

Grey Scale #13



A

1

2

3

4

5

6

M

8

9

10

11

12

13

14

15

B

17

18

19



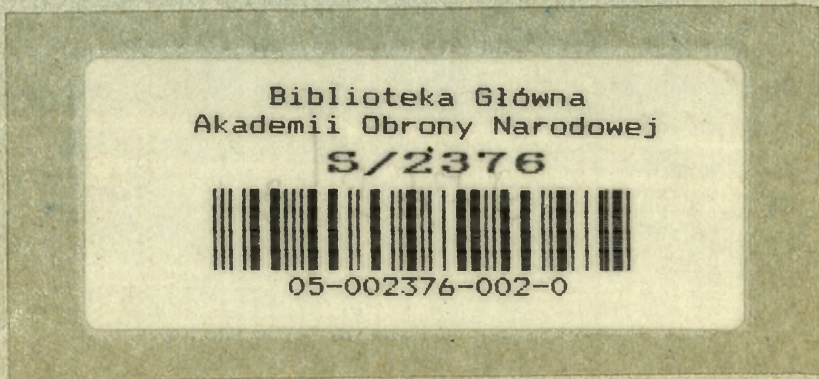
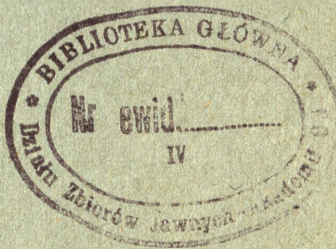
AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OP

mjr mgr inż. Jan ROKOSZ

ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ
DO PROGNOZOWANIA I WERYFIKACJI STREFY
ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO WOJSK
RADIOTECHNICZNYCH

ROZPRAWA DOKTORSKA



Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/2376



05-002376-002-0

54829

WARSZAWA

1994



Colour Chart #13

Blue

Cyan

Green

Yellow

Red

Magenta

White

3/Color

Black

Centimetres

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ WOJSK LOTNICZYCH I OP



mjr mgr inż. Jan ROKOSZ

**ZASTOSOWANIE SYMULACJI KOMPUTEROWEJ
DO PROGNOZOWANIA I WERYFIKACJI STREFY
ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO WOJSK
RADIOTECHNICZNYCH**

2

ROZPRAWA DOKTORSKA

S / 2376



PROMOTOR:

plk doc. dr hab Jan JAGIELSKI

WARSZAWA 1994

Spis treści

	strona
Wykaz ważniejszych oznaczeń.....	4
Wstęp	6
1. Aspekty metodologiczne przeprowadzonych badań.....	10
1.1 Czynniki inspirujące podjęcie tematu.....	10
1.2. Problem główny i cel badań.....	11
1.3. Przedmiot badań.....	14
1.4. Hipotezy robocze.....	14
1.5. Metody badań i ogólne zasady symulacji systemów.....	15
1.6. Adaptacja symulacji komputerowej do badania strefy rozpoznania radiolokacyjnego.....	16
2. Taktyczno-techniczne uwarunkowania określania strefy rozpoznania radiolokacyjnego.	19
2.1. Budowa strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt.	19
2.2. Analiza metod określania parametrów strefy rozpoznania radiolokacyjnego.....	24
2.2.1. Określanie realnych stref wykrywania RLS metodą oblotu.....	24
2.2.2. Analityczno-graficzna metoda określania strefy wykrywania RLS.	27
2.3. Rozpoznanie sytuacji powietrznej.....	32
2.3.1. Wykrywanie i rozpoznawanie obiektów powietrznych.....	32
2.3.2. Kontrola ruchu lotniczego.....	36
2.4. Wymagania lotnictwa bojowego na strefę rozpoznania radiolokacyjnego.....	38
2.5. Wymagania wojsk raketowych na strefę rozpoznania radiolokacyjnego.....	41
2.6. Wnioski.....	45
3. Identyfikacja parametrów i wymagań w aspekcie modelowania symulacyjnego strefy rozpoznania radiolokacyjnego.....	47
3.1. Determinanty strefy rozpoznania radiolokacyjnego.....	48
3.2. Wymiary strefy wykrywania RLS w funkcji powierzchni skutecznej odbicia obiektu.....	50

3.3. Strefa wykrywania RLS w warunkach rzeczywistych.....	54
3.4. Strefa wykrywania RLS w warunkach zakłóceń radioelektronicznych.....	57
3.5. Strefa wykrywania RLS na małych wysokościach.....	65
3.6. Wnioski.....	70
4. Model symulacyjny strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt.....	72
4.1. Symulacja komputerowa strefy rozpoznania radiolokacyjnego.	72
4.1.1. Komputerowa mapa terenu.....	82
4.2. Wnioski.....	84
5. Wykorzystanie symulacji komputerowej do prognozowania	
i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego.....	86
5.1. Weryfikacja modelu symulacyjnego.....	87
5.2. Opis przyjętych rozwiązań programowych.....	88
5.3. Wnioski.....	93
Zakończenie.....	95
Literatura.....	96
Załączniki cz.I.....	100
Załączniki cz.II.....	148

Wykaz ważniejszych oznaczeń

β - azymut

brt - Batalion radiotechniczny

BRt - Brygada radiotechniczna

dr - dywizjon raketowy

ϵ - kąt elewacji

G - zysk kierunkowy anteny

GSI - Geograficzny System Informacyjny

H - wysokość lotu obiektu (wysokość określonej strefy rozpoznania)

h - wysokość umieszczenia anteny (h_a+h_n)

h_z - wysokość zawieszenia anteny RLS

h_n - wysokość nasypu

KMT - Komputerowa Mapa Terenu

λ - długość fali

LM-Lotnictwo myśliwskie

P_{FA} - prawdopodobieństwo fałszywego alarmu

P_i - moc urządzenia nadawczego

plm - Pułk lotnictwa myśliwskiego

PISD - połączone stanowisko dowodzenia

PN - punkt naprowadzania

P_{PW} - prawdopodobieństwo poprawnego wykrycia

PRIR - potrzebna rubież informacji radiolokacyjnej

PRWW - potrzebna rubież wprowadzenia do walki

Θ - szerokość charakterystyki promieniowania RLS

R_0 - zasięg geometryczny (horyzontalny, optyczny) z uwzględnieniem refrakcji

RLP - posterunek radiolokacyjny

RLS-stacja radiolokacyjna

R_{max} - zasięg maksymalny RLS w swobodnej przestrzeni

SD - stanowisko dowodzenia

SNR - stacja naprowadzania rakiet

ŚNP - środki napadu powietrznego

WLOP - Wojska Lotnicze i Obrony Powietrznej

WR - Wojska Raketowe

WRt - Wojska Radiotechniczne

ZtSD - zautomatyzowane systemy dowodzenia

Wstęp

Powszechnie wiadomo, że przodujące w informatyce kraje świata zawdzięczają swą pozycję nie tyle potencjałowi technicznemu co umysłowemu, na który składa się wiedza naukowców zaangażowanych w twórcze stosowanie informatyki.

Główną cechą współczesnego świata jest to, że wszystko co najlepsze i najdoskonalsze wśród osiągnięć rewolucji naukowo-technicznej zostaje natychmiast zaprzężone do doskonalenia środków walki oraz systemów dowodzenia i kierowania ogniem. Wiele z tych osiągnięć jest wynikiem stymulującego oddziaływania potrzeb sił zbrojnych na systemy badań i rozwoju. Ze względu na szczególne znaczenie dla współczesnego pola walki urządzeń elektronicznych maszyn cyfrowych stosowanych we wszystkich dziedzinach funkcjonowania nowoczesnych armii, coraz częściej mówi się o "elektronicznym polu walki". Nie tak dawno komputer był narzędziem które było "głównym aktorem" filmów fantastyczno-naukowych. Świat informatyki był zarezerwowany dla ludzi, którzy byli wybrańcami losu o specjalnym statusie społecznym. Znak rodzaju wojsk z literą "I" noszony w klapie munduru dodawał splendoru kadrze zajmującej się tą profesją.

Błyskawiczny rozwój technik gromadzenia i przetwarzania danych, możliwości posługiwania się bardzo dobrymi komputerami oraz gotowym oprogramowaniem (o możliwościach często przekraczających nasze oczekiwania), stworzyły nowy model stanowiska pracy.

Siły Zbrojne RP, a zwłaszcza Wojska Lotnicze i Obrony Powietrznej (WLOP) znalazły się w nowej sytuacji. Z jednej strony, na stanowiskach dowodzenia funkcjonujące zautomatyzowane systemy dowodzenia reprezentujące II i III generację komputerów, scentralizowany sposób przetwarzania informacji z etatową obsługą techniczną bez czynnego udziału użytkownika powodował tworzenie dystansu w relacji użytkownik - komputer. Z drugiej zaś strony na biurkach dowódców i oficerów sztabów pojawiły się nowoczesne mikrokomputery. Myśl o tworzeniu sieci komputerowej dowództwa z możliwością późniejszego jej rozszerzenia na niższe szczeble dowodzenia świadczy o nowej jakości w siłach zbrojnych. Taki bieg zdarzeń zmusza środowiska wojskowe do wychodzenia naprzeciw "nowym czasom". Koncepcje i wizje przyszłościowe trzeba przełożyć na język faktów. Istnieje potrzeba stworzenia odpowiednich narzędzi, które zaspokoją potrzeby. Sfera oprogramowania taktycznego wymaga pracochłonnych badań nad realizacją szeregu zadań cząstkowych.

Nierozłącznym ogniwem tworzonych systemów WLOP są Wojska radiotechniczne (WRt).

Nowe generacje sprzętu radiolokacyjnego otwierają nowe jakości w sposobie zbierania i przesyłania informacji radiolokacyjnych.

Ostre wymagania czasowe jak i jakościowe zmuszają do zaspokajania stale rosnących potrzeb stawianych przez wymogi współczesnego pola walki. Od każdego dowódcy i jego sztabu wymaga się rozwiązywania wielu złożonych problemów dotyczących planowania, organizowania i prowadzenia działań bojowych. Dlatego też potrzebne są aktualne, wiarygodne i dokładne informacje o przeciwniku a szczególnie o możliwościach własnych sił i środków. Dane te pozwalają uniknąć zaskoczenia oraz efektywnie wykorzystać własne siły i środki. Zdobycie tych informacji, ich analiza i ocena oraz opracowanie i przekazanie zainteresowanym dowódcom i sztabom stanowi główny cel i istotę skutecznego działania.

Z najczęściej publikowanych opinii wynika, że Polsce - dziś i w najbliższych latach - nikt nie zagraża. Jednocześnie jednak konstatuje się, że położenie Polski sprawia, iż może ona być, podobnie jak w przeszłości, obiektem silnego oddziaływania politycznego, gospodarczego i militarnego.[34].

Nie ulega wątpliwości, że dla WLOP najważniejsze jest odparcie uderzeń lotniczo-rakietowych. Ponadto w skali sił zbrojnych i państwa ostrzeganie i powiadamianie o zagrożeniach i uderzeniach z powietrza (wojsk oraz władz wojskowych i cywilnych), organizację i nadzór ruchu lotniczego. Istotnym elementem tych działań będzie funkcjonowanie WRt. Organizacja WRt w systemie stałych i zapasowych stanowisk dowodzenia i dyslokacji sprzętu może okazać się niewystarczająca. Niezbędnym będzie dokonywanie ciągłego manewru środkami rozpoznania w celu zabezpieczenia aktywnych środków walki WLOP w informację radiolokacyjną. Elementy systemu WRt zmuszone będą działać autonomicznie. Stacje radiolokacyjne nowej generacji zdolne są podołać nowym wymaganiom. Niezbędnym staje się potrzeba uzyskania szybkiej informacji o ich możliwościach przestrzennych w zdobywaniu informacji radiolokacyjnej. W ramach podjętego tematu rozprawy w brzmieniu "Zastosowanie symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych" autor zamierzał wyodrębnić i zbadać te obszary ze struktury zadaniowej WRt, które wymagają doskonalenia czy wręcz stosowania nowych metod (metodyk).¹

¹ - Mówiąc o strefie rozpoznania radiolokacyjnego autor ma na myśli prowadzenie rozpoznania radiolokacyjnego przez środki techniczne (RLS) WRt. Termin ten może być używany zamiennie z pojęciem strefa wykrywania z możliwością odniesienia do strefy informacji i pola radiolokacyjnego - patrz rozdział 4.

W rozdziale 1 - zostały przedstawione aspekty metodologiczne przeprowadzonych badań. Ujęto w nim przesłanki inspirujące podjęcie tematu. Sformułowano problem naukowy i dokonano jego analizy metodologicznej, przedstawiono cel badań hipotezy robocze i określono przedmiot badań. Zawarto istotę symulacji komputerowej a także opisano przebieg badań w kontekście stosowanych metod badawczych.

W rozdziale 2 - dokonano obserwacji potrzeb niezbędnych dla prawidłowego funkcjonowania aktywnych rodzajów wojsk w systemie WLOP. Przeprowadzono oceny parametrów jakie mają być spełnione aby możliwe było wykonanie zadań w zakresie odparcia uderzeń lotniczo-rakietowych. Określono wymagania stawiane WRt w zakresie radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych wojsk aktywnych oraz dokonano analizy metod określania parametrów strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Opisano skrótowo metodę "oblotu" oraz metodę "analityczno-graficzną", dokonano ich analizy poddając je krytycznej ocenie.

W rozdziale 3 - określono istotę metody modelowania symulacyjnego, dokonano usystematyzowania i wyselekcjonowania danych istotnych ze względu na tworzenie modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Dokonano analizy wpływu czynników na parametry strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Rozdział 4 - traktuje o przyjętym rozwiązaniu, zawiera opis modelu, zastosowanych rozwiązań, algorytmy stosowanych programów, wariantuje możliwe rozwiązania oraz sposoby ich wykorzystania. W rozdziale tym zawarto opis Komputerowej Mapy Terenu, oraz perspektywy w stosowaniu Geograficznych Systemów Informacyjnych w aspekcie ich wykorzystania w pracy bojowej WRt.

Rozdział 5 - to weryfikacja przyjętego rozwiązania. Opis zastosowanych programów komputerowych, ich możliwości obliczeniowych w aspekcie możliwości perspektywicznego wykorzystania tworzącej się rzeczywistości.

W zakończeniu podsumowano wyniki badań oraz wskazano problemy wymagające rozwiązania w dalszej perspektywie czasu.

Dokonując podsumowania nie sposób wspomnieć, że podjęcie próby naukowego opracowania zastosowania symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego nie byłoby możliwe bez życzliwego poparcia i pomocy za strony przełożonych i kolegów, którym za ich krytyczne a jednocześnie konstruktywne uwagi serdecznie dziękuję.

Życzliwość, inspiracje i opinie płk.prof.dr.hab. Stefana Antczaka były ostoją mojego działania.

Szczególne słowa podziękowania kieruję pod adresem promotora, którego inspiracje oraz oceny stanowiły cenne wskazówki bez których opracowanie mojej rozprawy byłoby niemożliwe.

1. Aspekty metodologiczne przeprowadzonych badań

Złożoność problemów obranego tematu rozprawy, chęć uzyskania pożytecznych rozwiązań postawiły przed autorem wysokie wymagania. Nowe obszary wiedzy wymagały wypracowania określonego warsztatu oraz zastosowania właściwych narzędzi w postaci odpowiedniego aparatu badawczego.

1.1. Czynniki inspirujące podjęcie tematu

Przesłanki inspirujące do podjęcia tematu rozprawy "Zastosowanie symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych", wyniknęły:

- z charakteru wykonywanego zawodu i osobistych zainteresowań autora
- potrzeb WRt w kontekście wypracowania nowych koncepcji (rozwiązań) działań w tworzącej się rzeczywistości z uwzględnieniem uwarunkowań geopolitycznych;
- rozwoju techniczno-technologicznych możliwości realizacji zadań w zakresie zdobywania informacji radiolokacyjnej przez WRt.

Przebieg i charakter służby wojskowej autora szczególnie w ostatnich latach stworzył przesłanki do podjęcia działań w zakresie zbadania stanu rzeczy w realizacji zabezpieczenia zadań informacyjnych przez WRt. W trakcie podnoszenia kwalifikacji zawodowych a zwłaszcza w etapie, który był realizowany przez autora w Akademii Obrony Narodowej narodziła się myśl o potrzebie naukowego zbadania problemu i podjęcia skromnej próby usprawnienia niedomagań na drodze dociekań badawczych.

Wprowadzenie do uzbrojenia nowych środków, tworzenie nowych systemów przetwarzania informacji (WIDLAK) stwarzają nowe formy w zakresie organizacji działań bojowych. Burzliwy rozwój techniki komputerowej, inspiracja pozwalająca rozwijać zainteresowania zawodowe, świadomość posiadania pewnej wiedzy matematyczno-technicznej oraz w zakresie organizacji i zarządzania stały się elementem mobilizującym do podjęcia tej tematyki.

Duży wpływ na podjęcie takiej decyzji miały również kontakty służbowe i osobiste autora z oficerami z najbliższego otoczenia z racji zajmowanego stanowiska, jak i kadry dydaktycznej AON.

Udział w ćwiczeniach grupy sztabowej dokonującej planowanie działań WRt był zachętą do podjęcia badań w poszukiwaniu rozwiązania, które usprawniłoby proces planowania działań wojsk radiotechnicznych w sferze tworzenia pola radiolokacyjnego.

Brak wielowariantowych rozwiązań, zmuśny proces rysowania map, obliczanie zasięgów, nanoszenie pozycji sprzętu stał się przyczynkiem do poszukiwania nowoczesnych rozwiązań.

Przełomem stało się pojawienie się na rynku sprzętu technicznego opartego na technologii mikroprocesowej zaliczanego do klasy mikrokomputerów. Dostępność omawianych urządzeń, ich niemalże osobisty charakter, chęć podnoszenia kwalifikacji stały się czynnikiem stymulującym.

Duży wpływ na podjęcie badań i usprawnienie procesów prognozowania strefy wykrywania miały opinie i wnioski kadry dowódczej różnych szczebli dowodzenia na kursach doskonalących, czy seminariach naukowych. Przeprowadzono również szereg wywiadów w strukturach operacyjnych 3 Korpusu WLOP. Wyciągnięte wnioski były inspiracją do podjęcia działań w zakresie likwidacji niedomagań.

1.2. Problem naukowy i cel badań

Temat rozprawy "Zastosowanie symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego" zawiera myśl główną rozprawy, kryjąc w sobie problem naukowy a także sugeruje istnienie pewnych problemów w realizacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Strefa rozpoznania radiolokacyjnego utworzona przez środki radiolokacyjne wojsk radiotechnicznych (dotyczy również innych rodzajów wojsk a w sensie ogólnym wszystkich środków emitujących fale elektromagnetyczne), to złożony zbiór zjawisk fizycznych biorących udział w tworzeniu warunków do wykrycia i śledzenia obiektów powietrznych.

Energia pola elektromagnetycznego, która jest nośnikiem informacji radiolokacyjnej jest punktem wyjścia w rozważaniach czynionych w przedmiocie tworzenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Aby spełnić oczekiwania zrealizowania zadań przez środki radiolokacyjne musi być spełnionych szereg warunków. O specyfice tego złożonego zagadnienia mówi się w bardzo wielu opracowaniach [4],[5],[20],[24],[44],[48],itd. Tych kilka opracowań, to tylko namiastka bogatej literatury w tym przedmiocie, głównym problemem jest jednak umiejętne wykorzystanie znajomości właściwości propagacji (energii) fal elektromagnetycznych, której źródłem jest stacja radiolokacyjna w procesie tworzenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Znajomość uwarunkowań taktycznych i ich właściwe wykorzystanie jest istotą rozwiązania tego problemu.

Duża dynamika zmian otoczenia systemu rozpoznania radiolokacyjnego tak w sferze technicznej jak i taktycznej wymusza całościowe badanie problemu, poszukujące zamierzonych celów oraz wariantujące rozwiązania z porównaniem ich konsekwencji.

Należy mieć na uwadze, że nie jest to obszar "dziewiczy" w sferze nauki. Funkcjonujące rozwiązania w określonym zakresie porządkują wiele spraw dotyczących wyznaczania stref wykrywania radiolokacyjnego. Literatura traktująca ten problem [1],[2],[14],[30],[51],[54], wskazuje na drogi rozwiązań czy nawet proponuje pewne metodyki działań, zresztą stosowane z różnym powodzeniem w praktyce.

Oznacza to, że problem był i jest dostrzegany w środowisku odpowiedzialnym za stan omawianego zabezpieczenia. Złożoność problemu głównego wymagała analizy jego treści, czyli rozłożenia na problemy pochodne, które wyrażono w formie pytań:

- 1). Jakie uwarunkowania należy uwzględnić w procesie działania WRt dotyczące określania strefy wykrywania
- 2). Jak określić najbliższe otoczenie?
- 3). Które potrzeby otoczenia mają istotny wpływ na proces tworzenia strefy wykrywania radiolokacyjnego?
- 4). Które merytoryczne rozwiązania ze stosowanych algorytmów postępowania można wykorzystać w tworzeniu symulacji komputerowej?
- 5). Które ze stosowanych metodyk rozwiązywania zadań i w jaki sposób należałoby zmieniać w aspekcie przyszłych programów komputerowych?
- 6). Jakie nowe uwarunkowania do procesu prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego wnosi symulacja komputerowa?
- 7). Jakie parametry strefy rozpoznania radiolokacyjnego należy uwzględnić w symulacji komputerowej?
- 8). Które czynniki zewnętrzne (cechy systemu) i w jakim zakresie uwzględnić w procesie modelowania symulacyjnego?

Podstawą procesu badawczego były założenia wynikające z wiedzy o przedmiocie badań i warunków jego funkcjonowania. Opisuje się je w postaci usystematyzowanej wiedzy na temat:

- a) określenie otoczenia, które wymusza sposoby działania systemu i ustala potrzeby oraz sposób ich zabezpieczenia;

- b) analizy metod wykorzystywanych w procesie określania strefy rozpoznania radiolokacyjnego [14],[30],[50];
- c) zebrania i opracowaniu czynników ilościowych decydujących o działaniu systemu rozpoznania radiolokacyjnego WRt, [2],[4],[5],[14],[20],[23],[24],[47],[48],[51];
- d) ustalenia cech istotnych systemu i sposobów ich wyznaczenia;
- e) możliwości obliczeniowych zastosowanych komputerów.

Ograniczeniami wynikającymi z warunków istnienia przedmiotu badań i zakresu prac badawczych nad omawianym problemem były

- a) warunki pozyskiwania informacji niezbędnych do tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego;
- b) możliwości dostępnego w procesie badawczym sprzętu komputerowego będącego w dyspozycji autora;
- c) możliwości korzystania z pomocy profesjonalistów w programowaniu komputerowym;
- d) braki w teoretycznych materiałach źródłowych kompletnych opisów zjawisk, które pozwalałyby tworzyć matematyczne modele symulujące stany nieustalone występujące podczas formowania charakterystyki wykrywania RLS

Autor zdecydował się podjąć temat rozprawy w jej brzmieniu pragnąc włożyć skromny wkład w tworzenie koncepcji podsystemu informatycznego zabezpieczenia działań bojowych WRt.

Na tym tle przyjęto też cel rozprawy tj. - opracowanie koncepcji zastosowania symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Proponując rozwiązania w postaci programów i algorytmów o różnym stopniu szczegółowości, autor ma nadzieję zainteresować wynikami badań czynnikami profesjonalne parające się tymi problemami zawodowo. Stopień szczegółowości i zakres proponowanych koncepcji powinien zapewnić ich przydatność w zastosowaniach praktycznych, w działalności operacyjnej WRt

Na podstawie analizy celu i głównego problemu badawczego sformułowano następujące zadania badawcze (zawierające niejako cele pochodne):

- 1). Jakie są zalety i wady aktualnie stosowanych metod określania parametrów strefy rozpoznania radiolokacyjnego?
- 2). Jakie taktyczno-techniczne potrzeby rzutują na strefę rozpoznania radiolokacyjnego?
- 3). Jak jest budowana strefa rozpoznania radiolokacyjnego?
- 4). Jak za pomocą symulacji komputerowej szacować parametry strefy rozpoznania radiolokacyjnego?

5). W jaki sposób wykorzystywać symulację komputerową do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego?

Charakteryzując problem naukowy stwierdzono, że posiada on aspekty teoretyczne i praktyczne. Teoretyczny charakter problemu naukowego polega na przyjęciu założeń teoretycznych co do przyszłych działań bojowych oraz na poznawczym charakterze zadań badawczych. Jego praktyczny charakter polega na ewentualnym wykorzystaniu efektów badań.

1.3. Przedmiot badań

Przedmiotem badań był proces radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych WLOP w aspekcie potrzeb i możliwości wykorzystania symulacji komputerowej do wspomagania przedsięwzięć tegoż zabezpieczenia.

Przedmiot badań był ujmowany jako zorganizowane działanie, a główny wysiłek poznawczy autora koncentrował się na pozyskaniu i gromadzeniu wiedzy (narzędzi) do osiągnięcia celu działania a także na poznaniu wpływu wdrożenia owych narzędzi na jakość przedmiotu badań i jego otoczenie. Zbiór rzeczywistych obiektów wyznacza charakter przedmiotu badań i jego otoczenia, które musiały być brane pod uwagę w procesie badawczym. Były nimi określone elementy systemu biorące udział w procesie radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych a także zasady ich funkcjonowania w postaci możliwości i ograniczeń spowodowanych warunkami istniejącej rzeczywistości.

Ponadto znaczącym źródłem poznania przedmiotu badań była literatura przedmiotu mająca charakter naukowy i pozanaukowy. W dalszej części rozprawy dokonano ogólnej charakterystyki przedmiotu badań uwzględniając warunki jego funkcjonowania.

1.4. Hipoteza robocza

Po sprecyzowaniu problemu naukowego określeniu celów i przedmiotu badań następnym krokiem było wysunięcie wstępnej hipotezy roboczej. Z punktu widzenia metodologii stanowi ją

przypuszczenie co do spodziewanych rezultatów prowadzonych badań naukowych. Opierając się na przesłankach inspirujących podjęcie tematu wysnuto następującą hipotezę.

Obecnie stosowane metody tworzenia i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego posiadają wady. Zastosowanie symulacji komputerowej pozwoli na wypracowanie wielowariantowych rozwiązań oraz na skrócenie czasu tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Konstrukcja hipotezy była następstwem wnioskowania dedukcyjnego.

Potrzeby wynikające z uwarunkowań tworzącej się rzeczywistości, powinny generować potrzeby w zakresie zmian w realizacji zadań prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego podsystemu WRt w systemie WLOP.

1.5. Metody badań i ogólne zasady symulacji systemów

Wybór metod badań, przyjętych w procesie badawczym, był kompromisem między potrzebami a możliwościami ich zaspokajania. Niemożność zastosowania metod empirycznych spowodowaną czynnikami obiektywnymi tkwiącymi w uwarunkowaniach geopolitycznych oraz ogromnych kosztach związanych z koniecznością wykonania szeregu oblotów praktycznych były przyczyną uniemożliwiająca przeprowadzenie badań eksperymentalnych. Dostępne wyniki prowadzonej działalności w zakresie określania stref wykrywania RLS pozwoliły jedynie na częściowe weryfikacje pewnych idei przyjętych metodami teoretycznymi, potwierdzając ich słuszność.

Autor zdecydował się na zastosowanie w procesie badawczym modelowania symulacyjnego z wykorzystaniem komputera. Istota tej metody polega na zbudowaniu modelu badanego systemu, który w jednych elementach jest zgodny z systemem rzeczywistym, w innym zaś różni się od niego i który jest badany przy pomocy różnych metod i środków[8]. Modelowanie jest to szczególna metoda badania obiektu (systemu) złożonego, polegająca na budowie pomocniczego obiektu (systemu) zastępczego w postaci modelu obiektu (systemu) rzeczywistego i przeprowadzeniu na nim eksperymentów.[33].

Modelowanie zakłada obecność: obiektu rzeczywistego, podmiotu i modelu.

Jeżeli dokonujemy eksperymentów symulacyjnych na modelu, w celu poznania zachowania się obiektu (systemu) to można użyć pojęcia modelowanie symulacyjne. Jeżeli narzędziem ułatwiającym dokonywanie obliczeń jest komputer to taką symulację nazywamy symulacją komputerową [33].

Modelowanie symulacyjne jako metoda badawcza, może służyć do:

- odtwarzania funkcjonowania systemów istniejących w przeszłości;
- odwzorowania działania systemów aktualnie istniejących;
- przewidywania działania systemów w przyszłości.

Należy jednak podkreślić, że modelowanie symulacyjne nie jest metodą optymalizacyjną, pozwala jednak na uzyskanie rozwiązania nie optymalnego lecz zadawalającego albo wystarczającego; pozwalającego na bezpieczne działanie.

Proces budowy modelu symulacyjnego może obejmować następujące fazy:

- fazę formułowania zadania;
- fazę poszukiwania;
- fazę budowy modelu;
- fazę wyboru najlepszego rozwiązania;
- fazę weryfikacji.

W procesie budowy modelu szczególne znaczenie ma faza formułowania zadania. Ważne tu jest rozpatrzenie zadania z różnych punktów widzenia i uściślenia ograniczeń, co pozwala w późniejszych fazach określić charakter modelu oraz ustalić możliwe drogi prowadzące do rozwiązania ujawnionych problemów.

1.6. Adaptacja symulacji komputerowej do badania strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Bezpośrednie badanie zjawisk zachodzących w systemie rozpoznania radiolokacyjnego stwarza wiele trudności a często wręcz jest niemożliwe. W przypadku systemu rozpoznania WRt główne trudności to względy ekonomiczne i geopolityczne. Ograniczenia takie zmusiły autora do poszukiwania metod badawczych poza empirycznymi. Zastosowanie modelowania symulacyjnego poprzez uporządkowanie zjawisk, zastosowanie metod matematyczno - logicznych i heurystycznych pozwoliło na poznanie istoty badanych obiektów oraz na postawienie hipotezy roboczej.

Metoda ta znalazła swoje zastosowanie w proponowanych fazach:

1. Faza formułowania zadania obejmująca eksperyment myślowy oraz obserwacje w ramach ćwiczeń sztabowych i działalności szkolnego poligonu radiotechnicznego pozwoliły na wyspecyfikowaniu z bogatego zakresu wiedzy teoretycznej dotyczącej badanego systemu rozpoznania WRt tych części, które są stosowane w praktyce. Analiza literatury przedmiotu pozwoliła na poznanie stopnia abstrakcji stosowanych metodyk (rozwiązań).

Etap analizy i krytyki piśmiennictwa okazał się wielce pomocny w ocenie treści zawartych w literaturze przedmiotu. Szczególną wartość badawczą stanowiły zaobserwowane niedociągnięcia w pracy bojowej w zakresie tworzenia opracowań sztabowych w zakresie określania stref wykrywania RLS pomnżanych na wyższych szczebla dowodzenia. Nie rozwiązał do końca tych problemów zastosowany w pracy bojowej system "WIDLAK". Wykorzystana na tym etapie badawczym metoda analizy pozwoliła na odkrywanie cech charakterystycznych dla rozpoznania i sprecyzowania naukowych problemów badawczych oraz metodologii ich rozwiązywania. Modele myślowe, analiza, wnioskowanie dedukcyjne pozwoliły na określenie celu rozprawy w brzmieniu - opracowanie koncepcji zastosowania symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Analiza połączona z syntezą pozwoliły na określenie założeń i ograniczeń. Metody te znalazły zastosowanie w rozdziale 1.

2. Faza poszukiwania obejmująca zebranie niezbędnych danych do modelu drogą metody dedukcji i analizy na określenie otoczenia, które wymusza sposoby ich zaspokojenia. Wykorzystując metody matematyczno - logiczne ustalono powiązania pomiędzy elementami mającymi wpływ na działanie badanego systemu. Badania ilościowe pozwoliły na określenie parametrów i kryteriów oceny. Faza ta znalazła swoje odbicie w rozdziale 2 i 3.

3. Faza budowy modelu to przewaga metody syntezy w procesie łączenia elementów mających wpływ na funkcjonowanie badanego systemu. Eksperyment myślowy czyli eksperyment obrazami pozwolił na myślowe przesłedzenie zachowań badanego obiektu, algorytmizację procesów, budowę programów komputerowych oraz wielowariantowość rozwiązań sformułowanego wcześniej problemu naukowego. Analiza i synteza okazały się metodami wielce pomocnymi w formułowaniu wniosków. Rozdział 3 i 4.

4. Faza wyboru to określenie najlepszego rozwiązania. Metoda analizy logicznej, interpretacja logiczna oraz technika pytań i odpowiedzi [31] to metody bardzo użyteczne w zakresie modyfikacji i uzupełniania zbudowanego modelu o dane nie przyjęte do realizacji we wcześniejszych fazach

budowy modelu. Uzupełnienia i poprawki zdecydowały o wyborze ostatecznego rozwiązania i przystąpienia do weryfikacji modelu. O budowie modelu traktuje rozdział 4.

5. Faza weryfikacji modelu, eksperymenty z modelem w oparciu o znajomość matematycznych zależności celu rozwiązania zadania od parametrów opisujących system oraz analiza algorytmów przetwarzania danych pozwoliły na przyjęcie ostatecznej wersji modelu. Przyjęte modele badań i koncepcje ich zastosowań pozwoliły na ostateczną weryfikację hipotezy roboczej. Etap ten znalazł swoje odbicie w rozdziale 5.

2. Taktyczno-techniczne uwarunkowania określania strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Przewiduje się, że obecnie każda poważniejsza agresja rozpocznie się zmasowanymi uderzeniami przeciwnika z powietrza, mającymi na celu wywalczenie panowania (przewagi) w powietrzu, warunkującego rozpoczęcie działań zaczepnych na lądzie i morzu. Do odparcia takich zaskakujących uderzeń z powietrza muszą być przygotowane całe siły zbrojne, przede wszystkim Wojska Lotnicze i Obrony Powietrznej.

Głównym źródłem informacji o sytuacji powietrznej są Wojska Radiotechniczne. Od jakości i terminowości wykonania przez nie zadań, zależy efektywność zwalczania ŚNP przez pozostałe rodzaje WLOP i środki OPL. Zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych WR, LM i pododdziałów WRE polega na przekazywaniu na ich SD i PN informacji o sytuacji powietrznej niezbędnych do wskazywania celów dywizjom raketowym, samolotom przechwytyjącym i pododdziałom zakłóceń, a także do dowodzenia samolotami myśliwskimi w powietrzu.

2.1. Budowa strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt

Wojska radiotechniczne, rodzaj wojsk specjalnych, przeznaczony do prowadzenia rozpoznania radiolokacyjnego i powiadamiania o środkach napadu powietrznego oraz zabezpieczania działań bojowych wojsk raketowych, artylerii przeciwlotniczej, lotnictwa myśliwskiego, oddziałów przeciwdziałania radioelektronicznego, ...".[26].

Wojska radiotechniczne WLOP tworzą radiolokacyjny system wykrywania i śledzenia ŚNP. Charakteryzuje go, krótki czas zbierania i opracowywania informacji oraz oceny sytuacji powietrznej a także szybkie i dokładne przekazywanie tych informacji na zainteresowane SD. Wykorzystują one następujące typy wyposażenia technicznego: stacje radiolokacyjne (RLS), oraz urządzenia (obiekty) zautomatyzowanego systemu dowodzenia.

Środki radiolokacyjne, znajdujące się obecnie na wyposażeniu wojsk radiotechnicznych, zapewniają wykrycie obiektów powietrznych do 400 km na wysokości od 50 do 54000 [m].

Struktura organizacyjna i wyposażenie wojsk radiotechnicznych są dostosowane do charakteru i treści wykonywanych przez nie podstawowych zadań.

Możliwości wojsk radiotechnicznych w postaci wskaźników ilościowych i jakościowych wyrażają zdolność poszczególnych elementów, systemu radiolokacyjnego do wykonywania podstawowych zadań bojowych w danej sytuacji operacyjno - taktycznej.

Wskaźnikami możliwości wojsk radiotechnicznych w zakresie zabezpieczenia radiolokacyjnego są:

- wymiary strefy pełnej informacji pododdziału;
- wymiary pola radiolokacyjnego;
- zdolność informacyjna;
- prawdopodobieństwo zabezpieczenia radiolokacyjnego wskazywania celów; dywizjom raketowym;
- prawdopodobieństwo zabezpieczenia radiolokacyjnego naprowadzania lotnictwa myśliwskiego na cele powietrzne.[46],[47].

WYMIARY STREFY PEŁNEJ INFORMACJI

- charakteryzują możliwości sił i środków pododdziału radiotechnicznego, z określonym prawdopodobieństwem - wszystkich obiektów powietrznych znajdujących się w jej granicach. Określonych przez strefy wykrywania RLS danego pododdziału, określone na konkretnej pozycji z uwzględnieniem rzeźby terenu. Graficzny obraz stref wykrywania przedstawia się w postaci poziomych przekrojów dla różnych wysokości lotu obiektów powietrznych wszystkich odległościomierzy i wysokościomierzy.

WYMIARY POLA RADIOLOKACYJNEGO

- danego ugrupowania bojowego WRt charakteryzują jego możliwości rozpoznania radiolokacyjnego obiektów powietrznych z określonym prawdopodobieństwem ich wykrycia.

ZDOLNOŚĆ INFORMACYJNA

- jest wielkością określającą największą liczbę obiektów o których informacje poszczególne szczeble dowodzenia mogą przekazać w danej jednostce czasu. Zdolność informacyjną dla WRt zapewnia odpowiednia liczba kanałów informacji.

PRAWDOPODOBIENSTWO ZABEZPIECZENIA RADIOLOKACYJNEGO WSKAZYWANIA CELÓW DYWIZJONOM RAKIETOWYM

- jest miarą liczbową możliwości wystąpienia zdarzenia wykrycia celu powietrznego przez stacje naprowadzania raket (SNR) dywizjonu raketowego na podstawie informacji uzyskanej z wojsk radiotechnicznych.

PRAWDOPODOBIENSTWO ZABEZPIECZENIA RADIOLOKACYJNEGO NAPROWADZANIA LM NA CELE POWIETRZNE

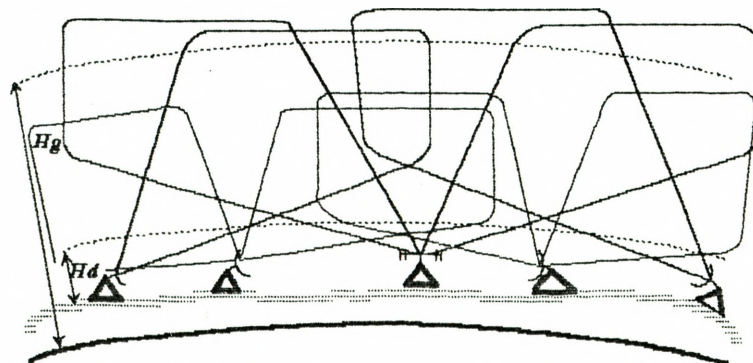
- jest miarą liczbową możliwości wystąpienia zdarzenia zapewnienia PN w całym cyklu naprowadzania, informacji radiolokacyjnej o celu i myśliwcu o takiej dokładności, która gwarantuje przechwycenie celu powietrznego. Każda RLS w czasie pracy tworzy w przestrzeni powietrznej strefę wykrywania, posterunek radiolokacyjny strefę informacji radiolokacyjnej a nadrzędne ugrupowania tworzą pola radiolokacyjne.

Podstawowymi parametrami pola radiolokacyjnego są:

- granica pola radiolokacyjnego na rozpatrywanych wysokościach;
- wysokość dolnej granicy pola radiolokacyjnego;
- wysokość górnej granicy pola radiolokacyjnego;
- współczynnik przekrycia pola radiolokacyjnego w danym punkcie.

GRANICA POLA RADIOLOKACYJNEGO NA ROZPATRYWANEJ WYSOKOŚCI

- jest obwiednią otrzymaną z przecięcia pola umowną płaszczyzną równo oddaloną od powierzchni ziemi (morza) we wszystkich punktach. Przy określaniu granicy pola radiolokacyjnego na małych wysokościach wysokość płaszczyzny przecinającej określa się w stosunku do rzeźby terenu (Rys.2.1)



Rys.2.1. Struktura pola radiolokacyjnego.

WYSOKOŚĆ DOLNEJ GRANICY POLA RADIOLOKACYJNEGO "Hd"

- jest najmniejszą wysokością mierzoną od powierzchni ziemi (rzeźby) terenu na której przynajmniej jeden pododdział danego ugrupowania może wykryć i ciągle prowadzić obiekty powietrzne (Rys.2.1)

WYSOKOŚĆ GÓRNEJ GRANICY POLA RADIOLOKACYJNEGO "Hg"

- jest największą wysokością mierzoną względem poziomu morza na której przynajmniej jeden pododdział danego ugrupowania może wykryć i ciągle prowadzić obiekty powietrzne.

Przy tworzeniu ugrupowania WRt dąży się do tego, aby wysokość danej granicy pola była mniejsza lub równa możliwej minimalnej wysokości lotu ŚNP względem rzeźby terenu w danym rejonie. Ponad wysokością :"" i poniżej "" ciągłego pola radiolokacyjnego istniejące strefy wykrywania umożliwiają wykrycie i krótkotrwale śledzenie obiektów powietrznych

Ma to istotne znaczenie z uwagi na możliwość wykrycia obiektów powietrznych przed ich wejściem w przestrzeń ciągłego pola radiolokacyjnego.

WSPÓŁCZYNNIK PRZEKRYCIA POLA RADIOLOKACYJNEGO "kp"

- w danym punkcie jest liczbą odpowiadającą liczbie pododdziałów, których strefy przekrywają się wzajemnie (na danej wysokości).

Oprócz struktury przestrzennej pole radiolokacyjne charakteryzuje również struktura częstotliwościowa. Pole może być jedno lub wiele częstotliwościowe. Praktycznie WRt tworzą trójczęstotliwościowe pola radiolokacyjne z wykorzystaniem RLS zakresu metrowego, decymetrowego, i centymetrowego zakresu fal. Istotny wpływ na strukturę pola radiolokacyjnego i wartości jego parametrów wywierają zakłócenia.

W warunkach zakłóceń radiolokacyjnych parametrami pola radiolokacyjnego są:

- granica pola namiaru na określonej wysokości
- wysokość dolnej granicy pola namiaru
- wysokość górnej granicy pola namiaru.

Znajomość uwarunkowań taktycznych narzuca (wymusza) potrzebę przeanalizowania parametrów niezbędnych do rozwiązania potrzeb narzuconych przez te uwarunkowania. Wybór jest uzależniony od możliwości obliczeniowych i stanu wiedzy w danym zagadnieniu. Realizacja

założeń taktycznych w sferze funkcjonowania WRt w zakresie zdobywania informacji radiolokacyjnej wymaga spełnienia wielu warunków, nawet przy ograniczeniu, że interesujący nas system rozpoznania utworzony jest przez środki techniczne (RLS).

Aby zdobyć informację niezbędnym jest spełnienie wymagań taktycznych. Aby spełnić wymagania taktyczne niezbędnym jest dokładna znajomość zasięgów RLS oraz sposób i warunki formowania kierunkowych charakterystyk promieniowania tych RLS.

ZASIĘG RLS - zasięg urządzeń radiolokacyjnych jest to maksymalna odległość wykrycia obiektu powietrznego przez RLS pracującą w określonych warunkach. Dla potrzeb określenia strefy wykrywania niezbędnym jest znajomość zasięgu w swobodnej przestrzeni oraz zasięgu geometrycznego (optycznego, horyzontalnego). W tym ostatnim przypadku autor ma na myśli realizację strefy wykrywania na małych wysokościach (do 1000 m).

POWIERZCHNIA SKUTECZNA ODBICIA obiektów powietrznych, parametr, który spełnia istotną rolę w możliwościach RLS w zakresie zrealizowania określonej strefy wykrywania.

ZASIĘG W WARUNKACH RZECZYWISTYCH (R_{max}) - zasięg w którym uwzględnia się wpływ czynników decydujących o pochłanianiu energii fal elektromagnetycznych w atmosferze.

ZAKŁÓCENIA organizowane - określone przez parametry sygnałów zakłócających organizowanych przez potencjalnego przeciwnika, ich znajomość a szczególnie znajomość skutków powinna poprawić możliwość prowadzenia rozpoznania na nowoczesnym - obecnym i przyszłościowym polu walki zbrojnej.

ZASIĘG GEOMETRYCZNY - zasięg bezpośredniej widoczności uwzględniany podczas prowadzenie rozpoznania na małych wysokościach jest podstawą działania systemów rozpoznania w przewidywanych działaniach bojowych. Warunki pracy RLS w tym zakresie wysokości (tworzenia strefy wykrywania) mogą być określane wyłącznie na podstawie dokładnej analizy rzeźby terenu i profilów lotów statków powietrznych nad tym terenem

Analiza treści problemu głównego rozprawy, obserwacja potrzeb niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania systemu rozpoznania radiolokacyjnego WRt, wywiad oraz

studiowanie literatury pozwoliły na dokonanie oceny i wyboru parametrów, które są niezbędne w zakresie modelowania.

Istotą systemu rozpoznania radiolokacyjnego w zakresie zdobywania informacji radiolokacyjnej jest strefa wykrywania RLS (pole radiolokacyjne), określenie parametrów w proponowanym zakresie powinno zapewnić poprawność modelu symulacyjnego.

2.2. Analiza metod określania parametrów strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Studiując literaturę poświęconą przedstawionym problemom, można spotkać się z dużą ilością pozycji dotyczących rozwiązania problemu określania modeli stref wykrywania RLS. Wymienia się metodę "oblotu" jak i sygnalizuje się istnienie metod bez wykonywania oblotu. Wymienia się metodę heterodyny, metodę aerostatu z dipolami promieniującymi, metody "sztucznego celu" oraz metodę rezonatora kontrolnego. Metody te nie znajdują jednak zastosowania może z wyjątkiem metody rezonatora kontrolnego, która jednak umożliwiała jedynie sprawdzenie stanu technicznego kanału nadawczego i odbiorczego, nie uwzględniając wpływu na pracę RLS warunków terenowych. Szukano rozwiązań określania stref wykrywania RLS bez oblotu wśród metod analityczno - wykreslnych takich jak: metoda wykreslna Goliewa, stacjonarnej fazy średnich kątów nachylenia terenu, promieniowania radiowego słońca, współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego. W wyniku dokonywanych analiz decyzji największe zastosowanie znalazła metoda oblotu oraz metoda wykorzystania współczynnika horyzontu radiowego.

2.2.1 Określanie realnych stref wykrywania RLS metodą oblotu

Oblotem radiolokacyjnym stacji nazywamy całokształt przedsięwzięć wykonywanych w celu wyznaczenia praktycznych stref wykrywania, skalowania goniometrów, sprawdzenia dokładności określania wysokości oraz sprawdzenia pracy RLS. [50]

Realizując oblot należy uwzględnić następujące wymagania:

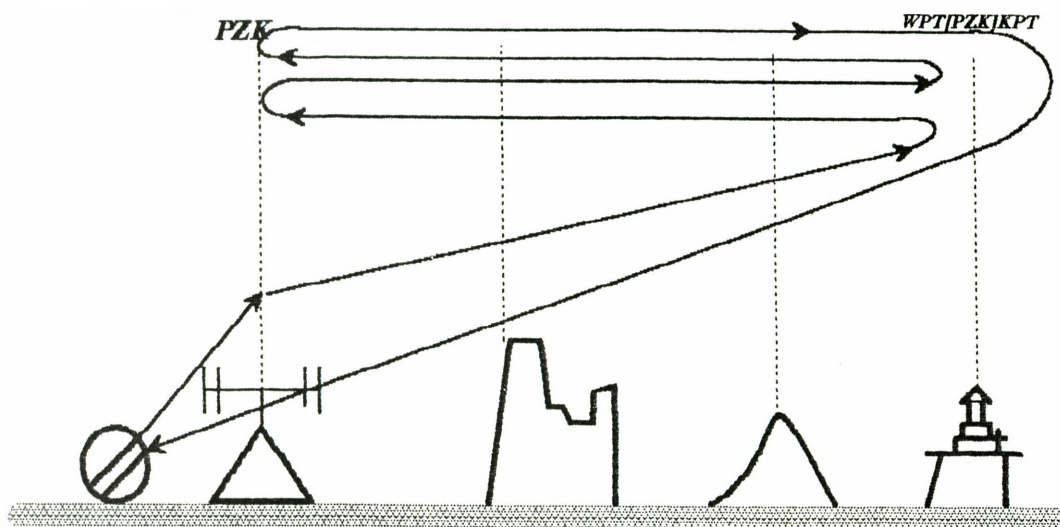
- oblot wykonuje się z uwzględnieniem zasadniczej częstotliwości pracy RLS;
- azymut oblotu RLS wybiera się w odpowiednim dla danej RLS sektorze, a jeśli jest to niemożliwe wówczas w sektorze, którego średni kąt nachylenia terenu jest równy, albo prawie równy kątowi nachylenia w odpowiedzialnym sektorze;
- na trasie lotu wybiera się co 30 - 40 km punkty orientacyjne;
- wskazane jest aby na kierunku lotu odbicia od przedmiotów terenowych były jak najmniejsze;
- profil lotu zależy jest od wzajemnego położenia RLS i lotniska;
- oblot RLS zaleca się wykonywać w czasie dnia;
- prędkość lotu samolotu powinna być w miarę możliwości jak najmniejsza;
- warunki lotu (wysokość, prędkość, trasa lotu) powinny odpowiadać wymaganiom stawianym danemu typowi RLS.

Wykonuje się dwa rodzaje oblotów:

- 1.- oblot kalibracyjny - wykonuje się w celu otrzymania danych wyjściowych do wyznaczania stref wykrywania RLS i do skalowania goniometru.
- 2.- oblot sprawdzający - wykonuje się w celu sprawdzenia stref wykrywania, dokładności określania wysokości i nastajania RLS. Oblot sprawdzający dokonuje się po zakończeniu lotu kalibracyjnego.

Oprócz wykonywania lotów specjalnych, do oblotu w celu systematycznego sprawdzania stref wykrywania, dokładności określania wysokości i jakości pracy RLS, należy w szerokim zakresie wykorzystywać szkolne i planowe loty samolotów oraz loty w czasie ćwiczeń i treningów. Wysokości lotu celów w takich wypadkach należy dokładniej określić za pomocą innych RLS i wysokościomierzy.

Przy sprawdzającym oblocie w celu oszczędności środków i czasu, sprawdzającym oblotem może być objętych równocześnie kilka stacji. Przy sprawdzającym oblocie mogą być wykorzystane samoloty różnych typów.



Rys.2.2. Profil lotu samolotu podczas oblotu RLS.

PZK - punkt zmiany kursu

WPT - wyjściowy punkt trasy

KPT - końcowy punkt trasy

Oblot RLS może dać pożądane wyniki w wypadku dokładnego i wszechstronnego jego przygotowania. Przed oblotem powinno być przeprowadzone wstępne przygotowanie, które obejmuje:

- topograficzne opracowanie pozycji
- sprawdzenie stanu technicznego RLS
- instruktaż i trening z załogami RLS
- organizacja łączności
- instruktaż z załogami uczestniczącymi w oblocie.

Metoda oblotu jest obecnie najbardziej wiarygodną w porównaniu z innymi metodami a ograniczenia a nawet zupełna rezygnacja z jej stosowania w czasach obecnych wynika między innymi, z bardzo wysokich kosztów. Niemożliwość jej stosowania stała się również za granicami kraju w wyniku powstałej sytuacji geopolitycznej, nie wspominając o ograniczeniach podczas wojny w czasie działań bojowych.

Z przeprowadzonej analizy wynika, że jest to metoda:

- bardzo pracochłonna, absorbująca liczne środki techniczne i personel techniczny
- zależy od pory dnia, warunków atmosferycznych i sytuacji bojowej

- duży wpływ na ocenę zasięgu mają błędy aparaturowe, błędy odczytów czy tendencje obsługi do zaniżania zasięgów.
- duże trudności realizacyjne napotyka ta metoda dla określania stref wykrywania na małych wysokościach gdzie oprócz trudności w propagacji fal szczególnie w zróżnicowanej rzeźbie terenu dodatkowe utrudnienia wprowadza bezpieczeństwo pilotażu nad bogatą rzeźbą (góry).

2.2.2. Analityczno graficzna metoda określania strefy wykrywania

RLS

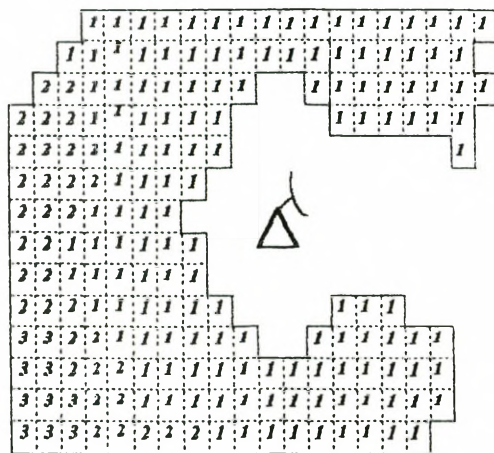
Metoda współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego umożliwia wyznaczanie strefy wykrywania SRL w płaszczyźnie poziomej. Uwzględnia ona wpływ rzeźby i przedmiotów terenu na strefę wykrywania. Określenie stref wykrywania RLS wymaga znajomości takich parametrów jak: kąt zakrycia (formy rzeźby i przedmioty terenu), odległość przewyższenia i spadki zwane wysokością (formy rzeźby i przedmioty terenu), współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego.

Modelowaną strefę wykrywania pojedynczej RLS (pojedynczego RLP) sporządza się dookreślone w stosunku do miejsca stania RLS oddzielnie dla każdej rozpatrywanej wysokości lotu obiektów powietrznych, np: 50, 100, 200, 500, itp. Wynik modelowania przedstawiany jest zazwyczaj w formie wydruku z EMC - Rys.2.3. Jako elementarne ogniwo, podczas określania strefy wykrywania przyjmuje się zazwyczaj równe co do wielkości kwadraty np : 4×4 ; 5×5 ; 10×10 lub 20×20 km.

Do określenia kątów zakrycia korzysta się z mapy o skali 1:50000, natomiast dla odległości, przewyższeń i spadków terenu z mapy o skali 1:20000.

Wielkość kwadratów wybiera się w uzależnieniu od założonej lub żądanej dokładności modelu pola radiolokacyjnego.

Analiza rzeźby terenu polega na wyszukiwaniu w analizowanym kwadracie punktu o najwyższej wysokości nad poziom morza i którego wartość liczbowa jest wysokością przypisaną dla całego kwadratu. Jeżeli w analizowanym kwadracie występuje zwarte zadrzewienie lub jakiegokolwiek zabudowania, to należy do uprzednio przyjętej liczby dodać wysokość drzew lub zabudowy. Otrzymaną liczbę wysokości wpisuje się do kwadratu. Opiszana w ten sposób siatka stanowi matrycę do realizacji dalszych czynności.



Rys.2.3. Strefa wykrywania RLS - wydruk EMC.*)

*) - cyfry w elementarnych kwadratach oznaczają możliwość wykrycia obiektów powietrznych oraz krotność przekrycia pola radiolokacyjnego.

Następnym krokiem jest określanie konkretnych bezwzględnych wysokości miejsc stania RLS oraz opisanie tych miejsc na uprzednio sporządzonej matrycy.

W wypadku kiedy matryca ma być podstawą do wypracowania programu na EMC, wszystkie punkty objęte granicami modelowania muszą być dodatkowo opisane współrzędnymi topograficznymi.

Kolejnym elementem pochłaniającym bardzo dużo czasu i wymagającym dużego nakładu pracy, jest określenie kątów zakrycia pozycji RLS (RLP) i kątów zakrycia anten RLS. Kąty zakrycia w strefach bliższych pozycji RLS (RLP) określone są zazwyczaj z pomocą przyrządów pomiarowych, natomiast w strefach dalszych obliczane z wystarczającą dokładnością ze wzoru:

$$\alpha = \frac{h_t - h_p - h_a - \frac{R_t^2}{2R_e}}{R_t} \cdot 3440 \quad (2.1)[14]$$

gdzie:

- α - kąt zakrycia pozycji
- h_p - wysokość pozycji (terenu nad poziomem morza w punkcie stania RLS)
- h_t - wysokość przeszkody terenowej
- h_n - wysokość nasypu lub innego technicznego urządzenia
- h_a - wysokość zawieszenia anteny
- R_t - odległość od anteny RLS do przeszkody
- R_e - ekwiwalentny promień ziemi (8500 km)
- 3440 - współczynnik przeliczający radiany na minuty

$$\alpha' = \frac{3440 \cdot h_{wg}}{R} \quad (2.2)$$

gdzie:

h_{wg} - wysokość względna przeszkody terenowej w stosunku do wysokości centrum elektrycznego anteny;

R - odległość do obiektu powietrznego

Scharakteryzowane czynności są czynnościami wstępnymi i stanowią podstawę wyjściową dla analizowanej metody. Dalsze czynności, polegają na analizowaniu sporządzonej matrycy, przy założeniu że moment lokacji celu lecącego na małej wysokości może mieć miejsce, kiedy:

$$H_{bo} \geq h_{bdg} \quad (2.3)$$

gdzie:

H_{bo} - wysokość bezwzględna lotu obiektu powietrznego lecącego (w stosunku do poziomu morza), która na określonej odległości R_w od RLS równa się sumie wysokości rzeczywistej celu H_o i wysokości rzeźby terenu h_t .

$$H_{bo} = H_o + h_t$$

H_o - wysokość względna lotu obiektu powietrznego nad rzeźbą terenu;

h_t - wysokość rzeźby terenu (przeszkody terenowej) w rozpatrywanym punkcie lotu obiektu powietrznego;

h_{bdg} - wysokość bezwzględna dolnej granicy strefy wykrywania RLS (wysokość bezwzględna horyzontu radiowego).

Wysokość bezwzględna horyzontu radiowego, może być określona za pomocą następującego równania:

$$h_{bdg}(\alpha) = R_o \cdot \operatorname{tg} \alpha + (h_a + h_{pn}) + \frac{R_o}{2R_e} \quad (2.4)$$

gdzie:

R_o - zasięg horyzontu radiowego na rozpatrywanym azymucie;

α - kąt zakrycia w kierunku na obiekt

h_a - wysokość elementu promieniującego względem punktu rozwinięcia RLS;

h_{pn} - wysokość pozycji z uwzględnieniem nasypu w stosunku do poziomu morza ($h_p + h_n$);

$\Delta h = \frac{R_o^2}{2R_e}$ - poprawka wysokości uwzględniająca krzywiznę ziemi.

Posługując się wyżej opisanymi zależnościami można określić odległość wykrycia celu lecącego na stałej wysokości H_o nad rzeźbą terenu:

$$R_w = K_{hr} \left[-R_e \cdot \operatorname{tg} \alpha + \sqrt{(R_e \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2 + 2R_e(H_o + h_t - h_{pn} - h_a)} \right] \quad (2.5)$$

K_{hr} - współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego dla rozpatrywanej RLS.

lub:

Po przeprowadzeniu przekształceń można uzyskać formę uproszczoną:

$$R_{w[km]} = K_{hr} \cdot \left[-2,47 + \sqrt{(-2,47\alpha)^2 + 17H'_o} \right] \quad (2.6)$$

kiedy: $H'_o = H_o - h_{ba}$

gdzie:

$h_{ba} = h_p + h_n + h_a = h_{pn} + h_a$

h_{ba} - wysokość bezwzględna anteny

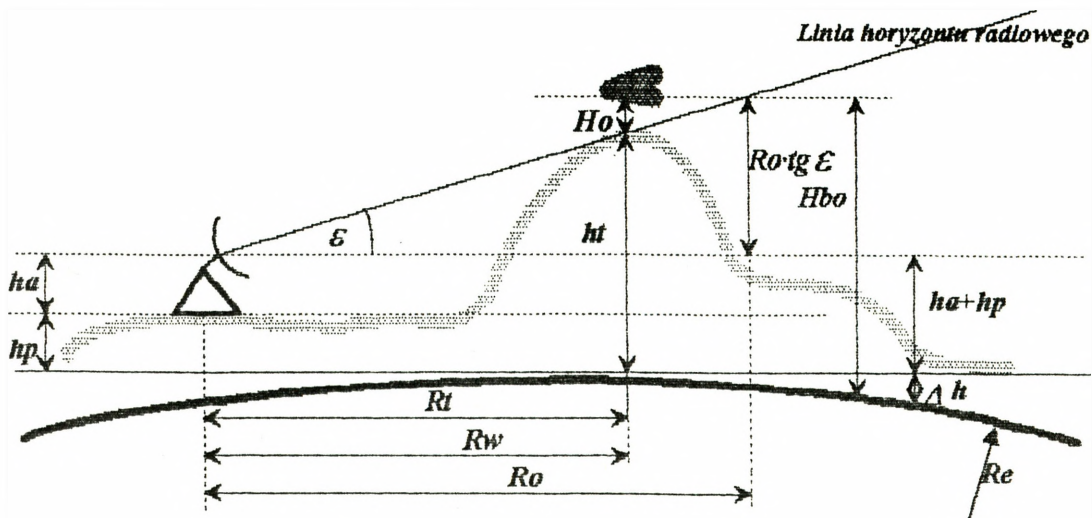
h_p - wysokość pozycji

h_n - wysokość nasypu

h_a - wysokość zawieszenia anteny

$h_{pn} = (h_p + h_n)$

kiedy: $\operatorname{tg} \alpha = \alpha$ - dla małych kątów zakrycia



Rys. 2.4. Lokacja obiektów powietrznych lecących na małych wysokościach, przy uwzględnieniu rzeźby terenu.

Zasięg wykrywania wg zależność (2.6) oblicza się na azymucie każdego badanego kwadratu lub na kierunkach sektorów równych kątów zakrycia. Otrzymany wynik porównuje się ze zmierzoną odległością "d", od punktu stania RLS do środka elementarnego kwadratu i jeśli:

$R_w \geq d$ - to obiekt powietrzny w obszarze kwadratu (na badanej wysokości i wyżej) będzie wykrywany i śledzony przez rozpatrywaną RLS.

$R_w < d$ - to obiekt powietrzny nie będzie wykryty i śledzony przez rozpatrywaną RLS.

Z przedstawionej charakterystyki metody i jej elementów wynika, że jest ona bardzo pracochłonna i wymaga pracy wielu ludzi. Z uwagi na to, że w procesie modelowania pola radiolokacyjnego na małych wysokościach występuje cały szereg wartości (wzajemnie ze sobą powiązanych) o zmiennym charakterze proces ten jest trudny do ujęcia w ramy programowe EMC.

Duża liczba danych wejściowych uzyskiwanych w sposób tradycyjny (ręczny) powoduje powstanie błędów niemożliwych do uniknięcia już na etapie wstępnym. Pomiarów kątów zakrycia - busołą z poziomu elementu promieniującego anteny SRL stwarzają duże trudności w praktyce. Również określenie kątów zakrycia z mapy (nawet 1:50 000) powoduje błędy powstałe w wyniku niedokładnego odczytu.

Wszystkie te trudności kumulują się w procesie tworzenia modelu pola radiolokacyjnego, np.: dla batalionu radiotechnicznego czy też brygady radiotechnicznej - wzrost czasu trwania oraz potrzeba zaangażowania określonej liczby ludzi.

Wymagania te pozwalają na tworzenie modelu stref wykrywania, (pola radiolokacyjnego) co najwyżej dla ugrupowania stałego i pozycji zapasowych.

Wydaje się trudnym i prawie niemożliwym prognozowanie stref wykrywania (pola radiolokacyjnego) przy tak złożonym i pracochłonnym procesie tworzenia modeli stref wykrywania w czasie działań bojowych, gdzie w wyniku powstawania określonych sytuacji taktyczno-operacyjnych potrzeba ciągle tworzyć (uzupełniać) strefy wykrywania (pole radiolokacyjne).

Stosowane metody oprócz zalet posiadają bardzo wiele wad o których była już mowa. Niemożliwość stosowania metody oblotu, bardzo pracochłonna i uciążliwa z dużymi błędami metoda pomiarów kątów zakrycia, praktycznie wskazują na potrzebę szukania nowych rozwiązań. Proponuje się nowoczesne komputery do modelowania symulacyjnego stref rozpoznania radiolokacyjnego. Zastosowanie symulacji komputerowej pozwoli na wypracowanie wielowariantowych rozwiązań oraz na skrócenie czasu (do rzeczywistego) tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego oraz określenia jej parametrów.

2.3. Rozpoznanie sytuacji powietrznej

Wojska radiotechniczne WLOP w toku codziennej i ciągłej działalności wykonują swoje podstawowe zadanie - zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych WLOP, które obejmuje:

- rozpoznanie radiolokacyjne przestrzeni powietrznej na podejściach do granic państwowych i nad obszarem kraju;
- zabezpieczenie radiolokacyjne dowodzenia wojskami OP;
- zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych wojsk raketowych, lotnictwa myśliwskiego i pododdziałów walki radioelektronicznej.

Rozpoznanie radiolokacyjne za pomocą środków radiolokacyjnych, w czasie którego wykrywa i śledzi się obiekty powietrzne oraz określa ich charakterystyki, przynależność, skład, wysokość lotu, typ i ugrupowanie bojowe oraz inne dane niezbędne do identyfikacji wykrytych środków napadu powietrznego, uzupełnia się danymi z posterunków obserwacji wzrokowej oraz informacjami uzyskanymi w ramach współdziałania z innymi rodzajami wojsk.

Elementem niezbędnym w procesie zdobywania informacji przez wojska radiotechniczne jest utworzenie odpowiedniej strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Sposoby jej określania zostały zaprezentowane w rozdziale 2.2.

Parametry strefy rozpoznania radiolokacyjnego niezbędne w procesie modelowania zostały określone w rozdziale 2.1, znajomość stref wykrywania jest czynnikiem niezbędnym w wykrywaniu i rozpoznawaniu obiektów powietrznych.

2.3.1. Wykrywanie i rozpoznawanie obiektów powietrznych

Wojska radiotechniczne prowadzą ciągłą radiolokacyjną obserwację przestrzeni powietrznej na podejściach do granic państwowych i nad obszarem kraju. Wykrywają i śledzą obiekty powietrzne o których informacje przekazywane są na SD WLOP wykonując w ten sposób swoje podstawowe zadanie - zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych WLOP. Ponadto do zadań WRt należy:

- powiadamianie SD innych rodzajów sił zbrojnych w ramach współdziałania;
- zabezpieczenie radiolokacyjne lotów lotnictwa wojskowego;
- kontrola radiolokacyjna lotów lotnictwa cywilnego;

- określanie parametrów i miejsca wybuchów jądrowych;
- rozpoznawanie naziemne (nawodne) przeciwnika, skażeń i zakażeń oraz pogody w rejonach swych pozycji.

Rozpoznanie radiolokacyjne polega na ciągłej obserwacji przestrzeni powietrznej za pomocą środków radiolokacyjnych, w czasie której wykrywa i śledzi się obiekty powietrzne oraz określa ich charakterystyki. Możliwości WRt wskazują wskaźniki wyrażające zdolność poszczególnych elementów systemu radiolokacyjnego do wykonania zadania bojowego w danej sytuacji operacyjno-taktycznej.

Wskaźnikami możliwości WRt w zakresie zabezpieczenia radiolokacyjnego są:

- wymiary strefy pełnej informacji;
- wymiary pola radiolokacyjnego;
- zdolność informacyjna;
- prawdopodobieństwo zabezpieczenia radiolokacyjnego naprowadzania LM na cele powietrzne;

Jednym z warunków skutecznej działalności wojsk radiotechnicznych w systemie OP jest dobrze zorganizowany i sprawnie działający podsystem rozpoznania radiolokacyjnego. Spełnienie tego warunku oznacza zapewnienie ciągłego prowadzenia rozpoznania radiolokacyjnego, zbierania, opracowywania, analizowania i przekazywania informacji o sytuacji powietrznej.

Zatem siły i środki systemu rozpoznania radiolokacyjnego powinny skupić główny wysiłek i sposób działania zgodny z zamiarem użycia wojsk aktywnych OP.

Efektywne kierowanie walką wszystkimi siłami i środkami w określonym sektorze jest możliwe tylko w przypadku spełnienia warunku:

$$T_{dc} \geq T_0 + T_d + T_z \quad (2.7)$$

gdzie:

- T_{dc} - czas dolotu ŚNP (od momentu wykrycia);
- T_0 - czas opóźnienia informacji;
- T_d - czas na podjęcie decyzji i przekazanie jej wykonawcom;
- T_z - czas od momentu otrzymania zadania bojowego (przez aktywne środki walki) do momentu zniszczenia ŚNP na nakazanej rubieży.

Szczególnego znaczenia w tej sytuacji nabiera problem zapewnienia rubieży informacji radiolokacyjnej zwłaszcza w przypadku stref przyfrontowych oraz stref przygranicznych.

Możliwości obecnego systemu rozpoznania radiolokacyjnego WRt w zakresie realizacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego są mocno zróżnicowane i najczęściej niewystarczające. Należy tutaj mieć na uwadze, że zasięg wykrywania nowych RLS rośnie wolniej od wzrostu możliwości taktycznych ŚNP.

Niemniej jednak podczas prowadzenia walki z przeciwnikiem osłona obiektów przed niszczącym oddziaływaniem ŚNP przeciwnika będzie możliwa, jeżeli środki walki oddziaływujące na nie wykonają zadanie przed wejściem ŚNP do rubieży wykonania ataku (zadania).

$$T_{dc} = \frac{R_w \pm d_{RLS}}{V_c} - t_{op} \quad (2.8)$$

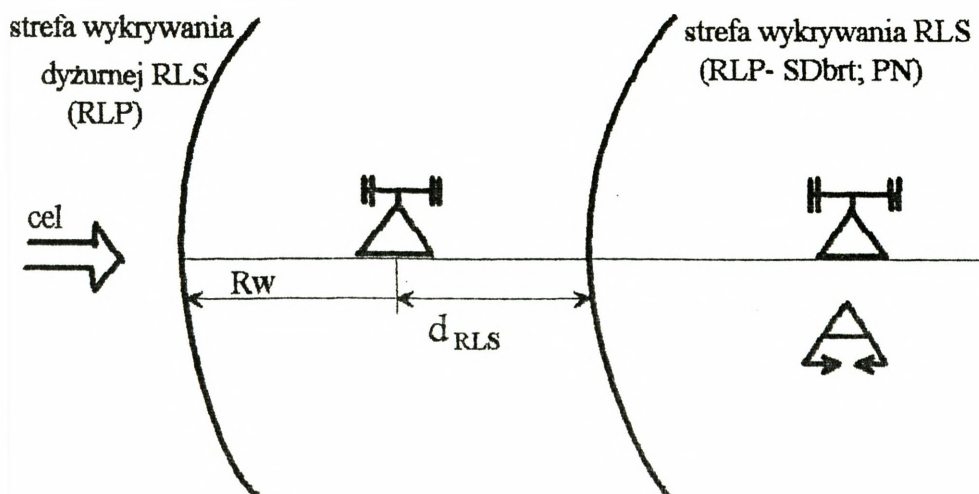
gdzie:

R_w - zasięg wykrywania celów powietrznych przez dyżurne RLS (RLP);

d_{RLS} - odległość od pozycji dyżurnego RLS (RLP) do zewnętrznej granicy strefy wykrywania RLS (RLP; SD brt; PN);

V_c - prędkość lotu celu;

t_{op} - czas opóźnienia informacji liczony od chwili wykrycia celu do przejścia informacji o nim do SD danego pododdziału (ZT).



Rys.2.5. Określenie rubieży strefy rozpoznania radiolokacyjnego niezbędnej do wykonania zadania przez środki OP.

Zakładając że środki aktywne systemu OP powinny mieć możliwość zwalczania ŚNP na maksymalnie odległych rubieżach strefy rozpoznania radiolokacyjnego powinny być jak najdalej odległe. Warunek ten pozwala też na poprawne wykonanie zadania przez WRt w zakresie zabezpieczenia radiolokacyjnego dowodzenia wojskami OP.

Terminowe zapewnienie dokładnej wiarygodnej i ciągłej informacji o przeciwniku powietrznym jest niezbędne do racjonalnego przygotowania i prowadzenia walki z współczesnymi ŚNP.

Wychodząc z tego założenia system rozpoznania radiolokacyjnego WRt w obronie powietrznej powinien:

1. Wykryć potencjalnego przeciwnika na rubieżach potrzebnych do właściwego zabezpieczenia aktywnych środków walki.
2. Ciągłe śledzić obiekty powietrzne w całym przedziale wysokości ich lotu w warunkach stosowania przez przeciwnika zakłóceń radioelektronicznych, zapewniając pełne wykorzystanie potencjalnych możliwości środków walki.
3. Udostępniać (przekazywać) pełną, jednolitą i wiarygodną informację o przeciwniku powietrznym dowódcom poszczególnych szczebli dowodzenia.

Zbiór i opracowanie informacji o sytuacji powietrznej powinien być (jest) realizowany w systemie zautomatyzowanym. Wynika stąd konieczność opracowania takiego systemu zautomatyzowanego, który umożliwiłby zbiór i opracowanie w czasie rzeczywistym informacji ze wszystkich źródeł. W naszym przypadku istotą zagadnienia pozostaje nadal strefa rozpoznania radiolokacyjnego, której źródłem pozostaje stacja radiolokacyjna nie zapominając oczywiście o parametrach jakościowych tej informacji. Należy jednak dodać, że o jakości i innych parametrach można mówić dopiero wtedy gdy będziemy mieli możliwość zdobycia informacji radiolokacyjnej i gdy ją zdobędziemy. Wymagania te obligują do konstrukcji i stosowania manewrowych systemów rozpoznania i dowodzenia.

Zastosowanie takich konstrukcji jak NUR-11 czy NUR-12 lub nawet NUR-31 z przystawką UAK-31 na wysuniętych posterunkach, a także innych organizowanych przez kompanie radiotechniczne rozwiązuje problem zbioru i opracowania informacji z dotychczas niezautomatyzowanych źródeł. Poprawia również manewrowość systemu, a po dokonaniu manewrów umożliwia dalszą pracę w systemie zautomatyzowanym.

Mając do dyspozycji takie elementy możemy dokonywać manewru rubieżą informacji radiolokacyjnej po przez manewr RLS na przewidziane pozycje. Należy znaleźć narzędzia za pomocą których będziemy mogli określić przyszłe strefy wykrywania radiolokacyjnego w szybkim czasie

(rzeczywistym) za pomocą których będziemy uzyskiwali informację radiolokacyjną niezbędną do poprawnego funkcjonowania systemu rozpoznania radiolokacyjnego WRt.

2.3.2. Kontrola ruchu lotniczego

Wojska radiotechniczne w ramach zabezpieczenia radiolokacyjnego działań mają między innymi za zadanie:

- zabezpieczać radiolokacyjnie loty lotnictwa wojskowego;
- kontrolę radiolokacyjną lotów lotnictwa cywilnego.

W zakresie odpowiedzialności za planowanie oraz ubezpieczania lotów i przelotów przestrzeń powietrzną RP dzieli się na rejony obrony korpusów WLOP. W zakresie wykorzystania przez lotnictwo cywilne dzieli się ona na:

- przestrzeń powietrzną kontrolowaną obejmującą międzynarodowe i krajowe drogi lotnicze, rejony i strefy kontrolowane lotnisk komunikacyjnych;
- przestrzeń powietrzną operacyjną obejmującą przestrzeń poza przestrzenią powietrzną kontrolowaną tj przestrzeń lotów swobodnych oraz przestrzenie lotów koordynowanych.

Zgodnie z dyrektywą operacyjną MON dowódca WLOP ponosi odpowiedzialność za obronę przestrzeni powietrznej.

W systemie kierowania ruchem lotniczym w przestrzeni powietrznej RP działają:

- wojskowe SRL (Służba Ruchu Lotniczego);
- cywilne SRL;
- cywilno-wojskowe i wojskowe OKRL (ośrodek kierowania ruchem lotniczym). [Instrukcja Ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej PRL.DWOPK W-wa 1982].

Organa wojskowej SRL ubezpieczają loty wojskowych statków powietrznych zatwierdzone na szczeblu COKRL (Centralny Ośrodek Koordynacji Ruchu Lotniczego).

Do wysokości 400 [m] obowiązuje przestrzeń lotów swobodnych. Loty rejonowe wykonywane są do wysokości 900 [m] oraz loty nadlotniskowe w promieniu 20 [km] od lotniska.

Loty międzynarodowe, międzyrejonowe i pozalotniskowe wykonywane są na wysokościach powyżej 900 [m].

Ubezpieczenie lotów naziemnych środkami UL oraz uruchamianie lotnisk zapasowych dokonywane jest na podstawie zamówień KL (kierownik lotów) lub DKL (dyżurny kierownik lotniska).

Organa SRL wojsk OP udzielające i przekazujące zezwolenie na wykonanie przelotu obowiązane są ustalić i podać do wiadomości zainteresowanym sposób utrzymywania łączności radiowej przez załogę statku powietrznego w czasie wykonywania przelotu.

Radiolokacyjną kontrolę przelotu sprawuje OKRL, a poza strefami działania ośrodków, PISD i BRt wg ustaleń starszego oficera-kierownika zmiany COKRL. Ustalenia takie powinny być przekazane zainteresowanym po udzieleniu zezwolenia na przelot, jeszcze przed startem statku powietrznego.

Wymiana informacji o wykonywanych lotach odbywa się między organami kierowania i dowodzenia lotami SRL i WRt. polega ona na przekazywaniu danych o czasie startu i lądowania, miejscu znajdowania się samolotu, wysokości oraz kierunku lotów statków powietrznych w celu zapewnienia ich bezpieczeństwa oraz ułatwienia identyfikacji obiektów powietrznych. PISD, których sektory odpowiedzialności znajdują się w strefach odpowiedzialności OKRL, prowadzą kontrolę sytuacji powietrznej w ramach dyżurnego pola radiolokacyjnego oraz naprowadzają samoloty myśliwskie na cele powietrzne podczas wykonywania lotów szkolnych, ćwiczeń i działań bojowych.

W razie zaistnienia w OKRL niesprawności środków kontroli RL (ruchu lotniczego) kontrolę taką przejmuje współpracujące PISD organizując kontrolę RL własnymi siłami i środkami.

OKRL natomiast dostarcza do PISD dane dotyczące ostatniej, a w miarę możliwości także i bieżącej sytuacji powietrznej.

Informacja radiolokacyjna, która jest podstawą radiolokacyjnego zabezpieczenia działań WRt jest również niezbędnym elementem kontroli ruchu lotniczego. Atrybutem źródła informacji pozostaje strefa rozpoznania radiolokacyjnego która w przypadku tak WRt jak i przez cywilne służby kontroli RL jest tworzona głównie przez RLS. Niezmienne pozostają także parametry wejściowe za pomocą których identyfikuje się rozpoznawaną przestrzeń powietrzną.

2.4. Wymagania lotnictwa bojowego na strefę rozpoznania radiolokacyjnego

Aby określić wymagania zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych lotnictwa celem jest dokonanie analizy wykorzystania informacji radiolokacyjnej w procesie naprowadzania, który można zdefiniować: "Naprowadzaniem nazywamy proces wyprowadzania statków powietrznych w taktycznie dogodnie położenie względem celu powietrznego, naziemnego (nawodnego) drogą przekazywania pilotom komend i informacji z punktu naprowadzania" [Regulamin służby nawigatorskiej lotnictwa wojskowego/RSN/Lot.1742/76.str.29].

Jeżeli weźmiemy pod uwagę że w skład lotnictwa wchodzi lotnictwo myśliwskie, lotnictwo uderzeniowe, lotnictwo rozpoznawcze, lotnictwo wsparcia i lotnictwo transportowe to rola informacji radiolokacyjnej nabiera szczególnego znaczenia. Z informacji radiolokacyjnej mogą korzystać wszystkie rodzaje lotnictwa pozostaje tylko określenie zakresu niezbędnych danych potrzebnych do naprowadzania lub zabezpieczania radiolokacyjnego lotów lotnictwa wojskowego. Wyznacznikiem tych potrzeb jest określona rubież strefy wykrywania.

Po przez taktycznie dogodnie położenie względem celu powietrznego należy rozumieć takie położenie samolotów myśliwskich, które pozwala pilotom (o określonym poziomie wyszkolenia) skutecznie wykryć i rozpoznać własny cel powietrzny oraz skrycie zbliżyć się do niego i skutecznie wykonać atak przy zachowaniu bezpieczeństwa.

Ostatnim naziemnym ogniwem w procesie naprowadzania, w którym następuje przetwarzanie efektów pracy pododdziałów WRt w konkretne komendy i informacje dotyczące warunków lotu na przechwycenie są punkty naprowadzania (zabezpieczenie radiolokacyjne LM stanowi treść najważniejszego z zadań bojowych WRt).

Rozpatrując naprowadzanie samolotów jako proces dynamiczny można je podzielić na następujące etapy:

- a) - naprowadzenie wstępne
- b) - naprowadzanie bezpośrednie
- c) - wyprowadzanie statku powietrznego w rejon strefy bliższej odpowiedzialności, wyznaczonego lotniska lądowania.

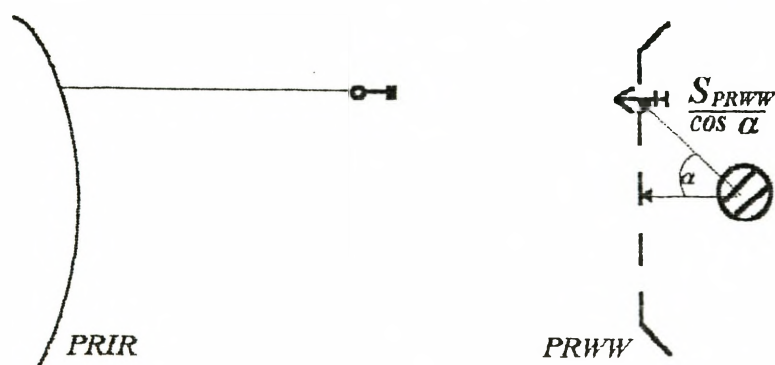
W etapie wstępnego naprowadzania zwykle wykorzystuje się wtórną informację radiolokacyjną o położeniu celu powietrznego na stole do naprowadzania, planszecie elektronicznej, wskaźniku zautomatyzowanych systemów dowodzenia (ZtSD), lub pierwotną informację radiolokacyjną zobrazowaną na wskaźniku obserwacji okrężnej RLS.

Najistotniejszym parametrem informacji w tym etapie naprowadzania są wymiary przestrzenne pola radiolokacyjnego potrzebne dla etapu wstępnego naprowadzania i poprzedzającego go procesu wypracowania decyzji i postawienia zadania bojowego starszemu nawigatorowi naprowadzania, określają położenie potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej (PRIR). Wyznacza się ją dla konkretnych warunków lotu celu powietrznego, położenia potrzebnej rubieży wprowadzenia do walki (PRWW) i ugrupowania bojowego płm i zabezpieczającego jego działania brt.

Po przez PRIR rozumiemy zbiór takich położzeń celu powietrznego, które zapewniają jego radiolokacyjne wykrycie a informacja radiolokacyjna dostarczona na punkt naprowadzania o kolejnych położeniach tego celu umożliwia jeszcze wprowadzenie samolotu myśliwskiego do walki na PRWW.

Wskaźnik ten uwzględnia czasy potrzebne na zobrazowanie i rozpoznanie wykrytego celu, opracowanie jego charakterystyk, analizę informacji radiolokacyjnej, wypracowanie decyzji co do jego zwalczania, postawienia zadania starszemu nawigatorowi, czas dysponowany na wykonanie naprowadzania, a w tym dokonanie ewentualnego startu przez wyznaczone samoloty myśliwskie, przyjęcie ugrupowania bojowego i określonych nawyków lotu na przechwycenie, wykonanie niezbędnych manewrów w celu wejścia do walki na nakazanej rubieży. Wysunięcie strefy wykrywania możliwie najdalej przed nakazane rubieże przechwycenia może stworzyć dogodne warunki prowadzenia działań bojowych.

Na Rys.2.6 przedstawiono jeden z możliwych sposobów działania LM.



Rys.2.6. Interpretacja graficzna PRIR podczas przechwytywania celów powietrznych z dyżurowania na lotnisku.

$$R_{PRIR} = (1 + n) \cdot \frac{S_{PRWW}}{\cos \alpha} \cdot V_c(t_{op} + t_{pd} + t_{got} + t_{wzn} + t_m) \pm d \quad (2.9)$$

gdzie:

R_{PRIR} - odległość potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej.

S_{PRWW} - odległość od lotniska potrzebnej /nakazanej/ rubieży wprowadzenia samolotów myśliwskich do walki [km]

n - stosunek prędkości celu do prędkości samolotu myśliwskiego;

c - prędkość celu [km/min];

t_{op} - czas opóźnienia przekazywanej informacji [min];

t_{pd} - czas potrzebny do podjęcia decyzji [min];

$t_{g\alpha}$ - czas potrzebny na start pary samolotów z określonego stopnia gotowości bojowej [min];

t_{wm} - czas potrzebny na nabór odpowiedniej wysokości przy pełnym uzbrojeniu i bez dopalania [min];

t_m - czas potrzebny na wykonanie manewru przez samoloty przechwytyjące [min];

d - odległość wyprowadzenia samolotu myśliwskiego w tylną lub przednią półsferę celu w momencie wprowadzenia go do walki [km];

znak "-" przy ataku z tylnej półsfery, "+" przy ataku z przedniej półsfery;

α - kąt zawarty między kierunkiem z lotniska do dowolnego punktu PRWW

a kierunkiem z lotniska do leżącego na prostej PRWW najbliższego punktu.

Ponieważ wyznaczanie PRIR ma charakter znużających obliczeń, celowym wydaje się wykorzystanie do nich techniki komputerowej. Otrzymana na podstawie takich obliczeń PRIR może służyć do analizy możliwości i stopnia zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych LM przy danej rubieży i założonych warunków nalotu.

Potrzeby informacyjne LM wymuszają określony sposób funkcjonowania WRt.

Określenie wskaźników możliwości WRt w zakresie zabezpieczania radiolokacyjnego działań bojowych WLOP - rozdział 2.1 w podanym zakresie, powinny spełnić oczekiwania realizacji zadań o których była mowa w rozdziale 2.3 i 2.4.

Wynika stąd potrzeba prognozowania rozmiarów strefy wykrywania RLS, strefy informacji radiolokacyjnej czy dalej pola radiolokacyjnego. Wyznaczanie w oparciu o zależność (2.9) położenia PRIR jest warunkiem niezbędnym w zakresie wymagań przestrzennych dla realizacji naprowadzania i stanowi tylko przykład.

2.5. Wymagania wojsk raketowych na strefę rozpoznania radiolokacyjnego

Informacja radiolokacyjna jest ważnym czynnikiem zapewniającym prowadzenie skutecznej walki ze środkami napadu powietrznego. Zasadniczymi wymaganiami, które powinna spełniać informacja radiolokacyjna o sytuacji powietrznej są:

- aktualność informacji
- dyskretność informacji
- dokładność informacji
- wymagana odległość wykrycia środków napadu powietrznego tj "PRIR" (potrzebna rubież informacji radiolokacyjnej)
- przydatność informacji

Z podanych cech szczególnego znaczenia nabiera PRIR, która umożliwi odpowiednio wczesne osiągnięcie gotowości bojowej przez jednostki ogniowe do prowadzenia walki ze środkami napadu powietrznego.

Wymagana odległość wykrycia środków napadu powietrznego uwarunkowana jest wieloma czynnikami, w tym również zużyciem czasu na procesy decyzyjno-ogniowe przez poszczególne szczeble dowodzenia ogniowego oraz na przygotowanie strzelania przez zestawy raketowe.

PRIR określa się na podstawie zależności (2.10).

$$R_{PRIR} = R_{dgr} + V_c \cdot t_{\Sigma} \quad (2.10)$$

$$t_{\Sigma} = t_{oi} + t_{gb} + t_{sd} + t_{st} \quad (2.10a)$$

$$R_{PRIR} = R_{dgr} + V_c(t_{oi} + t_{gb} + t_{sd} + t_{st}) \quad (2.11)$$

gdzie:

R_{PRIR} - odległość potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej

R_{agr} - odległość do dalszej granicy strefy ognia zestawu raketowego

V_c - prędkość celu

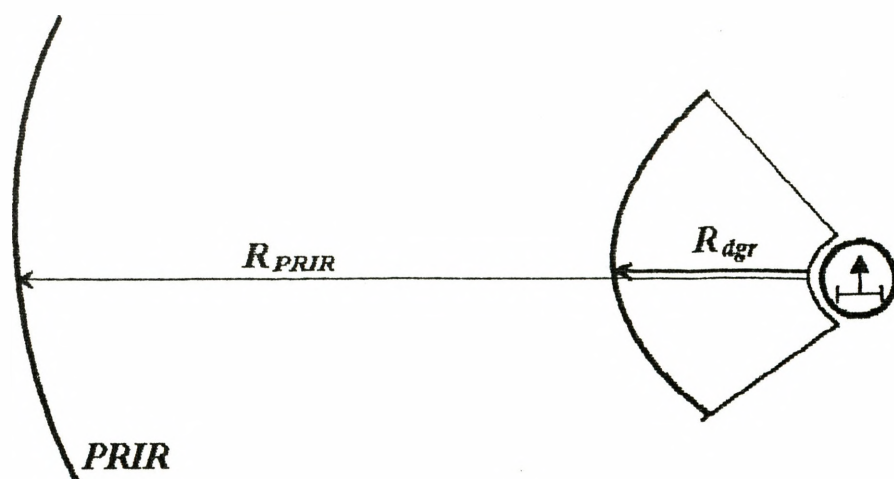
t_z - czas sumaryczny, niezbędny do przekazania informacji, doprowadzenia zestawu raketowego do gotowości bojowej, podział celów i czas strzelania.

t_{ai} - czas opóźnienia informacji radiolokacyjnej napływającej z WRt do SD BAR (par)

t_{gb} - czas niezbędny do doprowadzenia zestawu raketowego do gotowości bojowej

t_{sd} - czas zużywany na SD BAR (par) na podział celów i przekazanie wskazania celów
SNR

t_{gr} - czas odpalenia i lotu rakiet do celu



Rys.2.7. Interpretacja graficzna potrzebnej rubieży wykrycia ŚNP - (PRIR)

Złożoność i krótkotrwałość sytuacji powietrznej, dynamiczny przebieg, a także wysoka skuteczność jej prowadzenia wymagają od WRt spełniania oczekiwanych wymagań.

Realizacja potrzeb informacyjnych w zakresie PRIR pozwoli skutecznie realizować zadania WR w zakresie zwalczania ŚNP, nie należy zapominać, że z informacji dostarczanej z WRt korzystać mogą wojska OPL.

Zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych WR WLOP polega na zapewnieniu ciągłego przekazywania oraz zobrazowywania informacji radiolokacyjnej odpowiedniej jakości na planszetach i wskaźnikach (informacja radiolokacyjna powinna być przedstawiana w taki sposób,

aby umożliwiała uzyskanie niezbędnych danych do wskazywania celów i podejmowania decyzji przez dowódców WR w zakresie ich niszczenia. Istotnym z punktu widzenia WRt staje się wartość PRIR (2.11). Wpływ czynników determinujących zależność (2.11) przedstawiono w tabeli (2.1).

Tabela 2.1

Typ zestawu	Wartości parametrów: Rdgr [km]; Vc [km/min]; t [s]; t [min]										Potrzebna rubież wykrycia PRIR [km]			
	R _{dgr}	V _{c1}	V _{c2}	V _{c3}	V _{c4}	t _{ol}	t _{ob}	t _{sd}	t _{st}	t _s	1	2	3	4
S - 75 M	15	11	12	13	14	43	20	10	27	1,7	34	35	37	39
S - 125 M	8	11	12	13	14	43	25	10	27	1,7	27	28	30	32

Tabela. Wielkość potrzebnej rubieży wykrycia rakiet skrzydlatych typu CRUISE dla WR .

Źródło - tabelę i obliczenia opracowano na podstawie: [11], [19].

Dla określenia możliwości zabezpieczenia przez WRt wojsk raketowych w informacji niezbędnej do podjęcia działań można posłużyć się wskaźnikiem efektywności przestrzennej zabezpieczenia radiolokacyjnego. Wskaźnik ten można określić za pomocą wyrażenia:

$$E = \frac{R_{zi}}{R_{pi}} \quad 2.12)$$

gdzie:

R_{zi} - możliwa rubież informacji radiolokacyjnej

R_{pi} - potrzebna rubież informacji radiolokacyjnej

Otrzymane wielkości wskaźnika efektywności przestrzennej radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych WR dla poszczególnych zestawów raketowych przy nalocie ŚNP o powierzchni skutecznej odbicia $\sigma = 0,3m^2$; $\sigma = 0,1m^2$ przedstawia tabela (2.2).

Tabela 2.2

NAZWA ZESTAWU RAKIETOWEGO	Wielkość wskaźnika E dla wysokości lotu celu (m)						TYP RLS
	$\sigma=0.3m^2$			$\sigma=0.1m^2$			
	100	300	500	100	300	500	
S - 75	0,246	0,814	1,506	0,197	0,617	1,111	RT - 17
S - 125	0,317	1,047	1,936	0,253	0,793	1,428	RT - 17
S - 75	0,222	0,913	1,358	0,172	0,666	1,012	P - 35
S - 125	0,285	1,174	1,746	0,222	0,857	1,301	P - 35

Tabela. Wielkość wskaźnika efektywności przestrzennej radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych WR dla ŚNP (typu CRUISE) o $\sigma = 0,3m^2$; $\sigma = 0,1m^2$

Źródło - tabelę opracowano na podstawie wyliczeń korzystając z danych takt.tech, na podst [19], [35]

Wskaźnik E powinien być większy lub równy 1.

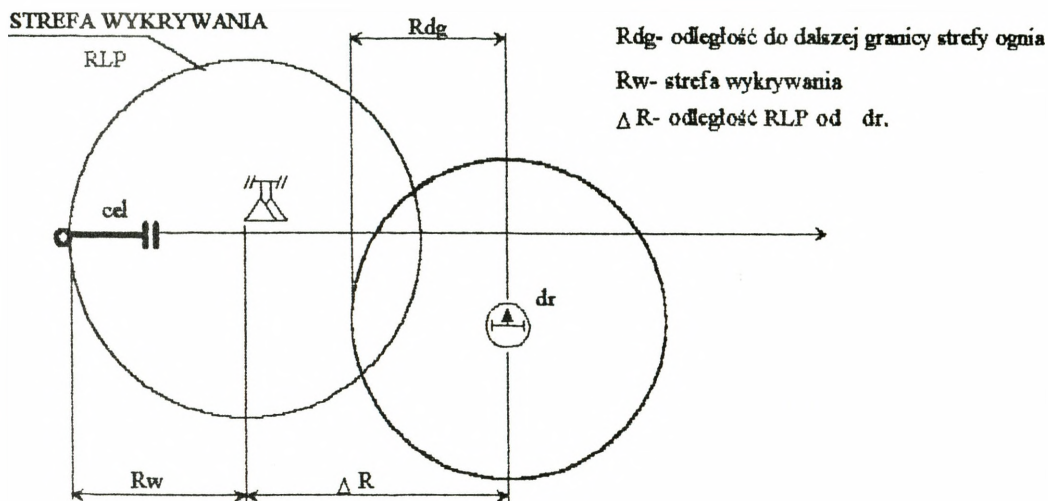
Biorąc pod uwagę wyniki zawarte w tabeli 2.2 dla obiektów o idealnej powierzchni odbicia $\sigma = 0,1m^2$ i $\sigma = 0,3m^2$. Zapewnienie potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej dla WR dla obiektów o $\sigma = 0,3m^2$ i podanych RLS jest możliwe:

- RT - 17	przy	$H = 500m$	dla zestawu S - 75M
- RT - 17	przy	$H = 300m$	dla zestawu S - 125M
- P - 37	przy	$H = 500m$	dla zestawu S - 75 ; S - 125M
- P - 37	przy	$H = 300m$	dla zestawu S - 125M.

Natomiast dla obiektów o $\delta_c = 0,1m^2$ warunek $\delta > 1$ jest spełniony dla RLS:

- P - 17	przy	$H = 500m$	dla zestawu S - 75M i S - 125M
- P - 37	przy	$H = 500m$	dla zestawu S - 75M i S - 125M

Potrzebna rubieży informacji radiolokacyjnej dla różnych zestawów raketowych podana zastała w załączniku cz.I - 10.



Rys.2.8. Przykładowe położenie pozycji bojowej RLP i dr w odniesieniu do kierunku lotu celu.

Źródło[35].

2.6. Wnioski

Zmiany sytuacji geopolitycznej zachodzące w ostatnich latach z nie obserwowanym w historii ludzkości tempem determinują konieczność doskonalenia Sił Zbrojnych, w tym głównie OP. Skuteczna obrona powietrzna jest obecnie warunkiem koniecznym do zachowania całej infrastruktury Sił Zbrojnych, a tym samym zdolności do prowadzenia działań wojennych w wymiarze zarówno lądowym jak i powietrznym.

Skuteczna realizacja zadań przez aktywne środki walki jest możliwa pod warunkiem terminowego zapewnienia im dokładnej, wiarygodnej i ciągłej informacji o przeciwniku powietrznym.

Dostarczenie informacji radiolokacyjnej przez WRt jest możliwe w przypadku utworzenia niezbędnej strefy wykrywania o parametrach określonych w rozdziale 2.1.

Sposoby określania strefy wykrywania stosowane dotychczas - rozdział 2.2.1 i 2.2.2, nie nadążają za wymaganiami i potrzebami dnia dzisiejszego.

Praca bojowa systemu rozpoznania radiolokacyjnego tradycyjnymi sposobami nie może w pełni i w całości funkcjonować w stałej gotowości bojowej. Należałoby odchodzić od organizacji posterunków radiolokacyjnych zawsze i wszędzie na bazie kompanii radiotechnicznych. Wskazana

jest organizacja posterunków radiolokacyjnych w składzie 1 ; 2 stacji radiolokacyjnych funkcjonujących jako jednostki autonomiczne np. na bazie sprzętu typu NUR-11; NUR-12 czy NUR-31 o czym była mowa w rozdziale 2.3.

Określenie potrzeb otoczenia wymusza sposób działania wojsk radiotechnicznych w celu spełnienia oczekiwań w zakresie dostarczenia niezbędnej informacji radiolokacyjnej dla poprawnego działania systemu dowodzenia oraz środków aktywnych WLOP. Możliwość prognozowania strefy rozpoznania radiolokacyjnego pozwoli na usprawnienie procesu wyznaczania niezbędnych rubieży stref wykrywania - rozdział 2.3, oraz zaspokojenia oczekiwań określonych w rozdziale 2.4 i 2.5. Proponowane rozwiązania w rozdziale 2.4 i 2.5 nie wyczerpują wszystkich sposobów działania LM i WR są tylko próbą wskazania istoty problemu, celowości zdobywania informacji radiolokacyjnej przez WRt.

Wymagania w zakresie radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych systemu OP, określone w rozdziale 2, sprowadzają się do określenia stref wykrywania zapewniających odpowiednią jakość wydawanej informacji.

W celu wyznaczenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt niezbędnym jest określenie zasadności przyjętych parametrów determinujących modelowanie strefy wykrywania RLS, które zostały zawarte w rozdziale 2.1. i których identyfikacja będzie realizowana w rozdziale 3.

3. Identyfikacja parametrów i wymagań w aspekcie modelowania symulacyjnego strefy rozpoznania radiolokacyjnego

*Strefą wykrywania*¹ stacji radiolokacyjnej nazywa się przestrzeń powietrzną, w której prawdopodobieństwo wykrywania obiektów powietrznych o określonej powierzchni odbicia jest nie mniejsze od założonego.[46] Podstawowym czynnikiem określającym wielkość strefy wykrywania stacji radiolokacyjnej jest zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnej - R_{max} (3.2).

$$R(\beta, \epsilon) = R_{max} f(\beta, \epsilon) \quad (3.1)$$

gdzie:

$R(\beta, \epsilon)$ - wielkość strefy wykrywania w płaszczyźnie poziomej " β " i w płaszczyźnie pionowej " ϵ ".

R_{max} - zasięg RLS w swobodnej przestrzeni na kierunku max. ch-ki promieniowania

$f(\beta, \epsilon)$ - pełna charakterystyka promieniowania anteny jako funkcja dwóch zmiennych w płaszczyźnie poziomej " β " i płaszczyźnie pionowej " ϵ ".

Strefa informacji. W przestrzeni wokół posterunku radiolokacyjnego (RLP) rozwiniętego na pozycji bojowej tworzy się strefę informacji radiolokacyjnej. W jej granicach zapewnia się uzyskanie informacji o obiektach powietrznych oraz ich charakterystyk [46].

Pole radiolokacyjne. Polem radiolokacyjnym nazywamy przestrzeń powietrzną, w której granicach pracujące RLS zapewniają wykrywanie, śledzenie i określanie (parametrów) charakterystyk obiektów powietrznych z prawdopodobieństwem nie mniejszym niż ustalone.

Pole radiolokacyjne batalionu radiotechnicznego (brygady radiotechnicznej) tworzy ogół stref informacji posterunków radiolokacyjnych) kompanii radiotechnicznych.[46].

¹ autor używa zamiennie - strefa rozpoznania radiolokacyjnego [patrz wstęp].

3.1. Determinanty strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Dynamiczny rozwój przemysłu komputerowego a w szczególności sprzętu mikrokomputerowego stworzył nowe możliwości pozwalające pokonać trudności w odtwarzaniu dynamiki funkcjonowania systemu wojsk radiotechnicznych. pojawiła się możliwość prognozowania przyszłych stanów badanego systemu w zależności od podejmowanych decyzji oraz warunków w jakich przebiega proces związany z funkcjonowaniem systemu.

W oparciu o analizę treści zawartych w rozdziale 1.6 i 2, dokonano obserwacji potrzeb niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania modelu symulacyjnego WRt w zakresie określania strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Określono, które potrzeby otoczenia mają istotny wpływ na proces tworzenia strefy wykrywania radiolokacyjnego - rozdział 2.2 i 2.3.

Określono jakie parametry strefy rozpoznania radiolokacyjnego należy uwzględnić w symulacji komputerowej - 2.1.

Istnieje potrzeba analizy, które parametry i w jakim zakresie należy uwzględnić w procesie modelowania symulacyjnego strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Aby modelować strefy rozpoznania radiolokacyjnego (strefy wykrywania, strefy informacji, pole radiolokacyjne) należy rozpocząć pracę od modelowania podstawowego źródła informacji radiolokacyjnej tj. od stacji radiolokacyjnej wyznaczonej do wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych.

Stacja radiolokacyjna za pomocą, której realizowany jest proces tworzenia strefy wykrywania spełnia szereg zadań pozwalających spełnić jej funkcje które przez analogię mogą być przeniesione na określone ugrupowanie WRt. Warunki pracy RLS mogą być określone wyłącznie na podstawie dokładnej analizy rzeźby rozpatrywanego terenu (warunków terenowych) i profilów lotu obiektów powietrznych nad tym terenem. do tego celu jest potrzebna dokładna znajomość zasięgów wykrywania RLS oraz sposób i warunki formowania kierunkowych charakterystyk promieniowania tych RLS.

Zasięg urządzeń radiolokacyjnych można rozpatrywać w zależności od szeregu czynników.

Przez zasięg rozumie się maksymalną odległość wykrycia obiektu przez RLS pracującą w określonych warunkach w najprostszym przypadku i zarazem najbardziej podstawowym, zasięg określamy dla warunków idealnych, to znaczy takich w których promieniowane przez RLS energie

fal elektromagnetycznych rozchodzą się w ośrodku jednorodnym nietłumiącym i pozbawionym jakichkolwiek innych celów z wyjątkiem wykrywanego obiektu powietrznego. Nazywany jest on w tym przypadku zasięgiem w swobodnej przestrzeni.

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_1 \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4\pi)^3}} \cdot \sigma = \sqrt[4]{E \cdot \sigma} \quad (3.2)$$

gdzie:

R_{\max} - maksymalna odległość wykrycia -zasięg maksymalny,

P_1 - moc nadajnika RLS,

G - zysk kierunkowy anteny,

λ - długość promieniowanej fali elektromagnetycznej,

P_{prog} - czułość odbiornika - min. moc sygnału doprowadzona do wejścia odbiornika przy której zapewniony jest odbiór i wykrycie sygnałów odbitych z założonym prawdopodobieństwem,

σ - powierzchnia skuteczna odbicia obiektu,

E - potencjał energetyczny RLS.

Jeżeli przyjmiemy, że parametry techniczne RLS określające potencjał energetyczny (E) tj. moc nadajnika, zysk kierunkowy anteny nadawczo odbiorczej, długość fali czy wreszcie czułość odbiornika posiadają wartość stałą i możemy na nie oddziaływać to istotny wpływ na strefę wykrywania radiolokacyjnego ma skuteczna powierzchnia odbicia obiektu.

jeżeli:

$$A = \sqrt[4]{E} = \sqrt[4]{\frac{P_1 \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4\pi)^3}} \quad (3.3)$$

to:

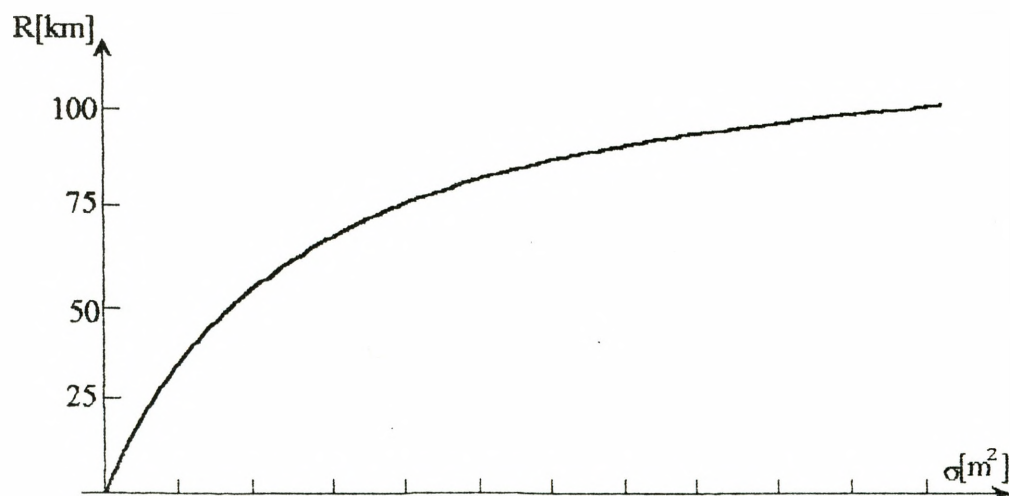
$$R_{\max} = A \cdot \sqrt[4]{\sigma} \quad (3.4)$$

Przedstawione zależności określają zasięg w swobodnej przestrzeni a wyrażenie (3.3) pozwala wyznaczyć potencjał energetyczny RLS. Biorąc pod uwagę statystyczny charakter powierzchni skutecznej odbicia obiektu, zasięg obliczony z tych wzorów również ma charakter

statystyczny i należy traktować go, jako odległość wykrycia obiektu o powierzchni skutecznej odbicia " σ " przez RLS o podanych parametrach z określonym prawdopodobieństwem.

3.2. Wymiary strefy wykrywania RLS w funkcji powierzchni skutecznej odbicia obiektu

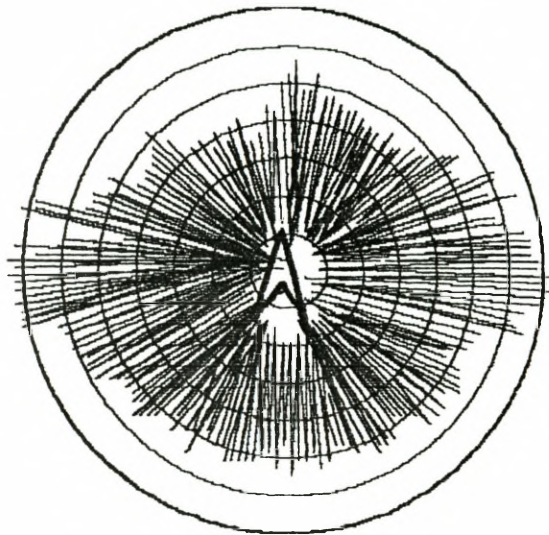
Pod pojęciem powierzchni skutecznej odbicia obiektu będziemy rozumieli taką ekwiwalentną powierzchnię " σ " zorientowaną normalnie do kierunku padania fali, która promieniując równomiernie we wszystkich kierunkach, całkowitą padającą na nią moc pola pierwotnego, wywołuje w punkcie odbioru (położenia RLS) taką samą gęstość strumienia mocy jak rzeczywisty cel. [20]. Ze względu na bardzo skomplikowaną strukturę geometryczną obiektów realnych, obliczenia ich powierzchni skutecznej w sposób analityczny nie prowadzą w praktyce do poprawnych wyników. Dlatego też powierzchnie skuteczne takich obiektów jak samoloty lub okręty określa się na drodze eksperymentalnej.



Rys.3.1. Orientacyjna zależność zasięgu typowej RLS od " σ " bez zakłóceń.

wg: Przegląd WLOP nr. 10/1992 str.27

Dla zilustrowania jak zmienia się powierzchnia skuteczna samolotu w funkcji azymutu na rys. 3.2. podano eksperymentalny wykres powierzchni skutecznej odbicia od samolotu, uzyskany przy pracy na fali o długości $\lambda = 10$ cm.



Rys.3.2. Zmiana powierzchni skutecznej samolotu w funkcji azymutu.

Źródło [20] str.29.

Z wykresu tego wynika, że nawet nieznaczne odchylenie kierunku opromieniowania samolotu pociągają za sobą gwałtowne zmiany powierzchni skutecznej odbicia. Można powiedzieć, że charakter fluktuacji powierzchni skutecznej zależy od kształtu i wymiarów samolotu, jego właściwości aerodynamicznych, szybkości lotu, stanu atmosfery, właściwości jego napędu i sterowania, częstotliwości nośnej RLS itd.

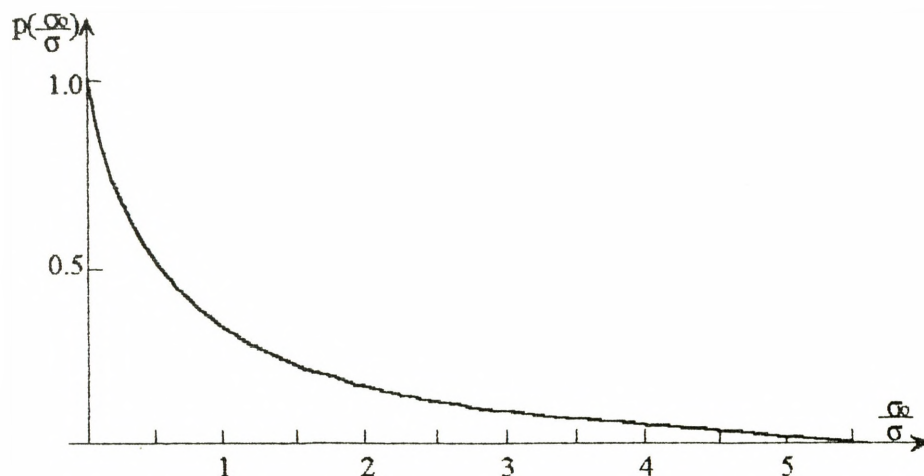
Statystyczne właściwości powierzchni skutecznej odbicia obiektu ruchomego są rozkładem gęstości prawdopodobieństwa i funkcją korelacji określającą szybkość zmian jej wartości w czasie.[20]. W celu określenia charakteru zmian dokonuje się zapisu mocy sygnału odbitego w funkcji czasu przy spełnieniu odpowiednich warunków, tzn. przy zachowaniu takiej odległości od RLS, przy której moc sygnału odbitego jest znacznie większa od mocy szumów własnych odbiornika i średnia moc sygnału odbitego nie zmienia się w czasie uśrednienia pod wpływem zmian odległości. Dysponując zatem mocą sygnału odbitego w funkcji czasu możemy określić średnią wartość tej mocy, a na jej podstawie średnią wartość powierzchni skutecznej odbicia obiektu. Jak wynika z przeprowadzonych badań, rozkład gęstości prawdopodobieństwa powierzchni skutecznej odbicia obiektu jest bardzo zbliżony do funkcji wykładniczej.

$$p(\sigma) = \frac{1}{\sigma_0} \cdot e^{-\frac{\sigma}{\sigma_0}} \quad (3.5)$$

gdzie:

p - prawdopodobieństwo

σ_0 - wartość średnia powierzchni skutecznej odbicia obiektu



Rys.3.4. Wykaz rozkładu gęstości prawdopodobieństwa powierzchni skutecznej odbicia obiektu (obektu grupowego).

Źródło: [20].

Znajomość rozkładu gęstości prawdopodobieństwa powierzchni skutecznej odbicia obiektu jest niezbędna do właściwej oceny zasięgu RLS.

Inną przeszkodą do pokonania, dla systemów radiolokacyjnych obrony powietrznej związaną z powierzchnią skuteczną odbicia obiektu, są samoloty typu "Stealth".

Przykładem jest myśliwiec F-117A, ($\sigma = 0,025 \text{ m}^2$), z powodzeniem użyty w Zatoce Perskiej a także bombowiec Northrop B-2. Do konstrukcji tych samolotów używany jest między innymi materiał absorbujący fale elektromagnetyczne, w ten sposób efektywnie maskuje się te części samolotu, które głównie decydują o powierzchni skutecznej odbicia obiektu a tym samym o wielkości sygnału echa.

TABELA 3.1

TYP SAMOLOTU zakres RLS - $f_c=300$ [MHz]	σ [m ²]
B-52	100
TU-160,Black Jack	15
B-1A	10
FB-111	7
F-4	6
MIG-21	4
F-15C	3
MIG-29	3
RAFALE	2
F-16	1.7
B-1B	0.75
F-22	0.1
B-2	0.1
F-117A	0.025
Pociski kierowane powietrze - ziemia zakres RLS - [dm]	
BLUE STEEL	1.5
SRAM	1.4
CRUISSE	0.3

Tabela. Przybliżone wartości powierzchni skutecznej odbicia obiektu.

Źródło: Przegląd WLOP nr.10/1992 str.27 i materiały własne.

Dokonując podsumowania treści zawartych w tym rozdziale nasuwają się następujące wnioski:

- powierzchnia skuteczna odbicia obiektu jest zasadniczym parametrem decydującym o zasięgu RLS a tym samym o wymiarach stref rozpoznania;
- niezbędnym jest uwzględnianie w procesie tworzenia modelu strefy rozpoznania zmian powierzchni skutecznej odbicia obiektu w zależności od rodzaju ŚNP;
- modelując strefę rozpoznania radiolokacyjnego WRt należy uwzględnić statystyczny charakter fluktuacji powierzchni skutecznej odbicia obiektu oraz jej wpływ na wielkość strefy wykrywania

3.3. Strefa wykrywania RLS w warunkach rzeczywistych

Prowadzone do tej pory rozważania dotyczyły ośrodka propagacji fal elektromagnetycznych, który nie powodował ich tłumienia. Na podstawie szeregu badań stwierdzono, że atmosfera charakteryzuje się znacznym tłumieniem zwłaszcza fal bardzo krótkich, co powoduje zmniejszenie zasięgu. Istnieją dwie podstawowe przyczyny tłumienia fal elektromagnetycznych w atmosferze:

1. Pochłanianie energii fal przez gazy zawarte w atmosferze, hydrometeory (opady atmosferyczne, mgły, zamiecie śnieżne, pył wodny itp.) oraz cząstki pyłu, dymu itd;
2. Rozpraszanie fal elektromagnetycznych przez ciekłe i stałe cząstki zawarte w atmosferze, które prowadzi do zmniejszenia gęstości strumienia mocy sygnału odbitego.

Wielkość tłumienia fal w atmosferze może być określana przy pomocy współczynnika " δ " wyrażonego w decybelach na kilometr (δ - [dB/km]). Wartość tego współczynnika zależy od długości fali, ciśnienia atmosferycznego, wilgotności, temperatury, a także parametrów cząstek powodujących pochłanianie i rozpraszanie energii fal elektromagnetycznych. W ogólnym przypadku współczynnik ten stanowi sumę współczynników charakteryzujących tłumienie fal przez cząsteczki tlenu - δ_1 , pary wodnej - δ_2 , hydrometeory - δ_3 , i inne cząstki - δ_4 , tzn.

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4$$

W literaturze dostępnej brak jest danych umożliwiających dokładne uwzględnienie zjawisk występujących w atmosferze i ich wpływu na strefę wykrywania. Nowe środki techniczne oraz intensywny rozwój cyfrowych metod pomiarowych powinny wzbogacić informacje o stanie procesów w fizycznych oraz ich dynamice zmian.

Jednym z istotnych współczesnych źródeł informacji, w postaci cyfrowych obrazów, o niektórych stanach atmosfery są radiolokatory meteorologiczne stosowane coraz powszechniej w świecie jako elementy zautomatyzowanych systemów przetwarzania informacji meteorologicznej. W Polsce na początku lat osiemdziesiątych został wdrożony do operacyjnego działania zautomatyzowany system przetwarzania informacji z radiolokacyjnej stacji meteorologicznej MRŁ-1, MRŁ-2 lub MRŁ-5.[6]. System ten opracowano korzystając z możliwości technicznych i istniejących w końcu lat siedemdziesiątych. Autor nie analizował szczegółowo problem zdobywania informacji o stanach atmosfery, rozważania dotyczące wpływu tłumienia fal w atmosferze oparto na ogólnodostępnej literaturze zawierającej poruszaną problematykę korzystając z zawartych w niej założeń matematycznych. [4], [5], [20], [44], [48].

Gęstość strumienia mocy sygnału odbitego dla swobodnej przestrzeni w miejscu położenia RLS wynosi:

$$S_2 = \frac{P \cdot G \cdot \sigma}{(4\pi)^2 \cdot R^4} \quad (3.6)[20]$$

to gęstość strumienia mocy sygnału z tłumieniem w atmosferze:

$$S_2' = S_2 \cdot e^{-0.46 \cdot \delta \cdot R} \quad (3.7)$$

S_2 - gęstość strumienia mocy sygnału z tłumieniem w atmosferze
stąd :

$$P_{prog} = \frac{P \cdot G \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \cdot e^{-0.46 \cdot \delta \cdot R} \quad (3.8)$$

podstawiając do wzoru (3.2) na zasięg w swobodnej przestrzeni, wyrażenie (3.8), otrzymamy:

$$R_{\max \delta} = \sqrt[4]{\frac{P \cdot G^2 \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{P_{prog} \cdot (4\pi)^3}} \cdot e^{-0.115 \cdot \delta \cdot R_{\max \delta}} \quad (3.9)$$

gdzie:

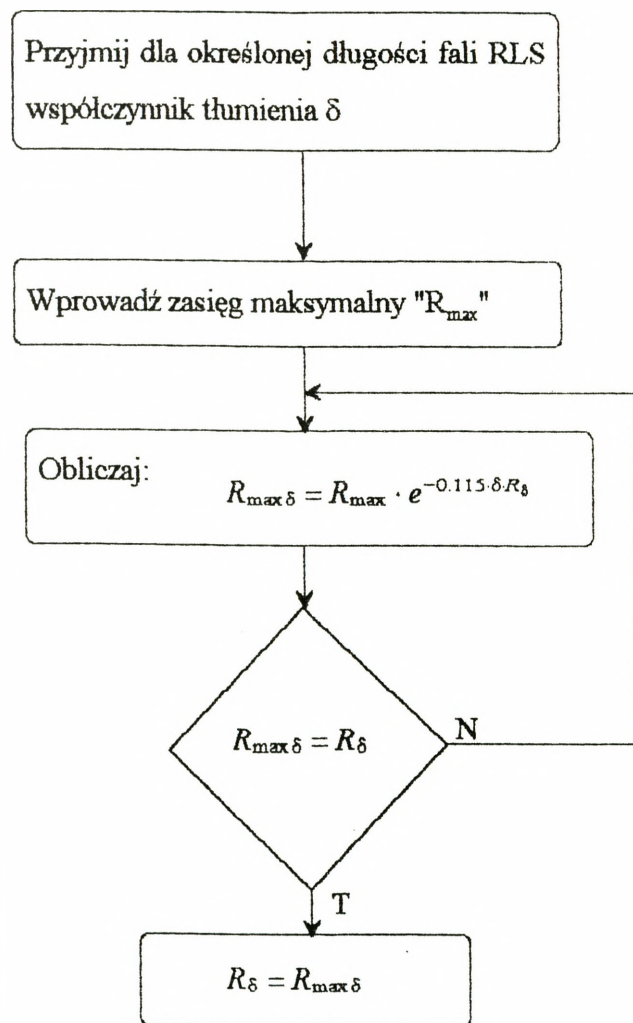
$R_{\max \delta}$ - zasięg RLS z uwzględnieniem tłumienia fal.

lub
$$R_{\max \delta} = R_{\max} \cdot e^{-0.115 \cdot \delta \cdot R_{\max \delta}} \quad (3.10)$$

gdzie:

R_{\max} - zasięg w swobodnej przestrzeni (3.2).

Chociaż równanie to jest stosunkowo proste, to jednak otrzymanie na jego podstawie wyrażenia na $R_{\max\delta}$ w ogólnej postaci jest niemożliwe. Proponuje się rozwiązanie metodą kolejnych przybliżeń wg opracowanego algorytmu. Rys. 3.4.



Rys. 3.4. Uproszczony algorytm obliczania zasięgu z uwzględnieniem tłumienia

Przykładowe obliczenia:

$\lambda = 1\text{cm}$	$\delta = 0,1$	$R_{\text{max}} = 100\text{ km}$	$R_{\text{max}\delta} = 53,895\text{ km}$
$\lambda = 21\text{cm}$	$\delta = 0,007$	$R_{\text{max}} = 100\text{ km}$	$R_{\text{max}\delta} = 92,806\text{ km}$
$\lambda = 23\text{cm}$	$\delta = 0,004$	$R_{\text{max}} = 100\text{ km}$	$R_{\text{max}\delta} = 95,691\text{ km}$
$\lambda = 25\text{cm}$	$\delta = 0,0035$	$R_{\text{max}} = 100\text{ km}$	$R_{\text{max}\delta} = 96,200\text{ km}$
$\lambda = 30\text{cm}$	$\delta = 0,0030$	$R_{\text{max}} = 100\text{ km}$	$R_{\text{max}\delta} = 96,717\text{ km}$
$\lambda = 60\text{cm}$	$\delta = 0,0020$	$R_{\text{max}} = 100\text{ km}$	$R_{\text{max}\delta} = 97,777\text{ km}$

Wykonane obliczenia wskazują że ¹:

- dla fal zakresu [cm] tłumienie jest bardzo duże i strata zasięgu sięga 50%;
- dla zakresu fal w paśmie "L" dla określonych warunków tłumienie jest niewielkie - może spowodować zmniejszenie zasięgu do 10%;
- w miarę wzrostu długości fal, wpływ tłumienia maleje;
- w kontekście skutków powodowanych wpływem tłumienia powinno się je uwzględnić poprzez opracowanie oprogramowania umożliwiającego ich szacowanie.

3.4. Strefa wykrywania RLS w warunkach zakłóceń radioelektronicznych.

Sygnałami zakłócającymi dla środków radioelektronicznych mogą być sygnały pojawiające się na wejściu urządzenia odbiorczego utrudniające wydzielenie sygnałów użytecznych.

Zasadnicze zakłócenia dzieli się na :

- zakłócenia organizowane ;
- zakłócenia przypadkowe.

¹ - obliczenia wykonano na podstawie danych uzyskanych z wykresu. [44].

Do zakłóceń przypadkowych zalicza się wzajemne zakłócanie się aparatury radioelektronicznej, zakłócenia atmosferyczne i przemysłowe, odbicia od przedmiotów terenowych i chmur, zakłócenia pochodzenia kosmicznego, wewnętrzne szумы odbiorników oraz zakłócenia pochodzące od listków bocznych anteny. Zakłócenia organizowane wytwarza się celowo, dla obniżenia efektywności pracy urządzeń radioelektronicznych i dzieli się je na zakłócenia :

- bierno (pasywne);
- czynne.

Pod pojęciem zakłócenia bierno rozumie się sygnały pojawiające się na wejściu zakłócanych urządzeń radiolokacyjnych w wyniku odbijania fal elektromagnetycznych przez specjalne elementy stosowane w bardzo dużych ilościach.[51]. Przy stosowaniu przez przeciwnika zakłóceń pasywnych, zasięg RLS zmniejsza się w porównaniu do zasięgu przy braku zakłóceń o około 20%. [49]. Spowodowane jest to potrzebą stosowania układów eliminujących wpływ wymienionych niedogodnień (układy TES).

Można zatem przyjąć, że:

$$R_{\max(z,p)} = 0.8 \cdot R_{\max} \quad (3.11)$$

gdzie:

$R_{\max(z,p)}$ - zasięg RLS w warunkach zakłóceń pasywnych

R_{\max} - zasięg w swobodnej przestrzeni (3.2)

Organizowane czynne zakłócenia radioelektroniczne mogą mieć charakter zakłóceń nieodzewowych i odzewowych, ciągłych, impulsowych i bramkowanych.[49] Obecnie najbardziej rozpowszechnionym rodzajem zakłóceń są zakłócenia szumowe. Zakłócenia te ze względu na swoją szerokopasmowość uważane są za najbardziej skuteczne.

Umożliwiają one maskowanie sygnałów o dowolnej postaci. Zastosowanie zakłóceń szumowych powoduje pogorszenie się warunków obserwacji zarówno źródła zakłóceń jak też osłanianych przez to źródło obiektów. Na ekranie wskaźnika obserwacji określonej zakłócanej RLS oprócz tła rozjaśnianego własnymi szumami odbiornika pojawiają się sektory dodatkowych rozjaśnień od zakłóceń. Intensywność tych rozjaśnień zależy od mocy sygnału zakłócającego na wejściu odbiornika i zmienia swoje położenie wraz ze zmianą położenia anteny w azymucie. Pogarsza to możliwość właściwej pracy operatora.

Skuteczność oddziaływania zakłóceń czynnych na RLS charakteryzuje się prawdopodobieństwem wykrycia " P_{PW} " oraz prawdopodobieństwem fałszywego alarmu " P_{FA} " przy każdym obrocie anteny.

Oddziaływanie zakłóceń radioelektronicznych na RLS charakteryzują następujące wskaźniki:

- zasięg skutecznego zakłócenia - $R_{zmax(Ds,z)}$;
- zależność prawdopodobieństwa wykrycia obiektu powietrznego od odległości do RLS;
- wielkość sektora skutecznego zakłócenia RLS ($\Theta_{s,z}$)
- wielkość obszaru skutecznego zakłócenia ($D_{s,z}, \Theta_{s,z}$)

Efektywność oddziaływania zakłóceń zależy od stosunku mocy zakłócenia P_z do mocy sygnału P_s na wejściu odbiornika radiolokatora (K).

$$K = \left(\frac{P_z}{P_s} \right)_{we} \geq K_d \quad (3.12)$$

gdzie:

K_d - współczynnik degradacji danego radiolokatora przez dany typ zakłóceń.

Współczynnik "K" wiąże parametry nadajnika zakłóceń i zakłócającej stacji radiolokacyjnej uwzględniając ich wzajemne położenie.

Dla oceny skuteczności zakłóceń oraz określenia charakterystyki wykrywania w zakłóceniach należy określić zależność stosunku mocy zakłócenia do mocy sygnału (K) od parametrów nadajnika zakłócającego i stacji zakłócającej. W celu określenia charakterystyk zasięgowych RLS w czasie stosowania zakłóceń należy przeprowadzić obliczenia numeryczne.

Załóżmy, że samolot zakłócający i samolot maskowany mają różne położenie i są wykrywane przez RLS.

Przyjmując parametry poszczególnych typów odległościomierzy należy obliczyć moc zakłóceń na wejściu odbiornika. Wprowadzono odpowiednie oznaczenia parametrów charakteryzujących nadajnik zakłóceń i zakłócaną RLS.

Nadajnik zakłóceń:

- P_z - moc promieniowana przez nadajnik zakłóceń;
- G_z - zysk energetyczny anteny nadajnika zakłóceń;
- Δf_z - efektywna szerokość widma sygnału zakłócającego;

γ_z - współczynnik uwzględniający różnicę polaryzacji anten nadajnika zakłóceń i zakłócanej RLS;

σ - powierzchnia skuteczna maskowanego samolotu;

R_z, ϵ_z, Φ_z - współrzędne biegunowe samolotu zakłócającego (kąty są określane w odniesieniu do maksimum charakterystyki kierunkowej anteny zakłócanej RLS);

R_s - odległość do maskowanego samolotu.

Zakłócana RLS:

P_s - moc promieniowana przez nadajnik RLS;

G_s - zysk energetyczny anteny RLS;

Δf_0 - szerokość pasma przepuszczenia liniowej części odbiornika RLS;

$F(\epsilon, \beta)$ - unormowana kierunkowa charakterystyka zakłócanej RLS;

K_d - współczynnik degradacji;

δ - współczynnik uwzględniający osłabienie sygnału w atmosferze [dB/km], przy jego rozchodzeniu się tylko w jedną stronę,

k - stała Boltzmanna;

T - temperatura w skali bezwzględnej;

F_{sz} - współczynnik szumów odbiornika;

P_{sz} - moc szumów ($P_{sz} = kT \Delta f_0 F_{sz}$)

Moc zakłóceń na wejściu odbiornika można wyznaczyć z następującej zależności :

$$P_{zwe} = \frac{N_z \cdot G_s \cdot \lambda^2 \cdot \gamma_z \cdot \Delta f_0 \cdot F^2(\epsilon_z) \cdot F^2(\beta_z)}{(4\pi)^2 \cdot R_z^2} \cdot 10^{-0.1 \cdot \delta \cdot R_z + k \cdot T \cdot \Delta f_0 \cdot F_{sz}} \quad (3.13)$$

gdzie:

$F(\epsilon_z)$ - wartość unormowanej ch-ki kierunkowej anteny RLS w zależności od położenia źródła zakłócenia w płaszczyźnie " ϵ ".

$F(\beta_z)$ - wartość unormowanej ch-ki kierunkowej anteny RLS w zależności od położenia źródła zakłócenia w płaszczyźnie " β ".

Moc sygnału użytecznego na wejściu odbiornika stacji radiolokacyjnej można określić z zależności (3.14).

$$P_{swa} = \frac{P_s \cdot G_s^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot F^4(\epsilon)}{(4\pi)^3 \cdot R_s^4} \cdot 10^{-0.2 \cdot \delta \cdot R_s} \quad (3.14)$$

Jako parametry zmienne z określonym skokiem należy przyjąć:

- współrzędne samolotu maskowanego, odległość R_x i wysokość H_x ;
- współrzędne samolotu zakłócającego, odległość R_z i wysokość H_z ;
- kąt rozbieżności w azymucie β_z między samolotem maskowanym a zakłócającym.

Dla założonych wielkości gęstości mocy widmowej zakłóceń N_z (3.19), można obliczyć "K", która to zależność przedstawia równanie przeciwdziałania radioelektronicznego z uwzględnieniem wykresu pokrycia RLS.

$$K = \frac{\frac{N_z \cdot G_z^2 \cdot \lambda^2 \cdot \gamma_z \cdot \Delta f_0 \cdot F^2(\epsilon) \cdot F^2(\beta_z)}{(4\pi)^2 \cdot R_z^2} \cdot 10^{-0.1 \cdot \delta \cdot R_z + k \cdot T \cdot \Delta f_0 \cdot F_{sz}}}{\frac{P_s \cdot G_s^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma \cdot F^4(\epsilon)}{(4\pi)^3 \cdot R_s^4} \cdot 10^{-0.2 \cdot \delta \cdot R_s}} \quad (3.15)$$

Aby stwierdzić czy RLS nie traci możliwości wykrycia obiektów obliczono K_d (wsp. degradacji) na podstawie [23] str.90.

$$P_{pw} = 0.5 \quad K_d = \frac{0.7 \cdot f_p \cdot \Theta_{0.5}}{36 \cdot N_A} \quad (3.16)$$

$$P_{pw} = 0.9 \quad K_d = \frac{0.7 \cdot f_p \cdot \Theta_{0.5}}{78 \cdot N_A} \quad (3.17)$$

Jeżeli K jest większe od K_d (Załącznik cz.I - 2) należy przyjąć że stacja radiolokacyjna traci możliwość wykrywania.

Podstawowym czynnikiem charakteryzującym odporność RLS na zakłócenia jest wielkość zasięgu skutecznego zakłócenia RLS przez urządzenia wytwarzające sygnały zakłóceń szumowych. Znajomość tego wskaźnika pozwoli obsłudze RLS na efektywne wykorzystanie sprzętu podczas stosowania zakłóceń. Wartość zasięgu skutecznego zakłócenia stacji radiolokacyjnej określa się

minimalną odległością od RLS, przy której prawdopodobieństwo wykrycia obiektu $P_{pw} = 0,5$, przy założonym prawdopodobieństwie wystąpienia fałszywego alarmu $-P_{FA}$.

Jak wynika z metodyki do obliczeń niezbędne są:

- parametry techniczne RLS zakłócanych;
- parametry techniczne urządzeń zakłócających.

Podstawowe parametry techniczne RLS będących na uzbrojeniu WRt są dostępne [Załącznik cz. II -1] i pozwala to na wykonanie odpowiednich obliczeń. Podstawową trudność stanowi znajomość wymaganych do obliczeń parametrów technicznych urządzeń zakłócających. Niezbędna jest znajomość wartości gęstości mocy widmowej zakłócenia do określenia zasięgu wykrywania w warunkach zakłóceń. Niezbędnym staje się również uzyskanie informacji o spodziewanych (stosowanych) zakłóceniach i ich gęstości mocy widmowej, z pododdziałów przeciwdziałania radioelektronicznego lub też ich określenie na podstawie pomiarów wielkości zakłóceń w kanale logarytmicznym RLS posiadającej odbiornik z układem AC BOS.

$$R_{z \max(D_{z,z})} = \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma \cdot \Delta f_{wz}}{4\pi \cdot K_z \cdot q_0^2 \cdot P_{z1} \cdot G_z \cdot M_{nz}}} \quad (3.18)$$

gdzie:

P_i - moc w impulsie

t_i - czas trwania impulsu

G - zysk kierunkowy anteny RLS

σ - powierzchnia skuteczna obiektu

P_{z1} - moc jednego nadajnika zakłóceń

M_{nz} - liczba nadajników w urządzeniu zakłócającym

Δf_{wz} - szerokość widma zakłóceń

K_z - współczynnik jakości zakłóceń; dla $K_z = (P_z / P_s)_{WE}^1$

q_0^2 - progowy stosunek sygnał /zakłócenie; przy $[P_{pw}=0,5; P_{FA}=10^{-3}]$

¹ K_z - współczynnik dla zakłóceń szumowych, niezbędny stosunek energii sygnału zakłócającego do energii sygnału użytecznego na wejściu odb. zakłócanego urządzenia radioelektronicznego odniesiony do pasma przepuszczania jego liniowej części. [51] str 27.

Gęstość mocy widmowej urządzenia zakłócającego wyrażona jest zależnością :

$$N_z = \frac{P_{z1} \cdot G_z}{\Delta f_{wz1}} \quad (3.19)$$

Δf_{wz1} - szerokość widma zakłóceń jednego nadajnika

$$\Delta f_{wz1} = \frac{\Delta f_{wz}}{M_{nz}} \quad (3.20)$$

M_{nz} - liczba nadajników zakłóceń.

Wówczas otrzymamy zależność na gęstość mocy widmowej zakłóceń:

$$N_z = \frac{P_{z1} \cdot G_z \cdot M_{nz}}{\Delta f_{wz}} \quad (3.21)$$

Po podstawieniu do wzoru na $R_{zmax(Ds,z)}$ (3.18) tej zależności otrzymamy:

$$R_{zmax(Ds,z)} = \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma}{4\pi \cdot K_z \cdot q_0^2 \cdot N_z}} \quad (3.22)$$

Powyższa zależność pozwala określać wielkość zasięgu wykrywania przez RLS obiektów powietrznych stosujących zakłócenia przy różnej gęstości mocy widmowej tych zakłóceń.

np.

RLS - typ nr.2 -[Załącznik cz.I -1]

$P_i = 1.6$ [MW]

$t_i = 1.5 \mu s$

$G = 5400$

$\sigma = 1$ [m²]

$q_0^2 = 1.4$

$N_z = 1$

$$R_{zmax(Ds,z)} = 38[\text{km}]$$

Na podstawie uzyskanego wyniku obliczeń można stwierdzić, że stacja radiolokacyjna zakłócana przez urządzenie zakłócające szumowym sygnałem o gęstości mocy widmowej $N_z=1$ [W/MHz] pozwoli wykryć sygnał echa pochodzący od obiektu o $\sigma = 1$ [m²] dopiero w odległości 38 [km] od RLS; ($N_z = 5$ [W/MHz]; $R_{zmax} = 17$ [km] itd.)

W załącznikach [Załącznik cz.I -1 do 1.9] podano zależności, które zawierają pełne wyliczenia i wykresy zasięgów wykrywania ($R_{zmax(Df,z)}$), RLS podczas stosowania zakłóceń szumowych o gęstości mocy widmowej od 1 do 70 [W/MHz], dla obiektów o różnej skutecznej powierzchni odbicia (σ). Obliczenia wykonano dla wyliczonych wartości współczynnika wykrycia " q_0^2 " przy założeniu, że stosowane są zakłócenia szumowe ciągłe o współczynniku $K_z = K_c = 0.5$ oraz zakłócenia szumowe skierowane o współczynniku $K_z = K_0 = 0.25$. [23]

Analiza uzyskanych wyników pozwala na wysnucie następujących wniosków:

- wyeliminowanie (ograniczenie) wpływu zakłóceń pasywnych powoduje zmniejszenie rozmiarów strefy wykrywania RLS o około 20%;
- najbardziej niebezpieczne dla pracy RLS w sensie możliwości zdobywania informacji są zakłócenia czynne szumowe;
- dużą odpornością na zakłócenia szumowe charakteryzują się RLS posiadające duży potencjał energetyczny (duża wartość mocy średniej impulsu sondującego);
- większą odporność na zakłócenia wykazują RLS, których anteny posiadają duży zysk kierunkowy;
- można zauważyć, że w przypadku stosowania zakłóceń czynnych typu impulsowo - odzewowego, zasięg wykrywania RLS zwiększa się o 1,414 razy w porównaniu do zasięgu stacji radiolokacyjnej przy oddziaływaniu zakłóceń szumowych.¹
- najmniejszy zasięg w zakłóceniach szumowych posiada RLS zakresu metrowego;
- największy zasięg w zakłóceniach szumowych posiadają stacje z kompresją impulsów.

Zaprezentowane podejście jest tylko jednym ze sposobów badania wplywu zakłóceń na strefę wykrywania stacji radiolokacyjnych. Mając na uwadze, że granice strefy wykrywania zależą w dużym stopniu od ch - ki kierunkowej zakłócającej RLS, przyjmuje się, że tłumienie sygnałów odbieranych zakłóceń przez antenę na kierunku pierwszego i drugiego listka bocznego ch- ki

¹ jakość zakłóceń " K_z " dla zakłóceń szumowych wynosi 0,5 a dla zakłóceń impulsowo odzewowych 0,25.[49]str.19.

antenowej jest odpowiednio o 20dB i 30dB większe od tłumienia sygnałów na kierunku listka głównego (Załącznik cz.I - 2).[51]

Mając na uwadze, że analiza wpływu zakłóceń nie była przedmiotem szczegółowych badań, wydaje się, że zaprezentowane rozwiązania są wystarczające dla potrzeb tego opracowania. Znajomość zasięgów RLS w określonych warunkach zakłóceń pozwala na uwzględnienie ich w proponowanym rozwiązaniu symulacji komputerowej.

3.5. Strefa wykrywania RLS na małych wysokościach

Podstawowym problemem dla wojsk radiotechnicznych w zakresie wykrywania i śledzenia obiektów powietrznych na małych wysokościach są zasięgi RLS uwarunkowane rzeźbą terenu. Kulistość ziemi, cały wachlarz czynników i właściwości związanych z podłożem odbijającym, wszelkiego rodzaju zabudowa i roślinność (szczególnie lasy) - to wszystko czynniki, które mogą stanowić przeszkodę dla rozchodzenia się fal elektromagnetycznych.

W rzeźbie terenu najistotniejsze są względne przewyższenia terenu (tzw. deniwelacje terenu), które stanowią poważną przeszkodę dla rozchodzenia się fal.

Ponieważ strefa kątów w płaszczyźnie pionowej, w której znajdują się obiekty na małych wysokościach ogranicza się do małych wartości to zasięg w swobodnej przestrzeni dla małych kątów położenia obiektu można wyznaczyć wg zależności (3.23).[20].

$$R_{\max n} = \sqrt[8]{\frac{P \cdot G \cdot \sigma \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4\pi)^3}} \cdot \sqrt{\frac{4\pi \cdot (h_a + h_n) \cdot H}{\lambda}} \quad (3.23)$$

gdzie:

$R_{\max n}$ - zasięg dla małych wysokości,

h_a - wysokość zawieszenia anteny RLS,

h_n - wysokość nasypu,

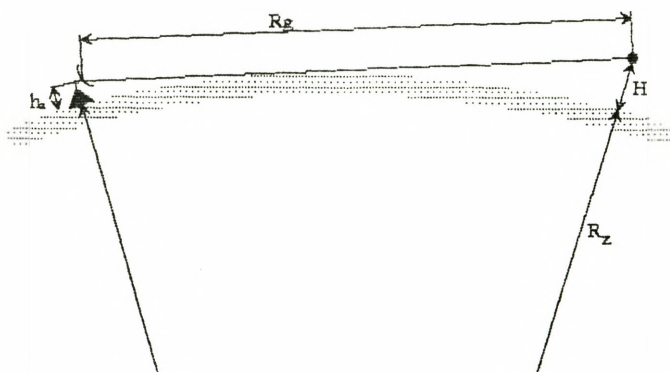
H - wysokość lotu obiektu (wysokość strefy rozpoznania)

Nietrudno zauważyć, że zasięg ten bardzo silnie zależy od wysokości położenia anteny ($h_a + h_n$) i obiektu (H). Im mniejsza jest wysokość obiektu, tym trudniej go wykryć. Zależność (3.23)

jest słuszna dla małej odległości obiektu. Przy dużych odległościach między RLS a obiektem powietrznym konieczne jest uwzględnienie w określaniu zasięgu RLS krzywizny ziemi jak również atmosferycznej refrakcji fal. W zakresie fal metrowych a zwłaszcza decymetrowych przechodzących obok wypukłej ziemi uginanie się fal elektromagnetycznych, zwane dyfrakcją uwiadacza się bardzo słabo i jest pomijalne.

Kulistość ziemi, przy założeniu prostoliniowego rozchodzenia się fal ogranicza ich zasięg do tzw. zasięgu bezpośredniej widoczności lub inaczej optycznej zwanym również zasięgiem geometrycznym lub horyzontalnym.

Zasięgiem geometrycznym będziemy nazywali odległość R_g w prostej linii dwóch punktów: antena - cel, znajdujących się nad powierzchnią ziemi, przy której prosta łącząca te punkty będzie styczna do powierzchni ziemi rys.3.5.



Rys.3.5. Zasięg geometryczny (horyzontalny)

Źródło [20]

$$R_g = \sqrt{2 \cdot R_z} \cdot (\sqrt{h} + \sqrt{H}) \quad (3.24)$$

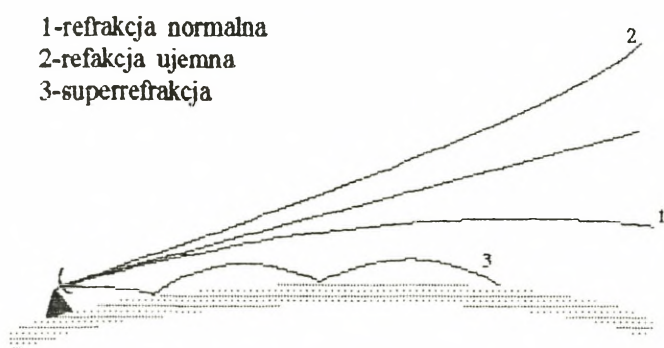
gdzie

$$R_z = 6368 \text{ km}$$

$$R_{g[km]} = 110 \left(\sqrt{h_{[km]}} + \sqrt{H_{[km]}} \right) = 3.57 \left(\sqrt{h_{[m]}} + \sqrt{H_{[m]}} \right) \quad (3.25)$$

Zasięg geometryczny zależy od wysokości położenia anteny RLS i wysokości położenia obiektu. Rzeczywisty ośrodek propagacji fal jakim jest atmosfera nie jest jednak jednorodny. W wyniku tego występuje odchylenie toru fali od prostoliniowego zwane refrakcją troposferyczną fal elektromagnetycznych. Jeżeli tor fali odchyłony jest od prostoliniowego w kierunku powierzchni

ziemi ma miejsce tzw. refrakcja normalna, powodująca zwiększenie zasięgu. Istnieje jeszcze zjawisko refrakcji ujemnej - odchylenie toru fali od ziemi i zjawisko superrefrakcji rys.3.6.



Rys.3.6. Tory fal przy różnych rodzajach refrakcji.

Zródło:[20]

Ilościowa ocena wpływu refrakcji na zasięg jest trudna do określenia i jak dotąd nie udało się uzyskać ogólnego rozwiązania tegoż zagadnienia głównie wskutek silnych i szybkich zmian troposfery. Dlatego też wpływ na zasięg w naszym klimacie uwzględniany jest w zasadzie dla troposfery normalnej (refrakcja normalna). Zjawisko refrakcji normalnej powoduje zwiększenie granicznej odległości wykrywania obiektów uwarunkowanej krzywizną ziemi do wartości R_{hr} - rys.3.7. Dla wyznaczenia tej zależności przyjmuje się ekwiwalentny promień ziemi R_e - (3.26) - Rys.3.7.

Wówczas:

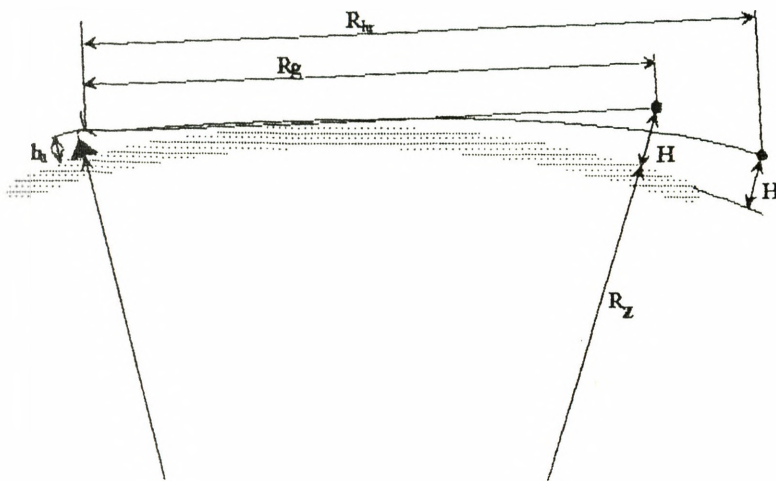
$$R_e = \frac{4}{3} \cdot R_z \quad (3.26)$$

gdzie: R_z - promień ziemi 6368 km

R_e - ekwiwalentny promień ziemi 8500 km

$$R_{hr[km]} = 130 \left(\sqrt{h[km]} + \sqrt{H[km]} \right) = 4.12 \left(\sqrt{h[m]} + \sqrt{H[m]} \right) \quad (3.27)$$

Porównując wyrażenie na zasięg geometryczny bez refrakcji (3.25) i z refrakcją normalną (3.27) łatwo zauważyć, że normalna refrakcja powoduje zwiększenie zasięgu fal o ok. 15%, oczywiście w sensie geometrycznym, ponieważ na pokrycie tego zasięgu niezbędne jest spełnienie warunków energetycznych.



Rys.3.7. Wpływ refrakcji normalnej i krzywizny ziemi na zasięg.

Źródło [20]

Zdarza się, że warunki atmosferyczne mocno odbiegają od standardowych. Mamy wówczas do czynienia z anormalnym rozchodzeniem się fal, które prowadzi do bardzo dużego wzrostu zasięgu (superrefrakcja) lub do jego zmniejszenia (refrakcja ujemna). W troposferze mogą zaistnieć warunki, w których krzywa toru staje się większa od krzywizny ziemi i powstaje tzw. zjawisko superrefrakcji. Zjawisko to występuje stosunkowo rzadko w okolicach nadmorskich, dlatego praktycznie nie jest wykorzystywane. Również innego rodzaju refrakcje w naszych warunkach klimatycznych i geofizycznych nie występuje, dlatego też nie są one przedmiotem naszych rozważań.

Jak już była mowa, zasięg horyzontalny zależy również od wysokości położenia anteny RLS (h_t). Zwiększenie wysokości położenia anteny można uzyskać, bądź to - po przez zwiększenie wysokości zawieszenia anteny (budowa specjalnych masztów), bądź to - po przez zwiększenie wysokości położenia anteny (budowa specjalnych nasypów lub podnoszonych platform), bądź to - połączenie obu sposobów. Należy jednak mieć na uwadze, że podnoszenie anten na większe wysokości nad powierzchnię odbijającą (powierzchnię ziemi - przy stałej wysokości lotu obiektu) ma swoje zalety ale i wady:

- wzrasta wielkość stożka martwego RLS na małych wysokościach;
- zwiększają się wymagania w stosunku do pozycji rozwinięcia RLS oraz zwiększa się niewspółmiernie wymagany promień powierzchni odbijającej;
- nie zawsze jest możliwe zastosowanie wysokich anten z uwagi na rzeźbę terenu i warunki klimatyczne w rejonach wyżynnych i górskich naszego kraju.

Szukanie odpowiedzi na pytanie w jakich warunkach i przy jakiej wysokości umieszczenia anteny można uzyskać optymalne zasięgi wykrywania stacji radiolokacyjnych na małych wysokościach jest zawsze aktualne. Uwzględniając wyżej przedstawione aspekty, wzór na zasięg horyzontalny z uwzględnieniem refrakcji normalnej przyjmie postać:

$$R_{hr[km]} = 4.12 \left(\sqrt{h_{a[m]} + h_{n[m]}} + \sqrt{H_{[m]}} \right) \quad (3.28)$$

lub:

$$R_{hr[km]} = 4.12 \left(\sqrt{h_{[m]}} + \sqrt{H_{[m]}} \right) \quad (3.29)$$

Z przeprowadzonej analizy wynika, że podwyższenie zawieszenia anteny powoduje zwiększenie zasięgu horyzontalnego. W praktyce jednak można wysunąć twierdzenie, że zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnych jest zawsze mniejszy od zasięgu horyzontu radiowego.

W zależności od konkretnego typu stacji radiolokacyjnej i jej parametrów technicznych określa się wielkość całkowitego tłumienia energii fali elektromagnetycznej na drodze jej rozchodzenia się za pomocą współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego " K_{hr} ". Jego wartość mieści się w granicach od 0 do 1 i jest podawana w danych technicznych RLS (Załącznik cz. II - 3).

$$K_{hr} = \frac{R_0}{R_{hr}} \quad (3.30)$$

gdzie:

K_{hr} - współczynnik wykorzystania horyzontu radiowego

R_0 - zasięg wykrywania RLS

R_{hr} - zasięg horyzontu radiowego

Skutkiem tego wzór na zasięg wykrywania RLS z uwzględnieniem horyzontu radiowego, krzywizny ziemi i refrakcji fal przyjmie postać:

$$R_{0[km]} = 4.12 \cdot K_{hr} \left(\sqrt{h_{[m]}} + \sqrt{H_{[m]}} \right) \quad (3.31)$$

Z przytoczonych określeń wynika, że im większa jest wartość współczynnika wykorzystania horyzontu radiowego, tym lepsze możliwości w zakresie wykrywania obiektów powietrznych niskolejących posiada dana stacja radiolokacyjna.

Mając na uwadze poruszone aspekty, można domniemywać, że zwiększenie parametrów RLS takich jak:

P_i - moc dostarczona do anteny RLS;

P_{prog} - czułość odbiornika;

G - zysk anteny;

λ - długość fali;

σ - powierzchnia skuteczna obiektu:

- w znikomym stopniu wpływają na zasięg (Załącznik cz.I - 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6).

Moc sygnałów odbieranych od obiektów na małych wysokościach (3.23) jest odwrotnie proporcjonalna do odległości w potęgze ósmej. Natomiast na zasięg ma duży wpływ wysokość zawieszenia anteny i wysokość lotu obiektu powietrznego (Załącznik cz.I - 3.7; 3.8; 3.9; 3.10) oraz długość fali RLS (Załącznik cz.I - 3.5).

3.6. Wnioski

Wojska radiotechniczne w celu wykonania swych zadań tworzą system radiolokacyjny służący do zabezpieczenia radiolokacyjnego działań bojowych wojsk OP. Możliwości WRt charakteryzują wskaźniki ilościowe i jakościowe, wyrażające zdolność poszczególnych elementów systemu radiolokacyjnego do wykonania zadania bojowego w danej sytuacji operacyjno-taktycznej. Określają one również skuteczność sił i środków użytych zgodnie z przeznaczeniem, co pozwala prognozować końcowe wyniki działań bojowych.

Złożoność procesu tworzenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego wymagała zebrania i opracowania czynników ilościowo-jakościowych decydujących o działaniu systemu rozpoznania radiolokacyjnego WRt.

Określenie czynników determinujących wymagania informacyjne WRt - rozdział 2, spowodowały potrzebę dokonania analizy ich zakresu zmian oraz oceny znaczenia i wpływu na proces tworzenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Parametry określone w rozdziale 2, zostały poddane ocenie w zakresie ilościowym w aspekcie modelowania symulacyjnego, w rozdziale 3.

Uzyskane wyniki w rozdziale 3, potwierdziły słuszność przyjętych założeń i parametrów z rozdziału 2, pozwalając na zastosowanie proponowanych rozwiązań w symulacji komputerowej określania modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt.

4. Model symulacyjny strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt

4.1. Symulacja komputerowa strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Istotą symulacji komputerowej w badaniu złożonych systemów wojskowych jest konstruowanie a następnie badanie modeli tych systemów przy zastosowaniu symulacji komputerowej.[33].

Jako cel rozprawy przyjęto opracowanie koncepcji zastosowania symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Konstrukcja modelu za pomocą , którego możliwa byłaby symulacja stref wykrywania wymagała przyjęcia szeregu danych wejściowych (założeń) niezbędnych do prawidłowego odwzorowania ciągów stanu systemu rozpoznania WRt.

Elementy systemu bojowego WLOP - LM i WR, które określono w rozdziale 2.2 i 2.3, stawiają potrzeby informacyjne niezbędne do ich prawidłowego funkcjonowania.

System rozpoznania WRt jest podstawowym źródłem tych informacji, których zakres wyznaczają uwarunkowania taktyczne określone w rozdziale 2.1.

Aby zrealizować wyznaczniki taktyczne niezbędnym jest przyjęcie parametrów za pomocą których będzie można je zrealizować i które również określono w rozdziale 2.1.

Po analizie parametrów w rozdziale 3, w którym zostały określone skutki oraz zakres ich wzajemnego oddziaływania na strefę wykrywania RLS przyjęto tezę, że dla potrzeb proponowanego modelu uwzględnienie proponowanych czynników w rozdziale 2 jest wystarczające.

Prezentowane zależności w rozdziale 3, których wyniki zostały przedstawione w załącznikach pozwalają użyć stwierdzeń, które wcześniej były domniemywane w rozdziale 2.1; 2.3; 2.4; 2.5:

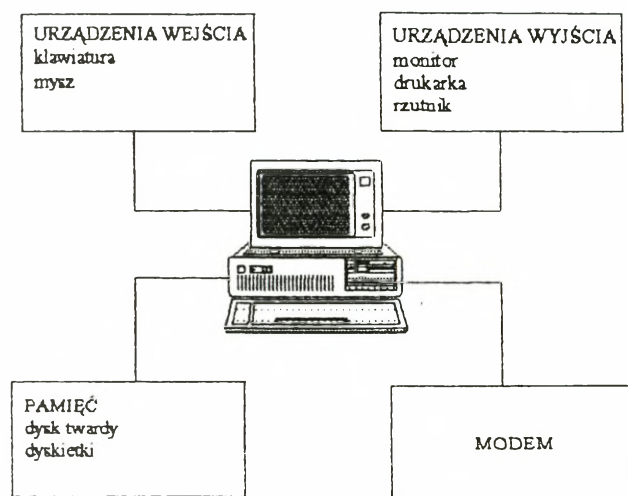
- wzrost mocy nadajnika, zysku kierunkowego anteny, powierzchni skutecznej obiektu, powodują wzrost zasięgu RLS ale w niewielkim stopniu. (Załącznik cz.I - 3.1; 3.2; 3.3; 3.4).

- zwiększenie długości fali elektromagnetycznej, czułości odbiornika radiolokacyjnego powo duje natomiast zmniejszenie zasięgu wykrywania - również w niewielkim stopniu (Załącznik cz. I - 3.5; 3,6)
- jeżeli porównamy (przy zadanych parametrach typowych dla pewnej grupy RLS) wielkość zasięgu geometrycznego w stosunku do zasięgu w swobodnej przestrzeni dla małych wysokości dochodzimy do wniosku, że różnice między nimi są niewielkie na korzyść zasięgu w swobodnej przestrzeni (Załącznik cz. I - 4). Pozwala to sądzić, że zasięg geometryczny będzie realizowany energetycznie.
- dla zadanych warunków dokonano analizy wpływu zasięgu geometrycznego na wielkość poprawki na krzywiznę ziemi. (Załącznik cz. I - 5). Na podstawie wyników można stwierdzić, że wielkości poprawek " Δh " dla określonych wielkości zasięgu geometrycznego są, w przybliżeniu równe wysokościom stref wykrywania dla tych samych wielkości zasięgu geometrycznego. Potwierdza to słuszność zastosowania proponowanych zależności matematycznych (3.2) i (3.32) do symulacji komputerowej w analizowanym problemie.
- znajomość wielkości poprawki na krzywiznę ziemi (Załącznik cz. I.- 5) pozwala na przyjęcie ograniczenia co do wpływu przedmiotów terenowych na strefę wykrywania.

Dla potrzeb symulacji komputerowej można podjąć decyzję o braku wpływu przedmiotów terenowych na strefę wykrywania w odległości 40 km a nawet w pewnych warunkach terenowych (nizinnych, w terenie pofałdowanym) 20 km i 30 km od RLS. Pozwala to na stosowanie pewnych uproszczeń programowych w symulacji komputerowej.

Wychodząc z tych założeń opracowano model symulacyjny stref rozpoznania RLS (RLP, brt, BRt) z zastosowaniem symulacji komputerowej.

Najbardziej efektywną i działającą na wyobraźnię użytkownika jest wyświetlanie na ekranie monitora wyników jego pracy (zamierzeń). Równie efektywna jest możliwość wyświetlenia informacji opisowej o obiekcie zainteresowań. Nieodłączną częścią współczesnych systemów informacyjnych jest sprzęt komputerowy (hardware) - rys 4.1.



Rys.4.1 Konfiguracja sprzętu dla komputera IBM PC.

W przypadku pełnej konfiguracji (jak na rys.4.1) użytkownik może pracować z terminalem tzn. z komputerem włączonym jako jeden z wielu w sieci. Mając do dyspozycji odpowiedni sprzęt komputerowy niezbędnym było opracowanie takiego oprogramowania (software) za pomocą którego istniałaby możliwość realizacji symulacji komputerowej stref rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych. Zaprezentowane w poprzednich rozdziałach rozwiązania i prezentowane wnioski pozwoliły na opracowanie modelu z wykorzystaniem symulacji komputerowej tworzenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych. Przyjęto zasadę, że podstawowym czynnikiem wpływającym na wielkość strefy rozpoznania radiolokacyjnego jest zasięg wykrywania stacji radiolokacyjnej a nośnikiem informacji o rzeźbie terenu KMT (Komputerowa Mapa Terenu).

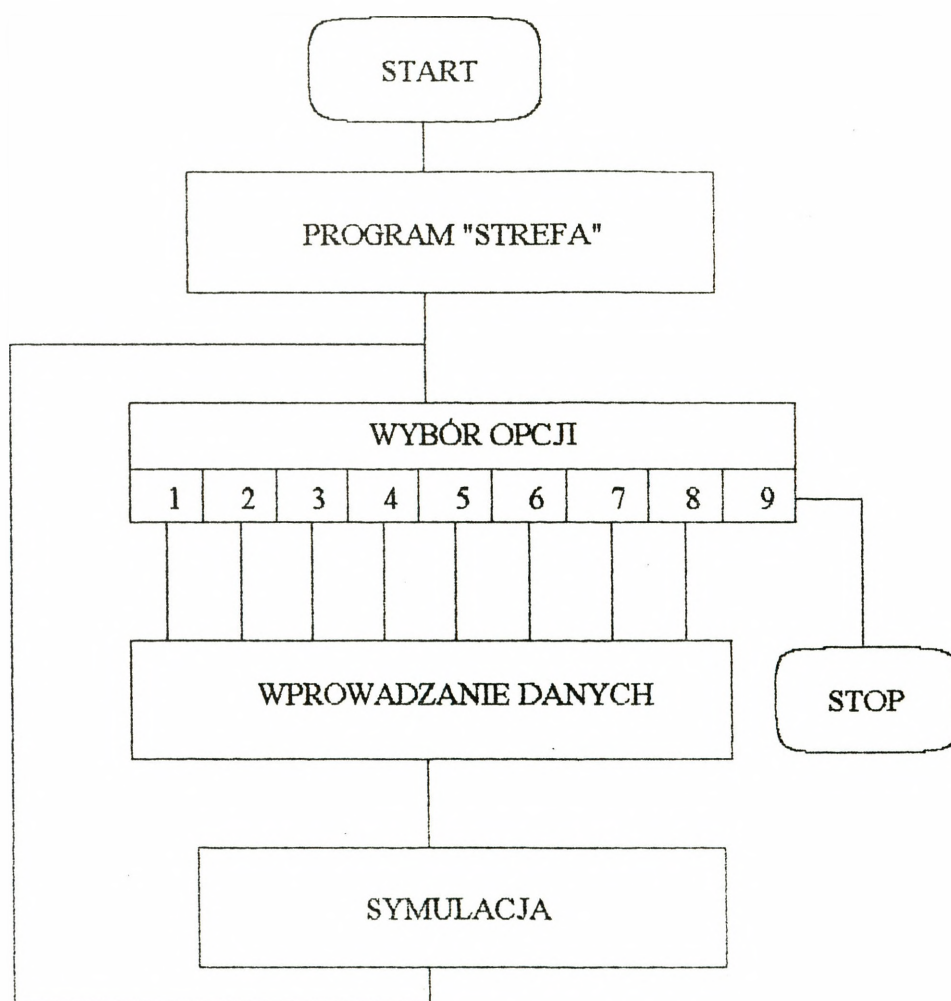
Przyjęto, że dla wysokości strefy wykrywania do 1000 m zasięg jest określany wg zależności (3.31) natomiast dla stref powyżej 1000 m przyjęto zależność (3.2).

W rozwiązaniu modelu uwzględniono wpływ zmian powierzchni skutecznej obiektu nawet do 50% (fluktuacje, zmiany położenia) poprzez generację losową wielkości wymienionego parametru wg rozkładu normalnego. Model został opracowany na bazie sprzętu klasy IBM PC 386 DX z dostępnymi możliwościami w zakresie oprogramowania, co spowodowało potrzebę wprowadzenia określonych ograniczeń. W wyniku eksperymentów myślowych, doświadczeń (prób) przyjęto algorytm rozwiązania problemu.(rys.4.2)

W programie "STREFA", analiza założonej strefy wykrywania RLS (brt, BRt) jest realizowana z określoną dyskretnością poprzez sondowanie przestrzeni wokół RLS z wyznaczonym zasięgiem. Po określeniu pozycji RLS (RLP) - długość; szerokość geograficzna lub współrzędne X ; Y i podania sektora w którym ma być analizowana strefa wykrywania (0 do 360 stopni),

w komputerze przebiega proces sondowania terenu wg podanych założeń. Analiza odbywa się od pozycji RLS do granicy zasięgu z określoną dyskretnością w odległości (Δr) zmieniając azymut o kąt β .

W trakcie realizacji oprogramowania realizującego proces tworzenia modelu strefy wykrywania sprawdzono jakość wykrywania przeszkód terenowych w proponowanym modelu. Stwierdzono, że prawdopodobieństwo wykrycia przeszkody o określonych wymiarach jest zależne od dyskretności procesu sondowania przestrzeni strefy wykrywania RLS w odległości i azymucie (Załącznik cz. I - 6).



Rys.4.2. Uproszczony algorytm modelu symulacyjnego.

Rozpatrując proces wykrywania stacji radiolokacyjnej w oparciu o kryterium Neumanna-Pearsona [4],[48], decyzję o obecności obiektu podejmuje się w przypadku zapewnienia określonego P_{PW} - prawdopodobieństwa poprawnego wykrycia, przy założonej wartości P_{FA} - prawdopodobieństwa fałszywego alarmu.

W istniejących stacjach radiolokacyjnych, pracujących w warunkach śledzenia sygnał obiektu stanowi serię impulsów. Liczba impulsów w serii " n_i " jest określona wg następującej zależności:

$$n_i = f_p \cdot \frac{\Theta_{\beta 0.5}}{6 \cdot N_A} \quad (4.1)$$

gdzie:

$\Theta_{\beta 0.5}$ - szerokość charakterystyki promieniowania anteny na poziomie 0.5 mocy maksymalnej;

N_A - liczba obrotów anteny na minutę;

f_p - częstotliwość powtarzania.

Obliczanie prawdopodobieństw poprawnego wykrycia i fałszywego alarmu stanowi duże trudności matematyczne. Można jednak łatwo ustalić wartość stosunku mocy sygnału do mocy zakłócenia na wejściu liniowej części odbiornika " v ":

$$v = \frac{P_s}{P_z} \quad (4.2)$$

gdzie:

P_s - moc sygnału użytecznego;

P_z - moc zakłócenia,

oraz określić " v_{gr} " przy, której będą zapewnione założone prawdopodobieństwa P_{PW} i P_{FA} dla wypadku optymalnej obróbki sygnałów.

$$v_{gr} = \frac{x(P_{PW}, P_{FA})}{\sqrt{n_i}} \quad (4.3)$$

gdzie:

v_{gr} - graniczna wartość stosunku mocy sygnału do mocy zakłócenia;

x - wielkość odpowiadająca żądanym prawdopodobieństwom P_{PW} i P_{FA} , którą można odczytać z wykresów.[48] str.40. W praktyce przyjmuje się P_{PW} od 0.5 do 0.9

a P_{FA} od 10^{-10} do 10^{-6} .

Wystarczy spełnić podane warunki aby zrealizować poprawną pracę stacji radiolokacyjnej.

Nasuwa się tutaj wniosek, że jeżeli przyjmie się w modelu dyskretność w azymucie $\beta = 0.5\theta_p$ to będzie to dyskretność, która pozwoli zrealizować poprawne wykreślenie modelu strefy wykrywania. Jeżeli natomiast rozpatrzmy problem dyskretności sondowania w odległości to należy mieć na uwadze dużą dokładność w strefie bliskiej RLS, szczególnie w zakresie I i II strefy Fresnella - proponuje się dyskretność Δr :

$$\Delta r = 2_{[m]} + n \cdot 0.5 \quad (4.4)$$

gdzie:

$$n = 1 \dots \frac{2R_{max}}{2 + \Delta r_n}$$

Jak już zostało wspomniane przewiduje się możliwość zmiany wymienionych parametrów β od 0.1 do 1 stopnia i Δr od 2 do 250 metrów, przez użytkownika wg jego potrzeb.

Oczywiście założone zmiany powodują zarówno skutki dodatnie jak i ujemne.

Zwiększenie parametrów daje duże zyski czasowe realizacji wyników oraz zajętości pamięci komputera ale pogarsza jakość uzyskiwanych informacji. Ale nawet skrajne (max) wielkości pozwalają na uzyskiwanie poprawnych wyników dając duże oszczędności czasowe co może mieć bardzo duże znaczenie, szczególnie przy wykreślaniu strefy rozpoznania brt czy BRT w pierwszym etapie planowania ugrupowania w celu zabezpieczenia potrzebnych rubieży informacji radiolokacyjnej dla wojsk aktywnych (WR i LM), czy też sprawdzenia ciągłości pola radiolokacyjnego oraz współczynnika przekrycia na danej wysokości.

Duże ograniczenia zastały spowodowane możliwościami sprzętu komputerowego.

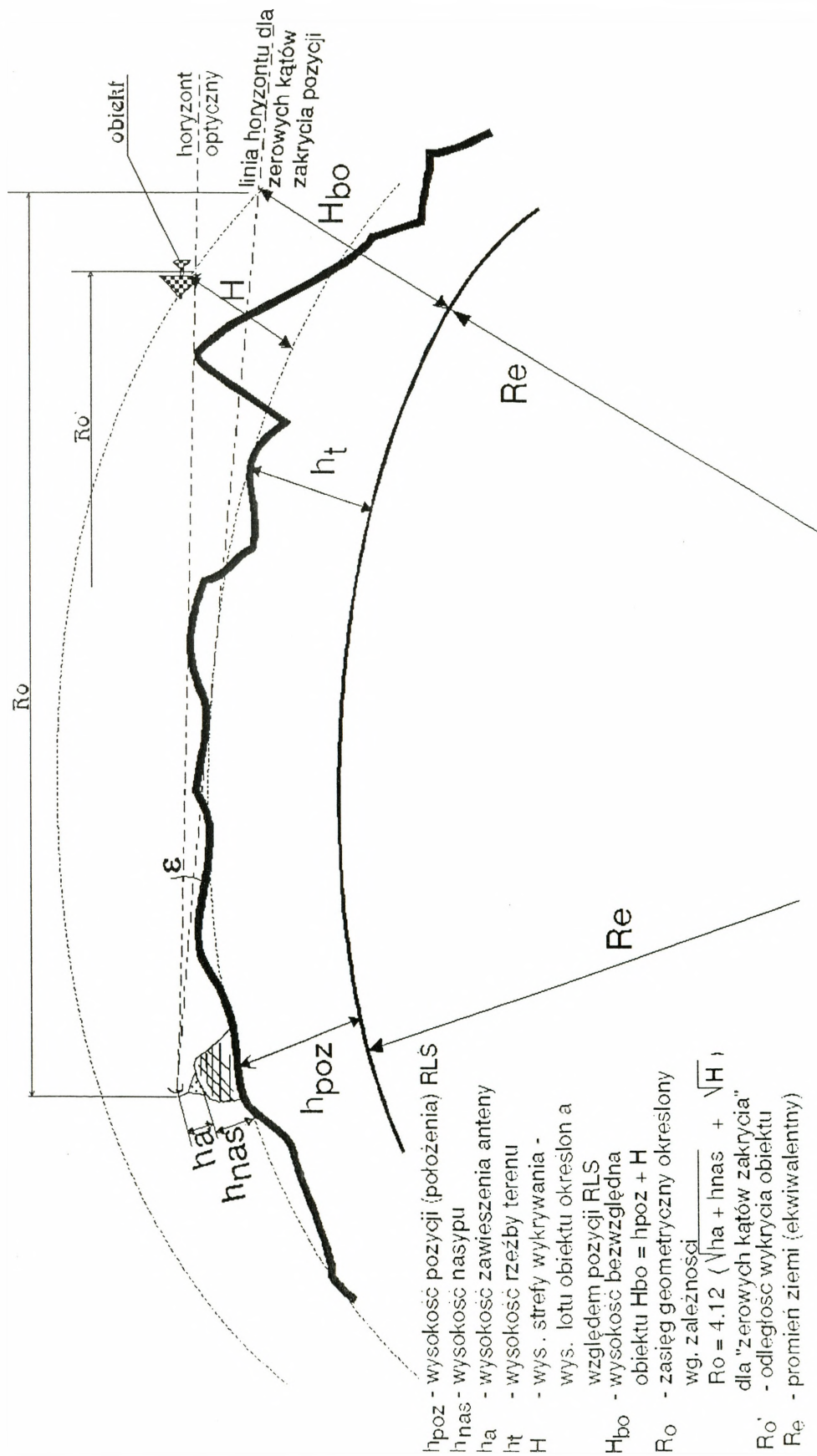
Zobrazowanie z możliwością stosowania 16 kolorów spowodowało rozdzielczość ekranu monitora $640 \times 350 = 224000$ pikseli. W rzeczywistości wynikłej potrzebą wyświetlenia niezbędnych informacji taktycznych można było wykorzystać $430 \times 320 = 137600$ pikseli.

Ogranicza to dokładność zobrazowania wyników - interferencje kolorów, pogorszenie rozróżnialności dla większych zasięgów.

Również określony czas przetwarzania danych decyduje o szybkości działania modelu a czas z kolei jest związany nierozłącznie z dokładnością (o czym była mowa wcześniej). Przy takich ograniczeniach zrealizowano oprogramowanie za pomocą, którego jest tworzony model stref wykrywania RLS (brt, BRt). Zaprezentowana analiza pozwala na dokonanie wyboru odpowiedniego sposobu realizowania symulacji przez potencjalnego użytkownika. Można zatem postawić wniosek, że możliwe jest tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych, za pomocą symulacji komputerowej. Symulację komputerową tworzenia stref rozpoznania radiolokacyjnego zrealizowano w dwóch wariantach.

WARIANT I

Tworzenie strefy wykrywania RLS na dowolnej wysokości zrealizowane zostało wg zasady lotu obiektu powietrznego ze stałą wysokością w stosunku do określonego punktu odniesienia (w modelu przyjęto wysokość pozycji RLS) rys.4.3. Wykreślanie strefy wykrywania na wybranej wysokości (o wysokości decyduje użytkownik) odbywa się po przez analizę terenu w ramach zasięgu wykrywania RLS. Teren stanowi Komputerowa Mapa Terenu (KMT) o której będzie mowa w dalszej części opracowania. Po wybraniu pozycji RLS i rodzaju sprzętu z Bazy Danych RLS następuje proces obliczania i wykreślenia strefy wykrywania. Komputer programowo dokonuje sprawdzenia przestrzeni w zakresie wykrywania RLS, w przypadku napotkania przeszkody sprawdza się czy stanowi ona przeszkodę dla danego zakresu wykrywania, jeżeli tak to w jakim stopniu z zaznaczeniem wpływu na zobrazowaniu ekranowym monitora. Proces ten jest powtarzany na kolejnym azymucie aż do zrealizowania sektora podanego przez użytkownika na ekranie monitora odpowiednim kolorem zaznacza się wielkość strefy wykrywania. Szczegółowy opis sposobu realizacji proponowanego rozwiązania został zawarty w algorytmie rozwiązania problemu (Załącznik cz. I - 7). Natomiast graficzna realizacja wariantu I została zaprezentowana na rys.4.3.



Rys. 4.3 Graficzna interpretacja realizacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego wg wariantu I.

WARIANT II

Tworzenie strefy wykrywania dla zadanej wysokości zrealizowane zostało wg zasady lotu obiektu ze stałą wysokością nad terenem (w stosunku do rzeźby terenu) rys.4.4. Obliczenie i wykreślenie strefy wykrywania na wybranej wysokości odbywa się po przez analizę przestrzeni w zakresie strefy wykrywania RLS. Po wybraniu pozycji RLS i rodzaju sprzętu z Bazy Danych RLS programowo dokonuje się sprawdzenia czy obiekt powietrzny przemieszczający się ze stałym profilem lotu nad rzeźbą terenu może być wykryty w danej przestrzeni wykrywania z jednoczesnym sprawdzeniem czy przeszkody terenowe stanowią - przeszkodę dla obliczonego zakresu wykrywania i ewentualnym zaznaczeniem tego wpływu na ekranie monitora. Realizując proces tworzenia modelu strefy wykrywania w zadanym sektorze (0 do 360 stopni) na ekranie monitora zaznacza się kolorem przypisanym dla danej wysokości strefy wykrywania, rejony w których możliwe będzie wykrycie obiektu powietrznego. (Załącznik cz.I - 8).

Graficzna realizacja strefy rozpoznania radiolokacyjnego wg wariantu II została zaprezentowana na rys.4.4.

WSPÓLCZYNNIK PRZEKRYCIA

Istotnym parametrem w informacji radiolokacyjnej jest współczynnik przekrycia określony miarą ilości przekrywających się stref wykrywania RLS na danej wysokości w przyjętym ugrupowaniu bojowym WRt. Przyjmuje się; że optymalna wielkość tego współczynnika powinna przyjmować wartość "3" co najwyżej "4" . oczywistym wydaje się, że duża wartość współczynnika zwiększa pewność informacji, nie należy jednak zapominać, że zbyt duża ilość informacji z różnych źródeł może powodować skutki odmienne od przewidzianych - pogorszyć jakość.

W modelu proponuje się określenie tego parametru dla dowolnego ugrupowania (dwie RLS i więcej). Tworząc model strefy rozpoznania (pola radiolokacyjnego) na wybranej wysokości dla określonego ugrupowania wg wybranego wariantu, po wykreśleniu stref wykrywania elementów ugrupowania, programowo wyznacza się współczynnik przekrycia zaznaczając odpowiednio kolorami wielkość tego parametru (w przypadku przekrywania się stref wykrywania). Katalog kolorów będących odpowiednikami wyznaczonych wielkości można zobrazować na ekranie monitora. (Załącznik cz.I. - 8.4)

Wariant I i Wariant II o których była mowa są podstawowymi rozwiązaniami, które zostały wykorzystane w procesie realizacji programu "STREFA". Pozostałe submodele zostały skonstruowane w oparciu o podane warianty. Analiza terenu w strefie wykrywania w założonych granicach jest realizowana w oparciu o komputerową mapę terenu.

4.1.1. Komputerowa mapa terenu

Komputerowa mapa terenu* - którą można zaliczyć do GSI (Geograficzny System Informacyjny) [52] stanowi zbiór próbek wysokości terenu wybranych w węzłach siatki geograficznej o boku 250 [m] oraz w lokalnych maksimach wysokości mających istotne znaczenie dla dokładności mapy. Wysokości w punktach próbkowania były odczytywane z map fizycznych. Wysokości w węzłach siatki określano stosując liniową interpolację między najbliższymi warstwicami. Opracowana w ten sposób mapa Polski podzielona jest na arkusze odpowiadające 1 stopniowi długości i 1 stopniowi szerokości geograficznej. Plikom reprezentującym te arkusze przyporządkowano pliki zawierające tablicę wysokości terenu z przedziału od 0 do 4094

* - KMT opracowana w Centrum Informatyki AON

z dodatkową informacją o pokryciu terenu np. las, woda, zabudowa. W celu zwiększenia dokładności modelu rzeźby terenu zebrano w osobnych plikach informacje o wysokościach w dodatkowych nieregularnie rozmieszczonych punktach nazywanych roboczo ekstremami. Dla umożliwienia dokonywania poprawek oraz dopisywania i kasowania ekstremów stworzono specjalny graficzny program (EDMCT.EXE). Cyfrowa mapa Polski składa się z 60 arkuszy. Mapkę warstwicową i konturową można wzbogacić o dodatkowe informacje takie jak drogi, rzeki, obrys miejscowości i pokrycie terenu (las, woda, zabudowa). Program daje się uruchomić na dowolnym mikrokomputerze klasy IBM PC AT z kartą EGA lub VGA, pod kontrolą systemu operacyjnego DOS 3.x. Wymagany jest wolny obszar pamięci na twardym dysku rzędu 10 MB i min. 640 KB pamięci RAM.

Należy zauważyć, że źródłem komputerowej mapy terenu była mapa topograficzna, która w rzeczywistości jest też modelem terenu. Choć w topografii przyjmuje się, że wielkość średniego błędu położenia punktu na mapie nie powinna przekraczać 0.5 mm (praktycznie 0.42 mm)[18]. Za górną granicę dokładności pracy na mapie przyjmuje się wielkość 0.1 mm. Jest to wielkość maksymalna i jedynie teoretycznie osiągalna, w praktyce błąd ten wynosi 0.6 do 0.7 mm. [18]. Z powyższej analizy wynika, że korzystniejsze byłoby, gdyby źródłowych informacji o elementach terenu dostarczyli topografowie lub stworzyli bazę danych dla różnych rodzajów wojsk. Można przypuszczać, że w wyniku rozwoju techniki komputerowej i broni precyzyjnych stworzenie takich map będzie konieczne i zostanie zrealizowane w niedalekiej przyszłości. W obecnym stadium rozwoju topografii wojskowej (i nie tylko) twórcy KMT mogą skorzystać z dokumentu jakim jest mapa topograficzna terenu. Baza danych wykorzystana w symulacji komputerowej może więc posiadać pewne ułomności wynikające z podanych faktów. Nie można jednak zapominać, że sposób określania współrzędnych radiolokacyjnych w systemach rzeczywistych, posiada sam w sobie określoną specyfikę, wymuszoną przez możliwości sprzętowe (możliwości techniczne). Określanie współrzędnych odbywa się z pewną dokładnością spowodowaną błędami obsługi i technicznymi parametrami. Dane o położeniu obiektu: odległość (R), azymut (b), wysokość (H) zależą od różniczności i dokładności określania współrzędnych RLS (dane te podano w załącznikach). (Załącznik cz.II - 3). Jeżeli przyjąć, że dokładność pracy na mapach, które są wykorzystywane jako nośniki informacji wynosi 0.6 do 0.7 [mm] błąd ten w bazie danych może przyjąć wartości rzędu:

mapa 1:25000 - 15 do 17.5[m]

mapa 1:50000 - 30 do 35.0[m]

Gdy porównamy to z dokładnościami określania współrzędnych przez RLS gdzie błędy są setek

metrów przy określaniu odległości a dla współrzędnych kątowych mają być jeszcze większe to można przyjąć, że dokładność użytej mapy jest aż nadto wystarczająca. Osobnym problemem pozostaje jednak model infologiczny. Model infologiczny jest to model danych, który najlepiej odzwierciedla rzeczywistość z punktu widzenia użytkownika bazy danych. Niezbędnym staje się stworzenie takich działań, które umożliwiają pełne wykorzystanie proponowanej bazy danych. Należy przewidzieć możliwość aktualizacji bazy danych komputerowej mapy terenu. Powinna ona dotyczyć:

- a) - zmian w sytuacji topograficznej spowodowanej rozwojem gospodarczym (budowle, drogi, sztuczne zbiorniki wodne, sieci energetyczne, itp.);
- b) - zmian w sytuacji topograficznej związanej z działaniami bojowymi (zniszczenia wojenne, zmiany w sytuacji taktycznej itp.).

Dane do aktualizacji map cyfrowych winny spływać z dwóch kierunków - od szczebla nadrzędnego i od szczebli niższych. Aktualizacją mapy komputerowej na szczeblu oddziału powinna zajmować się jedna osoba ze służb operacyjnych wyznaczona przez dowódcę. Wydaje się, że w obecnej sytuacji gospodarczej są to wizje przyszłościowe. Pozostaje rzeczywistość dnia dzisiejszego - użytkownik posiadający narzędzie do symulacji komputerowej w wyniku stworzenia odpowiedniego oprogramowania będzie miał możliwość aktualizacji topograficznej po przez wprowadzenie do bazy danych elementów terenowych, które mogą mieć wpływ na proces tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Problemem pozostaje zdobycie tych informacji. Wydaje się, że mogą to być informacje z rekonesansu bądź też z rozpoznania lotniczego, lub od administracji terenowej. Pozostaje więc dokonanie selekcji i wpisanie przedmiotów terenowych do bazy danych.

4.2. Wnioski

Funkcjonowanie WRt w nowych uwarunkowaniach wymuszają tworzenie narzędzi za pomocą których możliwe byłoby usprawnienie procesu zabezpieczenia działań bojowych. Pojawienie się kolejnych generacji sprzętu radiolokacyjnego pozwala na stosowanie rozwiązań taktycznych spełniających oczekiwania spowodowane pojawianiem się nowych odmian oraz sposobów działania ŚNP.

Potrzeby określone w rozdziale 2 zostały zrealizowane poprzez zbudowanie modelu symulacyjnego za pomocą którego istnieje możliwość określania strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Zmienność sytuacji wymuszonych poprzez ŚNP powodują potrzebę szukania rozwiązań pozwalających na przewidywanie sposobów działania przeciwnika i określanie możliwości w zakresie przeciwdziałania, poprzez rozpoznawanie stref wykrywania wojsk własnych w zależności od różnych wariantów stosowanych w walce

Wariant I proponowanego rozwiązania opisany w rozdziale 4.1 pozwala na określanie strefy wykrywania RLS "dla typowych" warunków pracy bojowej urządzeń radiolokacyjnych i ocenę uwarunkowań taktycznych zawartych w rozdziale 2.1.

Wariant II proponowanego rozwiązania pozwala na ocenę możliwości wykrywania RLS obiektów powietrznych lecących ze stałą odległością w stosunku do rzeźby terenu na małych wysokościach oraz szacowanie parametrów strefy rozpoznania radiolokacyjnego określonych w rozdziale 2.1.

Zastosowanie KMT jako narzędzia, pozwala na otrzymanie nowych rozwiązań w zakresie symulacji komputerowej z wystarczającą dokładnością w aspekcie modelowania strefy rozpoznania radiolokacyjnego - rozdział 4.1.1.

Propozycja zastosowania symulacji komputerowej w proponowanych wariantach przy podanych założeniach w sposobie realizacji modelowania strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt powinna spełnić oczekiwania zawarte w hipotezie roboczej - rozdział 1.4.

5. Wykorzystanie symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego

Proces planowania zwłaszcza przy dużej dynamice działań bojowych jest niezmiernie ważnym przedsięwzięciem w realizacji zadań stawianych WRt. Potrzeby w zakresie informacji radiolokacyjnej są niezmiernie ważnym elementem działań bojowych wojsk aktywnych (LM i WR). Informacja o możliwościach podsystemu WRt w systemie działania WLOP wymusza określony sposób działań taktyczno - strategicznych. Szybka informacja o możliwościach może być czynnikiem decydującym o powodzeniu w realizacji zadań bojowych.

Prognozowanie możliwości rozpoznania radiolokacyjnego pozwala na efektywne użycie sprzętu i efektywne dokonywanie manewrów w określonych warunkach.

Weryfikacja potrzeb i możliwości stanowi niezwykle ważny aspekt w procesie realizacji zadań przez WRt. Jest to niezwykle ważny element na współczesnym polu walki, który może być z powodzeniem wykorzystywany również w procesie kształcenia. Możliwość zastosowania proponowanego rozwiązania symulacji komputerowej - rozdział 4, w procesie szkolenia w wojskach operacyjnych (sztabów), na stanowiskach dowodzenia i w szkolnictwie wojskowym to ważny czynnik podnoszenia kwalifikacji. Wielowariantowość uzyskiwanych rozwiązań (wyników) to ważny aspekt działalności w zakresie weryfikacji przyjętych rozwiązań.

Przyjmując podane założenia proponuje się wykorzystanie symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Użytkownik określając potrzeby wybiera wariant programu i podając dane wejściowe uruchamia program za pomocą którego realizowany jest proces tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Na wyjściu otrzymuje się model strefy rozpoznania radiolokacyjnego - zobrazowany na ekranie monitora wg założonych warunków. Przyjazny sposób komunikowania się z komputerem wielowariantowość rozwiązań, szybki czas realizacji to atrybuty charakteryzujące proponowaną realizację wyznaczania strefy rozpoznania radiolokacyjnego.

Czas realizacji prognozowania strefy wykrywania stacji radiolokacyjnej na podanej pozycji wynosi około *4 minut*. Rozwiązanie to pozwala na tworzenie modeli stref wykrywania w dowolnym ugrupowaniu, daje możliwość prognozowania stref wykrywania radiolokacyjnego w

zależności od rodzaju sprzętu, konfiguracji ugrupowania i ilości użytego sprzętu. Pozwala na weryfikację skutków zniszczenia elementów ugrupowania. Weryfikacja może dotyczyć stosowanego ugrupowania i jego możliwości w zakresie zdobywania informacji radiolokacyjnej lub każdorazowo wg potrzeb użytkownika. Takie właściwości pozwalają na wykorzystanie modelu w każdych warunkach bojowych oraz sytuacji geopolitycznej.

5.1. Weryfikacja modelu symulacyjnego

Po zbadaniu parametrów określonych jako niezbędne do realizacji modelu symulacyjnego strefy rozpoznania radiolokacyjnego, na podstawie uzyskiwanych wyników symulacji komputerowej można określić parametry taktyczne pola radiolokacyjnego:

1. Granicę pola radiolokacyjnego - jako obwiednię otrzymanych stref wykrywania na RLS na danej wysokości realizowanych wg wariantu I lub II. (Załącznik cz.I - 8.1)
2. Wysokość dolnej granicy wykrywania " H_d " - w wyniku symulacji komputerowej przy założonych danych wejściowych jest to najmniejsza wartość wysokości strefy wykrywania w której przynajmniej jeden pododdział ugrupowania może wykryć i ciągle prowadzić obiekty powietrzne wg wariantu I lub II. (Załącznik cz.I - 8.2)
3. Wysokość górnej granicy wykrywania pola radiolokacyjnego " H_g " - jest to największa wysokość możliwej do realizacji strefy wykrywania wg założonych parametrów technicznych wg wariantu I. (Załącznik cz.I - 8.3)
4. Współczynnik przekrycia " k_p " - określa się go w przypadku przekrycia się stref wykrywania na danej wysokości wg kolorów podanych w katalogu wyświetlanym na ekranie monitora. (Załącznik cz.I - 8) realizowany dla każdego wariantu ugrupowania (dwie RLS lub więcej).

Na podstawie wyników uzyskanych w rozdziale 3 (Załączniki cz.I - 3.7; 3.8; 3.9; 3.10) przyjęto założenie, że elementem istotnym w procesie budowy modelu strefy wykrywania jest wysokość strefy wykrywania (H) i wysokość zawieszenia anteny (h):

- zmieniając wartość danej wejściowej " H " - 1000; 500 ; 400; 300; 200; 100 [m] (Załącznik cz.I - 8.5) porównano uzyskane wyniki z założeniami i stwierdzono, że uzyskany wynik symulacji jest zgodny z założeniami przyjętymi na wstępie;

- zmieniając wartość danej wejściowej "h" - 4; 8; 20 [m] (Załącznik cz.I - 8.6) porównano uzyskane wyniki z założeniami i stwierdzono, że uzyskany wynik symulacji również nie odbiega od założeń. Zmianę wysokości zawieszenia anteny można dokonać zmieniając parametr "h_z" w bazie danych RLS lub zmieniając wysokość nasypu "h_n" ($h=h_z+h_n$).

Należy oczekiwać, że zmiana innych danych wejściowych spowoduje poprawność uzyskiwanych danych wyjściowych.

Weryfikację modelu zrealizowano w oparciu o ugrupowania dowolne, jak i rzeczywiste jednostek III Brygady Radiotechnicznej i poligonu szkolnego WOSR. Jako dane wejściowe przyjęto używane w pracy bojowej dokumenty określające strefy wykrywania RLS. Wprowadzono rzeczywiste pozycje jednostek w ugrupowaniu oraz typowe wartości danych taktyczno - technicznych RLS.

Wyniki otrzymane z symulacji komputerowej porównano z wykresami stref wykrywania będącymi w użyciu i stosowane w pracy bojowej. (Załączniki cz.II - 4).

Dokonano analizy zgromadzonych materiałów. Poczynione obserwacje pozwalają na wyciągnięcie wniosków:

- proponowane rozwiązanie pozwala na uzyskiwanie wyników o większej szczegółowości niż stosowane dotychczasowo;
- sposób realizowania współczynnika przekrycia jest przejrzysty i szczegółowy czego nie można powiedzieć o stosowanym dotychczas rozwiązaniu;
- wielowariantowość sposobów realizacji tworzenia strefy rozpoznania radiolokacyjnego pozwala na tworzenie rozwiązań nie stosowanych w dotychczasowej działalności;
- model pozwala również na realizację pogładową wpływu zakłóceń radioelektronicznych na strefę rozpoznania radiolokacyjnego poprzez wprowadzenie zasięgów wykrywania w warunkach zakłóceń obliczonych w rozdziale 3.

Uzyskane wyniki zastosowania symulacji komputerowej pozwalają na sformułowanie że założony cel rozprawy ujęty w rozdziale 1.2, oraz hipoteza robocza - rozdział 1.4, zostały zrealizowane.

5.2. Opis przyjętych rozwiązań

Program "STREFA" charakteryzuje się dużą prostotą obsługi i jest przyjazny dla

użytkownika. Przy określaniu stref rozpoznania radiolokacyjnego RLS (RLP, brt, BRt) wyniki otrzymuje się nieomal w czasie rzeczywistym. Model strefy wykrywania na określonej wysokości może być zobrazowany na ekranie monitora, za pomocą rzutnika (wielkoformatowego) lub też wydrukowany (drukarka laserowa - kolorowa, ploter) bądź też zapisany w pamięci komputera. Uruchamianie modelu odbywa się poprzez wybranie z katalogu programu [STREFA.EXE]. W wyniku uaktywnienia się programu pojawi się nazwa programu - STREFA oraz instrukcje dalszego postępowania.

Użycie klawisza [SPACJA] realizuje pojawienie się okna ze spisem możliwych do wykonania submodeli. Wyboru opcji dokonuje się poprzez "podświetlenie" (przesuwanie za pomocą strzałek -dół, góra) żadanego podprogramu i zatwierdzenie klawiszem [ENTER].

Model [STREFA] posiada możliwe do zrealizowania submodele:

- opcja 1; - BAZA DANYCH RLS
- opcja 2;- POPRAWA ZBIORU RLS
- opcja 3;- OBIEKT NA STAŁEJ H DO ZIEMI
- opcja 4;- OBIEKT NA STAŁEJ H DO RLS
- opcja 5;- OBIEKT NA H>1000m
- opcja 6;- STREFA WYKRYWANIA DLA R<15 km
- opcja 7;- WOJSKA RAKIETOWE
- opcja 8;- WOJSKA LOTNICZE
- opcja 9;- "Q" WYJŚCIE

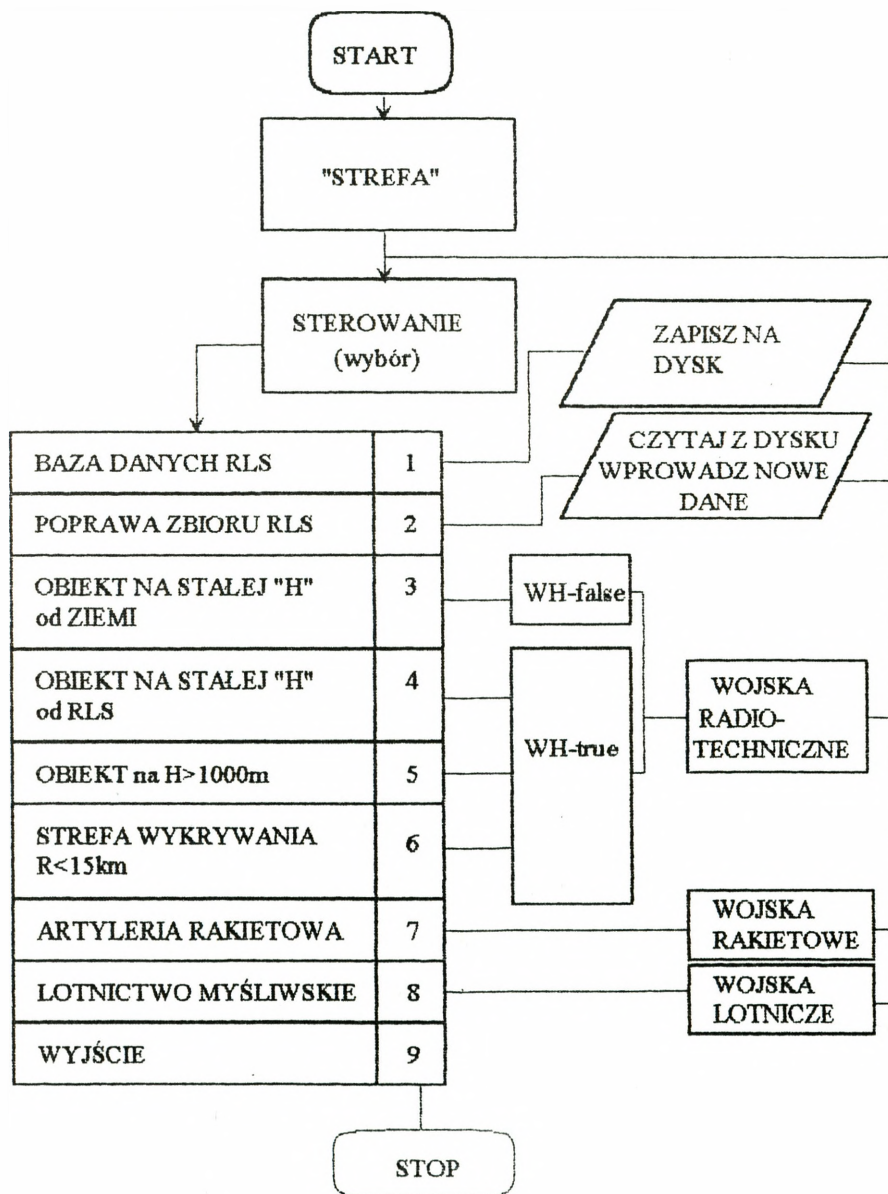
Model symulacyjny stref rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych [STREFA] jest realizowany wg algorytmu przedstawionego na rys.5.1.

BAZA DANYCH STACJI RADIOLOKACYJNYCH

Baza danych RLS zawiera zbiór sprzętu radiolokacyjnego będącego na uzbrojeniu w systemie wojsk radiotechnicznych. Zbiór ten zawiera oprócz nazw RLS dane techniczne niezbędne do realizacji modelowania symulacyjnego. (Załącznik cz.II - 3).

POPRAWA ZBIORU RLS.

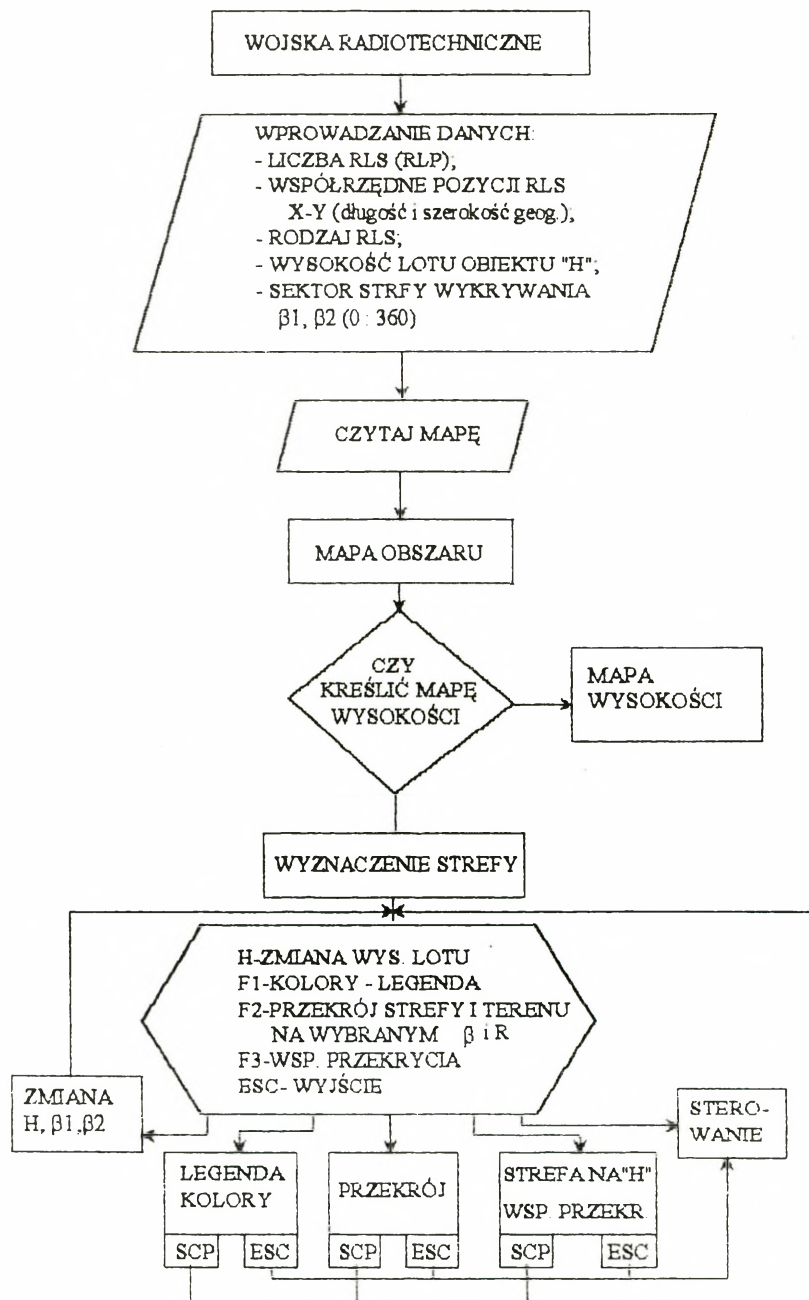
Wybór tej opcji pozwala na uzupełnienie danych taktyczno - technicznych RLS lub wpisanie nowych (innych) typów sprzętu radiolokacyjnego (10 pozycji) i ich danych taktyczno-technicznych.



Rys.5.1. Ogólny algorytm programu za pomocą którego realizowany jest proces tworzenia modelu strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRT.

Program - WOJSKA RADIOTECHNICZNE

Za pomocą tego programu realizowane jest modelowanie symulacyjne stref wykrywania stacji radiolokacyjnych dla warunków określonych przez użytkownika wyborem odpowiedniego submodelu wg podanej wcześniej klasyfikacji (opcja od 1 do 6). Program [WOJSKA RADIOTECHNICZNE] został zrealizowany wg algorytmu podanego na rys.5.2.



Rys.5.2. Ogólny algorytm programu [WOJSKA RADIOTECHNICZNE].

Program - WOJSKA RAKIETOWE

Submodel [WOJSKA RAKIETOWE] pozwala na określenie potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej (PRIR) do wykonania zadania ogniowego dla dywizjonu raketowego (stanowiska wyrzutni raket). Aby zrealizować podaną opcję należy po uruchomieniu programu wprowadzić niezbędne dane wg zależności (2.2). Po wpisaniu danych i ich zatwierdzeniu [ENTER], program wykreśla na monitorze graficzną interpretację podanej sytuacji z zaznaczeniem jej na mapie komputerowej w miejscu podanej pozycji.

(Załącznik cz.I - 10)

Program - WOJSKA LOTNICZE

Program [WOJSKA LOTNICZE] pozwala na określenie potrzebnej rubieży informacji radiolokacyjnej LM do wykonania zadania bojowego. Realizacja opcji odbywa się po wprowadzeniu niezbędnych danych wejściowych wg zależności (2.1) i podaniu współrzędnych dyslokacji (współrzędne geograficzne lub X;Y). Po wprowadzeniu danych wyniki zostają zobrazowane na ekranie monitora. (Załącznik cz.I.- 11).

PROGRAMY KALKULACYJNE

Model symulacyjny oprócz programu [STREFA] zawiera w katalogu programy kalkulacyjne:

- Program [GRAB.COM]- umożliwia dokonywanie zapisu w pamięci komputera wyników symulacji komputerowej.
- Program [GRAPHICS.COM]- program DOS do wykonywania wydruków na zwykłej drukarce (zastosowanie drukarki laserowej nie wymaga stosowania tego programu).
Wskazane jest stosowanie drukarki laserowej ze względu na duży stopień skomplikowania i szczegółowości otrzymywanych wyników. Drukarki igłowe nie zapewniają uzyskanie pożądanych efektów (wyników).
- Program [MIASTA.EXE] - wprowadzanie nazw miejscowości i ich położenia.
- Program [WSPÓLRZ.EXE] - przeliczanie współrzędnych geograficznych na współrzędne X;Y i odwrotnie
- Program [OBLRMAX.EXE]- umożliwia obliczanie zasięgów RLS w swobodnej przestrzeni

- Program [[OBLRTL.U.EXE] - obliczanie zasięgów z uwzględnieniem tłumienia fal w atmosferze.
- Program [OBLRZK.EXE] - obliczanie wpływu zakłóceń na zasięg RLS.

5.3. Wnioski

Weryfikacja modelu symulacyjnego jest ważnym i jednocześnie złożonym etapem budowy modelu. Do uzasadnienia poprawności funkcjonowania modelu pożądane jest dysponowanie choćby jednym wariantem działania systemu rzeczywistego wraz z dostępnymi danymi lub sprawdzenie realności przyjętych założeń, ograniczeń i uproszczeń.[8], [33].

Model symulacyjny został zbudowany w oparciu o parametry i założenia stosowane w radiolokacji w rzeczywistości. Proponowane rozwiązanie powinno być narzędziem usprawniającym proces prognozowania i weryfikacji stref rozpoznania radiolokacyjnego w działalności zainteresowanych służb w wojskach radiotechnicznych.

Przyjęte rozwiązanie może być stosowane również w dydaktyce tak na stanowiskach dowodzenia jako narzędzie usprawniające kształcenie i przygotowanie kadr dowódczo-sztabowych jak i w szkolnictwie wojskowym.

Wyniki uzyskiwane w efekcie przeprowadzonych eksperymentów z modelem są zgodne z założonymi celami i jego przeznaczeniem.

Poprawność nie może budzić zastrzeżeń ponieważ struktura modelu została oparta na sprawdzonych modelach matematycznych których analiza została przeprowadzona w rozdziale 3.

Realność przyjętych założeń ograniczeń i uproszczeń tak w sferze modeli matematycznych - rozdział 3, jak i uwarunkowań taktycznych - rozdział 2 i 3, oraz możliwości techniki komputerowej - rozdział 4, wskazują na zbieżność zachowań modelu i systemu rzeczywistego.

Eksperymenty z modelem, porównywanie efektów uzyskiwanych w wyniku stosowania symulacji komputerowej z dokumentami stosowanymi w pracy bojowej było jednym z elementów przeprowadzonej weryfikacji modelu.

Wyniki uzyskane w postaci wydruków (Załączniki cz.II - 4) po porównaniu z rzeczywistością pozwalają na postawienie twierdzenia, że model jest adekwatny.

Stopień reagowania modelu na zmiany wartości danych wejściowych "h" (wysokość zawieszenia anteny), i "H" (wysokość lotu jako wysokość strefy wykrywania) jest zgodny z założeniami przyjętymi w rozdziale 2 i 3.

Na podstawie uzyskanych wyników i wniosków można użyć stwierdzenia że przyjęty na wstępie cel rozprawy został zrealizowany.

Zakończenie

Przedstawiona koncepcja zastosowania symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego została oparta o rzeczywiste a także i możliwe ugrupowanie WRt. Przesądziło o tym kilka przyczyn obiektywnych jak i świadomych. Inspiracje do podjęcia tematu zostały szeroko przedstawione w rozdziale 1 - dotyczącym aspektów metodologicznych.

Istotnym czynnikiem podjęcia naukowego opracowania był i jest udział autora w pracach naukowo-badawczych nad określeniem stref wykrywania RLS z systemem antenowym "Wetlina" w warunkach górskich. Jest to swoisty poligon doświadczalny.

Założeniem autora było, by praca miała charakter praktyczny i użytkowy z możliwością stosowania w pracy bojowej i w dydaktyce. Przytoczone dane i rozwiązania mają charakter przykładowy co nadało opracowaniu walory uniwersalności z możliwością stosowania w dowolnym miejscu lokacji wojsk radiotechnicznych. Uniwersalność modelu symulacyjnego pozwala na jego adaptację i zastosowanie w innych rodzajach wojsk o zbliżonej specyfice stosowanych rozwiązań w działalności bojowej i szkoleniowej.

Nie jest to zapewne złoty środek w szerokim zakresie poruszonej problematyki i powinien znaleźć miejsce w dalszych pracach w rozwiązywaniu problemów naukowych. Szczególnie interesujące pola można znaleźć w problematyce infologii proponowanego modelu:

- rozwiązanie optymalizacyjne dróg dyslokacji sprzętu na pozycje bojowe przy zwiększeniu autonomiczności systemów radiolokacyjnych;
- uwzględnienie czynników lokalnych tzw. radiolokacyjna analiza terenu (urbanizacja, linie energetyczne itp) tj. uwzględnienie czynników, które mają wpływ w procesie kształtowania charakterystyk wykrywania RLS;
- rozbudowa części w zakresie symulacji komputerowej działania WRt, w warunkach stosowania zakłóceń radioelektronicznych z uwzględnieniem dynamiki zmian parametrów źródeł sygnałów zakłócających.

Kontrowersyjność rozwiązań, dążenia człowieka do doskonałości, wzrost możliwości (sprzętowych) w informatyce to podstawy, które powinny sprzyjać w prowadzeniu dalszych badań teoretycznych i praktycznych w proponowanych kierunkach.

Wykaz literatury

1. Antczak S. - Zastosowanie niektórych metod badań operacyjnych do oceny pola r-lok dla wykrywania obiektów powietrznych na małych wysokościach w brygadzie r-tech KOPK. Rozprawa doktorska ASG 1978.
2. Antczak S. Adamczyk A. - Określanie stref informacji radiolokacyjnej. ASG 1987.
3. Barton R. F. - Wprowadzenie do symulacji i gier. WNT W-wa 1974.
4. Bem D. J. - Systemy telekomunikacyjne. cz.III. Radiolokacja i radionawigacja. Politechnika Wrocławska W-w 1991.
5. Bem D. J. - Anteny i rozchodzenie się fal radiowych. WNT W-wa 1973.
6. Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej. W-wa 3/1993.
7. Bronszejn L. N. - Matematyka. Poradnik encyklopedyczny. PWN W-wa 1968.
8. Filar W. Barczak A. - Symulacja i gry komputerowe w zastosowaniach wojskowych W-wa 1985.
9. Findeisen W.(red). - Analiza systemowa. Podstawy i zastosowanie PWN W-wa 1985.
10. Fishman G. - Symulacja komputerowa. Pojęcia i metody. PWE W-wa 1981
11. Galecki A. - Zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych aktywnych środków WOPK przez brt podczas zwalczania celów powietrznych na małych wysokościach. Praca dyplomowa. WAT W-wa 1989.
12. Gordon G. - Symulacja systemów. WNT W-wa 1972.
13. Groszek - Metoda oceny możliwości bojowych systemu rozpoznania radioelektronicznego wojsk OPK z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Rozprawa doktorska ASG 1988.
14. Grzeszek E. - Problemy wykrywania i śledzenia obiektów (celów) powietrznych na małych wysokościach przez wojska radiotechniczne w warunkach PRL. Rozprawa doktorska ASG 1979.
15. Hellwig Z. - Elementy rachunku prawdopodobieństwa i stastyki matematycznej. PWN W-wa 1987.
16. Informator podstawowych wiadomości o sprzęcie radiolokacyjnym. cz II Album charakterystyk. DWOPK Jel. Góra 1983.
17. Informator sprzętu radiolokacji i automatyzacji. cz.I DWOPK W-wa 1984

18. Januszewicz J. - Podstawy taktyczno-techniczne metodyki tworzenia bazy danych na przykładzie systemu programowania lotów. Rozprawa doktorska AON W-wa 1992.
19. Kochanowski J. - Zabezpieczenie radiolokacyjne działań bojowych wojsk raketowych i lotnictwa myśliwskiego OPK podczas zwalczania celów powietrznych typu CRUISE. WOSR Jel. Góra 1985.
20. Kokot E. - Podstawy radiolokacji cz.II. W-wa 1968.
21. Kołodziński - Adekwatność modelu symulacyjnego w badaniach skuteczności działania systemu obrony powietrznej. Mysł Wojskowa 4/1982.
22. Konieczny J. - Inżynieria systemów działania. WNT W-wa 1983.
23. Kowalczyk L. pr. zesp. - Analiza możliwości wojsk radiotechnicznych w zakresie radiolokacyjnego zabezpieczenia działań bojowych aktywnych środków wojsk obrony powietrznej kraju w warunkach zakłóceń. WOSR J.Góra 1986.
24. Kroszczyński J. - Współczesne urządzenia radiolokacyjne. WKŁ W-wa 1976.
25. Kroszczyński J. - Współczesne systemy itd.
26. Leksykon wiedzy wojskowej. 1979.
27. Makowski P. - Rozwiązywanie współczesnych problemów nawigatorskich zabezpieczenia działań bojowych LM za pomocą programowania komputerowego. Rozprawa doktorska AON W-wa 1993.
28. Marcinkowski B. - Modelowanie procesów decyzyjnych prowadzenia rozpoznania zakłóceń radiolokacyjnych z wykorzystaniem z automatyzowanego systemu dowodzenia RUDNIA. Rozprawa doktorska. AON W-wa 1992.
10. Możliwości RLS WRt wojsk OPK w zakresie zwalczania zakłóceń radioelektronicznych i obrony przed pociskami kierowanymi. DWOPK.
29. Pagacz S. - Określanie realnych stref wykrywania stacji radiolokacyjnych bez wykonywania oblotu. Rprzprawa doktorska ASG W-wa 1980.
30. Pieter J. - Ogólna metodologia pracy naukowej. PAN 1967.
31. Podstawy taktyki WRt wojsk OPK. -skrypt ASG 1982.
32. Podstawy taktyki WRt wojsk OPK. skrypt ASG 1982.
33. Pr. zespołowa. - Metodyka wojskowych badań naukowych cz.II. Metody sformalizowane. ASG W-wa 1985.
34. Przegląd WLOP. 2/1993.

35. Putyra Cz. - Zabezpieczenie w informację o sytuacji powietrznej stanowisk dowodzenia szczebla taktycznego wojsk lotniczych i Obrony Powietrznej. Praca dyplomowa. AON W-wa 1992.
36. Radar and electronic warfare systems. Jane's Information Group. Fourth edition 1992-93.
37. Regulamin walki lotnictwa myśliwskiego OPK. Pułk - Załoga. DWOPK W-wa 1982.
38. Regulamin walki Wojsk Rakietowych OPK. W-wa 1980.
39. Regulamin działań bojowych wojsk radiotechnicznych wojsk obrony powietrznej kraju (brygada-kompania). W-wa DWOPK 1980.
40. Rokosz J.- Zastosowanie symulacji komputerowej do modelowania radiolokacyjnej strefy informacji. mat. konf. nauk. WOSR. 1993.
41. Różycki J. - Kartografia matematyczna. PWN W-wa 1978.
42. Sienkiewicz P. - Inżynieria systemów kierowania. PWE W-wa 1988.
43. Sienkiewicz P. - Systemy kierowania. Wiedza Powszechna W-wa 1989.
44. Skolnik M. - Sprawocznik po radiolokacji. Tom 1 i 2. Moskwa 1976.
45. Środki walki radioelektronicznej przeciwnika oraz ich w pływ na działalność bojową wojsk OPK. DWOPK W-wa 1989.
46. Taktyka Wojsk Radiotechnicznych Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej. WOSR 1993.
47. Taktyka WRt. DWOPK W-wa
48. Technika radiolokacji. DWOPK W-wa MON 1972.
49. Tolkacz M. - Analiza wpływu zakłóceń radioelektronicznych na możliwości rozpoznawcze systemu radiolokacyjnego z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Rozprawa doktorska ASG W-wa 1987.
50. Topograficzne opracowanie pozycji posterunków radiolokacyjnych OPK i obloty stacji radiolokacyjnych.
51. Wakin S. A. Szustow L. N. - Zasady przeciwdziałania radioelektronicznego. MON W-wa 1972.
52. Werner P. - Wprowadzenie do geograficznych systemów informacyjnych. Uniwersytet Warszawski W-wa 1992.
53. Wiśniewski E. - Metodyka wojskowych badań naukowych. cz. I zeszyt 3 ASG W-wa 1990.
54. Zabłocki E. Antczak S. - Ocena efektywności działań bojowych WOPK. Rozprawa habilitacyjna ASG 1985.

55. Zwalczanie celów powietrznych na małych n/wysokościach. MON 1970.
56. Rokosz J. - Model symulacyjny strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt. Materiały II konferencji naukowej. Modelowanie zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Jelenia Góra 1994.
57. Rokosz J. - Symulacja komputerowa strefy rozpoznania radiolokacyjnego. Materiały II konferencji naukowej. Modelowanie zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Jelenia Góra 1994.

ZAŁĄCZNIKI. cz.I.

Załączniki cz.I.

1. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia - Justyna -82.....	3
1.1. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Justyna -L.....	4
1.2. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Anna-2.....	5
1.3. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Bożena.....	6
1.4. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Daniela.....	7
1.5. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Zofia.....	8
1.6. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Laura.....	9
1.7. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Dorota.....	10
1.8. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Karolina.....	11
1.9. Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia -Ewa.....	12
2. Strefa zakłócenia RLS przez zakłócenia czynne i aproksymowana ch - ka kierunkowa RLS.....	13
3. Wpływ mocy urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla małych wysokości.....	14
3.1. Wpływ mocy urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla różnych wartości wysokości zawieszenia anteny.....	15
3.2. Wpływ mocy urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla różnych wartości powierzchni skutecznej odbicia	16
3.3. Wpływ zysku kierunkowego urządzenia antenowego na odległość wykrycia dla małych wysokości.....	17
3.4. Wpływ powierzchni skutecznej obiektu powietrznego na odległość wykrycia dla małych wysokości.....	18
3.5. Wpływ długości fali urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla małych wysokości.....	19
3.6. Wpływ czułości urządzenia odbiorczego na odległość wykrycia dla małych wysokości.....	20
3.7. Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg dla różnych wartości wysokości zawieszenia anteny.....	21
3.8. Wpływ wysokości zawieszenia anteny na zasięg wykrywania na małych wysokościach dla różnych wartości wysokości strefy wykrywania.....	22

3.9. Wpływ wysokości zawieszenia anteny na zasięg geometryczny dla różnych wartości wysokości strefy wykrywania.....	23
3.10. Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg geometryczny dla różnych wartości wysokości zawieszenia anteny.....	24
4. Analiza zasięgu geometrycznego do zasięgu w swobodnej przestrzeni dla małych wysokości.....	25
5. Wpływ zasięgu geometrycznego na wartość poprawki na krzywiznę ziemi.....	26
6. Wpływ przedmiotów terenowych na strefę wykrywania dla małych wysokości.....	27
7. Algorytm programu [STREFA] do modelowania strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt.....	28
8. Wydruki wyników symulacji komputerowej.....	35
8.1. Strefy wykrywania wg wariantu I.....	36
8.2. Strefy wykrywania wg wariantu II.....	37
8.3. Strefy wykrywania dla różnych wysokości.....	38
8.4. Współczynnik przekrycia.....	39
8.5. Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg RLS.....	40
8.6. Wpływ wysokości zawieszenia anteny na zasięg RLS.....	41
9. Wydruk wynikowy programu [WOJSKA LOTNICZE].....	42
9.1. Interpretacja graficzna PRIR podczas ataku z przedniej półsfery.....	43
9.2. Interpretacja graficzna PRIR podczas ataku z tylnej półsfery.....	44
9.3. Interpretacja graficzna PRIR przy działaniu LM ze strefy dyzurowania.....	45
10. Potrzebna rubież informacji radiolokacyjnej dla różnych zestawów raketowych.....	46
11. Wydruk wynikowy programu [WOJSKA RAKIETOWE].....	47

Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (JUSTYNA 82).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 440 \cdot kW \quad t_i := 10 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G := 3500 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1.7$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(D_s, z) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot m \cdot m \quad \sigma_2 := 1 \cdot m \cdot m \quad \sigma_3 := 2 \cdot m \cdot m \quad \sigma_4 := 10 \cdot m \cdot m$$

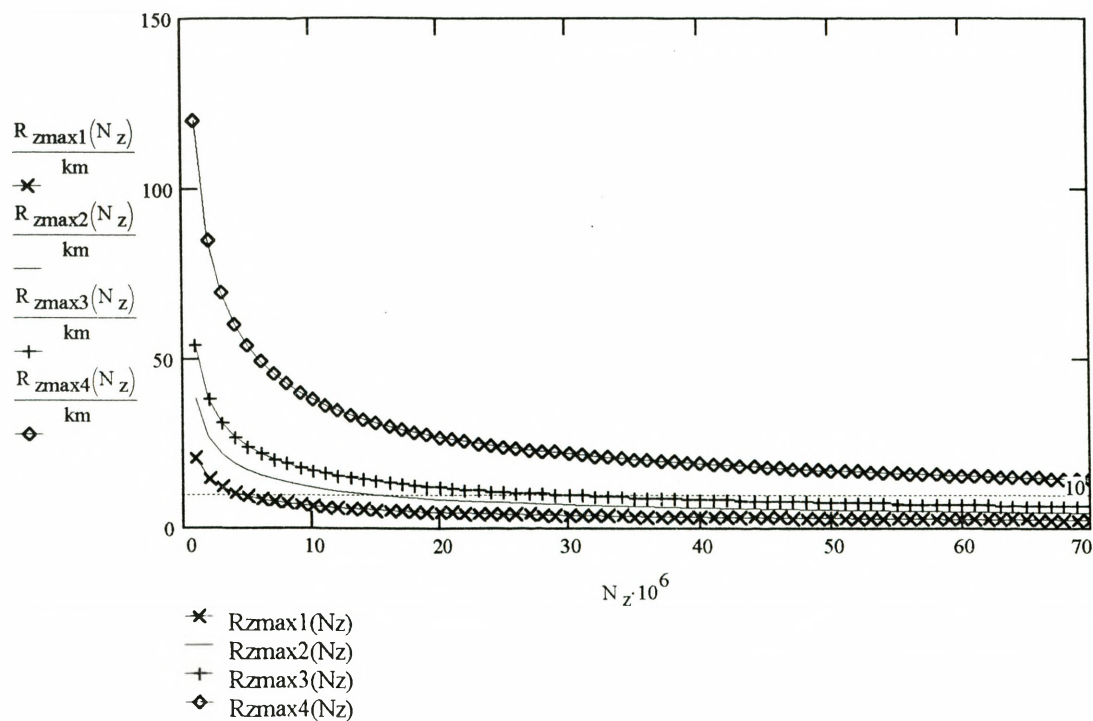
$$N_z := 1 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec} \cdot 1 \cdot 10^6}, 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec} \cdot 1 \cdot 10^6}, \dots, 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec} \cdot 1 \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (JUSTYNA-L).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 2500 \cdot kW \quad t_i := 5 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G = 2500 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1.7$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(Ds.z) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot m \cdot m \quad \sigma_2 := 1 \cdot m \cdot m \quad \sigma_3 := 2 \cdot m \cdot m \quad \sigma_4 := 10 \cdot m \cdot m$$

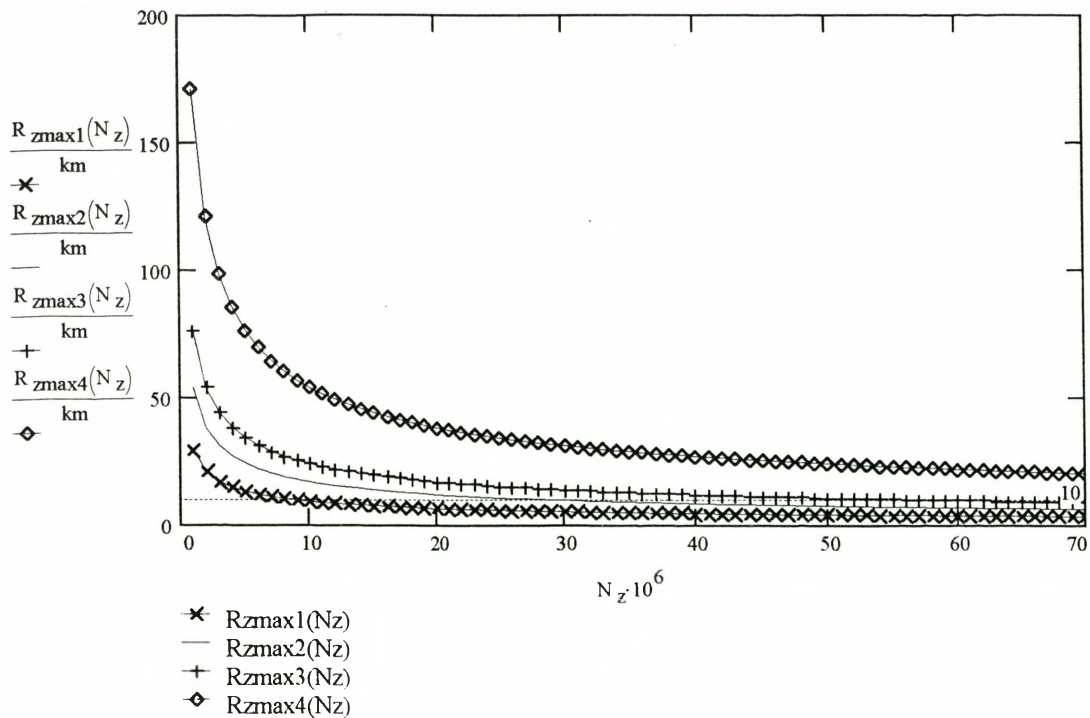
$$N_z := 1 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}, 2 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}, \dots, 70 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (ANNA-2).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 700 \cdot kW \quad t_i := 2.7 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G := 10000 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(D_{s,z})=f(N_z)$ dla σ =parametr

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot m \cdot m \quad \sigma_2 := 1 \cdot m \cdot m \quad \sigma_3 := 2 \cdot m \cdot m \quad \sigma_4 := 10 \cdot m \cdot m$$

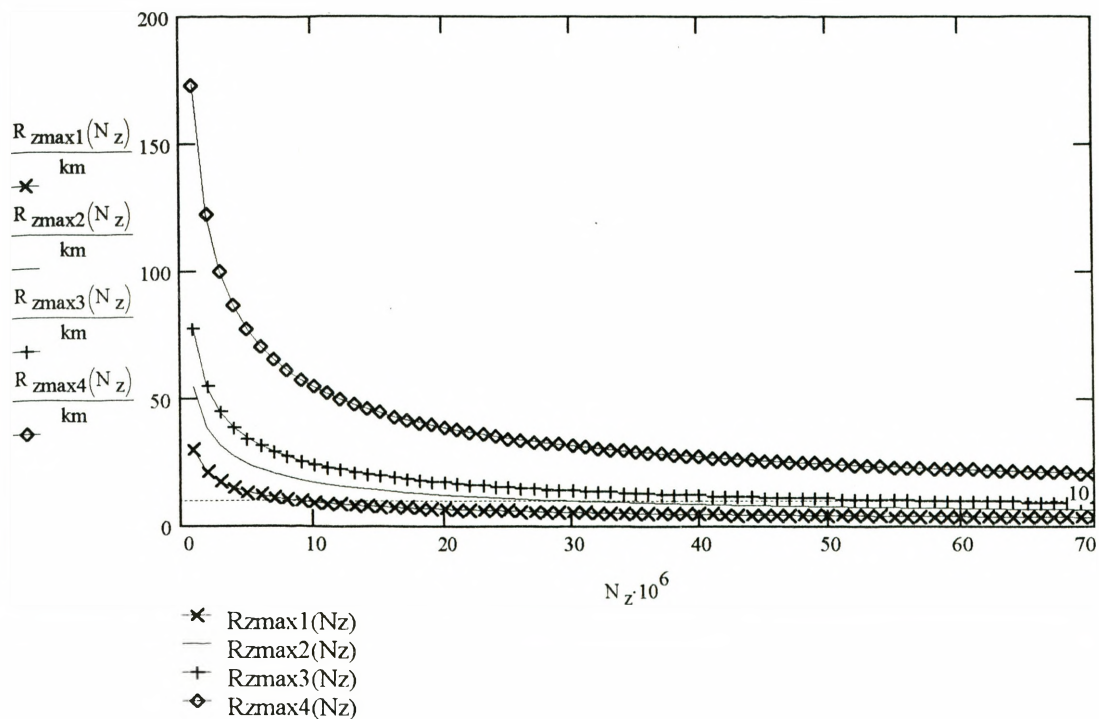
$$N_z := 1 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}, 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \dots 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (BOŻENA).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 440 \cdot kW \quad t_i := 10 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G := 7400 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1.7$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(Ds_z) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot m \cdot m \quad \sigma_2 := 1 \cdot m \cdot m \quad \sigma_3 := 2 \cdot m \cdot m \quad \sigma_4 := 10 \cdot m \cdot m$$

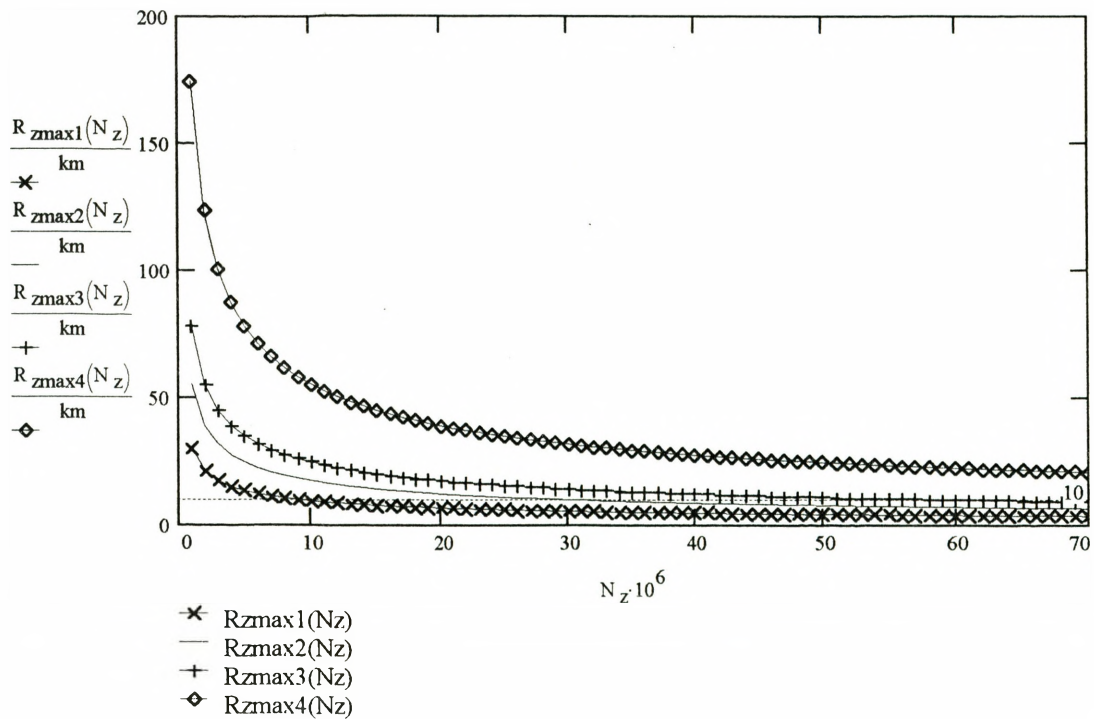
$$N_z := 1 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (DANIELA).

Dane do obliczeń

$$\text{kW} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$\text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 700 \cdot \text{kW} \quad t_i := 2.4 \cdot 10^6 \cdot \text{sec} \quad G := 7000 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1.7$$

Wyznaczenie zależności $R_{z\max}(D_{s,z}) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_2 := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_3 := 2 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_4 := 10 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

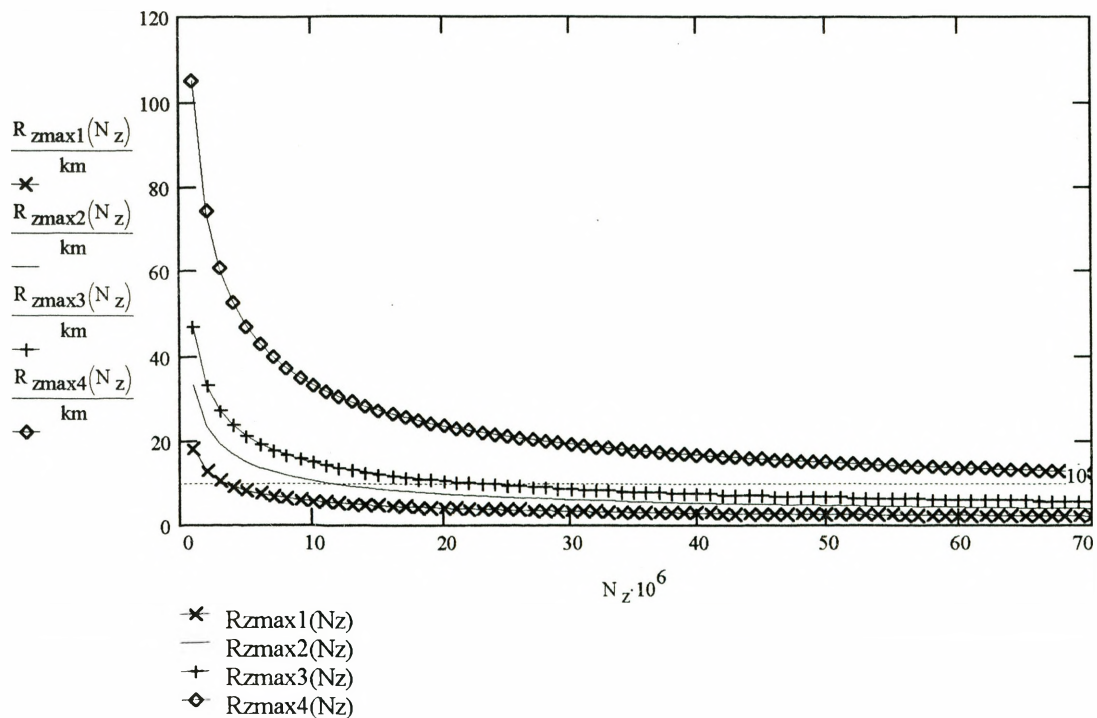
$$N_z := 1 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}, 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}, \dots, 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{z\max 1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (ZOFIA-4).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 1350 \cdot kW \quad t_i := 3 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G := 17000 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1.7$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(D_{s,z}) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_2 := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_3 := 2 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_4 := 10 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

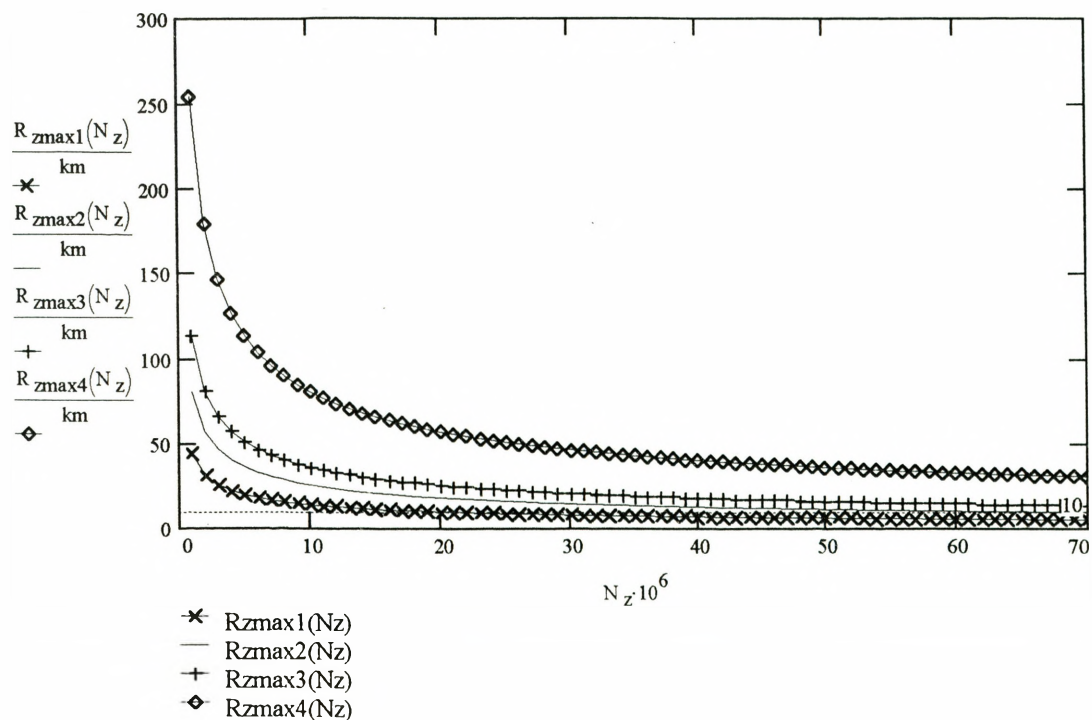
$$N_z := 1 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (LAURA).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i = 180 \cdot kW \quad t_i = 6 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G = 167 \quad k_z = 0.5 \quad q_o = 1.7$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(D_{s,z}) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 = 0.3 \cdot m \cdot m \quad \sigma_2 = 1 \cdot m \cdot m \quad \sigma_3 = 2 \cdot m \cdot m \quad \sigma_4 = 10 \cdot m \cdot m$$

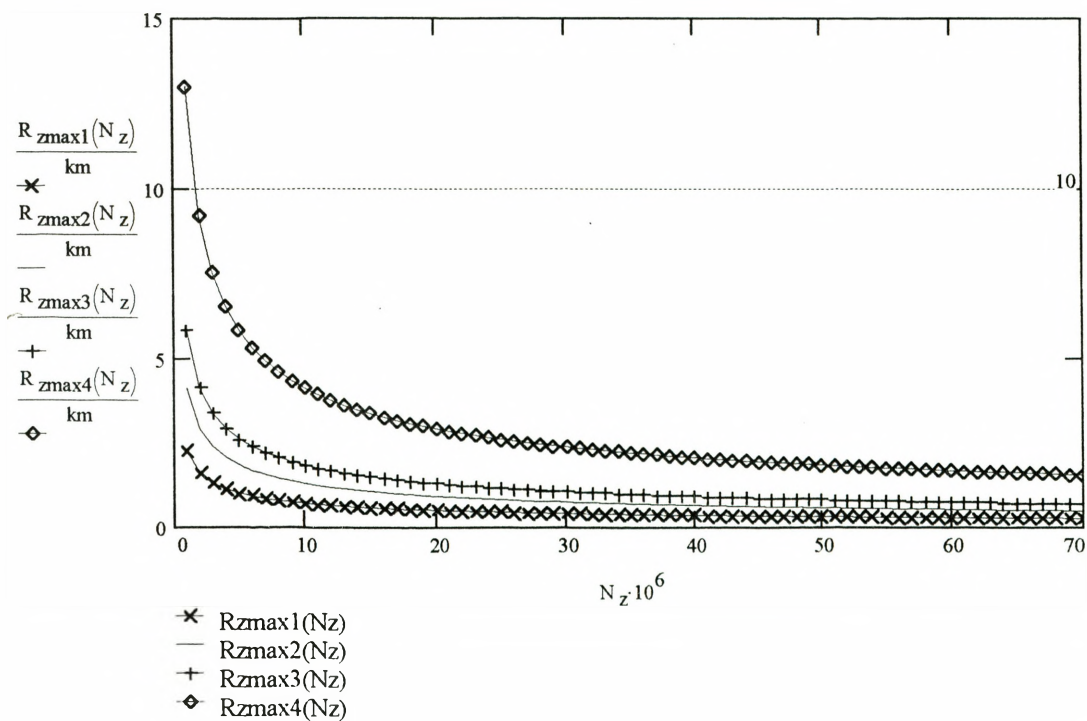
$$N_z = 1 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} + 2 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} + 70 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) = \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) = \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) = \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) = \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (DOROTA).

Dane do obliczeń

$$\text{kW} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$\text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 600 \cdot \text{kW} \quad t_i := 10 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G := 1800 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 1.9$$

Wyznaczenie zależności $R_{z\max}(D_s, z) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_2 := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_3 := 2 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_4 := 10 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

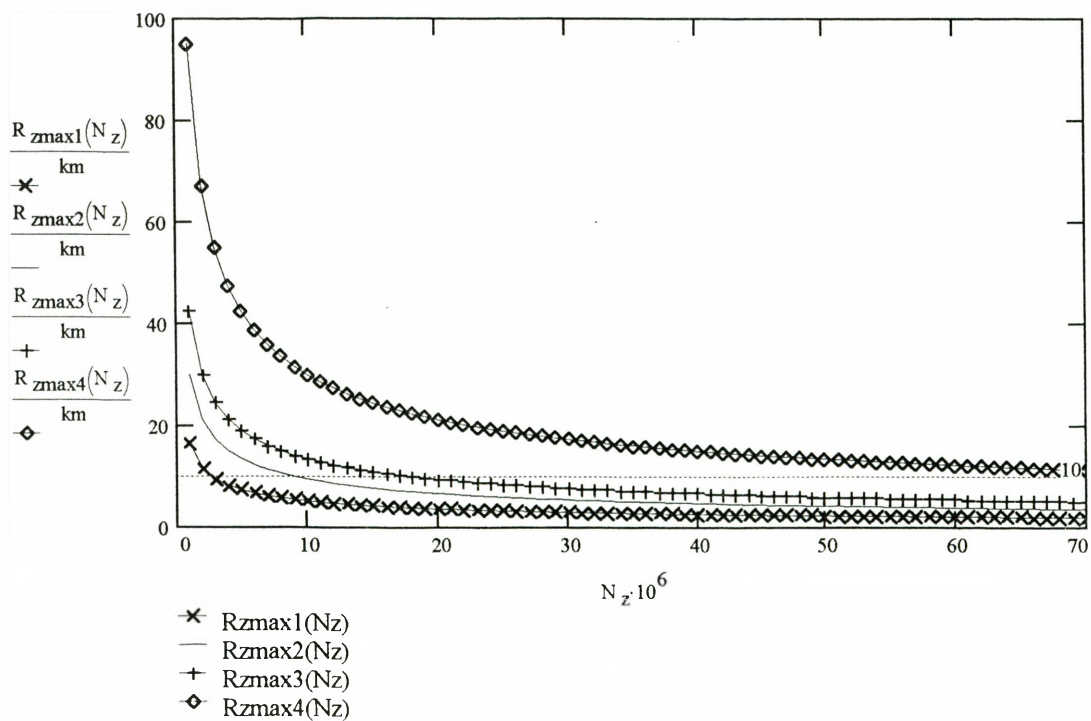
$$N_z = 1 \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

$$R_{z\max 1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (KAROLINA).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i := 2200 \cdot kW \quad t_i := 5 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G := 20000 \quad k_z := 0.5 \quad q_o := 2.2$$

Wyznaczenie zależności $R_{zmax}(Ds.z) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 := 0.3 \cdot m \cdot m \quad \sigma_2 := 1 \cdot m \cdot m \quad \sigma_3 := 2 \cdot m \cdot m \quad \sigma_4 := 10 \cdot m \cdot m$$

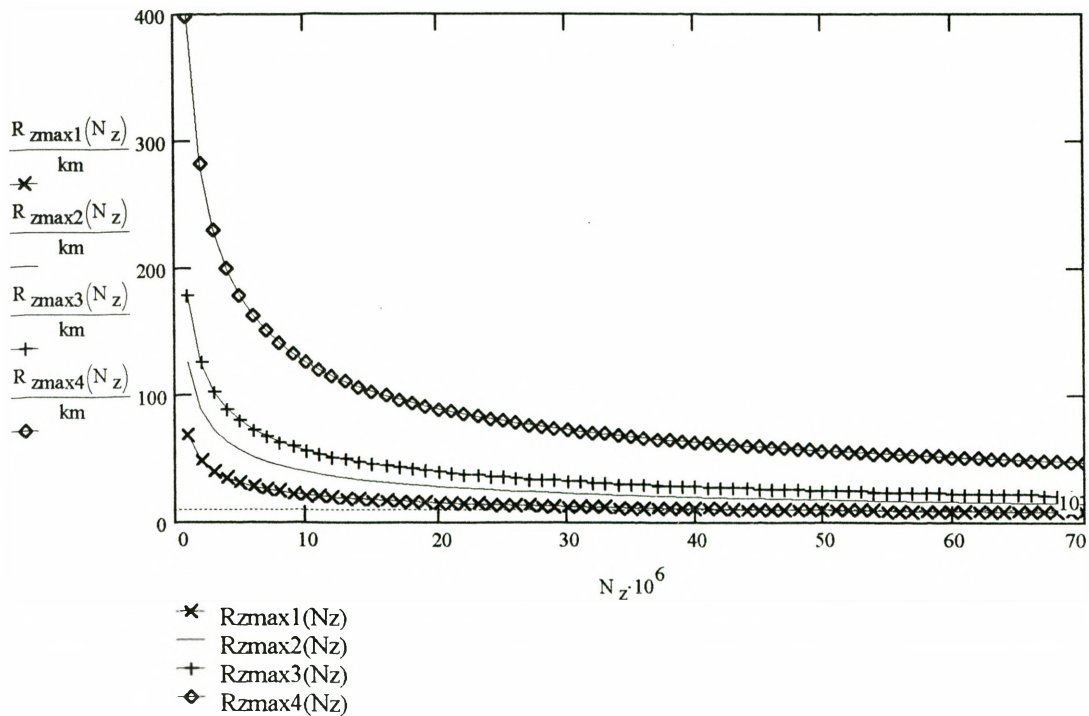
$$N_z := 1 \frac{\text{watt}}{\text{sec} \cdot 10^6}, 2 \frac{\text{watt}}{\text{sec} \cdot 10^6}, 70 \frac{\text{watt}}{\text{sec} \cdot 10^6}$$

$$R_{zmax1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{zmax4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



Wpływ sygnałów zakłócających na odległość wykrycia (EWA).

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$\text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$P_i = 700 \cdot \text{kW} \quad t_i = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \text{sec} \quad G = 1800 \quad k_z = 0.5 \quad q_o = 1.9$$

Wyznaczenie zależności $R_{z\max}(D_{s,z}) = f(N_z)$ dla $\sigma = \text{parametr}$

$$\sigma_1 = 0.3 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_2 = 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_3 = 2 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_4 = 10 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

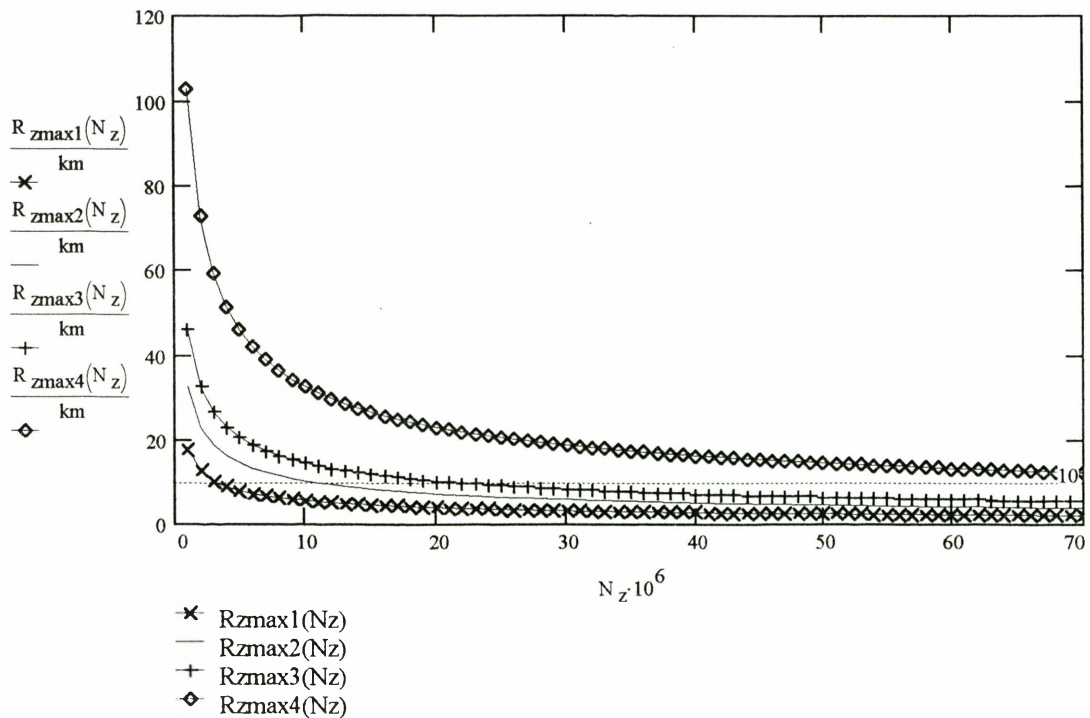
$$N_z = 1 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 2 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6} \cdot 70 \cdot \frac{\text{watt}}{\text{sec}^{-1} \cdot 10^6}$$

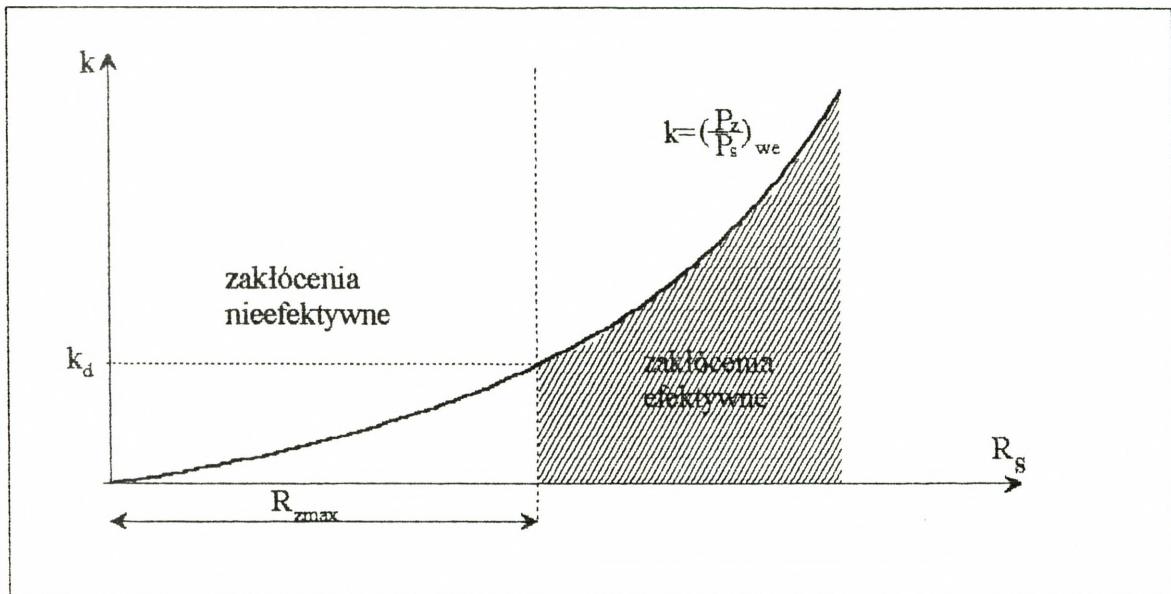
$$R_{z\max 1}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_1}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 2}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_2}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 3}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_3}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$

$$R_{z\max 4}(N_z) := \sqrt{\frac{P_i \cdot t_i \cdot G \cdot \sigma_4}{4 \cdot \pi \cdot k_z \cdot q_o \cdot N_z}}$$



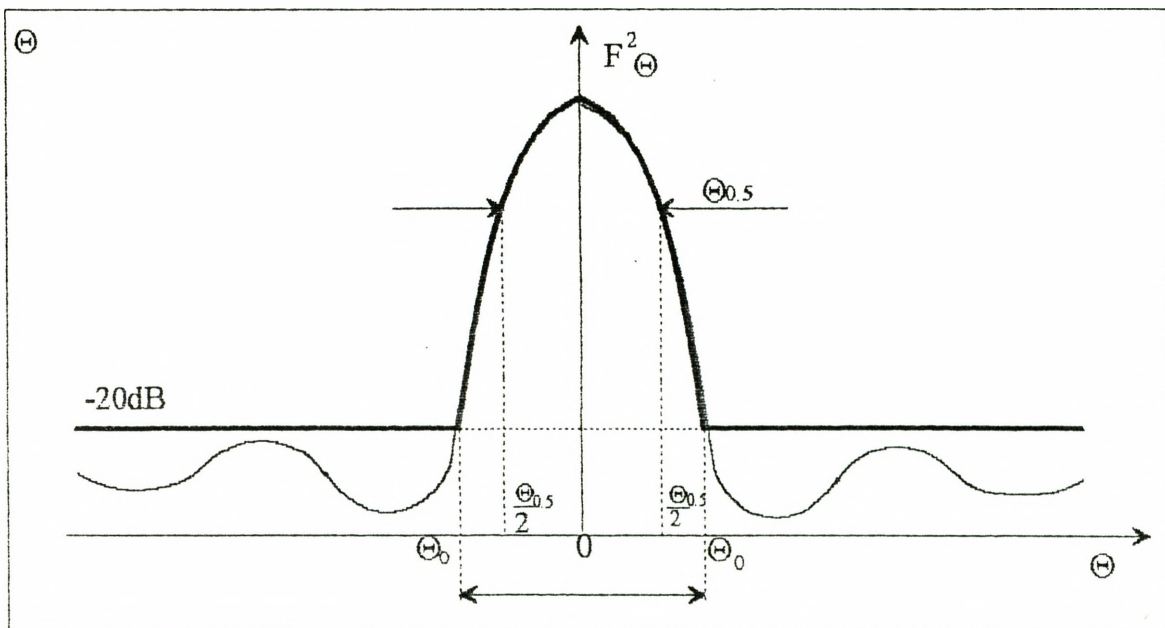


R_{zmax} - odległość maskowanego samolotu

k_d - współczynnik degradacji

Rys. 1. Strefa zakłócenia RLS przez zakłócenia czynne.

Źródło [51].



Rys.2. Aproxymowana ch-ka kierunkowa RLS

Źródło [49]str.67.

Wpływ mocy urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

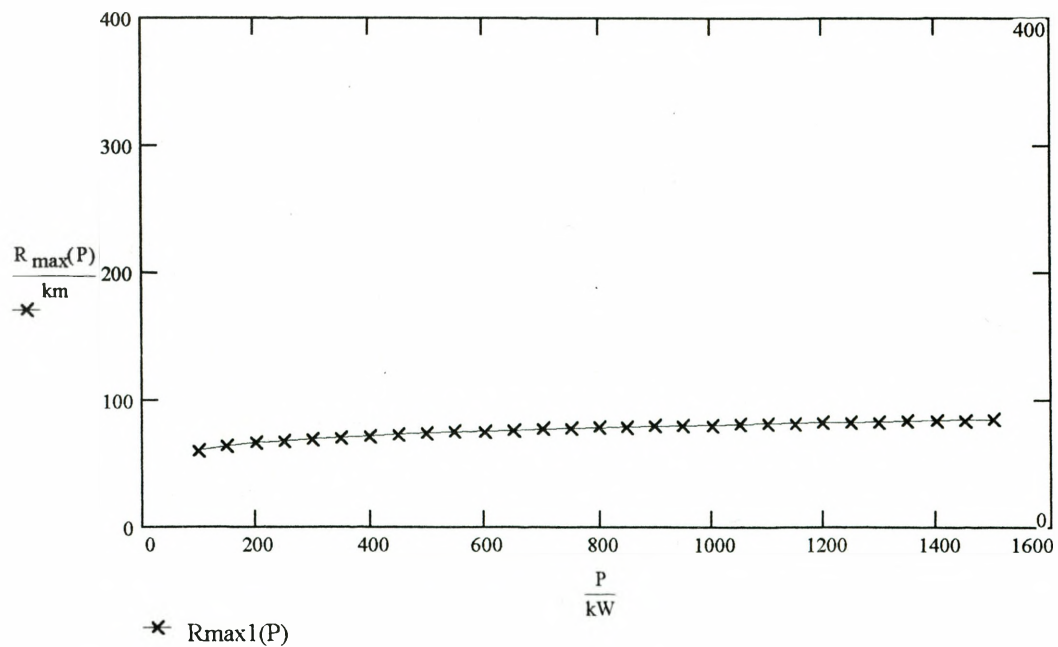
$$kW = 1 \cdot kW \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$G := 3000 \quad \lambda := 0.23 \cdot m \quad P_{\text{prog}} := 5 \cdot 10^{-13} \cdot \text{watt} \quad h := 4 \cdot m \quad H := 200 \cdot m \quad \sigma := 1 \cdot m \cdot m$$

Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}} = f(P)$

$$P := 100 \cdot kW, 150 \cdot kW .. 1500 \cdot kW$$

$$R_{\text{max}}(P) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ mocy urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla różnych wartości wysokości zawieszenia anteny.

Dane do obliczeń

$$\text{kW} = 1 \cdot \text{kW} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$G = 3000 \quad \lambda = 0.23 \cdot \text{m} \quad P_{\text{prog}} = 5 \cdot 10^{-13} \cdot \text{watt} \quad \sigma = 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad H = 300 \cdot \text{m}$$

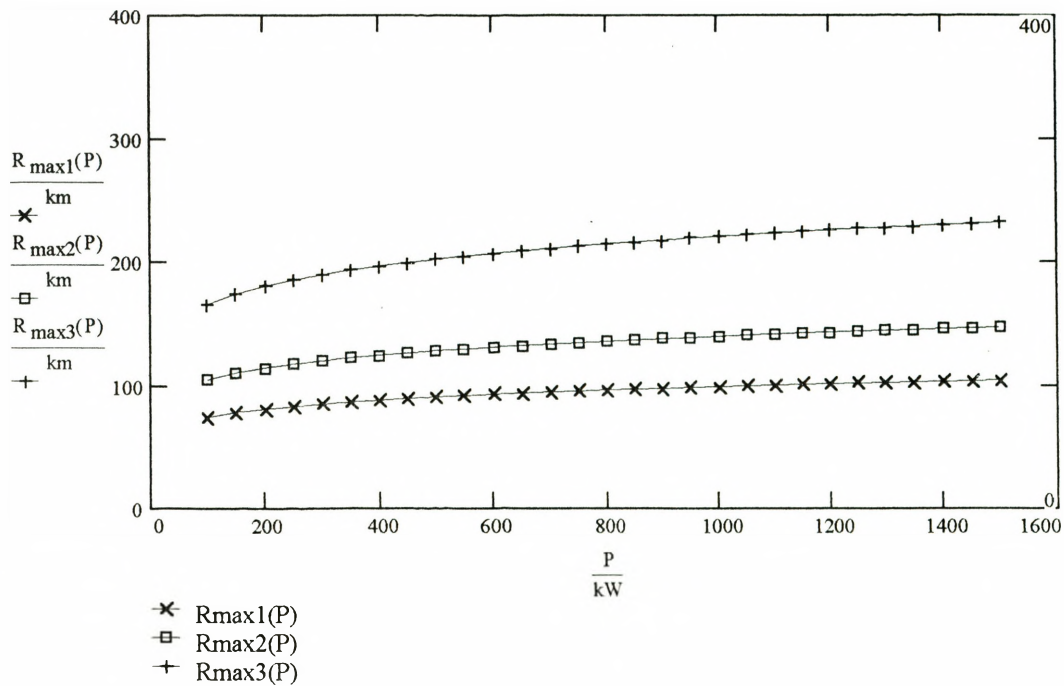
Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}}=f(P)$ dla $h=$ parametr

$$h_1 = 4 \cdot \text{m} \quad h_2 = 8 \cdot \text{m} \quad h_3 = 20 \cdot \text{m}$$

$$P = 100 \cdot \text{kW}, 150 \cdot \text{kW}.. 1500 \cdot \text{kW}$$

$$R_{\text{max1}}(P) = \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h_1 \cdot H}{\lambda}} \quad R_{\text{max2}}(P) = \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h_2 \cdot H}{\lambda}}$$

$$R_{\text{max3}}(P) = \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h_3 \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ mocy urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla różnych wartości powierzchni skutecznej odbicia obiektu powietrznego.

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot kW \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$G = 3000 \quad \lambda = 0.23 \cdot \text{m} \quad P_{\text{prog}} = 5 \cdot 10^{13} \cdot \text{watt} \quad h = 4 \cdot \text{m} \quad H = 200 \cdot \text{m}$$

Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}}=f(P)$ dla σ parametr

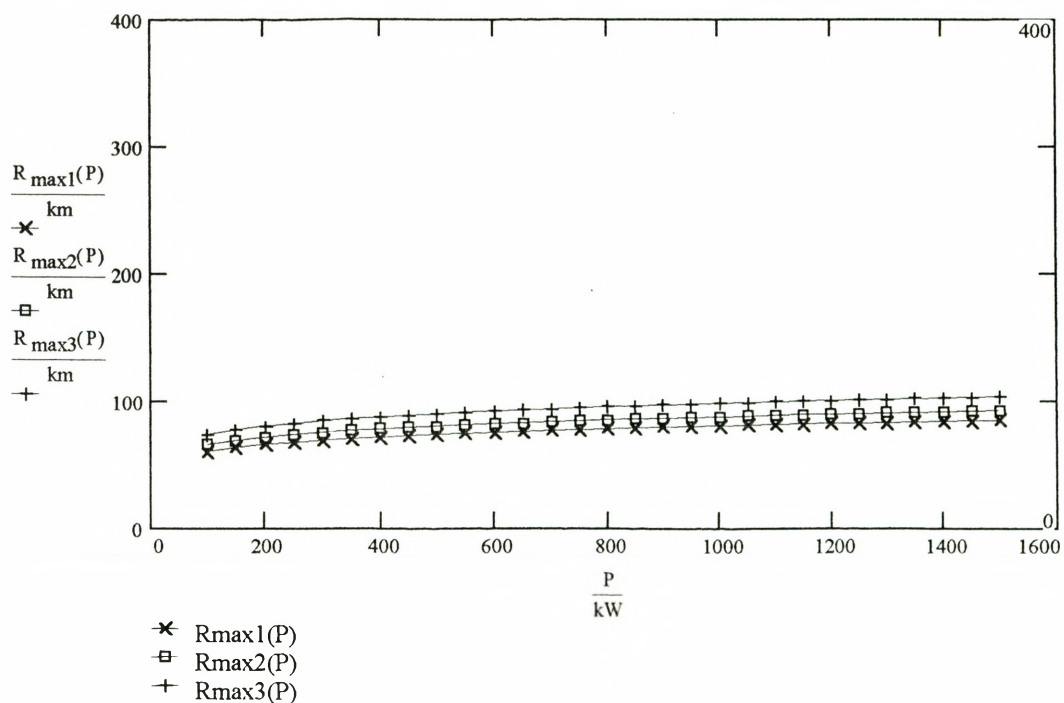
$$\sigma_1 = 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_2 = 2 \cdot \text{m} \cdot \text{m} \quad \sigma_3 = 5 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

$$P = 100 \cdot \text{kW}, 150 \cdot \text{kW}.. 1500 \cdot \text{kW}$$

$$R_{\text{max1}}(P) = \left[\frac{P \cdot \sigma_1 \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$

$$R_{\text{max2}}(P) = \left[\frac{P \cdot \sigma_2 \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$

$$R_{\text{max3}}(P) = \left[\frac{P \cdot \sigma_3 \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ zysku kierunkowego urządzenia antenowego na odległość wykrycia dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

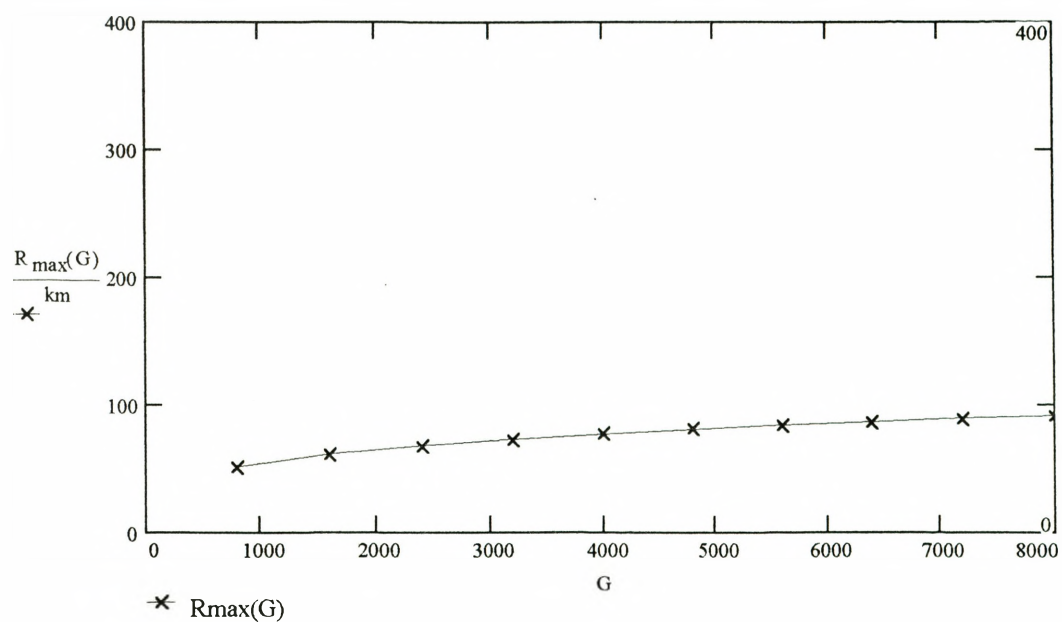
$$kW = 1 \cdot kW \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$P := 400000 \cdot \text{watt} \quad \lambda := 0.23 \cdot \text{m} \quad P_{\text{prog}} := 5 \cdot 10^{-13} \cdot \text{watt} \quad h := 4 \cdot \text{m} \quad H := 200 \cdot \text{m} \quad \sigma := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}} = f(G)$

$$G = 800, 1600 \dots 8000$$

$$R_{\text{max}}(G) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ powierzchni skutecznej odbicia obiektu powietrznego na odległość wykrycia dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

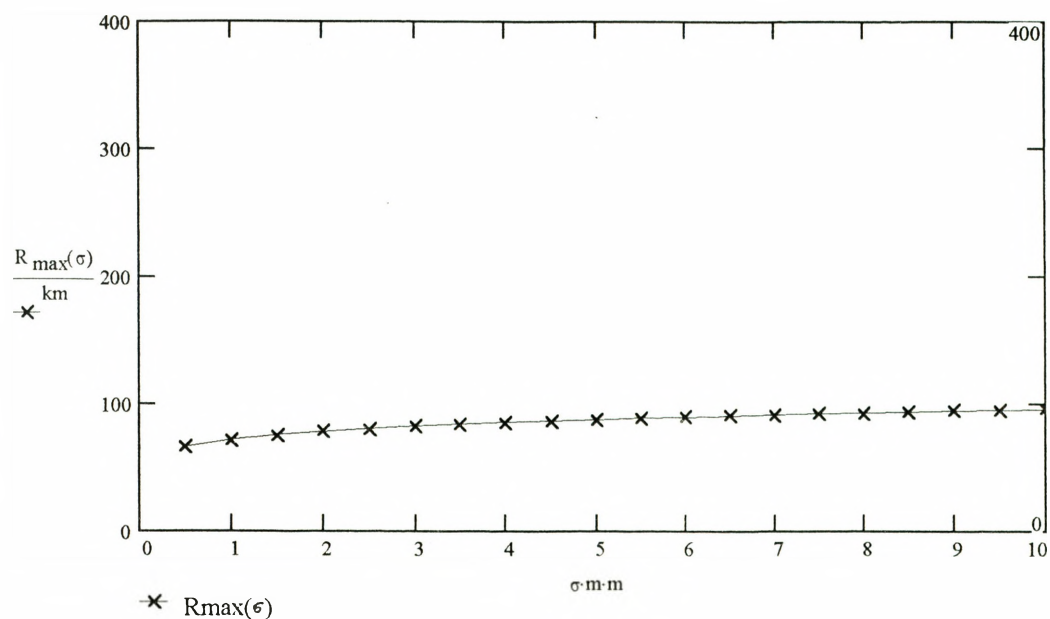
$$\text{kW} = 1 \cdot \text{kW} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$P := 400000 \cdot \text{watt} \quad G := 3000 \quad \lambda := 0.23 \cdot \text{m} \quad P_{\text{prog}} := 5 \cdot 10^{-13} \cdot \text{watt} \quad h := 4 \cdot \text{m} \quad H := 200 \cdot \text{m}$$

Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}} = f(\sigma)$

$$\sigma := 0.5 \cdot \text{m} \cdot \text{m}, 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m}.. 10 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

$$R_{\text{max}}(\sigma) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ długości fali urządzenia nadawczego na odległość wykrycia dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

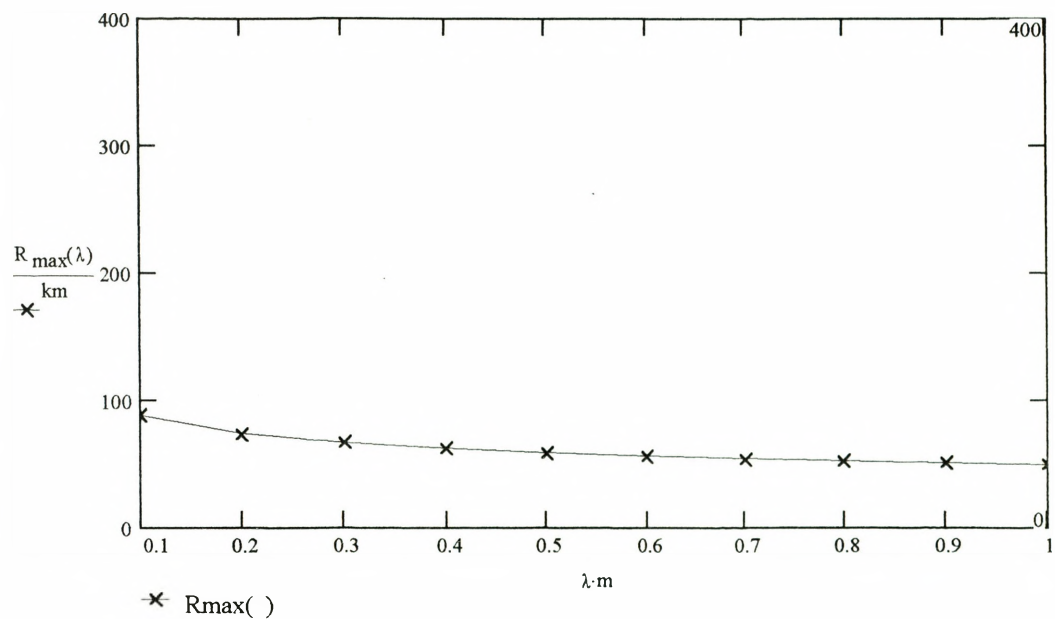
$$kW = 1 \cdot kW \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{km} = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad \text{m} = 1 \cdot \text{length}$$

$$P := 400000 \cdot \text{watt} \quad G := 3000 \quad P_{\text{prog}} := 5 \cdot 10^{-13} \cdot \text{watt} \quad h := 4 \cdot \text{m} \quad H := 200 \cdot \text{m} \quad \sigma := 1 \cdot \text{m} \cdot \text{m}$$

Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}} = f(\lambda)$

$$\lambda := 0.1 \cdot \text{m}, 0.2 \cdot \text{m} \dots 1 \cdot \text{m}$$

$$R_{\text{max}}(\lambda) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ czułości urządzenia odbiorczego na odległość wykrycia dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

kW = 1 · kW watt = 1 · mass · length² · time⁻³

km = 1 · 10³ · length m = 1 · length

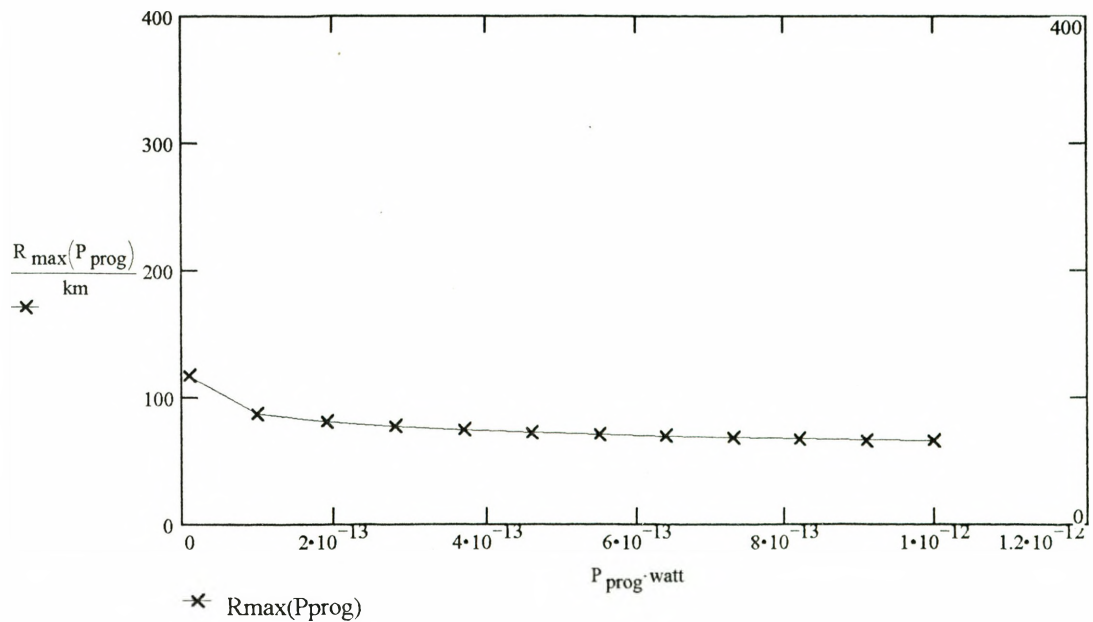
P := 400000 · watt G := 3000 λ := 0.23 · m

h := 4 · m H := 200 · m σ := 1 · m · m

Wyznaczenie zależności R_{max} = f(P_{prog})

P_{prog} := 1 · 10⁻¹⁴ · watt, 10 · 10⁻¹⁴ · watt .. 100 · 10⁻¹⁴ · watt

$$R_{\max}(P_{\text{prog}}) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg dla różnych wartości wysokości zawieszenia anteny.

Dane do obliczeń

$$P := 400 \text{ kW} \quad \lambda := 0.23 \text{ m} \quad P_{\text{prog}} := 5 \cdot 10^{-13} \quad \sigma := 1 \text{ m} \cdot \text{m}$$

$$G := 3000$$

Wyznaczenie zależności $R_{\text{max}}=f(H)$ dla h = parametr

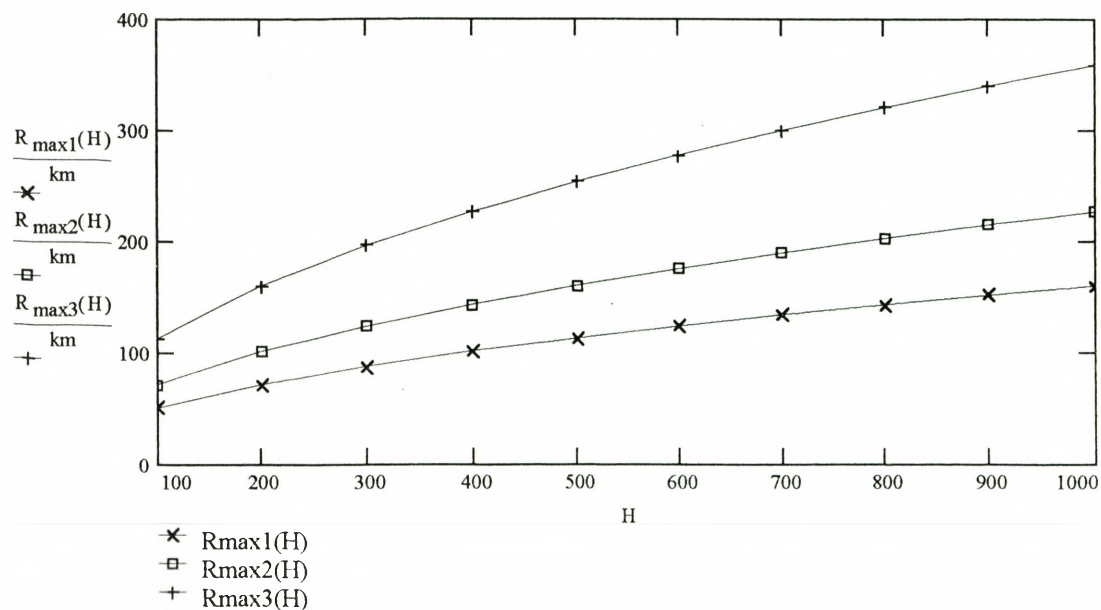
$$h_1 := 4 \text{ m} \quad h_2 := 8 \text{ m} \quad h_3 := 20 \text{ m}$$

$$H := 100 \text{ m}, 200 \text{ m}.. 1000 \text{ m}$$

$$R_{\text{max1}}(H) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h_1 \cdot H}{\lambda}}$$

$$R_{\text{max2}}(H) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h_2 \cdot H}{\lambda}}$$

$$R_{\text{max3}}(H) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{\text{prog}} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h_3 \cdot H}{\lambda}}$$



Wpływ wysokości zawieszenia anteny na zasięg wykrywania na małych wysokościach dla różnych wartości wysokości strefy wykrywania.

$kW = 1 \cdot kW$

$km = 1 \cdot km$

$m = 1 \cdot m$

Dane do obliczeń

$P := 400 \cdot kW$
 $G := 3000$

$\lambda := 0.23 \cdot m$

$P_{prog} := 5 \cdot 10^{-13}$

$\sigma := 1 \cdot m \cdot m$

Wyznaczenie zależności $R_{max} = f(h_a)$ dla $H =$ parametr

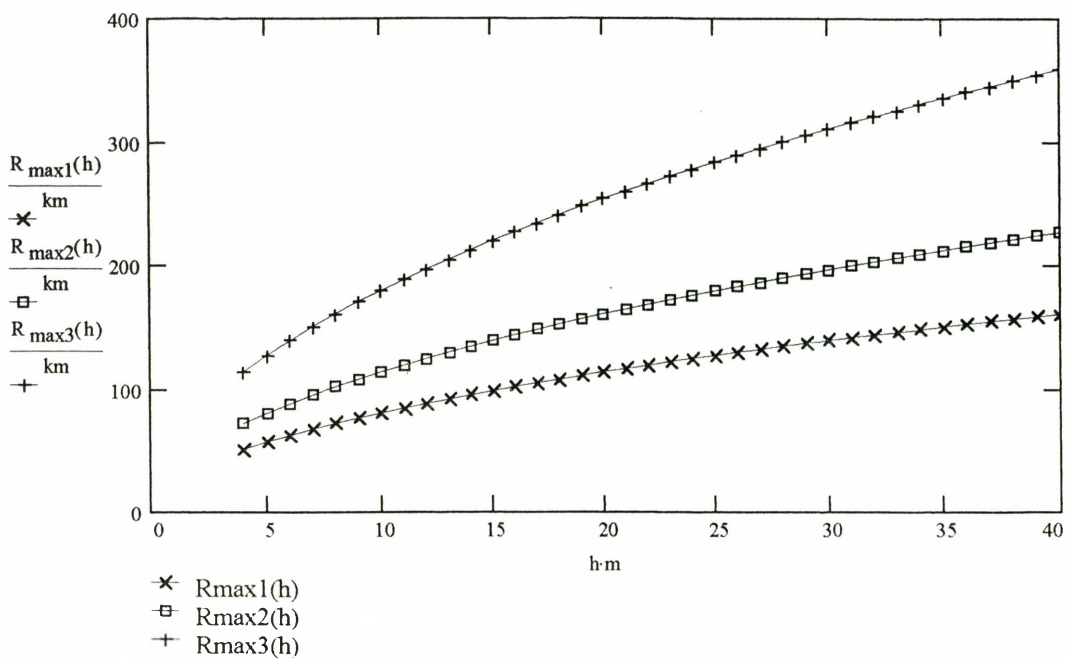
$H_1 := 100 \cdot m$ $H_2 := 200 \cdot m$ $H_3 := 500 \cdot m$

$h := 4 \cdot m .. 40 \cdot m$

$$R_{max1}(h) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{prog} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H_1}{\lambda}}$$

$$R_{max2}(h) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{prog} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H_2}{\lambda}}$$

$$R_{max3}(h) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{prog} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H_3}{\lambda}}$$



Wpływ wysokości zawieszenia anteny na zasięg geometryczny dla różnych wartości wysokości strefy wykrywania.

Dane do obliczeń

$$k_{\text{whr}} = 1$$

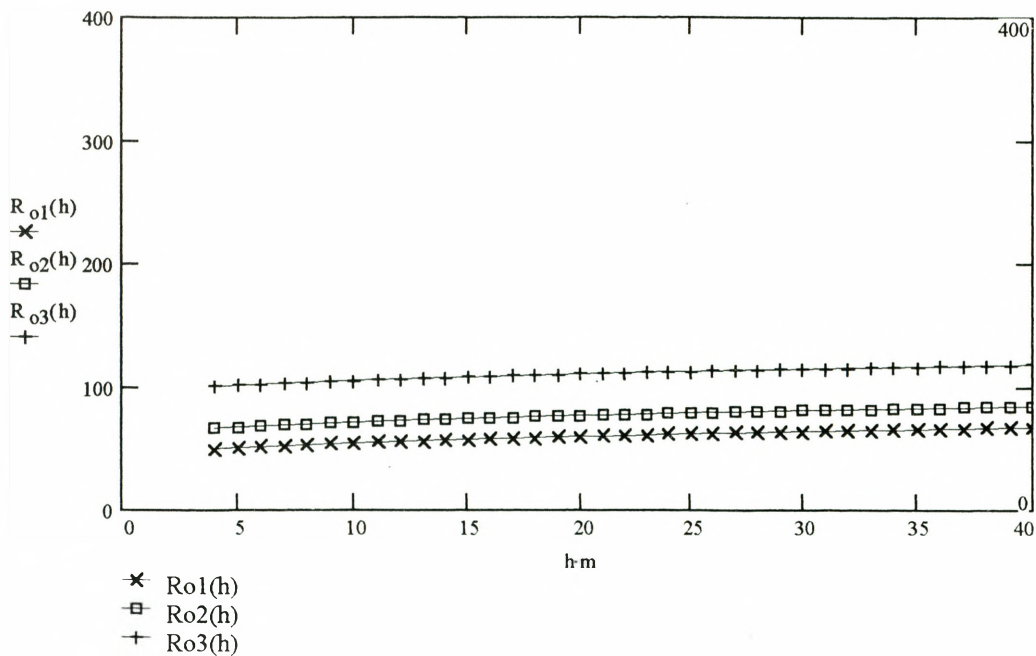
Wyznaczenie zależności $R_O=f(h_a)$ dla $H=$ parametr

$$H_1 := 100 \quad H_2 := 200 \quad H_3 := 500$$

$$h := 4..40$$

$$R_{o1}(h) := 4.12 \cdot k_{\text{whr}} \cdot \left(\sqrt{h} + \sqrt{H_1} \right) \quad R_{o2}(h) := 4.12 \cdot k_{\text{whr}} \cdot \left(\sqrt{h} + \sqrt{H_2} \right)$$

$$R_{o3}(h) := 4.12 \cdot k_{\text{whr}} \cdot \left(\sqrt{h} + \sqrt{H_3} \right)$$



Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg geometryczny dla różnych wartości wysokości zawieszenia anteny.

Dane do obliczeń

$$k_{\text{whr}} := 1.00$$

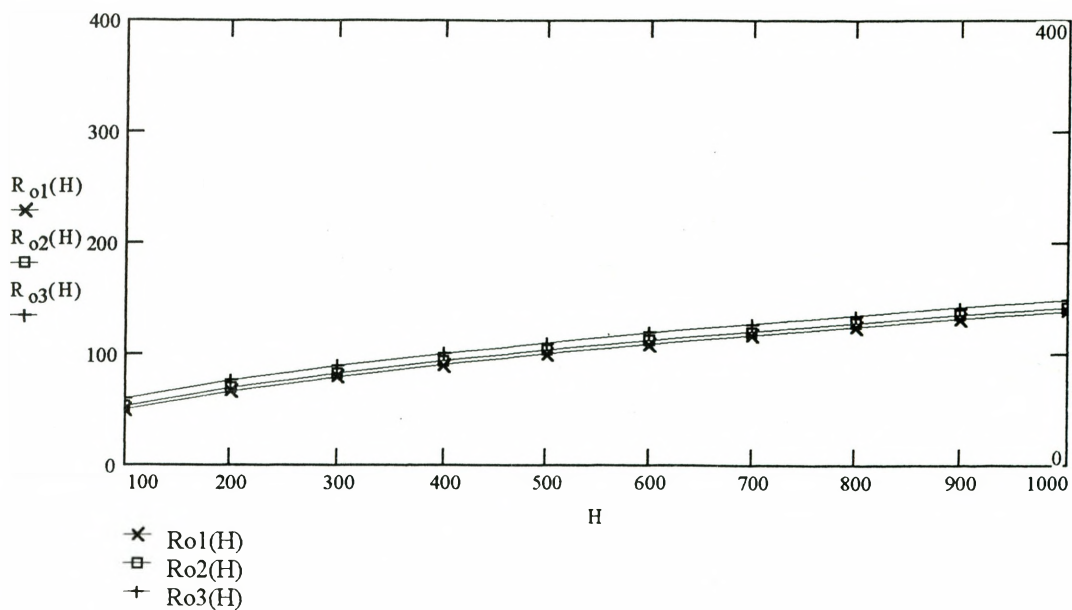
Wyznaczanie zależności $R_o=f(H)$ dla $h=$ parametr

$$h_1 := 4 \quad h_2 := 8 \quad h_3 := 20$$

$$H := 100, 200 \dots 1000$$

$$R_{o1}(H) := 4.12 \cdot k_{\text{whr}} \cdot \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{H} \right) \quad R_{o2}(H) := 4.12 \cdot k_{\text{whr}} \cdot \left(\sqrt{h_2} + \sqrt{H} \right)$$

$$R_{o3}(H) := 4.12 \cdot k_{\text{whr}} \cdot \left(\sqrt{h_3} + \sqrt{H} \right)$$



Analiza zasięgu geometrycznego do zasięgu w swobodnej przestrzeni dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

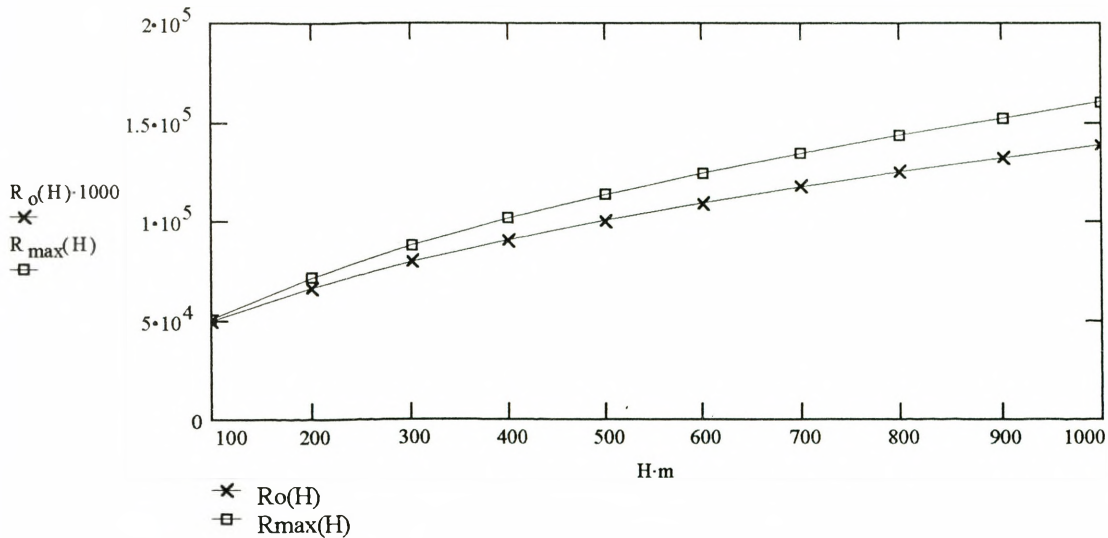
$kW = 1 \cdot kW$ $watt = 1 \cdot mass \cdot length^2 \cdot time^{-3}$ $km = 1 \cdot 10^3 \cdot length$ $m = 1 \cdot length$
 $P := 400000$ $G := 3000$ $\lambda := 0.23$ $P_{prog} := 5 \cdot 10^{-13}$ $h := 4$ $\sigma := 1$ $k_{whr} := 1$

Wyznaczenie zależności $R_O=f(H)$ i $R_{max}=f(H)$

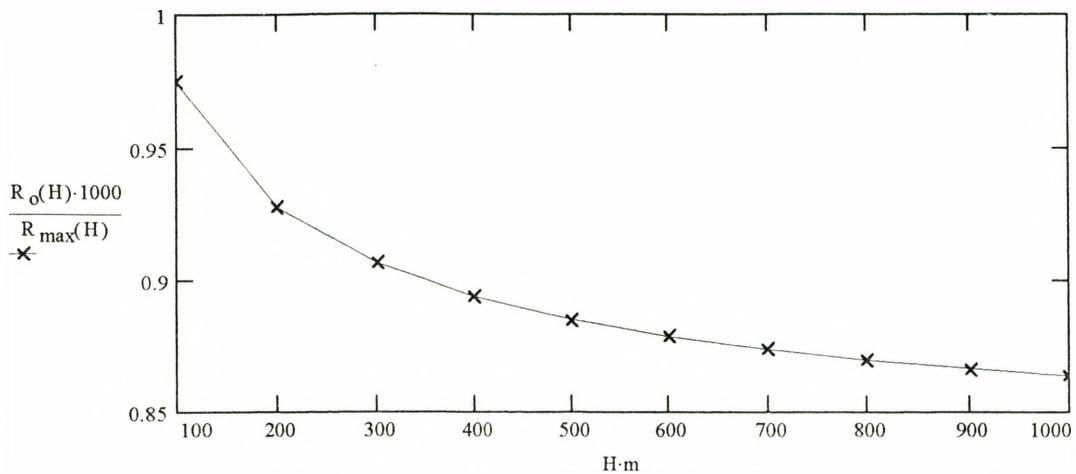
$H := 100, 200 \dots 1000$

$$R_{max}(H) := \left[\frac{P \cdot \sigma \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{P_{prog} \cdot (4 \cdot \pi)^3} \right]^{\frac{1}{8}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot h \cdot H}{\lambda}}$$

$$R_O(H) := 4.12 \cdot k_{whr} \cdot (\sqrt{h} + \sqrt{H})$$



Wyznaczenie zależności $R_O/R_{max}=f(H)$



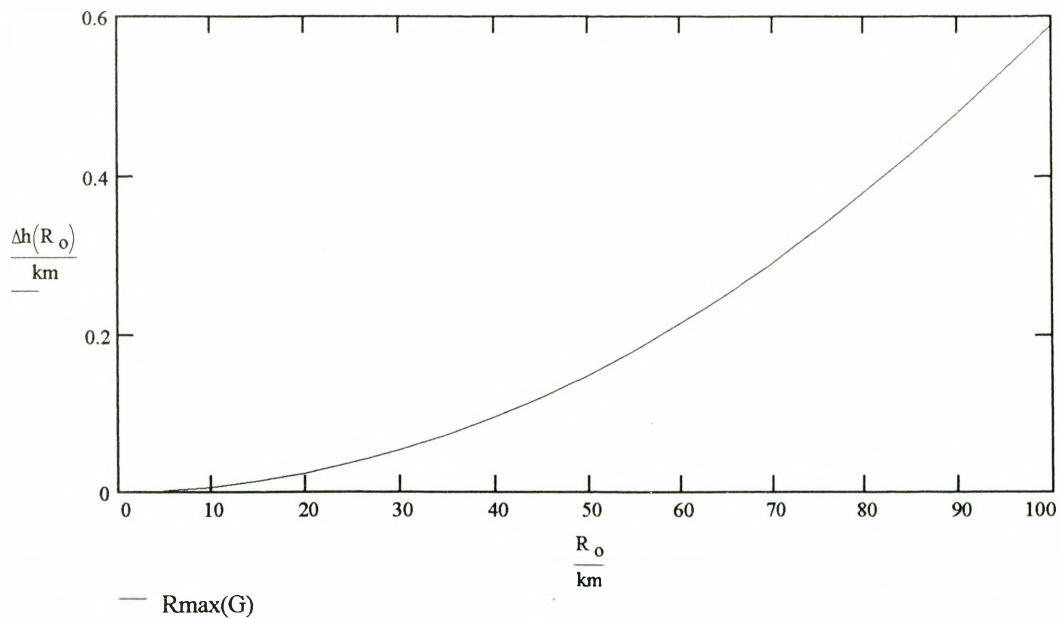
Wpływ zasięgu geometrycznego na wartość poprawki na krzywiznę ziemi.

Wyznaczenie zależności $\Delta h = f(R_o)$

$$R_e := 8500 \cdot \text{km}$$

$$R_o := 5 \cdot \text{km}, 10 \cdot \text{km} \dots 100 \cdot \text{km}$$

$$\Delta h(R_o) := \frac{R_o^2}{2 \cdot R_e}$$



Wpływ przedmiotów terenowych na strefę wykrywania dla małych wysokości.

Dane do obliczeń

$$kW = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3} \quad \text{watt} = 1 \cdot \text{mass} \cdot \text{length}^2 \cdot \text{time}^{-3}$$

$$km = 1 \cdot 10^3 \cdot \text{length} \quad m = 1 \cdot \text{length}$$

$$s := 10 \cdot m \quad d := 10 \cdot m \quad \Delta r := 50 \cdot m \quad \text{warunek: } \Delta r \geq d$$

Analiza prawdopodobieństwa wykrycia przeszkody terenowej dla β =parametr.

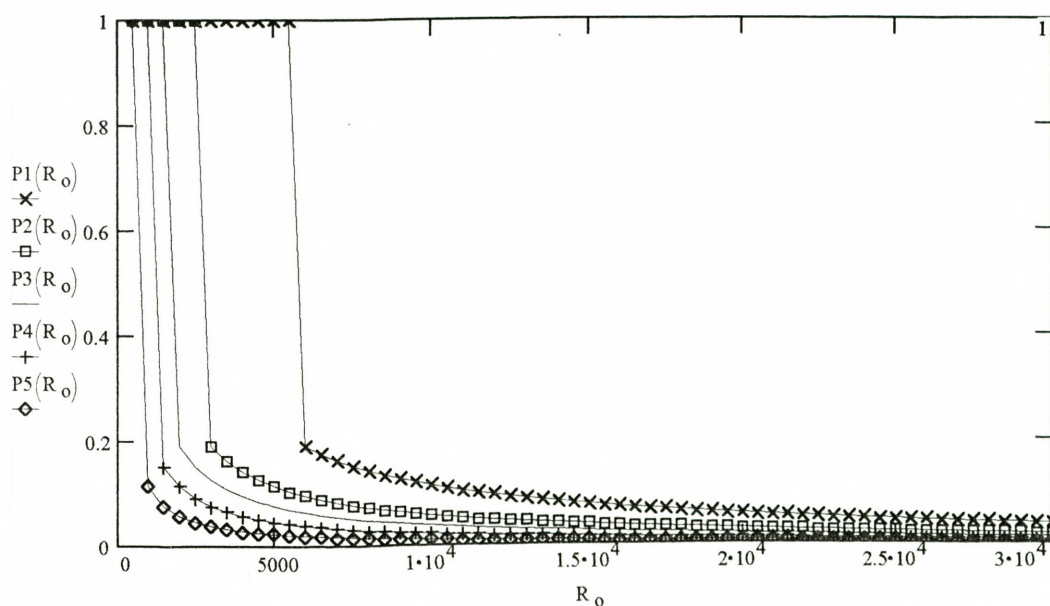
$$\beta_1 := 0.1 \quad \beta_2 := 0.2 \quad \beta_3 := 0.3 \quad \beta_4 := 0.5 \quad \beta_5 := 1$$

$$R_o := 500 \cdot m, 1000 \cdot m.. 30000 \cdot m \quad N := \frac{30000 \cdot m}{\Delta r} - 1 \quad n := 599$$

$$P1(R_o) := \text{if} \left[\left(\frac{\pi \cdot R_o \cdot \beta_1}{180} \right) > s, \frac{180 \cdot s \cdot d}{\pi \cdot R_o \cdot \beta_1 \cdot \Delta r}, 1 \right] \quad P3(R_o) := \text{if} \left[\left(\frac{\pi \cdot R_o \cdot \beta_3}{180} \right) > s, \frac{180 \cdot s \cdot d}{\pi \cdot R_o \cdot \beta_3 \cdot \Delta r}, 1 \right]$$

$$P2(R_o) := \text{if} \left[\left(\frac{\pi \cdot R_o \cdot \beta_2}{180} \right) > s, \frac{180 \cdot s \cdot d}{\pi \cdot R_o \cdot \beta_2 \cdot \Delta r}, 1 \right] \quad P4(R_o) := \text{if} \left[\left(\frac{\pi \cdot R_o \cdot \beta_4}{180} \right) > s, \frac{180 \cdot s \cdot d}{\pi \cdot R_o \cdot \beta_4 \cdot \Delta r}, 1 \right]$$

$$P5(R_o) := \text{if} \left[\left(\frac{\pi \cdot R_o \cdot \beta_5}{180} \right) > s, \frac{180 \cdot s \cdot d}{\pi \cdot R_o \cdot \beta_5 \cdot \Delta r}, 1 \right]$$



Rys. 1. Algorytm programu STREFA do modelowania
strefy rozpoznania radiolokacyjnego WRt

Rys.1 cz. 1 - str. 29

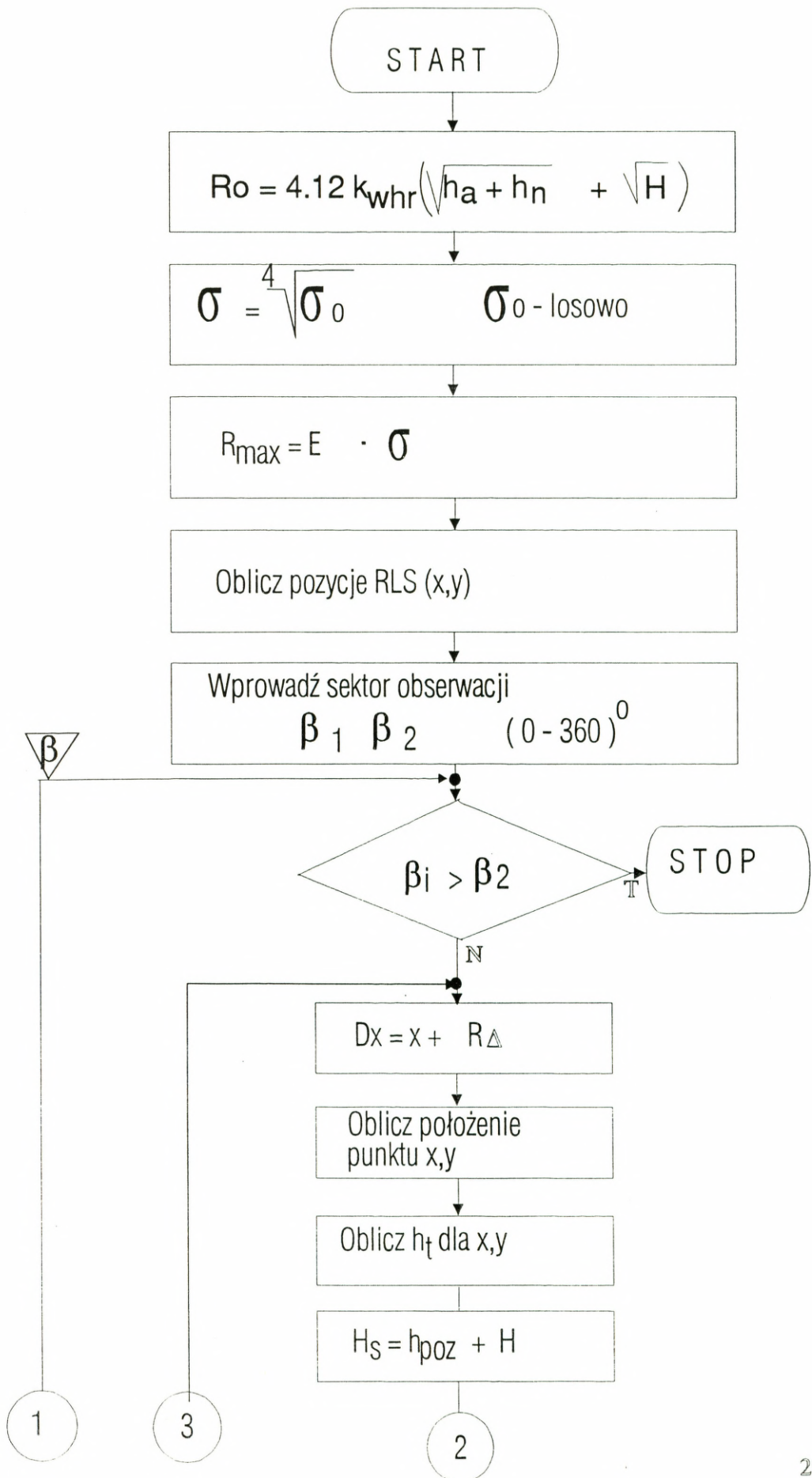
Rys.1 cz. 2 - str. 30

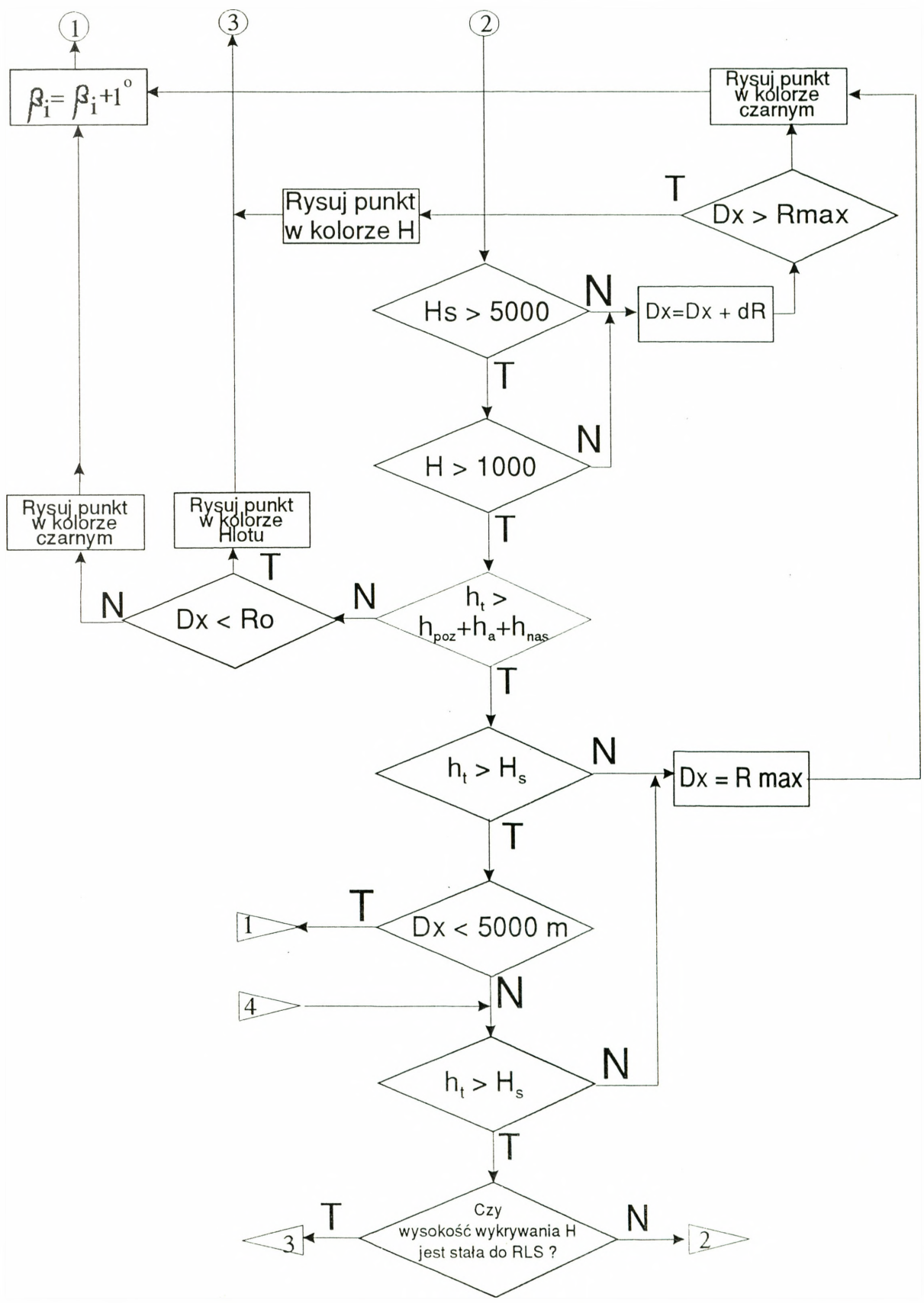
Rys.1 cz. 3 - str. 31

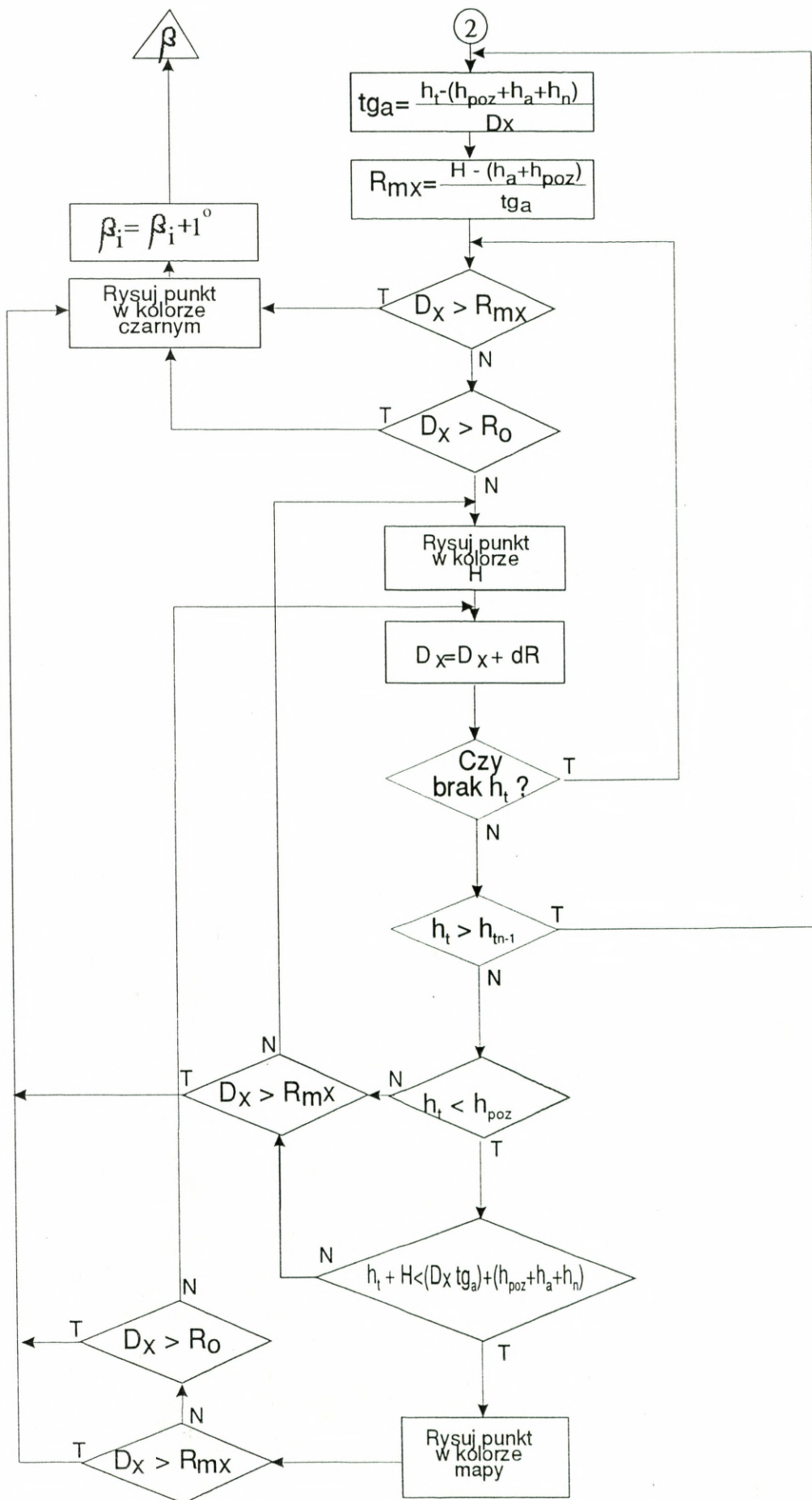
Rys.1 cz. 4 - str. 32

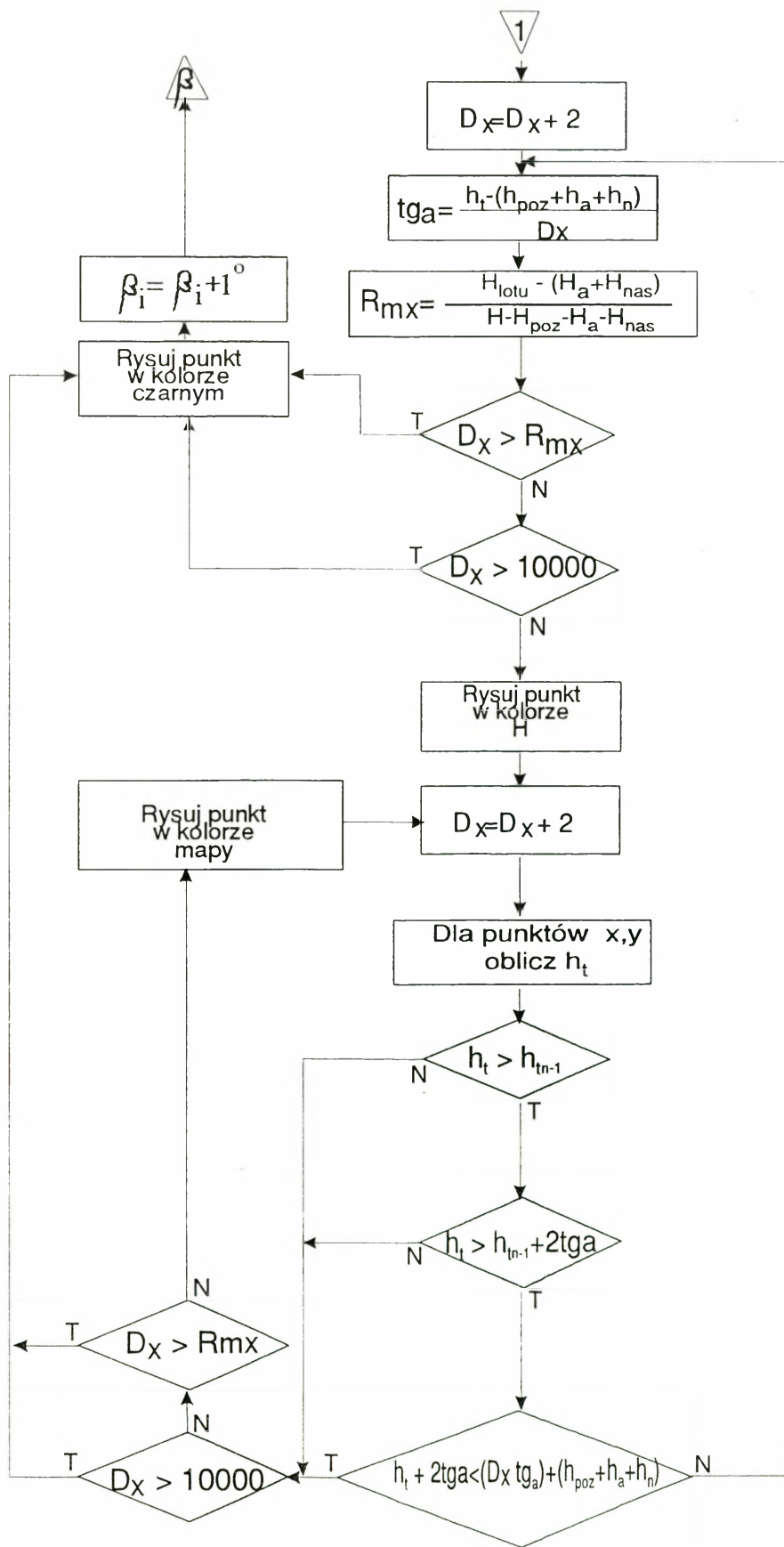
Rys.1 cz. 5 - str. 33

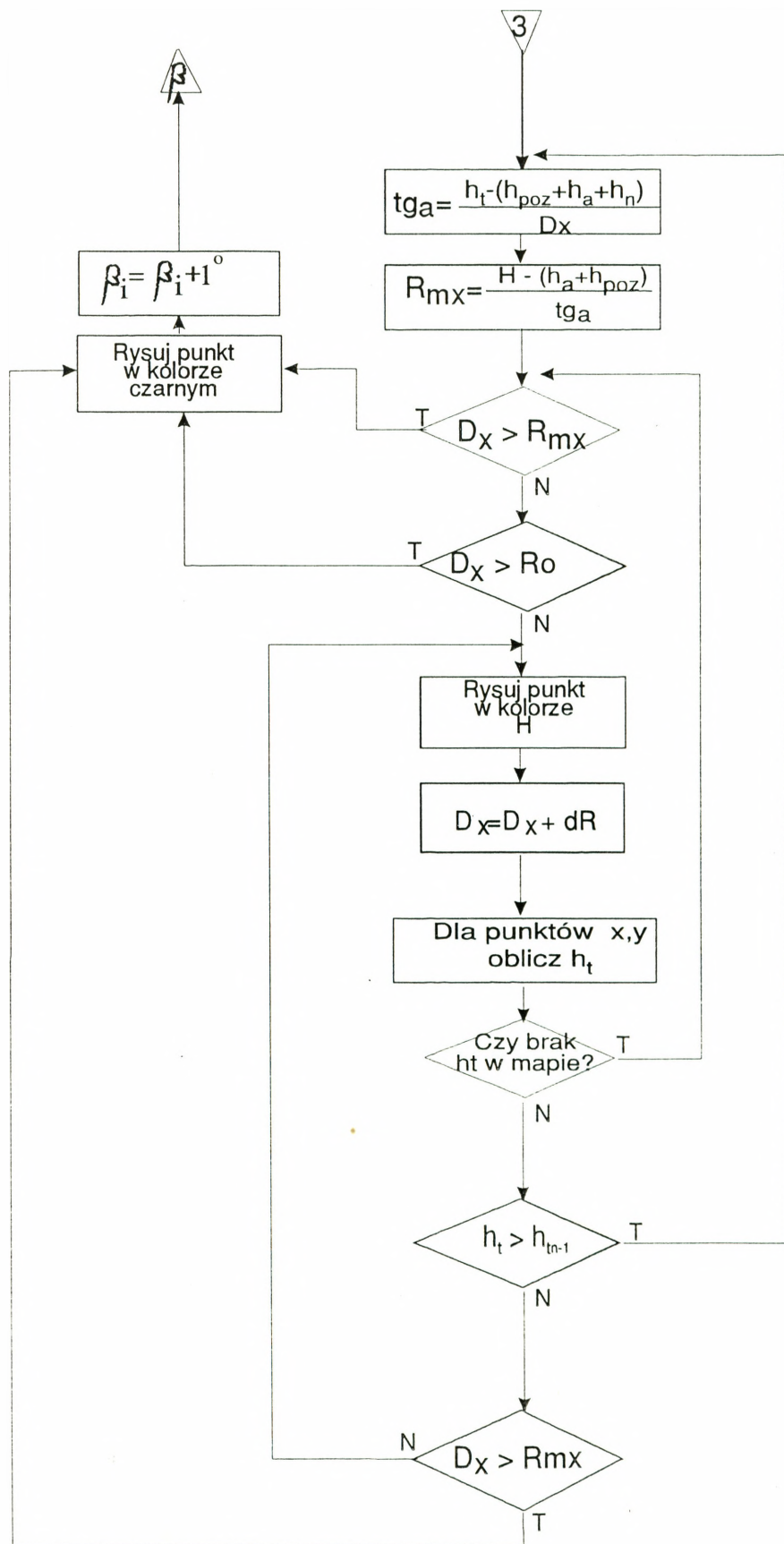
Rys.1 cz. 6 - str. 34







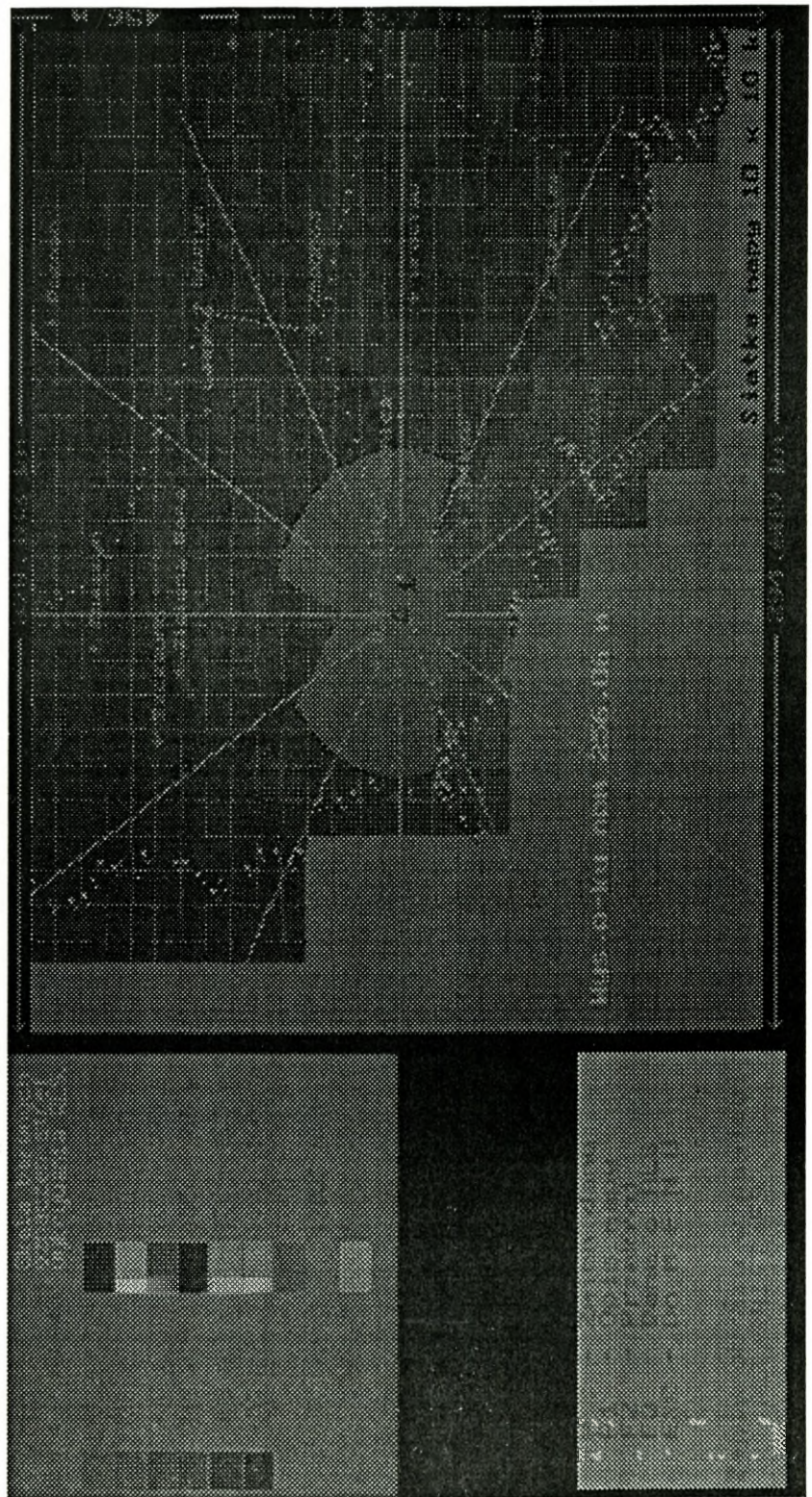




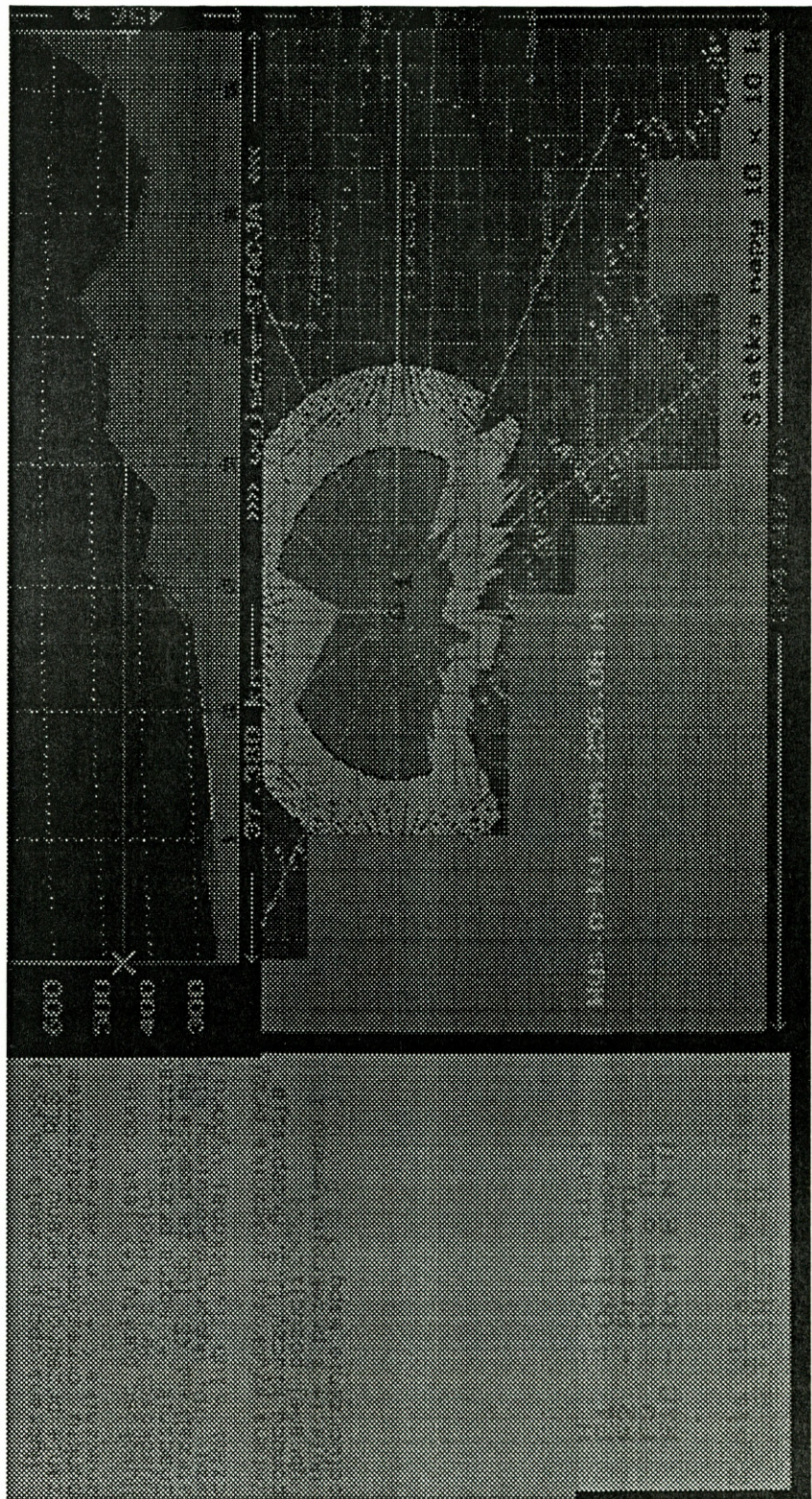
WYDRUKI WYNIKÓW SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

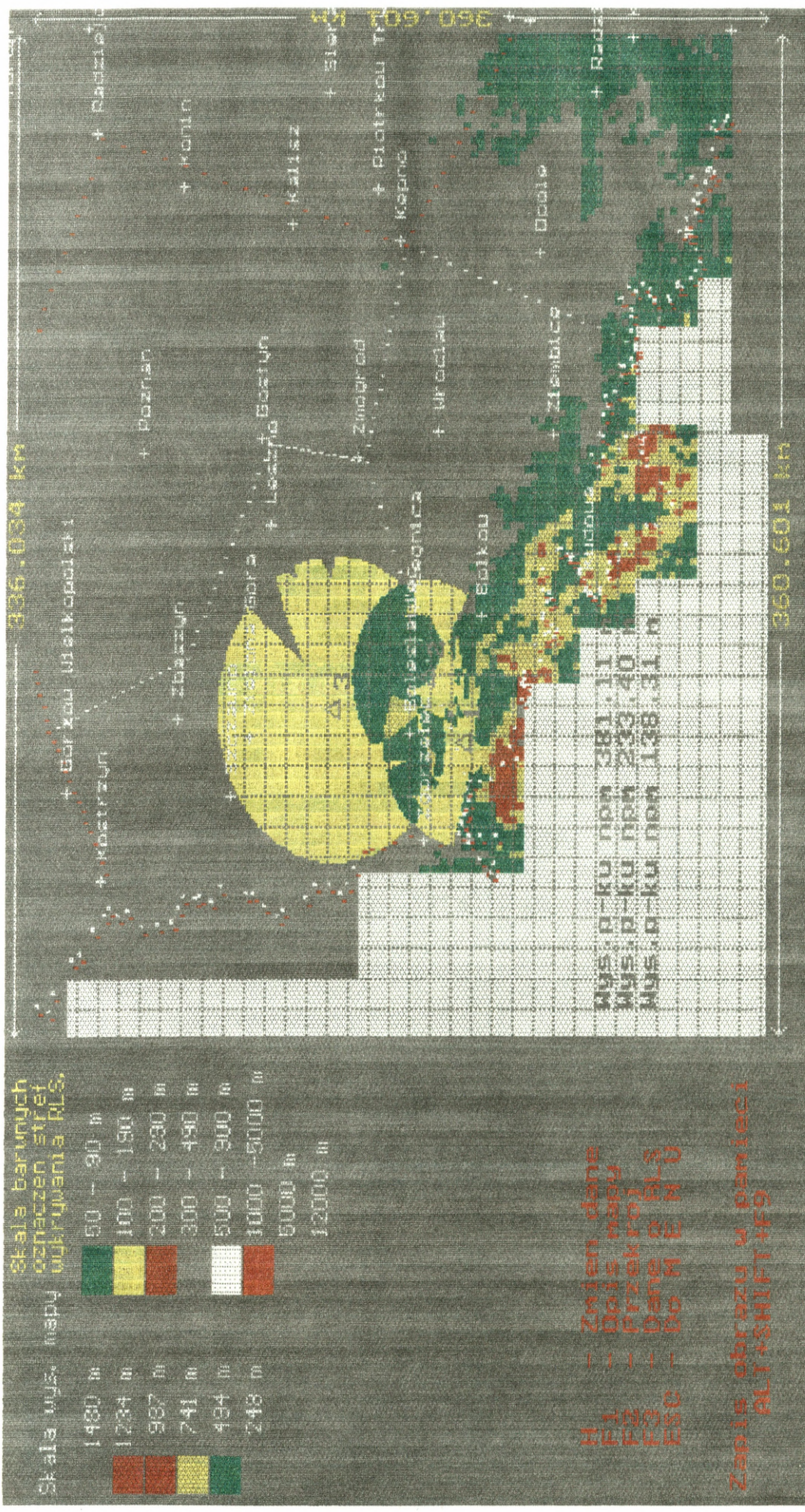
8.1 Strefa wykrywania wg wariantu I	36
8.2 Strefa wykrywania wg wariantu II	37
8.3 Strefy wykrywania dla różnych wysokości	38
8.4 Współczynnik przekrycia	39
8.5 Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg RLS	40
8.6 Wpływ wysokości zawieszenia anteny na zasięg RLS	41

załącznik 8.2

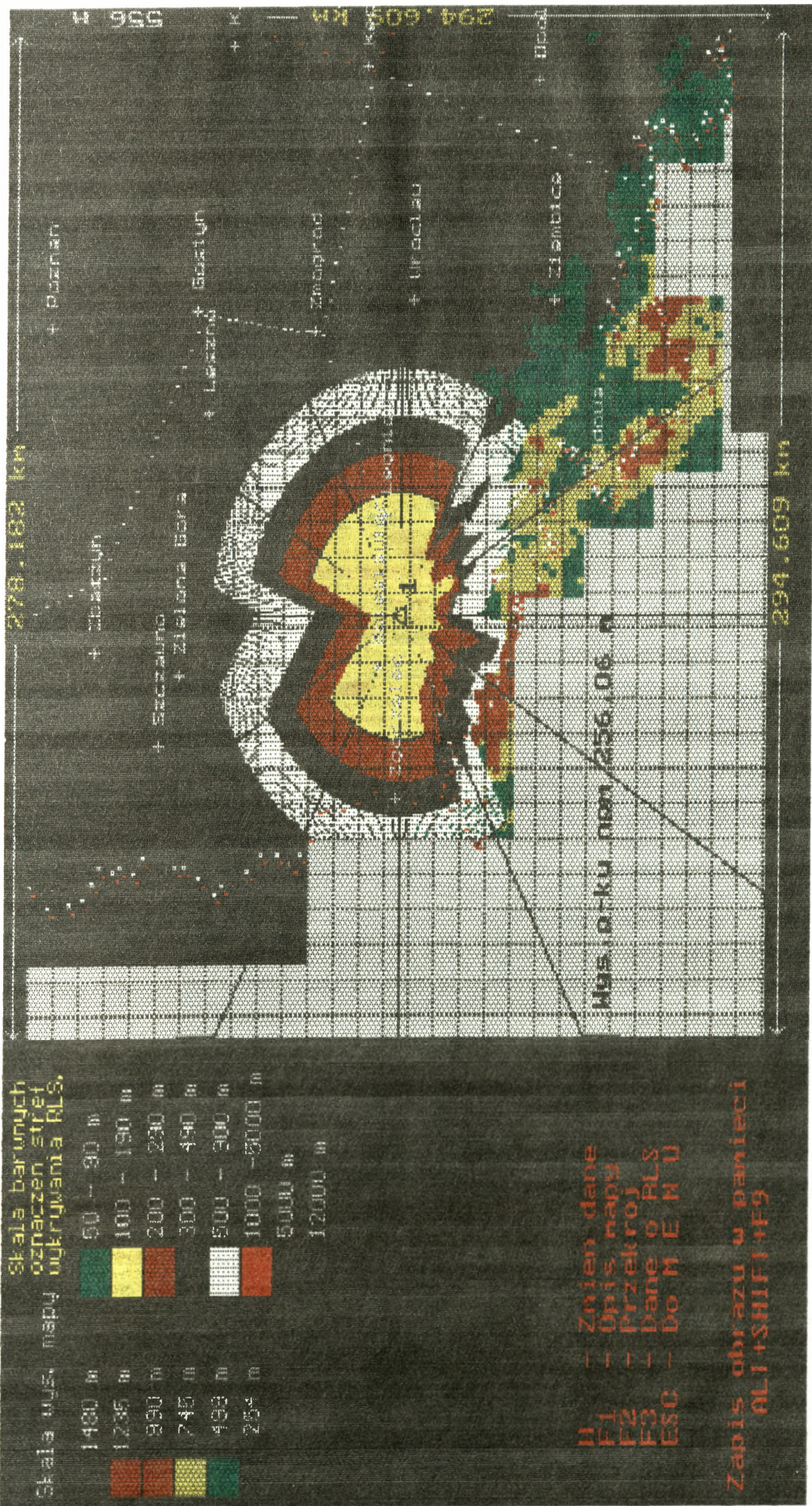


załącznik 8.3



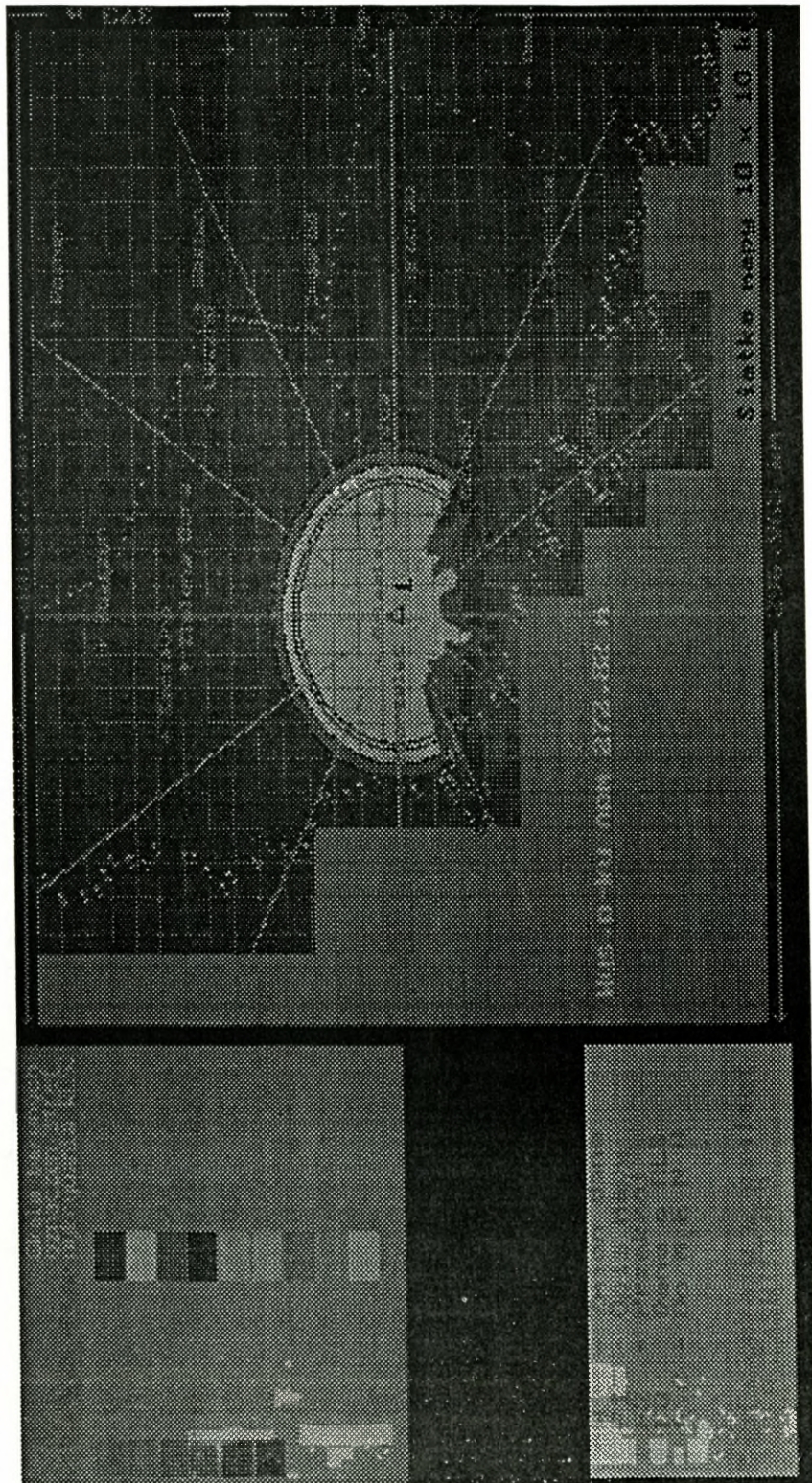


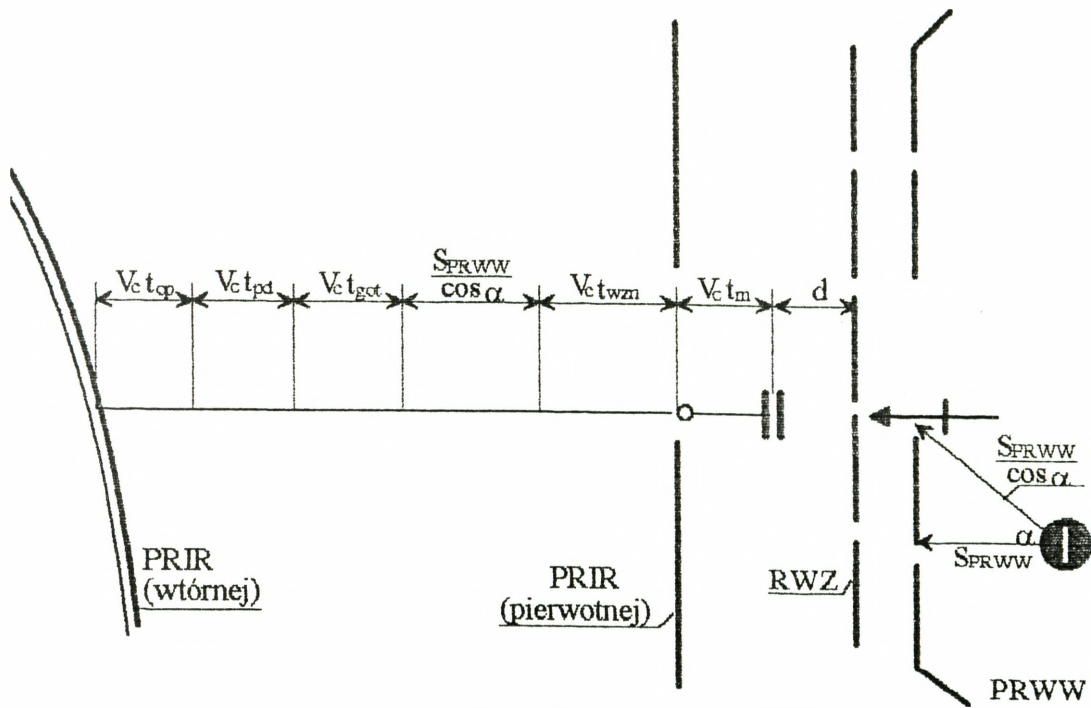
Współczynniki przekrycia.



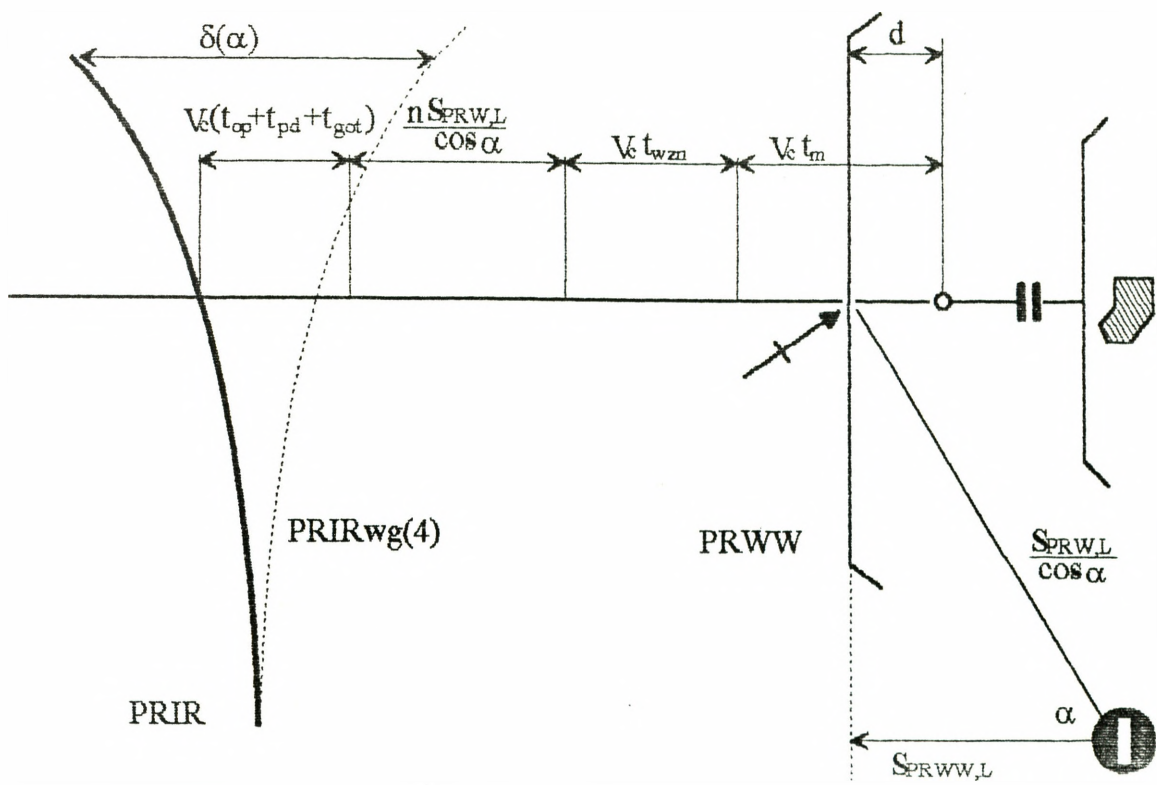
Wpływ wysokości strefy wykrywania na zasięg RLS.

załącznik 8.6

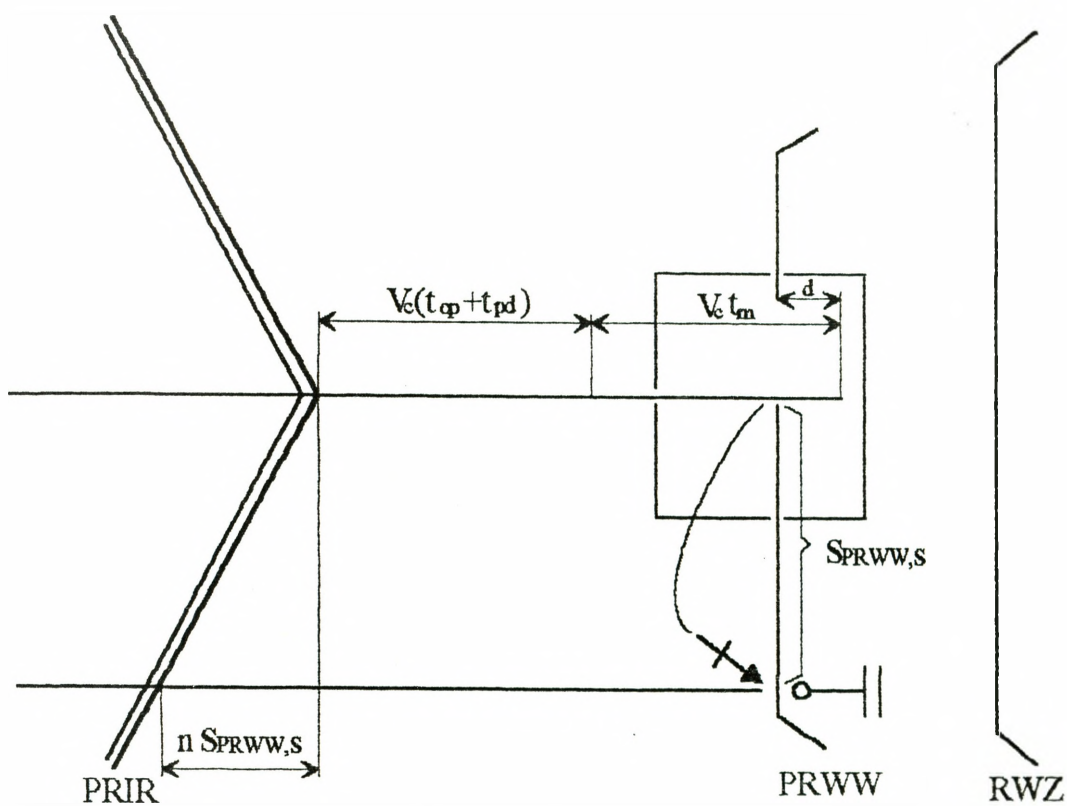




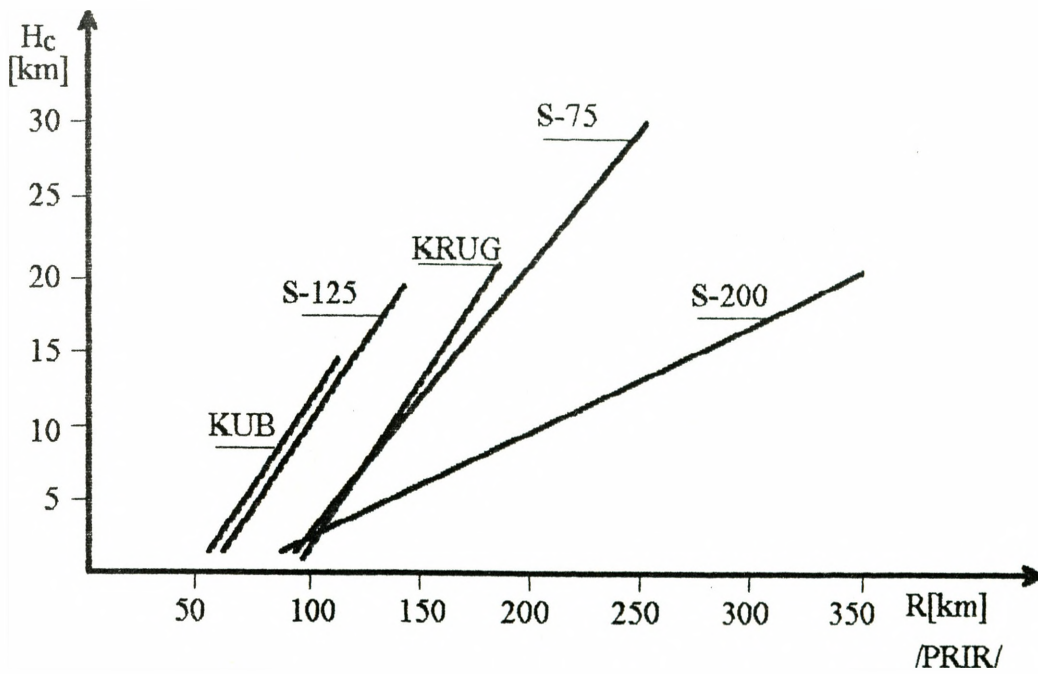
Rys. 1. Interpretacja graficzna PRIR podczas ataku z przedniej półsfery.



Rys. 2. Interpretacja graficzna PRIR podczas ataku z tylnej półsfery.



Rys. 3. Interpretacja graficzna PRIR przy działaniu LM ze strefy dyżurowania.



Rys. 1. Potrzebna rubież informacji radiolokacyjnej dla różnych zestawów raketowych

ZAŁĄCZNIKI. cz.II.

Załączniki zawierają dane o charakterze poufnym i zostały opracowane jako oddzielna pozycja pt:

Załączniki do rozprawy doktorskiej - cz.II.

"Zastosowanie symulacji komputerowej do prognozowania i weryfikacji strefy rozpoznania radiolokacyjnego wojsk radiotechnicznych"

