

południka w punkcie środkowym o szerokości geograficznej  $\varphi_{sr}$  (patrz p. 4.2),

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} - \text{kwadrat ekscentryczności liniowej elipsoidy obrotowej}$$

splaszczonej,

$a$  – półoś równikowa elipsoidy obrotowej splaszczonej (dla elipsoidy Krasowskiego  $a = 6378245$  m, dla elipsoidy WGS-84 -  $a = 6378137$  m),

$b$  – półoś biegunowa elipsoidy obrotowej splaszczonej (dla elipsoidy Krasowskiego  $b = 6356863$  m, dla elipsoidy WGS-84 -  $a = 6356752,3$  m).

Wartość kątów  $\varphi_{min}^k$  oraz  $\varphi_{max}^k$  można wyznaczyć z zależności (rys.4.1)

$$\varphi_{min}^k = \arcsin \frac{D_{hmin}}{R_k + h_l} \quad (4.2)$$

$$\varphi_{max}^k = \arcsin \frac{D_{hw}}{R_k + h_l}$$

/

Długości sferyczne  $D_{hortmin}$  oraz  $D_{hortmax}$  można zatem wyznaczyć z następujących zależności

$$D_{hortmin} = \varphi_{min}^k (R_k + h_l) \quad (4.3)$$

$$D_{hortmax} = \varphi_{max}^k (R_k + h_l)$$

Dla potrzeb porównania odległości sferycznej  $D_{hortmin}$  oraz  $D_{hortmax}$  z odległością węzłów numerycznego modelu terenu (NMT) od punktu stania radaru należy dokonać

przekształcenia współrzędnych geograficznych NMT z elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę styczną do elipsoidy w punkcie środkowym  $\varphi_{sr}, \lambda_{sr}$ .

#### 4.2. Transformacja współrzędnych geograficznych z elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę i odwrotnie

Stosując izometryczne, konforemne przekształcenie elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę można dokonać transformacji współrzędnych geograficznych radaru  $(\varphi_r, \lambda_r)$  oraz numerycznego modelu terenu  $[(\varphi_r + n\Delta\varphi), (\lambda_r + n\Delta\lambda)]$ , gdzie  $n$  oznacza numer węzła NMT, na współrzędne geograficzne  $(\varphi^k, \lambda^k)$  na kuli o promieniu  $R_k$  i punkcie styczności do elipsoidy  $(\varphi_{sr}, \lambda_{sr})$ . Za punkt styczności kuli do elipsoidy proponuje się przyjąć np. współrzędne Centralnego Stanowiska Dowodzenia. Dla powyższego przekształcenia współrzędne na kuli można wyznaczyć z zależności [7]

$$\begin{aligned}\lambda^k &= \lambda^e \\ \varphi^k &= \varphi^e - k_2 \sin 2\varphi^e + k_4 \sin 4\varphi^e - k_6 \sin 6\varphi^e\end{aligned}\tag{4.4}$$

gdzie:

$$k_2 = \frac{1}{2}e^2 + \frac{5}{24}e^4 + \frac{3}{32}e^6$$

$$k_4 = \frac{5}{48}e^4 + \frac{7}{80}e^6$$

$$k_6 = \frac{13}{480}e^6$$

$e$  – jak we wzorze 4.1.

Przekształcenia odwrotnego tzn. współrzędnych geograficznych z kuli  $(\varphi^k, \lambda^k)$  na elipsoidę  $(\varphi^e, \lambda^e)$  można dokonać na podstawie zależności [20]

$$\begin{aligned}\lambda^e &= \lambda^k \\ \varphi^e &= \varphi^k + k'_2 \sin 2\varphi^k + k'_4 \sin 4\varphi^k + k'_6 \sin 6\varphi^k\end{aligned}\tag{4.5}$$

gdzie:

$$k'_2 = \frac{1}{2}e^2 + \frac{5}{24}e^4 + \frac{1}{12}e^6$$

$$k'_4 = \frac{7}{48}e^4 + \frac{29}{240}e^6$$

$$k'_6 = \frac{7}{120}e^6$$

Analizę błędu transformacji współrzędnych geograficznych z elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę i odwrotnie przedstawiono w załączniku 5, w którym wykazano, że błąd ten dla obszaru Polski nie przekracza 80 cm.

### 4.3. Wyznaczanie horyzontu radiowego

Dla potrzeb tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej niezbędne będzie wyznaczenie zasięgu wykrywania radaru wynikającego z jego bezpośredniej widzialności (tzw. horyzontu radiowego) z uwzględnieniem przyjętych warunków pracy radaru. Uwzględniając współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego, którego wartość zależy od typu i parametrów technicznych radaru, zasięg ten można wyznaczyć z zależności [19]

$$R_{\max r} = 4,12 \cdot K_{hr} \cdot (\sqrt{h_a} + \sqrt{h_l}) \quad (4.6)$$

gdzie:

$R_{\max r}$  – zasięg radiowy radaru,

$K_{hr}$  – współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego danego radaru,

$h_l$  – wysokość lotu obiektu powietrznego względem radaru.

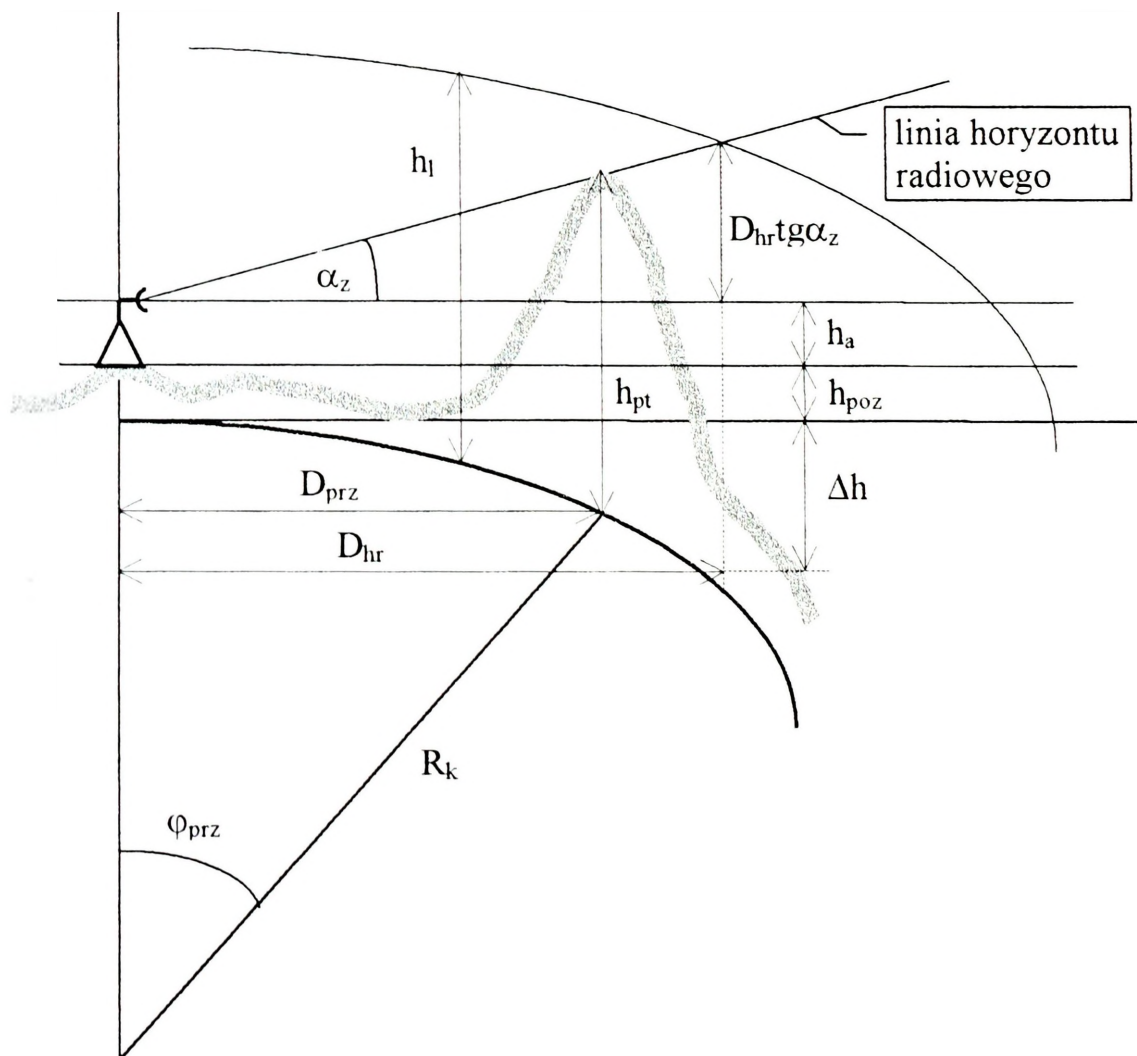
Zależność powyższą można wykorzystywać w warunkach braku jakichkolwiek przeszkód terenowych wokół radaru. W rzeczywistości wokół miejsca rozwinięcia radaru występują różnorodne przeszkody terenowe tworzące tzw. kąty zakrycia, które w znacznym stopniu ograniczają zasięg wykrywania radaru. Przeszkody te tworzą tzw. horyzont radiowy. Sposób wyznaczania horyzontu radiowego zilustrowano na rys. 4.2. Na rysunku tym wszystkie wysokości przedstawiono jako prostopadłe do stycznej w

miejscu dyslokacji radaru. Weryfikację wielkości błędów wynikających z tego uproszczenia przedstawiono w załączniku 2. Na rysunku 4.2 pokazano, że

$$\operatorname{tg} \alpha_z = \frac{h_{pt} - (h_a + h_{poz} + \Delta h)}{D_{prz}} \quad (4.7)$$

gdzie:

- $\alpha_z$  – kąt zakrycia,
- $h_{pt}$  – wysokość przeszkody terenowej,
- $h_a$  – wysokość zawieszenia anteny,
- $h_{poz}$  – wysokość pozycji (wysokość terenu npm w punkcie stania radaru),
- $\Delta h = \frac{D_{prz}^2}{2R_e}$  – poprawka wysokości uwzględniająca krzywiznę Ziemi oraz refrakcję fal elektromagnetycznych,
- $D_{prz}$  – odległość od anteny radaru do przeszkody terenowej (badanego węzła NMT),
- $R_e$  – ekwiwalentny promień Ziemi równy 8500 km.



Rys. 4.2. Ilustracja sposobu wyznaczania horyzontu radiowego

W celu wyznaczenia odległości płaskiej od anteny radaru do przeszkody terenowej ( $D_{prz}$ ) należy, korzystając z zasady rozwiązywania trójkątów sferycznych (p. 4.7), wyznaczyć kąt sferyczny  $\varphi_{prz}$ . Kąt ten można wyznaczyć z zależności

$$\varphi_{prz} = \arccos \left| \lambda_r^k - \lambda_w^k \right| \cos \left| \varphi_r^k - \varphi_w^k \right| \quad (4.8)$$

gdzie:

- $\varphi_r^k, \lambda_r^k$  – współrzędne dyslokacji radaru na ekwiwalentnej kuli,
- $\varphi_w^k, \lambda_w^k$  – współrzędne badanego węzła NMT na ekwiwalentnej kuli.

Znając kąt sferyczny  $\varphi_{prz}$  odległość przeszkody  $D_{prz}$  można wyznaczyć z trójkąta prostokątnego (rys. 4.2)

$$D_{prz} = (R_k) \sin \varphi_{prz} \quad (4.9)$$

Zasięg wykrywania radaru wynikający z horyzontu radiowego na wysokości  $h_l$  można zatem określić z zależności

$$D_{hr} = \frac{h_l - (h_a + h_{poz} + \Delta h)}{\operatorname{tg} \alpha_z} \quad (4.10)$$

gdzie:

- $h_l$  – wysokość lotu obiektu powietrznego,
- $\Delta h = \frac{D_{hr}^2}{2R_e}$  – poprawka wysokości uwzględniająca krzywiznę Ziemi oraz refrakcję fal elektromagnetycznych.

Otrzymany wzór jest równaniem drugiego stopnia. Rozwiązując je otrzymuje się ostatecznie równanie na zasięg horyzontu radiowego

$$D_{hr} = -R_e \cdot \operatorname{tg} \alpha_z + \sqrt{(R_e \operatorname{tg} \alpha_z)^2 + 2R_e (h_l - h_a - h_{poz})} \quad (4.11)$$

Wprowadzając do powyższego równania współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego  $K_{hr}$  otrzymuje się zależność na wyznaczenie wartości zasięgu wykrywania radaru z uwzględnieniem kątów zakrycia (dla małych wysokości)

$$D'_{hr} = K_{hr} \left[ -R_e \operatorname{tg} \alpha_z + \sqrt{(R_e \operatorname{tg} \alpha_z)^2 + 2R_e (h_l - h_a - h_{poz})} \right] \quad (4.12)$$

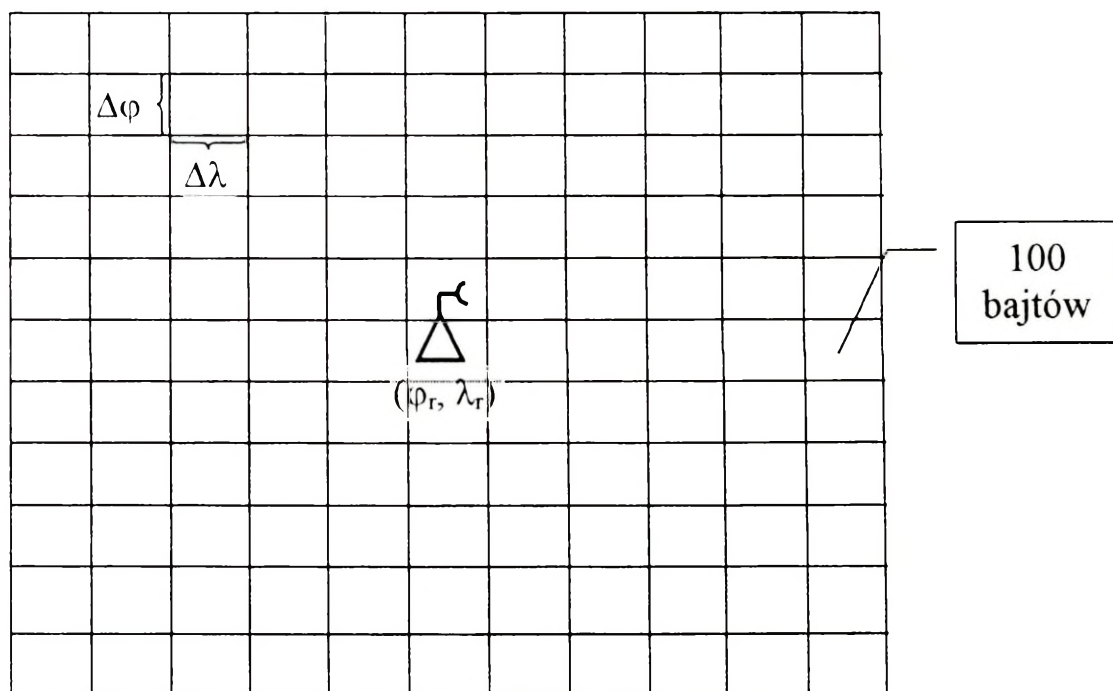
gdzie:

$K_{hr}$  – współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego.

Współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego wyznaczany jest eksperymentalnie.

#### 4.4. Struktura matrycy danych

Przykładową strukturę bazy danych dla ustalonej wysokości  $h_l$ , a także prawdopodobieństwa wykrywania obiektów powietrznych  $p_w$  oraz ich skutecznej powierzchni odbicia  $\delta$  przedstawiono na rys. 4.3.



Rys. 4.3. Struktura bazy danych dla stałej wysokości  $h_l$

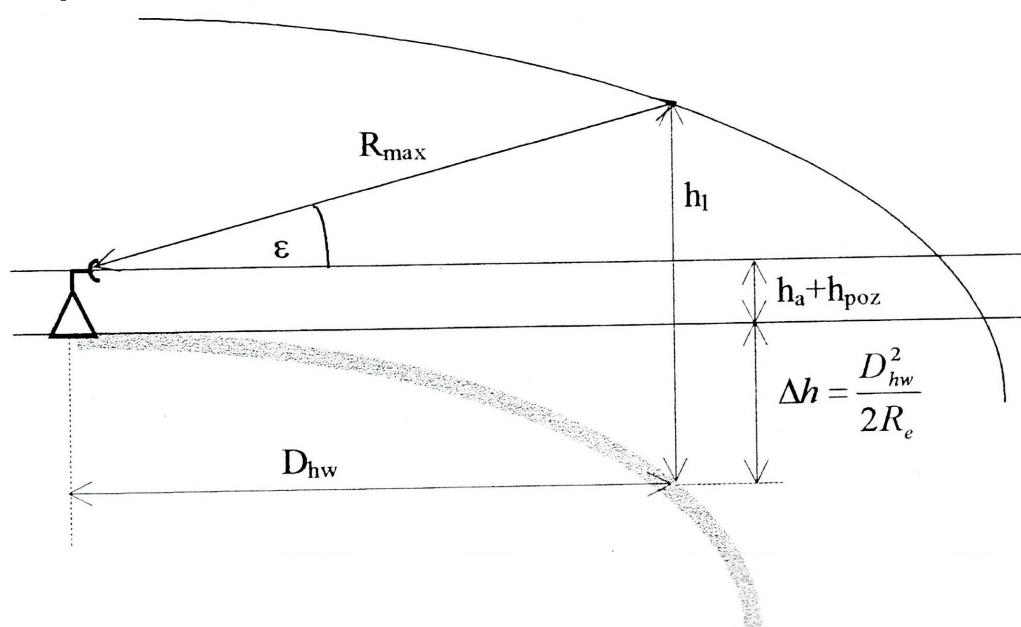
Każda komórka na rysunku 4.3 zajmuje 100 bajtów (maksymalnie dla 100 radarów). W każdym bajcie zakodowana jest informacja o widzialności danej komórki przez wybrany radar R1. Strukturę tego bajta przedstawiono na rysunku 4.4.

$b_7$	$b_6$	$b_5$	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$	$b_0$
$P_{w1}$	$P_{w1}$	$P_{w1}$	$P_{w2}$	$P_{w2}$	$P_{w2}$	bit	bit
$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	techn.	techn.

Rys. 4.4. Struktura pojedynczej komórki bazy danych dla wybranego radaru R1

#### 4.5. Wyznaczanie zasięgu płaskiego dla różnych skutecznych powierzchni odbicia obiektu powietrznego

Sposób wyznaczania płaskiego zasięgu radaru zilustrowano na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Ilustracja sposobu wyznaczania płaskiego zasięgu wykrywania radaru

Zasięg pochyły  $R_{max}$  zależy od potencjału energetycznego radaru oraz skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego. Znając zatem wartość zasięgu

dla skutecznej powierzchni odbicia równej  $1\text{m}^2$ , zasięg pochyły dla dowolnej wartości skutecznej powierzchni odbicia można wyznaczyć z zależności

$$R_{\max}(\delta_j) = R_{\max}(\delta = 1) \sqrt[4]{\delta_j} \quad (4.13)$$

Posiłkując się rys. 4.5 oraz twierdzeniem Pitagorasa zależność na wyznaczanie wartości zasięgu pochyłego  $R_{\max}(\delta=1)$  ma następującą postać

$$R_{\max}(\delta = 1) = \sqrt{[D_{hw}(\delta = 1)]^2 + \left[ h_l - \frac{D_{hw}^2(\delta = 1)}{2R_e} - h_a - h_{poz} \right]^2} \quad (4.14)$$

Zatem zasięg płaski dla określonej wartości skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego  $D_{hw}(\delta_j)$  można wyznaczyć z zależności

$$D_{hw}(\delta_j) = \sqrt{[R_{\max}(\delta_j)]^2 - \left[ h_l - h_a - h_{poz} - \frac{D_{hw}^2(\delta_j)}{2R_e} \right]^2} \quad (4.15)$$

Dla dużych odległości wykrywania, kąt wzniesienia  $\varepsilon$  jest mały, wówczas zasięg płaski ( $D_{hw} = R_{\max} \cos \varepsilon$ ) niewiele różni się od zasięgu pochyłego, zatem można przyjąć równość następującego wyrażenia

$$\frac{D_{hw}^2(\delta_j)}{2R_e} \cong \frac{R_{\max}^2(\delta_j)}{2R_e} \quad (4.16)$$

Wobec powyższego zależność 4.15 ostatecznie przyjmie postać

$$D_{hw}(\delta_j) = \sqrt{[R_{\max}(\delta_j)]^2 - \left[ h_l - h_a - h_{poz} - \frac{R_{\max}^2(\delta_j)}{2R_e} \right]^2} \quad (4.17)$$

#### 4.6. Wyznaczanie zasięgu płaskiego dla różnych prawdopodobieństw wykrywania obiektów powietrznych

Zależność zasięgu radaru od prawdopodobieństwa wykrywania obiektów powietrznych  $p_w$  wyraża się wzorem [3]

$$p_w = \exp \left[ -k \left( \frac{R_{\max}}{R_{05}} \right)^n \right] \quad (4.18)$$

gdzie:

$R_{05}$  – zasięg wykrywania dla prawdopodobieństwa równego 0,5,

$R_{\max}$  – zasięg wykrywania dla prawdopodobieństwa równego  $p_w$ ,

$k, n$  – współczynniki kształtujące charakterystykę wykrywania radaru,

przyjmuje się  $k = 0,68, n = 4$ .

Przekształcając odpowiednio zależność 4.18 otrzymuje się następującą zależność

$$R_{\max}(p_{wi}) = R_{05} \sqrt[4]{\frac{\ln p_{wi}}{-0,68}} \quad (4.19)$$

gdzie:

$$R_{05} = \sqrt{\left[ D_{hw}(p_w = 0,5) \right]^2 + \left[ h_l - \frac{D_{hw}^2(p_w = 0,5)}{2R_e} - h_a - h_{poz} \right]^2} \quad (4.20)$$

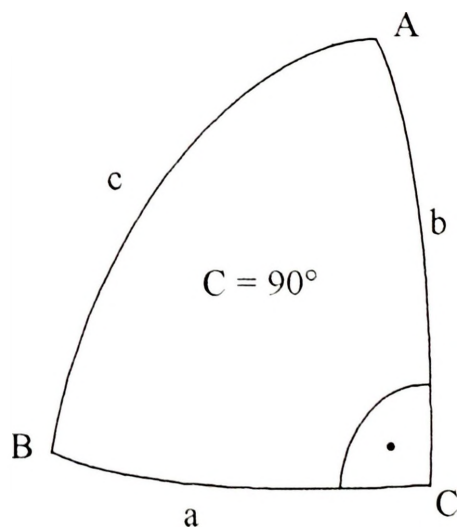
Zatem zasięg płaski dla określonego prawdopodobieństwa wykrywania obiektów powietrznych  $D_{hw}(p_{wi})$  można wyznaczyć z zależności

$$D_{hw}(p_{wi}) = \sqrt{\left[ R_{\max}(p_{wi}) \right]^2 - \left[ h_l - h_a - h_{poz} - \frac{R_{\max}^2(p_{wi})}{2R_e} \right]^2} \quad (4.21)$$

## 4.7. Zastosowanie trójkątów sferycznych

Trójkątem sferycznym nazywa się figurę położoną na powierzchni kuli posiadającą trzy wierzchołki i trzy boki, będące częściami okręgów kół wielkich. Wierzchołki trójkąta sferycznego oznaczają się dużymi literami A, B i C, natomiast boki – małymi literami a, b, i c (rys. 4.6). Boki trójkąta sferycznego podaje się z reguły w mierze kątowej (jako kąt sferyczny). Trójkąt sferyczny charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- naprzeciw większego boku leży większy kąt i odwrotnie (jeżeli  $a > b$ , to  $A > B$  i gdy  $b > a$ , to  $B > A$ ),
- naprzeciw równych boków leżą równe kąty (jeżeli  $a = b$ , to  $A = B$ ),
- suma dwóch boków jest zawsze większa od boku trzeciego, a suma trzech kątów jest zawsze większa od  $180^\circ$  ( $a + b > c$  oraz  $A + B + C > 180^\circ$ ),
- jeżeli suma dwóch boków jest większa, równa lub mniejsza od  $180^\circ$ , to także suma przeciwległych kątów jest większa, równa lub mniejsza od  $180^\circ$ .



Rys. 4.6. Trójkąt sferyczny prostokątny

W literaturze przedmiotu badań [7, 12, 16, 27, 31] można spotkać różne metody rozwiązywania trójkątów sferycznych. Można je rozwiązywać między innymi za pomocą wzorów: kosinusowych, sinusowych, sinusowo-kosinusowych,

kotangensowych, Nepera, Delambre'a i Borda. Wydaje się, że najbardziej przydatnymi wzorami dla potrzeb tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej w układzie współrzędnych geograficznych-przestrzennych będą wzory kosinusowe. Ich postać jest następująca [16]

$$\begin{aligned}\cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \\ \cos b &= \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C\end{aligned}\tag{4.22}$$

Przewiduje się, że w procesie tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej będzie potrzeba rozwiązywania trójkątów sferycznych prostokątnych. Dla tych trójkątów kąt  $C$  jest równy  $90^\circ$  (rys. 4.6). Zatem wzór kosinusowy dla boku  $c$  przyjmie następującą postać

$$\cos c = \cos a \cos b\tag{4.23}$$

Długość sferyczną boku  $c$  można zatem wyznaczyć z zależności

$$c = (R_k + h_l) \arccos(\cos a \cos b)\tag{4.24}$$

gdzie:

$R_k$  – promień kuli ziemskiej (zależność 4.1),

$h_l$  – wysokość rozpatrywanego trójkąta sferycznego nad poziomem morza.

#### 4.8. Tworzenie odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej

Na obecnym etapie badań przewiduje się możliwość tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej następującymi metodami:

- porównania odległości sferycznych,
- porównania odległości płaskich,
- porównania współrzędnych geodezyjnych,
- porównania współrzędnych biegunowych.

Metoda porównania współrzędnych geodezyjnych polega na transformacji współrzędnych biegunowych charakterystyk zasięgowych radarów do układu współrzędnych geodezyjnych (globalnych), a następnie porównaniu tych współrzędnych ze współrzędnymi geodezyjnymi elementarnych (dyskretnych) prostopadłościanów przestrzeni radiolokacyjnej i wprowadzeniu wyników porównania do trójwymiarowej tablicy danych.

Metoda porównania współrzędnych biegunowych polega na transformacji współrzędnych geodezyjnych (globalnych) elementarnych (dyskretnych) prostopadłościanów przestrzeni radiolokacyjnej do układu współrzędnych biegunowych, a następnie porównaniu tych współrzędnych ze współrzędnymi biegunowymi charakterystyk zasięgowych radarów oraz wprowadzeniu wyników porównania do trójwymiarowej tablicy danych.

Metoda porównania odległości płaskich polega na transformacji współrzędnych geograficznych numerycznej mapy terenu do układu współrzędnych kartezjańskich płaskich. W tym układzie następnie wyznacza się odległości płaskie (styczne do elipsoidy obrotowej) elementarnych prostopadłościanów przestrzeni radiolokacyjnej od punktu stania radarów oraz porównuje się te odległości z zasięgami płaskimi radarów, a wyniki porównania wprowadza się do trójwymiarowej tablicy danych.

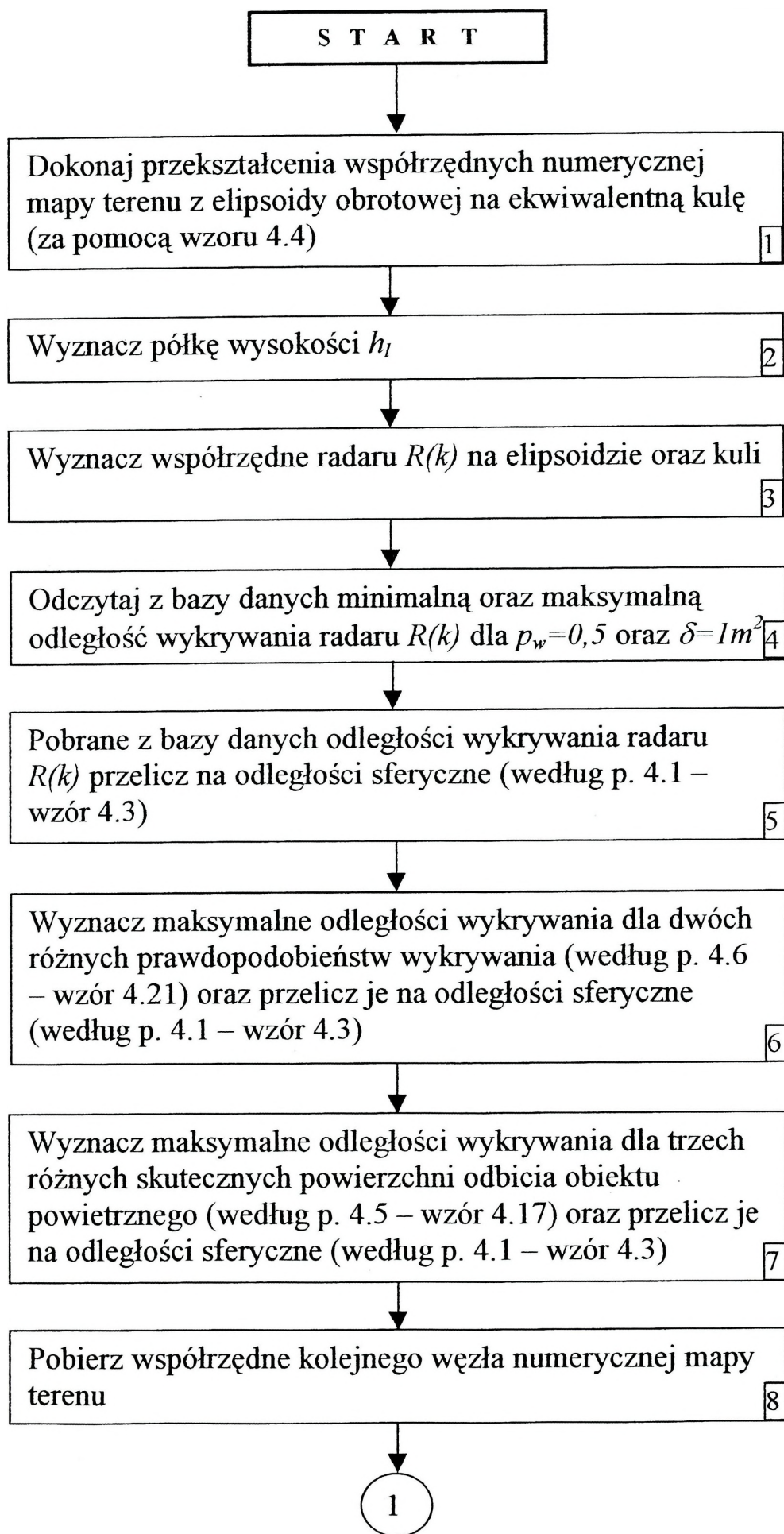
Wydaje się, że najkorzystniejszą metodą tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej będzie metoda porównania odległości sferycznych. Metoda ta polega na transformacji współrzędnych geograficznych numerycznej mapy terenu z elipsoidy obrotowej spłaszczonej WGS-84 na ekwiwalentną kulę. W tym układzie następnie wyznacza się odległości sferyczne (po ortodromie) elementarnych prostopadłościanów przestrzeni radiolokacyjnej od miejsca dyslokacji radarów oraz sferyczne odległości wykrywania radarów. Wyznaczone odległości sferyczne porównuje się, a wyniki porównania wprowadza się do trójwymiarowej tablicy danych. Na koniec należy dokonać transformacji współrzędnych utworzonego odwzorowania do układu na elipsoidzie obrotowej. W ramach procesu tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej tą metodą należy wykonać następujące podstawowe czynności:

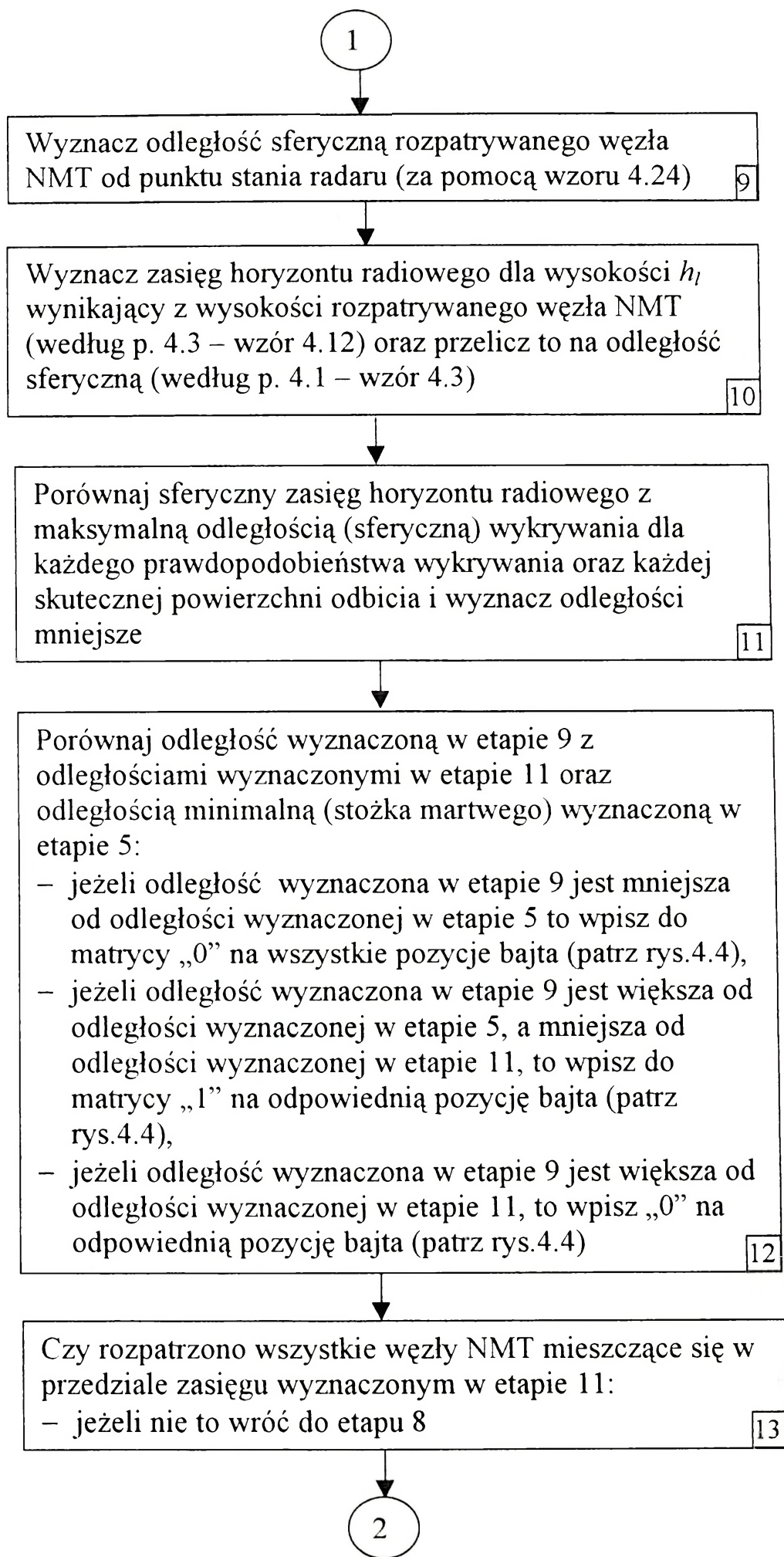
1. Dokonać przekształcenia współrzędnych numerycznej mapy terenu z elipsoidy obrotowej na ekwiwalentną kulę.
2. Wyznaczyć odległość sferyczną (po ortodromie) pobranej z bazy danych minimalnej oraz maksymalnej odległości (płaskiej) wykrywania.
3. Wyznaczyć maksymalne odległości wykrywania (płaskie) dla dwóch prawdopodobieństw wykrywania  $p_w$  i trzech skutecznych powierzchni odbicia  $\delta$  oraz przeliczyć je na odległości sferyczne.
4. Wyznaczyć odległość wykrywania dla ustalonych warunków ( $p_w$  oraz  $\delta$ ) wynikającą z bezpośredniej widoczności (ukształtowania terenu) i przeliczyć ją na odległość sferyczną.
5. Jako zasięg wykrywania radaru przyjąć wartość mniejszą z wyznaczonych w p. 3 i 4.
6. Wybierać kolejno węzły numerycznej mapy terenu i wyznaczać ich odległość sferyczną od współrzędnych dyslokacji radaru wykorzystując zasadę rozwiązywania trójkątów sferycznych.
7. Porównywać wyznaczone w p. 6 odległości sferyczne z odległościami wyznaczonymi w p.2 oraz 5.
8. Dla współrzędnych o odległościach wyznaczonych w p. 6 większych od minimalnych odległości wykrywania wyznaczonych po ortodromie, a jednocześnie mniejszych od maksymalnych odległości wykrywania wyznaczonych po ortodromie wpisać do matrycy danych „1” na odpowiednią pozycję bajta (zgodnie z rys. 4.3 i 4.4), dla pozostałych współrzędnych wpisać do matrycy danych „0”.
9. Dokonać przekształcenia współrzędnych matrycy danych z ekwiwalentnej kuli na elipsoidę obrotową.

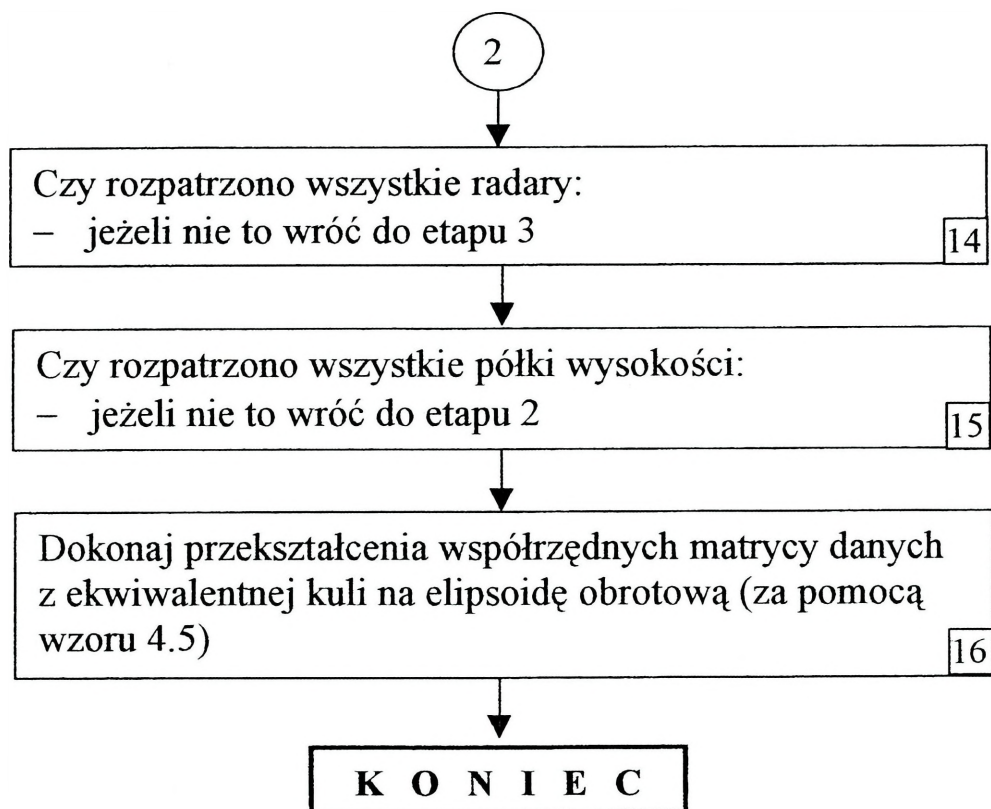
#### 4.9. Ogólny algorytm tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej

Ogólny algorytm tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej przedstawiono w postaci szesnastu sekwencyjnie realizowanych etapów. Sposób realizacji tych etapów zawierają punkty 4.1 ÷ 4.7. Prezentowany algorytm opracowano przyjmując następujące założenia:

- wymiar podstawy prostopadłościanu elementarnego będzie zgodny z wymiarem elementarnego prostokąta numerycznej mapy terenu (tj. 100x100m),
- nierównomierny podział warstw wysokości (około 60) z możliwością wprowadzania ich jako parametr,
- ograniczenie informacji dla jednego radaru – 1 bajt (6 bitów informacyjnych oraz 2 bity techniczne),
- maksymalna ilość radarów – 100,
- przestrzeń budowana będzie dla całej Polski z możliwością ograniczenia do  $\frac{1}{4}$  tego obszaru,
- układ współrzędnych – geograficzny-przestrzenny na elipsoidzie odniesienia WGS-84,
- odwzorowanie przestrzeni radiolokacyjnej budowane będzie dla dwóch wartości prawdopodobieństwa wykrywania oraz trzech wartości skutecznej powierzchni odbicia obiektu powietrznego,
- dostępna pojemność pamięci dyskowej dla danych przestrzennych – 10 GB,
- w bazie danych typów i lokalizacji radarów znajdują się zasięgi wykrywania dla prawdopodobieństwa  $p_w = 0,5$  i skutecznej powierzchni odbicia  $\delta = 1 m^2$ , w przypadku wprowadzania innych danych należy je przeliczyć do  $p_w = 0,5$  i  $\delta = 1 m^2$  (według p. 4.5 i 4.6).







1.

## ZAKOŃCZENIE

Przedstawiony w opracowaniu projekt wykonawczy numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej (NMPR) stanowi podstawy do praktycznej realizacji zadania badawczego. Ogólne wytyczne do realizacji tego zadania zawarte zostały we „Wstępnych założeniach projektowych” i zgodnie z nimi opracowano trzy kolejne problemy, które decydują o metodzie realizacji NMPR i są to:

- projekt bazy danych,
- algorytm obliczania stref wykrywania radarów,
- algorytm tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej.

Wszystkie te problemy są ze sobą ściśle związane i tworzą spójną całość. Projekt baz danych zawiera nie tylko struktury baz danych lecz również metody ich projektowania co umożliwi ewentualną ich modyfikację podczas praktycznej realizacji (NMPR). Istotnym problemem były również bariery związane z dużą ilością danych. Opracowano więc uniwersalną metodę ich racjonalizacji.

Przedstawiony algorytm obliczania strefy wykrywania radaru zawiera zależności matematyczne niezbędne do określenia zasięgu radaru. Przedstawiono w nim również wpływ zakłóceń czynnych i biernych na zasięg wykrywania radaru. W oparciu o zależności matematyczne przedstawiono przykład obliczenia zasięgu radaru dla kąta elewacji  $\Theta=1^0$ , a wyniki obliczeń zestawiono tabeli 3.2. Tak ujęty problem obliczania zasięgu radaru pozwala na uwzględnienie wielu czynników wpływających na ten zasięg, a tym samym na strefę wykrywania radaru. Pozwala to na szczegółową analizę tej problematyki oraz dokładne wyznaczenie strefy wykrywania radaru z uwzględnieniem różnych uwarunkowań. W konsekwencji rozwiązanie tego problemu stanowi podstawę do realizacji bazy danych parametrów radarów (patrz rys 1.1). Algorytm tworzenia odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej z kolei zawiera procedury tworzenia bazy danych przestrzennych (rys. 1.1). Tworzenie odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej

może odbywać się różnymi sposobami. W zaproponowanym algorytmie przyjęto metodę porównania odległości sferycznych. Jest to metoda skomplikowana, bowiem bazuje na wiedzy związanej z geodezją wyższą. Wydaje się jednak, że odwzorowanie przestrzeni radiolokacyjnej stworzone tą metodą będzie najbardziej wiarygodnym i mogącym znaleźć praktyczne zastosowanie w tworzeniu systemu rozpoznania radiolokacyjnego.

Zgodnie ze strukturą numerycznej mapy przestrzeni radiolokacyjnej opracowania wymagają jeszcze następujące procedury:

- sterowania, kontroli i porozumiewania się z użytkownikiem,
- przeszukiwania bazy danych,
- zobrazowywania danych.

Procedury te zostaną opracowane w kolejnych etapach realizacji tematu badawczego.

---

**LITERATURA**

1. Antczak S. i inni: Analiza geograficznych systemów informacyjnych pod względem ich przydatności w radiolokacji. Zadanie badawcze I cz.I projektu badawczego typu „grant” nr 0 T00A 012 16 nt. „Numeryczna mapa przestrzeni radiolokacyjnej”. Akademia Obrony Narodowej, Wydział Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej. Warszawa, 1999.
2. Antczak S. i inni: Numeryczna mapa przestrzeni radiolokacyjnej. Analiza geograficznych systemów informacyjnych pod względem ich przydatności w radiolokacji. Opracowanie w ramach projektu badawczego typu „grant” nr 0 T00A 012 16. Zadanie badawcze I cz.II. Akademia Obrony Narodowej, Wydział Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej. Warszawa, 1999.
3. Antczak S. i inni: Podstawy teoretyczne odwzorowania przestrzeni radiolokacyjnej. Zadanie badawcze projektu badawczego typu „grant” nr 0 T00A 012 16 nt. „Numeryczna mapa przestrzeni radiolokacyjnej”. AON, Warszawa, 1999.
4. Barton David.K.: Radars. vol.5, Radar clutter 1975.
5. Barton David.K.: Radars. vol.2, The radar equation 1974.
6. Brookner F.: How to look like a genius in detection without really trying. Massachusetts, 1974.
7. Biesaga Z.: Geodezja wyższa. Geodezyjne układy współrzędnych i ich transformacja. WAT, Warszawa, 1992.
8. Colette Rolland: Bazy danych. Od koncepcji do realizacji. PWE, Warszawa, 1988.
9. Cormen T. H., Leiserson C. E., Rivest R. L.: Wprowadzenie do algorytmów. WNT, Warszawa, 1997.
10. Date C.J.: Wprowadzenie do baz danych. WNT, Warszawa, 1981.
11. Delobel C., Adiba M.: Relacyjne bazy danych. WNT, Warszawa, 1989.
12. Dyrda J.: Geodezja wyższa. Część I. Geometria elipsoidy. WAT, Warszawa, 1987.
13. Graham R. L., Knuth D. E., Patashnik O.: Concrete Mathematics. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1994.
14. Harris W.: Bazy danych nie tylko dla ludzi biznesu. WNT, Warszawa, 1984.
15. Helstrom C.W.: Statystyczna teoria detekcji. WNT, Warszawa.
16. Hlibowicki R. i inni: Geodezja wyższa i astronomia geodezyjna. PWN, Warszawa – Wrocław, 1981.
17. Klembowski W.: Uproszczona metoda obliczania zasięgu radiolokacyjnego dla sygnałów impulsowych. Postępy radiotechnik nr. 82, 1979.

18. Koblitz N.: A Course in Number Theory and Cryptography. Second Edition. Springer-Verlag, New York, 1994.
19. Kokot K.: Podstawy radiolokacji cz. II. WAT, Warszawa, 1968.
20. Kowalski Z.: Zastosowanie metod geodezyjnych do redukcji błędów określania pozycji obiektu w systemie radiolokacyjnym. Rozprawa doktorska. WAT, Warszawa, 1995.
21. Kroszczyński J.: Tłumienie ech stałych w radiolokacji. WKŁ, Warszawa, 1965.
22. Kroszczyński J.: Współczesne urządzenia radiolokacyjne. Praca zbiorowa. WKŁ, Warszawa, 1976.
23. Kroszczyński J.: Technika współczesnej radiolokacji. Praca zbiorowa. WKŁ, Warszawa, 1975.
24. Kurzeja G., Wiśniowski J.: Kierunki działania służby topograficznej WP w zakresie produkcji cyfrowej informacji geograficznej. Wykład wygłoszony podczas Vkonferencji Naukowej „Automatyzacja Dowodzenia” Jelenia Góra, 1997.
25. Muraskiewicz M., Rybiński H.: Bazy danych. Akademicka Oficyna Wydawnicza. Warszawa, 1993.
26. Oleński J., Staniszkis W.: Projektowanie bazy danych. PWE Warszawa 1984
27. Różycki J.: Kartografia Matematyczna. PWN. Warszawa 1978.
28. Sedgewick R.: Algorithms. Second Edition. Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1988.
29. Sokolnik M.: Introduction to radar system. New York, 1962.
30. Sungren B.: Bazy i modele danych. PWE, Warszawa, 1991.
31. Szpunar W.: Podstawy geodezji wyższej. PPWK, Warszawa, 1982.

## ZAŁĄCZNIK 1

## Tabele

Tab.1.1. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$  i  $h$ .

$h$ [m] $a$ [m]	100	200	250	400	500	1 000	2 000	2 500	5 000	10 000
100	1 743 685	871 842	697 474	435 921	348 737	174 368	87 184	69 747	34 874	17 437
200	435 921	217 961	174 368	108 980	87 184	43 592	21 796	17 437	8 718	4 359
250	278 990	139 495	111 596	69 747	55 798	27 899	13 949	11 160	5 580	2 790
400	108 980	54 490	43 592	27 245	21 796	10 898	5 449	4 359	2 180	1 090
500	69 747	34 874	27 899	17 437	13 949	6 975	3 487	2 790	1 395	697
1 000	17 437	8 718	6 975	4 359	3 487	1 744	872	697	349	174
2 000	4 359	2 180	1 744	1 090	872	436	218	174	87	44
2 500	2 790	1 395	1 116	697	558	279	139	112	56	28
5 000	697	349	279	174	139	70	35	28	14	7
10 000	174	87	70	44	35	17	9	7	3	2

Tab.1.2. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

		K									
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
$a$ [m]	$h$ [m]										
100	100	1743 685	1569 316	1394 948	1220 579	1046 211	871 842	697 474	523 105	348 737	174 368
	250	697 474	627 727	557 979	488 232	418 484	348 737	278 990	209 242	139 495	69 747
	500	348 737	313 863	278 990	244 116	209 242	174 368	139 495	104 621	69 747	34 874
250	250	111 596	100 436	89 277	78 117	66 957	55 798	44 638	33 479	22 319	11 160
	500	55 798	50 218	44 638	39 059	33 479	27 899	22 319	16 739	11 160	5 580
	1 000	27 899	25 109	22 319	19 529	16 739	13 949	11 160	8 370	5 580	2 790
500	500	13 949	12 555	11 160	9 765	8 370	6 975	5 580	4 185	2 790	1 395
	1 000	6 975	6 277	5 580	4 882	4 185	3 487	2 790	2 092	1 395	697
	2 000	3 487	3 139	2 790	2 441	2 092	1 744	1 395	1 046	697	349

Tab.1.3. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	30 131	26 783	23 435	20 087	16 739	13 391	10 044	6 696	3 348
	500	15 065	13 391	11 718	10 044	8 370	6 696	5 022	3 348	1 674
	1 000	7 533	6 696	5 859	5 022	4 185	3 348	2 511	6 696	837
500	500	3 766	3 348	2 929	2 511	2 092	1 674	1 255	837	418
	1 000	1 883	1 674	1 465	1 255	1 046	837	628	418	209
	2 000	942	837	732	628	523	418	314	209	105

Tab.1.4. Podział siatki KMP.

L	D	S=L-D
691	392	270 872
364	392	135 436
364	196	67 718
173	196	33 859

Tab.1.5. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

$$S_1 = \frac{1}{2} S$$

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	15 065	13 391	11 718	10 044	8 370	6 696	5 022	3 348	1 674
	500	7 533	6 696	5 859	5 022	4 185	3 348	2 511	1 674	837
	1 000	3 766	3 348	2 929	2 511	2 092	1 674	1 255	837	418
500	500	1 883	1 674	1 465	1 255	1 046	837	628	418	209
	1 000	942	837	732	628	523	418	314	209	105
	2 000	471	418	366	314	262	209	157	105	52

Tab.1.6. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .  $S_2 = \frac{1}{4} S$ 

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	7 533	6 696	5 859	5 022	4 185	3 348	2 511	1 674	837
	500	3 766	3 348	2 929	2 511	2 092	1 674	1 255	837	418
	1 000	1 883	1 674	1 465	1 255	1 046	837	628	418	209
500	500	942	837	732	628	523	418	314	209	105
	1 000	471	418	366	314	262	209	157	105	52
	2 000	235	209	183	157	131	105	78	52	26

Tab.1.7. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

$$S_3 = \frac{1}{8} S$$

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	3 766	3 348	2 929	2 511	2 092	1 674	1 255	837	418
	500	1 883	1 674	1 465	1 255	1 046	837	628	418	209
	1 000	942	837	732	628	523	418	314	209	105
500	500	471	418	366	314	262	209	157	105	52
	1 000	235	209	183	157	131	105	78	52	26
	2 000	118	105	92	78	65	52	39	26	13

Tab.1.8. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

$$S_4 = \frac{1}{16} S$$

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	1 883	1 674	1 465	1 255	1 046	837	628	418	209
	500	942	837	732	628	523	418	314	209	105
	1 000	471	418	366	314	262	209	157	105	52
500	500	235	209	183	157	131	105	78	52	26
	1 000	118	105	92	78	65	52	39	26	13
	2 000	59	52	46	39	33	26	20	13	7

Tab.1.9. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

$$S_4 = \frac{1}{16} S$$

Dodatkowo zmniejszono wysokość przestrzeni do  $H=20\,000\text{ m}$ .

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	1 255	1 116	976	837	697	558	418	279	139
	500	628	558	488	418	349	279	209	139	70
	1 000	314	279	244	209	174	139	105	70	35
500	500	157	139	122	105	87	70	52	35	17
	1 000	78	70	61	52	44	35	26	17	9
	2 000	39	35	31	26	22	17	13	9	4

Tab.1.10. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

$$S_4 = \frac{1}{16} S$$

Dodatkowo jeden z parametrów  $N_{SPO}$  lub  $N_{P_{pw}}$  zmniejszono o 1.

$H=20000\text{ m}$

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	837	744	651	558	465	372	279	186	<b>93</b>
	500	418	372	325	279	232	186	139	<b>93</b>	46
	1000	209	186	163	139	116	<b>93</b>	70	46	23
500	500	<b>105</b>	<b>93</b>	81	70	58	46	35	23	12
	1000	52	46	41	35	29	23	17	12	6
	2000	26	23	20	17	15	12	9	6	3

Tab.1.11. Wielkość tabeli przestrzeni w megabajtach w zależności od  $a$ ,  $h$  i  $K$ .

$$S_4 = \frac{1}{16} S$$

Dodatkowo parametry  $N_{SPO}$  i  $N_{P_{pw}}$  zmniejszono o 1.

$H=20000\text{ m}$

a [m]	h [m]	K								
		27	24	21	18	15	12	9	6	3
250	250	558	496	434	372	310	248	186	124	<b>62</b>
	500	279	248	217	186	155	124	<b>93</b>	62	31
	1000	139	124	<b>108</b>	93	77	62	46	31	15
500	500	<b>70</b>	62	54	46	39	31	23	15	8
	1000	35	31	27	23	19	15	12	8	4
	2000	17	15	14	12	10	8	9	4	2

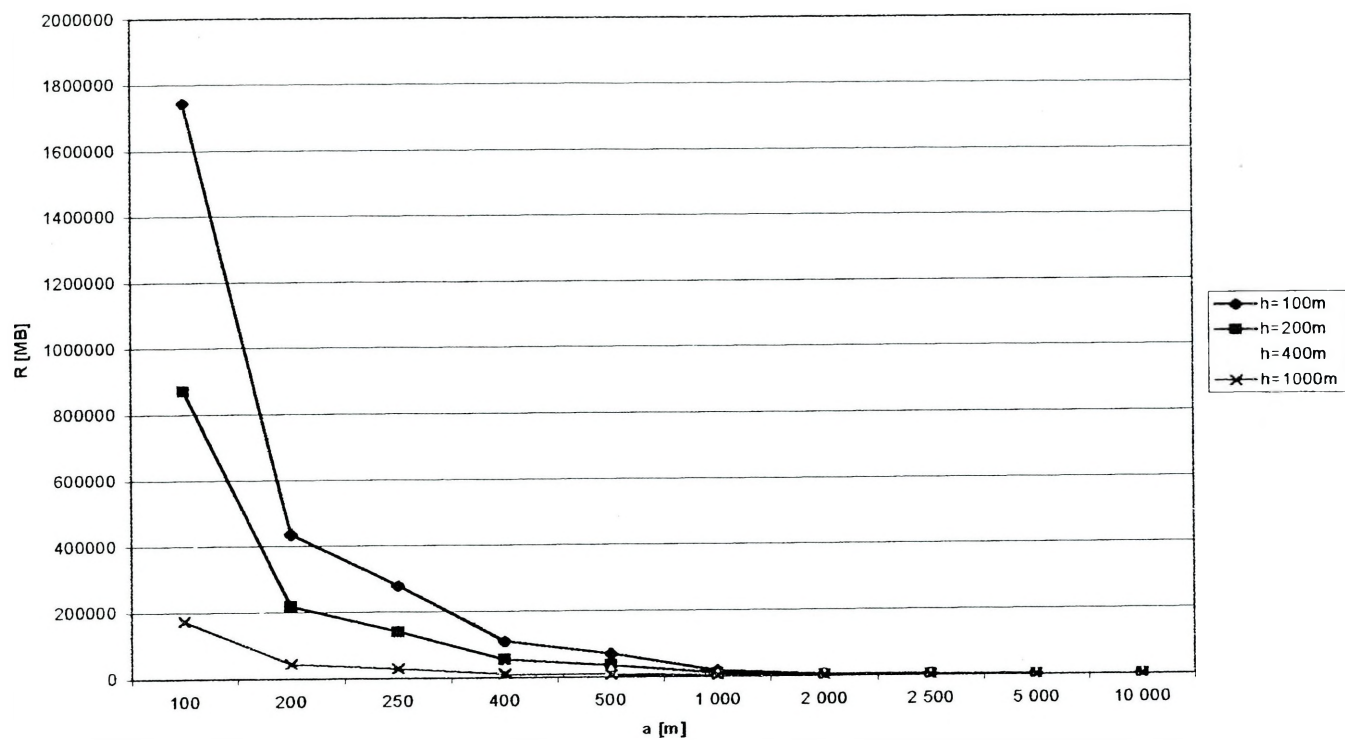
Tab.1.12. Kombinacje parametrów spełniające ograniczenie 100 MB.

Lp.	S	a [m]	h [m]	K	H [km]	$\Delta N$	R [MB]
1	1/16 S	250	500	3	20	0	70
2	1/16 S	250	1000	9	20	0	105
3	1/16 S	500	500	18	20	0	105
4	1/16 S	500	1000	27	20	0	78
5	1/16 S	250	250	3	20	-1	93
6	1/16 S	250	500	6	20	-1	93
7	1/16 S	250	1000	12	20	-1	93
8	1/16 S	500	500	27	20	-1	105
9	1/16 S	250	250	3	20	-2	62
10	1/16 S	250	500	9	20	-2	93
11	1/16 S	250	1000	21	20	-2	108
12	1/16 S	500	500	27	20	-2	70

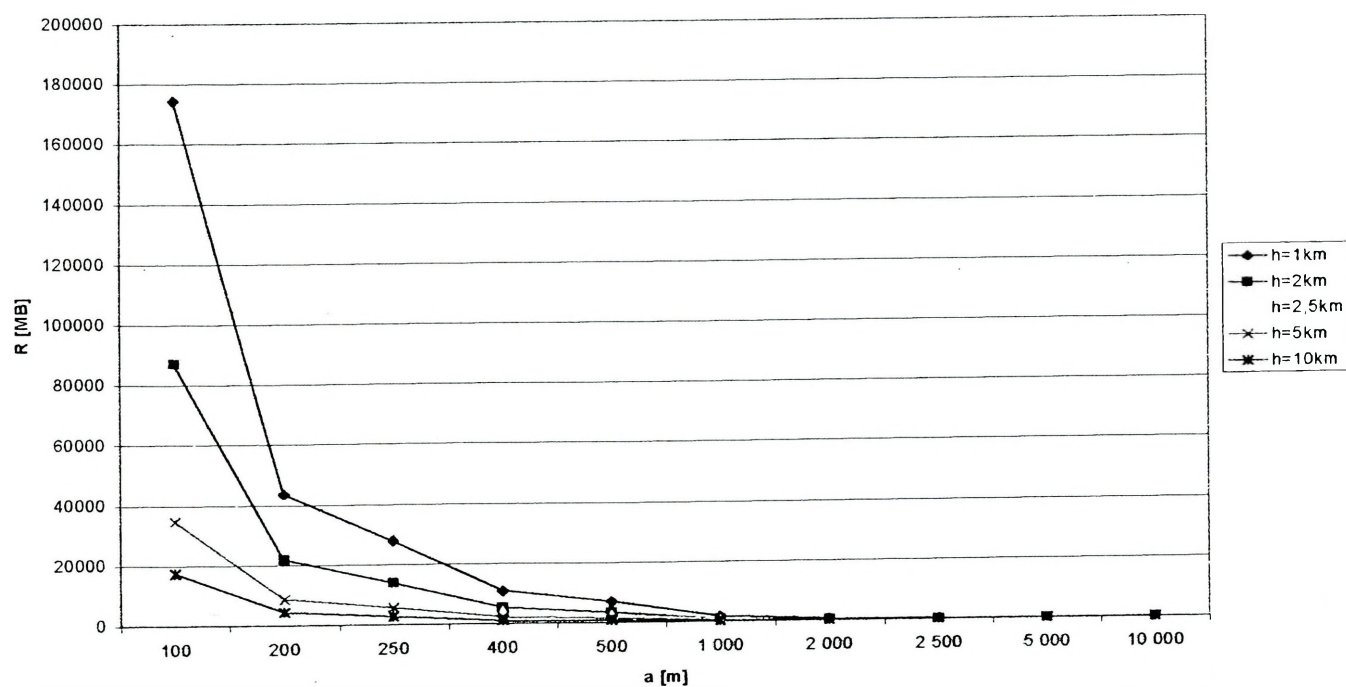
Tab.1.13. Racjonalne kombinacje parametrów.

.p.	S	a [m]	h [m]	K	H [km]	$\Delta N$	R [MB]
1	1/16 S	250	250	3	20	-1	93
2	1/16 S	250	500	9	20	-2	93
3	1/16 S	250	500	6	20	-1	93
4	1/16 S	500	500	27	20	-1	105
5	1/16 S	500	500	27	20	-2	70
6	1/16 S	500	500	18	20	0	105

## Wykresy

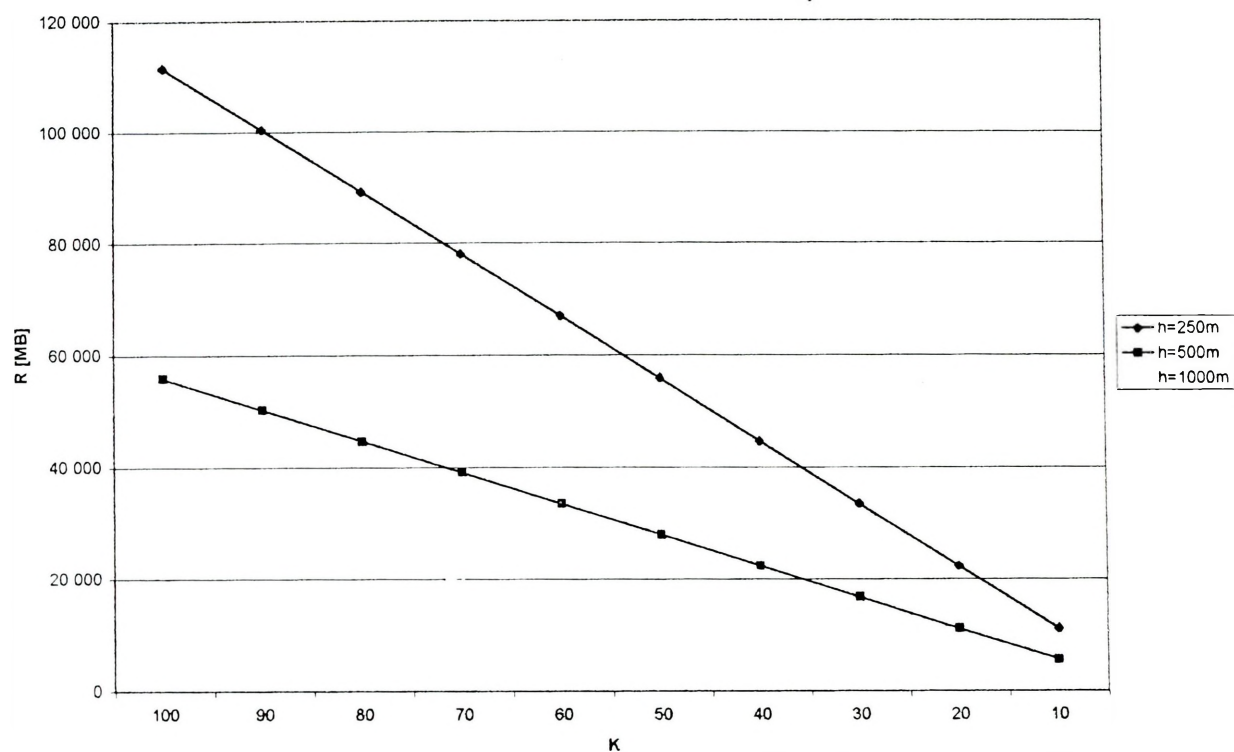
Wykr. 1.1. Wpływ zmian parametru  $a$  na wielkość tabeli przestrzeni  $R$ .

Pozostałe parametry – jak w tabeli 1.1.

Wykr. 1.2. Wpływ zmian parametru  $a$  na wielkość tabeli przestrzeni  $R$ .

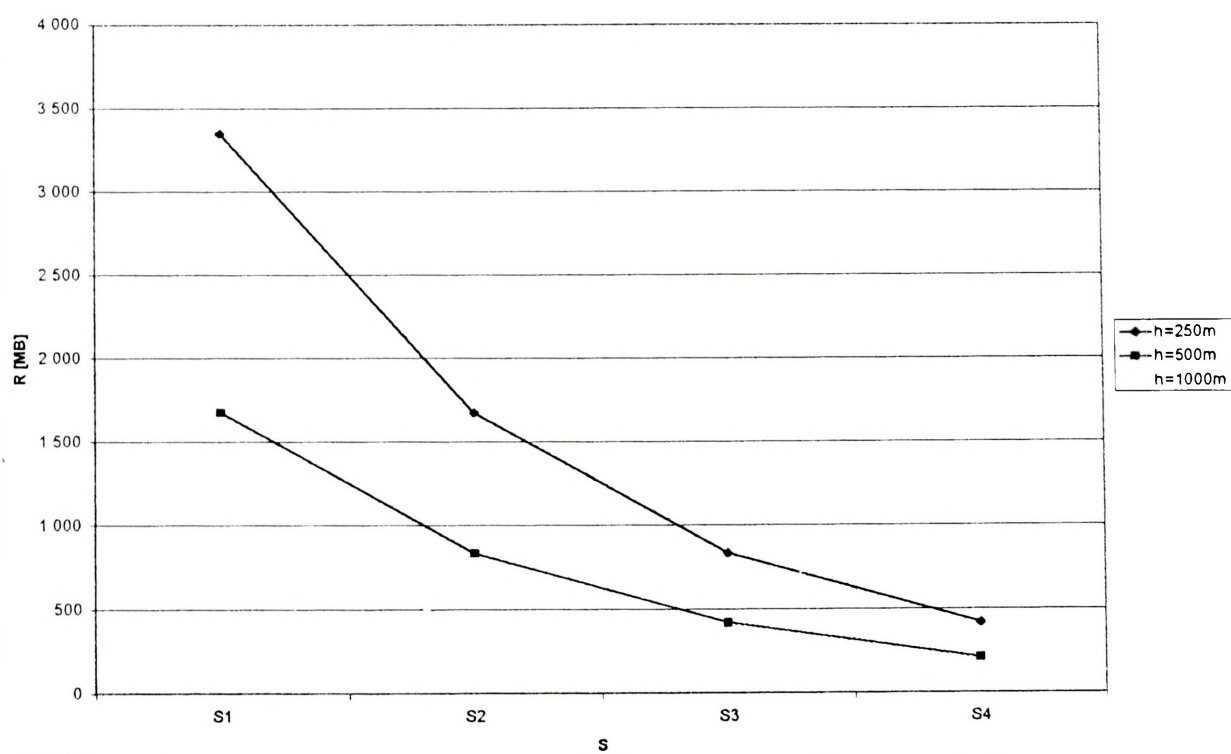
Pozostałe parametry – jak w tabeli 1.2.

Wykr. 1.3. Wpływ zmian ilości stacji radiolokacyjnych K na wielkość tabeli przestrzeni R.  
a=250m

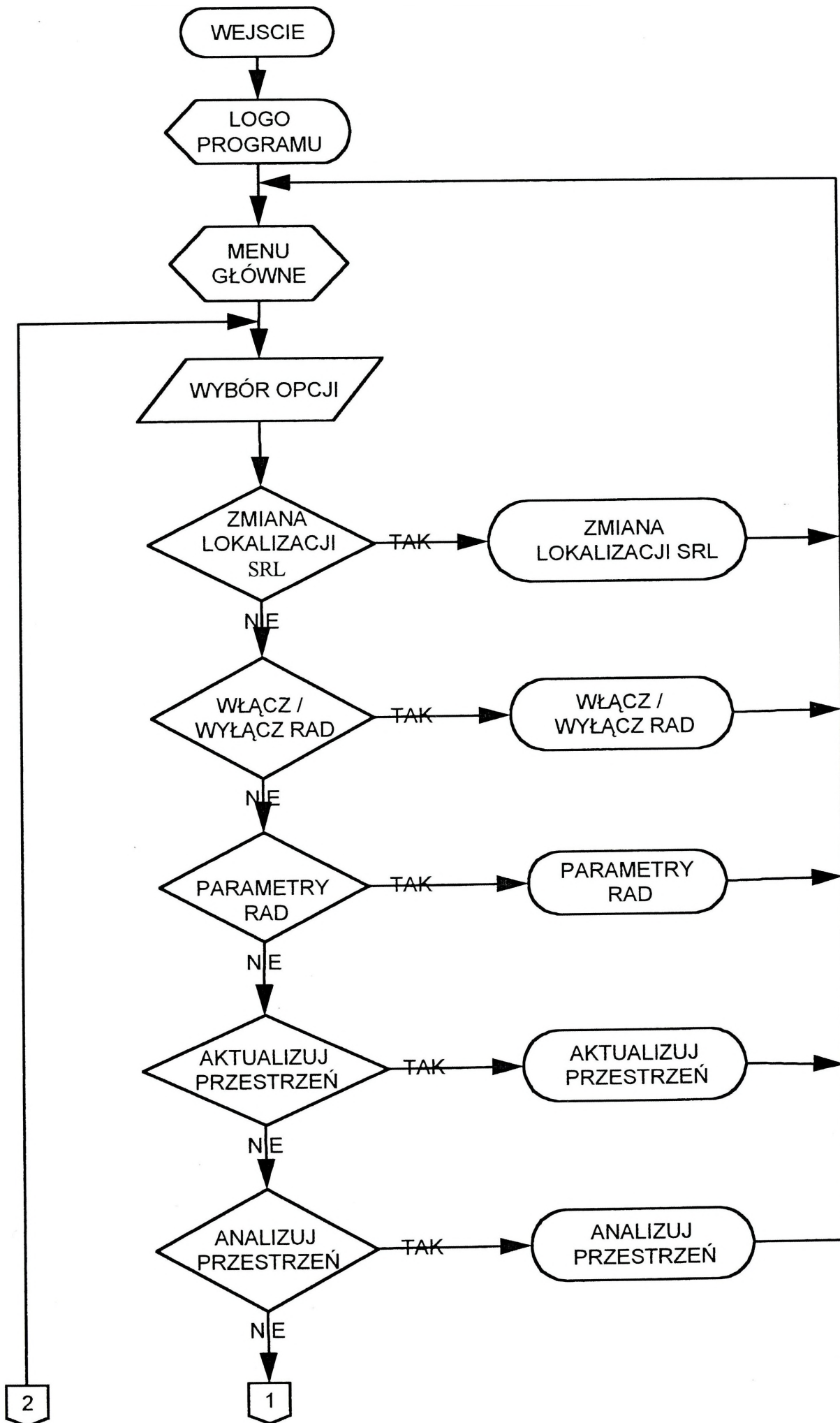


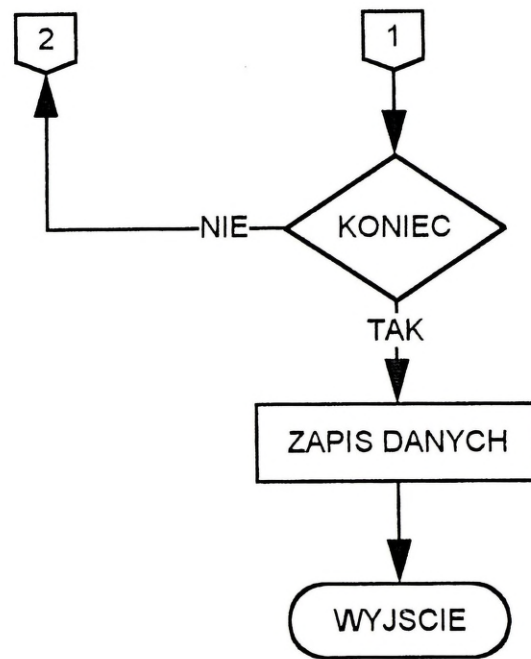
Pozostałe parametry – jak w tabeli 1.2.

Wykr. 1.4 Wpływ zmian wielkości rozpatrywanego terenu na wielkość tabeli przestrzeni.

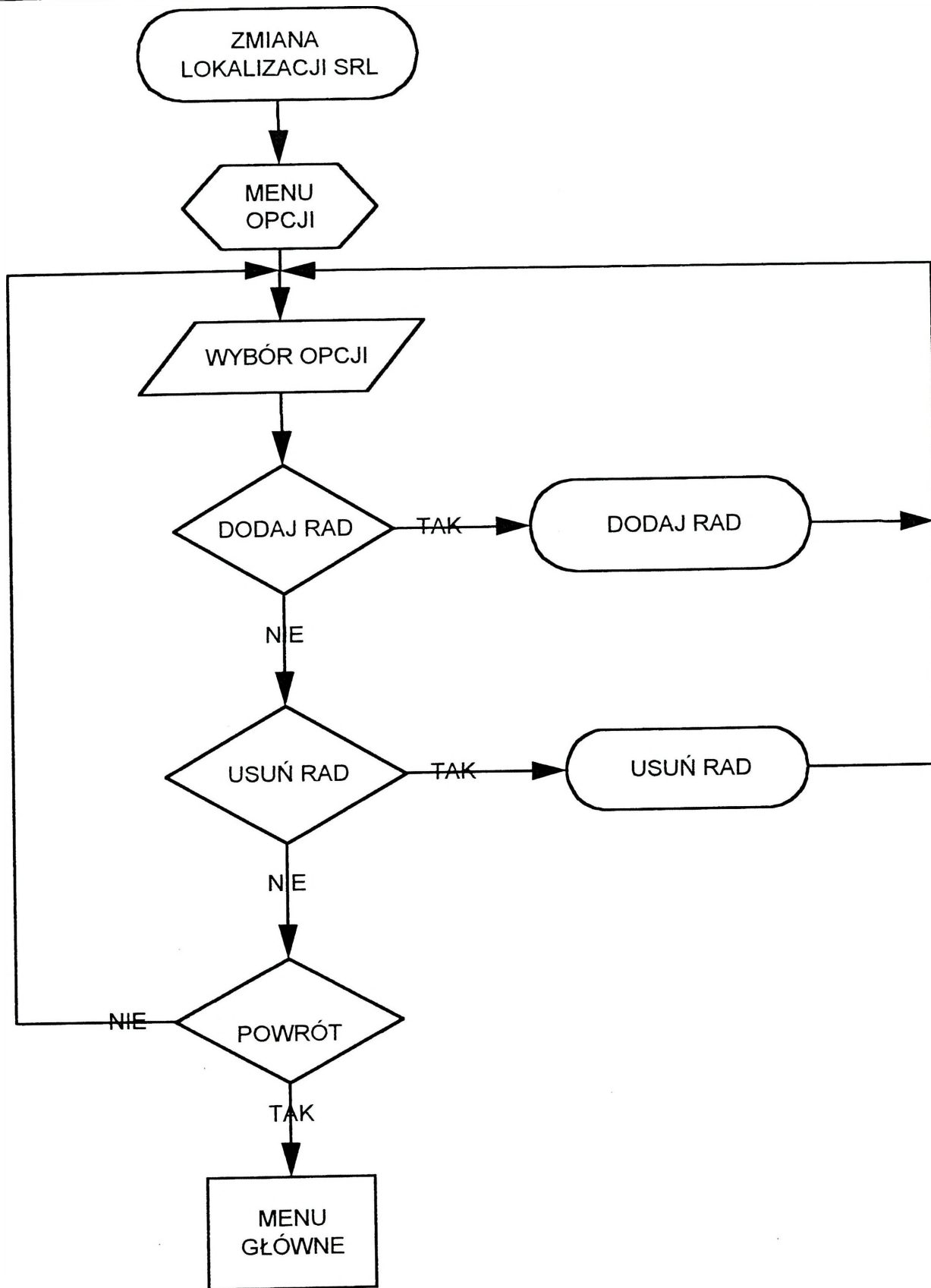


## Algorytmy

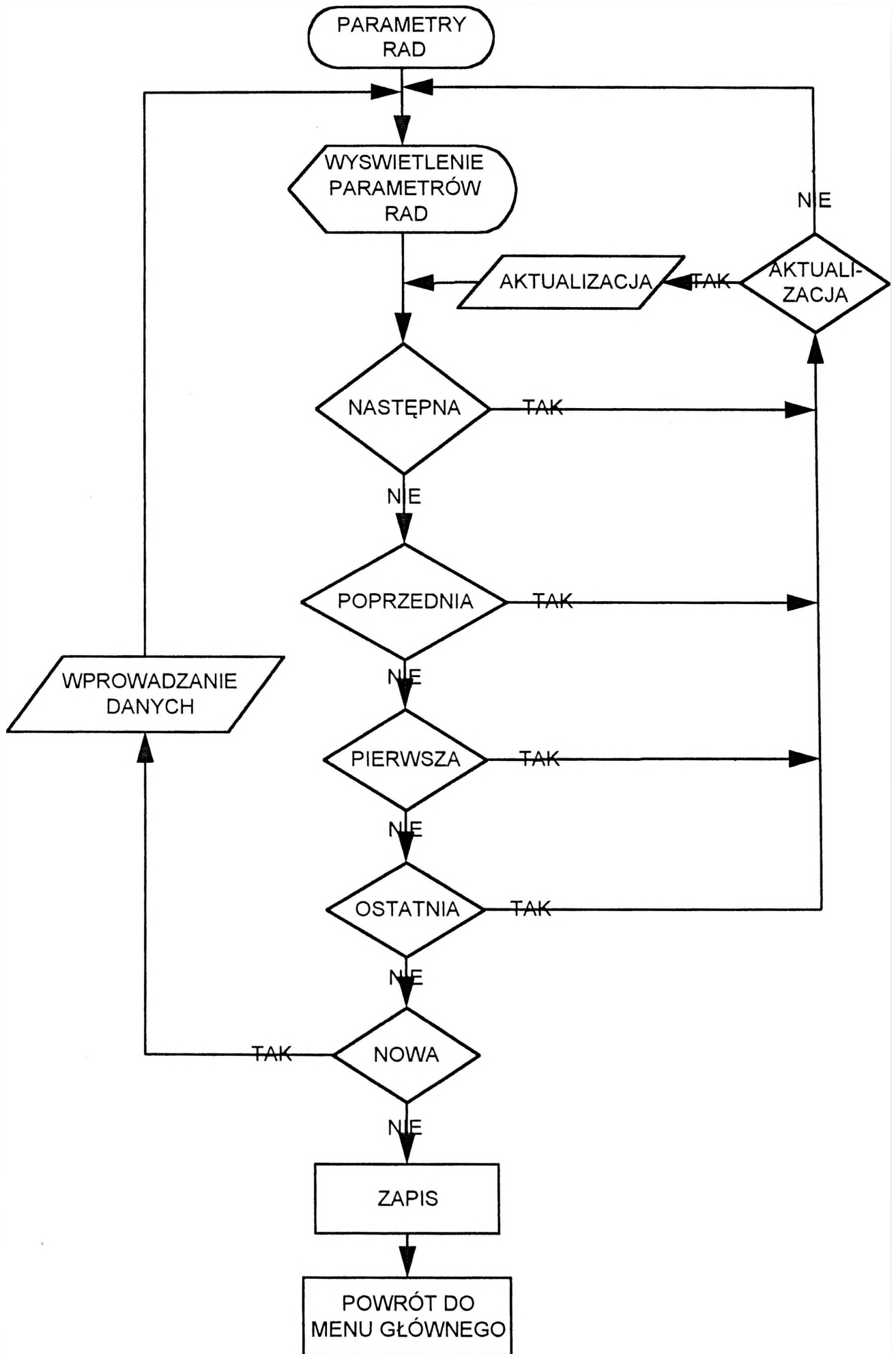




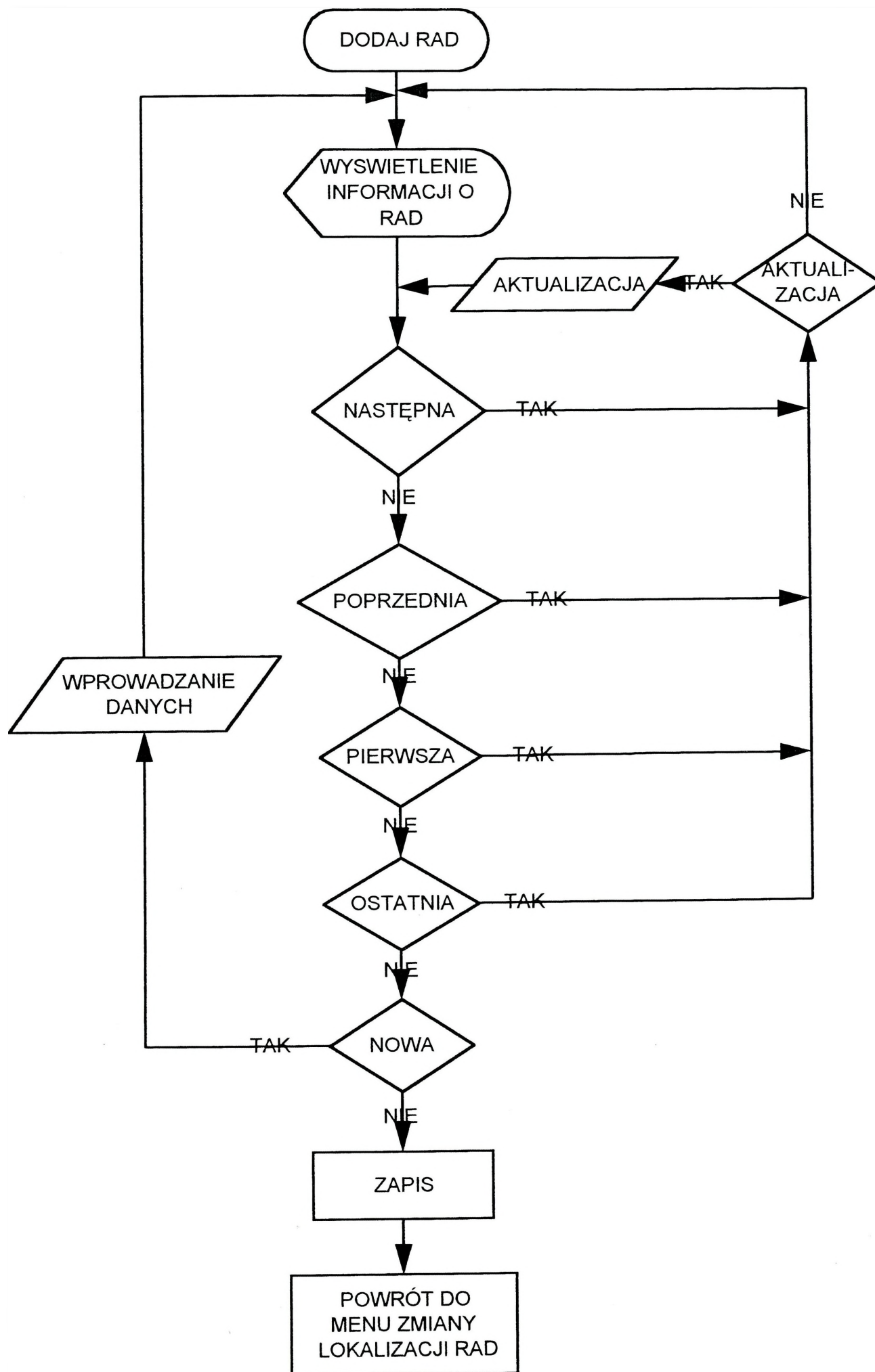
Alg.1.1. Algorytm procedury wejścia do systemu bazy danych.



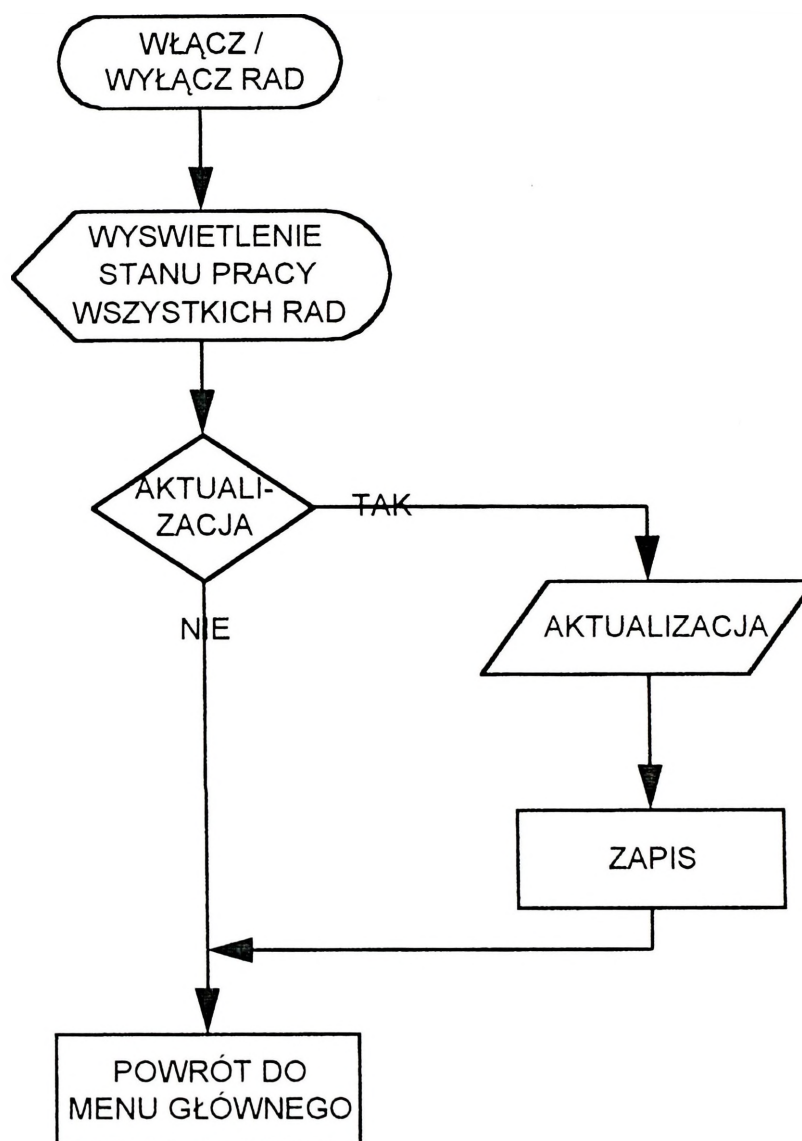
Alg.1.2. Algorytm procedury zmiany lokalizacji radaru.



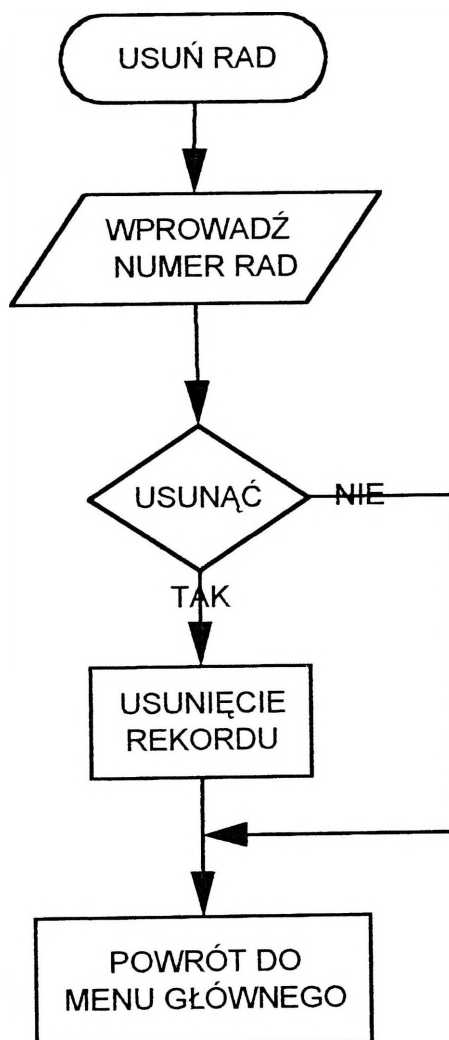
Alg.1.3. Algorytmy procedury przeglądania, zmiany i wprowadzania kolejnych radarów.



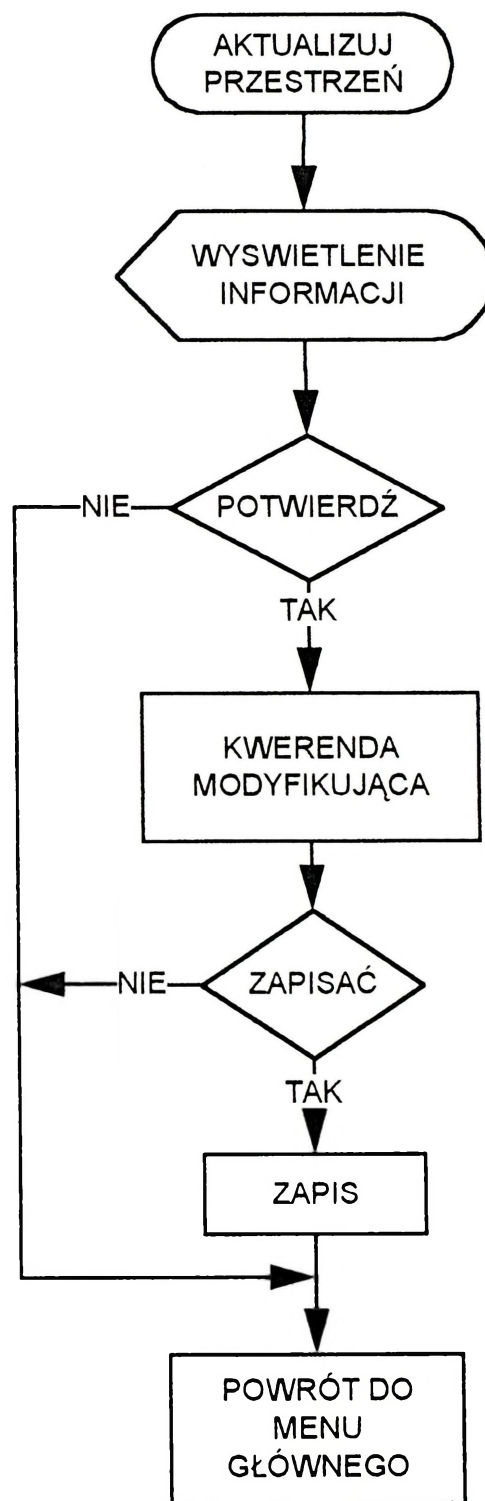
Alg.1.4. Algorytm procedury przeglądania, zmiany i wprowadzania parametrów radarów.



Alg. 1.5. Algorytm procedury włączania i wyłączania radarów.



Alg. 1.6. Algorytm procedury usuwania radarów.

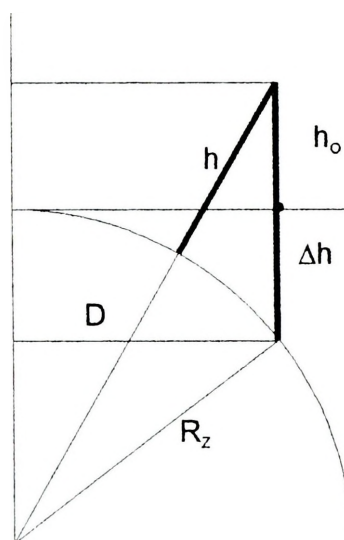


Alg.1.7. Algorytm procedury aktualizacji przestrzeni radiolokacyjnej



Przeanalizowane zostały następujące problemy:

1. Zależność wysokości łuku  $\Delta h$  od odległości prostoliniowej  $D$  (rys.2.1),
2. Błąd  $B_{LD}$  wynikający z zastąpienia  $2L$  (łuk APC) przez  $2D$  (odcinek AC) (rys. 2.1),
3. Błąd  $B_{DS}$  wynikający z zastąpienia  $S$  (odległość skośna -odcinek PC) przez  $D$  (rys. 1),

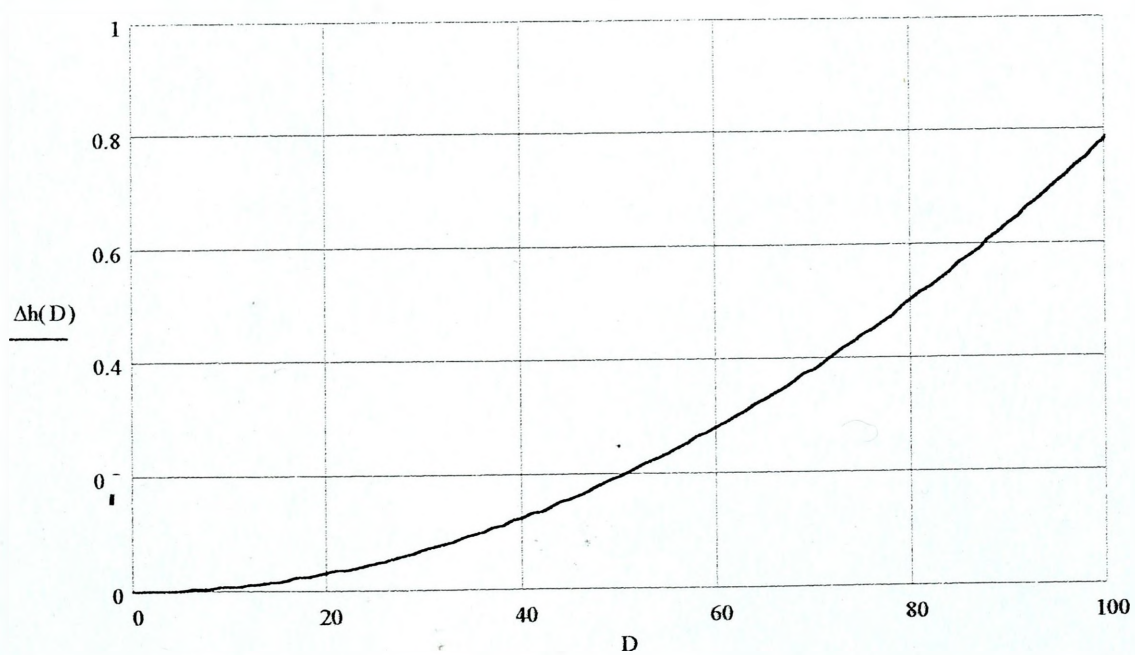
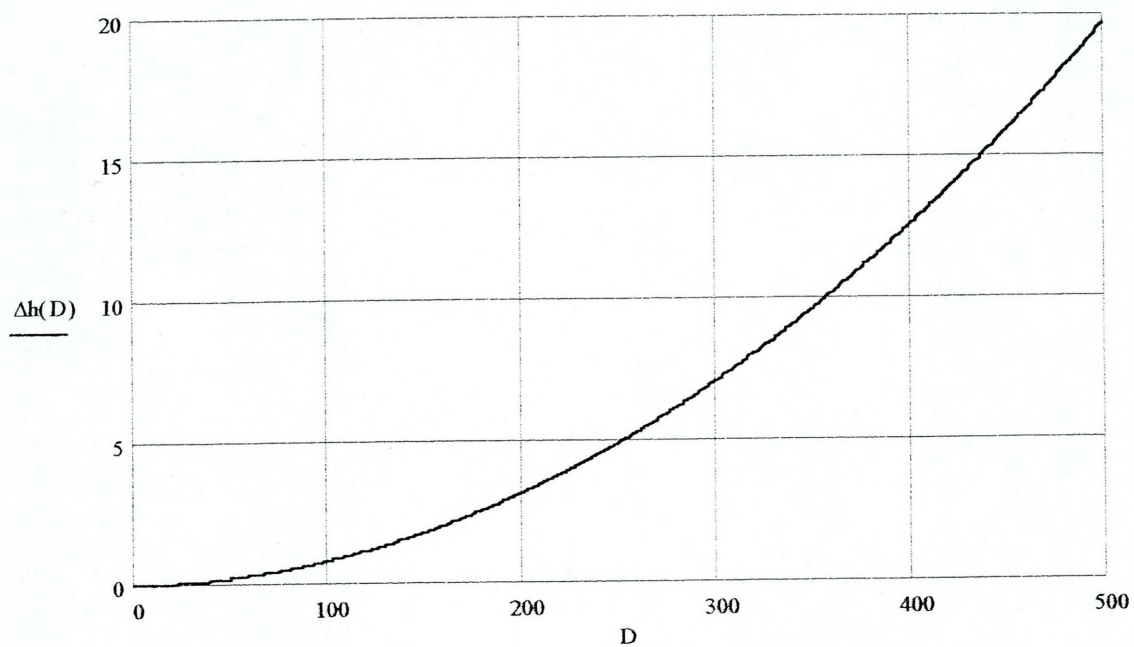


Rys. 2.2. Konstrukcje geometryczne związane z pomiarem wysokości od powierzchni Ziemi

4. Błąd  $B_h$  wynikający z zastąpienia wysokości promieniowej  $h$  wysokością prostopadłą  $h_p = \Delta h + h_0$  (rys. 2.2).

Wykr. 2.1. Zależność wysokości łuku  $\Delta h$  od odległości prostoliniowej  $D$ 

$$R_Z := 6368 \text{ km} \quad \Delta h(D) := R_Z - \frac{\sqrt{4 \cdot R_Z^2 - (2 \cdot D)^2}}{2} \quad [\text{km}]$$



**Wykr. 2.2. Błąd  $B_{LD}$  wynikający z zastąpienia 2L (łuk APC) przez 2D (odcinek ABC) (rys. 1)**

$$\phi := 0..10^\circ$$

$$R_Z := 6368$$

$\phi$  - kąt w stopniach °

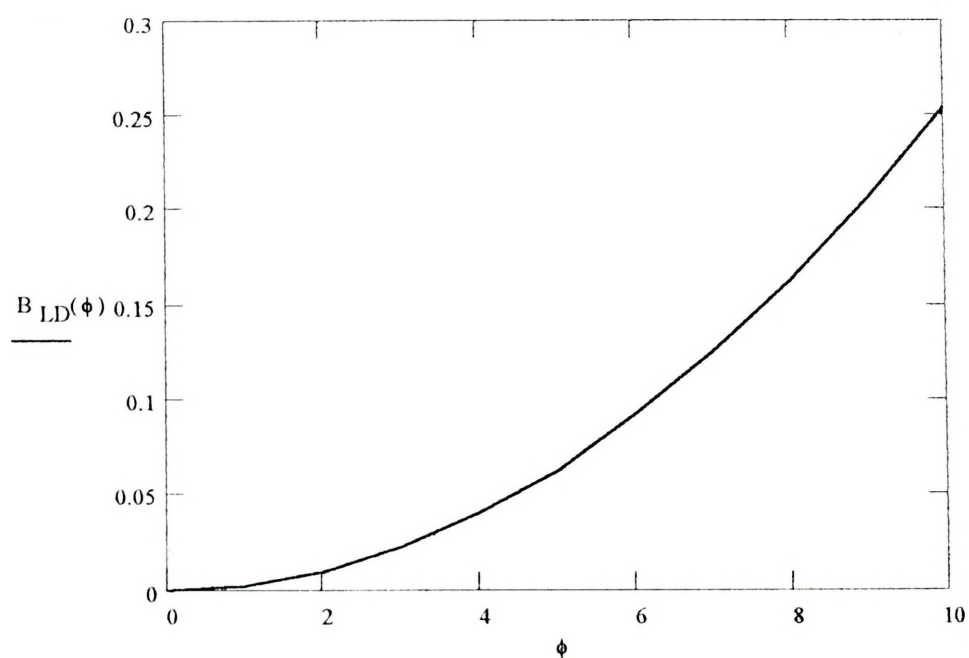
$\phi_r$  - kąt w radianach

$$\phi_r(\phi) := \frac{\phi \cdot \pi}{180}$$

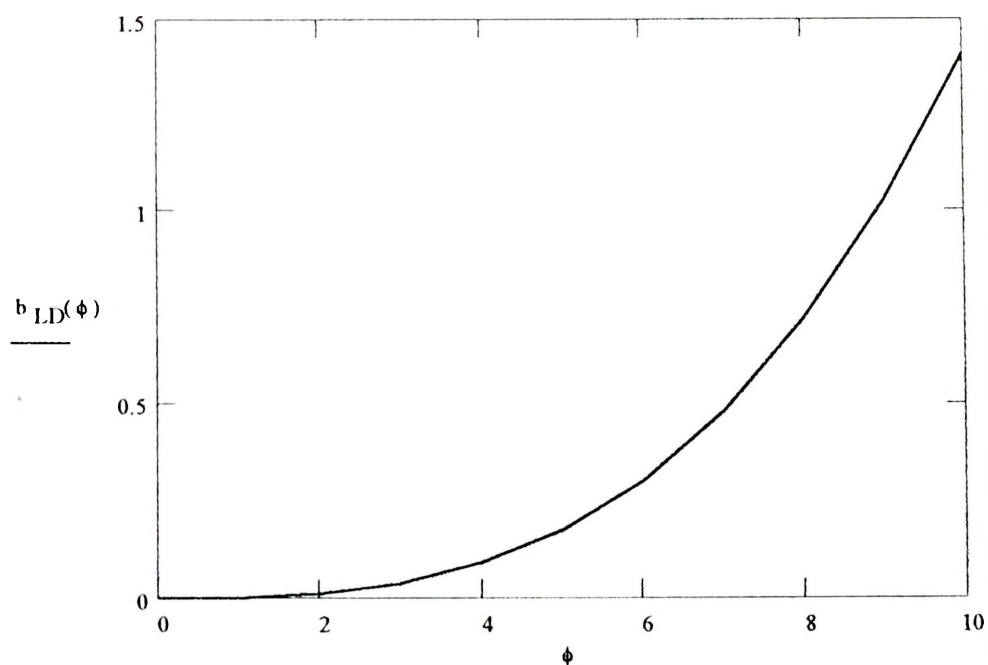
$$L(\phi) := 0.5 \cdot (R_Z \cdot \phi_r(\phi))$$

$$D(\phi) := R_Z \cdot \sin(0.5 \phi_r(\phi))$$

$$B_{LD}(\phi) := \left( \frac{2 \cdot L(\phi) - 2 \cdot D(\phi)}{L(\phi)} \right) \cdot 100 \text{ [%] błąd względny}$$



$$B1(\phi) := 1 \cdot b_{LD}(\phi) := 2 \cdot L(\phi) - 2 \cdot D(\phi) \text{ błąd bezwzględny}$$

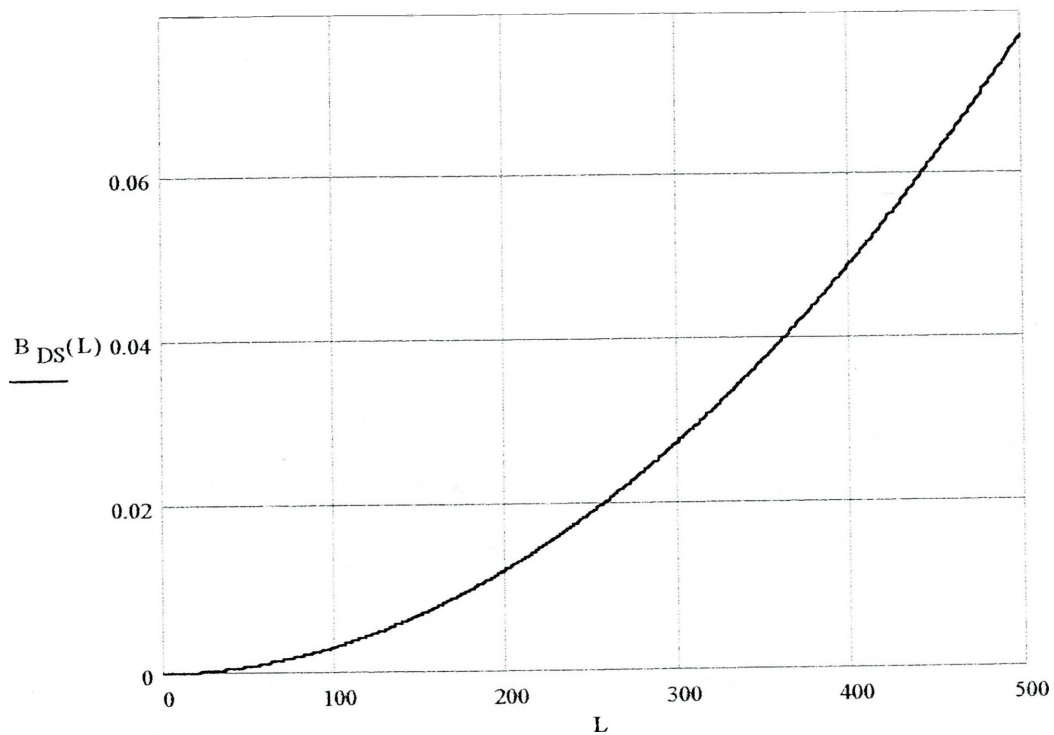


### Wykr. 2.3. Błąd $B_{DS}$ wynikający z zastąpienia S (łuk PC) przez D (odcinek BC)

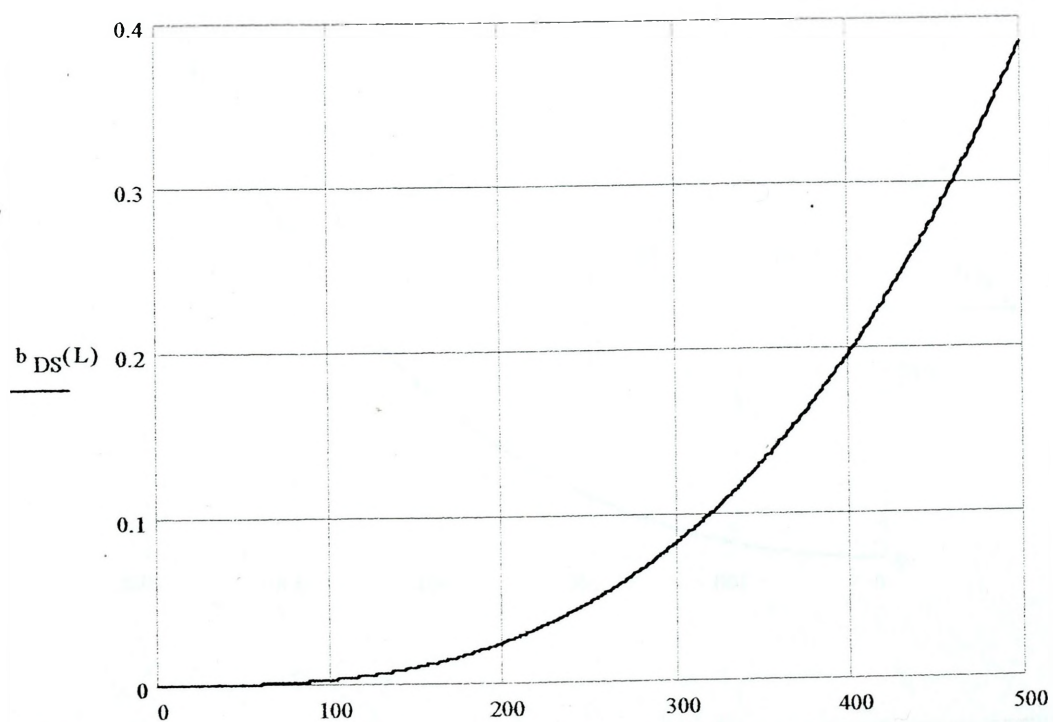
$$L := 0.. 500 \text{ km} \quad R_Z := 6368 \text{ km}$$

$$\phi_r(L) := \frac{L}{R_Z} \quad D(L) := R_Z \cdot \sin(\phi_r(L)) \quad S(L) := 2 \cdot R_Z \cdot \sin(0.5 \phi_r(L))$$

$$B_{DS}(L) := \frac{S(L) - D(L)}{S(L)} \cdot 100 \% \quad \text{błąd względny}$$



$$b_{DS}(L) := S(L) - D(L) \text{ km} \quad \text{błąd bezwzględny}$$

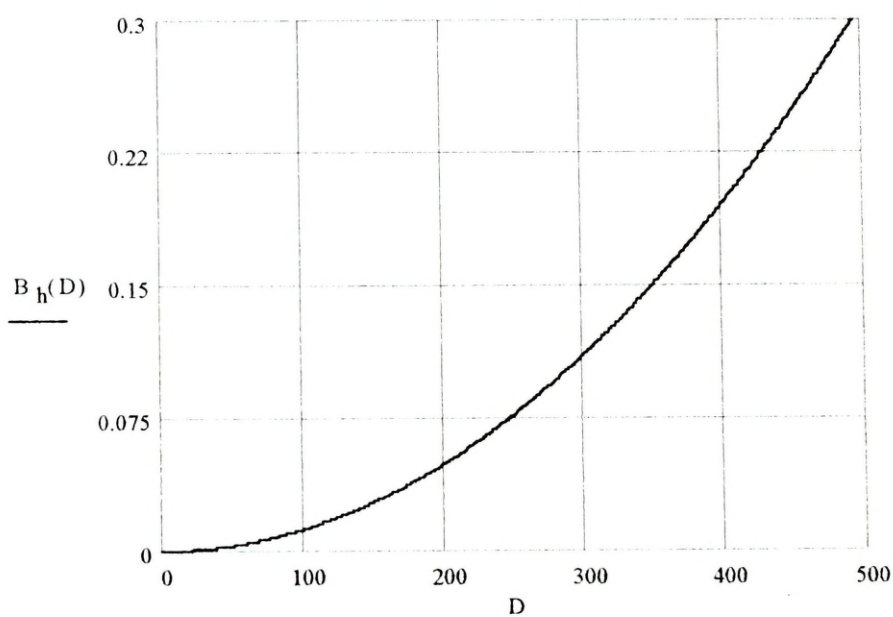


**Wykr. 2.4. Błąd  $B_h$  wynikający z zastąpienia wysokości promieniowej  $h$   
wysokością prostopadłą  $h_p$**

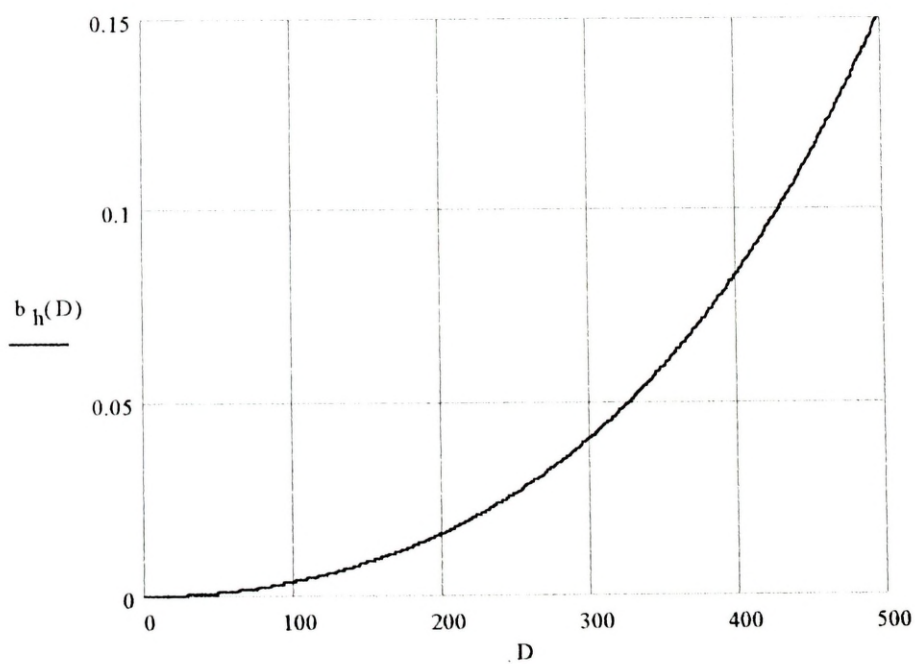
$$R_Z := 6368 \quad D := 0..1000 \quad h_o := 30$$

$$h(D) := \sqrt{D^2 + (R_Z + h_o)^2} - R_Z \quad \Delta h(D) := R_Z - \sqrt{R_Z^2 - D^2} \quad h_p(D) := \Delta h(D) + h_o$$

$$B_h(D) := \frac{(h_p(D) - h(D))}{h_p(D)} \cdot 100 \% \quad \text{błąd względny}$$

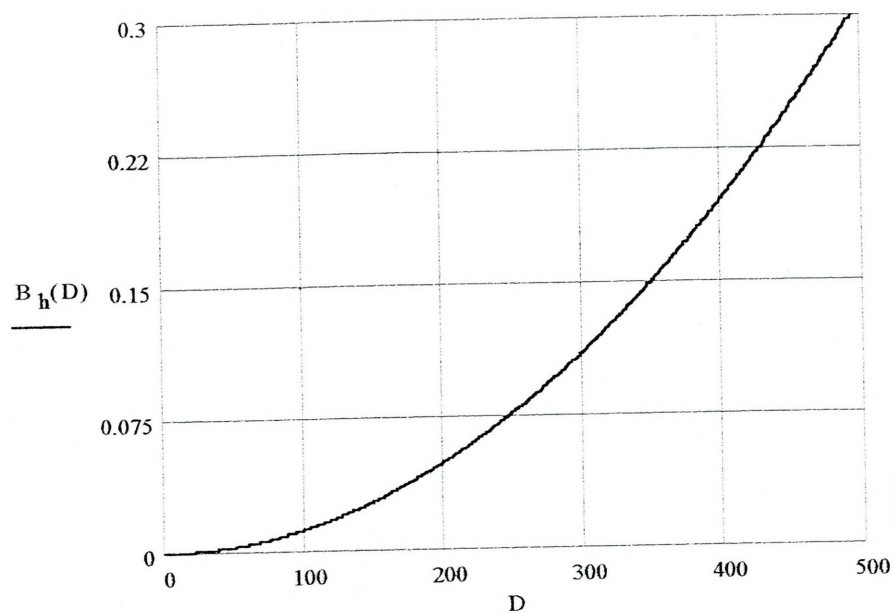


$$b_h(D) := (h_p(D) - h(D)) \quad [\text{km}] \quad \text{błąd bezwzględny}$$

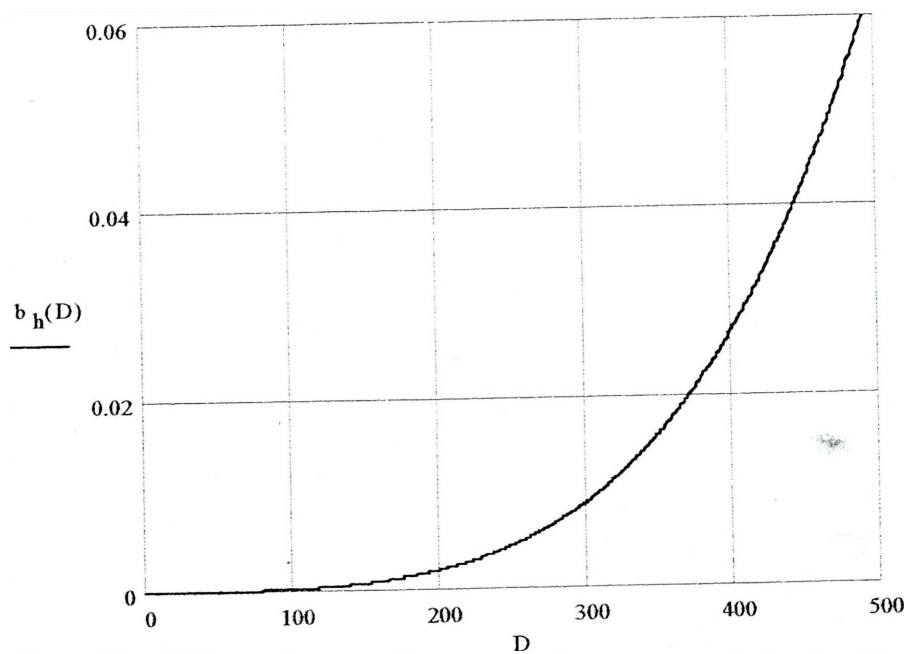


$$h_0 = 1 \text{ km}$$

$$B_h(D) := \frac{(h_p(D) - h(D))}{h_p(D)} \cdot 100 \% \quad \text{błąd względny}$$

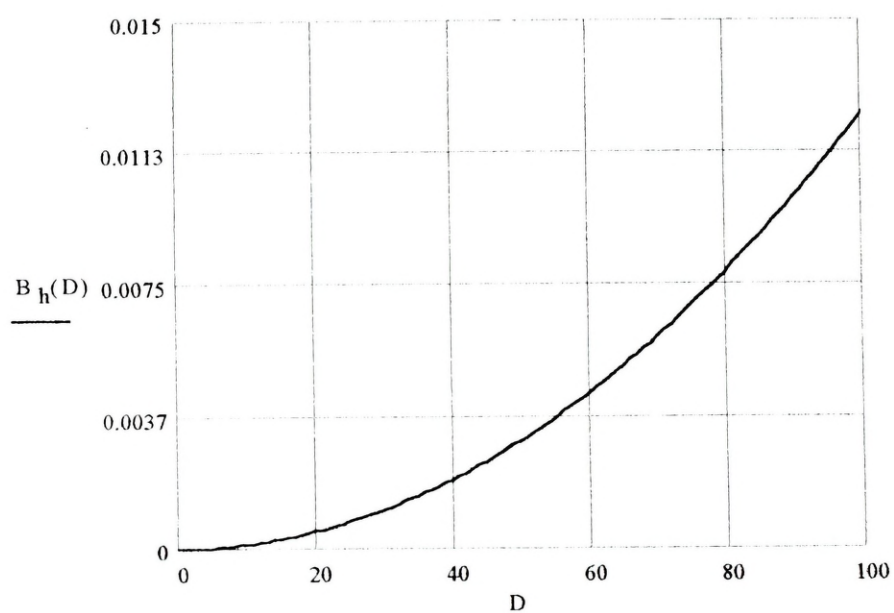


$$b_h(D) := (h_p(D) - h(D)) \text{ [km]} \quad \text{błąd bezwzględny}$$

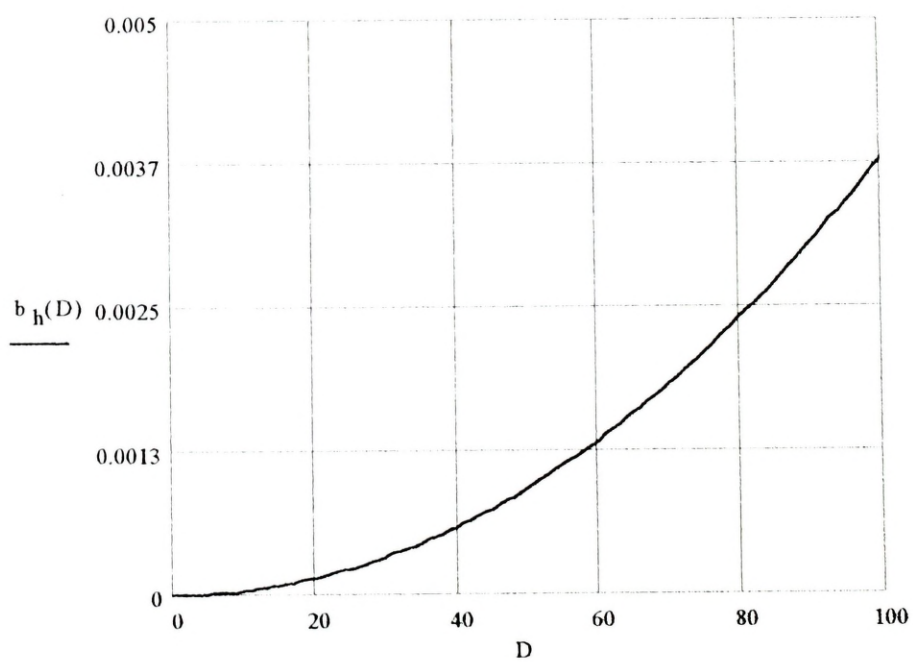


$h_0 = 30 \text{ km}, D = 100 \text{ km}$

$$B_h(D) := \frac{(h_p(D) - h(D))}{h_p(D)} \cdot 100 \% \quad \text{błąd względny}$$

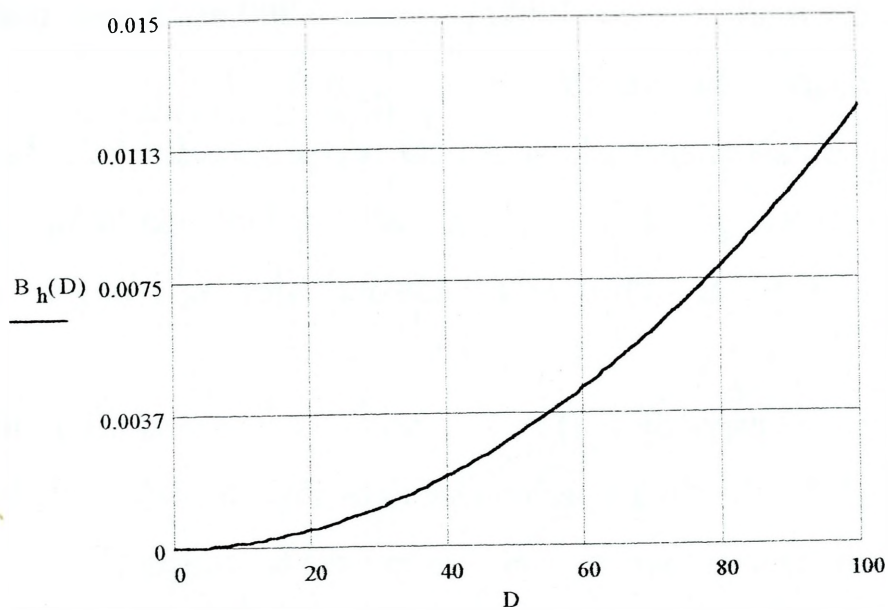


$$b_h(D) := (h_p(D) - h(D)) \text{ [km]} \quad \text{błąd bezwzględny}$$

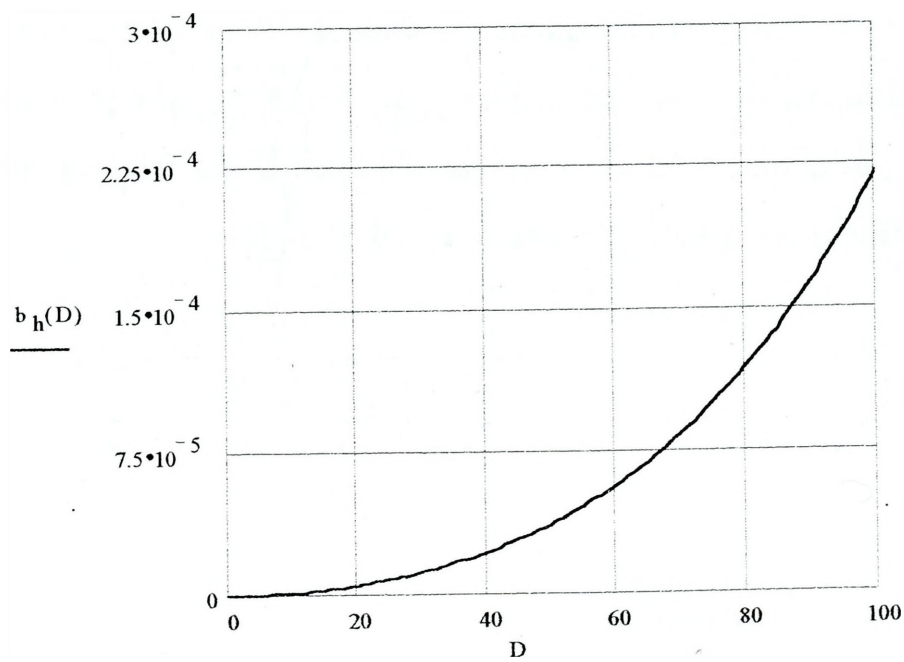


$h_0=1 \text{ km}, D = 100 \text{ km}$

$$B_h(D) := \frac{(h_p(D) - h(D))}{h_p(D)} \cdot 100 \% \quad \text{błąd względny}$$



$$b_h(D) := (h_p(D) - h(D)) \quad [\text{km}] \quad \text{błąd bezwzględny}$$

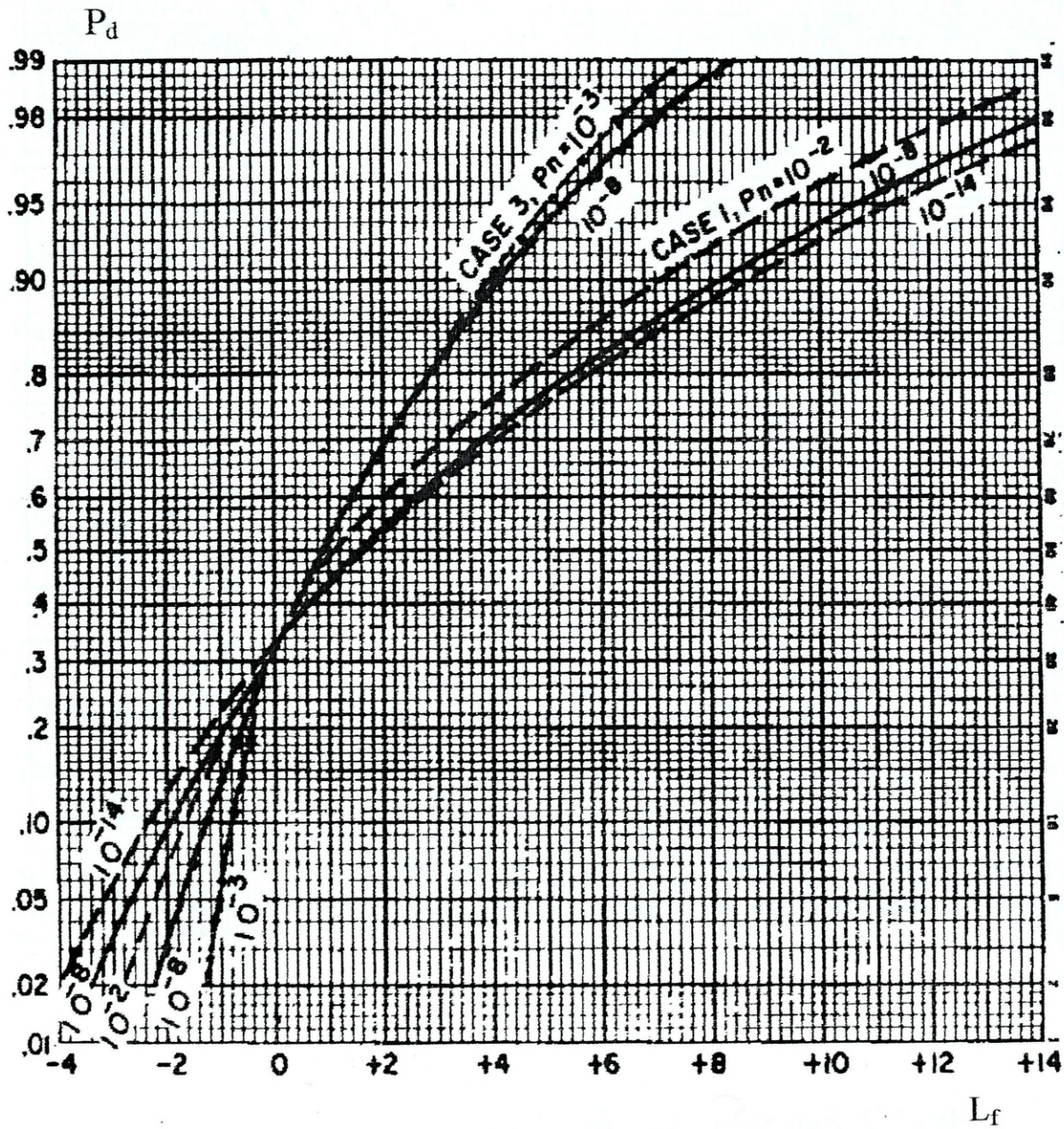


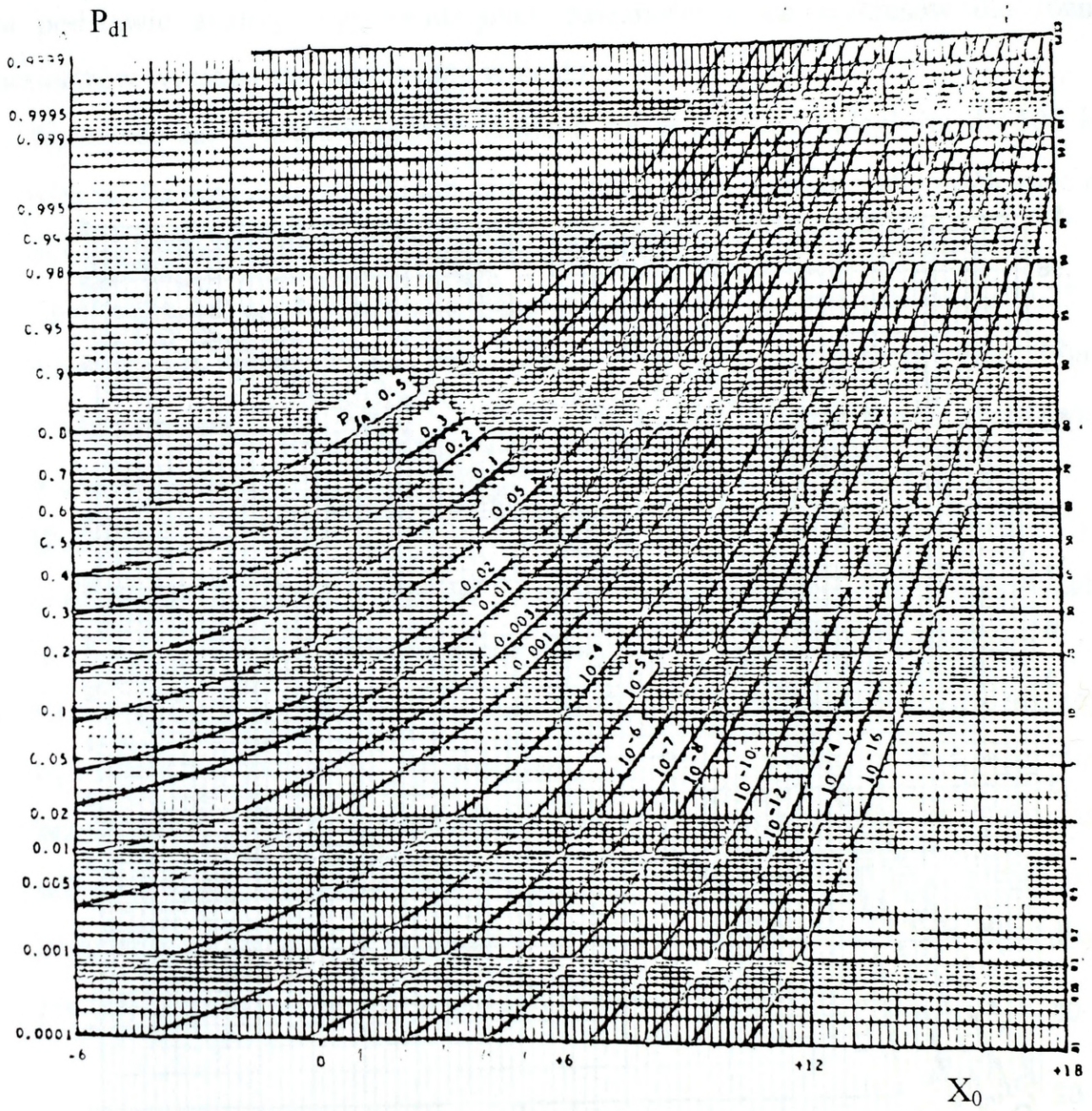
## Wnioski

Na podstawie analizy wyprowadzonych zależności i ich wykresów dla różnych parametrów wyciągnięto następujące wnioski.

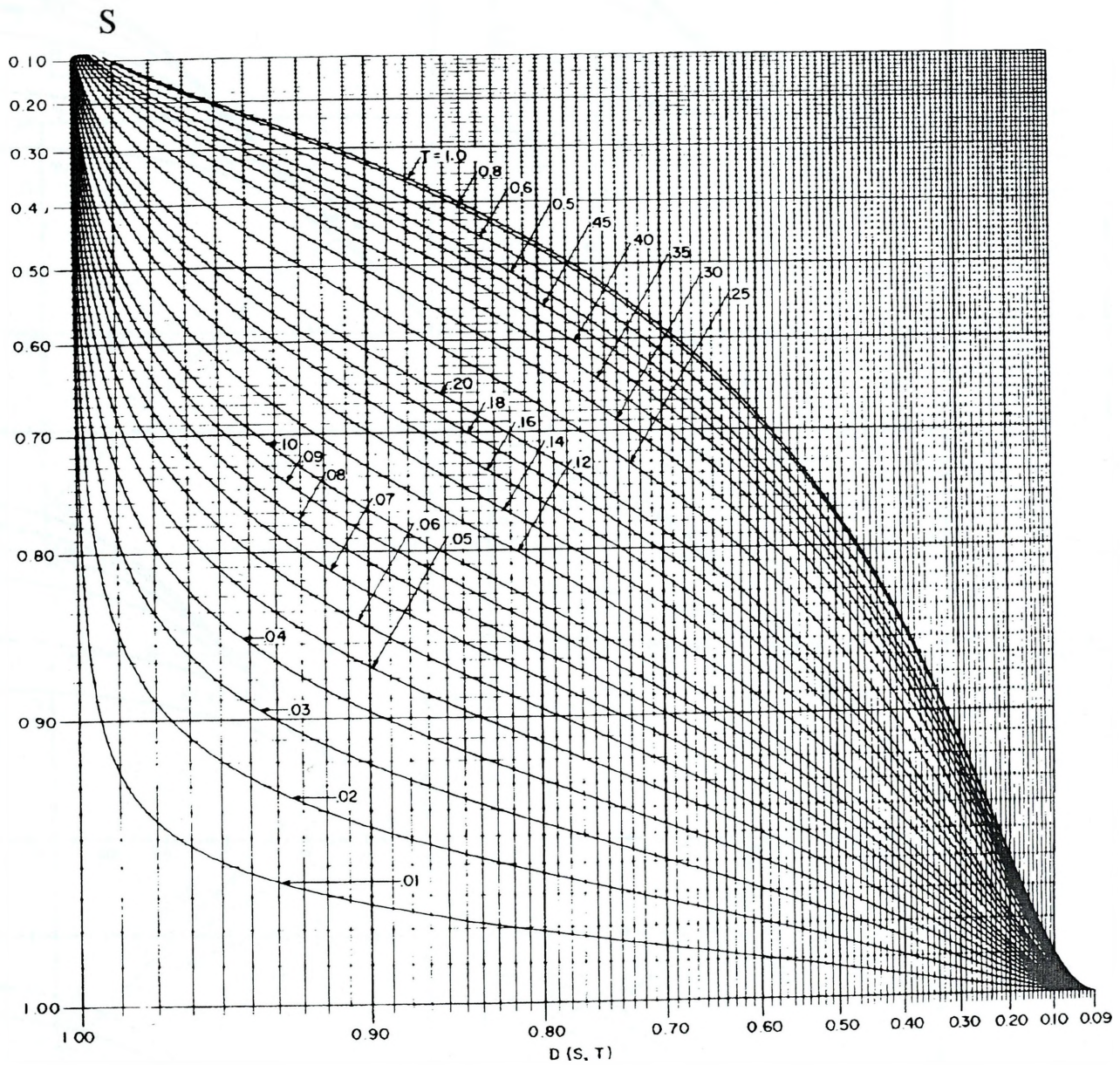
1. Wysokość  $\Delta h$  w istotny sposób zmienia się w zakresie odległości do 500 km i wynosi dla tego zakresu  $\sim 20$  km (dla zakresu 100km wynosi  $\sim 800$  m), a więc musi być uwzględniana we wszystkich obliczeniach
2. Błąd względny wynikający z zastąpienia  $2L$  przez  $2D$  nie przekracza 0.25 % a bezwzględna wartość tego błędu nie jest większa niż 1.4 km (dla łuku nie większego niż  $10^\circ$ ). W niektórych obliczeniach można więc zastępować te wartości.
3. Błąd względny wynikający z zastąpienia  $S$  (łuk  $PC$ ) przez  $D$  (odcinek  $BC$ ) nie przekracza 0.08 % dla odległości  $L=500$  km, odpowiadający mu błąd bezwzględny nie przekracza 400 m. W obliczeniach można więc zastępować te wartości.
4. Błąd wynikający z zastąpienia wysokości promieniowej  $h$  wysokością prostopadłą  $h_p$  może mieć znaczenie dla odległości 500 km. Aczkolwiek błąd względny nie przekracza 0.3 %, to jego wartość bezwzględna wynosi 150 m. Natomiast dla odległości 100 km błąd względny nie jest większy od 0.012 %, a jego wartość bezwzględna wynosi 3.7 m dla  $h_0 = 30$  km i 0.22 m dla  $h_0 = 1$  km. Dla odległości poniżej 100 km można zatem zastąpić wysokość  $h$  wysokością  $h_p$ .

## ZAŁĄCZNIK 3

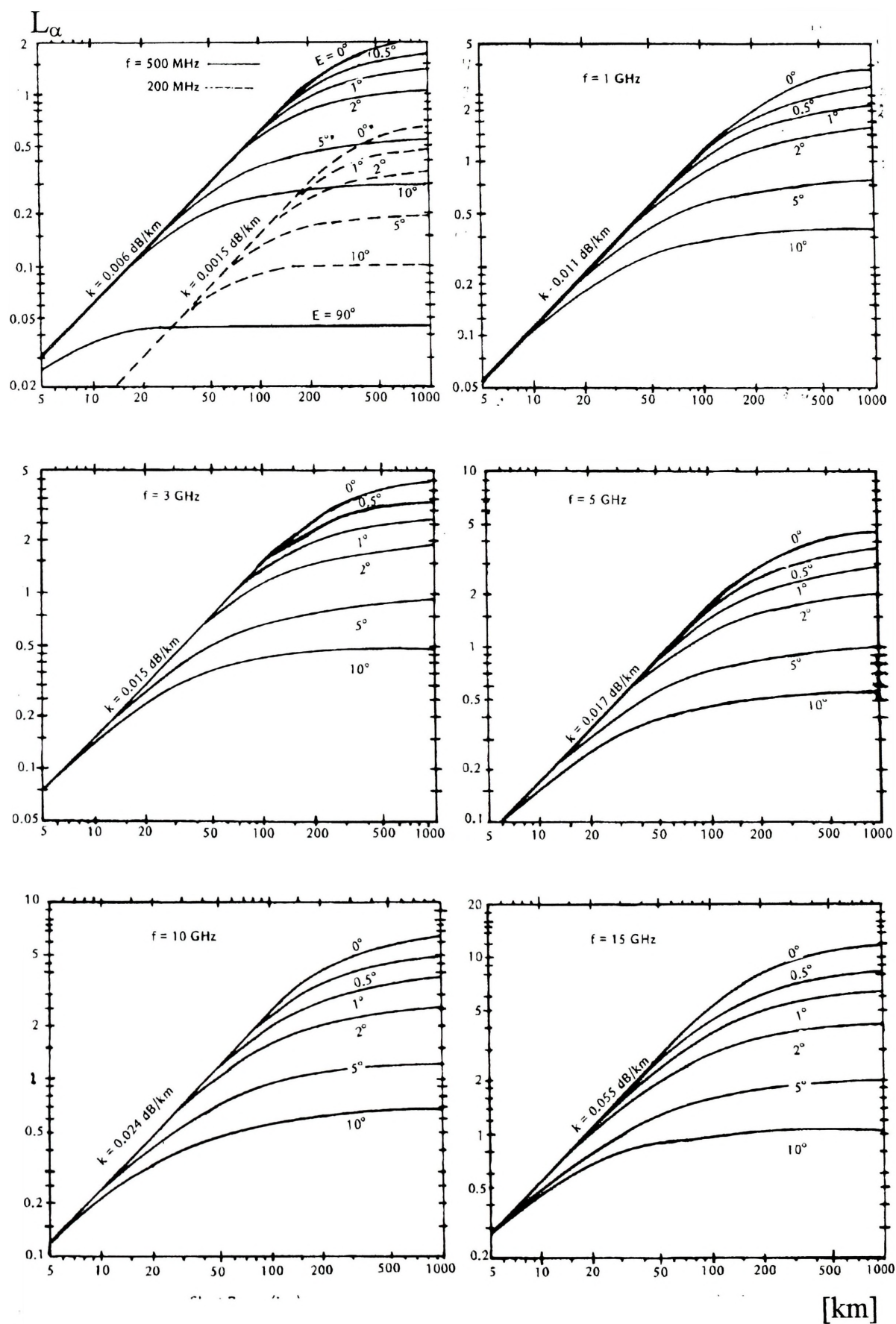
Rys.3.1. Charakterystyka  $L_f = f(P_d, P_{fa})$



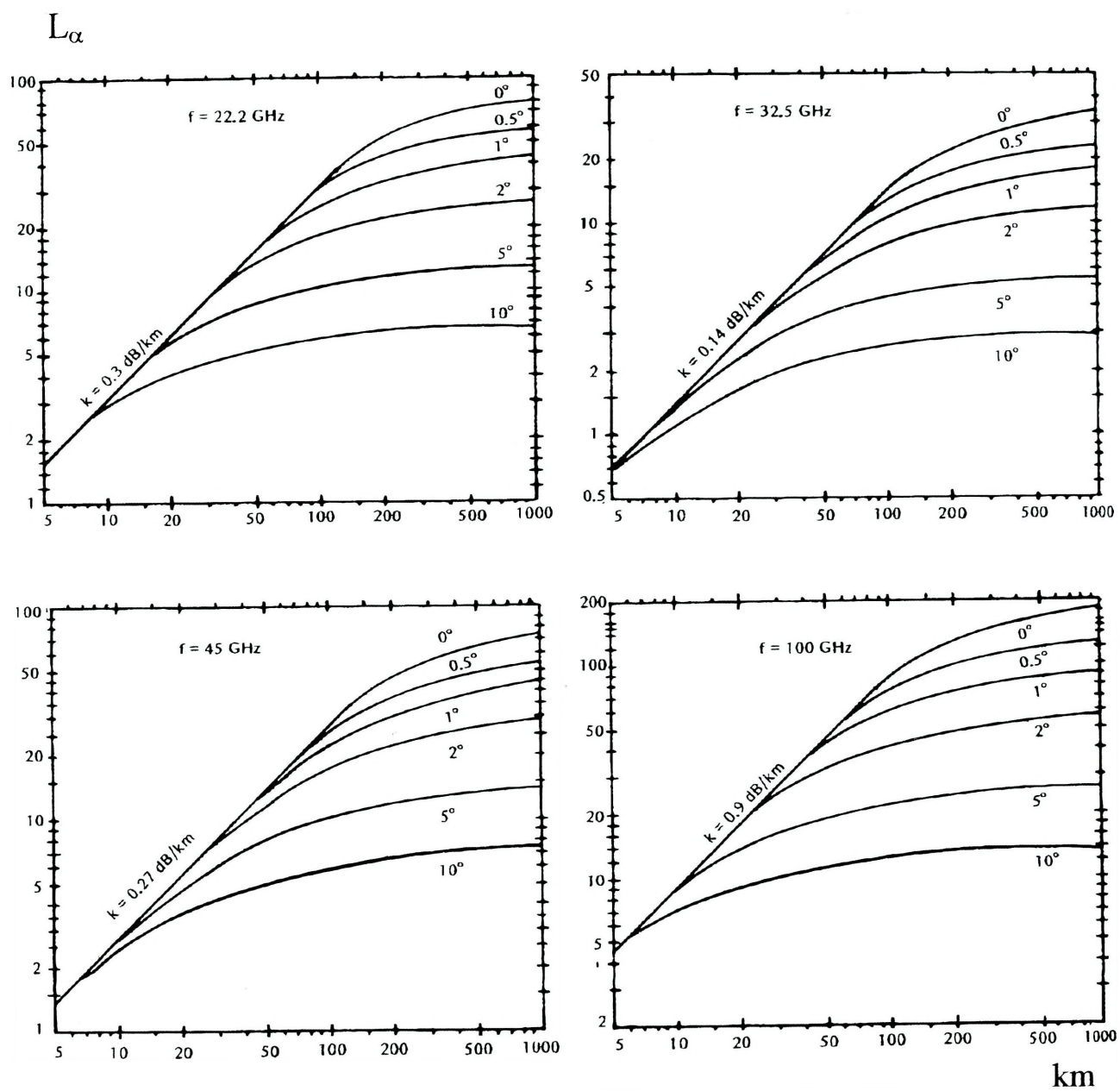
Rys.3.2. Zależność  $X_0 = f(P_{d1}, P_{fa1})$

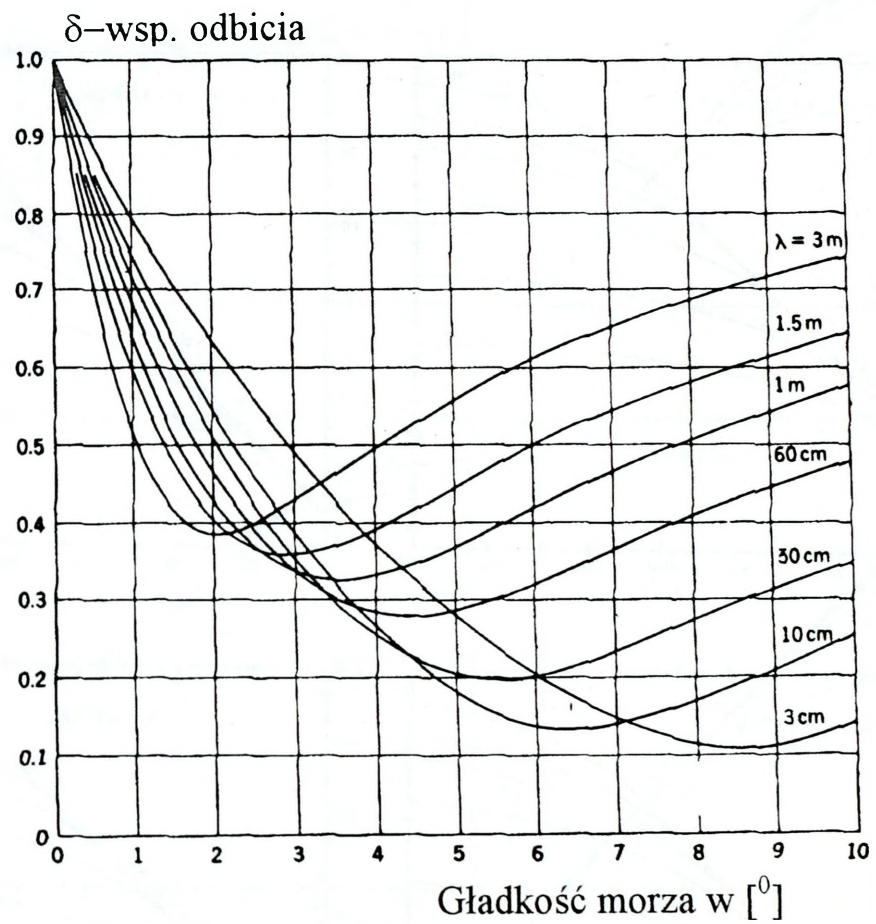


Rys.3.3. Zależność czynnika rozbieżności  $D$  w funkcji  $S$  i  $T$

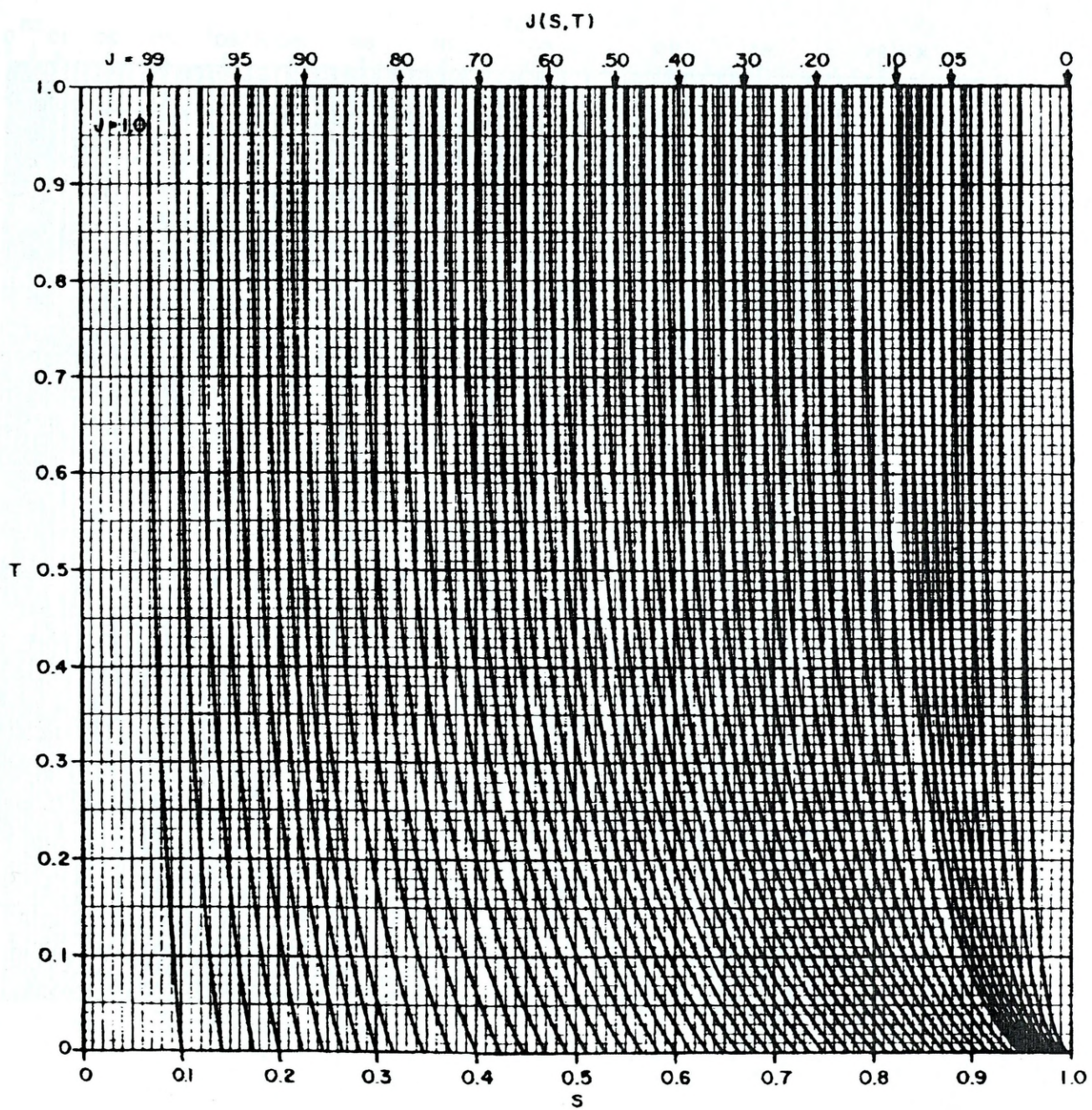


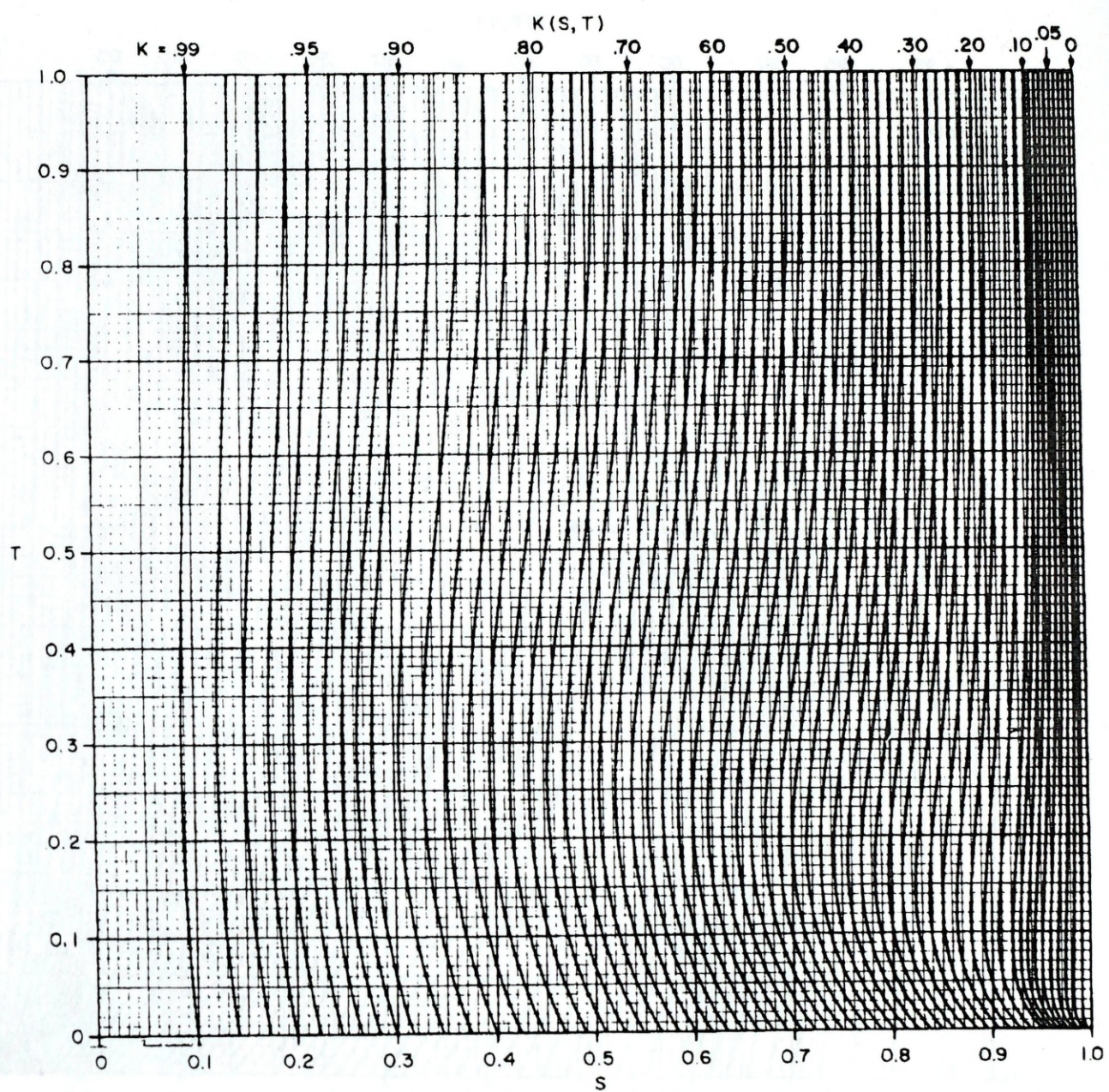
Rys.3.4a. Charakterystyki  $L_\alpha$  w funkcji zasięgu dla określonych kątów elewacji.

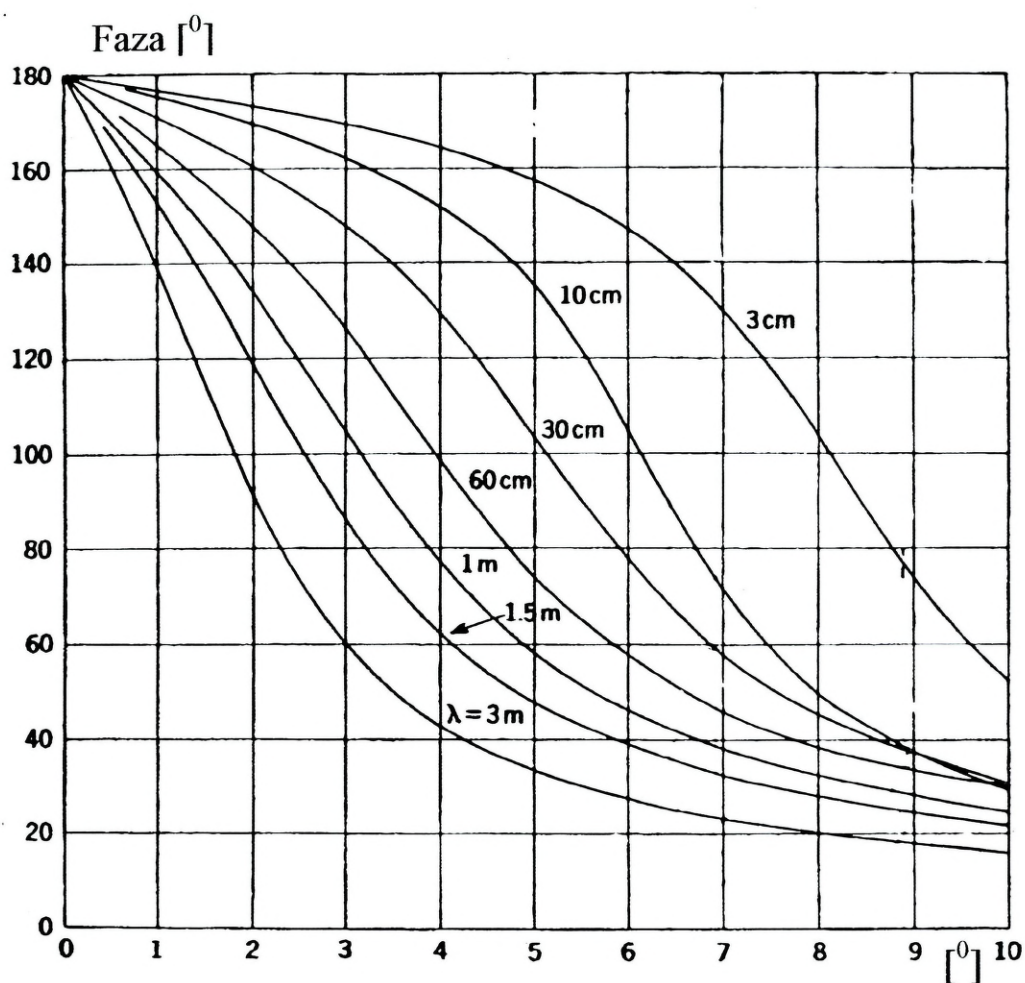
Rys.3.4b. Charakterystyka  $L_{\alpha}$  w funkcji zasięgu



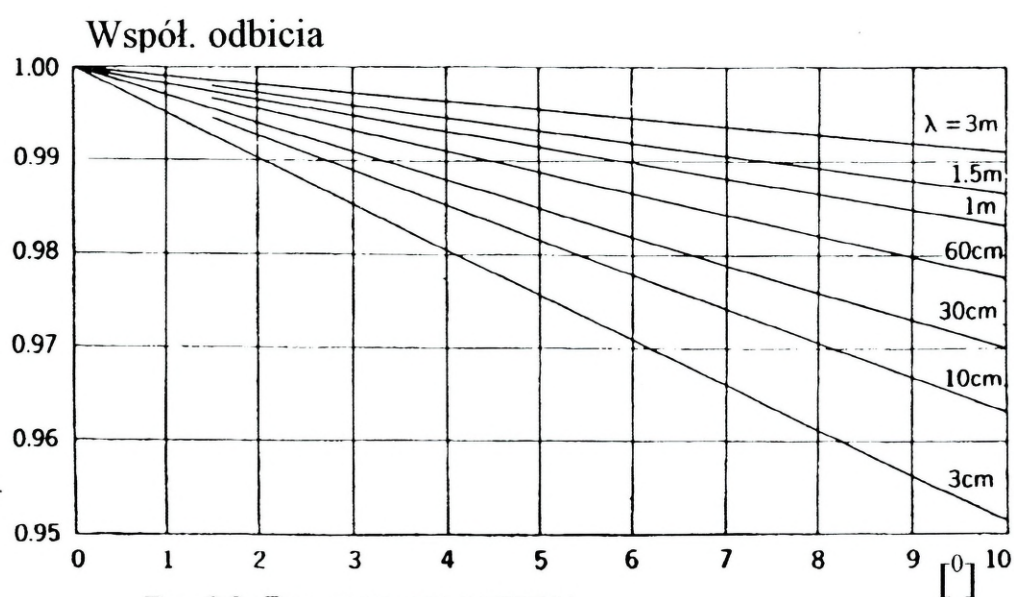
Rys.3.5. Zależność współczynnika odbicia w funkcji stopnia gładkości morza, oraz długości fali

Rys.3.6. Zależność współczynnika  $J(S, T)$ .

Rys.3.7. Zależność współczynnika  $K(S, T)$ .



RYS.3.8A. POLARYZACJA PIONOWA



RYS.3.8B POLARYZACJA POZIOMA

Rys.3.8. Zależność fazy (3.8a), oraz współczynnika odbicia (3.8b), w funkcji gładkości morza oraz długości i polaryzacji fali.

Tabela 3.1. Zależność Fn oraz Lr w funkcji temperatury Te, Tr [°K]

Fn,Lr [dB]	Fn,Lr	Te, Tr, [°K]	Fn,Lr [dB]	Fn,Lr	Te, Tr, [°K]	Fn,Lr [dB]	Fn,Lr	Te, Tr, [°K]
0	1	0	2,2	1,66	191	6,2	4,169	919
0,01	1,0023	0,67	2,3	1,698	202	6,3	4,266	947
0,02	1,0046	1,33	2,4	1,738	214	6,4	4,365	976
0,03	1,0069	2	2,5	1,778	226	6,5	4,467	1005
0,04	1,0093	2,7	2,6	1,82	238	6,6	4,571	1036
0,05	1,0116	3,36	2,7	1,862	250	6,7	4,677	1066
0,06	1,0139	4,03	2,8	1,905	262	6,8	4,786	1098
0,07	1,0162	4,7	2,9	1,95	276	6,9	4,898	1130
0,08	1,0186	5,39	3	1,995	289	7	5,012	1163
0,09	1,0209	6,06	3,1	2,042	302	7,1	5,129	1197
0,1	1,0233	6,76	3,2	2,089	316	7,2	5,248	1232
0,15	1,0351	10,2	3,3	2,138	330	7,3	5,37	1267
0,2	1,0471	13,7	3,4	2,188	345	7,4	5,495	1304
0,25	1,0593	17,2	3,5	2,239	359	7,5	5,623	1341
0,3	1,0715	20,7	3,6	2,291	374	7,6	5,754	1379
0,35	1,0839	24,3	3,7	2,344	390	7,7	5,888	1418
0,4	1,0965	28	3,8	2,399	406	7,8	6,026	1458
0,45	1,1092	31,7	3,9	2,455	422	7,9	6,166	1498
0,5	1,122	35,4	4	2,512	438	8	6,31	1540
0,55	1,135	39,2	4,1	2,57	455	8,1	6,457	1583
0,6	1,1482	43	4,2	2,63	473	8,2	6,607	1626
0,65	1,1614	46,8	4,3	2,692	491	8,3	6,761	1671
0,7	1,1749	50,7	4,4	2,754	509	8,4	6,918	1716
0,75	1,1885	54,7	4,5	2,818	527	8,5	7,079	1763
0,8	1,2023	58,7	4,6	2,884	546	8,6	7,244	1811
0,85	1,2162	62,7	4,7	2,951	566	8,7	7,413	1860
0,9	1,2303	66,8	4,8	3,02	586	8,8	7,586	1910
0,95	1,2445	70,9	4,9	3,09	606	8,9	7,762	1961
1	1,2589	75,1	5	3,162	627	9	7,943	2013
1,1	1,288	83,5	5,1	3,236	648	9,1	8,128	2067
1,2	1,318	92,2	5,2	3,311	670	9,2	8,318	2122
1,3	1,349	101	5,3	3,388	693	9,3	8,511	2178
1,4	1,38	110	5,4	3,467	715	9,4	8,71	2236
1,5	1,413	120	5,5	3,548	739	9,5	8,913	2295
1,6	1,445	129	5,6	3,631	763	9,6	9,12	2355
1,7	1,479	139	5,7	3,715	787	9,7	9,333	2417
1,8	1,514	149	5,8	3,802	813	9,8	9,55	2480
1,9	1,549	159	5,9	3,89	838	9,9	9,772	2544
2	1,585	170	6	3,981	864	10	10	2610
2,1	1,622	180	6,1	4,074	891			

## ZAŁĄCZNIK 4

### Analiza błędów w obliczeniach wysokości lotu obiektu.

W literaturze spotyka się różne podejścia do problemu refrakcji fal wykorzystywanych w radiolokacji, przy obliczaniu wykresu pokrycia radaru. Proponuje się dwa rozwiązania tego problemu.

W jednym z nich proponuje się rozwiązanie przedstawione na rys.4.1, które uwzględnia refrakcję, poprzez obliczenie poprawki  $\Delta h$ , (tzw. liniowy model troposfery) co powoduje „spłaszczenie” powierzchni ziemi i obliczenie wysokości lotu obiektu  $h_1$ .

Drugie rozwiązanie polega na obliczeniu rzeczywistej wysokości lotu obiektu bez obliczania poprawki na refrakcję i krzywiznę ziemi, lecz na podstawie wzoru wyprowadzonego z prawa Snelliusa (rozdz. 3), który pozwala na określenie wysokości lotu bezpośrednio z zależności, która sama w sobie zawiera poprawkę na refrakcję fal. Dzięki takiemu rozwiązaniu, istnieje możliwość zbudowania wykresu pokrycia radaru w specjalnych współrzędnych, które pozwalają na ocenę parametrów pokrycia. Tym zagadnieniem na obecnym etapie badań nie będziemy się zajmować

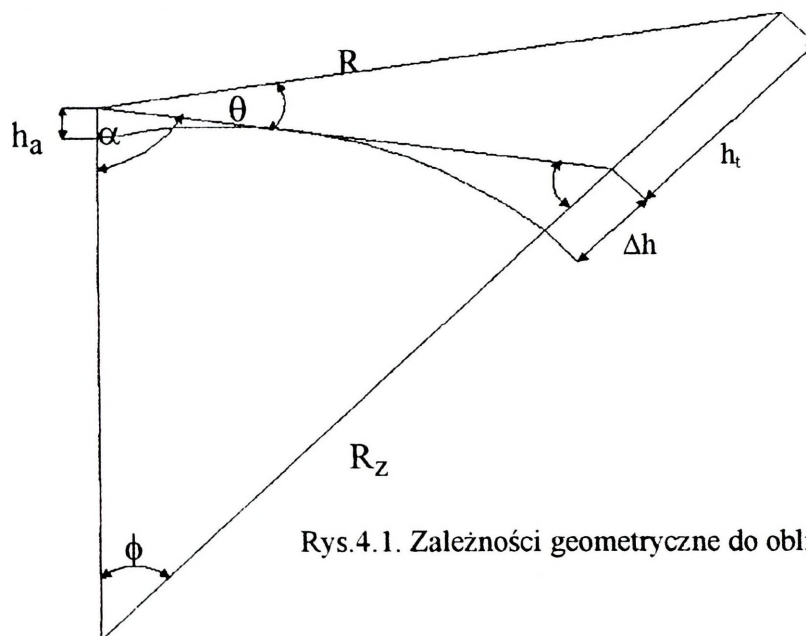
Aby dokonać oceny błędów przy obliczeniu wysokości lotu obiektu, zostaną przeprowadzone obliczenia wysokości  $h_1$  dwoma sposobami:

- a) przy pomocy zależności przedstawionych w rozdziale 3, dla linowego modelu troposfery,
- b) wykorzystując zależności geometryczne dla trójkąta.

Do wykonania obliczeń błędów wykorzystany zostanie arkusz kalkulacyjny tabela.4.1, obliczony wg zależności przedstawionych przez Bartona [4].

#### 4.1. Obliczenia dla liniowego modelu troposfery

Dla liniowego modelu troposfery  $h_t$  i  $\Delta h$  oblicza się w oparciu o zależności geometryczne, które przedstawia rys.4.1.



Rys.4.1. Zależności geometryczne do obliczenia  $h_t$  i  $\Delta h$ .

Obliczenia wykonujemy w oparciu o poniższe zależności.

$$(k \cdot R_z + \Delta h)^2 = (k \cdot R_z + h_a)^2 + R^2 - 2(kR_z + h_a) \cdot R \cdot \cos(\alpha + \Theta) \quad (4.1)$$

$$h_t = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot C}}{2} \quad (4.2)$$

gdzie:  $B = 2 \cdot k \cdot R_z$   
 $k \cdot R_z = 8500 \cdot 10^3 \text{ m}$ .

$$C = 2 \cdot (k \cdot R_z + h_a) \cdot R \cdot \cos(\alpha + \Theta) - 2 \cdot k \cdot R_z \cdot h_a - h_a^2 - R^2$$

$$\alpha = \arcsin \frac{k \cdot R_z}{k \cdot R_z + h_a} \quad (4.3)$$

$\Delta h$  oblicza się ze wzoru (4.4):

$$\Delta h = \frac{k \cdot R_z}{\sin(180 - \alpha - \phi)} - k \cdot R_z \quad (4.4)$$

gdzie:  $\phi = \arcsin \frac{R \cdot \sin(\alpha + \Theta)}{h_t + k \cdot R_z}$

Aby wykonać obliczenia  $h_1$  skorzystamy z tabeli 4.1. Z tabeli odczytujemy dla danego kąta elewacji  $\Theta$  wartość  $R$ .

Dane odczytane z tabeli 4.1:

$$\Theta = 1^\circ$$

$$R = 158,8 [\text{km}]$$

Obliczenia przeprowadzamy korzystając z powyższych zależności:

$$B = 2 \cdot k \cdot R_z = 17000$$

$$k \cdot R_z = 8500 \text{ [km]}$$

$$\alpha = \arcsin \frac{k \cdot R_z}{k \cdot R_z + h_a} = \arcsin \frac{8500}{8500,008} = 90^\circ$$

$$C = 2 \cdot (k \cdot R_z + h_a) \cdot R \cdot \cos(\alpha + \Theta) - 2 \cdot k \cdot R_z \cdot h_a - h_a^2 - R^2 = 17000,016 \cdot 158,8 \cdot (-\cos 89^\circ) - 136 - 0,000064 - 25217,44 = -72596,48$$

$$4 \cdot C = -290385,92$$

$$h_t = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot C}}{2} = \frac{-17000 + \sqrt{289000000 + 290385,92}}{2} = 4,26 [\text{km}]$$

$$\phi = \arcsin \frac{R \cdot \sin(\alpha + \Theta)}{h_t + k \cdot R_z} = \arcsin \left[ \frac{158,8 \cdot \sin(89^\circ)}{4,26 + 8500} \right] = 1^\circ$$

$$\Delta h = \frac{k \cdot R_z}{\sin(180 - \alpha - \phi)} - k \cdot R_z = \frac{8500}{\sin(89^\circ)} - 8500 = 1,7 [\text{km}]$$

$$h_1 = \Delta h + h_t = 1,7 + 4,26 = 5,96 [\text{km}]$$

Obliczona wysokość lotu obiektu  $h_1 = 5,96 [\text{km}]$ .

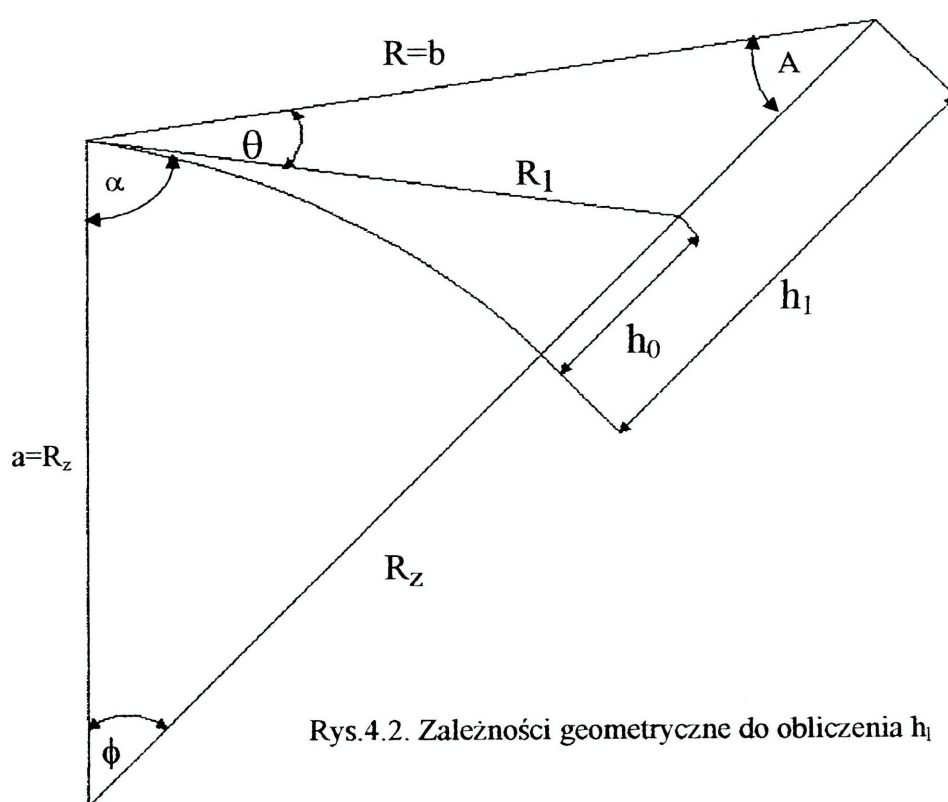
Tabela 4.1. Przykład obliczania zasięgu

<b>OBLCZENIE ZASIĘGU RADARU</b>					
wg. D.K.Barton, Radars, vol.2. The Radar Equation, str.203					
Prawdopodobieństwo wykrycia - $P_d = 0.8$ ; Prawdopodobieństwo fałszywego alarmu - $P_{fa} = 10^{-6}$ ;					
Wysokość anteny nad ziemią $h = 8$ [m] Ilość impulsów $N = \frac{\Theta_a \cdot f_{psr}}{6 \cdot \omega \cdot \cos \Theta} = 18$ ; gdzie: $\Theta_a = 2^\circ$ ;					
$f_{psr} = 325$ [Hz]; $\omega = 6$ obr/min; $\Theta = 1^\circ$ ; Przypadek I celu wg Swarlinga					
A. Obliczenie $T_s$ : $T_s = T_a + T_r + T_e \cdot L_r$	B. Parametry radaru		C. Wartości w decybelach	Plus (+)	Minus(-)
a). Obliczenie $T_a$ . Dla $T_{ig} = T_{ia} = 290$ [°K] $T_a = (0,876 T_a' - 254)/L_a + 290$ gdzie: $T_a' = 64$ [°K] $L_a$ [dB]=1.77; $L_a = 1.503$  <b><math>T_a = 158</math> [°K]</b>	$P_t$ [W]	$100 \cdot 10^3$	$10 \log P_t$	50	
	$\tau$ [s]	$10 \cdot 10^{-6}$	$10 \log \tau$		50
	$G_t$		$G_t$ [dB]	40,97	
	$G_r$		$G_r$ [dB]	40,97	
	$\delta$ [m <sup>2</sup> ]	1,0	$10 \log \delta$	0,00	
	$\lambda$ [m]	0,09375	$20 \log \lambda$		20,56
	$T_s$ [°K]	1697,8	$-10 \log T_s$		32,30
	D		-D [dB]		9,00
	M		-M [dB]		0,60
	$L_t$		- $L_t$ [dB]		2,00
	$L_p$		- $L_p$ [dB]		1,60
$L_x$		- $L_x$ [dB]		2,00	
b) Obliczenie $T_r = T_{tr} \cdot (L_r - 1)$ gdzie: $L_r$ [dB] = 2.0 $L_r = 1.58$ $T_{tr} = 290$ [°K] <b><math>T_r = 169.7</math> [°K]</b>	Stała równania zasięgu			75,60	
	Suma w kolumnach (+) i (-)			207,65	118,06
				118,06	
	Wypadkowa suma kolumn (+) i (-)			+89,48	-
c) Obliczenie $T_e = T_o \cdot (F_n - 1)$ gdzie: dla $T_e, T_r$ $F_n$ [dB]=6.0 $F_n = 3,98$ $T_o = 290$ [°K] <b><math>T_e = 866.2</math> [°K]</b>	Zasięgu wolnoprzestrzenny				
	$R_o = 10^{89,48/40}$	$R_o$		172,6 [km]	
	$R' = R_o \cdot F$ gdzie $F = (F_t \cdot F_r)^{1/2} = 1,00$	$R'$		172,6 [km]	
	$L_\alpha$ [dB] odpowiadający $R'$	$L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub>		1,54 [dB]	
	$\delta_1$ - odpowiadający $L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub> $\delta_1 = c \cdot \log(-L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub> /40) { $\delta_1 = 1/10^{1,54/40}$ }	$\delta_1$		0,92	
<b><math>T_s = 1697.8</math> [°K]</b>	$R_1 = R' \cdot \delta_1$	$R_1$		157,9 [km]	
	$L_\alpha$ [dB] odpowiadający $R_1$	$L_\alpha$ [dB] <sub>(2)</sub>		1,45 [dB]	
	$\delta_2$ odpowiadający $L_\alpha$ [dB] <sub>(1)</sub> - $L_\alpha$ [dB] <sub>(2)</sub> { $\delta_2 = 10^{(1,54 - 1,45)/40}$ }	$\delta_2$		1,005	
	$R = R_1 \cdot \delta_2$	$R$		158,8 [km]	

## 4.2. Obliczenia wysokości lotu z wykorzystaniem zależności geometrycznych

W powyższym rozdziale przedstawione zostały obliczenia wysokości lotu obiektu z wykorzystaniem zależności przedstawionych w rozdziale 3. Obecnie wykonane zostaną obliczenia w oparciu o zależności geometryczne prawdziwe dla trójkąta.

Obliczenia zostaną przeprowadzone w oparciu o poniższy rysunek 4.2.



Rys.4.2. Zależności geometryczne do obliczenia  $h_1$

Dane:

$$\theta = 1^\circ - \text{tabeli 4.1}$$

$$a = R_z = 6370 [\text{km}]$$

$$b = R = 158.8 [\text{km}] \text{ z tabeli 4.1}$$

$$c = R_z + h_1$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$C = \alpha + \theta = 91^\circ$$

$$B = \phi$$

$$\operatorname{tg} \frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b} \cdot \operatorname{ctg} \frac{C}{2} \quad (4.5)$$

$$\frac{A+B}{2} = 90 - \frac{C}{2} \quad (4.6)$$

$$c = \frac{a \cdot \sin C}{\sin A} \quad (4.7)$$

Wykonując proste obliczenia otrzymamy:

$$\begin{aligned} A &= 87,5^\circ \\ B &= \phi = 1,5^\circ \\ h_1 &= 5,1[\text{km}] \end{aligned}$$

Z przedstawionych obliczeń wynika, że obliczona wysokość lotu w tym przypadku  $h_1=5,1[\text{km}]$  jest mniejsza od obliczonej w poprzednim przykładzie (rozdział 4.1).

Błąd  $\Delta h_1 = 5.96-5.1=0.86[\text{km}]$ .

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że rozwiązywanie problemu obliczeń wysokości lotu obiektu z zależności czysto geometrycznych, tak jak to pokazano w drugim przypadku, nie może być wykorzystane w modelu, ponieważ nie uwzględnia poprawki na refrakcję oraz krzywiznę ziemi, co daje wynik nieprawdziwy.

## ZAŁĄCZNIK 5

### OBLICZENIA BŁĘDU TRANSFORMACJI ELIPSY NA KULĘ I ODWROTNIK

W rozdziale 4 prezentowany jest sposób transformacji współrzędnych geograficznych z elipsy obrotowej na ekwiwalentną kulę i odwrotnie.

Aby oszacować błędy jakie wynikną z operacji transformacji dokonano obliczeń takiej transformacji.

Obliczenia zostały przeprowadzone w oparciu o zależności przedstawione w rozdziale 4 (wzory 4.4, 4.5)

Wyniki obliczeń zostały wykonane przy pomocy programu Excel i zestawione w poniższej tabeli 5.1

Do obliczeń przyjęto zakres kąta  $\phi=(48-58.5)^{\circ}$  co obejmuje cały obszar Polski.

Błąd transformacji został zobrazowany na rysunku 5.1 oraz 5.2.

Tabela 5.1. Obliczenia błędu transformacji

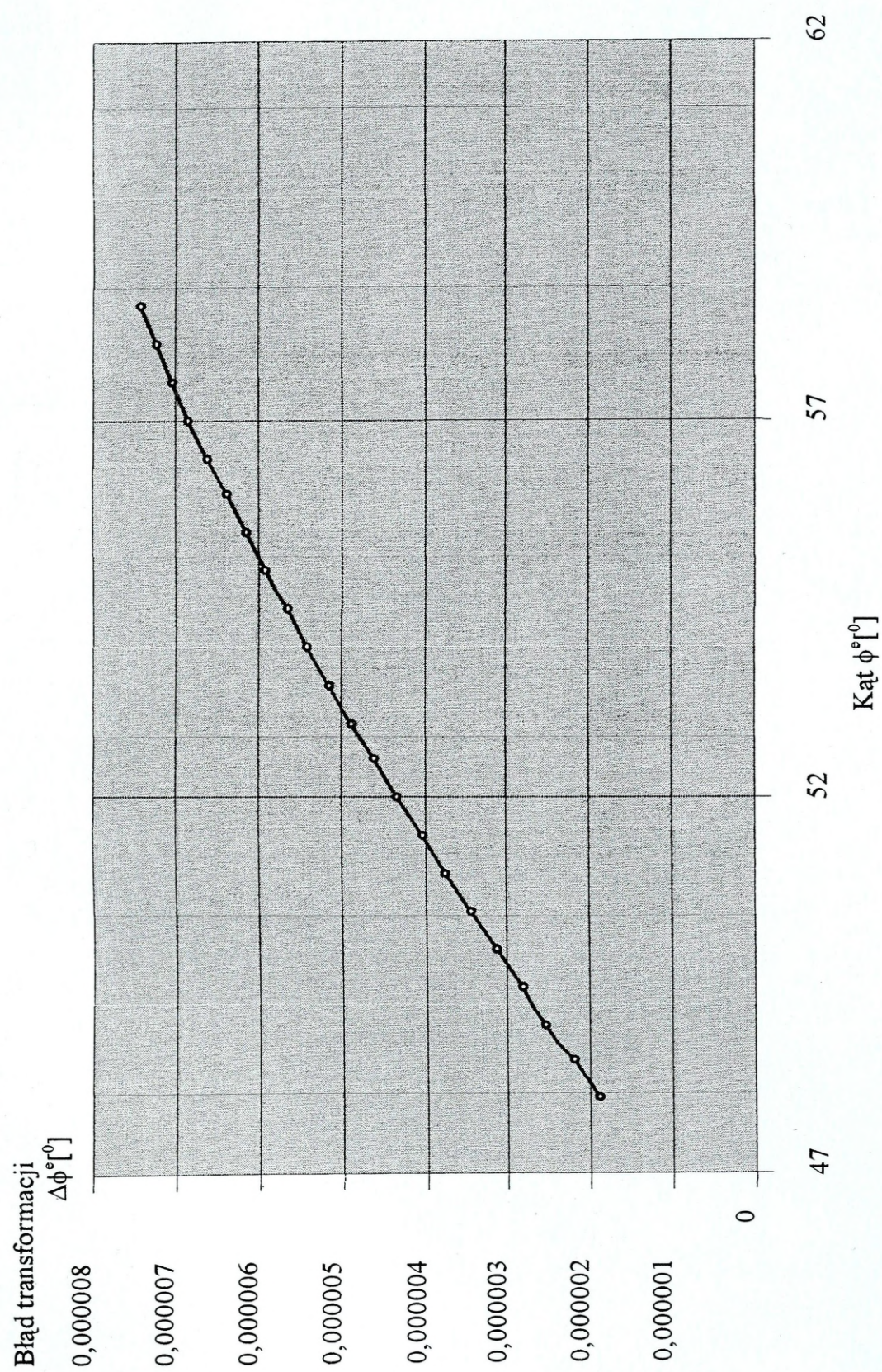
Lp	$\phi^{\circ}$ stop]	a	$a^2$	b	$b^2$	$a^2-b^2$	$e^2=(a^2-b^2)/a^2$	e	$e^4$	$e^6$	$1/2 \cdot e^2$
1	48	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
2	48,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
3	49	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
4	49,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
5	50	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
6	50,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
7	51	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
8	51,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
9	52	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
10	52,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
11	53	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
12	53,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
13	54	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
14	54,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
15	55	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671

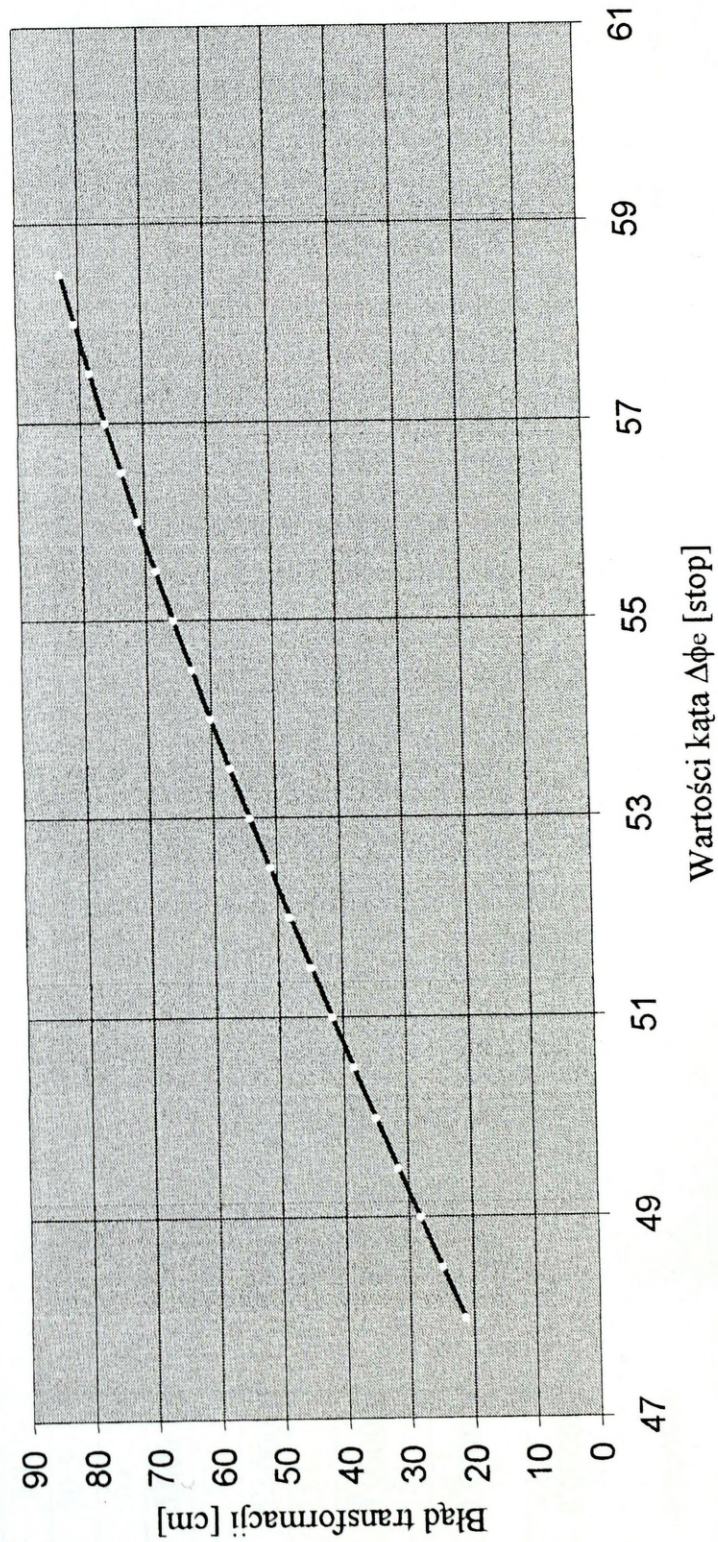
16	55,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
17	56	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
18	56,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
19	57	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
20	57,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
21	58	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671
22	58,5	6378245	4,0682E+13	6356863	4,04097E+13	2,72302E+11	0,006693427	0,0818134	4,48E-05	2,999E-07	0,00334671

$5/24 * e^4$	$3/32 * e^6$	$k_2$	$5/48 * e^4$	$7/80 * e^6$	$k_4$	$k_6$	$2 * \phi^\circ$ [rad]	$4 * \phi^\circ$ [rad]	$6 * \phi^\circ$ [rad]	$\sin 2\phi^\circ$	$\sin 4\phi^\circ$	$\sin 6\phi^\circ$
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,6755163	3,3510325	5,0265488	0,9945219	-0,207912052	-0,951056345
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,6929696	3,3859391	5,0789087	0,9925461	-0,241922258	-0,933580226
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,7104229	3,4208457	5,1312686	0,990268	-0,275637718	-0,913545228
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,7278762	3,4557523	5,1836285	0,9876883	-0,309017357	-0,891006265
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,7453294	3,4906589	5,2359883	0,9848077	-0,342020505	-0,866025115
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,7627827	3,5255655	5,2883482	0,9816271	-0,374606954	-0,83867025
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,780236	3,5604721	5,3407081	0,9781476	-0,406737002	-0,809016648
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,7976893	3,5953787	5,393068	0,97437	-0,438371503	-0,777145587
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,8151426	3,6302852	5,4454279	0,9702957	-0,469471916	-0,743144424
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,8325959	3,6651918	5,4977878	0,9659258	-0,50000035	-0,707106353
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,8500492	3,7000984	5,5501476	0,9612616	-0,52991961	-0,669130152
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,8675025	3,735005	5,6025075	0,9563047	-0,559193245	-0,629319911
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,8849558	3,7699116	5,6548674	0,9510565	-0,587785589	-0,587784748
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,9024091	3,8048182	5,7072273	0,9455185	-0,615661806	-0,544638507
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,9198624	3,8397248	5,7595872	0,9396925	-0,642787934	-0,49999945
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,9373157	3,8746314	5,8119471	0,9335803	-0,669130924	-0,453989929
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,954769	3,909538	5,8643069	0,9271838	-0,694658681	-0,406736052
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,9722223	3,9444445	5,9166668	0,9205048	-0,719340102	-0,35836734
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	1,9896756	3,9793511	5,9690267	0,9135454	-0,743145119	-0,309016368

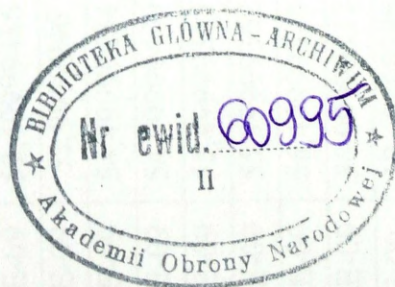
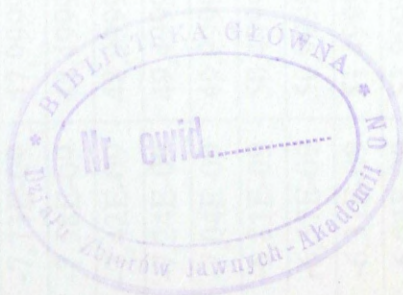
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	2,0071289	4,0142577	6,0213866	0,9063077	-0,766044728	-0,258818404
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	2,0245822	4,0491643	6,0737465	0,8987939	-0,788011028	-0,207911036
9,334E-06	2,811E-08	0,0033561	4,667E-06	2,624E-08	4,693E-06	8,122E-09	2,0420355	4,0840709	6,1261064	0,8910064	-0,809017259	-0,156433798
$k_2 * \sin 2\phi^k$	$k_4 * \sin 4\phi^k$	$k_6 * \sin 6\phi^k$	$\phi^k$ oblicz. [°]	$\phi^k$ [°]	$2 \phi^k$ [rad]	$4\phi^k$ [rad]	$6\phi^k$ [rad]	$\sin 2\phi^k$	$\sin 4\phi^k$	$\sin 6\phi^k$	$k_2 * \sin 2\phi^k$	$k_4 * \sin 4\phi^k$
0,0033377	-9,76E-07	-7,72E-09	47,99666134	48	1,675399725	3,350799451	5,0261992	0,9945341	-0,207684	-0,951164	0,0033377	-9,75E-07
0,0033311	-1,14E-06	-7,58E-09	48,49666781	48,5	1,692853246	3,385706492	5,0785597	0,9925603	-0,241697	-0,933705	0,0033311	-1,13E-06
0,0033234	-1,29E-06	-7,42E-09	48,9966753	49	1,710306802	3,420613603	5,1309204	0,9902842	-0,275415	-0,913687	0,0033235	-1,29E-06
0,0033148	-1,45E-06	-7,24E-09	49,4966838	49,5	1,727760393	3,455520786	5,1832812	0,9877064	-0,308797	-0,891164	0,0033148	-1,45E-06
0,0033051	-1,61E-06	-7,03E-09	49,99669331	50	1,745214019	3,490428039	5,2356421	0,9848278	-0,341804	-0,866198	0,0033052	-1,6E-06
0,0032944	-1,76E-06	-6,81E-09	50,49670383	50,5	1,762667681	3,525335362	5,288003	0,9816491	-0,374394	-0,838858	0,0032945	-1,76E-06
0,0032827	-1,91E-06	-6,57E-09	50,99671536	51	1,780121378	3,560242756	5,3403641	0,9781714	-0,406528	-0,809219	0,0032828	-1,91E-06
0,0032701	-2,06E-06	-6,31E-09	51,49672789	51,5	1,79757511	3,595150219	5,3927253	0,9743957	-0,438166	-0,777361	0,0032701	-2,06E-06
0,0032564	-2,22E-06	-6,04E-09	51,99674142	52	1,815028876	3,630057752	5,4450866	0,9703232	-0,469271	-0,743373	0,0032565	-2,2E-06
0,0032417	-2,35E-06	-5,74E-09	52,49675594	52,5	1,832482678	3,664965355	5,497448	0,9659551	-0,499804	-0,707347	0,0032418	-2,35E-06
0,0032261	-2,49E-06	-5,43E-09	52,99677145	53	1,849936514	3,699873027	5,5498095	0,9612927	-0,529728	-0,669381	0,0032262	-2,49E-06
0,0032094	-2,62E-06	-5,11E-09	53,49678795	53,5	1,867390384	3,734780768	5,6021712	0,9563375	-0,559007	-0,629581	0,0032095	-2,62E-06
0,0031918	-2,76E-06	-4,77E-09	53,99680543	54	1,884844288	3,769688577	5,6545329	0,9510909	-0,587605	-0,588055	0,0031919	-2,76E-06
0,0031732	-2,89E-06	-4,42E-09	54,49682388	54,5	1,902298227	3,804596454	5,7068947	0,9455546	-0,615487	-0,544917	0,0031734	-2,89E-06
0,0031537	-3,02E-06	-4,06E-09	54,99684331	55	1,9197522	3,839504399	5,7592566	0,9397302	-0,642619	-0,500286	0,0031538	-3,02E-06
0,0031332	-3,14E-06	-3,69E-09	55,4968637	55,5	1,937206206	3,874412411	5,8116186	0,9336196	-0,668968	-0,454283	0,0031333	-3,14E-06
0,0031117	-3,26E-06	-3,3E-09	55,99688504	56	1,954660245	3,909320491	5,8639807	0,9272245	-0,694502	-0,407034	0,0031118	-3,26E-06
0,0030893	-3,38E-06	-2,91E-09	56,49690734	56,5	1,972114318	3,944228636	5,916343	0,9205469	-0,71919	-0,35867	0,0030894	-3,38E-06
0,0030659	-3,49E-06	-2,51E-09	56,99693059	57	1,989568424	3,979136848	5,9687053	0,9135889	-0,743002	-0,309322	0,0030661	-3,49E-06
0,0030416	-3,6E-06	-2,1E-09	57,49695477	57,5	2,007022563	4,014045125	6,0210677	0,9063526	-0,765908	-0,259126	0,0030418	-3,59E-06
0,0030164	-3,7E-06	-1,69E-09	57,99697988	58	2,024476734	4,048953467	6,0734302	0,8988402	-0,787881	-0,20822	0,0030166	-3,7E-06
0,0029903	-3,8E-06	-1,27E-09	58,49700592	58,5	2,041930937	4,083861874	6,1257928	0,8910539	-0,808894	-0,156743	0,0029904	-3,8E-06

$k_6 \cdot \sin 6\phi^k$	$\phi^{e[0]}$ - po transformator.	$\phi^{e[0]}$ - przed transformator.	$\Delta\phi^{e[0]}$ - błąd transformator	$\Delta\phi^e$ [rad]-błąd transformacji	$\Delta\phi^e$ [cm]-błąd transformator.
-7,73E-09	47,99999809	48	1,91E-06	3,33284E-08	21,246884
-7,58E-09	48,49999778	48,5	2,222E-06	3,87834E-08	24,724442
-7,42E-09	48,99999747	49	2,532E-06	4,41912E-08	28,171873
-7,24E-09	49,49999716	49,5	2,839E-06	4,95451E-08	31,584976
-7,04E-09	49,99999686	50	3,142E-06	5,48386E-08	34,959595
-6,81E-09	50,49999656	50,5	3,441E-06	6,00653E-08	38,291616
-6,57E-09	50,99999626	51	3,737E-06	6,52188E-08	41,576981
-6,31E-09	51,49999597	51,5	4,027E-06	7,02928E-08	44,811686
-6,04E-09	51,99999569	52	4,313E-06	7,52812E-08	47,99179
-5,74E-09	52,49999541	52,5	4,594E-06	8,01779E-08	51,113419
-5,44E-09	52,99999513	53	4,869E-06	8,49769E-08	54,17277
-5,11E-09	53,49999486	53,5	5,138E-06	8,96723E-08	57,166115
-4,78E-09	53,9999946	54	5,401E-06	9,42585E-08	60,089806
-4,43E-09	54,49999434	54,5	5,657E-06	9,87299E-08	62,940282
-4,06E-09	54,99999409	55	5,906E-06	1,03081E-07	65,71407
-3,69E-09	55,49999385	55,5	6,148E-06	1,07306E-07	68,407789
-3,31E-09	55,99999362	56	6,383E-06	1,11401E-07	71,018159
-2,91E-09	56,49999339	56,5	6,61E-06	1,1536E-07	73,541998
-2,51E-09	56,99999317	57	6,828E-06	1,19178E-07	75,976232
-2,1E-09	57,49999296	57,5	7,039E-06	1,22852E-07	78,317894
-1,69E-09	57,99999276	58	7,241E-06	1,26375E-07	80,564131
-1,27E-09	58,49999257	58,5	7,434E-06	1,29745E-07	82,712207

Rys 5.1. Zależność błędu transformacji  $\Delta\phi$  w funkcji kąta  $\phi$



Rys.5.2. Błąd transformacji elipsy na kulę i odwrotnie



17,40 25

S/4364

~~cuyl. 358~~