

PRACE PRZEMYSŁOWEGO
INSTYTUTU TELEKOMUNIKACJI



50 LAT
POLSKIEJ
RADIOLOKACJI

1953

2003



PRACE PIT redaguje Kolegium Redakcyjne w składzie:
doc. J. Fiett, dr inż. A. Janyszek,
dr inż. W. Klembowski, prof. dr hab. inż. W. Kołosowski,
prof. dr hab. inż. E. Sędek (red. naczelny),
prof. dr hab. inż. Zb. Szczyпка

Sekretarz Kolegium Redakcyjnego: U. Rozowska

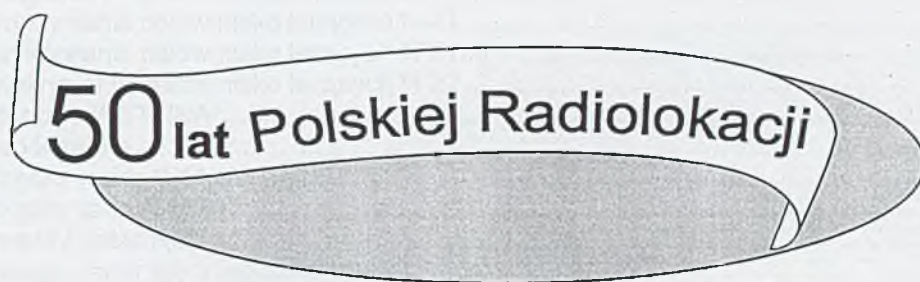
Adres redakcji:
PRZEMYSŁOWY INSTYTUT TELEKOMUNIKACJI
ul. Poligonowa 30, 04-051 Warszawa,
tel. (0-22) 810 00 51 wew. 215

Wszelkie prawa zastrzeżone
Printed in Poland

Projekt graficzny: praca zbiorowa PIT, RADWAR

PRACE PRZEMYSŁOWEGO INSTYTUTU TELEKOMUNIKACJI

Suplement 19/2003



Praca zbiorowa pod kierunkiem
Edwarda Sędk

Warszawa 2003

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	5
2. Ogólna charakterystyka krajowej działalności w radiolokacji	6
2.1. Rys historyczny	6
2.2. Radary do kontroli przestrzeni powietrznej	7
2.3. Radary do kontroli morskiej strefy przybrzeżnej	8
2.4. Morskie radary nawigacyjne	8
2.5. Systemy rozpoznania radioelektronicznego	8
2.6. Systemy dowodzenia i kierowania	9
2.7. Różne urządzenia radiolokacyjne	10
2.8. Możliwości naukowo-badawcze i produkcyjne	10
3. Radary do kontroli przestrzeni powietrznej dla systemów dowodzenia i kierowania	12
3.1. Radary rodziny NYSA	12
3.2. Radary rodziny JAWOR	14
3.3. Wysokościomierze radiolokacyjne	15
3.4. Stacja radiolokacyjna do wykrywania celów nisko lecących NAREW	17
3.5. Radary produkowane na licencjach	19
3.6. Radary na fale milimetrowe	20
3.7. Radary pełnokohorentne typu N	20
3.7.1. Radar ostrzegawczy N-31	21
3.7.2. Wysokościomierz N-41	21
3.7.3. Radar do wykrywania celów nisko lecących N-21	23
3.7.4. Radar do wykrywania celów nisko lecących N-21MI	25
3.7.5. Radar do wykrywania celów nisko lecących N-22	26
3.7.6. Zestaw antenowy WETLINA	27
3.8. Radary trójwspółrzędne	28
3.8.1. Trójwspółrzędny radar N-11	29
3.8.2. Trójwspółrzędny radar TRD-12	29
3.8.3. Trójwspółrzędny radar RST-12M	31
3.8.4. Trójwspółrzędny radar średniego zasięgu RTS-15	32
3.8.5. Trójwspółrzędny radar przeszukujący zestawu LOARA	32
3.8.6. Trójwspółrzędny mobilny radar wielofunkcyjny	34
3.9. Zestawienie parametrów stacji radiolokacyjnych dla systemów dowodzenia i kierowania	36
3.10. Nagrody państwowe i resortowe	38
4. Radary do kontroli strefy przybrzeżnej i powierzchni morza	40
4.1. Radar brzegowy N-23	40
4.2. Radar brzegowy RM-100	41
4.3. Morski radar obserwacyjny MSR-20	43
4.4. Radar samolotowy ARS-100	44
4.5. Radar samolotowy ARS-400	45
5. Morskie radary nawigacyjne	48
5.1. Radary nawigacyjne typu RN, TRN, SRN	48
5.2. Radar nawigacyjny N-25	49
5.3. Cichy radar nawigacyjny CRM-200	49
5.4. Radar obrony okrętu MRC-10	51
6. Systemy rozpoznania radioelektronicznego	52
6.1. Systemy rozpoznania radioelektronicznego MUR-20	52
6.2. System rozpoznania radioelektronicznego BREŃ-R	54
6.3. Kontener rozpoznania elektronicznego SROKOSZ	55
6.4. Modułowy system rozpoznania radioelektronicznego LEMUR-10	56
6.5. Urządzenia przeznaczone do systemów rozpoznania radioelektronicznego	59
7. Zestawy artyleryjskie dla obrony przeciwlotniczej	60
7.1. Przeciwlotniczy zestaw artyleryjski BLENDRA	60
7.2. Przeciwlotniczy zestaw artyleryjski LOARA	61
8. Inne zastosowania radarów i współpracujące z nimi urządzenia	65
8.1. Radar pola walki RPW-10	65
8.2. Radar do kontroli strefy lotniska ASC-10	66
8.3. Radary do pomiaru prędkości pocisków	67
8.4. Interrogator krótkiego zasięgu IKZ-02	69
8.5. Interrogatory średniego i dalekiego zasięgu	71
8.6. Anteny systemu IFF	72

8.6.1. Antena AFF-20	72
8.6.2. Antena AFF-600	73
8.6.3. Antena AFF-666	74
8.7. Radary drogowe i mikrofalowe systemy alarmowe	75
8.8. Mikrofalowe systemy ostrzegawcze.....	78
8.9. Nadajniki zakłóceń	79
8.10. Imitatory sygnałów radiolokacyjnych.....	80
8.11. Maskowanie przeciwradiolokacyjne.....	81
9. Radary dla cywilnych systemów kontroli ruchu lotniczego	83
10. Zautomatyzowane systemy rozpoznania radiolokacyjnego, dowodzenia i kierowania.....	87
10.1. Wstęp	87
10.2. Zautomatyzowane systemy Wojsk Obrony Powietrznej oraz Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej.....	88
10.2.1. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego	88
10.2.2. Zautomatyzowany system dowodzenia i kierowania pułku lotnictwa myśliwskiego	93
10.2.3. Obiekt DL-15.....	93
10.2.4. Terminal lotniskowy TU-20L	94
10.2.5. System zbioru i uogólniania informacji o sytuacji powietrznej – system DUNAJ	96
10.3. Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania Wojsk Lądowych	99
10.3.1. Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk	99
10.3.2. Zautomatyzowane systemy obrony przeciwlotniczej związku taktycznego – - zautomatyzowane wozy dowodzenia	100
10.3.3. Informatyczny System Wspomagania Dowodzenia Związku Taktycznego – SZAFRAN –ZT.....	104
10.3.4. Systemy nawigacji lądowej.....	107
10.4. Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania Marynarki Wojennej	108
10.5. Eksport systemów militarnych	109
10.6. Systemy kierowania ruchem lotniczym.....	109
10.7. Zautomatyzowane systemy dowodzenia w Instytucie Automatyzacji Systemów Dowodzenia WAT	111
10.8. Zautomatyzowane systemy dowodzenia w Centrum Techniki Morskiej (CTM).....	113
11. Działalność konferencyjna i wydawnicza	117
11.1. Działalność konferencyjna	117
11.2. Działalność wydawnicza	119
12. Systemy zapewnienia jakości	120
12.1. System Zapewnienia Jakości ISO-9001 i AQAP-110 w PIT	120
12.2. Certyfikacja wyrobów.....	121
12.3. Wewnętrzny system kontroli obrotu wyrobami strategicznymi (WSK)	121
12.4. Systemy zapewnienia jakości w ISO-9001:2000 i AQAP-100 w CNPEP RADWAR S.A.	122
12.5. Wewnętrzny system kontroli obrotu wyrobami strategicznymi (WSK)	123
13. Krajowy potencjał naukowo-badawczy i produkcyjny w dziedzinie radiolokacji	124
13.1. Charakterystyka działalności PIT	125
13.1.1. Charakterystyka działalności Oddziału Gdańskiego PIT.....	129
13.1.2. Charakterystyka działalności Oddziału Wrocławskiego PIT.....	130
13.1.3. Laboratoria badawcze PIT.....	132
13.1.4. Potencjał produkcyjny i technologiczny	133
13.2. Charakterystyka działalności Instytutu Radiolokacji WAT.....	134
13.2.1. Dorobek naukowo-badawczy IR.....	134
13.2.2. Aktualna działalność naukowo-badawcza	135
13.3. Charakterystyka działalności WITU	137
13.4. Charakterystyka działalności CNPEP RADWAR S.A.....	140
13.4.1. Potencjał produkcyjny	141
13.4.2. Nowoczesne technologie.....	141
13.4.3. Laboratoria.....	141
13.5. Charakterystyka działalności Zakładów Elektronowych LAMINA S.A.....	142
13.6. Charakterystyka działalności ZMM POLFER	143
13.7. Mikrofalowe przyrządy półprzewodnikowe dla radiolokacji.....	144
13.8. Charakterystyka firmy FILBICO S.A.	145
14. Wykaz literatury.....	147

1. WSTĘP

50 lat temu zakończono badania prototypowe stacji radiolokacyjnej NYSA A przeznaczonej do wykrywania samolotów. Opracowany radar stanowił pierwsze rozwiązanie techniczne przygotowane do seryjnej produkcji. W następnych latach ugruntowane zostały w kraju podstawy działalności w dziedzinie radiolokacji. Nastąpił szybki rozwój radiolokacji w świecie obejmujący zastosowania zarówno militarne jak i cywilne. Rozwój ten wystąpił również w kraju doprowadzając do powstania szeregu nowych specjalności naukowych na uczelniach wyższych, instytutach badawczych oraz biurach konstrukcyjnych specjalizujących się w dziedzinie radiolokacji.

W okresie 50 lat powstał w Polsce nowoczesny przemysł radiolokacyjny bazujący na własnych opracowaniach, który dostarczał i w dalszym ciągu dostarcza szeroką gamę urządzeń odbiorcom krajowym i zagranicznym. W miarę postępu technologii urządzenia te były coraz bardziej skomplikowane, a parametry ich i możliwości ciągle udoskonalane. Powstała baza naukowo-badawcza i produkcyjna w latach 80. osiągnęła apogeum zatrudniając na potrzeby radiolokacji ponad 12 tysięcy pracowników. Trzonem tej bazy były i są do dzisiaj Przemysłowy Instytut Telekomunikacji (PIT) oraz Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej RADWAR. Obie instytucje współpracują z wieloma krajowymi placówkami naukowymi i produkcyjnymi w tym również zagranicznymi.

W ciągu 50 lat opracowano i wyprodukowano znaczne ilości naziemnych stacji radiolokacyjnych, morskich radarów nawigacyjnych i brzegowych, radarów samolotowych oraz zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania. Głównym odbiorcą wymienionych wyrobów było i jest Wojsko Polskie. Wiele urządzeń i systemów było przedmiotem eksportu do wielu krajów. Wysokie ceny światowe specjalizowanego sprzętu radarowego i obiektów systemowych sprawiają, że działalność przemysłu radiolokacyjnego była i jest wysoce opłacalna dla gospodarki narodowej.

W niniejszym opracowaniu dokonano przeglądu krajowej działalności w dziedzinie radiolokacji w

okresie minionych 50 lat. Ogólną charakterystykę krajowej działalności w radiolokacji przedstawiono w rozdziale 2, ze wskazaniem podstawowych ośrodków badawczo-rozwojowych i przemysłowych zarówno cywilnych jak i wojskowych.

W rozdziałach od 3 do 5 omówiono chronologicznie urządzenia radiolokacyjne opracowane dla potrzeb wojskowych i cywilnych, w tym radary do kontroli przestrzeni powietrznej, do kontroli powierzchni morza oraz morskie radary nawigacyjne. W rozdziale 6 przedstawiono systemy rozpoznania radioelektronicznego. Rozdział 7 poświęcony jest zestawom artyleryjskim przeznaczonym dla obrony przeciwlotniczej, natomiast w rozdziale 8 omówiono różne urządzenia radiolokacyjne takie jak radary drogowe, radary balistyczne, interogatory itp. Rozdział 9 poświęcony w całości radarom dla cywilnych systemów kontroli ruchu lotniczego, natomiast rozdział 10 zautomatyzowanym systemom dowodzenia i kierowania. W rozdziale 11 omówiono działalność konferencyjną i wydawniczą, a w rozdziale 12 systemy zapewnienia jakości ISO-9001 i AQAP-110 obowiązujące w PIT i RADWAR. Krajowy potencjał naukowo-badawczy i produkcyjny z uwzględnieniem głównych kierunków prac warunkujących rozwój radiolokacji przedstawiono w rozdziale 13. W niniejszym opracowaniu nie można było wymienić szerokiego grona naukowców, inżynierów, informatyków, specjalistów wojskowych, którzy omawiane tu urządzenia i systemy projektowali, produkowali, modernizowali i badali i dzięki którym możliwy był rozwój krajowej radiolokacji. Należą im się podziękowania za ich trud i owocną pracę. Na zakończenie wstępu pragnę gorąco podziękować przedstawicielom przemysłu i wojska za pomoc w opracowaniu niniejszego suplementu, a zwłaszcza dyrektorowi PIT dr. inż. Romanowi Dufreńe, prezesowi RADWAR S.A. mgr. inż. Leszkowi Pawłowskiemu, mgr. inż. Jerzemu Miłoszowi, mgr. inż. Zbigniewowi Czekale oraz wszystkim współautorom niniejszego opracowania.

Dziękuję również pracownikom działu wydawniczego PIT, paniom Urszuli Rozowskiej, Krystynie Lewandowskiej i Elżbiecie Godlewskiej-Sędek za opracowanie redakcyjne niniejszego suplementu.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA KRAJOWEJ DZIAŁALNOŚCI W RADIOLOKACJI

Edward Sędek

2.1. Rys historyczny

Pierwsze prace badawcze w radiolokacji podjęto w 1948 r. w nowo utworzonej Katedrze Radiolokacji Politechniki Warszawskiej oraz Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym (PIT) [1]. Wymagały one specjalistów z takich dziedzin jak: technika mikrofalowa, technika antenowa przetwarzanie sygnałów, miernictwo, układy zasilające i systemy napędowe. Po wojnie takich specjalistów nie było. Utworzono wówczas Zakład Radarów na Politechnice Gdańskiej, który wspólnie z Katedrą Radiolokacji PW miały wykształcić nową kadrę naukowo-badawczą. W wyniku tej działalności w roku 1951 w kraju pracowało już kilkudziesięciu specjalistów w tej dziedzinie.

W tym czasie zaczęły powstawać także ośrodki naukowo-badawcze w Wojsku Polskim.

Rozwijający się w latach 50. proces wprowadzania do wojsk pierwszych radarów i związany z tym rozwój krajowego przemysłu radiolokacyjnego pracującego głównie dla potrzeb obronności pociągnął za sobą konieczność utworzenia wojskowego zaplecza naukowo-badawczego radiolokacji.

W 1951 r. powstała Katedra Radiolokacji WAT, której powierzono przeszkolenie w zakresie radiolokacji powołanych do wojska inżynierów, głównie absolwentów politechniki: wrocławskiej, gdańskiej, warszawskiej i poznańskiej. Oficerowie ci stanowili pierwszą w wojsku kadrę specjalistów radiolokacji, której część skierowano na posterunki Wojsk Radiotechnicznych, a część do Departamentu Uzbrojenia, w którym utworzono wydział radiolokacji. Wydziałowi temu powierzono w 1953 roku prowadzenie badań państwowych pierwszej opracowanej w kraju stacji radiolokacyjnej NYSA-A. Departament Uzbrojenia pełnił funkcję Centralnego Organu Zaopatrzenia wojska w technikę radiolokacyjną, a jego działalność, niezależnie od kolejnych zmian nazwy przez wiele lat wywierała istotny wpływ na politykę w zakresie rozwoju krajowej radiolokacji.

Centralny Poligon Artyleryjski w Zielonce już w 1956 roku prowadził badania poligonowe produkowanego w kraju radaru artyleryjskiego SON-4. W 1956 roku w Centralnym Poligonie Artyleryjskim utworzony zostaje Wydział Radiolokacji, a w 1962r. Ośrodek Badawczy Sprzętu Radiolokacyj-

nego, który wraz z utworzeniem w 1965 r. Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia przemianowany zostaje na Zespół Zakładów Radiolokacji.

Powstałe ośrodki naukowo-badawcze stworzyły podstawę do rozwoju radiolokacji.

W 1950 roku Sztab Generalny WP przekazał do PIT warunki techniczne na ostrzegawczą stację radiolokacyjną, przeznaczoną do wykrywania obiektów powietrznych. Mimo braku doświadczeń, kadry oraz materiałów już w 1951 r. opracowano model laboratoryjny radaru pracujący w pasmie 600 MHz z nadajnikiem lampowym i anteną ścianaową Yagi.

Punktem zwrotnym w rozwoju polskiej radiolokacji okazało się powołanie w 1951 roku Wydzielonego Laboratorium Konstrukcyjnego (TL) przy Zakładach Radiowych im. M. Kasprzaka, do którego przekazano zespół pracowników z PIT i Katedry Radiotechniki Politechniki Gdańskiej specjalizujących się w technice mikrofalowej i impulsowej. Zadaniem laboratorium było opracowanie prototypu pierwszego w kraju radaru ostrzegawczego oraz stworzenie ośrodka zdolnego do adaptacji licencji na urządzenia radarowe z byłego ZSRR. Pomimo występowania znacznych trudności, w Laboratorium TL w 1952 r. opracowano prototyp radaru NYSA A, zaś w roku 1953 przeprowadzono jego badania kwalifikacyjne. W 1953 r. powołano 96 Rejonowe Przedstawicielstwo Wojskowe do działalności w dziedzinie radiolokacji. W latach 1953-54 przekazano do próbnej eksploatacji 5 sztuk tego typu radarów. Pozytywne rezultaty skłoniły władze państwowe do powołania w 1954 r. Zakładów Radiowych T-1 (obecnie Warszawskie Zakłady Radiowe RAWAR), które miały zajmować się produkcją urządzeń radiolokacyjnych.

W 1956 roku nastąpiła reorganizacja, która miała istotny wpływ na dalszy rozwój radiolokacji. Do PIT włączono Laboratorium TL i równocześnie powstał Wrocławski Oddział Przemysłowego Instytutu Elektroniki (PIE), którego głównym zadaniem było opracowanie mikrofalowych lamp odbiorczych. Rok później utworzono Doświadczalne Zakłady Lampowe (obecnie S.A. LAMINA), których zadaniem było opracowanie i produkcja lamp mikrofalowych. Rozwój zastosowań radiolokacji w świecie wynikający ze znaczenia tej

techniki dla potrzeb wojskowych i cywilnych takich jak: do kontroli cywilnego ruchu lotniczego, nawigacji morskiej, obserwacji powierzchni morza, systemów rozpoznania radioelektronicznego, systemów kierowania i dowodzenia doprowadził w kraju do rozbudowy radiolokacyjnych ośrodków badawczo-rozwojowych, konstrukcyjnych i produkcyjnych.

W okresie 50 lat uformował się w Polsce nowoczesny przemysł radiolokacyjny bazujący na własnych opracowaniach i dostarczający od-biorcom krajowym i zagranicznym szeroką gamę radarów, systemów rozpoznania, kierowania i dowodzenia. W ostatnim dziesięcioleciu przemysł ten zapewnił również modernizację wielu pracujących urządzeń polegającą na zastosowaniu nowoczesnej bazy podzespołowej podwyższającej w sposób znaczący ich parametry użytkowe.

Osiągnięcie wysokiego poziomu rozwoju radiolokacji związane jest bezpośrednio z autorytetami tej dziedziny wiedzy, którzy byli pionierami i czynnie ją wspierali swoim działaniem. Zaliczyć do nich trzeba prof. Janusza Groszkowskiego pierwszego dyrektora PIT oraz prof. Stanisława Ryżko - twórców technologii lamp nadawczych dużej mocy, [2], [3], prof. Stanisława Sławińskiego nauczyciela radiolokacji, prof. Pawła Szulkinia nauczyciela teorii pola elektromagnetycznego i wielu innych, których nie sposób tu wymienić. Powstały również polskie „szkoły” zarówno w PIT jak i w WAT. Wymienić tu należy szkołę prof. Jana Kroszczyńskiego w PIT jak również szkołę prof. Tadeusza Kątckiego w WAT. Ludzie ci wykształcili i przygotowali liczną kadrę inżynierów i doktorów specjalizujących się w szeroko rozumianej radiolokacji.

W 1955 r. opracowano prototypy radarów NYSA B i NYSA C przeznaczonych do kontroli obszaru powietrznego. W następnych latach wyprodukowano kilkadziesiąt kompletów radarów na potrzeby krajowe i na eksport.

Równoległe z wdrożeniem do produkcji radarów polskiej konstrukcji typu NYSA uruchomiono produkcję seryjną radarów artyleryjskich typu SON w oparciu o dokumentację licencyjną ze Związku Radzieckiego.

Rozwój produkcji radarów powiązany był z rozbudową krajowego zaplecza materiałowego i podzespołowego, współdziałających zakładów i instytutów oraz bazy do pomiaru anten radiolokacyjnych i badań stacji radiolokacyjnych.

2.2. Radary do kontroli przestrzeni powietrznej

Pierwszymi krajowymi radarami do kontroli przestrzeni powietrznej były radary NYSA. W latach 60. i 70. opracowano w PIT radary rodziny

JAWOR pracujące w pasmie L o zasięgu wykrywania 150-300 km (zależnie od typu radaru).

Radary te pracowały z nadajnikiem magnetronowym i anteną reflektorową. W układach odbiorczych stosowano lampy o fali bieżącej o małym współczynniku szumów, układy tłumienia ech stałych i rozbudowane układy przeciwwzakłóceńowe. Radary JAWOR określały odległość i azymut obiektów. Wysokość obiektów wyznaczana była przez wysokościomierze opracowane w WZR RAWAR. Były to wysokościomierze typu BOGOTA, NIDA o zasięgu 190-240 km, pracujące w pasmie S z anteną reflektorową przeszukującą mechanicznie w płaszczyźnie elewacji. W WZR RAWAR opracowano również radar NAREW do wykrywania celów nisko lecących. W radarze tym antena umieszczona była na maszcie o wysokości do 25 m.

W latach 80. opracowano radary typu N, z pełno-koherentnym układem nadawczo-odbiorczym i nadajnikiem w układzie wzmacniacza mocy na LFB i amplitronach. W radarach tych stosowane są układy średniej i dużej skali integracji, cyfrowy TES, zautomatyzowane układy wykrywania i określania współrzędnych i szeroko rozbudowane układy przeciwwzakłóceńowe (w tym układy kompresji impulsu).

W latach 80. do produkcji w RADWAR został wprowadzony, opracowany w PIT, radar 3-współrzędny typu N-11. Jest to pierwszy radar, który wyznacza równocześnie trzy współrzędne wszystkich wykrytych obiektów. Urządzenie pracuje w pasmie S i posiada zasięg ok. 200km.

Na początku lat 90. w PIT opracowano pierwszy w kraju 3-współrzędny radar dalekiego zasięgu N-12 z płaską anteną ścianową. Radar pracuje w pasmie L i posiada zasięg około 350 km. przy pułapie 40 km. Urządzenie pozwala wykrywać i śledzić do 120 obiektów powietrznych.

Zakończono zatem etap rozwoju technologii radarów z antenami parabolicznymi, które charakteryzują się gorszymi parametrami (głównie wyższym poziomem listków bocznych). Radar jest aktualnie produkowany w Zakładzie Produkcji Doświadczalnej PIT i do chwili obecnej wyprodukowano kilka sztuk, które pracują na wojskowych posterunkach radiolokacyjnych. Równoległe trwają prace modernizacyjne radaru nad dostosowaniem wszystkich jego parametrów do wymagań stawianych przez NATO.

W końcu lat 90. opracowano w PIT mobilny radar średniego zasięgu pracujący w pasmie S z płaską anteną ścianową, który był wykonany na zamówienie klienta zagranicznego. W najbliższych latach Wojsko Polskie będzie wyposażone w tego typu radary. Zgodnie z tendencjami światowymi w PIT trwają prace nad radarem z nieruchomymi

antenami ścianowymi i elektronicznie sterowanymi wiązkami przeszukującymi przestrzeń. Elektroniczne sterowanie wiązek antenowych wymaga zastosowania najnowocześniejszych technologii informatycznych w zakresie cyfrowego przetwarzania sygnałów i mikrofalowych wielobitowych przesuwników fazy. Urządzenia tego typu nie są produkowane seryjnie w wyspecjalizowanych ośrodkach światowych.

Na potrzeby kontroli cywilnego ruchu lotniczego opracowano w Instytucie radaru rodziny AVIA. Radary AVIA B eksportowane były do NRD, radary AVIA D zainstalowane zostały w Berlinie, Dreźnie i w Hawanie. Radary AVIA C, AVIA CM eksportowane były do CSRS oraz są zainstalowane w kraju. Radary AVIA mają zasięg 120 do 350 km zależnie od typu radaru [4-9].

2.3. Radary do kontroli morskiej strefy przybrzeżnej

Radary do kontroli morskiej strefy przybrzeżnej powinny spełniać dwie podstawowe funkcje, a mianowicie wykrywać obiekty nawodne oraz nisko lecące. Instalowane są na umocnionych punktach obserwacyjnych Marynarki Wojennej. W celu zwiększenia zasięgu wykrywania montowane są na wieżach o wysokościach rzędu kilkudziesięciu metrów, najczęściej ok. 25 m. Ponadto wysokość brzegu morza zwiększa efektywną wysokość anteny. Typowym przedstawicielem tej grupy urządzeń jest radar N-25 opracowany w latach 80. i produkowany w RADWARZE.

W radarze zastosowano w pełni koherentną aparaturę nadawczo-odbiorczą. Zasięg radaru wynosi ok. 40 km. Aby jednocześnie wykrywać obiekty powietrzne i nawodne, w urządzeniu zastosowano specjalne układy przetwarzania sygnałów dla obu kategorii obiektów.

Na posterunkach obserwacyjnych pracuje do dzisiaj 9 sztuk radarów N-25. W latach 90. radar był modernizowany w celu poprawy niezawodności. W końcu lat 90. opracowano w Oddziale Gdańskim PIT nowoczesny, mobilny radar RM-100 średniego zasięgu, pracujący w pasmie X, którego zasięg maksymalny wynosi około 60 km. W przeciwieństwie do impulsowego radaru N-25, pracuje on na fali ciągłej z liniową modulacją częstotliwości. Daje to możliwość pracy radaru z nie-wielkimi mocami sygnału sondującego (od 1 mW do 1 W), co kwalifikuje radar w grupie trudno wykrywalnych. Zestaw radaru montowany jest w odpowiednio dostosowanej kabinie pojazdu terenowego Star 266 oraz na rozwijanym do wysokości 20 m. maszcie, co zapewnia możliwość tworzenia ruchomych nabrzeżnych posterunków radiolokacyjnych współpracujących z siecią radarów ochrony

wybrzeża. Wspólnym opracowaniem WAT i PIT jest Radarowy System Monitoringu RSM wykonany na zlecenie firmy Petrobaltic. Radar realizuje dwie funkcje, a mianowicie monitoruje powierzchnię morza wokół platformy wiertniczej i alarmuje o wykrytych zanieczyszczeniach ropopochodnych unoszących się na powierzchni morza. Funkcję tę realizuje tor wykrywania plam opracowany przez WAT, jak również wykrywa i śledzi obiekty pływające (łódzie, statki) pełniąc funkcje nawigacyjne i ostrzegawcze. Zadanie to realizuje jednostka nadawczo-odbiorcza oraz tor wykrywania obiektów nawodnych opracowana w Oddziale Gdańskim PIT.

2.4. Morskie radary nawigacyjne

Morskie radary nawigacyjne obserwują obiekty znajdujące się na powierzchni morza (łódzie, statki, jachty) i pozwalają prowadzić bieżącą nawigację idącego okrętu. Jednym z rozwiązań jest opracowany w RADWAR w końcu lat 80. radar N-27 opracowany dla potrzeb Marynarki Wojennej. Radar N-27, bazując na typowej technice radarów nawigacyjnych, pełni również funkcję wskazywania celów nawodnych do systemu kierowania strzelaniem rakiętowym woda-woda. Oprócz pozycji celu względem własnego okrętu, system kierowania strzelaniem wymaga parametrów opisujących względny ruch celu w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach. Spełnienie tych warunków zapewniono poprzez zastosowanie w radarze automatycznego śledzenia tras obiektów nawodnych. Kilka sztuk tego typu radarów zainstalowano na okrętach Marynarki Wojennej.

W końcu lat 90. opracowano w PIT tzw. „cichy” radar nawigacyjny CRM-200 przeznaczony do instalacji na okrętach. Radar wykrywa cele nawodne i określa ich parametry ruchu. Radar cechuje duża skrytość działania wynikająca z bardzo małej mocy promieniowanej przez antenę. Są to pierwsze w kraju (i dotąd jedyne) radary wykorzystujące technikę FMCW (fala ciągła z liniową modulacją częstotliwości). Ich opracowanie świadczy o opanowaniu zaawansowanych technik mikrofalowych i cyfrowego przetwarzania sygnałów DSP. Pierwsze egzemplarze zostały zainstalowane na okrętach Marynarki Wojennej. Technika FMCW, jako nowoczesna jest w PIT intensywnie rozwijana w kierunku innych aplikacji takich jak radary lotniskowe, czy radary pola walki.

2.5. Systemy rozpoznania radioelektronicznego

Systemy rozpoznania radioelektronicznego określane są często jako radiolokacja bierna, co

oznacza że w przeciwieństwie do radarów wysyłających w przestrzeń sygnały sondujące o dużej mocy impulsowej, systemy te pracują w trybie odbioru analizując przychodzące sygnały w dziedzinie czasu i częstotliwości. Urządzenia tego typu rozmieszczone w terenie o kilkadziesiąt km od siebie mogą wykrywać i określać położenie i parametry ruchu obiektów naziemnych, nawodnych i powietrznych na znacznych odległościach sięgających kilkaset km. Obiekty lokalizowane są na podstawie analizy sygnałów impulsowych i ciągłych, emitowanych przez praktycznie wszystkie typy urządzeń generujących sygnały elektromagnetyczne. Mogą to być stacje radiolokacyjne, systemy „swój – obcy”, systemy nawigacyjne montowane na samolotach (np. TACAN), czy też nadajniki zakłóceń. Systemy rozpoznania radioelektronicznego charakteryzują się szerokim pasmem pracy najczęściej od 0,5 do 18GHz oraz wysoką czułością.

W drugiej połowie lat 90. w PIT opracowano mobilną stację rozpoznania lądowych systemów radiolokacyjnych MUR-20. Stacja należy do urządzeń typu ELINT i przeznaczona jest do wykrywania i lokalizacji źródeł promieniowania elektromagnetycznego.

System pracuje w szerokim pasmie częstotliwości od 0,5 GHz do 18 GHz i zapewnia precyzyjne pomiary parametrów sygnałów, ich rejestrację oraz rozpoznanie i klasyfikację źródeł emisji. MUR-20 posiada również cechy stacji wsparcia

walki elektronicznej (typu ESM) służącej do szybkiej oceny sytuacji radiolokacyjnej i przekazywania danych do systemów dowodzenia. Dużą dokładność pomiaru azymutu źródła (do 0,5° RMS) uzyskano dzięki zastosowaniu interferometrycznej metodzie pomiaru kierunku w kanale ELINT. Stacja zabudowana na opancerzonym pojeździe może operować w bezpośredniej styczności wojsk i jest przeznaczona dla szczebla taktycznego wojsk lądowych. Dokładna lokalizacja źródeł promieniowania jest możliwa przy jednoczesnej pracy 3 ÷ 4 urządzeń oddalonych od siebie nie więcej niż o 20km. Urządzenie zostało wdrożone do produkcji w 2000r.

Drugim urządzeniem rozpoznania elektronicznego opracowanego w PIT we współpracy z Akademią Marynarki Wojennej jest kontener „SROKOSZ”. Przeznaczony jest do wykrywania i rozpoznawania sygnałów w szerokim zakresie fal elektromagnetycznych promieniowanych przez źródła emisji pracujące na lądzie, wodzie i w powietrzu. Umożliwia on wykrywanie i rozpoznawanie sygnałów generowanych przez urządzenia elektroniczne w zakresie częstotliwości radiowych UKF oraz wykorzystywanych przez systemy radiolokacyjne. Kontener wyposażony jest ponadto w

system wykrywania i rozpoznawania termalnego przeznaczony do otrzymywania obrazu nosiciela ZE w podczerwieni. Kontener „SROKOSZ” może być zainstalowany na każdej, odpowiednio przygotowanej jednostce pływającej oraz na lądzie. Kontener został wdrożony do produkcji we współpracy z Akademią Marynarki Wojennej.

2.6. Systemy dowodzenia i kierowania

Prace w dziedzinie systemów dowodzenia i kierowania prowadzone były w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji, Wydziale Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej, Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia, a także w zakresie oprogramowania w Wojskowym Instytucie Informatyki.

Prace te prowadzone są od wczesnych lat siedemdziesiątych i obejmują projektowanie i dostawy systemów stacjonarnych i mobilnych dla odbiorców krajowych i na eksport. Modułowa budowa obiektów i systemów, w odniesieniu zarówno do sprzętu, jak i oprogramowania, pozwala na dostosowanie sprzętu do różnych wymagań odbiorcy.

W latach 70. w PIT opracowano obiekty automatyzacji radiolokacyjnego podsystemu szczebla taktycznego typu DS-11 (kompania radiotechniczna) i typu DS-21 (batalion radiotechniczny). Obiekty te modernizowane w początku lat 80. zapewniają automatyzację podsystemów rozpoznania radiolokacyjnego. Opracowano również obiekty podsystemu kierowania walką radioelektroniczną.

W latach 80. prowadzono prace nad kompleksową automatyzacją systemu rozpoznania radiolokacyjnego i automatyzacją dowodzenia naziemnymi środkami obrony przeciwlotniczej. W wyniku tych prac powstały obiekty DP-10, DP-20, DP-40, jak i zautomatyzowany wóz dowodzenia podsystemu kierowania obroną przeciwlotniczą pułku zmechanizowanego i pułku rakiet przeciwlotniczych (ZWD-10 R).

Od lat 70. przystąpiono do realizacji międzynarodowego programu InterASU w zakresie związanym z opracowaniem wozów dowódczo-sztabowych wchodzących w skład systemu dowodzenia związkami taktycznymi (dywizją pancerną, dywizją zmechanizowaną).

W 1990 r. zakończono w PIT opracowanie i przeprowadzono badania prototypów zautomatyzowanych obiektów typu ŁEBA przeznaczonych do obrony wybrzeża.

Na bazie opracowanych obiektów i uzyskanych doświadczeń realizowane są specjalizowane zestawy dla potrzeb krajowych i na eksport, jak i podejmowane są nowe opracowania.

W latach 70. podjęto na Wydziale Cybernetyki prace nad zautomatyzowanym systemem dowodzenia szczebla operacyjno-taktycznego typu CYBER-W. Prace te kontynuowane były w Instytucie Komputerowych Systemów Dowodzenia.

Począwszy od lat 90. automatyzacją systemów rozpoznania radiolokacyjnego, dowodzenia i kierowania (ZS RRDik) zajmuje się w Polsce przede wszystkim Przemysłowy Instytut Telekomunikacji i Wojskowa Akademia Techniczna.

Niemal od samego początku działalności w tej dziedzinie PIT współpracuje z Wojskowym Instytutem Technicznym Uzbrojenia w zakresie oprogramowania i badań urządzeń i obiektów automatyzacji oraz od kilku lat z Wojskowym Instytutem Informatyki w zakresie oprogramowania oraz firmą FILBICO. Niezależnie od tego w opracowaniu poszczególnych tematów uczestniczy wiele instytucji wojskowych i cywilnych, w zależności od potrzeb.

2.7. Różne urządzenia radiolokacyjne

Radary policyjne (do pomiaru szybkości pojazdów) produkowane są w WZR RAWAR od 1964 r. W Wojskowej Akademii Technicznej oraz w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych od lat 60. prowadzone są prace nad imitatorami sygnałów radiolokacyjnych przeznaczonych do szkolenia operatorów stacji radiolokacyjnych użytkowników systemów dowodzenia.

W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia opracowano radiolokacyjne stacje balistyczne przeznaczone do pomiaru prędkości wylotowej pocisków.

2.8. Możliwości naukowo-badawcze i produkcyjne

Opracowanie i produkcja urządzeń radiolokacyjnych w Polsce związane są w pierwszym rzędzie z działalnością Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji i Warszawskich Zakładów Radiowych RAWAR.

PIT stanowi wiodący ośrodek badawczo-rozwojowy, który opracowuje prototypy nowych radarów i obiektów systemów dowodzenia i kierowania oraz rozpoznania oraz produkuje je w Zakładzie Produkcji Doświadczalnej w wymaganej ilości dla potrzeb użytkowników. Rozwiązanie to jest w dzisiejszych warunkach optymalne, ze względu na znacznie mniejsze potrzeby Wojska Polskiego (pojedyncze egzemplarze) w porównaniu z potrzebami lat 70. i 80., które wymagały produkcji dużych serii urządzeń. PIT posiada trzy oddziały zamiejscowe a mianowicie:

Oddział Anten w Kobyłce, Oddział we Wrocławiu oraz Oddział w Gdańsku.

WZR RAWAR są zakładem przygotowanym w latach ubiegłych do produkcji seryjnej radarów i obiektów systemowych zarówno w oparciu o opracowania Instytutu, jak i własne prace badawczo-rozwojowe.

Od 1977 r. działa Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej RADWAR (obecnie RADWAR S.A.). Zakładem wiodącym centrum są WZR RAWAR. W skład Centrum RADWAR wchodzi również: Zakłady Elektroniki Przemysłowej PROFEL w Szydłowcu, Zakłady Produkcji Anten ZANTEN w Kobyłce oraz Przedsiębiorstwo Komplektacji i Dostaw Elektroniki Profesjonalnej (PKiDEP).

Badania państwowe prototypów radarów przeprowadzane są w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia.

W opracowaniu podzespołów zwłaszcza mikrofalowych oraz części składowych urządzeń radiolokacyjnych uczestniczyła grupa kilkudziesięciu kooperantów, instytutów n-b i zakładów produkcyjnych. Wymienić tu można m.in.:

Zakłady Elektroniczne LAMINA (kończące obecnie produkcję lamp mikrofalowych dużej mocy takich jak magnetrony i amplitrony),

Instytut Technologii Elektronowej (zlikwidowano w 1999 r. produkcję półprzewodników mikrofalowych takich jak diody PIN, diody Gunn'a),

Instytut Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej (w 1993 r. został włączony do PIT i jest obecnie Oddziałem Wrocławskim Instytutu),

Dołnośląskie Zakłady Technologii Elektronowej DOLAM (produkowały lampy z falą bieżącą LFB, lecz w 1991 r. uległy likwidacji),

Zakład Materiałów Magnetycznych POLFER (producent mikrofalowych materiałów ferrytowych oraz niektórych podzespołów ferrytowych- zlikwidowany w 1998r. PIT przejął produkcję tych materiałów), a także

Przemysłowy Instytut Maszyn Budowlanych PIMAB,

BUMAR-Fablok (obecnie BUMAR S.A.),
OBRUM-Gliwice (obecnie OBRUM S.A.).

Uzyskanie pozytywnych wyników w działalności przemysłowej w radiolokacji związane jest ze ścisłą współpracą z instytutami wojskowymi i bezpośrednio użytkownikami sprzętu.

Z wojskowych ośrodków naukowych wymienić należy przede wszystkim;

Wojskową Akademię Techniczną (WAT)

Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia (WITU)

Centrum Informatyki i Łączności Obrony Narodowej

Wojskowy Instytut Łączności (WiŁ)

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych (ITWL)

W okresie 1953- 2003 wyprodukowano w kraju:

- urządzenia radiolokacyjne do wykrywania obiektów powietrznych ponad 1000 szt.
- morskie radary nawigacyjne ok. 6000 szt.
- obiekty systemów dowodzenia i kierowania ok. 150 szt.

Ze względu na zmianę wartości pieniędzy trudno jest oceniać łączną wartość produkcji. Sprzęt radarowy, zwłaszcza ciężki sprzęt naziemny do wykrywania obiektów powietrznych, jest sprzętem drogim. Aktualnie światowe ceny radarów o parametrach zbliżonych do radarów typu N wynoszą od kilkunastu do kilkudziesięciu milionów dolarów za sztukę.

Produkcja urządzeń radiolokacyjnych i obiektów systemowych prowadzona była dla zaspokojenia potrzeb odbiorcy krajowego oraz na eksport obejmujący przez szereg lat ok. 50% produkcji.

Minione 50 lat stanowi okres dynamicznego rozwoju technologii elektronicznej w świecie.

W okresie tym powstało kilka generacji układów elektronicznych począwszy od układów lampowych, układów tranzystorowych, układów scalonych do monolitycznych układów scalonych. Rozwinęły się również podstawy teoretyczne oraz zastosowania i rozwiązania techniki radiolokacyjnej i techniki mikrofalowej, pojawiły się nowe techniki, jak np. cyfrowa obróbka sygnałów i szeroko rozumiana technika informatyczna i komputerowa. W latach tych kolejne wersje radarów rozwiązywane były odpowiednio do aktualnego stanu techniki i tendencji rozwojowych w świecie.

Prace rozwojowe w radiolokacji i systemach dowodzenia i kierowania podlegają ciągłej ocenie po wykonaniu każdego prototypu czy partii produkcyjnej. Projektanci i wykonawcy mieli tu w ciągu minionych lat zarówno powodzenia, jak i przeżywali okresowe porażki. Ostre wymagania na sprzęt radiolokacyjny i obiekty systemowe wymagają ciągłego wprowadzania nowych technik i nowych

technologii, często do kolejnych serii produkcyjnych tego samego typu urządzenia.

Od 1969r. organizowane są coroczne konferencje naukowo-techniczne radiolokacji z udziałem przedstawicieli wojsk, projektantów i producentów sprzętu, w celu wymiany opinii, doświadczeń i formowania kierunków modyfikacji i opracowań nowych urządzeń.

Od 1993 roku organizowane są również coroczne konferencje automatyzacji dowodzenia, na których prezentowane są potrzeby rodzajów wojsk oraz nowe koncepcje zautomatyzowanych systemów dowodzenia oferowane przez krajowe ośrodki naukowo-badawcze.

Działalność w radiolokacji i systemach uzyskała wielokrotnie pozytywną ocenę. Pracownicy PIT, RADWAR, LAMINA, WAT, WITU, ITWL, MON uzyskali nagrody państwowe, nagrody Przewodniczącego Komisji Przemysłu Obronnego, Ministra Obrony Narodowej, nagrody „Mistrz Techniki”, nagrody na licznych wystawach międzynarodowych oraz liczne nagrody resortowe.

Krajowa działalność w radiolokacji szeregu ośrodków naukowych i przemysłowych zarówno cywilnych, jak i wojskowych, znajduje odbicie w literaturze naukowo-technicznej z tej dziedziny. W powiązaniu z Institute of Electrical and Electronics Engineers (USA) opracowano indeks artykułów i książek związanych z problematyką radiolokacyjną, opublikowanych przez polskich autorów w okresie 1934-1989. Indeks zawiera ponad 400 pozycji [10].

W dalszych rozdziałach niniejszego opracowania omówione zostaną krótko rozwiązania techniczne poszczególnych stacji radiolokacyjnych, obiektów systemów dowodzenia i kierowania oraz rozpoznania radioelektronicznego, opracowanych i produkowanych w kraju. W rozdz.13 przedstawiony zostanie aktualny potencjał naukowo-badawczy i produkcyjny w dziedzinie radiolokacji.

3. RADARY DO KONTROLI PRZESTRZENI POWIETRZNEJ DLA SYSTEMÓW DOWODZENIA I KIEROWANIA

Edward Sędek, Zbigniew Czekala

3.1. Radary rodziny NYSA

Stacja radiolokacyjna NYSA A przeznaczona była do wykrywania samolotów i określania ich odległości. Stacja pracowała na fali ok. 50 cm (częstotliwość ok. 600MHz) z impulsem sondującym 200kW, 5 μ s, z częstotliwością powtarzania 100Hz i mocą średnią 100 W. Stacja rozmieszczona była na dwóch samochodach ZIS-150. W jednym samochodzie znajdowała się aparatura nadawczo-odbiorcza i wskaźnikowa, a w drugim samochodzie – dwa agregaty zasilające, silnik napędowy przetwornicy 50/500 Hz i zasilacz modulatora. W czasie pracy antena paraboliczna o średnicy reflektora 3 m umieszczona była na dachu samochodu z aparaturą. Na czas przewozu antenę umieszczono wewnątrz wozu zasilania.

W nadajniku zastosowano magnetron M2 opracowany w kraju i modulator liniowy z iskiernikiem obrotowym. Nadajnik z anteną połączony był sztywną linią współosiową. Antena o szerokości wiązki 12⁰ w azymucie i 10⁰ w elewacji obracania była dookoła z szybkością od 0,5 do 5obr/min. z możliwością zmiany kierunku obrotów i ręcznego sektorowania. Na wejściu odbiornika zastosowano wzmacniacz w.cz. na lampach 2C40 o współczynniku szumów 11dB. Wzmacniacz p.cz. 30MHz rozwiązany był na lampach 6AC7. Radar wyposażony był we wskaźnik A oraz wskaźnik P na lampach o średnicy 7" (z obrotową cewką odchyłającą). Aparatura stacji zasilana była z sieci o częstotliwości 500 Hz (1 faza 3,5 kVA) i częstotliwości 50 Hz (0,3 kVA) z sieci lub agregatów spalinywych.

Stacja pracowała z odbiciami od Ziemi powodującymi powstanie listków interferencyjnych drugiego współpracującego urządzenia.



Rys. 3.1. Stacja radiolokacyjna NYSA A



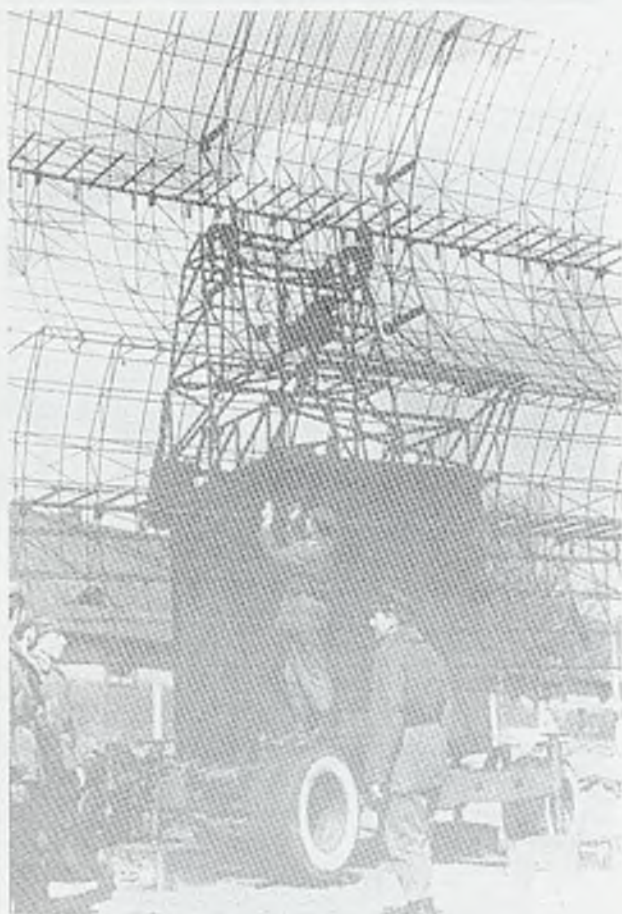
Rys. 3.2. Wysokościomierz NYSA B

Maksymalny zmierzony zasięg stacji dla wysokości lotu 6000 m wynosił ponad 150 km dla pary samolotów MIG-15. Zasięg wyznaczono dla stosunku amplitudy sygnału echa do szumu wynoszącego 1,5 (określonego na wskaźniku A przy wolnym sektorowaniu anteny). Czas rozwinięcia stacji - 30 minut.

Badania stacji NYSA A zakończyła Komisja Międzyministerialna w kwietniu 1953 r. Zalecono opracowanie ulepszanego wariantu z dwiema antenami w celu eliminacji luk oraz intensywne prowadzenie prac nad urządzeniem NYSA B określającym wysokość obiektów.

W latach 1953/54 wykonano serię modelową 5 sztuk urządzenia NYSA A i przekazano do próbnej eksploatacji w Siłach Zbrojnych.

W 1955 r. opracowano prototypy urządzeń NYSA B i NYSA C w oparciu o WTT zatwierdzone w 1954 r. przez marszałka Polski.



Rys. 3.3. Stacja radiolokacyjna NYSA C

Poniżej krótko omówiono zestaw radiolokacyjny wykrywania i naprowadzania NYSA składający się ze stacji obserwacji dookrężnej NYSA C i wysokościomierza NYSA B. Stacja NYSA C wykrywa obiekty i określa ich odległość i azymut.

Współpracująca z nią stacja NYSA B nastawiana była półautomatycznie na azymut wybranego obiektu i określała wysokość (i odległość) obiektu. Stacja NYSA była stacją przewoźną. Rozmieszczona była na trzech samochodach ZIS (wóz wskaźnikowy, dwa wozy zasilania), dwóch przyczepach od dział przeciwlotniczego 85 mm ze specjalnymi kabinami (zawierającymi aparaturę nadawczo-odbiorczą i anteny) i przyczepie do przewozu anteny NYSA C.

Zestaw radiolokacyjny NYSA produkowany był w WZR RAWAR przez szereg lat na potrzeby krajowe oraz na eksport do Syrii i Indonezji.

Stacja NYSA C pracowała na częstotliwości ok. 600MHz. Zastosowano system antenowy składający się z dwóch anten o rozmiarach 7,2· 2,3m i 7,2· 3,4m umieszczonych jedna nad drugą na takiej wysokości nad Ziemią, aby uzyskać pokrycie luk interferencyjnych jednej anteny przez listki drugiej anteny. Zasięg maksymalny stacji wynosił dla obiektu o powierzchni skutecznej odbicia 10 m² ok. 300 km dla śledzenia celu lub bardzo wolnego przeszukiwania. Pułap ok. 15.000 m. Anteny składały się z reflektora w postaci walca parabolicznego i układu oświetlającego zawierającego 26 dipoli. Szerokość wiązek w azymucie 4°. Ruch obrotowy kabiny antenowej z układami nadawczo-odbiorczymi odbywał się z regulowaną szybkością od 0,5 do 6 obr/min. i możliwością półautomatycznego sektorowania. Z każdą anteną związany był niezależny układ nadawczo-odbiorczy. Nadajniki rozwiązano na krajowych magnetronach LM21 i LM22, o mocy impulsowej 200 kW, szerokości impulsu 5 μs i częstotliwości powtarzania 200Hz. Zastosowano impulsator liniowy z iskiernikiem obrotowym.

W układzie NO stosowano zwieraki gazowane PJ6. Wzmacniacz w.cz. na wejściu odbiorników na lampach 2C40 miał współczynnik szumów 11dB. Sumowanie sygnałów z dwóch kanałów odbiorczych przeprowadzano na częstotliwości wizyjnej.

W wozie wskaźnikowym rozmieszczono odbiornik, wskaźnik P na lampie 31LM32, wskaźnik A, stanowiska dla operatorów, planszycisty, radiotelefonisty, dowódcy oraz wskaźnik RH stacji NYSA B.

Pobór mocy z sieci – 11 kW (bez ogrzewania). W dwóch identycznych wozach zasilających umieszczono agregaty spalinowo-elektryczne PDS-30.

Wysokościomierz NYSA B zapewniał wyznaczone wysokości wykrytych celów przez ruch wąską wiązką anteny w płaszczyźnie elewacji. Wysokościomierz pracował w pasmie S z nadajnikiem na magnetronie MI-23 o mocy impulsowej 1 MW, szerokości impulsu 2μs i częstotliwości powtarzania 200 Hz. W modulatorze stosowano iskiernik obrotowy.

Antena miała reflektor paraboliczny i szerokość wiązki w azymucie $4,3^\circ$, w elewacji $1,3^\circ$. Antena przeszukiwała mechanicznie w kącie -2° do $+30^\circ$ z regulowaną szybkością do 10 wahanć na minutę. Na zadany kąt azymutu antena ustawiana była z dokładnością $0,5^\circ$ w czasie nie dłuższym niż 20 s. Możliwy był również ruch dookólny anteny z szybkością 1 obrót w ciągu 90 s.

Wskaźnik RH miał kineskop o średnicy 18 cm. Zobrazowanie generowano za pomocą stałych cewek odchylających. Na wale anteny umieszczony był potencjometr sinusoidalny do przekazywania kąta elewacji anteny. Do pomiaru odległości stosowano elektronowe znaczniki odległości, do pomiaru wysokości służyła skala z ruchomą mechaniczną linią namiarową uwzględniającą krzywiznę Ziemi.

Wysokościomierz NYSA B wykrywał samolot Ił 28 ($d = 6 \text{ m}^2$) na odległości ponad 100 km. Dokładność pomiaru wysokości – 700 m [11], [12].

3.2. Radary rodziny JAWOR

W 1955 r. podjęto w PIT prace nad radiolokacyjną stacją wstępnego przeszukiwania mającą służyć głównie do wskazania celu stacjom artyleryjskim typu SON. W ramach projektu wstępnego zaproponowano realizację stacji w nowym, nie stosowanym wówczas w kraju, pasmie L, co związane było z opanowaniem tego pasma i opracowaniem nowej elektroniki mikrofalowej. Propozycja ta doprowadziła do powstania rodziny stacji JAWOR oraz stacji typu AVIA przeznaczonych do kontroli cywilnego ruchu lotniczego.

W 1961 r. przebadano prototyp i przekazano do produkcji stację JAWOR. Stacja ta odznaczała się szeregiem rozwiązań odpowiadających współczesnemu poziomowi techniki krajów rozwiniętych. Stacja pracowała w pasmie L z impulsem 1,5MW o szerokości $3\mu\text{s}$ i z częstotliwością powtarzania 400 Hz.

Zastosowano szybkie przestrajanie w szerokim pasmie częstotliwości, koherentno-impulsowe układy tłumienia ech stałych z przemienną częstotliwością powtarzania (na liniach rtęciowych), antenę o rozpiętości 6 m o podwójnej krzywiznie reflektora i charakterystyce cosec², tyratrony wodrowe w modulatorze oraz epoksydowe elementy wysokonapięciowe. W odbiorniku zastosowano lampę o fali bieżącej produkcji radzieckiej, o współczynniku szumów 9 dB. Magnetrony LM41 i LM42 oraz zwieraki NO były opracowania krajowego.

Stacja JAWOR rozmieszczona była na jednym wozie typu Tatra 111 z przyczepą do przewozu anteny. Drugi wóz zawierał elektrownię prądozwożną. Zasięg stacji wynosił 150 km dla prawdopodobieństwa wykrycia 0,5 i samolotu MIG-17.

Stacja również współpracowała z wysokościomierzem Bogota opracowanym w WZR RAWAR.

W latach 1963-69 WZR RAWAR wyprodukowały kilkadziesiąt kompletów RSWP JAWOR (odległościomierzy i wysokościomierzy).

W 1963 r. MON zamówiło następną wersję stacji oznaczoną JAWOR M. Stacja ta opracowana była wspólnie przez RAWAR i PIT.



Rys. 3.4. Stacja JAWOR



Rys. 3.5. Odległościomierz JAWOR M



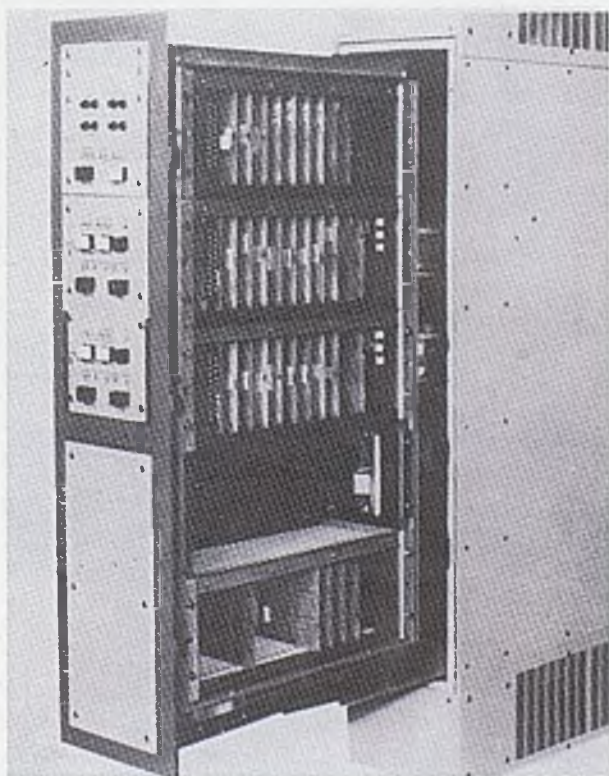
Rys. 3.6. Stacja radiolokacyjna ostrzegawcza JAWOR M2

Miała ona zwiększoną moc impulsu sondującego, w odbiorniku zastosowano lampę o fali bieżącej produkcji krajowej o współczynniku szumów 6 dB. Wprowadzono koherentny i auto-koherentny układ TES z podwójnym odejmowaniem na lampach pamięciowych oraz możliwość pracy na dwukrotnie podwyższonej częstotliwości powtarzania (przy skróceniu długości impulsu). Zastosowano również antenę o większej rozpiętości, 9 m. Zasięg stacji wynosił 180 km dla prawdopodobieństwa wykrycia 0,5 i samolotu MIG-17.

Rozmieszczenie aparatury na samochodach podobne było jak w stacji JAWOR. Stacja współpracowała z wysokościomierzem Bogota M. Zawierała 1012 lamp próżniowych, 381 tranzystorów, 1464 elementów półprzewodnikowych.

Prototyp stacji wykonano w 1966 r. Badania przez Komisję Państwową przeprowadzono w 1967 r.

Stacja JAWOR M produkowana była przez szereg lat. Łącznie wyprodukowano kilkadziesiąt kompletów.



Rys. 3.7. Blok odbiorczy typu KUN stosowany w stacji JAWOR

W 1971 r. zakończono prace nad prototypem stacji JAWOR M2. Uzyskano zwiększenie zasięgu do 350 km, dla prawdopodobieństwa wykrycia 0,5 i samolotu MIG-17, dzięki zastosowaniu anteny o rozpiętości 16 m, wzmacniacza amplitronowego o torze nadawczym i wzmacniaczy parametrycznych o małym współczynniku szumów w torze odbiorczym. W stacji tej wprowadzono system diversity, częstotliwości, autokoherentny i różnicowy TES, szybkie przestrajanie i inne układy przeciwwzakłóceńowe.

W stosunku do urządzenia NYSA A zwiększono potencjał stacji o 44 dB. Wskazuje to na postęp w technice krajowej, jaki uzyskano do okresu opracowania pierwszego radaru.

Stacja JAWOR M2 opracowana była w wersji przewoźnej rozmieszczonej na 3 samochodach Tatra z przyczepami (z anteną 16 m) i w wersji mobilnej o krótkim czasie rozwijania (z anteną 9 m).

Stacja JAWOR M2 produkowana była w WZR RAWAR przez szereg lat dla potrzeb krajowych oraz na eksport.

W części produkowanych urządzeń wprowadzono analogowo-cyfrowy blok obróbki sygnałów oraz inne zmiany i modyfikacje odpowiednio do postępu techniki i wymagań odbiorców [11], [12].

3.3. Wysokościomierze radiolokacyjne

Pierwszym krajowym wysokościomierzem była opracowana w WZR RAWAR w 1955 r. stacja NYSA B pracująca w pasmie S. Wprowadzono funkcję pelengacji zakłóceń szumowych. Na tym etapie zabrakło tylko funkcji ekstraktora i automatycznego śledzenia, które wymagają techniki komputerowej; ta jednak wtedy jeszcze nie była dostępna i przyszło czekać dobrych kilka lat, zanim w najprostszej postaci trafiła do polskich radarów.

Wprowadzenie AC BOS było jednak wydarzeniem przełomowym. Na rozwiązaniach tego bloku wyszkoliło się wielu konstruktorów i specjalistów wojskowych, co spowodowało silną ekspansję techniki cyfrowej w radiolokacji.

W kolejnych swych wersjach, przystosowanych do innych warunków pracy, AC BOS znalazł na początku lat 80. zastosowanie w ulepszonych, eksportowych wersjach stacji radiolokacyjnych bazujących na urządzeniach JAWOR, NIDA i NAREW.

Nowym rozwiązaniem był także opracowany w WZR RAWAR wskaźnik radiolokacyjny panoramiczny WRP-10, w którym zastosowano cyfrowe generatory przebiegów odchylających, a w późniejszych wersjach wprowadzono także elementy zobrazenia syntetycznego.

W stacji NAREW podjęto również próby estymacji wysokości, bazujące na dwuwieżkowej charakterystyce pokrycia i wykorzystujące technikę monoimpulsową amplitudową. Ten eksperyment generalnie się nie powiódł, głównie ze względu na bardzo ograniczone pokrycie w elewacji i w efekcie bardzo mały zakres użytecznej charakterystyki pelengacyjnej anteny. Przy tej okazji jednak „przećwiczono” wiele interesujących problemów, w tym opracowano tzw. generator znaków wizyjnych, który pozwalał wyświetlać w czasie rzeczywistym proste znaki graficzne na ekranie tradycyjnego wskaźnika P jedynie przez modulację jasności plamki, bez ingerencji w układ odchylania.

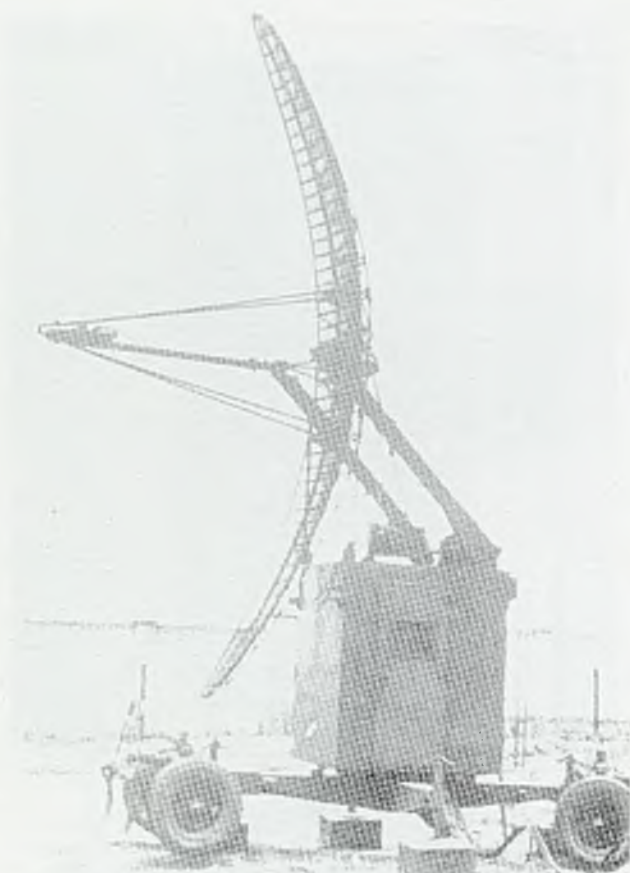
Stacji NAREW wyprodukowano kilkadziesiąt egzemplarzy, z czego kilka zostało wyeksportowanych w pomyślnych dla eksportu polskiej radiolokacji w latach 80.

W 1963 r. zakończono badania wysokościomierza BOGOTA stanowiącego modernizację radaru NYSA B. M.in. zastąpiono iskiernik w modulatorze przełącznikiem tyratronowym, wprowadzono lampę o fali bieżącej do układów odbiorczych, zastosowano we wskaźniku RH kineskop o średnicy 30cm. Dzięki modernizacji uzyskano zasięg 240 km dla samolotu IŁ-28 i zasięg 190 km dla samolotu MIG-17 (dla prawdopodobieństwa wykrycia 0,5). Dokładność pomiaru wysokości wynosiła 700 m na odległość 140 km. Czas obrotu kabiny antenowej o 180° zmniejszono do 7 s.

W wyniku dalszych prac opracowano wysokościomierz BOGOTA M przewidziany do współpracy ze stacją JAWOR M. Wprowadzono system tłumienia ech stałych, wskaźnik RH z elektronowymi liniami wysokości i prostokątnym zobrażeniem.



Rys. 3.8. Wysokościomierz BOGOTA

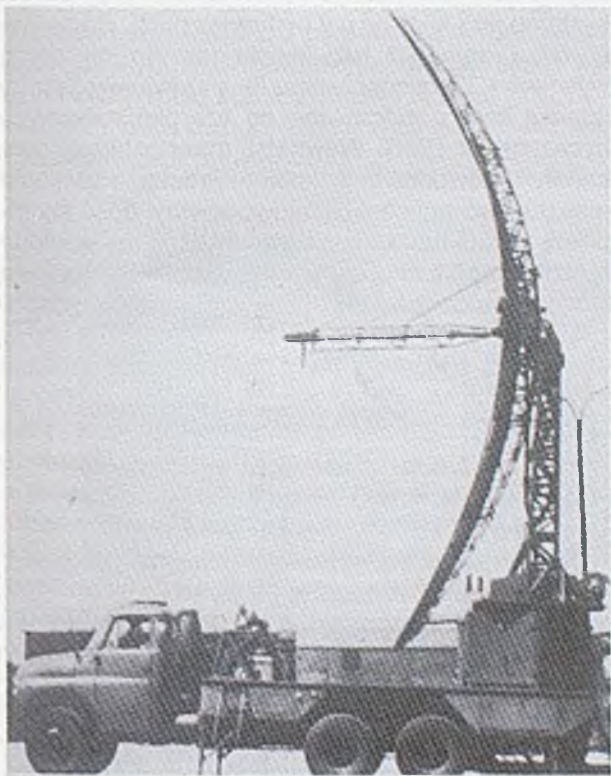


Rys. 3.9. Wysokościomierz BOGOTA M

Wahania anteny w elewacji regulowane były od 1 do 10 wahań na minutę w kącie 0 do 30° . Obroty w azymucie regulowane były od 0,5 do 2 obr/min. oraz możliwe było sektorowanie wokół wybranego azymutu. Dokładność określenia wysokości bezwzględnej wynosiła 500 m na odległości 140 km, a wysokości względnej – 200 m. Antena miała rozmiary 1,7 x 7,0 m oraz szerokość wiązki w azymucie $4,2^{\circ}$ i w elewacji $1,2^{\circ}$.

W wysokościomierzu zastosowano wysokostabilną heterodynę. Uzyskano współczynnik szumów odbiornika mniejszy od 7,5 dB. Pobór mocy (bez ogrzewania) wynosił 7 kW.

Kolejnym wysokościomierzem opracowanym w WZR RAWAR w 1972 r. był wysokościomierz NIDA.



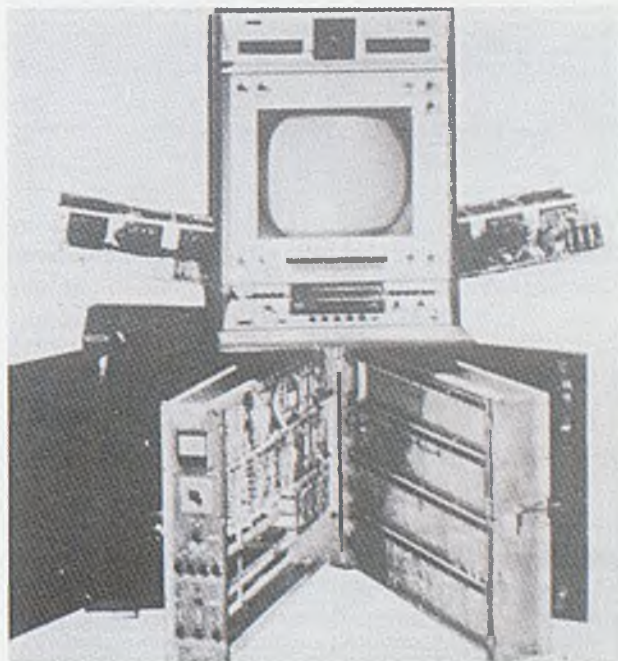
Rys. 3.10. Wysokościomierz NIDA

W wysokościomierzu tym zwiększono zasięg wykrywania i pomiaru wysokości do 240 km przy wykrywaniu samolotu odrzutowego z prawdopodobieństwem wykrycia 0,9. Dokładność pomiaru wysokości wynosiła 500 m na odległości do 140 km.

W wysokościomierzu zastosowano antenę reflektorową o rozpiętości 10 x 2,2 m i szerokości wiązki: 3° w azymucie, $0,9^{\circ}$ w elewacji. Elektrohydrauliczny system napędu anteny zapewniał zarówno wahania anteny w kącie -2° do $+30^{\circ}$ z częstotliwością 2 do 14 wahań na minutę, jak i możliwość pracy z pojedynczym cyklem.

Radar pracował w systemie diversity częstotliwości i posiadał dwa nadajniki magnetronowe na lampach MI-29.

Na wejściu odbiornika znajdowały się wzmacniacze na lampach o fali bieżącej o współczynniku szumów 6dB. Zastosowano szereg układów przeciw zakłóceniom czynnym i biernym, w tym TES koherentny, autokoherentny i różnicowy oraz układy cyfrowej współpracy z zestawem automatyzacji procesów zdejmowania i przetwarzania informacji powietrznej. W skład wysokościomierza wchodziło 5 jednostek jezdnych. Wysokościomierz produkowany był seryjnie w znacznych ilościach.



Rys. 3.11. Wskaźnik RH wysokościomierza NIDA

3.4. Stacja radiolokacyjna do wykrywania celów nisko lecących NAREW

Radary do wykrywania obiektów nisko lecących stanowią specjalną klasę wojskowych radarów ostrzegawczych, które mają do wykonania szczególnie trudną misję. Opracowywanie tej klasy urządzeń rozpoczęto na początku lat 70. ubiegłego wieku. Stały się one z czasem specjalnością WZR RAWAR. Pierwszym z serii radarów do wykrywania celów nisko lecących było urządzenie NAREW, którego prototyp wykonano w 1975r.

Aparatura radiolokacyjna tej stacji, pracującej w pasmie S, była w znacznym stopniu adaptowana z wcześniej opracowanego wysokościomierza NIDA. Nawet w przypadku anteny, której charakterystyki w zastosowaniu do radaru obserwacji dookreślonej są z reguły znacznie różne niż w zastosowaniu do wysokościomierza, maksymalnie wykorzystano rozwiązania techniczne wysokościomierza NIDA. Bez zmian pozostawiono reflektor o znacznej rozpiętości w płaszczyźnie pionowej (ok. 10 m). Modyfikację charakterystyki w płaszczyźnie elewacji uzyskano w wyniku zmiany układu oświetlającego: do istniejącej tuby formującej wiązkę szpilkową dodano tubę formującą drugą wiązkę, rozszerzając w ten sposób sektor pokrycia w elewacji.



Rys. 3.12. Zestaw stacji radiolokacyjnej NAREW



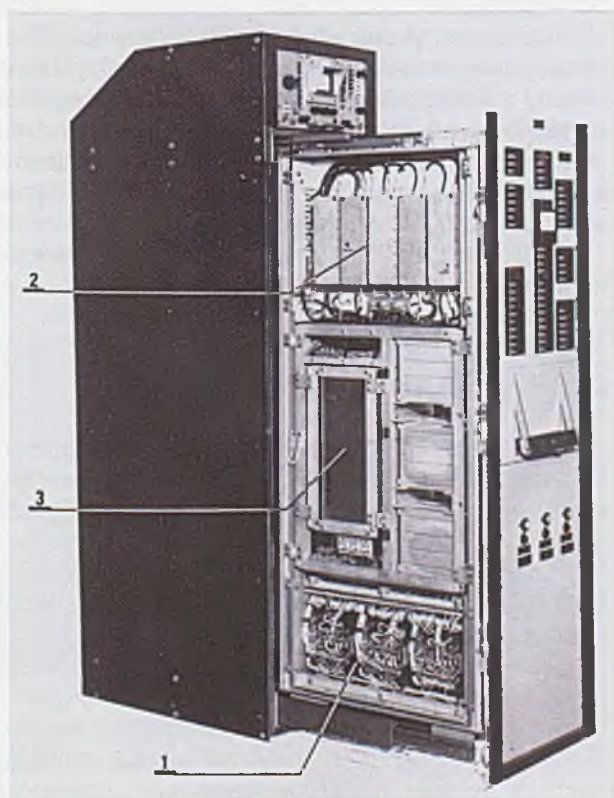
Rys. 3.13. Stacja NAREW w położeniu transportowym

Dodano także niezbędne elementy oświetlające systemu rozpoznania „swój – obcy”. Dodatkową tubę zasilono połową mocy nadajnika, a po stronie odbiorczej zastosowano dodatkowy kanał odbiorczy, korzystając z gotowego rozwiązania istniejącego w wysokościomierzu NIDA. Uzyskane tą metodą pokrycie elewacji pozostało jednak w granicach zaledwie około 4° , co powodowało ograniczone zastosowanie stacji NAREW do obserwacji tylko lotów na bardzo małych wysokościach.

Stacja NAREW składała się z trzech jednostek: wozu nadawczo-odbiorczo-wskaźnikowego (NOW), specjalnej przyczepy z masztem (SPM) i dodatkowej przyczepy do przewozu anteny. Maszt o wysokości ok. 25 m składał się z trzech segmentów rozkładanych teleskopowo przy użyciu systemu lin i siłowników hydraulicznych. Po zamocowaniu anteny i rozwinięciu masztu na pełną wysokość stabilność masztu zapewniały cztery odciągi linowe mocowane do szeroko rozstawionych podpór PMS. Wewnątrz masztu biegły dwa kanały falowodowe i kable. Proces rozwijania masztu i łączenia sekcji falowodów był dość skomplikowany, dlatego maszt był wyposażony w windę ręcznie napędzaną korbą. W kapsule pod anteną zastosowano czujniki wypoziomowania, które zdalnie sygnalizowały na dole potrzebę korekty wysokości poszczególnych podpór, pozwalające wypoziomować antenę z dokładnością do 5'. Antena była zdalnie pochylana w zakresie kilku stopni, co umożliwiało dostosowanie pokrycia przestrzeni do warunków terenowych stanowiska. Pomimo złożoności procesu rozwijania masztu, wytrenowana załoga stacji mogła wykonać to zadanie w czasie nie przekraczającym 90 minut. Wysoki maszt zapewniał bardzo dobre wykrywanie nisko lecących obiektów; zasięg wykrywania myśliwca na wysokości urządzenia NAREW była bardzo zróżnicowana pod względem nowoczesności rozwiązań. Jako nadajnik zaadaptowano blok generatora magnetronowego z wysokościomierza NIDA. Znaczna część aparatury odbiorczej była wykonana jeszcze w technice lampowej, w tym wejściowe wzmacniacze niskoszumne odbiornika na LFB. Z drugiej strony w tym urządzeniu wprowadzono po raz pierwszy w historii polskiej radiolokacji cyfrową obróbkę sygnałów [11], [12].

W wyniku polityki otwarcia na Zachód realizowanej przez ówczesne władze PRL, dzięki zakupionym licencjom dostępne stały się analogowe i cyfrowe układy scalone. Na tej bazie do stacji NAREW zamówiono w PIT opracowanie analogowo-cyfrowego bloku obróbki sygnału (AC BOS). W bloku tym zastosowano 8-bitowe konwertery analogowo-cyfrowe, cyfrowe filtry TES, układy stabilizacji poziomu fałszywego alarmu, integratory paczki impulsów echa, a więc pełną cyfrową obróbkę sygnału o strukturze zgodnej z zasadami sztuki. Ponadto wprowadzono funkcję pelengacji zakłóceń szumowych. Na tym etapie zabrakło tylko funkcji ekstraktora i automatycznego śledzenia, które wymagają techniki komputerowej; ta jednak wtedy jeszcze nie była dostępna i przyszło czekać dobrych kilka lat, zanim w najprostszej postaci trafiła do polskich radarów.

Wprowadzenie AC BOS było jednak wydarzeniem przełomowym. Na rozwiązaniach tego bloku wykszoliło się wielu konstruktorów i specjalistów wojskowych, co spowodowało silną ekspansję techniki cyfrowej w radiolokacji.



Rys. 3.14. Analogowo-cyfrowy blok obróbki sygnału
1 – zasilacz, 2 – zespół układów p.cz.,
3 – konwerter A/C

W kolejnych swych wersjach, przystosowanych do innych warunków pracy, AC BOS znalazł na początku lat 80. zastosowanie w ulepszonych, eksportowych wersjach stacji radiolokacyjnych bazujących na urządzeniach JAWOR, NiDA i NAREW.

Nowym rozwiązaniem był także opracowany w WZR RAWAR wskaźnik radiolokacyjny panoramiczny WRP-10, w którym zastosowano cyfrowe generatory przebiegów odchylających, a w późniejszych wersjach wprowadzono także elementy zobrazowania syntetycznego.

W stacji NAREW podjęto również próby estymacji wysokości, bazujące na dwuwieżkowej charakterystyce pokrycia i wykorzystujące technikę monoimpulsową amplitudową. Ten eksperyment generalnie się nie powiódł, głównie ze względu na bardzo ograniczone pokrycie w elewacji i w efekcie bardzo mały zakres użytecznej charakterystyki pelengacyjnej anteny. Przy tej okazji jednak „przezwycięzono” wiele interesujących problemów, w tym opracowano tzw. generator znaków wizyjnych, który pozwalał wyświetlać w czasie rzeczywistym proste znaki graficzne na ekranie tradycyjnego wskaźnika P jedynie przez modulację jasności plamki, bez ingerencji w układ odchylania. Wyprodukowano kilkadziesiąt egzemplarzy stacji NAREW, z czego kilka zostało wyeksportowanych w pomyślnych dla eksportu polskiej radiolokacji latach 80.

3.5. Radary produkowane na licencjach

Równoległe z wdrożeniem do produkcji stacji radiolokacyjnych opracowania krajowego, WZR RAWAR produkowały również w okresie od 1955 do 1969 niżej wymienione stacje radiolokacyjne w oparciu o dokumentację licencyjną ZSRR.

Stacja artyleryjska SON 4

Pierwszym urządzeniem licencyjnym była artyleryjska stacja radiolokacyjna SON 4. Dokumentację licencyjną zawierającą 30.000 formatek A4 odebrano w maju 1953 r. Prototyp wykonano w styczniu 1955 r. na importowanych detalach, a w grudniu 1966 r. na detalach krajowych.

Łącznie wyprodukowano kilkadziesiąt kompletów stacji w wersji mobilnej i stacjonarnej. Pracochność stacji SON 4 wynosiła 120.000 rob. godz.

Radiolokator wykrywał samoloty w odległości do 70 km, zobrazowując je na wskaźniku. Wybrany przez operatora samolot mógł być śledzony automatycznie w promieniu 35 km z zapewnieniem wysokiej dokładności śledzenia i określania współrzędnych.

SON 4 pracował w pasmie S z nadajnikiem magnetronowym i impulsem sondującym 200 kW, 0,8 μ s. Antena wytwarzała wiązkę o szerokości 4° wirującą z szybkością 24 obr/s. Pokrycie w kącie elewacji -5° do +85°. Dokładność pomiaru odległości \pm 25 m. Dokładność pomiaru kąta \pm 1,6 tysięcznej (\square 6). Pobór mocy z sieci 18 kVA. Radiolokator SON 4 był zmontowany na dwóch przyczepach samochodowych, przy czym masa przyczepy operacyjnej z anteną wynosiła 14 t.

Stacja artyleryjska SON 9a

W 1956 r. WZR przejęły dokumentację licencyjną na zmodernizowaną stację artyleryjską SON 9a zawierającą 16.500 formatek A4. Pierwszą serię wyprodukowano w 1958 r. Produkcja stacji była kontynuowana przez następnych kilka lat.

Stacja SON 9a zawiera 163 lampy próżniowe, 870 rezystorów, 500 kondensatorów. Pracochłonność wynosiła 15.000 rob.godz.

Stacja artyleryjska STRZAŁA

W oparciu o doświadczenie zdobyte na licencyjnych urządzeniach artyleryjskich zespół specjalistów Warszawskich Zakładów Radiowych opracował stację artyleryjską z zastosowaniem techniki monoimpulsowej do śledzenia w elewacji i w azymucie. Stacja pracowała w pasmie S i była przestrajana w szerokim zakresie. Śledzenie w odległości realizowane było w pasmie S oraz w dodatkowym kanale w pasmie X dla zwiększenia odporności na zakłócenia czynne. W okresie tym rozwiązania radaru STRZAŁA odpowiadały zaawansowanej technice światowej.

W 1961 r. wykonano serię informacyjną radaru. W dalszych latach wyprodukowano kilkadziesiąt kompletów radaru STRZAŁA.

Stacja wstępnego naprowadzania P-35M

W oparciu o dokumentację ZSRR podjęto w 1963 r. WZR RAWAR produkcję stacji radiolokacyjnej P-35M. Łącznie wyprodukowano ponad 100 kompletów, przy czym znaczną liczbę wyeksportowano do Węgier, NRD, Bułgarii i Czechosłowacji.

Stacja pracowała w pasmie S. System antenowy składał się z dwóch anten reflektorowych zawierających łącznie sześć tub promieniujących zasilanych z pięciu nadajników. Nadajniki pracowały z magnetronami serii MI-29. Odbiorniki zawierały lampy o fali bieżącej o współczynniku szumów 11dB. W skład stacji wchodziły: nadwozie z aparaturą nadawczo-odbiorczą, przyczepa do przewozu anten, ciągnik, elektrownie polowe.

Produkcja stacji rozkooperowana została pomiędzy kilka zakładów krajowych. Jeden z wozów produkowany był na Węgrzech. Pracochłonność prac realizowanych w WZR RAWAR wynosiła 62.000 rob.godz. (1965 r.). Stacja P-35M zawierała 395 lamp próżniowych, 2.450 rezystorów, 1.175 kondensatorów i 390 transformatorów. Łączna masa stacji (7 wozów) – 64.200 kg.

3.6. Radary na fale milimetrowe

W 1965 r. opracowano w PIT model funkcjonalny radaru TOR o dużej rozróżnialności, przeznaczonego do kontroli ruchu naziemnego na terenie dużych lotnisk oraz ruchu w akwenach wodnych. Radar pracował w pasmie fal milimetrowych (8 mm) z mocą impulsową 20 kW przy szerokości impulsu 20 μ s i częstotliwości 20 kHz. Nadajnik opracowany był na importowanym magnetronie. Rozróżnialność odległościowa radaru wynosiła 3 m.

Zastosowano antenę o rozpiętości reflektora 2,3 x 0,8 m i szerokości wiązki w azymucie 0,25°, obracającą się z szybkością 40 obr/min. Antena umieszczona była na wieży i miała w elewacji charakterystykę cosec² odwróconą w kierunku Ziemi. Układy mikrofalowe rozwiązane były na falowodzie napełnionym osuszonym powietrzem. Heterodyna zbudowana była na klustronie refleksyjnym. Szerokość pasma wzmacniacza p.cz. (80 MHz) wynosiła 50 MHz.

Model radaru przebadany został na terenie lotniska i w akwie morskim [13].

3.7. Radary pełnokohherentne typu N

Zgodnie z kierunkiem rozwoju techniki radiolokacyjnej w połowie lat siedemdziesiątych podjęto w PIT, a nieco później w WZR RAWAR, prace rozwojowe nad nową rodziną stacji radiolokacyjnych oznaczonych literą N. Radary tej rodziny stanowią trzecią generację urządzeń radiolokacyjnych opracowanych w kraju.

Zasadniczą cechą rozwiązań tej generacji są pełno-kohherentne układy nadawczo-odbiorcze z nadajnikiem zbudowanym w układzie wzmacniacza mocy na lampach o fali bieżącej i amplitronach. W stacjach tego typu stosowany jest sygnał sondujący z dodatkową modulacją częstotliwości wewnątrz impulsu oraz układy kompresji impulsu. Radar może pracować zarówno na stałej częstotliwości, jak i z przestrajaniem od impulsu do impulsu lub od paczki do paczki impulsów w szerokim pasmie częstotliwości.

W układach odbiorczych zastosowano cyfrowe układy tłumień ech stałych o podwyższonych parametrach, układy stabilizacji fałszywego alarmu,

integratory i korelatory oraz inne układy zwiększające odporność stacji na zakłócenia. Podstawowe zespoły systemu nadawania i odbioru kodowanego impulsu, opracowane w PIT, umożliwiły kompletowanie aparatury dla radarów z kompresją impulsu zarówno w pasmie L, jak i S [11, [12].

3.7.1. Radar ostrzegawczy N-31

Radar ostrzegawczy N-31 jest przeznaczony do wykrywania obiektów powietrznych o zasięgu ok. 200 km i pokryciu w wysokości do 27.000 m. Radar opracowano w pasmie L w dwóch wariantach: mobilnym i stacjonarnym. W wariantcie mobilnym stacja składa się z jednego samochodu z przyczepą-agregatem zasilającym. W wariantcie stacjonarnym przewidziano stosowanie anteny o większej rozpiętości. W nadajniku zastosowano lampy o fali bieżącej w stopniach wejściowych i wzmacniacze amplitronowe w stopniach końcowych dużej mocy. Przewidziano możliwość pracy na jednej częstotliwości, jak również w systemie diversity oraz z przestrajaniem od impulsu do impulsu.

Radar ma rozbudowane układy przeciwwzakłócenieniowe zapewniające wysoką odporność na zakłócenia bierne i czynne. Przystosowany jest do automatycznej współpracy z oddzielnym wysokościomierzem radiolokacyjnym. Zapewniona jest bezobsługowa praca urządzenia przy zdalnym sterowaniu z wynośnego stanowiska.



Rys. 3.15. Radar ostrzegawczy N-31

3.7.2. Wysokościomierz N-41

Od najwcześniejszych lat rozwoju polskiej radiolokacji wojskowym radarom ostrzegawczym towarzyszyły wysokościomierze jako ich niezbędne

uzupełnienie, dopóki nie pojawiły się radary trójwspółrzędne. Kiedy powstawały kolejne generacje radarów ostrzegawczych, naturalną konsekwencją było opracowanie, w zbliżonym okresie czasu, wysokościomierza tej samej generacji. Według tej zasady powstał wysokościomierz radiolokacyjny N-41, przewidziany „do pary” dla radaru ostrzegawczego N-31.

Wysokościomierz N-41 został zbudowany jako korzystne połączenie z jednej strony rozwiązań mechanicznych stosowanych wcześniej w wysokościomierzach, a z drugiej strony – elementów nowoczesnej aparatury elektronicznej radarów koherentnych z rodziny N. Kiedy powstawał N-41, już były seryjnie produkowane radary N-21 i N-23. Z wysokościomierza NIDA w N-41 zaadaptowano antenę wraz z jej obrotowym słupem, mechanizmem hydraulicznym napędu wahań i pochylania całego słupa z anteną do pozycji transportowej. Nowością było umieszczenie anteny i całej aparatury elektronicznej na jednym pojeździe, dzięki czemu zestaw stacji składał się z dwóch jednostek: wozu z aparaturą i przyczepy do przewozu anteny. Na czas transportu na dachu wozu z aparaturą pozostawał tylko słup anteny, zaś sama antena była odkładana na przyczepę.

W aparaturze elektronicznej wykorzystano w pełni systemy nadawczy i odbiorczy z radarów niskiego pułapu N-2, z impulsem o szerokości $10 \mu s$ i liniową modulacją częstotliwości. Przy wysokim zysku anteny (ok. 40 dB) nadajnik o mocy szczytowej 100 kW i mocy średniej ok. 500 W pozwalał uzyskać zasięg 240 km dla samolotu myśliwskiego. W celu zwiększenia zasięgu wprowadzono dodatkowy stopień nadajnika o mocy szczytowej ok. 500 kW. Zrealizowanie dodatkowego stopnia jako wzmacniacza amplitronowego pozwala wykorzystywać radar z pełną mocą nadajnika lub z wyłączonym końcowym wzmacniaczem amplitronowym, który w takim przypadku jest „przezroczysty” dla impulsu sondującego.

W części odbiorczej i obróbki sygnału aparatura elektroniczna jest prawie identyczna jak w radarach N-2. Aparatura sterowana napędem anteny w azymucie została zbudowana na bazie nowoczesnej techniki tyrystorowej, wypierając wcześniejsze rozwiązanie ze wzmacniaczem elektromechanicznym, tzw. amplidyną. Zapewniło to zdecydowanie lepszą dokładność i dynamikę napędu w azymucie – oba parametry niezwykle ważne w tym zastosowaniu. W efekcie nowy napęd pozwalał „przerzucać” antenę na przeciwległy azymut w czasie poniżej 5 sekund, dając szansę na skrócenie czasu pełnego cyklu pomiaru wysokości. Dalsze skrócenie cyklu pomiaru wysokości uzyskano dzięki automatyzacji procesu pomiaru wysokości przez wysokościomierz N-41 współpracujący z radarem ostrzegawczym N-31, co było

oryginalnym i niekonwencjonalnym rozwiązaniem w technice wysokościomierzy radiolokacyjnych.

Zespół młodych wówczas inżynierów, zachęcany sukcesem w opracowaniu i praktycznym wdrożeniu systemu automatycznego śledzenia tras w radarze N-21, naturalnie poszukiwał potencjalnych obszarów komputeryzacji w systemach radarowych; proces współpracy między radarem ostrzegawczym a wysokościomierzem był wręcz idealnym polem do popisu dla pełnych zapалу inżynierów. Podjęto równoległe prace nad dostosowaniem UAK-21 do radaru N-31, a jednocześnie opracowano specjalną przystawkę do wysokościomierza, oznaczoną symbolem UPW-41 (układ pomiaru wysokości). Pozwalała ona zdalnie sterować procesem pomiaru wysokości i przesłać otrzymane dane do radaru N-31, aby w rezultacie umieścić je w meldunkach przesyłanych do ośrodka dowodzenia. W istocie przystawka UPW-41 zastępowała operatora wysokościomierza, funkcjonując według znanego schematu współpracy między radarem N-31 a wysokościomierzem N-41:

UAK-31, śledząc określoną liczbę tras obiektów powietrznych, przekazuje współrzędne (azymut i odległość) śledzonego obiektu. Współrzędne wskazanego obiektu są odczytywane w UPW-41 i definiują obszar przeszukiwania wysokościomierza, czyli azymut oraz bramkę odległościową.

Antena wysokościomierza ustawia się na wymaganym azymucie i wykonuje ruchy przeszukujące (wahania) w płaszczyźnie elewacji, skutkiem czego UPW-41 wykrywa wszystkie obiekty znajdujące się w sektorze azymutalnym objętym wiązką wysokościomierza i w określonej bramce odległościowej; wynikiem tego są współrzędne odległość – wysokość wszystkich obiektów wykrytych w obszarze przeszukiwania.

UPW-41 przeprowadza proces kojarzenia wykrytych ech i obiektu wskazanego przez UAK-31; wysokość obiektu spełniającego kryteria kojarzenia jest uznawana jako wysokość obiektu wskazanego przez UAK-31 i zwracana do UAK-31.

UAK-31 przekazuje do UPW-41 współrzędne kolejnego obiektu, którego wysokość ma być zmierzona.

Poza „oszczędnością” operatora wskaźnika RH w wysokościomierzu automatyzacja pomiaru wysokości przyniosła poprawę przepustowości powstałego w ten sposób systemu trójwspółrzędnego (3D), co wynikało z możliwości optymalizacji całej sekwencji pomiarowej i poprawy dokładności jej poszczególnych faz.

Najważniejsze punkty tej optymalizacji to:

- dokładniejsza predykcja położenia obiektu w momencie pomiaru wysokości, co daje większe prawdopodobieństwo pomiaru wysokości po pierwszym wskazaniu.
- możliwość ustalenia priorytetów w zakresie kolejności i częstotliwości pomiarów wysokości poszczególnych obiektów,
- możliwość optymalizacji kolejności pomiarów wysokości tak, aby zminimalizować straty czasu na przestawianie anteny na odległe kierunki azymutalne.

W efekcie radiolokacyjny system 3D utworzony z N-31 i N-41 pozwala wykonać średnio 8 pomiarów wysokości na minutę. Uwzględniając dodatkowo korzyść wynikającą z cyfrowej transmisji danych 3D do ośrodka dowodzenia, automatyzacja pomiaru wysokości „odmłodziła” tradycyjny wysokościomierz i pozwoliła zestawowi N-31/N-41 do dnia dzisiejszego funkcjonować w Wojsku Polskim równoległe z silną konkurencją radarów 3D.



Rys. 3.16. Wysokościomierz N-41

3.7.3. Radar do wykrywania celów nisko lecących N-21

N-21 jest pierwszym reprezentantem rodziny radarów niskiego pułapu opracowanych w WZR RAWAR na początku lat 80. Obejmuje ona urządzenia mobilne, stacjonarne brzegowe i okrętowe. Wszystkie radary tej grupy pracują w pasmie S i wykorzystują w znacznym stopniu zunifikowaną aparaturę elektroniczną, którą charakteryzują:

- koherentność dla nadawania i odbioru,
- szybkie przestrajanie w paśmie ok. 7%,
- automatyczny wybór najmniej zakłóconej częstotliwości,
- liniowa modulacja częstotliwości impulsu sondującego (LMCz),
- kompresja impulsu po stronie odbiorczej,
- cyfrowe przetwarzanie sygnału.

Nadajniki na lampach z falą bieżącą i amplitrone w stopniu końcowym emitują moc szczytową ok. 100 kW, przy mocy średniej ok. 1 kW. Pozwala to uzyskać zasięg około 100 km i pułap co najmniej 5 km dla powierzchni skutecznej obiektu 1 m². Współrzędne wykrytych obiektów są określone z dokładnością ok. 100 m (odległość) i 0,2° (azymut). Antena o rozpiętości ok. 4,5 m obraca się z prędkością 12 obrotów na minutę.

Opracowanie supermobilnego radaru NUR-21 zostało podporządkowane jego przeznaczeniu do obrony przeciwlotniczej wojsk w działaniach taktycznych, co istotnie odróżniało ten radar od wcześniej produkowanych dla potrzeb ówczesnych Wojsk Obrony Powietrznej Kraju. W radarze tym zastosowano po raz pierwszy w krajowej radiolokacji mikroprocesorowy system automatycznego wykrywania i śledzenia tras wykrytych celów, umożliwiającą automatyzację procesu przekazywania danych o sytuacji radiolokacyjnej do ruchomego stanowiska dowodzenia obroną przeciwlotniczą. Rozwiązywało to krytyczny w zastosowaniu do radarów mobilnych problem przekazania informacji pozyskanej przez radar.

W dobie Internetu trudno o tym pamiętać, ale w czasach zupełnie nieodległych proces wykrywania przez radar potencjalnych środków ataku powietrznego najczęściej kończył się ... rozmową telefoniczną między operatorem radaru a jego kolegą stojącym przed tzw. planszetem, czyli pionową przezroczystą płytą z naniesioną siatką współrzędnych, mapą itp. Operator radaru ustnie nadawał swojemu koledze, co widzi na wskaźniku, a ten zaznaczał współrzędne wykrytych celów na planszecie specjalnym ołówkiem. Za każdym obrotem anteny współrzędne obserwowanych obiektów musiały być przekazane i zaznaczone na nowo, tak, żeby oficer obserwujący planszet widział trasy poszczególnych celów. Łatwo sobie wyobrazić, że jeżeli na ekranie radaru było widać

choćby kilka ruchomych celów, operator nadawał praktycznie „na okrągło”, a planszecista musiał „zdekodować” ten potok meldunków i przenieść na planszet. Taki system przekazywania danych był typowy dla małych posterunków. Tylko posterunki o większym znaczeniu w systemie obrony powietrznej były wyposażone w aparaturę zautomatyzowanego przetwarzania danych; do aparatury tej podłączano wizję i niezbędne sygnały synchronizacji z poszczególnych radarów, co pozwalało – przy użyciu dużej maszyny cyfrowej – zaimplementować algorytmy automatycznego wykrywania i tras śledzenia wykrytych celów.



Rys. 3.17. Mobilny radar wykrywania celów nisko lecących typu N-21
(wersja rozwinięta i wersja złożona)

Jest zrozumiałe, że żaden z funkcjonujących wówczas systemów przekazywania informacji nie nadawał się do radarów, które z założenia miały szybko przemieszczać się razem z osłanianymi jednostkami zmechanizowanymi, a takie było przeznaczenie nowych radarów N-21. Niezbędny był system, który pozwoliłby z radaru przekazywać dane o wykrytych celach drogą radiową. Oznaczało to, że funkcje automatycznego wykrywania i śledzenia tras powinny być realizowane w aparaturze radaru. Żeby to zrealizować, należało podjąć odważną decyzję o zastosowaniu mikroprocesorów – odważną dlatego, że mikroprocesory były dostępne tylko w krajach uważanych za przeciwników w potencjalnym konflikcie zbrojnym, dlatego elementy z tego obszaru były oficjalnie niedopuszczone do stosowania w sprzęcie wojskowym (choć wyjątki się zdarzały).

Pierwsze próby przeprowadzono wcześniej w stacji brzegowej N-23, gdzie wprowadzono uproszczony system tzw. śledzenia półautomatycznego. Zbudowany na bazie słynnego procesora Intel 8080 układ wprowadzał taki postęp, że po dwukrotnym naprowadzeniu kursora na dany cel w dwóch obrotach anteny i wprowadzeniu odpowiednich poleceń z klawiatury następowało wyznaczenie wektora prędkości, co pozwalało systemowi procesorowemu przewidywać kolejne położenia tego celu, czyli śledzić jego trasę, dopóki jego wektor prędkości się nie zmienił. Oznaczało to możliwość śledzenia tylko tras prostoliniowych, a każda zmiana wektora prędkości wymagała interwencji operatora, czyli tzw. korekty trasy. Przy całej niedoskonałości tego rozwiązania osiągnięto jednak cel najważniejszy: bieżące współrzędne obserwowanych celów były zapisane w pamięci mikroprocesora, a to pozwalało przesłać je jako dane cyfrowe przez radiostację. Dalszy rozwój tego ważnego systemu nastąpił w radarze N-21.

Oznaczony symbolem UAK-21 (układ automatycznych korekt) system mikroprocesorowy bazował na tym samym mikroprocesorze Intel 8080. Dzięki oprogramowaniu w języku assemblera możliwe było zaimplementowanie dość skomplikowanych algorytmów związanych z procesem śledzenia tras obiektów manewrujących. W efekcie UKA-21 zapewniał automatyczne śledzenie 31 tras celów powietrznych wykonujących manewry zakrętu z przyspieszeniem dośrodkowym 6g, a cała bieżąca sytuacja radiolokacyjna była przekazywana radiostacją w formie zakodowanych depesz do ruchomych stanowisk dowodzenia obroną przeciwlotniczą. Wykrywanie celu i inicjowanie jego śledzenia nie następowało jednak automatycznie; niezbędne było wskazanie kursorem nowo wykrytego celu przez operatora i naciśnięcie przycisku inicjującego śledzenie.

Nawet jednak bez tego nowe rozwiązanie miało znaczenie rewolucyjne dla jego mobilności i możliwości współpracy z innymi elementami systemu obrony przeciwlotniczej. Co więcej: UAK-21 reprezentował takie możliwości, których nie można było „skonsumować” bez głębokiej modernizacji całego procesu dowodzenia obroną przeciwlotniczą. W ten sposób UAK-21 wymusił prace nad powstaniem komputerowo wspomaganego systemu automatyzacji dowodzenia pułku przeciwlotniczego ZENIT – poprzednika dzisiejszego urządzenia ŁOWCZA-3.

Oprócz mobilności i interoperacyjności z otoczeniem należało jeszcze zapewnić inne cechy ważne dla misji radaru N-21:

- jak najkrótszy czas osiągnięcia gotowości do pracy i składania do pozycji marszowej,
- tolerancyjność na warunki stanowiska pracy w terenie,
- znajomość położenia w terenie,
- odporność na warunki pola walki.

Spełnienie tych kryteriów zadecydowało o rozwiązaniu konstrukcyjnym urządzenia, które na podstawie wytycznych WZR RAWAR opracował Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Mechanicznych (OBRUM) w Gliwicach.

Radar zbudowano na podwoziu gąsienicowym bazującym na podwoziu czołgu T-72. Hydraulicznie uruchamiany system wsporczy anteny umożliwia przejście z pozycji transportowej do pozycji roboczej lub odwrotnie zaledwie w 3 minuty. Radar może pracować z anteną na dowolnej wysokości pośredniej; w najwyższym położeniu antena znajduje się na wysokości ok. 8 m nad ziemią. W radarze zastosowano specjalny system automatycznego poziomowania płaszczyzny obrotów anteny, dzięki czemu może on być rozwijany na niewielkich pochyłościach i nie wymaga wcześniejszego przygotowania stanowiska pracy. Pojazd bazowy wyposażono w dwa wbudowane agregaty prądotwórcze oraz system nawigacji lądowej, który dostarcza bieżących danych o położeniu pojazdu w terenie i danych o orientacji względem północy. Dzięki przyjętym rozwiązaniom mechanicznym N-21 może już w 5 minut po przybyciu na nową pozycję przekazać pierwsze meldunki cyfrowe do stanowiska dowodzenia.

Kabiny kierowcy i operacyjna są szczelne i wyposażone w system filtrowentylacji, co umożliwia pokonywanie przez pojazd w ograniczonym czasie terenów skażonych. Cały pojazd jest opancerzony, chroniąc załogę przed ostrzałem z broni ręcznej i odłamkami granatów, a specjalne wykładziny wewnętrzne z warstw antyradiacyjnych chronią przed promieniowaniem radioaktywnym.

3.7.4. Radar do wykrywania celów nisko lecących N-21MI

Symbolem N-21MI oznaczono specjalną eksportową wersję radaru N-21 opracowaną i wykonaną według wymagań kontraktu podpisanego z Indiami w 1996 r. Historia kontaktów Radwaru z Indiami sięga prawie połowy lat 80. W 1986 r. miała miejsce w Polsce wizyta premiera Indii, któremu towarzyszyła ekipa ekspertów wojskowych.

W wyniku pokazu polskiego sprzętu radiolokacyjnego duże zainteresowanie zyskał radar N-21, dla którego wojskowi hinduscy przewidywali funkcję wykrywania i wskazywania celów w raketowym zestawie przeciwlotniczym. Po dalszych negocjacjach z udziałem Cenzinu, ustalono, że jeden egzemplarz radaru zostanie przewieziony do Indii i przebadany przez państwową komisję pod kątem przydatności do zastosowania w lokalnych warunkach.

Kompleksowe i skrupulatne badania przeprowadzone latem 1989 roku przez zespół ekspertów instytutu naukowego w Bangalore potwierdziły zgodność parametrów urządzenia z jego danymi technicznymi i przyniosły mu ogólnie wysokie uznanie, zwłaszcza ze strony wojskowych. Pierwszym efektem tego uznania było porozumienie o zakupie przebadanego urządzenia przez gospodarzy po cenie promocyjnej. Dzięki temu radar N-21 mógł być przekazany do dalszych badań eksploatacyjnych. Na ich podstawie zostały opracowane wymagania na zmodernizowaną wersję tego radaru, odpowiednio do potrzeb użytkownika indyjskiego.

W latach 1997-98, na mocy kontraktu podpisanego w połowie 1997 roku, zaprojektowano i wykonano mobilny radar oznaczony symbolem N-21MI, spełniający postawione wymagania. Konstrukcję tego urządzenia oparto na bazie zmodernizowanego podwozia radaru N-21 (już wówczas od kilku lat nieprodukowanego) i poważnie zmodernizowanej aparatury radaru N-22. Zasadniczą różnicą w stosunku do wersji krajowej było zastosowanie jednoczesnego nadawania dwiema wiązkami z podziałem mocy nadajnika na połowy (zamiast nadawania pełnej mocy naprzemiennie od impulsu do impulsu) w połączeniu z dwukanałowym systemem odbiorczym. Pozwoliło to osiągnąć dwa istotne cele wymagane w kontrakcie:

- podwyższenie potencjału radaru (znaczące zmniejszenie strat w torze odbiorczym po umieszczeniu wzmacniaczy niskoszumnych na antenie);
- podwyższenie obrotów anteny do 24 obr./min bez negatywnego wpływu na pracę TES.



Rys. 3.18. Radar N-21MI



Rys. 3.19. Wnętrze kabiny N-21MI

Opracowano całkowicie nowe układy mikrofalowe systemu wzbudzenia i systemu odbiorczego, które w wersji krajowej pamiętały jeszcze dość odległe czasy i nie stanowiłyby dobrej wizytówki producenta. Od nowa zaprojektowano cały system cyfrowej obróbki sygnału, z 10-bitowymi przetwornikami A/C i znacznym udziałem nowoczesnych struktur programowalnych. Ponadto został opracowany nowy system automatycznego wykrywania i śledzenia tras obiektów oraz system wymiany

danych z otoczeniem – ściśle według indywidualnych wymagań użytkownika. Zastosowano tu po raz pierwszy w praktyce Radwaru kupowane gotowe płyty komputerów przemysłowych klasy PC. Dało to radykalną poprawę mocy obliczeniowej i pozwoliło zrealizować szereg atrakcyjnych dla użytkownika funkcji wcześniej niedostępnych.

Tak gruntowna przebudowa aparatury elektronicznej, wraz z wykonaniem montażu w kabine radaru i uruchomieniem, została przeprowadzona w ciągu 18 miesięcy tak, że kompletny wyrób po badaniach z udziałem przedstawicieli klienta został wyeksportowany w grudniu 1998 r.

Tak jak jego poprzednik, radar N-21MI został poddany pełnym badaniom kwalifikacyjnym na terenie Indii. Wyniki badań przeprowadzonych w połowie 1999 r. w pełni potwierdziły wymagane parametry urządzenia. Pomimo dalszego zaawansowania kontaktów, które doszły już do poziomu procedur zaopatrywania armii Indii, planów szkolenia i dostaw części zamiennych, dostawy nie zostały dotychczas zakontraktowane – prawdopodobnie wskutek nie do końca jeszcze określonych potrzeb strony indyjskiej.



3.7.5. Radar do wykrywania celów nisko lecących N-22

N-22 był początkowo pomyślany jako wersja N-21 zbudowana na podwoziu kołowym, co miało zdecydowanie obniżyć koszty jego pozyskania przez MON. Podwozie gąsienicowe, jako produkowane jednostkowo, stanowiło dość znaczną część ceny całego urządzenia. Seryjnie produkowane podwozie opancerzone TATRA-815 było kilkakrotnie tańsze, co dawało szansę na istotną redukcję ceny całkowitej. Rozpoczęte w roku 1986 prace projektowe przypadły na początek zarysowującej się już wtedy rewolucji w mikroelektronice, której skutki oddziaływały także na przemysł krajowy, nie wyłączając przemysłu pracującego na potrzeby wojska. Pojawiły się pierwsze komputery PC, a wraz z nimi zaczęły być dostępne elementy podzespoły stosowane w technice komputerowej, w tym coraz nowsze mikroprocesory. W takich warunkach nie można było zdecydować się na proste przeniesienie aparatury N-21 na inne podwozie; należało ją w rozsądnych granicach zmodernizować. Efektem tej modernizacji jest N-22.



Rys. 3.20. Radar N-22 oraz wnętrze jego kabiny

Sprawdzona konstrukcja mechaniczna systemu rozwijania anteny została zaadoptowana z N-21, ale wprowadzono istotne udoskonalenia – mające na celu zupełną eliminację obecności załogi na zewnątrz kabiny radaru w czasie rozwijania i zwijania. W N-22 cały proces rozwijania jest sterowany z wnętrza kabiny, przy jego obserwacji przez niewielkie pancerne okno.

Istotną zmianę stanowi całkowicie nowa antena. Starannie zaprojektowana w PIT antena jest wykonana techniką pozwalającą dokładnie kontrolować kształt reflektora, który jest określony przez kształt żeber wycinanych z blachy na numerycznie sterowanej prasie. Żebra pionowe i poziome są odpowiednio nacinane, składane „kasetonowo” i łączone nitami. Powierzchnię odbijającą reflektora tworzą pasy blachy perforowanej mocowane do żeber nitami. Ta technika pozwala uzyskać na powierzchni reflektora o rozmiarach 4,2 x 3,1 m średniokwadratowy błąd niezgodności z matematycznie określoną powierzchnią reflektora około 0,5 mm. Dzięki temu uzyskano bardzo niski poziom listków bocznych w płaszczyźnie azymutu. Dwie wiązki anteny rozsunęto w elewacji, korzystnie podwyższając pułap wykrywania. Radar N-22 miał okazję być pierwszym, w którym zastosowano nowy system rozpoznania „swój-obcy”, zgodny ze standardem stosowanym w państwach NATO. Antena tego urządzenia jest umieszczona z tyłu reflektora i promieniuje w przeciwnym kierunku.

Choć początkowo zakres modernizacji aparatury miał być minimalny, dwa nowe rozwiązania można zaliczyć do przełomowych, po raz pierwszy zastosowanych w polskiej radiolokacji.

Najważniejszą niewątpliwie nowością był wspomniany już natowski system identyfikacji „swój-obcy”, co było zwiastunem przyszłej integracji z NATO.

W urządzeniu N-22 w poważnym stopniu rozwinięto technikę zobrazowania panoramicznego „*raster scan*” zaadaptowaną z radaru N-27, wprowadzając na ekranie wirtualny pulpit sterujący pracą całej aparatury. W ciągu kilku lat ta technika, z charakterystycznymi okienkami i przyciskami, stała się w radiolokacji niezastąpioną.

Ponadto w aparaturze elektronicznej odnotowano dalszy postęp we wdrażaniu aplikacji techniki cyfrowej, a w szczególności komputerowej: w układach TES zastosowano filtry okresowe wyższych rzędów niż drugi i ze zmiennymi współczynnikami; w systemie automatycznego śledzenia zastosowano sieć trzech procesorów 16-bitowych Intel 8086.

3.7.6. Zestaw antenowy WETLINA

Idea zbudowania oddzielnego zestawu antenowego na wysokiej wieży wynikała z dwóch przesłanek. Jedną z nich było dążenie do przedłużenia eksploatacji i lepszego wykorzystania pierwszego radaru do wykrywania celów nisko lecących NAREW. Wykorzystanie tego urządzenia okazało się w praktyce niewielkie z powodu jego „wąskiej specjalizacji”. Bardzo wąska charakterystyka elewacyjna anteny stacji NAREW „patrzyła” nisko nad ziemią i w normalnych warunkach ten radar miał rzadką okazję wykryć jakiś obiekt. W Wojskach Lotniczych i Obrony Powietrznej - mających za zadanie ciągłą obserwację przestrzeni powietrznej - uznano, że stacje NAREW niewiele wnoszą do realizacji tego zadania, a jednocześnie absorbują załogi operatorskie, energię, koszty serwisu itp. Z inicjatywy ówczesnego głównego inżyniera wojsk radiotechnicznych WLOP powstał projekt modernizacji radaru NAREW, który miał na celu podwyższenie jego pułapu wykrywania, tak aby mógł się on realnie włączyć w proces obserwacji obszaru powietrzego.

Nowy projekt, który otrzymał kryptonim WETLINA, polegał w istocie na zmianie anteny, przy wykorzystaniu istniejącej aparatury elektronicznej. Od zmodernizowanej stacji nie wymagano mobilności, a anteny miały być instalowane na stałych wieżach, do których miał podłączać się wóz z aparaturą radaru NAREW. Jak alternatywne zastosowanie zestawu WETLINA przewidywano jego współpracę z nowo opracowanym radarem mobilnym N-22, w którym przewidziano specjalne wyjście falo-wodowe do podłączenia dodatkowego zestawu antenowego.

Nową antenę zaprojektowano w PIT według wymagań RADWAR, wykorzystując sprawdzoną już wtedy technikę wykonywania szkieletu z aluminiowych żeber dokładnie wycinanych na prasie sterowanej numerycznie, zastosowaną wcześniej w antenie radaru N-22. Antena ma dwuwieżkową charakterystykę w płaszczyźnie elewacji, zapewniając, przy istniejącym potencjale aparatury radaru NAREW, zasięg ok. 100 km i pułap wykrywania do 12 km.



Rys. 3.21. Zestaw WETLINA z radarem NAREW

W ten sposób odnowiona NAREW-WETLINA mogła obserwować przeloty samolotów rejsowych (oraz innych, gdyby się pojawiły), a tym samym zyskała status pełnowartościowego elementu w systemie nadzoru przestrzeni powietrznej kraju. Przy współpracy z radarem N-22 korzyścią miało być znaczące podwyższenie anteny i zwiększenie zasięgu wykrywania celów nisko lecących. Ze względu na różnice pokoleń obu radarów WETLINA nie mogły funkcjonować zamiennie z każdym z nich i były wykonywane w dwóch wersjach.

Dwuwiązkową charakterystykę anteny przeznaczonej do współpracy z radarem NAREW zrealizowano z zastosowaniem przełączania wiązek od obrotu do obrotu anteny. W przełączniku wiązek główną rolę pełni układ dwóch cyrkulatorów, w których pole magnetyczne jest wytwarzane za pomocą elektromagnesów; przez zmianę biegunowości tych elektromagnesów uzyskano przełączanie kierunku cyrkulacji. W połączeniu układu cyrkulatorów z dwoma układami typu magiczne T uzyskano rozdział sygnału nadajnika na dwie tuby promieniujące i sumowanie ech z obu tub w czasie odbioru.



Rys. 3.22. Antena z blokiem napędowym na wieży zestawu WETLINA

W wersji współpracującej z radarem N-22 zastosowano układ częstotliwościowego przełączania wiązek odpowiadający rozwiązaniu aparatury tego urządzenia. Dwie wersje anteny WETLINA różnią się fizycznie wymiennym blokiem mikrofalowym umieszczonym w wysięgniku układu tub promieniujących, a zmiana wersji może być przeprowadzona w warunkach polowych w czasie około godziny.

3.8. Radary trójwspółrzędne

Zgodnie z tendencjami rozwoju techniki radiolokacyjnej opracowano w początku lat 70. model funkcjonalny 3-współrzędnej stacji radio-lokacyjnej HAWANA. Stacja pracowała w pasmie L z monimpulsową amplitudową estymacją kąta elewacji. Zastosowano antenę 11 wiązkową z reflektorem o wysokości 9,2 m. Z każdą wiązką powiązany był niezależny kanał odbiorczy z odbiornikiem logarytmicznym. Odbierane sygnały wprowadzone były po konwerterach a/c do maszyny przetwarzania sygnałów radiolokacyjnych, obejmującej komputer ODRA 1204 wraz ze specjalizowanymi kanałami współpracy z radarem.

Zestaw zapewniał automatyczne wykrywanie obiektów, określenie trzech współrzędnych oraz zobrazowanie informacji alfanumerycznej na wskaźniku panoramicznym.

W 1972 r. przeprowadzono komisyjne badanie modelu, a w szczególności określono błędy wyznaczania wysokości obiektów przy przeszukiwaniu dookólnym, w tym również błędy wyznaczania wysokości obiektów nisko lecących. Zbadano również układy automatycznego przetwarzania sygnałów i informacji radiolokacyjnej.

Powyższa działalność stworzyła podstawy do dalszych prac Instytutu nad stacjami trójwspółrzędnymi oraz zautomatyzowanymi podsystemami zbierania i przetwarzania informacji radiolokacyjnej [11].

3.8.1. Trójwspółrzędny radar N-11

Radar N-11 opracowano w latach 80. w pasmie S. Radar ma antenę wielowiązkową i monoimpulsowy system estymacji kąta elewacji obiektów. Zasięg instrumentalny wynosi 200 km. Pokrycie w elewacji do 25° . Stacja określa automatycznie 3 współrzędne wykrytych obiektów i charakteryzuje się wysoką przepustowością. Zapewnione jest automatyczne śledzenie tras obiektów. Stacja pracuje z pełnokoheryntnym układem nadawczo-odbiorczym w systemie kompresji impulsu diversity częstotliwości i możliwością przestrajania w szerokim pasmie częstotliwości. Rozbudowane układy przeciwzakłóceniami zapewniają wysoką odporność na zakłócenia. Radar wyposażony jest w system testowania służący do oceny stanu pracy i lokalizacji urządzeń.



Rys. 3.23. Trójwspółrzędny radar N-11

Zapewniono krótki czas rozwijania półautomatyczne poziomowanie anteny oraz wysoką mobilność w warunkach terenowych.

3.8.2. Trójwspółrzędny radar TRD-12

W końcu lat 80. w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji podjęto próbę opracowania urządzenia radiolokacyjnego nowej generacji (klasy 3D)- trójwspółzrędnego radaru dalekiego zasięgu z płaską anteną ścianową. Zakończono zatem etap rozwoju technologii radarów z antenami reflektorowymi, które charakteryzują się gorszymi parametrami (głównie wyższym poziomem listków bocznych). Prace badawczo-rozwojowe zakończono w 1995r. Od 1996 roku do chwili obecnej przekazano do eksploatacji w Wojsku Polskim 7 egzemplarzy wyprodukowanych w Zakładzie Produkcji Doświadczalnej PIT. Należy podkreślić, że nowoczesność i niezawodność opracowanego sprzętu była możliwa do osiągnięcia dzięki dostępowi do nowoczesnej bazy podzespołowej (likwidacja embarga), zwłaszcza w odniesieniu do podzespołów mikrofalowych i elektronicznych, co pozwoliło poprawić ergonomię pracy operatorów radarów.

Radar TRD-12 jest przeznaczony do wykrywania i śledzenia do 120 obiektów powietrznych. Przy lokalizacji wykrytych obiektów są określane trzy współrzędne: odległość, wysokość oraz azymut. Dane te są uaktualniane po każdym obrocie anteny. Radar pracuje w pasmie częstotliwości L, zapewniając wykrywanie obiektów z odległości do 350 km przy pułapie do 40 km. Wykryte obiekty są poddawane procesowi automatycznego śledzenia. Informacje o wykrytych obiektach, lub grupach obiektów są w sposób automatyczny przekazywane do nadrzędnego systemu dowodzenia. Przeszukiwanie przestrzeni w azymucie odbywa się poprzez mechaniczny obrót anteny z prędkością 6 obrotów na minutę. Pokrycie 30-stopniowego kąta elewacji jest realizowane poprzez uformowanie ośmiu wiązek odbiorczych. Omawiany radar stanowi źródło informacji dla systemu obrony powietrznej. Generuje meldunki o śledzonych trasach i przekazuje je łączami cyfrowymi (liniami radiowymi lub łączami transmisji danych). Radar po rozwinięciu może być wykorzystywany w trybie pracy bezobsługowej, z zapewnieniem jego zdalnego sterowania i kontroli za pomocą łącza optycznego o długości do 1 km. Skuteczne działanie radaru w obecności zakłóceń radioelektronicznych uzyskano dzięki zastosowaniu różnorodnych środków technicznych, takich

jak: szybkie przestrajanie częstotliwości sygnału sondującego, wielowiązkowa antena odbiorcza o niskim poziomie listków bocznych, rozbudowane procesory sygnałowe z układem cyfrowym TES, kompresja impulsu oraz filtracja podetekcyjna.

Radar jest wyposażony w urządzenie rozróżniające, czy śledzony obiekt jest „swoj” czy „obcy” (interrogator IFF), z możliwością programowego wyboru rodzaju zapytań. Antena interrogatora IFF jest umieszczona w górnej części anteny ścianowej, nad wierszami nadawczymi radaru.

Aparatura radaru została zabudowana w kontenerach spełniających standardy ISO-9001. Kompletny radar zbudowany jest w trzech kontenerach; w pierwszym znajduje się jednostka antenowa, w drugim jednostka obróbkowa, a w trzecim jednostka nadawcza. Dodatkowo przewidziano czwarty kontener o charakterze technicznym i socjalnym. Urządzenie może być zasilane z sieci zewnętrznej lub z dwóch przewoźnych agregatów prądotwórczych.

Charakterystyka pokrycia radaru w płaszczyźnie elewacji jest kształtowana w falowodowym układzie formowania wiązki nadawczej, która ma szerokość $2,9^\circ$. Wiersze anteny odbiorczej służą, za pośrednictwem układu formowania wiązek, do ukształtowania ośmiu szpilkowych wiązek odbiorczych rozmieszczonych w zakresie kąta elewacji od 0° do 30° .

W nadajniku zastosowano generator sygnałów wzbudzających, który wytwarza wysokostabilne sygnały o dużej czystości widmowej służące do sterowania łańcuchem wzmacniaczy mocy.

W łańcuchu tym zastosowano dwustopniowy wzmacniacz zbudowany na lampie z falą bieżącą (LFB) oraz dwustopniowy wzmacniacz dużej mocy zbudowany na amplitronach.

Jednostka obróbkowa zapewnia filtrację sygnałów użytecznych na tle zakłóceń, wykrywanie i określanie trzech współrzędnych, śledzenie obiektów, formowanie meldunków o wykrytych obiektach i automatyczną współpracę z nadrzędnym systemem dowodzenia.

W jednostce zastosowano liczne środki zabezpieczające przed zakłóceniami pasywnymi oraz pewnymi klasami zakłóceń czynnych. Zabezpieczenie przed zakłóceniami pasywnymi osiągnięto dzięki zastosowaniu indywidualnego procesora sygnałowego dla każdej wiązki odbiorczej. W każdym kanale istnieją trzy równoległe pracujące tor obróbki, a mianowicie: tor obróbki amplitudowej, tor filtracji zakłóceń ziemnych oraz tor filtracji zakłóceń pogodowych. Kryteriami automatycznego wyboru toru są moc i średnia częstotliwość dopplerowska sygnałów zakłóceń. Każdy procesor sygnałowy jest wyposażony w przełączany (adaptacyjny) cyfrowy bank filtrów TES, pozwalający wydzielić sygnał użyteczny z tła zakłóceń ziemnych lub pogodowych występujących oddzielnie lub łącznie.



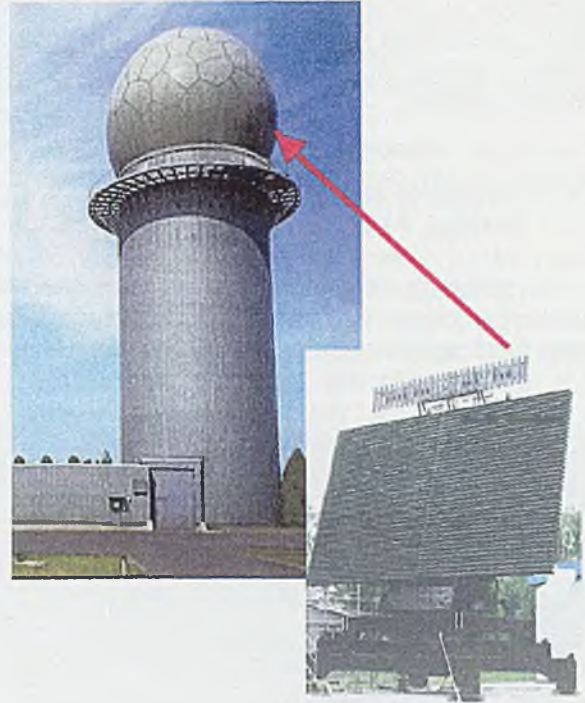
Rys. 3.24. Trójwspółrzędny radar TRD-12



Rys. 3.25. Kabina operatora radaru TRD-12

Zwiększoną odporność na zakłócenia osiągnięto również przez adaptywne sterowanie układami filtracji i stabilizacji poziomu fałszywego alarmu, opierając się na adaptacyjnych wieloelementowych mapach zakłóceń biernych. Zastosowano również wykrywanie zakłóceń czynnych poprzez wyposażenie każdego procesora w indywidualny ekstraktor oraz układy filtracji podetekcyjnej.

W jednostce tej znajdują się trzy stanowiska operacyjne: stanowisko dowódcy oraz dwa stanowiska operatorów. Na każdym z nich są zainstalowane kolorowe wskaźniki rastrowe (z dziennym zobrazowaniem) zapewniające zobrazowanie wykrytych i śledzonych obiektów i przedstawienia na nich podkładu w postaci nawigacyjnych map. Istnieje możliwość zobrazowania historii (śladu) obserwowanych tras. Na stanowisku dowódcy operator dysponuje pełną kontrolą i diagnostyką stanu pracy wszystkich jednostek radaru. System diagnostyczny pozwala wykrywać uszkodzenia i zlokalizować je na poziomie pakietu lub podzespołu, a także określić w wielu przypadkach ich znaczenie dla poprawnej pracy radaru. Urządzenie wyposażone jest w odpowiednie interfejsy zapewniające transmisję sygnałów do szczebli nadrzędnych zgodnie z normami NATO.



Rys. 3.26. Antena urządzenia RST 12M w kopule na wieży

3.8.3. Trójwspółrzędny radar RST-12M

Radar RST-12M stanowi zmodernizowaną wersję opracowanego w PIT radaru TRD-1211 i przeznaczony jest do instalacji na posterunkach stacjonarnych pracujących w sieci BB NATO. Radar pełni rolę źródła informacji radiolokacyjnej dla systemów NATO, Centrum Wspomagania Operacji Powietrznych ASOC i systemu narodowego DUNAJ. Przewiduje się instalację radarów na specjalnych wieżach o wysokości do 30 m z anteną ścianową umieszczoną pod kopułą (*radome*). Modernizacja konstrukcji radaru zapewniła dostosowanie jego parametrów do wymagań wynikających z rekomendacji NATO dla radarów klasy FADR. W wyniku dokonanej modernizacji uzyskano:

- zwiększenie zasięgu instrumentalnego urządzenia z 360km do 470km,
- zwiększenie azymutalnej rozróżnialności z $4,5^{\circ}$ do około $2,5^{\circ}$,
- zmniejszenie błędu pomiaru azymutu z $0,5^{\circ}$ do $0,2^{\circ}$,
- zwiększenie liczby częstotliwości pracy urządzenia do 64,
- zwiększenie współczynnika impulsowania nadajnika,
- obniżenie poziomu mocy szczytowej nadajnika z 1MW do 0,4MW,
- poprawę rozróżnialności i dokładności w systemie identyfikacji IFF.

Ponadto wprowadzono dwie prędkości obrotowe anteny 6 obr/min i 12 obr/min i możliwość zdalnego sterowania z dwóch konsol i przekazywania informacji do tych konsol. Spełniono również ważne parametry dotyczące nowych wymagań na kompatybilność elektromagnetyczną oraz wymagań wynikających z ustawy o ochronie środowiska na bezpieczny poziom gęstości mocy mikrofalowej w miejscu instalacji. Całkowitą nowością w konstrukcji tego radaru jest wbudowanie dodatkowego kanału obróbki software'rowej sygnałów radiolokacyjnych dla potrzeb wykrywania i śledzenia rakiet balistycznych (TBM). Dane o wykrytych i śledzonych obiektach (zarówno z radaru pierwotnego jak i systemu identyfikacji) są przetwarzane i przesyłane w postaci depesz cyfrowych łączami transmisji danych do nadrzędnego systemu zbioru i uogólniania informacji radiolokacyjnej WLOP oraz do konsol zdalnego sterowania SRCC NATO. Ponadto radar wyposażono w układy namiaru źródeł zakłóceń i przetwarzania informacji o tych źródłach. W urządzeniu zastosowano jedną antenę nadawczo-odbiorczą o znacznie zwiększonej aperturze i większym kierunkowym zysku, co pozwoliło uzyskać wymaganą rozróżnialność i dokładność w azymucie i zwiększyć zasięg.

Zobrazowanie sytuacji powietrznej przedstawione jest na płaskich monitorach LCD zamiast dotychczas stosowanych kolorowych kineskopowych.

Wszystkie wprowadzone zmiany oprócz dostosowania parametrów do rekomendacji NATO spowodowały również poprawę współczynników niezawodnościowych.

3.8.4. Trójwspółrzędny radar średniego zasięgu na pasmo S

Na potrzeby wojsk raketowych i przeciwlotniczych opracowano w PIT mobilny trójwspółrzędny radar średniego zasięgu pracujący w pasmie S.



Rys. 3.27. Trójwspółrzędny radar średniego zasięgu na pasmo S



Rys. 3.28. Trójwspółrzędny radar średniego zasięgu w pozycji transportowej

Wykorzystywany jest jako źródło informacji radiolokacyjnej dla wczesnego ostrzegania na obszarze pola walki lub jako pokrywania polem radiolokacyjnym obszarów nie pokrytych przez inne radary średniego i dalekiego zasięgu. Radar automatycznie przekazuje do stanowiska dowodzenia dane o odległościach, azymutach i wysokościach wykrytych obiektów, jak również zapewnia ich śledzenie na obszarze ograniczonym do 150 km i w kącie elewacji do 30°. Czas rozwinięcia jednostki wynosi 20 min.

3.8.5. Trójwspółrzędny radar przeszukujący zestawu LOARA

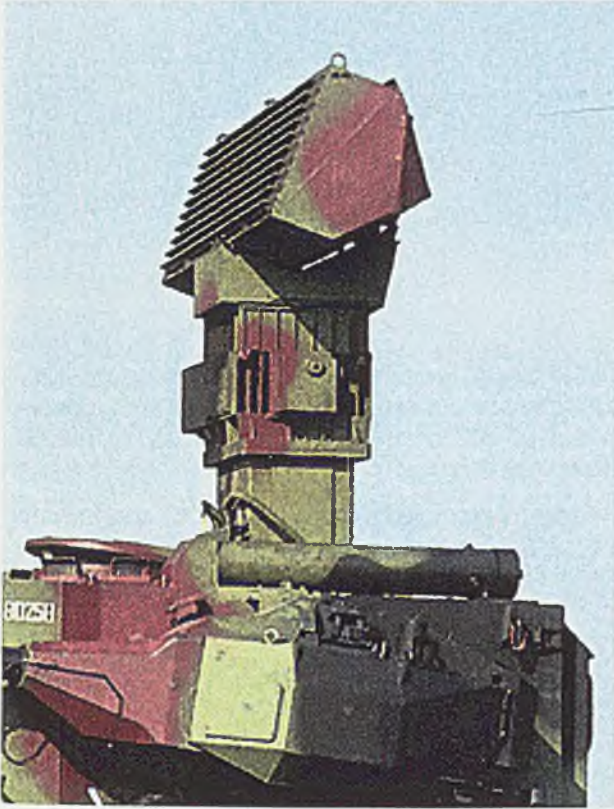
Radiolokacyjna stacja wykrywania i wskazywania celów (RSWW) jako element mobilnego zestawu przeciwlotniczego stanowiła niecodzienne wyzwanie dla konstruktorów Zakładu Badawczo – Rozwojowego RADWAR. Z jednej strony przyszły użytkownik urządzeń LOARA postawił bardzo rygorystyczne wymagania odnośnie parametrów wykrywania:

- radar powinien określać kąt elewacji wykrytych celów (tzw. radar 3D);
- zasięg i pułap wykrywania zostały zdefiniowane dla celu o powierzchni skutecznej 0,1 m² i pokrycie w elewacji;
- wymagane pokrycie w elewacji określono jako co najmniej 50°;C;
- czas odnowy informacji powinien być nie dłuższy niż 1s;
- radar powinien pracować w czasie ruchu pojazdu, przy założeniu określonych przechyłów i maksymalnej prędkości pojazdu.

Przy takich kryteriach wymagany zasięg i pułap wykrywania nie odbiegały od liczb powszechnie pojawiających się w materiałach informacyjnych dotyczących pojazdów przeciwlotniczych. Spełniono również wymagania na objętość aparatury elektronicznej i jej odporności na wstrząsy mechaniczne.

We współczesnych zestawach takich jak LOARA radary przeszukujące zrealizowane w klasie 3D należą do wyjątków; nawet jeśli są to radary z płaskimi antenami fazowanymi, są to z reguły radary 2D (jak np. francuski CROTALE NG czy południowoafrykański ZA-HVM). Znamiennym wyjątkiem jest rosyjski TOR-1M, ale z drugiej strony nie budzą zdziwienia radary z anteną reflektorową w takich systemach jak rosyjskie TUNGUSKA czy PANCYR.

Polscy przyszli użytkownicy zestawów LOARA nie dali konstruktorom wyboru: miał być radar 3D, a jeśli tak – musiał to być radar z anteną fazowaną. Wymagania użytkowników właściwie przesądziły też technikę realizacji funkcji 3D: przy wymaganym szerokim sektorze pokrycia w elewacji i krótkim czasie odnowy informacji znacznie większe szanse powodzenia dawała technika wielowiązkowa. Choć ta technika naturalnie zwiększa objętość aparatury, zdecydowano, że należy poddać aparaturę miniaturyzacji, aby zmieścić ją w wierzy pojazdu.



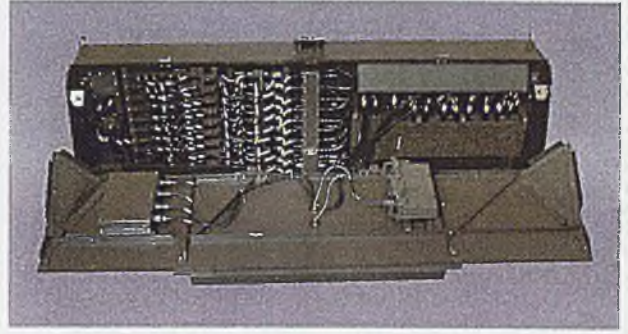
Rys. 3.29. Widok ogólny anteny RSWW urządzenia LOARA

Antena RSWW składa się z dziesięciu wierszy dipoli promieniujących oraz układów formowania wiązek – jednej nadawczej i pięciu odbiorczych. Formowanie odpowiednio szerokiej wiązki nadawczej realizuje tzw. pionowy dzielnik mocy, który rozprowadza moc nadajnika do poszczególnych wierszy z odpowiednimi amplitudami i fazami. Analogicznie każdą z pięciu wiązek odbiorczych formuje oddzielny sumator mocy echa z poszczególnych wierszy. Antena ma rozpiętość 2 m, co pozwala uformować wiązkę o szerokości ok. $3,3^{\circ}$ w płaszczyźnie azymutu. Antena urządzenia rozpoznawczego „swój-obcy” jest umieszczona z tyłu anteny głównej i promieniuje w przeciwnym kie-

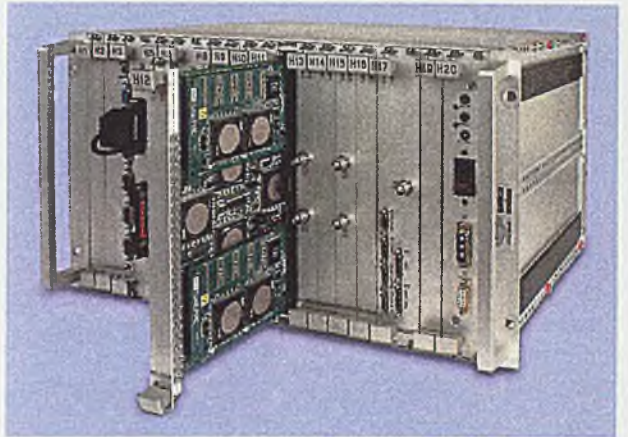
runku azymutalnym. Nadajnik jest dwustopniowym wzmacniaczem mocy mikrofalowej, z tranzystorowym stopniem wejściowym i lampą z falą bieżącą jako stopniem wyjściowym.

Opracowana w PIT na potrzeby urządzenia LOARA lampa może dostarczać mocy średniej 500 W, przy mocy szczytowej ok. 10 kW.

W RSWW wykorzystuje się prawie 400 W mocy średniej, co jest wielkością bardzo dużą jak na radar o zasięgu ok. 25 km, ale w tym przypadku okazało się niezbędne do spełnienia wymagań. Nadajnik i cała pozostała aparatura radaru, tzn. blok wzbudzająco - odbiorczy (BWO) oraz blok przetwarzania sygnału (BPS) tworzą zintegrowany podzestaw wbudowany do wieży.



Rys. 3.30. Elementy systemu formowania wiązek anteny RSWW urządzenia LOARA



Rys. 3.31. Czterokanałowy blok przetwarzania sygnałów

W systemie wzbudzenia zastosowano cyfrową syntezę częstotliwości z pętlą fazową oraz formowanie impulsu wzbudzenia z zastosowaniem linii dyspersyjnych z akustyczną falą powierzchniową. Szczególne znaczenie nadano czystości widmowej sygnału, aby zapewnić skuteczną filtrację dopplerowską. We wspólnej obudowie z systemem

wzbudzenia umieszczono 4-kanalowy odbiornik z podwójną przemianą częstotliwości. W bloku przetwarzania sygnałów (BPS) zastosowano po raz pierwszy w krajowej radiolokacji scalone procesory sygnałowe, zapewniając jego znaczną elastyczność funkcjonalną i skalowalność, a tym samym łatwą adaptację do innych zastosowań. Oprócz typowych funkcji obróbki sygnału radiolokacyjnego, automatycznego wykrywania i śledzenia tras wykrytych obiektów w BPS zaimplementowano specjalne algorytmy obróbki służące wykrywaniu śmigłowców „w zawisie”. Poza tym BPS pełni centralną rolę w całej aparaturze radaru, zapewniając jej autotestowanie, kalibrację torów odbiorczych, a także bogate możliwości rejestracji „surowych” sygnałów wizyjnych, wykryć i danych z procesu śledzenia tras. Radar urządzenia LOARA potwierdził wymagane parametry w badaniach państwowych całego zestawu, które odbyły się w 2002 roku. Wysokie wymagania postawione temu urządzeniu, wsparte finansowaniem w ramach strategicznego programu rządowego, spowodowały znaczący postęp w dziedzinie projektowania i produkcji urządzeń radiolokacyjnych w samym CNPEP RADWAR SA, jak też w instytucjach współpracujących.

3.8.6. Trójwspółrzędny mobilny radar wielofunkcyjny na pasmo C

Mobilna trójwspółrzędna stacja radiolokacyjna opracowana ostatnio w PIT, przewidziana jest do stosowania w wojskach WLOP jako wyposażenie kompanii radiotechnicznych oraz Wojskach Obrony Powietrznej jako stacja wykrywania celów na szczeblu związku taktycznego, pułku rakiet przeciwlotniczych i pułku artylerii przeciwlotniczej. Może być wykorzystana jako element systemu dowodzenia na szczeblu związku taktycznego oraz na szczeblu taktycznym jako stacja wykrywania i wskazywania celów.

W radarze zastosowano nieruchomą antenę zbudowaną w postaci czterech płaskich szkieł promieniujących tworzących ściany boczne sześcianu. Każda ze ścian wytwarza szpilkową wiązkę sterowaną elektronicznie w dwóch płaszczyznach elewacji i azymucie. Sterowanie wiązką w azymucie dokonywane jest za pomocą 4-bitowych przesuwników fazy wykonanych na diodach PIN, natomiast w elewacji sterowanie wiązką odbywa się metodą częstotliwościową wykorzystującą właściwości dyspersyjne przewodnic falowodowych.

Każda antena ścianowa zapewnia przeszukiwanie obszaru pokrywającego 90° w azymucie i 30° w elewacji. Jednoczesna, niezależna praca każdej anteny zapewnia 10 sekundowy czas odnowy informacji i równoległe dośledzenie do 30 obiektów w przedziale czasu $1 \div 2$ sekundy. Podział obszaru pokrycia na cztery niezależne sektory daje możliwość elastycznego doboru algorytmów przeszukiwania.

Cztery nadajniki radaru zbudowane są w postaci dwustopniowych wzmacniaczy mocy. W pierwszym stopniu zastosowano wzmacniacz tranzystorowy o mocy wyjściowej rzędu 10W. W drugim stopniu zastosowano wzmacniacz z falą bieżącą. Nadajniki są chłodzone cieczą z centralnego systemu chłodzenia. Nadajnik jest wyposażony w zespół sterowania i diagnostyki, który jest włączony w system diagnostyki i lokalizacji uszkodzeń kompletnego urządzenia. Sterowanie nadajnika odbywa się zdalnie z konsoli operatora, lub ręcznie z lokalnego pulpitu sterowania.

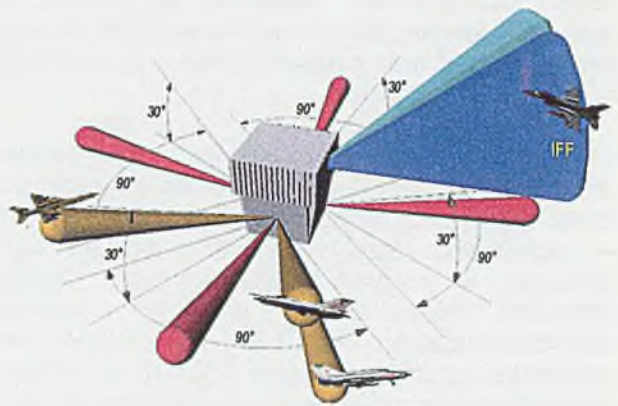
W części odbiorczej zastosowano niskoszumne przedwzmacniacze tranzystorowe, które poprzez tory falowodowe włączone są do odbiorników z podwójną przemianą częstotliwości. Przedwzmacniacze zabezpieczone są przed mocą przeciekającą, jak również odbitą powstałą od niedopasowanej anteny.

System identyfikacji „swój – obcy” zbudowany jest z czterech anten ścianowych, zwrotnicy antenowej oraz urządzenia zapytującego z ekstraktorem f-my Thomson CSF. Antena systemu IFF ma konstrukcję kompozytową z promiennikami łutowymi ukształtowanymi w 16 pionowych szkieł liniowych zasilanych przez 4-bitowe przesuwniki fazy zbudowane na diodach PIN. W płaszczyźnie elewacji płetwowa wiązka jest ukształtowana odpowiednio do wymaganego obszaru pokrycia. Urządzenie zapytujące jest umieszczone w kabinie operacyjnej. Urządzenie to komunikuje się za pomocą komputera komunikacyjnego z centralnym komputerem obróbki oraz komputerem grafiki stanowiska pracy operatora.

Obróbka odebranych sygnałów obejmuje: kompresję impulsów, detekcję, konwersję A/C, filtrację typu MTD, estymację współrzędnych kątowych, odległości i prędkości radialnej.



Rys. 3.32. Trójwspółrzędny, mobilny, radar wielofunkcyjny



Rys. 3.34. Podział obszaru pokrycia na cztery sektory przeszukiwania



Rys.3.33. Kabina operacyjna radaru wielofunkcyjnego

Ponadto realizowane jest śledzenie w ramach pojedynczego podsystemu nadawczo-odbiorczego, kompletacja tras z czterech podsystemów i dowiązywania danych z systemu identyfikacji.

Realizowane są również funkcje dodatkowe a mianowicie: transmisja danych pomiędzy blokami funkcjonalnymi, zobrazowanie informacji, a także komunikacja z obiektami zewnętrznymi.

Opracowany radar przekazuje informację o wszystkich śledzonych celach do Centrum Dowodzenia Obrony Powietrznej zarówno drogą radiową jak i telefoniczną. Informacje o śledzonych celach wypracowywane są w formacie PASUW i w formacie NATO ASTERIX zawierającym przestrzenne trasy, skorelowane z radarem wtórnym IFF (w elewacji i azymucie). Położenie radaru w terenie określone jest automatycznie za pomocą zintegrowanego systemu nawigacji zliczeniowej inercyjnej z systemem globalnym GPS. Dzięki stosunkowo niskiej mocy promieniowanej, zmienności parametrów czasowych i częstotliwościowych sygnału sondującego, urządzenie zaliczane jest do radarów trudno wykrywalnych (LPI). Ponadto, ze względu na nieruchome anteny, urządzenie nie jest wykrywane przez radarowe systemy lotnicze klasy AWACS i JOINT STAR.

Opisana stacja radiolokacyjna jest mobilnym urządzeniem zabudowanym na jednej platformie. Jako pojazd bazowy, łączony z platformą zaczepami kontenerowymi w standardzie ISO 1C zastosowano podwozie terenowe TATRA 815.

W konstrukcji stacji wyróżnić można dwie podstawowe kabiny: antenową i operacyjną. Kabina antenowa do pracy operacyjnej unoszona jest na wysokość około 8 metrów. W pozycji transportowej spoczywa na platformie. Stabilizacja stacji (łącznie z automatycznym poziomowaniem), unoszenie kabiny antenowej i jej blokowanie w położeniach

pracy rozkładane są anteny systemu IFF. Anteny radaru wtórnego IFF wykonane są również w postaci czterech ścian z wiązką pokrycia w elewacji typu \cos^2 oraz z elektronicznym sterowaniem w płaszczyźnie azymutu.

Cztery anteny systemu IFF współpracują z jednym interogatorem. Praca operacyjna radaru odbywać może się wraz z dołączonym podwoziem (typowo – zachowanie dużej mobilności) lub też bez podwozia w warunkach stacjonarnych. Kabina antenowa mieści cztery jednakowe zestawy antenowo-nadawczo-odbiorcze umieszczone na wszystkich czterech ścianach. Dostęp do kabiny zapewniony jest przez wejście w podłozie w tzw. położeniu serwisowym. Kabina ustawiona jest wtedy na wysokości pośredniej i odpowiednio zabezpieczona. Kabina operacyjna mieści dwa ergonomiczne stanowiska wskaźnikowe, stanowisko łączności i komunikacji oraz aparaturę obróbki. Wyposażona jest w systemy wentylacji i klimatyzacji. Stacja TRC-20 spełnia wymagania środowiskowe według grupy N7-UZ-II-A WPN-84/N-01003. Przystosowana jest do transportu drogowego (szosy i bezdroża), kolejowego, lotniczego (oba po odłączeniu od podwozia) i morskiego. Zastosowanie wyposażenia specjalnego zabezpiecza załogę przed skutkami broni ABC.

3.9. Zestawienie parametrów stacji radiolokacyjnych dla systemów dowodzenia i kierowania

W zakończeniu niniejszego przeglądu naziemnych urządzeń radiolokacyjnych przeznaczonych do wykrywania obiektów powietrznych dla potrzeb wojskowych należy podkreślić, że opracowanie i konstrukcja tych radarów angażuje podstawową część krajowego potencjału badawczo-przemysłowego w tej dziedzinie techniki.

W tablicach 1, 2, 3 zestawiono podstawowe parametry trzech rodzin radarów opracowanych w kraju w minionych 40 latach.

Powstałe w latach 50. radary NYSA wykorzystywały technikę lampową i realizowały jedynie podstawowe funkcje urządzeń radiolokacyjnych. W radach rodziny JAWOR – NIDA opracowanych w latach 50. i 70. następuje przechodzenie z układów lampowych na układy półprzewodnikowe małej i średniej skali integracji. W radach tych wprowadzono koherentne układy nadawczo-odbiorcze i rozbudowane układy przeciwwakłóceńniowe, w tym układy TES, początkowo na liniach opóźniających rtęciowych, lampach pamięciowych, a w okresie późniejszym na układach cyfrowych.

Rodzina radarów oznaczonych literami n odpowiada poziomowi techniki późnych lat 80. i początku lat 90. W radach tych stosowane są pełno-koherentne układy nadawczo-odbiorcze z nadajnikiem w układzie wzmacniacza mocy na lampach o fali bieżącej i amplitronach. Wprowadzono kompresję impulsu, automatyczne układy wykrywania, stabilizacji poziomu fałszywego alarmu i estymacji współrzędnych. Radary projektowano pod kątem uzyskania dobrych parametrów przeciwwakłóceńniowych. Rodzina radarów N obejmuje zarówno radary ostrzegawcze (w tym radary 3-współrzędne wielowiązkowe), wysokościomierze, jak i radary do wykrywania celów nisko-lecących.

Tablica 1

Radary NYSA lata 50.			
Oznaczenie	NYSA A	NYSA B	NYSA C
typ radaru	ostrzegawczy	wysokościomierz	ostrzegawczy
pasma	50 cm	10 cm	50 cm
zasięg	150 km	100 km	300 km
antena	reflektor obrotowy \varnothing 3 m, $\theta_{az}=12^\circ$	reflektorowa $\theta_e=1,3^\circ$, $\theta_{az}=4,3^\circ$	2 reflektory cylindryczne $\theta_{az}=4^\circ$
nadajnik	0,5 do 5 obr/min. magnetron	10 wahnięć/min. magnetron	0,5 do 6 obr/min. magnetron
odbiornik	200 kW, 5 μ s, 100 Hz lampowy F = 11 dB	1 MW, 1 μ s, 200 Hz lampowy	2x (200 kW, 5 μ s, 200 Hz) lampowy F = 11 dB

Tablica 2

Radary ostrzegawcze JAWOR-NIDA lata 60/70.

Oznaczenie	JAWOR	JAWOR M	JAWOR M2	BOGOTA	NIDA	NAREW
typ radaru	ostrzegawczy	ostrzegawczy	ostrzegawczy	wysokościomierz	wysokościomierz	wykrywanie celów nisko lecących
pasmo	L	L	L	S	S	S
zasięg	150 km	180 km	350 km	190 km	240 km	
antena	antena reflektorowa cosec ² 6 m	antena reflektorowa cosec ² 9 m	antena reflektorowa cosec ² 9 m lub 16 m	7 x 1,7 m $\theta_e = 1,2^\circ$	10,6 x 2,4 m $\theta_e = 0,8^\circ$	$\theta_e = 0,9^\circ$ maszt 13 m lub 25 m
nadajnik	magnetron 1,5MW, 3 μ s, 400 Hz	magnetron	magnetron amplitron	magnetron	magnetron	magnetron 0,9 MW
odbiornik	LFB 6 dB TES na linii r \acute{e} ć.	LFB 6 dB TES na lampach pamieć.	wzm. parametrycz. TES cyfrowy	LFB		

Układy odbiorcze lampowe i półprzewodnikowe.
Układy przeciwzakłóceńowe.

Tablica 3

Radary rodziny N 11 – N 41 (lata 80.)

oznaczenie	N 11	N 21	N 31	N 41
typ radaru	ostrzegawczy 3-współrzędny	wykrywanie celów nisko lecących	ostrzegawczy	wysokościomierz
pasmo	S	S	L	S
zasięg	200 km	100 km	160 km	360 km
pułap	pokrycie w elevacji do 25°	4000 m	27 000 m	
antena	wielowiązkowa	reflektorowa na maszcie 8 m	reflektorowa cosec ²	przeszukiwanie w kącie -2° do 30° 6 do 12 wahnięć/min

Nadajnik ze wzmacniaczem mocy na LFB i amplitronach. Przestrzajanie szerokopasmowe od impulsu do impulsu. Rozbudowane układy przeciwzakłóceńowe. Cyfrowy TES, układ automatycznego wykrywania i określania współrzędnych. Układy odbiorcze średniej i dużej skali integracji.

Tablica 4

Radary trójwspółrzędne (lata 90. – pocz. 2000)				
oznaczenie	TRD-12	RST-12M	RTS-15	TRC-20
typ radaru	ostrzegawczy 3-współrzędny	ostrzegawczy 3-współrzędny	ostrzegawczy 3-współrzędny	3-współrzędny wielofunkcyjny
pasmo	L	L	L	C
zasięg	350 km	470 km	150 km	150 km
pułap	40 km	40 km	20 km	12 km
antena	płaska ścianowa	płaska ścianowa	płaska ścianowa	płaskie nadawczo-odbiorcze 4 ściany ze sterowanymi elektronicznie wiązkami antenowymi

3.10. Nagrody państwowe i resortowe

Rok 1953

Nagrodę Państwową I Stopnia za opracowanie radaru **NYSA A** otrzymał zespół w składzie:
Prof. dr inż. P. Szulkin, mgr inż. J. Auerbach, mgr inż. T. Gawron, mgr inż. S. Urbański, mgr inż. J. Hryniewicz, mgr inż. J. Szyszkiewicz, mgr inż. Z. Drejak, Z. Szczyпка, A. Łobodziec.

Rok 1964

Nagrodę Państwową I Stopnia za opracowanie radaru **JAWOR** otrzymał zespół w składzie:
Prof. S. Kielan, dr inż. J. Kroszczyński, mgr inż. R. Dobies, mgr inż. L. Szmilewski, dr inż. F. Wisniewski, mgr inż. Z. Lis, mgr inż. J. Wolnik, mgr inż. J. Szyjko, mgr inż. W. Sielanko, mgr inż. J. Kampa, inż. M. Nierzwicki, płk mgr inż. J. Ścieżka, mjr mgr inż. R. Wieczorek.

Nagrodę Ministra Obrony Narodowej I Stopnia za opracowanie radaru **BOGOTA** otrzymał zespół w składzie:
Inż. F. Całko, mgr inż. J. Machowski, inż. A. Łotyżonok, inż. I. Bernatowicz, ppłk mgr inż. S. Marek.

Rok 1970

Nagrodę Państwową II Stopnia za opracowanie radarów **JAWOR M** i **BOGOTA M** otrzymał zespół w składzie:
Inż. M. Nierzwicki, mgr inż. B. Deniszczuk, mgr inż. I. Grzenkowicz, inż. L. Niedziński, mgr inż. T. Groszyk, mgr inż. L. Kiernozycki, mgr inż. H. Wojtowicz, mgr inż. W. Sielanko.

Rok 1974

Nagrodę Państwową I Stopnia za opracowanie radaru **JAWOR M2** otrzymał zespół w składzie:
Prof. dr hab. J. Kroszczyński, mgr inż. M. Gąsieniec, doc. dr inż. T. Kałcki, inż. B. Jankowski, inż. L. Niedziński, doc. A. Kłoczek, inż. R. Ośko, mgr inż. H. Wojtowicz, mgr inż. L. Sokołowski, prof. dr inż. F. Wisniewski.

Rok 1985

Nagrodę Ministra Obrony Narodowej I Stopnia za opracowanie mobilnej stacji **N-2** otrzymał zespół w składzie:
Mgr inż. J. Żuk, inż. S. Melon, inż. S. Królikowski, mgr inż. S. Makowiecki, mgr inż. L. Grzybowski, mgr inż. A. Zegan, ppłk mgr inż. M. Jędrusik, płk doc. K. Łoziński, ppłk mgr inż. R. Stalończyk, ppłk mgr inż. J. Lubaszko.

Rok 1988

Nagrodę Przewodniczącego KPO Rady Ministrów I Stopnia za opracowanie i wdrożenie radaru **N-31** otrzymał zespół w składzie:

Dr inż. W. Klembowski, prof. dr inż. J. Klamka, inż. R. Ośko, dr inż. R. Dufrêne, doc. A. Klocek, inż. W. Niemyjski, inż. J. Kobierzycki, płk doc. K. Łoziński, mgr inż. S. Durbajło, H. Minczewski.

Nagrodę Ministra obrony Narodowej I Stopnia za opracowanie radaru **N-11** otrzymał zespół w składzie:

Dr inż. W. Klembowski, doc. R. Dobies, mgr inż. W. Paluch, mgr inż. J. Kłosiński, inż. A. Gliszczyński, mgr inż. R. Szelenbaum, ppłk mgr inż. E. Niecałek, ppłk mgr inż. T. Mikoś, doc. dr inż. W. Wizner, Z. Szczerkowski.

4. RADARY DO KONTROLI STREFY PRZYBRZEŻNEJ I POWIERZCHNI MORZA

Edward Sędek, Jerzy Miłosz

Radary do kontroli morskiej strefy przybrzeżnej powinny spełniać dwie funkcje główną i pomocniczą. Funkcja główna obejmuje wykrywanie i śledzenie obiektów nawodnych, funkcja pomocnicza to obserwacja nisko lecących celów. Radary tego typu są instalowane na umocnionych punktach obserwacyjnych Marynarki Wojennej. W celu zwiększenia zasięgu wykrywania montowane są na wieżach o wysokościach rzędu kilkudziesięciu metrów, najczęściej ok. 20 m. Ponadto wysokość brzegu morza zwiększa efektywną wysokość anteny. Z kolei radary do kontroli powierzchni morza oprócz funkcji wykrywania okrętów, statków, łodzi rybackich, tratw ratunkowych, lokalizacji rozbitków wyposażonych w transpondery, pełnią również funkcję monitorowania zanieczyszczeń powierzchni morza do których można zaliczyć rozlewiska ropy, zrzuty śmieci i niebezpiecznych ładunków jak również obserwacji pokrywy lodowej morza i zatok. Radary tego typu instalowane są na samolotach lub innych statkach powietrznych.

4.1. Radar brzegowy N-23

Zbigniew Czekala

Typowym przedstawicielem tej grupy urządzeń jest radar N-23 opracowany w latach 80-tch i produkowany w RADWARZE. Radar brzegowy N-23 powstał na zamówienie Dowództwa Marynarki Wojennej i był przeznaczony do wykrywania obiektów nisko lecących i nawodnych N-23. Była to historycznie pierwsza wersja z rodziny N-2, zakwalifikowana jako wyposażenie MW po badaniach Państwowych w roku 1982. Do roku 1988 na brzegowych punktach obserwacyjnych Marynarki Wojennej wzdłuż polskiego wybrzeża Bałtyku zainstalowano 9 radarów N-23. W celu zwiększenia zasięgu wykrywania obiektów nawodnych radar ten jest instalowany na wieżach o wysokości ok. 25 m, a niektóre instalacje na wysokim brzegu mają efektywną wysokość anteny ponad 50 m. Przy takiej instalacji stacja może wykrywać średniej wielkości jednostki pływające na odległościach do 25 Mm (ponad 46 km).

W początkowym okresie aparatura elektroniczna stacji N-23 była całkowicie zunifikowana z aparaturą radaru mobilnego N-21. Wprowadzono tylko minimalne modyfikacje obróbki sygnału związane ze specyfiką radaru brzegowego, pozwalające wykrywać obiekty nawodne. Informacja o obserwowanych obiektach miała być przekazywana z radaru do zautomatyzowanego systemu dowodzenia

obroną wybrzeża w formie meldunków cyfrowych. Dlatego od tej stacji rozpoczęto próby wdrażania układów automatycznego śledzenia.



Rys. 4.1. Radar brzegowy N-23 na jednym z posterunków obserwacyjnych Marynarki Wojennej RP

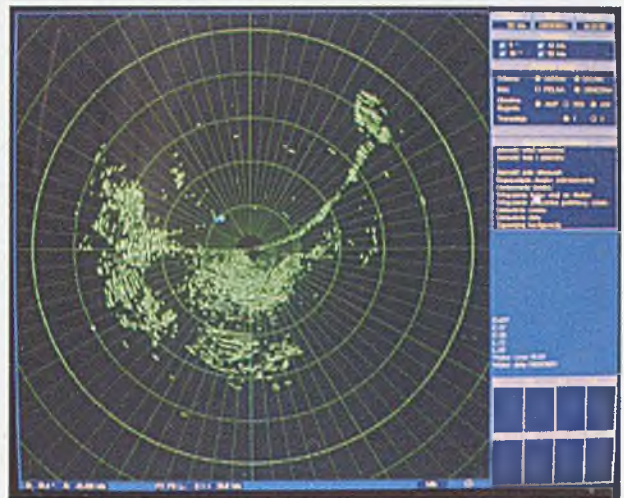
Zastosowany tu najprostszy komputer śledzący, oznaczony symbolem BMP-23 (blok mikroprocesora bazował aparatura nadawczo-odbiorcza. Każdy z posterunków na procesorze Intel 8080 i pozwalał śledzić prostolinijne trasy obiektów, wymagając interwencji operatora (korekty trasy) po każdym manewrze. Pożytek z „inteligencji” tego komputera był zatem niewielki, ale przynajmniej udostępniał on dane o obserwowanych obiektach w postaci cyfrowej. Pozwoliło przetestować radiową transmisję danych między radarem a punktem dowodzenia. Przekazując dane z BMP-23 przez modem transmisyjny do radiostacji uzyskano pozytywne próby transmisji danych przez Zatokę Gdańską - z cypla helskiego, gdzie zainstalowano pierwszą stację N-23, do Gdyni. Radar przeznaczony jest do prowadzenia ciągłej obserwacji powierzchni morza. Mając na wieżach do dyspozycji radar klasy NOGAT i N-23, ich użytkownicy uznali, że mogłyby one pracować po połowie należnego czasu. Dla nowego nadajnika koherentnego z LFB i amplitronem kilkaset godzin pracy w regularnie w każdym miesiącu okazało się być próbą trudną do przetworzenia. Stacje N-23 z tego powodu nie miały uznania wśród oficerów MW bezpośrednio odpowiedzialnych za obserwację, a załogi punktów obserwacyjnych musiały polegać raczej na starszych Notagach niż nowszych radarach N-23. Sytuacja odmieniła się po przeprowadzeniu w latach 90. modernizacji urządzeń N-23, która została podporządkowana dwóm zasadniczym celom: zdecydowanej poprawie niezawodności i jakości wykrywania na tle odbić od morza. Przeprowadzona w dwóch etapach modernizacja spełniła zakładane cele, a oprócz tego przyniosła ogólne unowocześnienie urządzenia. Poprawę niezawodności uzyskano głównie przez „odciążenie” końcowego stopnia nadajnika, który nie jest niezbędny do pełnienia zasadniczego zadania punktu obserwacyjnego MW – wykrywania obiektów nawodnych. Zmniejszenie mocy nadajnika skompensowano obniżeniem współczynnika szumów odbiornika o co najmniej 4 dB. Zastosowane rozwiązanie umożliwiło pracę radaru z wyłączonym amplitronem; potencjał zasięgowy samego stopnia LFB był dostateczny do wykrywania obiektów nawodnych, jak również obiektów powietrznych w niskiej strefie. Ze względu na niezawodność odnowiono rozwiązania krytycznych pod tym względem podsystemów, korzystając z dostępu do nowoczesnej bazy elementowej, a mianowicie:

- wprowadzono w pełni automatyczne śledzenie tras obiektów powietrznych i nawodnych, oparte na wykorzystaniu typowego komputera osobistego (PC) połączonego łączem szeregowym z pozostałą aparaturą przetwarzania sygnału. Aby jednocześnie wykrywać obiekty powietrzne i nawodne, w urządzeniu N-23

zastosowano specjalne układy przetwarzania sygnałów dla obu kategorii obiektów, tworzące dedykowany kanał wykrywania obiektów nawodnych na tle odbić od fal morskich;

- wprowadzono oddzielne układy śledzenia tras obiektów powietrznych i nawodnych, wykorzystujące algorytmy śledzenia dostosowane do różnych parametrów ruchu tych obiektów.

W celu wygodnego śledzenia sytuacji powietrznej i nawodnej radar ten został wyposażony w kolorowy wskaźnik rastrowy, na którym różnymi kolorami zobrazowane są symbole obiektów powietrznych i nawodnych oraz pozostałe elementy zobrazowania. Pod tym względem zmodernizowany N-23 był pierwszym radarem wojskowym z kolorowym zobrazowaniem rastrowym. Dostosowano format transmisji danych do aktualnych potrzeb MW. Uzyskaną poprawę niezawodności można było praktycznie zweryfikować; dzięki temu, że aż 9 stacji N-23 jest w eksploatacji, a eksploatacja jest intensywna, łatwo było zebrać dostatecznie dużo materiału do oceny niezawodności. Zebrane przez kilka miesięcy dane pokazały wynik imponujący: średni okres między-awaryjny przekroczył 700 godzin – wielkość przedtem tylko podziwianą na ulotkach reklamowych renomowanego sprzętu zagranicznego.



Rys. 4.2. Zobrazowanie na wskaźniku radaru N-23

4.2. Radar brzegowy RM-100

W końcu lat 90. opracowano w Oddziale Gdańskim PIT nowoczesny, mobilny radar RM-100 średniego zasięgu, pracujący w pasmie X, którego zasięg maksymalny wynosi około 60 km. Radar RM-100 jest przeznaczony do wykrywania i śledzenia obiektów nawodnych oraz automatycznego przekazywania danych do systemu dowodzenia.

W przeciwieństwie do radaru N-23 o dużej mocy impulsowej, pracuje on na fali ciągłej z liniową modulacją częstotliwości. Daje to możliwość pracy radaru z niewielkimi mocami sygnału sondującego (od 1mW do 1W), co kwalifikuje radar w grupie trudno wykrywalnych. Zestaw radaru montowany jest w odpowiednio dostosowanej kabine pojazdu terenowego Star 266 oraz na rozwijanym do wysokości 20 m. maszcie typu Ftm24/4, co zapewnia możliwość tworzenia ruchomych nabrzeżnych posterunków radiolokacyjnych współpracujących z siecią radarów ochrony wybrzeża. Radar jest przeznaczony do pracy na postoju. W położeniu roboczym blok nadawczo-odbiorczy złożony z anten i głowicy nadawczo-odbiorczej jest umieszczony na napędzie zainstalowanym na maszcie. Maszt można rozwijać do wysokości około 20m. Dzięki tak wysokiemu masztopi radar można ustawiać w lesie i prowadzić obserwację ponad koronami drzew.



Rys. 4.3. Blok nadawczo- odbiorczy na rozwiniętym maszcie Ftm 24/4

Zapewnia to nie tylko ukrycie zestawu, lecz również rozszerzenie horyzontu radarowego.

Pozostałe bloki radaru, tzn. moduł radiolokacyjny (realizujący funkcje obróbki sygnałów radiolokacyjnych i śledzenia celów) oraz moduł monitora (zobrazowanie wizji radarowej) są umieszczone w kabine operacyjnej nadwozia pojazdu Star 266. W kabine tej znajdują się również bloki modułu systemu dowodzenia Łeba oraz moduł łączności do sprzężenia komputera ze środkami łączności.

Moduł łączności jest przeznaczony do współpracy z systemem dowodzenia za pośrednictwem utajnionej komunikacji cyfrowej. Wyposażony jest odpowiedni modem oraz środki łączności przewodowej i bezprzewodowej, umożliwia zobrazowanie map sytuacyjnych oraz nadawanie i odbiór komunikatów tekstowych.

Radar RM-100 jest również wyposażony w radiostację RS6113-2 i radiotelefon RT150, które są zainstalowane w module łączności. W skład podstawowego wyposażenia radaru wchodzi również odbiornik GPS i kompas.

Głowica nadawczo-odbiorcza wykonana w technice FMCW umożliwia pracę radaru z niewielkimi mocami sygnału sondującego (od 1mW do 1W), co klasyfikuje radar w grupie trudno wykrywalnych. Ta ważna cecha umożliwia wykorzystywanie tego radaru w sytuacjach, które wymagają zachowania ciszy radarowej.

Antena nadawcza promieniuje sygnał sondujący, który ma postać ciągłej fali nośnej zmodulowanej w częstotliwości przebiegiem piłokształtnym o nachyleniu ustalonym w zależności od zakresu instrumentalnego. Sygnały odebrane anteną odbiorczą podlegają wzmocnieniu i przemianie częstotliwości do pasma podstawowego (odbiór homodynowy kwadraturowy). Sygnał wyjściowy głowicy nadawczo-odbiorczej (wyjście pośredniej częstotliwości) charakteryzuje się widmem, którego rozkład gęstości mocy (częstotliwość wyjściowego sygnału) zależy od odległości celu, zatem estymacja odległości odbywa się na podstawie pomiaru częstotliwości sygnału pośredniej częstotliwości. Amplituda sygnału odwzorowuje skuteczną powierzchnię odbicia celu a częstotliwość jego odległość.



Rys.4.4. Przebazowanie stanowiska radiolokacyjnego

Informacje o wykrytych celach zawarte są w dziedzinie częstotliwości wyjściowych sygnałów wideo toru odbiorczego głowicy nadawczo-odbiorczej.

Sygnal ten podlega dalszej obróbce w module radiolokacyjnym radaru. Algorytm przetwarzania sygnałów w radarach z falą ciągłą, do jakich zalicza się zestaw RM-100, różni się od stosowanych w klasycznych radarach impulsowych. Do analizy stosuje się szybkie przekształcenie Fouriera (1024-punktowa FFT). Dalsze etapy przetwarzania są podobne jak w radarach impulsowych: CFAR, integracja binarna, korelacja. Tak przygotowane dane po ekstrakcji przekazywane są w formie plotów do układu śledzenia. Wyniki przetwarzania sygnału są zobrazowane na wskaźniku radaru w postaci wizji analogowej i syntetycznej.

Maszyn rozwijany jest automatycznie metodą „teleskolową” w czasie 5 min. Zestaw nadawczo-odbiorczy zamontowany jest bezpośrednio przy antenie, zaś sygnały po przemianie częstotliwości, z wyjścia odbiornika przesyłane są linią współosiową do kabiny operatora znajdującej się w pojeździe. Należy podkreślić, że algorytm przetwarzania sygnałów w radarach z falą ciągłą, do jakich zalicza się urządzenie RM-100, różni się od algorytmów stosowanych w klasycznych radarach impulsowych. W tym przypadku liniowo zmodulowany w częstotliwości sygnał nadajnika charakteryzuje się stałą częstotliwością modulacji oraz zależną od zakresu wykrywania dewiacją. Informacje o wykrytych obiektach zawarte są w dziedzinie częstotliwości wyjściowych sygnałów wideo toru odbiorczego głowicy nadawczo-odbiorczej. Amplituda sygnału odwzorowuje skuteczną powierzchnię odbicia obiektu, częstotliwość jego odległość. Do analizy stosuje się szybkie przekształcenie Fouriera (FFT), które realizowane jest w czasie rzeczywistym.



4.5. Stanowisko operatora radaru RM-100

Przykładowo w eksploatowanych przez Marynarkę Wojenną dwóch egzemplarzach radaru w torze obróbki sygnału wykorzystuje się 1024 punktową transformatę Fouriera. Kolejne etapy przetwarzania sygnałów są podobne jak w radarach impulsowych tzn. CFAR, układy integracji binarnej oraz korelacji. Tak przygotowane dane po ekstrakcji są przekazywane w formie plotów do układu śledzenia. Radar wyposażony jest w dwie anteny nadawczą i odbiorczą o aperturze 1,4 m, której prędkość obrotowa wynosi 30 obr/min. Dokładność namiaru kąta położenia obiektu wynosi 1° natomiast odległości 1%. Urządzenie posiada sześć zakresów instrumentalnych począwszy od 1,5Nm do 48Nm. Praktyka wykazała, że nawet w trudnych warunkach pogodowych radar wykrywa mały okręt z odległości 12 NM, okręt raketowy o wyporności do 500t z odległości 14NM, zaś dużą korwetę na dystansie 16Nm.

4.3. Morski radar obserwacyjny MSR-20

Morski radar obserwacyjny MSR-20 został opracowany w WAT we współpracy z PIT na zlecenie firmy Petrobaltic w początku 2000r.

W Oddziale Gdańskim PIT powstała jednostka nadawczo-odbiorcza i tor wykrywania obiektów nawodnych. Radar umożliwia monitorowanie obszaru morza zarówno w dzień jak i w nocy niezależnie od warunków pogodowych i zobrazowanie sytuacji nawodnej wokół platformy, na której jest zainstalowany (posterunek brzegowy, platforma wiertnicza, itp.), zapewniając stałą kontrolę określonego obszaru morza. Podstawowym zadaniem radaru jest monitorowanie powierzchni morza w bliskim sąsiedztwie platformy i alarmowanie o wykrytych zanieczyszczeniach ropopochodnych unoszących się na powierzchni. Funkcję tę realizuje tor wykrywania plam opracowany przez WAT. Drugim ważnym zadaniem pełnionym przez radar jest wykrywanie i śledzenie obiektów pływających (łodzi, statki) oraz pełnienie funkcji nawigacyjnych i ostrzegawczych, zwłaszcza w celu wykrywania nielegalnego ruchu osób i towarów przez granicę morską na jednostkach pływających o wysokości ponad 1 m lub niewielkich obiektach powietrznych. Zadania te pełni tor wykrywania obiektów nawodnych zrealizowany przez OG PIT.

Radar wykrywa również plamy ropy naftowej powstałe na skutek katastrof morskich i nielegalnego usuwania wód balastowych statków. W zależności od zastosowania, radar może być umieszczany na wieżach zlokalizowanych na brzegu morza lub wydobywczych platformach morskich.

Powierzchnia morza jest przeszukiwana za pomocą płetwowej wiązki antenowej, dzięki czemu w wyniku specjalizowanej obróbki sygnałów ech radarowych zostaje wytworzony obraz będący graficzną reprezentacją sytuacji radiolokacyjnej na powierzchni morza. Wykrywanie plam ropy naftowej uoszącej się na powierzchni morza polega na analizie fali elektromagnetycznej odbitej od powierzchni wody (odbiciowości powierzchni morza). Pod wpływem rozlanej substancji ropopochodnej ulega zmianie napięcie powierzchniowe wody powodując znaczne tłumienie fal kapilarnych, których długość jest porównywalna z długością fali nośnej radaru. Dzięki temu naturalnemu zjawisku, badając poziom odbiciowości powierzchni morza, która w przypadku wody nie zanieczyszczonej jest o kilka dB wyższa niż w przypadku powierzchni zanieczyszczonej, można wykrywać plamy ropy oraz określać ich wielkość. Radar jest przystosowany do bezobsługowej pracy ciągłej.



Rys. 4. 6. Jednostka nadawczo-odbiorcza MSR-20 na stanowisku pomiarowym

Radar pracuje w paśmie X i wyposażony jest w antenę szczelinową o zysku energetycznym 34 dB i szerokościach wiązek azymutalnej $0,45^\circ$ oraz elewacyjnej 13° . Nadajnik radaru generuje impulsy sondujące o mocy szczytowej 25 kW i długości od 0,05 do 0,8 μs . Zasięg wykrywania obiektów o skutecznej powierzchni odbicia $1,5 \text{ m}^2$ i prędkości obrotowej 12 obr/min wynosi 15,5 km.

Konstrukcja radaru spełnia wymagania środowiskowe zgodnie z normami międzynarodowymi dla sprzętu przeznaczonego do pracy na morzu.



Rys. 4.7. Jednostka przetwarzania i zobrazowania radaru MRS-20

4.3. Radar samolotowy ARS-100

Radar samolotowy obserwacji dookreślnej ARS-100 został opracowany w PIT w latach 1991-1993 z przeznaczeniem dla Marynarki Wojennej. Opracowany radar spełnia wiele funkcji związanych z obserwacją powierzchni morza i monitoringu środowiska. Z tego punktu widzenia można go zaliczyć do grupy radarów wielofunkcyjnych. W czasie lotu patrolowego, na wysokości od 150m do 1000m, radar zapewnia:

- wykrywanie okrętów, statków, łodzi rybackich i tratw,
- śledzenie celów i zjawisk na morzu w zasięgu wykrywania radaru,
- przeszukiwanie powierzchni morza podczas akcji ratowniczych i lokalizację rozbitków wyposażonych w transpondery
- wykrywanie działań związanych z przemytem lub piractwem,

- zabezpieczenie działań rybołówstwa i ochronę strefy ekonomicznej,
- wykrywanie i ostrzeganie przed zjawiskami meteorologicznymi,
- wykrywanie zanieczyszczeń środowiska morskiego (rozlewiska ropy, zrzuty śmieci, lub niebezpiecznych ładunków),
- dokumentowanie i archiwizację przeprowadzonych obserwacji
- przekazywanie (i odbieranie) informacji między samolotem a systemowymi obiektami brzegowymi,
- dokumentowanie i archiwizację przeprowadzonych obserwacji.

Liczba funkcji, które pełni radar, jest więc tak duża, iż dokumentowane informacje mogą być wykorzystywane przez różnorodne służby zarówno wojskowe jak i cywilne. Informacje te są przekazywane na ziemię drogą radiową.



Rys. 4.8. Widok samolotu z radarem umieszczonym w dolnej części kadłuba



Rys. 4.9. Płaska antena ściana radaru ARS-100 na stanowisku pomiarowym

Głównymi blokami funkcjonalnymi radaru są: blok antenowy, blok nadawczo-odbiorczy, blok obróbki sygnałów oraz wskaźnik. W radarze zastosowano płaską antenę ścianową z elementami promieniującymi w postaci szczelin.

Poszczególne wiersze anteny wykonane są na standardowym falowodzie WR-90. W bloku antenowym oprócz samej anteny znajduje się układ antenowy oraz układ stabilizacji wiązki antenowej. Układ stabilizacji wiązki współpracuje z platformą żyroskopową. Rozwiązanie to zapewnia stabilizację położenia wiązki nadawczej anteny podczas przechyłów samolotu. Wiązka antenowa ma szerokość w azymucie 2° , zaś w elewacji 9° . Zysk energetyczny anteny wynosi 32dB. Antena może obracać się z prędkością 7,5 lub 15 obr/min. Blok nadawczo-odbiorczy zbudowany jest z magnetronowego nadajnika oraz odbiornika, który na wejściu ma niskoszumny wzmacniacz tranzystorowy, a na wyjściu wzmacniacz logarytmiczny o dużej dynamice. Wypadkowy współczynnik szumów odbiornika wynosi 3,5 dB. W układach obróbki sygnałów zastosowano kolejno: detektor amplitudowy, przetwornik A/C, CFAR, próg z regulacją i filtr korelacyjny. Zasięgi instrumentalne radaru wynoszą: 7,5; 15; 30; 60 Nm. Zobrazowanie zrealizowane zostało na kolorowym wskaźniku rastrowym. Operator może ręcznie wybrać: szerokość impulsu sondującego, czułość i zakres zasięgowej regulacji wzmocnienia, stałą czasu układu różniczkowania oraz poziom wzmocnienia.

4.5. Radar samolotowy ARS-400

Radar samolotowy ARS-400, opracowany w 1997r. w PIT, stanowi następną wersję radaru ARS-100, z nadajnikiem koherentnym na lampie z falą bieżącą (LFB) o zwiększonej mocy średniej i impulsowej. W rozwiązaniu tym zastosowano znacznie bardziej rozbudowane układy obróbki sygnałów, wprowadzono śledzenie obiektów oraz zobrazowanie syntetyczne. Dzięki tym modyfikacjom uzyskano znaczne zwiększenie możliwości użytkowych radaru oraz poprawę jego parametrów, głównie w odniesieniu do jego zasięgu i odporności na zakłócenia czynne i bierne. Radar wypełnia misje wymienione w poprzednim punkcie i zapewnia sześć różnych sposobów zobrazowania, a mianowicie:

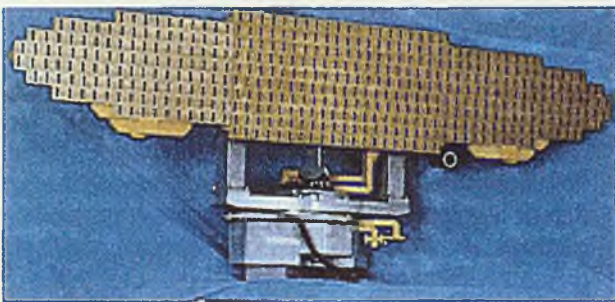
- zobrazowanie względem linii kursu przedstawione jest na wskaźniku tak, aby linia kursu była skierowana dokładnie do góry ekranu;
- zobrazowanie względem północy przedstawione jest tak, że znacznik północy jest na górze ekranu, a wektor kursu – zgodnie z kierunkiem linii podłużnej samolotu;
- zobrazowanie ruchu rzeczywistego. W tym rodzaju pracy odbicia od powierzchni morza lub ziemi zobrazowane są jako

podkładu jest odnawiane w miarę, jak ruchomy obiekt przesuwa się nad nim;

- zobrazowanie urządzeń odzewowych. W tym przypadku, odbiornik radaru może odbierać sygnały pochodzące od samolotowych lub naziemnych transponderów występujących w zasięgu wykrywania;
- zobrazowanie ze zmiennym środkiem. W tym rodzaju pracy system posiada zdolność przesuwania środka zobrazowania do dowolnego punktu ekranu;
- zobrazowanie ze znacznikiem celu. Operator ma możliwość określenia odległości i kierunku celu.



Rys. 4.10. Samolotowy radar ARS-400



Rys. 4.11. Antena radaru ARS-400

Radar ARS-400 wyposażony jest w specjalizowany system telekomunikacyjny, za pomocą którego dane o wykrytych i śledzonych obiektach są przesyłane do naziemnych systemów

dowodzenia. Rozpoznanie „swój – obcy” realizowane jest poprzez zainstalowany na samolocie system IFF. Zasięg instrumentalny radaru zwiększono do 160 km, dzięki zastosowaniu koherentnego nadajnika o mocy średniej 160 W. Z kolei kompresja impulsu i rozbudowane układy obróbki odbieranych sygnałów zapewniają bardzo dobrą odporność radaru na zakłócenia czynne i bierne. Płaska, falowodowa antena ściana radaru charakteryzuje się zyskiem energetycznym 32 dB przy szerokości wiązki w azymucie 2° i 9° w elewacji. Zmieniono również prędkości obrotowe anteny, które można dobrać w zależności od liczby obserwowanych obiektów i warunków atmosferycznych. Wynoszą one obecnie odpowiednio 3; 7,5; 15 i 30 obr/min. Wiązka antenowa jest stabilizowana w zakresie przechyłów samolotu $\pm 20^\circ$. Radar potrafi wykryć ponton z odległości 20 km, mały jacht z 35 km, trawler rybacki z odległości 80 km, zaś okręt lub statek o skutecznej powierzchni odbicia rzędu 300 – 500 m² z odległości powyżej 100 km.



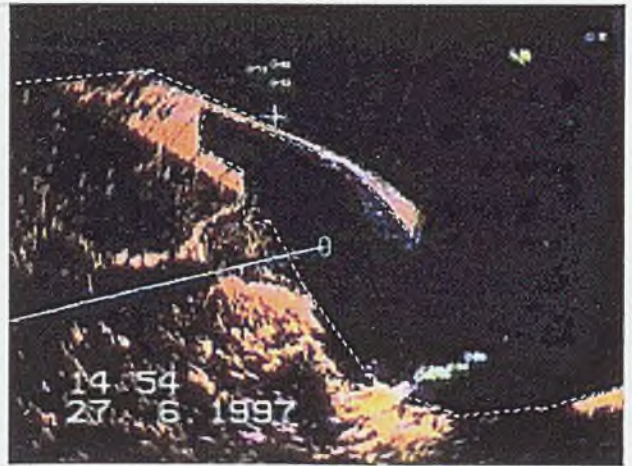
Rys. 4.12. Stanowisko operatora radaru ARS-400



Rys. 4.13. Wzmacniacz na LFB
i wysokonapięciowy zasilacz nadajnika ARS-400

Nowy radar wyposażono w system automatycznej lokalizacji uszkodzeń (ALU), który metodą konwersacyjną pozwala operatorowi wykryć i zlokalizować uszkodzenie. Aparatura radaru przystosowana jest do pracy w zakresie temperatur otoczenia od -25°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Radar w wersji ARS-400 został wykonany w PIT i zainstalowany na siedmiu samolotach wyprodukowanych w WSK-Mielec. Łącznie z radarem, zainstalowano na samolotach opracowany w PIT we współpracy z CTM, system dowodzenia ŁS-10. Całość tzn.

zainstalowana aparatura i jego nośnik stanowią samolotowy system obserwacyjny znany pod nazwą BRYZA-1R. System ten brał udział dwukrotnie w manewrach NATO u wybrzeży Norwegii i Anglii uzyskując najwyższe oceny dowódców przeprowadzonych ćwiczeń. Obecnie prowadzone są prace nad dalszą rozbudową systemu, który zapewni możliwość wykrywania okrętów podwodnych metodą hydroakustyczną oraz metodą magnetometryczną z wykorzystaniem sond cezowych.



Rys. 4.14. Zarys linii brzegowej i jej syntetyczny obraz
(linia przerywana)

5. MORSKIE RADARY NAWIGACYJNE

Edward Sędek, Zbigniew Czekala, Jerzy Miłosz

Morskie radary nawigacyjne instalowane na statkach i okrętach służą do obserwacji powierzchni morza w otoczeniu jednostek pływających w dowolnych warunkach pogodowych. Ze względu na charakterystyczny kształt wiązki pletwowej zapobiegającej gubieniu ech w czasie przechyłów okrętu, radary te wykrywają również obiekty znajdujące się w przestrzeni powietrznej w otoczeniu jednostki pływającej.

5.1. Radary nawigacyjne typu RN, TRN, SRN

Pierwszym radarem morskim produkowanym w Warszawskich Zakładach Radiowych był radar RLM-62 opracowany w 1958r. W ciągu 35 lat opracowano i wyprodukowano jedenaście zasadniczych typów radarów nawigacyjnych. Ze względu na technologię ich wykonania wyróżnić można 4 generacje radarów morskich:

typu RN – lampowe

typu TRN – tranzystorowe

typu SRN – na układach scalonych

typu SRN – na układach LSI.

Charakterystyczne cechy ww. radarów zestawiono w tabl. 5.1

Radary pracują w pasmie X. Wyjątek stanowią tu radary SRN 745XS, pracujące w dwóch pasmach częstotliwości X i S i przeznaczone są do instalowania zarówno na okrętach, jak i brzegowych punktach obserwacyjnych. Do największych radarów trzeciej generacji należy radar SRN-600. Radar SRN-200 należy do radarów najmniejszych przeznaczonych na małe kutry, jachty czy holowniki. Radar ten eksportowany był do RFN. Obok radarów morskich produkowano również rzeczne. Łącznie wyprodukowano w Centrum RADWAR ok. 6.000 szt. radarów nawigacyjnych. W 1987 r. opracowano w WZR RAWAR urządzenie ARPA-2000 przeznaczone do automatycznego wyliczania parametrów w ruchu obiektów nawodnych, ich śledzenia i ostrzegania operatora o potencjalnie kolizyjnych sytuacjach.

Tablica 5.1

Podstawowe parametry radarów morskich produkowanych w WZR RAWAR													
Lp.	Typ radaru (generacja) Parametr	Lampowe (I)		Tranzystorowe (II)			Na układach scalonych (III)			Na układach scalonych (IV)			
		RLM 6	RN 231	300	TRN 400	500	200	SRN 300	600	400	SRN 700	800	
													Szczelinowa (1,8° 1,2° 0,9° 0,7°)
1.	Typ anteny	Paraboliczna	Szczelinowa (1,8° 1,2° 0,9° 0,7°)										
2.	Moc imp. sondującego (kW)	80	80	9	25	25	3	3	25	25	25	25	
3.	Średnica kineoskopu (cale)	12	12	9	12	16	6,5	8,5	16	12	16	21	
4.	Rozróżnialność promieniowa (m)		30	12	12	12	20	10	12	15	15	15	
5.	Najdłuższy i najkrótszy zakres obserw. (Mm)	48 1,5	48 0,8-3	24 0,25	48 0,5	60 0,75	32 0,5	24 0,25	60 0,5	48 0,3	60 0,25	0,3 72	
6.	Okres produkcji (lata)	58-61	62-71	70-76	74-80	72-75	77	76-82	74-83				

5.2. Radar nawigacyjny N – 25

Radar okrętowy N-25 produkcji RADWAR był naturalną konsekwencją jako kolejna aplikacja rodziny radarów niskiego pułapu identyfikowanej pod wspólnym N-2. Parametry zasięgowe tego urządzenia i aparatura elektroniczna nie różniły się od wersji brzegowej N-23. Niezbędnymi dodatkowymi elementami w wersji okrętowej były blok stabilizacji płaszczyzny obrotów anteny, system stabilizacji zobrazowania względem kierunku północy oraz układ kompensacji prędkości okrętu w systemie filtracji dopplerowskiej. Ze względu na znaczną masę anteny z jej napędem i dodatkowym mechanizmem stabilizacji radar N-25 nadawał się na odpowiednio duże jednostki. Prototyp został zamontowany i poddany badaniom na trałowcu.

W systemie stabilizacji płaszczyzny obrotów anteny kompensację przechyłów okrętu zapewniały dwa silniki prądu stałego pochylające za pośrednictwem śrub tocznych dwie ramy wzajemnie prostopadłe wahliwe. Umieszczony w kabinie radaru blok serwonapędu wytwarzał napięcia zasilające silniki na podstawie sygnałów błędów, które powstawały przez porównanie kąta pochylenia platformy anteny w dwóch płaszczyznach względem napięcia odniesienia (poziomu) dostarczanego z żyroskopu okrętowego.



Rys. 5.1. Antena radaru okrętowego N-25 na platformie kompensującej przechyły okrętu

Stabilizacja poziomego położenia płaszczyzny obrotów anteny była zachowana z dokładnością lepszą niż 1° , przy zakresie przechyłów poprzecznych do $\pm 15^\circ$ i przechyłów wzdłużnych do $\pm 7^\circ$. Konstrukcja systemu stabilizacji anteny była poważnym wyzwaniem ze względu na wymaganą dynamikę całego układu z jednej strony oraz duże masy pochylane i duże momenty bezwładności części obrotowych z drugiej strony.

W długotrwałych badaniach na Bałtyku radar N-25 pokazał swoją zdolność do pracy w warunkach okrętowych, jednak nie znalazł szerokiego zastosowania prawdopodobnie ze względu na raczej skromne możliwości Marynarki w zakresie budowy nowych okrętów. Oprócz prototypu został zbudowany jeden egzemplarz produkcyjny, który został zamówiony przez sojuszniczą Marynarkę Wojenną ówczesnej NRD i zainstalowany na jej okręcie w 1988 roku.

5.3. Cichy radar nawigacyjny CRM-200

Radar CRM-200 jest okrętową wersją radaru RM-100. Jest to radar FMCW pracujący w pasmie X o niskim poziomie mocy nadajnika ($1\text{mW} | 1\text{W}$), co klasyfikuje go w grupie radarów trudno wykrywalnych (LPI). CRM-200 wykrywa cele nawodne i określa ich parametry ruchu. Radar może automatycznie śledzić wykryte cele i przekazywać informacje o nich do systemu dowodzenia. Wyposażony jest w moduły realizujące funkcje ARPA. CRM-200 współpracuje z zewnętrznymi źródłami informacji, w tym wykorzystywanymi w systemie nawigacyjnym okrętu (GPS, LOG, żyrokompas).

Radar CRM-200 składa się z następujących bloków konstrukcyjnych:

- Blok Nadawczo-Odbiorczy,
- Blok Napędu i Złącza,
- Blok Monitora, Komputera i Zasilacza.

Bloki Nadawczo-Odbiorczy oraz Napędu i Złącza stanowią tzw. nadpokładową część radaru i są instalowane na maszcie, natomiast blok MKZ-20 jest instalowany w kabinie okrętu i stanowi tzw. podpokładową część radaru.

Blok Nadawczo-Odbiorczy BNO-10 składa się z głowicy nadawczo-odbiorczej FMCW zintegrowanej z parą anten falowodowych szczelinowych o aperturze 2m. Anteny są obracane z prędkością 30 obr./min za pomocą silnika trójfazowego współpracującego ze złączem obrotowym. Odebrane sygnały radiolokacyjne podlegają obróbce w torze przetwarzania sygnałów Bloku Monitora, Komputera i Zasilacza są wyświetlane na monitorze kolorowym o przekątnej 20"

Tor przetwarzania sygnałów przeprowadza analizę widmową na podstawie 1024-punktowej szybkiej transformacji Fouriera (FFT). Na wyjściu analizatora widma otrzymuje się periodogram przedstawiający 512 komórek odległości, nazywany sygnałem wizyjnym. Pierwotna obróbka sygnału wizyjnego odbywa się w układzie stabilizacji poziomu fałszywego alarmu (CFAR), po którym następuje progowanie i integracja binarna w czasie oświetlenia celu przez wiązkę antenową.



Rys. 5.2. CRM-200 zamontowany na maszcie okrętu



Rys. 5.3. Blok nadawczo-odbiorczy CRM-200

Po pierwotnej obróbce sygnał wizji jest zobrazowany jako wizja analogowa, a także jest

wprowadzany do ekstraktora w celu selekcji celów śledzenia. Ekstraktor wyznacza środki ciężkości celów i pozycje celów we współrzędnych biegunowych (namiar i odległość), tzw. ploty, które przesyła do modułu śledzenia.

Radar CRM-200 posiada cechy, umożliwiające wykorzystanie go do nawigacji okrętu (w tym funkcje ARPA):

- zobrazowanie sytuacji w ruchu rzeczywistym i względnym,
- stabilizacja zobrazowania względem północy, kursu i dziobu,
- automatyczne śledzenie 40 celów z bieżącym wyliczaniem odległości minimalnego zbliżenia i czasu jego osiągnięcia,
- generowanie alarmów (kolizyjny, nowy cel, zgubiony cel)
- 6 zakresów pracy radaru (od 0,75 do 24 Nm);
- stałe znaczniki odległości i ruchomy krąg odległości,
- kreska namiarowa,
- mapy edytowane przez operatora (5map po 100 elementów).

Radar wyposażony jest w dwie anteny nadawczą i odbiorczą o aperturze 2m. Szerokości wiązek nadawczej i odbiorczej wynoszą odpowiednio w azymucie $1,2^\circ$ i elewacji 25° . Radar wykrywa mały okręt z odległości 12 Nm, okręt rakietowy do 500t z odległości 14 Nm oraz dużą korwetę na dystansie 16 Nm.

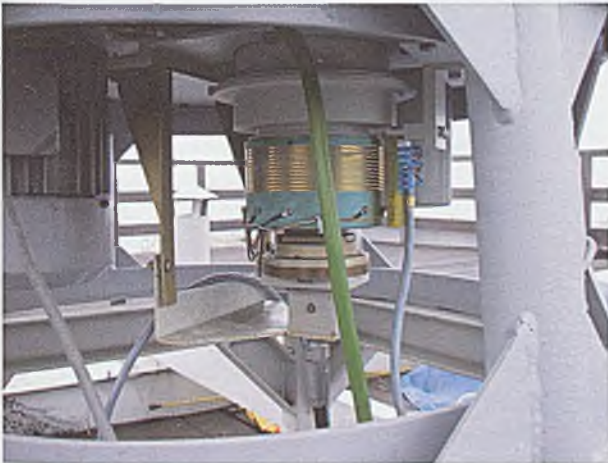


Rys. 5.4. Konsola stanowiska operatora radaru CRM-200

5.4. Radar obrony okrętu MRC-10

Urządzenie MRC-10 jest trójwspółrzędnym koherentnym radarem z elektronicznie sterowaną wiązką antenową w płaszczyźnie elewacji. Przeszukiwanie w płaszczyźnie azymutalnej odbywa się poprzez mechaniczny obrót anteny. Obracająca się antena nadawczo-odbiorcza składa się z następujących bloków funkcjonalnych:

- struktury promieniującej w postaci liniowych szyków szczelinowych asymetrycznie pobudzanych przez falowod grzbietowy, poszczególne liniowe szyki tworzą wiersze struktury promieniującej,
- zespołu przesuwników fazy zasilanego i sterowanego za pośrednictwem sterownika wraz z impulsatorem,
- układu dzielnika mocy zapewniającego odpowiedni rozkład mocy na wejściach wierszy struktury promieniującej oraz pozwalającego uzyskać wiązki wyjściowe sumacyjną i różnicową.



Rys. 5.5. Widok złącza obrotowego zamontowanego w systemie antenowym radaru MRC-10

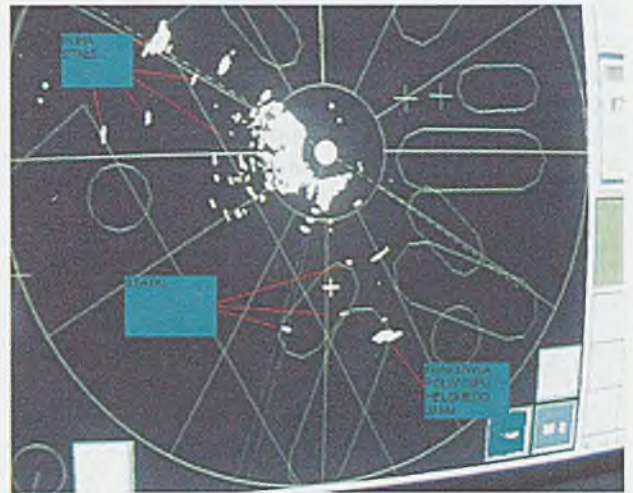


Rys. 5.6. Widok osłony struktury promieniującej anteny

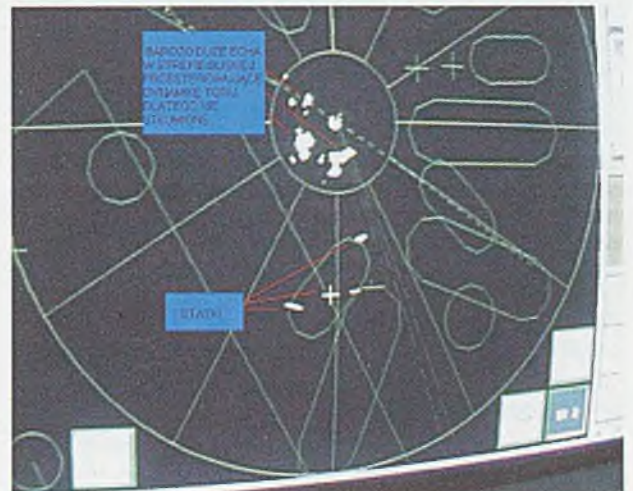
Układ napędu anteny oprócz jej obrotów generuje również dane wymagane przez układ zobrazowania tj. sygnał przyrostu kąta oraz sygnał przejścia przez zero.

Sygnały mikrofalowe i sterujące między obracającą się anteną a pozostałymi blokami przekazywane są za pomocą złącza obrotowego.

Sygnał wzbudzenia traktu nadawczego po wzmocnieniu przez nadajnik jest przesyłany do anteny. Zasila on kolejne jej wiersze tworząc przestrzenny wykres pokrycia radaru. Dla potrzeb testowych istnieje możliwość odłączenia anteny i przesłania całego sygnału z nadajnika za pośrednictwem przełącznika ASO do sztucznego obciążenia. Natomiast sygnał odbiorczy, w kanale sumacyjnym wydzielony przez cyrkulator, po wzmocnieniu w wejściowych wzmacniaczach odbiorczych przesyłany jest do głowic odbiorczych, gdzie następuje jego dalsze wzmocnienie i podwójna przemiana częstotliwości.



Rys. 5.7. Zdjęcie z ekranu wskaźnika przy wyłączonym filtrze TES długość impulsu 5 μ s zakres 50 km



Rys. 5.8. Zdjęcie z ekranu wskaźnika przy włączonym filtrze TES długość impulsu 5 μ s, zakres 50 km

6. SYSTEMY ROZPOZNANIA RADIOELEKTRONICZNEGO

Edward Sędek, Jerzy Miłoś, Zbigniew Kempisty

Systemy rozpoznania radioelektronicznego określane są często jako radiolokacja bierna, co oznacza, że w przeciwieństwie do radarów wysyłających w przestrzeń sygnały sondujące o dużej mocy impulsowej, systemy te pracują w trybie odbioru analizując przychodzące sygnały w dziedzinie czasu i częstotliwości. Urządzenia tego typu rozmieszczone w terenie co kilkadziesiąt km od siebie mogą wykrywać i określać położenie i parametry ruchu obiektów naziemnych, nawodnych i powietrznych na znacznych odległościach sięgających kilkaset kilometrów. Obiekty lokalizowane są na podstawie analizy sygnałów impulsowych i ciągłych, emitowanych przez praktycznie wszystkie typy urządzeń generujących sygnały elektromagnetyczne. Mogą to być stacje radiolokacyjne, systemy „swój – obcy”, systemy nawigacyjne montowane na samolotach (np. TACAN), czy też nadajniki zakłóceń. Systemy rozpoznania radioelektronicznego charakteryzują się szerokim pasmem pracy najczęściej od 0,5 do 18GHz oraz wysoką czułością. (typu ELINT) Stosowane jest również rozpoznanie w zakresie częstotliwości UKF, najczęściej od 20 do 1200MHz (typu COMINT).

6.1. System rozpoznania radioelektronicznego MUR-20

Mobilna stacja rozpoznania lądowych systemów radiolokacyjnych MUR-20 została opracowana w PIT w latach 90. przy współpracy z Instytutem Radiolokacji WAT. Służy ona do automatycznego rozpoznawania stacji systemów radiolokacyjnych znajdujących się w strefie horyzontu radiowego w pasmie 0,5-18GHz. Stacja zabudowana na opancerzonym pojeździe może operować w bezpośredniej styczności wojsk i jest przeznaczona dla szczebla taktycznego wojsk lądowych. Spełnia rolę stacji typu ELINT zapewniając precyzyjne pomiary parametrów sygnałów, ich rejestrację oraz rozpoznanie i klasyfikację źródeł emisji. Posiada jednocześnie cechy stacji wsparcia walki elektronicznej (typu ESM), służącej do szybkiej oceny sytuacji radiolokacyjnej i przekazania danych do systemów dowodzenia. Może pracować samodzielnie, bądź w systemie 2-3 stacji, umożliwiając także lokalizację źródeł emisji.

Zastosowanie dwóch niezależnie działających torów odbiorczych (wykrywania i analizy) o różnych charakterystykach zapewnia stacji z jednej strony dużą szybkość wykrywania nowych źródeł sygnałów radiolokacyjnych, z drugiej precyzyjny pomiar

wszystkich parametrów sygnałów. Daje to również w rezultacie większą niezawodność działania.

Tor wykrywania działa w oparciu o zestaw anten ułożonych w rogach sześciokąta foremnego zapewniających dookólne pokrycie w azymucie. W celu pokrycia całego pasma częstotliwości, tzn. 0,5÷18 GHz, zastosowano 5 takich zestawów anten. Każda z 30 anten zintegrowana jest z odbiornikiem mikrofalowym. Budowa urządzenia i zaimplementowany w nim sposób przetwarzania sygnałów zapewniają następujące parametry toru:

- zakres częstotliwości 0,5÷18 GHz,
- pokrycie w kierunku - dookólne,
- czułość głowic odbiorczych -40÷-50 dBm,
- błąd pomiaru kierunku (metodą amplitudową) – nie większy niż 10° RMS,
- pokrycie w elewacji -15°÷30°.

Tor analizy cechują duża czułość i duża dokładność pomiaru parametrów sygnałów. Zastosowanie interferometrycznej metody pomiaru kierunku z precyzyjną kalibracją torów pomiarowych zapewniło uzyskanie wysokiej dokładności pomiaru także tego parametru, co ma zasadnicze znaczenie dla dokładnej lokalizacji źródła emisji. Anteny odbiorcze toru analizy zamocowane są na maszcie antenowym wraz z blokiem odbiorników mikrofalowych. Precyzyjny silnik hydrauliczny o dużej mocy umożliwia dokładne pozycjonowanie anten zarówno w azymucie, jak i w elewacji. Umożliwia on także płynny obrót systemu antenowego z prędkościami roboczymi od 0,75°/s. Zastosowanie złącza obrotowego umożliwia pełny obrót anten wokół osi.



Rys. 6.1. Wnętrze kabiny operacyjnej systemu MUR-20

W torze analizy pomiar parametrów sygnałów może się odbywać w pasmie 500 MHz lub 40 MHz. W kanale szerokopasmowym zastosowano akustooptyczny analizator widma AAW. Podstawą

jego działania jest efekt Bragg'a polegający na ugięciu promienia laserowego przy przejściu przez modulator pobudzany sygnałem wejściowym. Kąt ugięcia jest proporcjonalny do częstotliwości sygnału wejściowego. Promień lasera pada na kamerę wyposażoną w linijkę CCD, skąd odczytuje się dane w postaci cyfrowej. Czas pojedynczej analizy wynosi ok. 13 μ s. Analizator AAW charakteryzuje się dużą czułością w szerokim pasmie analizy, wynoszącą ok. -90 dBm. W wyniku zastosowania AAW osiągnięto dokładność pomiaru częstotliwości lepszą od 1 MHz.



Rys. 6.2. Antena systemu MUR-20

W kanale wąskopasmowym 40 MHz zastosowano kompresyjny analizator widma KAW, w którym do pomiaru częstotliwości wykorzystuje się system linii opóźniających. W przypadku KAW pojedynczy pomiar trwa 2,5 μ s, co pozwala na wykorzystanie go do wewnątrzimpulsowej analizy sygnałów. Należy dodać, że zastosowane w urządzeniu analizatory widma pozwalają na jednoczesne przetwarzanie wielu odbieranych sygnałów. Poniżej zestawiono podstawowe parametry toru analizy:

- zakres częstotliwości 0,5÷18 GHz,
- pokrycie w kierunku w wybranym sektorze analizy,
- czułość głowic odbiorczych -57÷-90 dBm,

- interferometryczna metoda pomiaru kierunku zapewnia dokładność do 0,5° RMS,
- dokładność pomiaru częstotliwości – lepsza od 0,3 MHz (w pasmie 40 MHz).

Oprogramowanie zainstalowane w komputerach dwóch stanowisk operatorskich umożliwia realizację następujących funkcji:

- zobrazowanie i analizę sygnałów zarejestrowanych w torach odbiorczych,
- klasyfikację i identyfikację zarejestrowanych sygnałów, porównywanie wyników pomiarów z bazą danych,
- zobrazowanie wyników lokalizacji źródeł emisji na podstawie namiarów dokonanych przez system stacji,
- zobrazowanie informacji systemowej, komunikatów, depesz z systemu nadrzędnego.

Urządzenie wyposażone jest w symulator programowo-sprzętowy wykorzystywany do doskonalenia kwalifikacji załogi stacji.

W urządzeniu zainstalowane są środki łączności (2 radiostacje TRC9500, 3 modemy kablowe) umożliwiające pracę systemową w zestawie stacji oraz współpracę z systemem nadrzędnym, w tym przekazywanie komunikatów, depesz o sytuacji taktycznej, wyników namiarów i lokalizacji źródeł.



Rys. 6.3. System MUR-20 na pojeździe kołowym

Stacja wyposażona jest w szereg urządzeń pomocniczych, w tym klimatyzator, nagrzewnice, filtrowentylator, agregat prądowórczy, system łączności wewnętrznej, itp. Podstawowe parametry techniczne platformy, na której jest zainstalowana stacja:

- jazda z prędkością do 80 km/h,
- głębokość brodenia 1,2m,
- maks. kąt najazdu 30°,
- pokonywanie przeszkody: rów o szer. do 2 m, ścianka pionowa 0,4 m,
- max kąt przechyłu 10°,
- masa 29 ton.

Stacja MUR-20 jest pierwszym tej klasy urządzeniem zrealizowanym przez PIT oraz bazą dla opracowania całej rodziny urządzeń klasy ELINT/ESM o różnym przeznaczeniu, adresowanych do różnych rodzajów wojsk. Przy okazji tych prac powstało zaplecze projektowo-produkcyjno-technologiczne dla urządzeń rozpoznania. Krajowe rozwiązanie oznacza tańszą eksploatację, ułatwia współpracę oraz wymianę doświadczeń pomiędzy producentem i użytkownikiem.

6.2. System rozpoznania radioelektronicznego BREŃ-R

System rozpoznania radioelektronicznego BREŃ-R został opracowany w Oddziale Wrocławskim PIT w końcu lat 90. przy współpracy z firmą Mikrotech Int. Ltd. i stanowi ważne osiągnięcie Oddziału w dziedzinie konstrukcji urządzeń mikrofalowych. Badania państwowe wersji okrętowej zakończono w 1997 r. decyzją o podjęciu produkcji. BREŃ-R jest urządzeniem klasy RWR/ESM, którego podstawowymi funkcjami są:

- wykrywanie źródeł emisji radiolokacyjnej dookólnie i bez przeszukiwania,
- określenie parametrów technicznych źródeł emisji (amplituda, szerokość impulsu, częstotliwość, kąt),
- poprzez porównanie z bazą danych, określenie ewentualnego stopnia zagrożenia związanego ze źródłem emisji, aż do uruchomienia alarmu o źródłach groźnych,
- śledzenie obiektów, będących źródłami emisji, w czasie rzeczywistym.

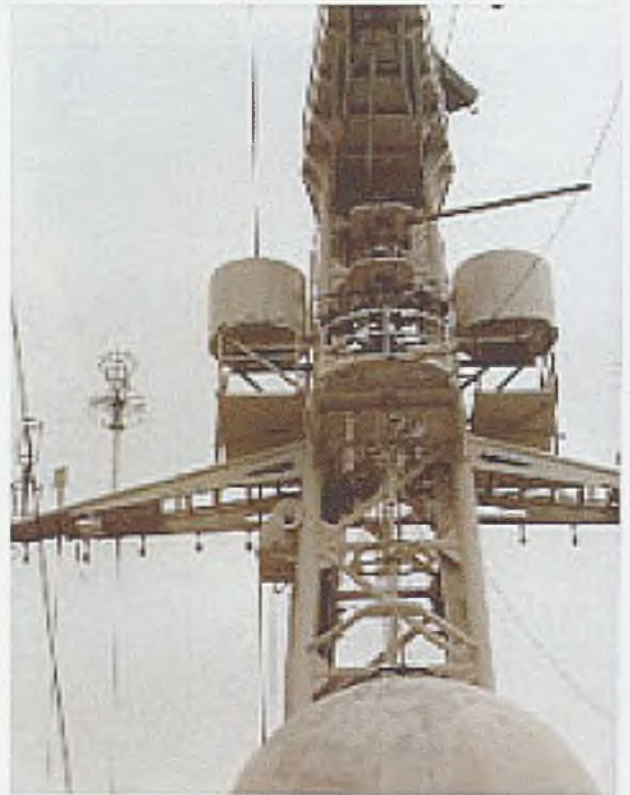
Istotnym elementem systemu jest wygodny dla obsługi blok wizualizacji obiektów i ich parametrów na ekranie monitora.

Podstawowe parametry techniczne urządzeń typu BREŃ-R to:

- wielooktawowe pasmo pracy od 1 GHz do 18 GHz (podzielone na 5 podpasma),
- czułość lepsza niż -40 dBm,
- dynamika większa niż 45 dB,

- dokładność określenia kierunku jest lepsza niż 15° RMS,
- dokładność określenia częstotliwości jest lepsza niż 1/16 podpasma,
- błąd określenia parametrów czasowych na poziomie 100 ns,
- odbieranie sygnałów o polaryzacji H, V i kołowej.

Urządzenia BREŃ-R wykonywane są zasadniczo w dwóch wariantach: z przeznaczeniem na okręty oraz do kontenerów rozpoznania SROKOSZ.



Rys. 6.4. Anteny urządzenia BREŃ-R

BREŃ-R „okrętowy” składa się z dwóch mikrofalowych zespołów antenowo-odbiorczych prawej i lewej półprzestrzeni, umieszczonych w dwóch rozdzielnych kopułach, oraz bloku obróbki i zobrażenia. Konstrukcja dwukopułowa jest spowodowana możliwościami instalacji systemu na okręcie. Kopuły zainstalowane są na maszcie symetrycznie względem osi głównej okrętu a blok obróbki i zobrażenia znajduje się w części podpokładowej. BREŃ-R do kontenera SROKOSZ wykonany jest w postaci pojedynczej kopuły, gdzie zintegrowano tory antenowo-odbiorcze prawej i lewej półprzestrzeni. Blok obróbki i zobrażenia pozostaje niezmienny. Kopuła zainstalowana jest na wysięgniku ponad kontenerem, a blok zobrażenia wewnątrz kontenera. Funkcje urządzeń, podstawowe parametry oraz niezbędne oprogramowanie są identyczne.

Kolejnym etapem rozwoju systemów rodziny BREŃ-R było jego zastosowanie jako Bloku Toru

Wykrywania (BTW) stacji rozpoznania MUR-20 typu ELINT. BTW jest zmodyfikowaną konstrukcją BRENIA-R o poszerzonym pasmie pracy od 0,5 GHz do 18 GHz, zwiększonej czułości do poziomu -45dBm oraz rozbudowanych możliwościach współpracy z innymi urządzeniami w ramach stacji BREŃ-2. BTW zgrubnie określa położenie źródła promieniowania, przekazuje te informacje do toru analizy, gdzie następuje dokładne przeszukiwanie wstępnie określonego sektora przestrzeni, w celu precyzyjniejszego namiaru na źródło. Istotnym elementem osiągniętego sukcesu było wykorzystanie wcześniejszych, wieloletnich doświadczeń i koncepcji opracowanych w IR WAT. Do roku 2002 wykonano 8 egzemplarzy tego urządzenia, w tym 4 jako tzw. Blok Toru Wykrywania do stacji rozpoznania radarowego klasy ELINT o kryptonimie BREŃ-2. Stacje te mają również na swoim wyposażeniu w Bloku Odbiorników Mikrofalowych skonstruowane i wyprodukowane w OW PIT zestawy pakietów składające się z dwóch typów heterodyn, zespołu obwodów wyjściowych oraz generatora sygnałów wzorcowych.

Parametry urządzenia BREŃ-R nie odbiegały od podobnych urządzeń produkowanych w owym czasie przez znane firmy zagraniczne. Pozytywne opinie od użytkowników na temat walorów taktyczno-technicznych urządzenia, prostoty obsługi, małej awaryjności i dobrze zorganizowanego serwisu potwierdziły, że w zakresie tej klasy urządzeń OW PIT oraz współpracujące z nim instytucje odniosły sukces techniczny i organizacyjny. Z tego też, między innymi, powodu OW PIT podjął prace rozwojowe i unowocześniające konstrukcję tego urządzenia, wychodząc naprzeciw nowym wymaganiom stawianym przez odbiorców i wykorzystując powstałe nowe możliwości w zakresie techniki i technologii. Stało się to swego rodzaju specjalnością OW PIT.

6.3. Kontener rozpoznania elektronicznego SROKOSZ

Kontener Rozpoznania Elektronicznego SROKOSZ jest przeznaczony do wykrywania i rozpoznawania sygnałów w szerokim zakresie fal elektromagnetycznych odbieranych od źródeł emisji (ZE) umieszczonych na lądzie (urządzenia stacjonarne i mobilne), wodzie (okręty) i w powietrzu (samoloty). Umożliwia on wykrywanie i rozpoznawanie sygnałów generowanych przez urządzenia elektroniczne w zakresie częstotliwości radiowych UKF oraz mikrofal, takich jak radiostacje o różnym przeznaczeniu i systemy radiolokacyjne. Wyposażony jest także w system wykrywania i rozpoznawania termalnego przeznaczony do otrzymywania obrazu nosiciela ZE w podczerwieni.

Kontener może być zainstalowany na odpowiednio przygotowanej jednostce pływającej lub na lądzie.

Zadania kontenera:

- wskazywanie okrętów i samolotów przeciwnika stanowiących największe zagrożenie,
- przegląd sytuacji elektronicznej wokół okrętu-nosiela lub punktu obserwacji brzegowej,
- poszukiwanie, przechwytywanie i analiza techniczna sygnałów z zakresu UKF, radiolokacyjnego, podczerwieni i wykorzystanie ich do optymalizacji biernych i czynnych zakłóceń elektronicznych oraz aktualizacji danych o wyposażeniu elektronicznym instalacji nadbrzeżnych, okrętów i samolotów innych państw.



Rys. 6.5. Przygotowany do pracy kontener na platformie transportowej



Rys. 6.6. Stanowiska operatorskie urz. SROKOSZ

Bazę konstrukcyjną stanowi adaptowany do potrzeb urządzenia typowy 20-to stopowy kontener. Wyposażono go w urządzenia umożliwia-

jące pracę i realizację zadań bojowych w dowolnych warunkach atmosferycznych (klimatyzator, nagrzewnica, wentylator, osuszacz powietrza).

Kontener składa się z czterech wyodrębnionych konstrukcyjnie stanowisk operatorskich: stanowiska rozpoznania radiolokacyjnego, stanowiska rozpoznania radiowego UKF, stanowiska rozpoznania termalnego i stanowiska dowódcy kontenera.

Stanowisko rozpoznania radiolokacyjnego jest przeznaczone do natychmiastowego wykrywania, analizy i namiaru sygnałów odbieranych od stacji radiolokacyjnych w całym otoczeniu oraz w szerokim pasmie częstotliwości. Stanowisko to umożliwia również identyfikację stacji radiolokacyjnych na podstawie porównania z danymi zgromadzonymi w bazie. Ponadto pełni ono funkcję ostrzegania (w czasie rzeczywistym) o zagrożeniu związanym z opromieniowaniem kontenera przez sygnały radiolokacyjne.

Zasadniczym zadaniem stanowiska rozpoznania radiowego zakresu UKF jest przechwytywanie i analiza sygnałów radiowych z tego zakresu oraz (w przypadku zainstalowania odpowiednich demodulatorów lub wprowadzenia odpowiednich algorytmów) dekodowanie odebranej informacji. Stanowisko to umożliwia również pomiar kierunku sygnałów odbieranych w zakresie UKF.

Stanowisko rozpoznania termalnego w zakresie podczerwieni jest przeznaczone do wykrywania i rejestracji charakterystycznych termogramów rozpoznawanych obiektów. Uzyskane zobrażenia są dołączane do zbioru informacji o obiekcie lub nosicielu zawartych w bazie danych.

Stanowisko dowódcy kontenera posiada dostęp do wszystkich danych oraz łączność z nadrzędnym stanowiskiem dowodzenia. Dowódca kontenera jako nadrzędny operator może zmieniać lub uzupełniać wszystkie dane znajdujące się w bazie danych. Na ich podstawie może aktualizować zadania rozpoznawcze, zmieniać kierunek głównego zainteresowania i decydować o metodach weryfikacji danych.

Na zewnątrz kontenera znajdują się: zestaw antenowo-odbiorczy urządzenia BREŃ-R, zespół antenowy systemu rozpoznania radiowego ADD-190, kamera termowizyjna Flir System, antena GPS, antena radiostacji UKF, która może być montowana na dachu kontenera lub na wyośnym maszcie. Do zasilania kontenera w warunkach braku sieci przemysłowej służy agregat prądowłóczy.

Na rys. 6.5 przedstawiającym kontener rozwinęty na platformie transportowej widoczne są elementy zewnętrzne wyposażenia - zestaw antenowo-odbiorczy urządzenia BREŃ-R wraz z mechanizmem podnoszącym, zespół antenowy sys-

temu rozpoznania radiowego ADD-190, kamera termowizyjna Flir System, antena GPS.

Na pierwszym planie rys. 6.6 widoczne jest wyposażenie stanowiska rozpoznania radiolokacyjnego (m.in. urządzenie BREŃ-R i zminiaturyzowany wskaźnik radiolokacyjny służący do współpracy z radarami okrętowymi, zainstalowany nad ekranem monitora stanowiska), w środku znajduje się stanowisko rozpoznania radiowego UKF z widocznym odbiornikiem, namiernikiem radiowym i analizatorem widma, nad ekranem monitora widoczny jest kasetowy rejestrator korespondencji, następnie stanowisko rozpoznania termalnego z monitorem do obserwacji obrazów w czasie rzeczywistym i stanowisko dowódcy kontenera z widocznym monitorem podsystemu dowodzenia.

Stanowiska operatorskie pracujące w oparciu o system operacyjny czasu rzeczywistego QNX z nakładką graficzną Photon zintegrowane są siecią komputerową LAN Ethernet, pracującą w oparciu o koncentrator HUB.

Zarówno sprzęt jak i oprogramowanie mają budowę modułową, która umożliwi łatwą konfigurację i uwzględnienie zarówno postępu technicznego i technologicznego, jak i bieżących potrzeb zamawiającego.

6.4. Modułowy system rozpoznania radioelektronicznego LEMUR-10

Rozwój systemów rozpoznania radiolokacyjnego, opartych na odbiornikach bezpośredniej detekcji doprowadził do opracowania w OW PIT modułowego, małowagowego urządzenia RWR/ESM nowej generacji o nazwie LEMUR-10, przeznaczonego do zastosowań na różnych platformach. System przeznaczony jest do wykorzystania na współczesnym polu walki WRE.

Odbiorniki ostrzegające przed promieniowaniem radarowym (RWR) i środki wsparcia elektronicznego (ESM) odgrywają bardzo ważną rolę we współczesnych działaniach sił zbrojnych w czasie pokoju i konfliktu. Można przewidywać, że w przyszłości będzie wzrastało znaczenie tego rodzaju systemów. LEMUR-10 może być zamontowany na wszelkiego rodzaju platformach powietrznych, morskich i lądowych tworząc bardzo ważny element rozpoznania elektronicznego środowiska nowoczesnej walki.

System monitoruje i identyfikuje emisje promieniowania radarowego i wypracowuje dane niezbędne do całościowego zdefiniowania taktycznej sytuacji powietrznej i lądowej. Dzięki temu, że monitorowanie może być przeprowadzane z ukrycia, tj. z platformy ESM pozostającej poza

zasięgiem radaru przeciwnika, LEMUR-10 posiada walor doskonałego sensora walki elektronicznej.

Współczesne środowisko elektromagnetyczne charakteryzuje się niezwykle dużą gęstością i złożonością. Wynika to z faktu, że w stosowanych obecnie nadajnikach mikrofalowych wykorzystywane są różnego rodzaju przebiegi falowe, zmienność (agility) fazy i częstotliwości, modulacje częstotliwości powtarzania impulsu. Urządzenie ESM w tych warunkach, we współpracy z samolotem, okrętem lub pojazdem, powinno w sposób niezawodny wykonywać następujące zadania:

- **System ochrony własnej.**
Powinien on bezpośrednio ostrzegać o zagrożeniu, szybko identyfikować środowisko elektromagnetyczne i wysłać dane do systemu, zwłaszcza dane dotyczące systemów kierowanie ogniem, oświetlenia pocisku raketowego i aktywnych poszukiwaczy pocisków rakiety.
- **System oceny sytuacji.**
Pozwala ona na zobrazowanie sytuacji elektromagnetycznej w różnych formach.
- **System zbioru danych walki elektronicznej (EW).**
Ten system w sposób ciągły zbiera, analizuje i przechowuje dane nowych emiterów w celu aktualizowania bazy danych zawierających dane taktyczne i techniczne przechwyconych sygnałów.

Urządzenie składa się z 6 pakietów odbiorczych rozstawionych symetrycznie na bocznych ścianach graniastosłupa o podstawie sześciokąta foremnego. Każdy z pakietów odbiorczych posiada własną antenę spiralną, zamocowaną na nim. Pakiety odbiorcze służą do odbioru sygnałów z otaczającej przestrzeni oraz do określania kierunku opromieniania metodą monoimpulsu amplitudowego.

Na głównej przekątnej graniastosłupa znajduje się płyta nośna, na której po jednej stronie jest zamocowany pakiet częstotliwości, a po jego drugiej stronie umieszczono generator sygnałów wzorcowych. Dla pakietu częstotliwości przewidziano oddzielną antenę dookólną – dwustożkową lub hemisferyczną spiralną, umieszczoną bezpośrednio nad graniastosłupem. Układy zasilające są rozmieszczone na bocznych ścianach graniastosłupa, poniżej pakietów odbiorczych. Całość tworzy blok antenowo-odbiorczy BAO.



Rys. 6.7. Antena i przedwzmacniacz urządzenia LEMUR-10 umieszczone na końcach skrzydeł samolotu



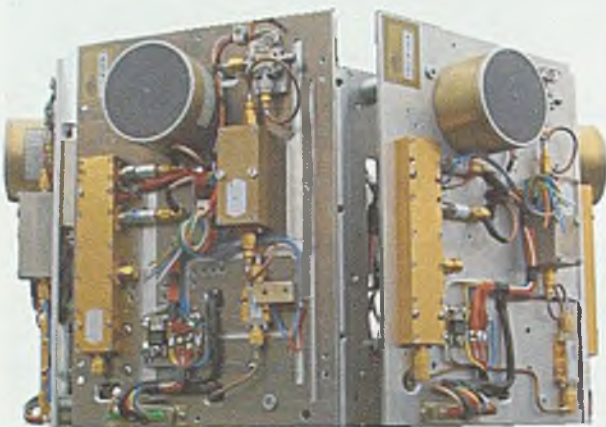
Rys. 6.8. LEMUR-10 zainstalowany na pojeździe rozpoznania elektronicznego



Rys. 6.9. Antena i odbiornik urządzenia LEMUR-10 zainstalowane na wierzchołku masztu okrętu



Rys. 6.10. Dwukopułowa wersja urządzenia LEMUR-10 zainstalowana na maszcie cichego radaru FMCW



Rys. 6.11. Anteny kierunkowe wraz z odbiornikami (bez obudowy)



Rys. 6.12. System cyfrowej obróbki sygnału z monitorem LCD

Ważnym elementem LEMUR-a jest układ filtrów, umożliwiający eliminację sygnałów zakłócających zarówno pochodzących od innych użytkowników tego zakresu częstotliwości, jak i urządzeń celowo zakłócających.

Kolejnym ważnym blokiem urządzenia jest pakiet częstotliwości, służący do pomiaru częstotliwości odbieranych sygnałów impulsowych lub ciągłych. Stanowi on w wykonaniu LEMURA-10, samodzielny pakiet, a przyporządkowanie informacji o kierunku z pakietu odbiorczego następuje dopiero w zespole obróbki informacji. W wykonaniu na samolot lub helikopter, sygnał dla pakietu częstotliwości jest pobierany z dzielnika mocy. Pakiet częstotliwości pobiera sygnały z anteny dookólnej. Zasadniczym zespołem pakietu jest układ natychmiastowego pomiaru częstotliwości firmy Filtronic pracujący w zakresie częstotliwości od 2 do 18 GHz i posiadający zakres dynamiki -50 dBm do $+10 \text{ dBm}$. Odebrane sygnały na p.c.z są podawane obróbce w bloku cyfrowego przetwarzania sygnałów. Blok ten umieszczony jest w kabinie nosiciela, którego płytę czołową stanowi kolorowy ciekłokrystaliczny monitor LCD.

6.5. Urządzenia przeznaczone do systemów rozpoznania radioelektronicznego

Prace badawcze obejmujące problematykę rozpoznania radioelektronicznego dotyczą badań nad metodami odbioru, przetwarzania i rozpoznawania emisji radarowych i radiokomunikacyjnych w pasmie mikrofalowym i prowadzone są od wielu lat w Instytucie Radiolokacji Wojskowej Akademii Technicznej (WAT). W ich efekcie w ostatnim okresie opracowano szereg radioelektronicznych urządzeń i pakietów programowych dla Sił Zbrojnych RP. Najważniejszym z nich jest mikrofalowy odbiornik rozpoznania radioelektronicznego o nazwie MIZAR (rys. 6.13), umożliwiający odbiór i demodulację emisji radarowych oraz radiowych w zakresie częstotliwości od 500MHz do 18GHz. Jest to sterowany mikroprocesorowo odbiornik superheterodynowy z szybkim przestrajaniem w częstotliwości. Spełnia on bardzo ostre wymagania techniczne stawiane urządzeniom tej klasy, a wynikające ze złożonej struktury współczesnych emisji telekomunikacyjnych. Jego podstawowe walory techniczne, eksploatacyjne i ekonomiczne to nowoczesne rozwiązanie techniczne oparte na najnowszej technologii mikrofalowej, procesorach sygnałowych oraz technice mikroprocesorowej, przyjazny interfejs graficzny użytkownika, autonomiczny system kontroli funkcjonowania (BITE) oraz elastyczne zasilanie. To wszystko nadało odbiornikowi walorów techniczno-eksploatacyjnych, które spowodowały duże zainteresowanie ze strony specjalistów wojskowych i cywilnych.



Rys. 6.13. Mikrofalowy odbiornik rozpoznania radioelektronicznego MIZAR
Statuetka MSPO - DEFENDER

Odbiornik ten był wystawiany w Waszyngtonie na targach TECHNET'98 oraz na Salonie Przemysłu Obronnego w Kielcach, gdzie spotkał się z dużym zainteresowaniem specjalistów. Rada Programowa VI Międzynarodowego Salonu Przemysłu Obronnego przyznała odbiornikowi rozpoznania radioelektronicznego MIZAR prestiżową nagrodę DEFENDER'98, za oryginalne rozwiązania techniczne i wyróżniające się walory eksploatacyjne wyrobów dla wojska i służb policyjnych, służących obronności i bezpieczeństwu państwa.

Równolegle rozwijane są w IR WAT prace nad modernizacją odbiornika akustooptycznego, który został zastosowany w urządzeniu rozpoznania radioelektronicznego MUR-20. Obecnie koncentrują się one na optymalizacji metod i procedur przetwarzania sygnałów uzyskiwanych z tego odbiornika. Opracowane algorytmy przetwarzania sygnałów z OAO umożliwiają natychmiastową estymację w czasie rzeczywistym częstotliwości i parametrów czasowych sygnałów w pasmie obserwacji 500 MHz, z dynamiką 20 dB i rozdzielczością w częstotliwości 1 MHz.

Ostatnio opracowano zautomatyzowany zestaw pomiarowo-analizujący przeznaczony do pomiarów parametrów sygnałów radarowych, przetwarzania i klasyfikacji sygnałów oraz identyfikacji źródeł emisji. Zestaw, oprócz odbiornika MIZAR, może współpracować z innymi nowoczesnymi odbiornikami, takimi jak SIRS i THORN. Istotnymi elementami zestawu są specjalizowane karty pomiarowe (współpracujące z odbiornikiem akustooptycznym oraz demodulatorami FM i AM). Umożliwiają one pomiar i filtrację wykrywanych sygnałów radarowych. Opracowane oprogramowanie, zainstalowane w komputerze klasy PC, realizuje procedury rozpoznawania emisji, rejestracji sygnałów i archiwizacji danych rozpoznawczych, a także ich zobrazowania. Zautomatyzowany zestaw pomiarowo-analizujący jest aktualnie unikalnym narzędziem badawczym w Siłach Zbrojnych RP. Zestaw powstał w oparciu o nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne, przy wykorzystaniu między innymi układów programalnych. Zautomatyzowany zestaw pomiarowo-analizujący umożliwia prowadzenie badań zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak również w warunkach poligonowych. Instalowany na pojeździe kołowym lub na okrętach, był wielokrotnie stosowany w czasie ćwiczeń i treningów. Praktyczne wykorzystanie zestawu przez pracowników Instytutu Radiolokacji zapewniło gruntowne poznanie właściwości emisji kilkudziesięciu typów radarów, w tym radarów 3D z elektronicznym skanowaniem przestrzeni oraz radarów generujących sygnały w bardzo szerokim pasmie. Wykorzystanie zestawu umożliwiło przebadanie wpływu zjawiska wielodrogowości sygnałów na charakterystyki procesu ich rozpoznawania.

7. ZESTAWY ARTYLERYJSKIE DLA OBRONY PRZECIWLOTNICZEJ

Zbigniew Czekala

W nowoczesnych zestawach artyleryjskich, zarówno jeśli chodzi o artylerię lufową jak i rakiętową, jednym z podstawowych źródeł informacji, dzięki której możliwe jest skuteczne prowadzenie ognia, jest radar. Żeby skutecznie przeciwdziałać środkom napadu powietrznego takim jak rakiety, samoloty czy śmigłowce bojowe, konieczne jest ich wykrycie, wstępny pomiar współrzędnych i parametrów ruchu oraz rozpoznanie „swoj-oby”, a następnie wskazanie poszczególnych celów do zniszczenia przez określone stanowiska ogniowe. Podstawowym wyposażeniem każdego stanowiska ogniowego jest radar śledzący, którego zadaniem jest przechwycenie i automatyczne śledzenie wskazanego celu. Należy zaznaczyć, że nie zawsze stanowiska ogniowe wyposażone są w radar śledzący – często śledzenie jest realizowane metodami termowizyjnymi lub optycznymi. Metody optyczne są w sposób istotny zależne od stanu pogody (widzialność optyczna), natomiast metody termowizyjne znacznie ograniczają zasięg śledzenia obiektów. Radar śledzący pozwala skutecznie wyeliminować te niedogodności. Poniżej zostaną omówione dwa systemy: optyczny BLEND A i mikrofalowy LOARA. Oba systemy zrealizowane w WZR-RAWAR pozwalają na kierowanie ogniem artylerii.

dowodzenia wyższego szczebla. Do wykrywania i śledzenia wskazanych celów zastosowano głowicę sensorów optoelektronicznych (kamera FLIR, kamera TV, dalmierz laserowy) z napędami zapewniającymi nieograniczony ruch w azymucie i szeroki zakres kątowny ruchu w elewacji. Opcjonalnie głowica może być wyposażona w urządzenie identyfikacji „swoj-oby” (IFF). W kabinie są urządzone dwa stanowiska robocze, z których jedno zobrazowuje sytuację powietrzną, a drugie służy do obsługi głowicy śledzącej. Wóz dowodzenia ma niezbędne środki łączności, zapewniające komunikację głosową i transmisję danych.



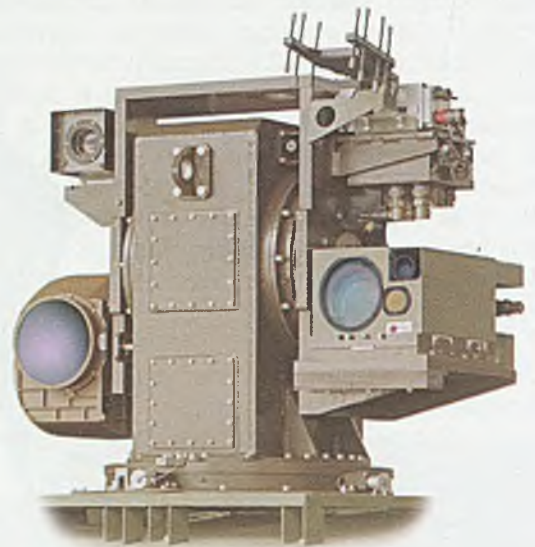
7.1. Przeciwlotniczy zestaw artyleryjski BLEND A

Przeciwlotniczy zestaw artyleryjski BLEND A jest przeznaczony do zwalczania celów powietrznych na małych wysokościach oraz lekko opancerzonych celów naziemnych i nawodnych.

Dzięki zastosowaniu nowoczesnych pasywnych sensorów optycznych możliwe jest odpowiednio wczesne wykrywanie środków ataku powietrznego, a wspomagane komputerowo kierowanie armatami zwiększa skuteczność zwalczania celów przy jednocześnie znacznym ograniczeniu zużywanej amunicji. Zastosowanie pasywnych sensorów optycznych do wykrywania celów zapewnia niską wykrywalność zestawu przez przeciwnika i daje przewagę w działaniach operacyjnych wynikającą z efektu zaskoczenia.

Dwa główne elementy funkcjonalne zestawu BLEND A to wóz dowodzenia i bateria 4 armat. W skład zestawu wchodzi ponadto agregat prądowłórczy, specjalna luneta obserwacyjna.

Wóz dowodzenia wyposażony jest w aparaturę zapewniającą wykrywanie i śledzenie celów, kierowanie armatami oraz współpracę ze stanowiskiem



Rys. 7.1. Wóz dowodzenia i głowica śledząca zestawu BLEND A

W podstawowym trybie pracy wóz dowodzenia otrzymuje informacje o sytuacji powietrznej z nadzrędnego stanowiska dowodzenia lub bezpośrednio z radaru obserwacyjnego. Na monitorze dowódcy, w formie typowego zobrazowania P, pokazane są trasy celów przekazane z radaru, a dodatkowo wyświetlona jest lista celów wskazanych z wyższego szczebla dowodzenia.

W przypadku braku informacji radiolokacyjnej zestaw BLEND A może samodzielnie wykrywać cele i mierzyć ich współrzędne kątowe, wykorzystując specjalną lunetę sprzężoną z aparaturą wozu dowodzenia.

Po wskazaniu celu do zniszczenia głowica śledząca automatycznie naprowadza się na azymut celu, a operator przeprowadza poszukiwanie celu wybranym typem kamery, zależnie od warunków widzialności. Po wykryciu celu w polu widzenia kamery operator włącza automatyczne śledzenie celu i kierowanie armat. Ostateczne nakierowanie armat na tzw. punkt wyprzedzony następuje w momencie, kiedy znana jest dokładna odległość celu zmierzona dalmierzem laserowym.

W skład zestawu wchodzi typowo cztery armaty kal. 57 mm, znane jako S-60. Dla potrzeb systemu armaty są wyposażane w nowoczesne tranzystorowe układy zasilania napędów oraz komputerowe sterowniki umożliwiające ich sterowanie z wozu dowodzenia za pośrednictwem cyfrowych linii transmisji danych. Każda z armat sterowana jest niezależnie i indywidualnie kierowana na cel, z dokładnym uwzględnieniem jej usytuowania w terenie, co ma istotny wpływ na skuteczność ognia całej baterii. Pozostawiono także możliwość ręcznego kierowania armatami jako ich niezbywalną właściwość.

Specjalna luneta obserwacyjna umożliwia obserwację przestrzeni powietrznej wokół stanowiska ogniowego i może być wykorzystywana do wyszukiwania celów i ich śledzenia w trybie pracy autonomicznej zestawu, bez wcześniejszego wskazania celu. Współrzędne kątowe celu, po przetworzeniu na postać cyfrową, przesyłane są łączem transmisji danych do wozu dowodzenia, stanowiąc dane wejściowe do podjęcia śledzenia celu przez głowicę sensorów optycznych.

Zestaw BLEND A jest zasilany z agregatu prądowtórczego zamontowanego na podwoziu jednoosiowej przyczepy holowanej przez wóz dowodzenia.

Badania państwowe urządzenia BLEND A przeprowadzono w roku 1997. Opracowanie zestawu BLEND A przez RADWAR było znaczącym wydarzeniem dla tego przedsiębiorstwa, gdyż było to podjęcie się zadania, w którym problemy techniczne związane z kierowaniem uzbrojeniem, dość znacznie odbiegały od tych, które kadra inżynierska rozwiązywała od kilku dziesięcioleci. Ich roz-

wiązanie było z jednej strony optymistycznym sygnałem o zdolności firmy do funkcjonowania w nowych uwarunkowaniach ekonomicznych, a z drugiej strony było cennym „ćwiczeniem” przed większymi wyzwaniami oczekiwanymi w projekcie LOARA.



Rys. 7.2. Stanowiska operacyjne w kabinie zestawu BLEND A



Rys. 7.3. Okno śledzenia kamery TV i FLIR

7.2. Przeciwlotniczy zestaw artyleryjski LOARA

Urządzenie LOARA zostało opracowane w ramach programu rządowego „Nowoczesne technologie dla potrzeb rozwoju OPL wojsk i obiektów”, który zaczął funkcjonować na początku lat 90. RADWAR został wybrany jako główny wykonawca projektu LOARA.

Zintegrowany przeciwlotniczy zestaw artyleryjski LOARA jest przeznaczony do niszczenia środków

napadu powietrznego (samoloty, śmigłowce, rakiety skrzydlate) działających na bardzo małych, małych i średnich wysokościach. Może również niszczyć lekko opancerzone pojazdy lądowe oraz cele nawodne.



Rys. 7.4. Przeciwlotniczy zestaw artyleryjski LOARA



Rys. 7.5. Głowica śledząca PZA LOARA

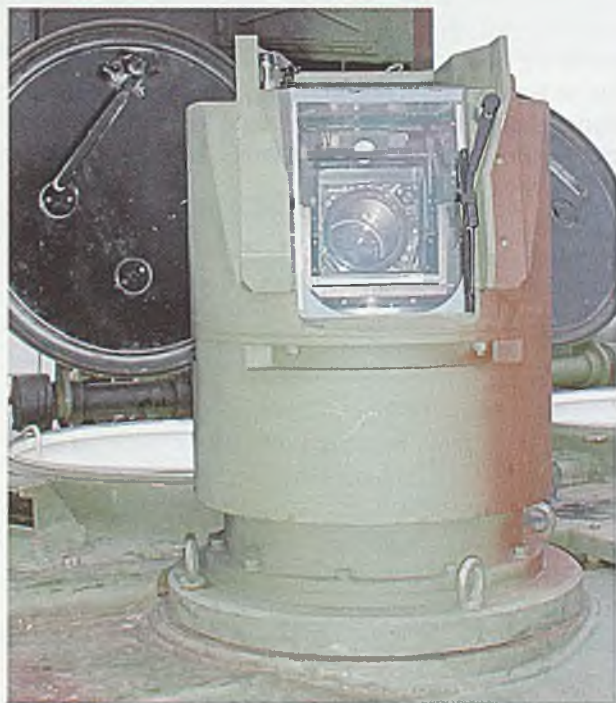
Urządzenie jest zmontowane na zmodernizowanym podwoziu czołgu T-72. Opancerzona wieża obrotowa jest wyposażona w nowoczesne sensory pozwalające na wykrywanie i przechwytywanie celów powietrznych poruszających się z prędkością do 500 m/s. Pracujący w czasie ruchu pojazdu trójwspółrzędny radar obserwacyjny zapewnia dokładną lokalizację celów powietrznych oraz ich identyfikację „swój-obcy”, odnawiając dostarczaną informację co sekundę. W połączeniu z dynamicznymi napędami wieży i armat oraz głowicy śledzącej pozwala to uzyskać całkowity czas reakcji systemu poniżej 10 sekund.

Zintegrowany optoelektroniczny system śledzenia celu tworzą:

- radar śledzący o wysokiej dokładności pomiaru kątów i odległości,
- kamera termalna o wysokiej czułości,
- kamera TV,
- system automatycznego śledzenia optycznego (wideotraker) wykorzystujący sygnały z obu kamer,
- dalmierz laserowy o wysokiej częstotliwości powtarzania impulsów,

Procesy wykrywania, przechwytywania i śledzenia celu oraz kierowania ogniem armat przebiegają pod kontrolą komputera pokładowego, który przeprowadza niezbędne obliczenia balistyczne i naprowadza ogień na punkt wyprzedzony.

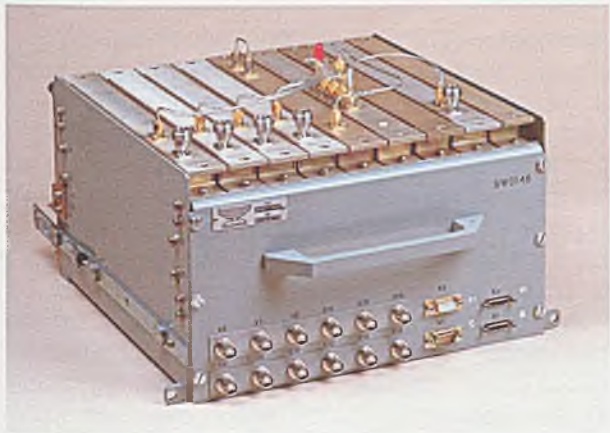
W pełni zautomatyzowane funkcje dowodzenia i kierowania uzbrojeniem umożliwiają wykorzystanie zarówno danych o celach pozyskanych przez własne sensory, jak również przekazanych drogą radiową z wyższych szczebli dowodzenia i z sąsiednich jednostek. Wykorzystanie zewnętrznego wskazywania celów daje możliwość ich przechwytywania bez promieniowania energii z radaru obserwacyjnego, a tym samym bez ujawniania własnej pozycji. Tego rodzaju skryte działanie sprzyja skuteczności walki i zdolności przetrwania zestawu.



Rys. 7.6. Peryskop dowódcy wozu PZA LOARA



Rys. 7.7. Stanowisko operatora w wieży PZA LOARA



Rys. 7.8. Blok wzbudzająco-odbiorczy z czterokanałowym odbiornikiem

Dwie armaty przeciwlotnicze kalibru 35mm zapewniają skuteczne niszczenie celów na odległościach do 5000 m. Różnorodność zastosowanych sensorów do kierowania ogniem (radar śledzący, kamera termalna, kamera TV, dalmierz laserowy) sprawia, że LOARA może prowadzić skuteczne działania w każdych warunkach pogodowych i o każdej porze doby.

Podwozie gąsienicowe zapewnia możliwość przemieszczania się w każdych warunkach terenowych. Podwozie jest wyposażone w nowoczesny system nawigacji inercyjnej z żyroskopami światłowodowymi, współpracujący z odbiornikiem nawigacji satelitarnej (GPS), dzięki czemu znane jest dokładne położenie pojazdu w terenie, niezbędne do współpracy z innymi jednostkami i automatyzacji procesu dowodzenia i kierowania obroną przeciwlotniczą.

W roku 2002 PZA LOARA przeszedł z wynikiem pozytywnym badania państwowe, a pierwszy egzemplarz produkcyjny jest przewidywany w 2004 roku.

Opracowanie tak złożonego systemu jak LOARA wymagało sprawnej współpracy wielu producentów krajowych i zagranicznych, którym powierzono wykonanie poszczególnych podsystemów.

Prezentując urządzenie LOARA przy okazji jubileuszu polskiej radiolokacji należy podkreślić wkład wszystkich instytucji uczestniczących w jego opracowaniu. Niżej wymieniono głównych podwykonawców RADWAR-u.

- Zakłady Mechaniczne BUMAR ŁABĘDY przeprowadziło adaptację i wykonało podwozie gąsienicowe bazujące na podwoziu czołgu T-72.
- Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Mechanicznych w Gliwicach jest wykonawcą wieży – nowo opracowanej według specyficznych wymagań urządzenia finalnego. Huta Stalowa Wola jest dostawcą armat 35mm produkowanych na licencji szwajcarskiego Oerlikona.
- Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Sprzętu Mechanicznego w Tarnowie opracował i wykonał system zasilania armat w amunicję.
- Ośrodek Badawczo-Rozwojowy i Zakłady Metalowe w Skarżysku Kamiennej mają zasługi w opracowaniu nowego rodzaju amunicji, o kalibrze i właściwościach dostosowanych do nowego typu armaty.
- Przemysłowe Centrum Optyki opracowało i wykonało ważne sensory głowicy śledzącej (kamerę TV i dalmierz laserowy) oraz peryskop.
- Firma FILBIKO wykonała oprogramowanie algorytmów przechwytywania i śledzenia celów przez radar śledzący oraz funkcji automatyzacji dowodzenia.
- Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia opracował program, zorganizował i przeprowadził kompleksowe badania państwowe całego urządzenia LOARA.

Poza wyżej wymienionymi bezpośrednimi uczestnikami projektu LOARA należy wspomnieć instytucje, których wkład, chociaż raczej niewymierny,

jest trudny do przecenienia. Są to Departament Polityki Zbrojeniowej MON, Komitet Badań Naukowych oraz Dowództwo Wojsk Lądowych.

W strukturze funkcjonalnej zestawu LOARA występują trzy ważne podsystemy pochodzące z importu:

- radar śledzący dostarczony przez szwedzką firmę Ericsson,
- kamera podczerwieni dostarczona przez francuską firmę Sagem
- precyzyjny system nawigacji dostarczony także przez firmę Sagem.

RADWAR, oprócz koordynowania całego projektu, montażu i integracji aparatury elektronicznej, opracował i wykonał jego istotne podsystemy zgodne z profilem przedsiębiorstwa, a mianowicie:

- trójwspółrzędny radar wykrywania i wskazywania celów, któremu poświęcono oddzielny punkt tej publikacji,
- stanowiska robocze załogi wieży,
- komputer pokładowy,
- system zasilania elektrycznego, a także opanował nowe obszary techniki, w których nie udało się znaleźć akceptowalnych warunków kooperacji:
- systemy napędu wieży, armat i głowicy śledzącej,
- silniki momentowe o wysokiej dynamice, przeznaczone do systemów napędowych dużej mocy,
- indukcyjny układ pomiaru prędkości wylotowej pocisku,
- systemy klimatyzacji do zastosowania w warunkach ekstremalnych.

8. INNE ZASTOSOWANIA RADARÓW I WSPÓŁPRACUJĄCE Z NIMI URZĄDZENIA

Edward Sędek, Jerzy Miłosz, Krzysztof Łoziński, Lech Szugajew

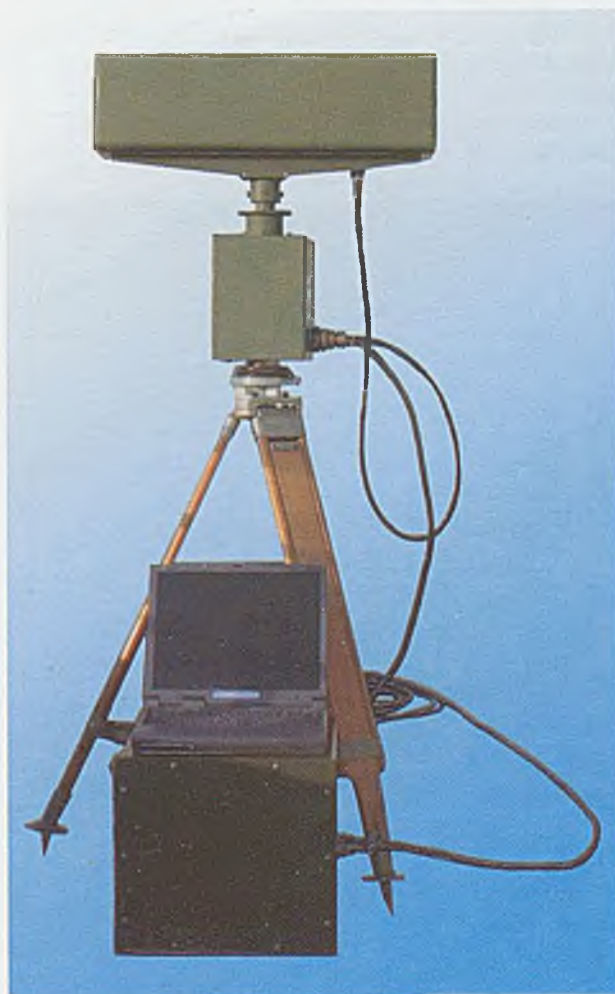
Szybki rozwój radiolokacji spowodował znaczne rozszerzenie asortymentu różnego typu mniejszych radarów spełniających określone funkcje, takich jak: przenośne radary pola walki, radary kontroli strefy lotniska, radary balistyczne, radary drogowe, radary geodezyjne itp. Równoległe z rozwojem dziedziny radiolokacji, powstały urządzenia bezpośrednio z nią związane, takie jak: interogatory krótkiego i średniego zasięgu, imitatory sygnałów radiolokacyjnych, nadajniki zakłóceń, mikrofalowe systemy alarmowe itp. Wymienione wyżej radary, pełnią coraz większą rolę na współczesnym polu walki, ze względu na ich rozproszenie w terenie i możliwość praktycznie ciągłej zmiany pozycji. Natomiast interogatory stosowane są w samolotach, czołgach, pojazdach opancerzonych oraz na okrętach. Z kolei nadajniki zakłóceń poprawnej pracy radaru stosowane są powszechnie na współczesnym polu walki, natomiast imitatory sygnałów radiolokacyjnych służą do szkolenia operatorów tych urządzeń. W niniejszym rozdziale przedstawiono krajowe osiągnięcia w tej dziedzinie zastosowań.

8.1. Radar pola walki RPW-10

W latach 2000÷2002 w OG PIT opracowano radar pola walki RPW-10. Urządzenie jest przenośnym lub mobilnym radarem średniego zasięgu, przeznaczonym do wykrywania, lokalizacji i klasyfikacji ruchomych celów naziemnych i nawodnych. Wykrywanie dotyczy takich celów naziemnych jak: pojedyncze osoby, grupy osób, pojazdy i inne poruszające się obiekty występujące na tle silnych odbić od otoczenia (roślinność, zabudowania). W roli brzegowej urządzenie może służyć do wykrywania jednostek pływających. Rozwiązanie konstrukcyjne zapewnia możliwość eksploatacji radaru w postaci przenośnej oraz przystosowanie do pracy na pojeździe mechanicznym lub stałym obiekcie lądowym. Radar zbudowany jest w postaci przenośnych modułów zapewniających możliwość pełnego rozwinięcia stanowiska radiolokacyjnego w dowolnym terenie, w krótkim czasie. Kompletny radar posiada odpowiednio małe gabaryty i masę nie przekraczającą 40 kg.

Radar pracuje na fali ciągłej z liniową modulacją częstotliwości w pasmie X., dzięki czemu zaliczany jest do rodziny radarów trudno wykrywalnych. Radar zbudowany jest z czterech modułów

funkcjonalnych łatwo rozłączalnych, z których każdy pełni określoną funkcję. Moduł nadawczo-odbiorczy składa się z pary anten tubowych współpracujących z głowicą mikrofalową. Do wejścia toru nadajnika zespołu doprowadzony jest zmodulowany w częstotliwości sygnał FMCW o pośredniej częstotliwości leżącej w pasmie $30 \pm 70\text{MHz}$, który podlega następnie przemianie i powielaniu do pasma X oraz wzmocnieniu do maksymalnego poziomu 1 W. Sygnały radiolokacyjne odebrane przez antenę odbiorczą podlegają w module nadawczo-odbiorczym wzmocnieniu, a następnie przemianie w mieszaczu kwadraturowym. Sygnały pośredniej częstotliwości poprzez moduł napędu sektorowego doprowadzane są do modułu cyfrowego przetwarzania sygnałów, a stamtąd do zespołu obróbki i zobrazowania.

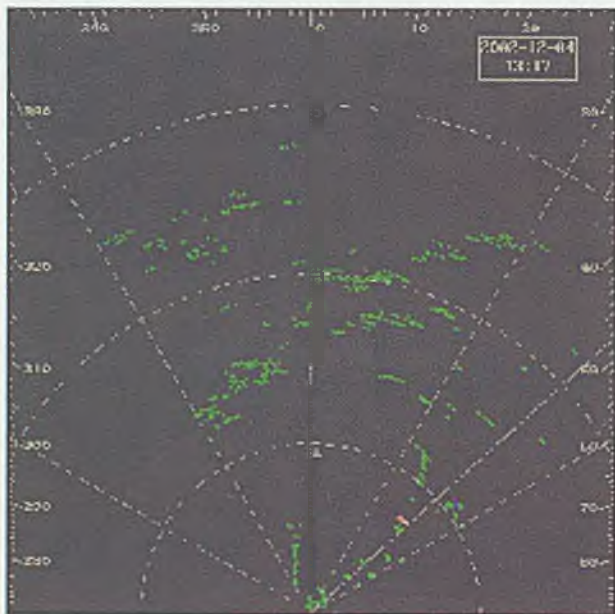


Rys. 8.1. Radar RPW-10 na trójnogu

Moduł nadawczo-odbiorczy wraz z układem napędu sektorowego są zamontowane na trójnogu zapewniającym wyniesienie anten na wysokość ok. 1,5 m lub w zależności od przeznaczenia radaru na odpowiednim maszcie, np. umieszczonym na pojeździe. Moduł napędu zapewnia sektorowy ruch anteny w azymucie z prędkościami kątowymi $7 \div 14^{\circ}/s$ oraz pozycjonowanie anten.

W opracowanej konstrukcji nie przewidziano zastosowania złącza obrotowego, tzn. wszystkie połączenia pomiędzy anteną a modułem nadawczo-odbiorczym są zrealizowane za pomocą linii kablowych. W module przetwarzania sygnałów następuje wzmocnienie odebranych ech radiolokacyjnych, zasięgowa regulacja wzmocnienia oraz cyfrowa synteza DDS paczek impulsów sondujących FMCW nadajnika w paśmie 30 | 70 MHz. Tutaj również następuje generacja częstotliwości wzorcowych oraz sygnałów synchronizujących pracę układów obróbki FFT (sygnały spustu i synchronizacji paczki).

Zobrazowanie sytuacji naziemnej (nawodnej) zrealizowane zostało na komputerze klasy „laptop”, wykonanym w odpowiedniej kategorii klimatycznej oraz z użyciem oprogramowania umożliwiającego zapewnienie funkcji operatorskich radaru.



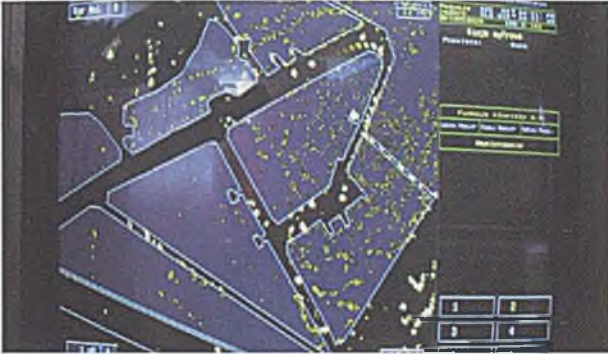
Rys. 8.2. Zobrazowanie pola walki

8.2. Radar do kontroli strefy lotniska ASC-10

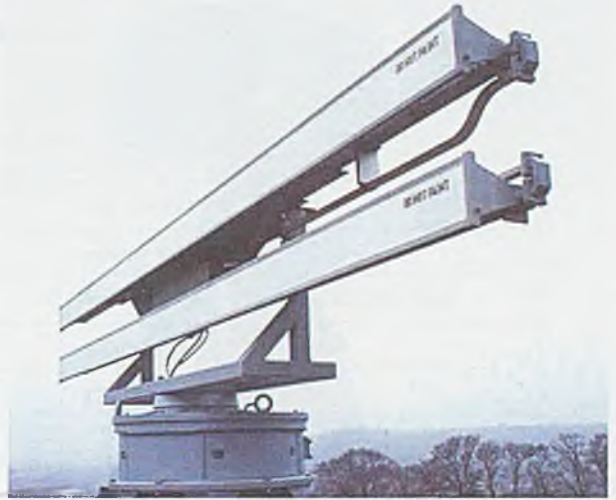
W celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu pojazdów i ludzi na płycie lotniska i w bezpośrednim jego sąsiedztwie w OG PIT opracowano radar ASC-10, pracujący na fali ciągłej z liniową modulacją częstotliwości. Radar przekazuje do wieży kontroli lotów informacje o stojących i poruszających się po płycie lotniska samolotach, pojazdach obsługi oraz ludziach. Mała moc promieniowana przez antenę radaru - około 1W - nie zagraża pasażerom ani obsłudze lotniska. W radarze zastosowano dwie anteny szczelinowe: nadawczą oraz odbiorczą umieszczone jedna nad drugą. Obie anteny charakteryzują się zyskiem energetycznym 33 dB i obracają się z prędkością 24 obr/min. Szerokości wiązki w obu antenach wynoszą odpowiednio $0,7^{\circ}$ w azymucie i 22° w elewacji. Zasięgi radaru, w zależności od ustawionego poziomu mocy nadawanej, wynoszą odpowiednio 1,5 i 3 km. Blok nadawczo-odbiorczy umieszczony jest bezpośrednio przy zespole antenowym, natomiast sterowanie pracą radaru i zobrazowanie na kolorowym monitorze rastrowym znajduje się na wieży kontroli lotów.



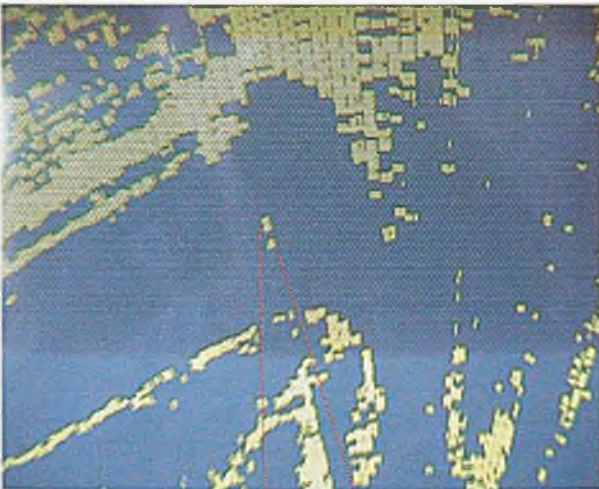
Rys. 8.3. Konsola operatora ASC-10



Rys. 8.4. Monitorowy obraz lotniska



Rys. 8.6. Antena radaru ASC-10



Rys. 8.5. Monitorowy obraz pojedynczych osób na płycie lotniska, widziany na stanowisku operatora radaru

8.3. Radary do pomiarów prędkości pocisków

Jednym z elementów zwiększenia skuteczności ognia, a tym samym zwiększenia prawdopodobieństwa zniszczenia wykrytego obiektu przeciwnika, jest znajomość prędkości początkowej wystrzelianych pocisków. Prędkość ta mieści się jedynie w pewnym przedziale z określonym prawdopodobieństwem. Powodem tego są różnice masy i składu ładunków prochowych w poszczególnych pociskach, w partiach pocisków, różny stopień zawilgocenia ładunków prochowych, fluktuacje temperatury otoczenia, niejednakowe masy pocisków, procesy starzeniowe, stopień zużycia lufy działa itp. Znając dokładną wartość prędkości początkowej pocisku z danej partii lub średnią wartość prędkości z serii strzałów można uwzględnić wybrane własności pocisku lub dokonać korekty nastaw celowniczych.

Mając powyższe na uwadze w WITU opracowano i uruchomiono produkcję dopplerowskiego radaru SONA do pomiaru prędkości wylotowej pocisków artyleryjskich (rys. 8.7). Radar SONA przystosowany został do bezpośredniego montowania na samobieżnej haubicy 2S1, co znacznie zwiększało jej celność. Niestety, radar ten, na skutek zaniechania produkcji haubic, nie został wprowadzony na wyposażenie wojska. Niemniej jednak zdobyte doświadczenie posłużyło WITU do skonstruowania uniwersalnej radiolokacyjnej stacji balistycznej RUBIN przydatnej dla armat wszystkich kalibrów, określającej prędkość wylotową pocisków z dokładnością 0,1%. Stacja balistyczna RUBIN weszła na wyposażenie wojsk artyleryjskich zwiększając istotnie dokładność strzelań.



Rys. 8.7. Ogólny widok podzespołów radaru SONA

Radiolokacyjna stacja balistyczna RUBIN przeznaczona jest do zastosowania w artylerii do pomiarów prędkości początkowej pocisku, sprowadzenia tej prędkości do warunków normalnych tabelarycznych i wypracowania poprawki sumarycznej, w zakresie prędkości 80 | 1800 m/s. Radar ten pozwala na odejście od metod klasycznych (strzelań porównawczych), dzięki natychmiastowemu wypracowaniu odchyłki sumarycznej prędkości początkowej pocisku, na podstawie której wprowadzane są poprawki nastaw do następnego strzału. Jedną z wielu możliwości jest pomiar prędkości początkowej pocisków wszystkich dział dywizjonu (baterii), podczas specjalnie organizowanych strzelań, w celu określenia różnic prędkości początkowej pocisków dział kierunkowych baterii w stosunku do dział kierunkowych. Funkcjonowanie radaru oparte jest na specjalizowanym mikroprocesorze i oprogramowaniu. Oprogramowanie zawarte w stałej pamięci można łatwo wymieniać, zmieniając (uaktualniając) w ten sposób jego możliwości stosownie do wymagań użytkownika. Współpracę z urządzeniami zewnętrznymi zapewnia łącznie szeregowo w standardzie RS-232.



Rys. 8.8. Radar do pomiaru prędkości początkowej pocisków RUBIN-1M podłączony do komputera

W ostatnich latach prowadzone były prace konstrukcyjne zmierzające do modernizacji wymienionego powyżej radaru. W wyniku tych prac powstał radar RUBIN-1M charakteryzujący się niewielkim ciężarem, autonomicznym źródłem zasilania, sterowaniem na odległość poprzez dwuprzewodową linię łączy RS232 (rys. 8.8, tabela 1).

W skład urządzenia wchodzi antena z wbudowaną w nią elektroniką, lekki statyw, detektor błysku, kątomierz zintegrowany z obudową radaru. Pomiar prędkości odbywa się w sposób automatyczny, przy czym łączy RS232 może być przesłana informacja o prędkości pocisku sprowadzonej do wylotu lufy lub dyskretne wartości tej prędkości z trajektorii ruchu tego pocisku do odległości 10000 kalibrów, lub dyskretny sygnał dopplerowski. Poprzez łączy RS232 radar może być podłączony do dowolnego komputera wyposażonego w oprogramowanie dostarczane razem z urządzeniem. Należy zaznaczyć, że urządzenie, po odpowiednim przystosowaniu, może być montowane bezpośrednio na dziale (haubicy) lub innym środku ogniowym, zwiększając w istotny sposób celność ognia.

Dane taktyczno-techniczne radaru RUBIN-M

Tabela 1

pomiar prędkości wylotowej dla kalibrów		- 4,5 mm do największych
zakres mierzonych prędkości		- 30 3000 m/s
zasięg pomiarowy		- więcej niż 10 000 kalibrów
dokładność pomiaru (3s)		- lepiej niż 0,3 m/s w całym zakresie
metoda pomiaru		- Dopplera
częstotliwość nadajnika		- Pasma X
moc nadajnika		- 100 mW
zysk anteny		- 28 dB
warunki pomiaru:	wilgotność	- <98%
	temperatura	- -30 +50°C
czas pomiaru		- 0,5 s
transmisja danych do komputera klasy PC		- RS232 (9,6 57,6 kbps)
czas pracy:	wewnętrzna bateria	- 4 h
	zewnętrzne zasilanie	- nieograniczony
obsługa		- 1 osoba

8.4. Interrogator krótkiego zasięgu IKZ-02

Dynamika współczesnego pola walki powoduje, że otwarcie ognia, szczególnie w przypadku broni raketowej, jest każdorazowo poprzedzane skomplikowanym procesem identyfikacji. Wykorzystywany w tym celu system identyfikacji radiolokacyjnej swój—obcy może być jednak stosowany tylko wtedy, gdy istnieje możliwość jego sprzęgnięcia z radarem. Wtedy śledzony obiekt może zostać rozpoznany i odpowiednio oznaczony na ekranie stacji radiolokacyjnej.

Dla środków ogniowych, które nie współpracują bezpośrednio z radarem, stosuje się w miarę możliwości autonomiczne środki identyfikacji, do których zalicza się przede wszystkim interrogator przenośny krótkiego zasięgu. Stąd też CNPEP RADWAR SA, we współpracy z Dowództwem Marynarki Wojennej i Komitetem Badań Naukowych, opracował i wdrożył w latach 2000-2002 przenośny interrogator krótkiego zasięgu, przeznaczony przede wszystkim do okrętowych środków obrony przeciwlotniczej, stosowanych w Marynarce Wojennej RP, jak i do ręcznych wyrzutni pocisków przeciwlotniczych, wchodzących w skład wyposażenia Wojsk Lądowych.

Uniwersalność przyjętych rozwiązań pozwala na prostą ich adaptację także do innych środków podobnej klasy i przeznaczenia, które są i będą użytkowane w Siłach Zbrojnych RP.

Interrogatory krótkiego zasięgu są przedmiotem produkcji znaczących firm światowych specjalizujących się w aparaturze IFF. Różnią się one zasadniczo wyłącznie parametrami mechanicznymi, tj. wymiarami i masą. Wynika to z zasady projektowania tych urządzeń pod konkretne środki ogniowe. Jego podstawowymi zaletami są:

- kilkukrotnie niższa cena od interrogatora stacjonarnego przy zachowaniu tych samych możliwości identyfikacji (oczywiście poza zasięgiem) – praca we wszystkich wymaganych modach,
- możliwość prowadzenia identyfikacji wszystkich obiektów znajdujących się w zasięgu obserwacji wzrokowej,
- możliwość łatwego i szybkiego przenoszenia interrogatora z jednego środka ogniowego na drugi,
- prostota obsługi,
- łatwość transportu.

Interrogator przenośny krótkiego zasięgu pozwala więc na:

- spełnienie standardów zachodnich, które nie pozwalają na wykorzystywanie ręcznych wyrzutni rakiet plot krótkiego zasięgu bez własnego systemu identyfikacji radiolokacyjnej swój-obcy,
- znaczne ograniczenie kosztów budowy systemu identyfikacji radiolokacyjnej przez rezygnację z montażu kosztownych interrogatorów stacjonarnych na mniejszych obiektach oraz możliwość przenoszenia interrogatora krótkiego zasięgu z jednego środka ogniowego na drugi,
- wprowadzenie systemu identyfikacji na obiekty nie wyposażone we własne radary,
- zwiększenie bezpieczeństwa działania przez dodanie jeszcze jednego poziomu identyfikacji.

Śmiało można powiedzieć, że IKZ-02 jest najbardziej „bezpośrednim” elementem systemu identyfikacji, ponieważ odbiorcą informacji przez niego dostarczanych jest przeważnie bezpośrednio operator. Korelacja koordynat obiektu z linią celowania zapewniona jest przez sprzężenie mechaniczne systemu antenowego IKZ-02 ze środkiem ogniowym lub aparaturą sterującą tym środkiem.

IKZ-02 jest często jedynym elementem aktywnym zestawu plot. Zasięg ograniczony do zasięgu widzialności optycznej operatora powoduje, że czasy reakcji stają się ekstremalnie małe. Skoncentrowany na celowaniu operator nie może więc być „dociążony” obsługą urządzenia zapytującego, a sposób przedstawiania wyniku identyfikacji musi być:

- szybki,
- pewny, tj. nie budzący żadnych wątpliwości,
- nie absorbujący operatora.

Jest to możliwe dzięki bogatemu bankowi interfejsów zewnętrznych, pozwalającemu na transmisję wyniku identyfikacji za pomocą:

- sygnalizacji optycznej,

- komunikatów słownych z podaniem odległości do odpowiadającego obiektu,
- złącza szeregowego RS422,
- wyjścia sygnałów blokady ognia (opcjonalnie).

IKZ-02 jest całkowicie polskim rozwiązaniem wpisującym się w rozwinięty w kraju na przestrzeni ostatnich kilku lat system SUPRAŚL – kompatybilny z wymogami NATO. Gama zastosowań IKZ-02 jest stosunkowo szeroka, gdyż oprócz wspomnianych aplikacji morskich może on być instalowany wszędzie tam, gdzie wymagana jest identyfikacja przed otwarciem ognia do celu.

Opracowany przez CNPEP RADWAR S.A. wspólnie z Dowództwem Marynarki Wojennej, w ramach projektu celowego dofinansowanego przez Komitetu Badań Naukowych, interrogator krótkiego zasięgu, spełnia wszystkie wymogi systemu SUPRAŚL, jak i IFF Mk XII, przeznaczony jest do pracy z systemami broni typu ziemia-powietrze i ziemia-ziemia. Dzięki małym rozmiarom i masie, możliwości pracy z wewnętrznymi akumulatorów i odpornej na uszkodzenia mechaniczne antenie, doskonale nadaje się do wyrzutni ręcznych klasy Man Portable Air Defence Systems (MANPADS) oraz innych wszelkiego typu systemów przeciwlotniczych krótkiego zasięgu, zarówno raketowych jak i lufowych. Dzięki wykonaniu w grupach M13-UZ-I-A i N14-UZ-I-A (wg WPN) interrogator ten eksploatowany może być na obiektach OPL wszystkich rodzajów wojsk, w tym Marynarce Wojennej.

Interrogator krótkiego zasięgu jest urządzeniem w pełni zautomatyzowanym i bezpiecznym dzięki zastosowaniu modułu pamięci przechowującego wszystkie dane potrzebne operatorowi do pracy zarówno w modach 1, 2, 3, jak i modzie 4 (lub narodowym modzie bezpiecznym).

Podstawowe parametry techniczne interrogatora krótkiego zasięgu zestawiono w poniższej tabeli:

Tabela 2

- zakres identyfikacji	10 km
- zasilanie	12V 38V DC, 8V 28V 40Hz 440Hz AC lub wewnętrzny akumulator
- pobór mocy ze źródeł zewnętrznych	= 15W
- czas pracy z wewnętrznego akumulatora	= 12h (przy 20 zapytaniach na godzinę)
- wymiary (interrogator)	190mm (dł.) x 170mm (szer.) x 90mm (wys.)
- masa (interrogator + antena + akumulator + moduł pamięci)	4,7kg

Sterowanie zapytaniem odbywać się może poprzez:

- kabel,
- zdalnie, drogą radiową,
- złącze szeregowe RS422.

Bezprzewodowe sterowanie zapytaniem jest ciekawym i w pewnym sensie nowatorskim rozwiązaniem wprowadzonym do IKZ. Pozwoliło to zainstalować przycisk wyzwalania zapytania na elementach ruchomych (rękojeściach) tak, aby operator nie musiał odrywać rąk, czy choćby palców od elementów sterowania systemem ogniowym. Generujące kodowany sygnał radiowy ploty nie wymagają żadnego zasilania, wykorzystując do generacji impulsów bwc. energię mechaniczną dostarczoną przez palec operatora, w momencie nacisku.

Pomimo małego zasięgu i mocy, wymagania stawiane antenie interrogatora krótkiego zasięgu są bardzo wysokie. Potęguje to specyfika instalacji, szczególnie na okrętach, z których każdy wyposażony jest w transponder. Ideą, jaka przyświecała konstruktorom, było uniezależnienie się interrogatora krótkiego zasięgu od innych urządzeń IFF na pokładzie okrętu. Chodzi tu głównie o eliminację odpowiedzi transpondera okrętowego na zapytanie własnego interrogatora krótkiego zasięgu. Udało się to dzięki unikalnej, chronionej patentem konstrukcji anteny.

Sercem IKZ-02 jest część cyfrowa, która została umieszczona na oddzielnym pakiecie o wymiarach 130mm x 80mm. Tak małe wymiary pakietu zajmującego się między innymi cyfrową obróbką sygnałów wizji, przychodzących z transpondera obiektu pytanego, możliwe były do uzyskania dzięki zastosowaniu wyspecjalizowanego procesora sygnałowego najnowszej generacji firmy Texas Instruments TMS320C6202.

Podsumowując należy stwierdzić, że IKZ jest urządzeniem systemowo elastycznym, a jego rozwiązanie techniczne bazujące na oprogramowaniu może znaleźć szerokie zastosowanie. Szczególnie ważne jest tu wyposażenie w nie wyrzutni GROM i innych instalacji w OPL Wład. i OPL WLOP.

8.5. Interrogatory średniego i dalekiego zasięgu

W 1991 roku CNPEP RADWAR SA został wyznaczony decyzją Ministerstwa Obrony Narodowej na głównego wykonawcę wszelkich prac związanych z realizacją tematu SUPRAŚL, celem którego było zapewnienie Siłom Zbrojnym RP kompatybilności z systemami identyfikacji „swój-obcy” użytkowanymi w państwach NATO, tzn. z systemami IFF Mark XA i Mark XII.

W 1993 roku nastąpiło podpisanie kontraktu licencyjnego z firmą Thomson CSF-CNI na produkcję w CNPEP RADWAR SA elementów systemu IFF. Rozpoczęto modernizację radarów naziemnych nadzoru (w tym stacje radiolokacyjne produkcji b. ZSRR), wyposażając je w zestawy urządzeń zapytujących z podstawowym urządzeniem w postaci interrogatora dalekiego zasięgu SA10M2E.

W dalszym stadium rozbudowy systemów identyfikacji przystąpiono do wyposażenia systemów rakietowych w interrogatory SB16E3 średniego zasięgu. Na okrętach i posterunkach brzegowych Marynarki Wojennej zainstalowano również zestawy urządzeń zapytujących i odzewowych dalekiego zasięgu. Podstawowe parametry i przeznaczenie bloków wchodzących w skład systemów identyfikacji omówiono niżej:

Interrogator dalekiego zasięgu, ukompletowany w formie Zestawu Urządzenia Zapytującego Dalekiego Zasięgu, zawiera:

- interrogator SA10M2 lub SA10M2R,
- (z rozszerzonym zakresem regulacji mocy),
- zmodernizowany dekodery (G3DE3 lub G3DE3M),
- pulpit zdalnego sterowania SR 19C,
- pulpit programowania SR 20C,

Zasięg instrumentalny: 470 km.

Przeznaczenie:

- stacje rlok wstępnego wykrywania średniego i dalekiego zasięgu takie jak: N-31, N-11, N-12, N-21, N-22,
- stacje rlok okrętowe,
- Autonomiczny Zestaw Urządzeń Rozpoznawczych AZUR (do współpracy ze stacjami rlok prod. b. ZSRR: K66, K66M, P18, P37, P40, P14,
- posterunki brzegowe Marynarki Wojennej.

W celu poprawienia interoperacyjności urządzeń IFF dalekiego zasięgu w pierwszym etapie opracowano możliwość zdalnego sterowania systemem IFF przez system zewnętrzny poprzez łącze RS lub HDLC, a także ekstrakcji odpowiedzi z radaru wtórnego, tworzenie plotów oraz ich wysyłanie w formacie określonym przez użytkownika (np. ASTERIX) do systemów sterowania i dowodzenia. Następnym krokiem była modernizacja interrogatora SA10M2, polegająca na opracowaniu obróbki monoimpulsowej. Osiągnięto poprawę dokładności azymutu obiektu powietrznego (wartość skuteczna błędu będzie mniejsza od 0,08°) uzyskiwaną przez pełny pomiar parametrów R i β w jednym impulsie. Obróbka monoimpulsowa jest pierwszym krokiem do implementacji modu S w interrogatorach dalekiego zasięgu produkcji CNPEP RADWAR SA.

Interrogator średniego zasięgu, ukompletowany w formie Zestawu Urządzenia Zapytującego Średniego Zasięgu, zawiera:

- interrogator SB16E3,
 - moduł pamięci,
 - pulpit sterujący – sygnalizacyjny
- oraz w zależności od konfiguracji
- kasetę sterowań i interfejsów.

Zasięg instrumentalny: 100 km

Przeznaczenie:

- stacje radiolokacyjne RSWW zestawów rakietowych OSA, KUB, NEWA.

W 2002r. na bazie interrogatora krótkiego zasięgu CNPEP RADWAR S.A. opracował całkowicie nowy interrogator średniego zasięgu ISZ-01, który w porównaniu z licencyjnym ma lepsze parametry taktyczno – techniczne, m.in.: wbudowano ekstraktor i obróbkę quasi-monoimpulsową, zmniejszono pobór mocy, zwiększono zakres testowania, zmniejszono masę wyrobu.

W trakcie opracowania wyrobu wprowadzono nowatorskie rozwiązania technologiczne i projektowe, dotyczące, m.in.:

- projektowania i wykonywania modułów mikrofalowych,
- zastosowania procesorów sygnałowych do obróbki i dekodowania sygnałów wizyjnych.

Nowo opracowany interrogator średniego zasięgu znalazł bądź znajdzie zastosowanie w systemach: LOARA, OSA, KUB, NEWA.

8.6. Anteny systemu IFF

8.6.1. Antena AFF-20

Antena ścianowa AFF-20 systemu IFF opracowana w OG PIT przy współpracy z PIT Warszawa oraz Instytutem Telekomunikacji i Akustyki Politechniki Wrocławskiej należy do klasy anten z elektronicznie sterowanym położeniem wiązki. Głównymi elementami konstrukcyjnymi anteny są:

- 16 kolumn promieniujących KKF-20,
- dwa bloki PZK-20 zawierające układy podziału mocy oraz po osiem diodowych 4-bitowych przesuwników fazy,
- układ rozgałęzienia hybrydowego RH-01, umożliwiający wydzielenie kanałów sumy (S) i różnicy (?),
- rama nośna.

Na rys. 8.9 przedstawiono widok anteny AFF-20 od strony apertury promieniującej. Źródła promieniujące w antenie stanowi liniowy (w poziomie) szereg 16 kolumn KKF-20. Każda kolumna jest zbudowana na bazie liniowego (w pionie) szeregu 6 elementarnych promienników mikropaskowych, zasilanych przez sprzężenie elektromagnetyczne poprzez szczeliny wytrawione od strony masy

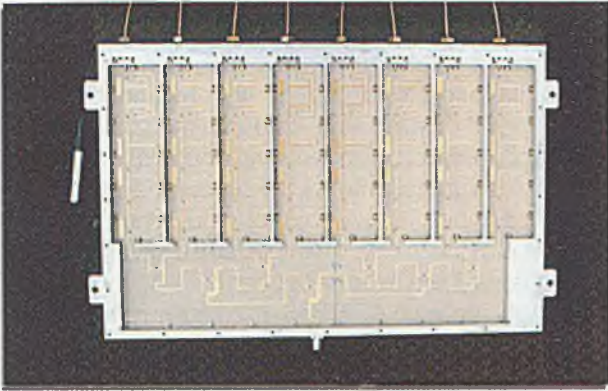
płytki układu pionowego dzielnika mocy. Rozkład amplitud i faz prądów pobudzenia na wyjściach szczelin sprzęgających został zaprojektowany w taki sposób, aby kolumna KKF-20 realizowała w płaszczyźnie elewacji kształtowaną charakterystykę promieniowania typu cosec² dla polaryzacji liniowej-pionowej. Kształtowanie wiązki sumacyjnej i różnicowej w płaszczyźnie azymutalnej dokonuje się w układach hybrydy RH-01 oraz PZK-20.



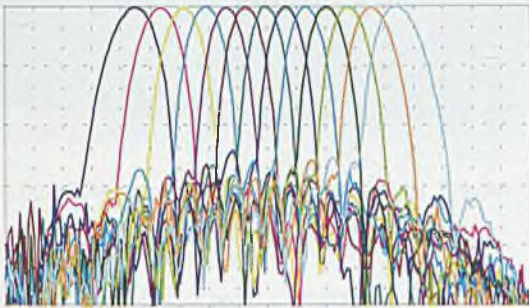
Rys. 8.9. Widok apertury anteny AFF-20

Rozkład amplitud prądów pobudzenia kolumn promieniujących na wyjściach układów PZK-20 jest realizowany przez poziomy dzielnik mocy w taki sposób, aby uzyskać optymalnie niski poziom listków bocznych charakterystyki sumacyjnej w płaszczyźnie azymutu. Zadaniem zespołu szesnastu 4-bitowych diodowych przesuwników fazy, znajdujących się w blokach PZK-20 (rys.8.10.), jest uzyskanie na wejściach kolumn promieniujących liniowego rozkładu faz prądów pobudzenia o nachyleniu odpowiednim do wymaganego odchylenia w płaszczyźnie azymutu wiązek S i ? od normalnej do apertury anteny.

Liniowa progresja fazy realizowana przez przesuwniki fazy w antenie AFF-20, a co za tym idzie dyskretne kierunki promieniowania wiązek S i ? zostały dobrane w taki sposób, aby zniwelować błędy kwantyzacji rozkładu fazy prądów pobudzających kolumny promieniujące, w wyniku czego uzyskano niski poziom listków bocznych w płaszczyźnie azymutu. Za pomocą anteny AFF-20 możliwe jest bezinercyjne odchylenie wiązek S i ? na 13 dyskretnych kierunkach, umożliwiając tym samym pokrycie sektora kątów azymutu $\pm 45^\circ$ względem normalnej do apertury anteny (rys.8.11).



Rys. 8.10. Zespół PZK-20 z widocznym układem poziomego dzielnika mocy i zespołem 8 diodowych przesuwników fazy



Rys. 8.11. Zestawienie zmierzonych charakterystyk promieniowania anteny AFF-20 dla kanału sumy w płaszczyźnie azymutu ($f=1,09\text{GHz}$)

Antena AFF-20 została zaprojektowana na potrzeby radaru wielofunkcyjnego jako element składowy systemu anten IFF. System anten IFF w tym radarze złożony jest z czterech ścian AFF-20 ustawionych na obrysie prostokąta. Dodatkowym elementem systemu jest przełącznik anten PAF-20, którego funkcją jest sprzężenie kanałów sumy i różnicy poszczególnych anten z interogatorem IFF stacji. System IFF w tym radarze ma zatem możliwość elektronicznego ustawienia wiązek Σ i Δ na dowolny z 52 kierunków pokrywających sektor $0\pm 360^\circ$ w płaszczyźnie azymutu.

8.6.2. Antena AFF-600

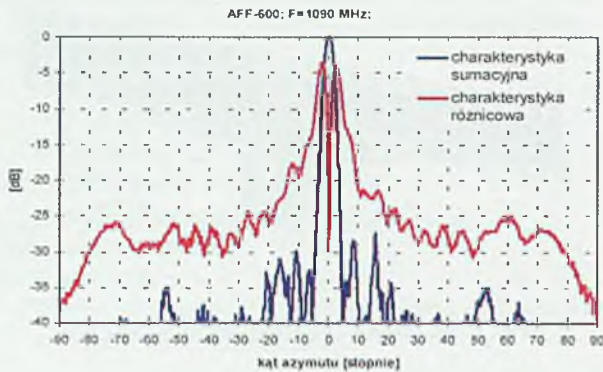
Antena AFF-600 została zaprojektowana na potrzeby systemu IFF stacji radiolokacyjnej dalekiego zasięgu RST-12M. Antena ta umożliwia nadawanie oraz monoimpulsowy odbiór sygnałów IFF. Jest ona zbudowana na bazie 26 kolumn promieniujących KKF-20 rozłożonych na aperturze o wymiarach $6542 \cdot 1030$ mm (rys. 8.12).



Rys. 8.12. Widok apertury anteny AFF-600

Szerokość apertury anteny wraz z odstępami międzykolumnowymi zostały dobrane w taki sposób, aby zapewnić uzyskanie wymaganej -3dB szerokości charakterystyki sumacyjnej w płaszczyźnie azymutu, wynoszącej ok. 3° , przy zastosowaniu możliwie najmniejszej liczby kolumn. Zastosowanie w konstrukcji anteny kolumn KKF-20 produkowanych seryjnie umożliwia szybkie opracowanie w zasadzie dowolnej konfiguracji anteny, spełniającej wymagania zamawiającego pod względem wymaganej rozróżnialności azymutalnej. Kolumny KKF-20 zbudowane na bazie szysku promienników mikropaskowych zintegrowanych z układem pionowego dzielnika mocy umożliwiają realizację w płaszczyźnie elewacji kształtowanej charakterystyki promieniowania anteny typu cosec². W odstępach międzykolumnowych zostały umieszczone moduły zbudowane z prętów aluminiowych, stanowiące płaszczyznę ekranu elektromagnetycznego dla fal o polaryzacji pionowej.

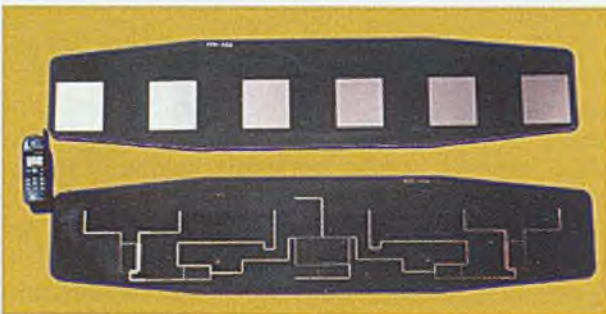
Charakterystyka promieniowania wiązki sumacyjnej i różnicowej realizowana jest w płaszczyźnie azymutu za pomocą układu poziomego dzielnika mocy i rozgałęzienia hybrydowego rozmieszczonych na ramie konstrukcyjnej anteny, wykonanych w technologii niesymetrycznej linii mikropaskowej. Układ zasilania anteny jest połączony z kolumnami promieniującymi za pomocą odpowiednio sfazowanych koncentrycznych półsztywnych linii kablowych. Przyjęty rozkład amplitud prądów pobudzenia kolumn realizowany przez układ zasilania anteny pozwolił na uzyskanie (rys.8.13) maksymalnego poziomu listków bocznych anteny w płaszczyźnie azymutu nie przekraczającego -27dB . Zmierzony zysk energetyczny anteny jest nie mniejszy niż 21dBi w całym pasmie pracy. Konstrukcja nośna anteny umożliwia mechaniczne pochycenie anteny w płaszczyźnie elewacji w zakresie $\pm 2^\circ$ w celu redukcji niekorzystnego promieniowania wiązki głównej w kierunku ziemi.



Rys. 8.13. Zmierzone znormalizowane charakterystyki promieniowania wiązki sumacyjnej i różnicowej anteny AFF-600 na częstotliwości odbioru ($f=1,09\text{GHz}$)

8.6.3. Antena AFF-666

Antena AFF-666 opracowana w OG PIT stanowi przykład realizacji lekkiej samonośnej konstrukcji o niewielkich z założenia gabarytach, przewidzianej do zamocowania w układzie „back-to-back” z anteną radaru samolotowego ARS-400. Konstrukcyjnie antena składa się z trzech sklejonych warstw umieszczonych w paroszczelnej obudowie kompozytowej. Warstwę górną stanowi płyta laminatu z wytrawionym liniowym szykiem sześciu promienników mikropaskowych. Poniżej znajduje się warstwa dystansująca wykonana z pianki poliuretanowej. Najniższą warstwę stanowi układ zasilania, składający się z rozgałęzienia hybrydowego oraz układu podziału mocy kształtującego rozkład prądów pobudzenia poszczególnych łăt promieniujących (rys.8.14).



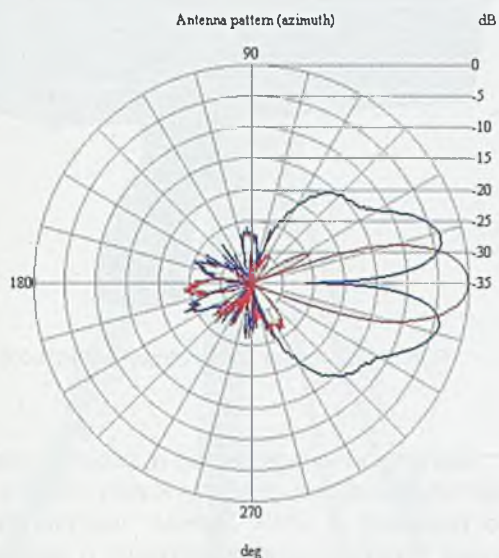
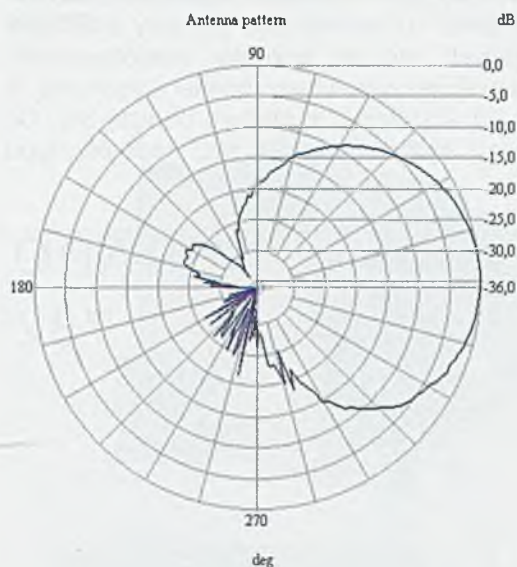
Rys. 8.14. Widok warstwy promienników oraz układu zasilania anteny AFF-666

Pobudzenie promienników następuje w wyniku sprzężenia elektromagnetycznego wyjść układu zasilania poprzez szczeliny wytrawione od strony masy płytki dzielnika. W celu minimalizacji promieniowania wstecznego anteny obudowa od strony płytki układu zasilania jest ekranowana za pomocą metalizowanej folii wyklejonej w jej wnętrzu i połączonej elektrycznie z masą układu zasilania anteny za pomocą kleju przewodzącego. Gabaryty anteny AFF-666 przedstawionej na rys. 8.14 wynoszą: $1010 \cdot 210 \cdot 30$ mm, a masa nie przekracza 3.5 kg



Rys.8.15. Widok apertury anteny AFF-666

Ze względu na stosunkowo niewielką długość apertury anteny, szerokość wiązki sumacyjnej w płaszczyźnie azymutalnej anteny wynosi ok. 18° przy maksymalnym poziomie listków bocznych nie przekraczającym -24dB . Charakterystyka promieniowania w płaszczyźnie elewacji wynika głównie z charakterystyki promieniowania pojedynczego źródła i wynosi ok. 60° . Antena AFF-666 cechuje się stosunkowo dużym zyskiem energetycznym wynoszącym ok. 10dBi . Na rys. 8.16 przedstawiono zmierzone charakterystyki promieniowania anteny w dwóch podstawowych płaszczyznach. Antena AFF-666, pierwotnie zaprojektowana na potrzeby radaru samolotowego, została ostatnio zaadaptowana na potrzeby systemu IFF w modernizowanych przez WZU w Grudziądzu zestawach raketowych klasy ziemia-powietrze.

a) wiązka Σ i Δ w pł. azymutu ($f=1.09\text{GHz}$)b) wiązka Σ w pł. elewacji ($f=1.09\text{GHz}$)

Rys. 8.16. Wyniki pomiarów charakterystyk promieniowania anteny AFF-666

8.7. Radary drogowe i mikrofalowe systemy alarmowe

Centrum RADWAR S.A. uczestniczy aktywnie również w procesie rozwoju cywilnych urządzeń radiolokacyjnych – przede wszystkim w dziedzinie radarowych mierników prędkości, wykorzystujących zjawisko Dopplera i przeznaczonych dla służb ruchu drogowego policji. Już w kilka lat po wprowadzeniu do eksploatacji w Europie (połowa lat pięćdziesiątych) radarów do kontroli prędkości pojazdów, podjęto na Politechnice Warszawskiej prace nad opracowaniem polskiego radarowego miernika prędkości. Po wykonaniu modelu eksperymentalnego, urządzenie zostało wdrożone w roku 1963 do produkcji w WZR RAWAR.

Miernik ten, produkowany pod nazwą RD-1 i wykonany całkowicie w technice lampowej, wyposażony był w antenę paraboliczną o średnicy 40cm oraz wskaźnik wychyłowy odczytu prędkości pojazdu – z możliwością jego wyniesienia na odległość kilku metrów. Układ spustowy uruchamiał, po przekroczeniu wybranej prędkości progowej, aparat fotograficzny. Miernik stanowił ówczesnie nowatorskie urządzenie, co znalazło wyraz w przyznaniu nagrody w konkursie "Mistrz Techniki-Warszawa 1964". Kolejna wersja urządzenia, produkowana w latach 1970–73 pod nazwą RMP-100, zbudowana była na tranzystorach (jedynie generator mikrofalowy był elementem lampowym). Miernik ten pod względem użytkowym niewiele

odbiegał od modelu poprzedniego. Składał się z bloku głównego połączonego na stałe z anteną i umieszczanego na statywie oraz wynośnego wskazówkowego miernika prędkości.

Wymienione wyżej radary były przystosowane tylko do pomiaru prędkości przy ustawieniu wiązki anteny wzdłuż jezdni. Szybki rozwój motoryzacji wymagał sprawnej kontroli prędkości pojazdów również dla większego natężenia ruchu – co nie było możliwe przy pomocy dotychczasowych urządzeń. Z tego głównie względu opracowano w WZR RAWAR, przy współpracy z Politechniką Warszawską, radarowy miernik prędkości nowej generacji wdrożony w roku 1973 do produkcji pod nazwą **MIRADO-732**.

Urządzenie zapewniało możliwość pracy przy ustawieniu wiązki antenowej wzdłuż jezdni (dla małego natężenia ruchu) lub pod kątem 20° (dla dużego natężenia ruchu). Jego konstrukcja oparta była wyłącznie na elementach półprzewodnikowych (tranzystory krzemowe i cyfrowe układy scalone serii TTL) – z generatorem mikrofalowym na diodzie Gunn'a włącznie. Blok anteny, instalowany do pracy na statywie i stanowiący wycinek paraboloidy, zawierał również głowicę mikrofalową oraz układy wstępnej obróbki sygnału dopplerowskiego. Blok wskaźnika, instalowany np. w wozie patrolowym, umożliwiał odczyt zmierzonej prędkości w postaci cyfrowej (cyfrowe lampy NIXIE). Miernik wyposażony był w licznik całkowitej ilości obserwowanych pojazdów oraz licznik pojazdów przekraczających ustawioną prędkość progową. Zmo-

dyfikowana wersja urządzenia, produkowana pod nazwą **MIRADO-741**, dawała możliwość rozróżniania (wyboru) kierunku ruchu pojazdów: zbliżanie lub oddalanie, co eliminowało pomiary pojazdów poruszających się w kierunku niepożądanym. Obydwie wersje zapewniały pomiar prędkości w zakresie 20 – 199km/h z błędem poniżej 3%. Do eksploatacji trafiło ok. 160 szt. radarów typu **MIRADO**.



Rys. 8.17. Radarowy miernik prędkości nowej generacji **MIRADO 732**



Rys. 8.18. Radarowy miernik prędkości typu **SRD** w warunkach eksploatacyjnych

W następnym modelu, opracowanym w WZR RAWAR i produkowanym od roku 1977 w ZUR ZURAD pod nazwą **SRD-77**, ostatnie elementy lampowe (wskaźniki cyfrowe) zastąpiono siedmio-segmentowymi wskaźnikami półprzewodnikowymi oraz wprowadzono układ sygnalizacji zbyt niskiego napięcia zasilania. Zakres mierzonych prędkości pozostał bez zmian przy zachowaniu trybów pracy "wzdłuż" i "pod kątem". Model ten produkowano w kilku wariantach pod nazwami **SRD-77**, **SRD-87** oraz **SRD-771** w ilości ok. 250 sztuk.



Rys. 8.19. Radar „pistoletowy” **RAPID-2K**

Biorąc pod uwagę trendy rozwojowe oraz sugestie użytkowników, RADWAR opracował i wdrożył do produkcji w ZUR ZURAD mierniki prędkości nowej generacji, czyli urządzenia o zwartej budowie i niewielkiej masie, trzymane w ręku przez operatora i zwane radarami "pistoletowymi". W drugiej połowie lat osiemdziesiątych skonstruowano i wprowadzono do produkcji dwa kolejne modele radarów "pistoletowych": **DROP** znany również pod nazwą **RP-1** oraz jego zmodernizowaną wersję **RP-2**. Ogółem wyprodukowano ok. 200 egzemplarzy tych mierników.

Kolejną przełomową datą jest rok 1994, kiedy rozpoczęto produkcję nowego typu radaru "pistoletowego" o nazwie **RAPID-1**, a następnie od roku 1996 jego udoskonalonej wersji **RAPID-1A**, która przez kilka kolejnych lat trafiała na wyposażenie służb ruchu policji w ilościach dochodzących do 300 sztuk rocznie. Zachowując parametry funkcjonalne poprzednich modeli stacjonarnych, **RAPID-1** cechował się wysokim bezpieczeństwem użytkowania (moc rzędu 15mW emitowana jedynie przy naciśniętym przycisku "spust") i stanowił urządzenie praktycznie niemożliwe do wykrycia przy pomocy tzw. "antyradarów". Jego konstrukcja została uhonorowana na VI MSPO w roku 1998 nagrodą **DEFENDER** ministra MSWiA za wyróżniające walory użytkowe i ekonomiczne.

W latach 1994 –2000 wyprodukowano łącznie 900 sztuk tych urządzeń.

Radary serii **RAPID** – podobnie zresztą jak i inne wyroby – były przedmiotem ciągłej modernizacji i udoskonalania. Kolejna wersja tego urządzenia, wprowadzona do produkcji w roku 2000 pod nazwą **RAPID-2K**, pracuje w pasmie K, przeznaczonym właśnie dla służb policji (wszystkie poprzednie modele w pasmie X) i może współpracować z przenośną drukarką termiczną, umożliwiającą natychmiastowy wydruk danych o wykroczeniu.



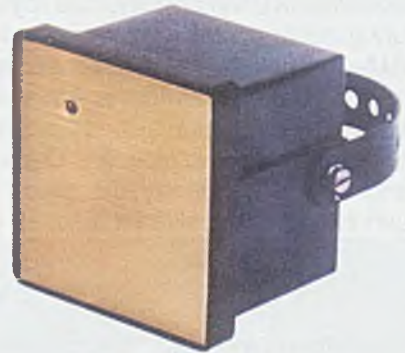
Rys. 8.20. FOTORAPID

Najnowsze urządzenie, produkowane pod nazwą **FOTORAPID**, stanowi kolejny poważny krok w rozwoju radarowych mierników prędkości. Jak wskazuje jego nazwa, jest to zintegrowany produkt zawierający radarowy miernik prędkości wraz z kamerą służącą do rejestracji graficznej obrazu wykroczenia. Rejestracja następuje w formie zapisu cyfrowego na wbudowanym nośniku o dużej pojemności (do kilku tysięcy zdjęć). Urządzenie może być wykorzystywane do pracy na statywie (wersja przewoźna) lub w stanowiskach stacjonarnych, w odpowiedniej obudowie na maszcie. W tej wersji FOTORAPID rejestruje wykroczenia całkowicie automatycznie, jedynie nośnik jest wymieniany w określonych odstępach czasu. Wyrób wszedł na rynek w roku 2001 i spotkał się z dużym zainteresowaniem ze strony policji.

Obecnie trwają prace nad dalszą modernizacją, ukierunkowaną na automatyzację pracy urządzeń w systemie – poprzez transmisję zarejestrowanych danych do centrum nadzoru ruchu drogowego.

W uzupełnieniu do opisanych powyżej radarowych mierników prędkości przeznaczonych dla służb ruchu drogowego policji, RADWAR S.A. ma w swojej ofercie także uliczne radarowe wskaźniki prędkości URWP, stanowiące połączenie miernika

prędkości z wielkoformatowym wskaźnikiem cyfrowym, instalowane w niewralgicznych punktach i mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa na drogach.



Rys. 8.21. Mikrofalowy detektor ruchu GACEK



Rys. 8.22. Urządzenie alarmowe UA-1

Centrum RADWAR S.A. jest również dostawcą urządzeń alarmowych wykorzystujących zespoły mikrofalowe. W latach osiemdziesiątych produkowano mikrofalowy (pasmo X) detektor ruchu o nazwie fabrycznej **GACEK**, stosowany w systemach zabezpieczeń i ochrony antywłamaniowej. Zasada działania opierała się, podobnie jak w radarach drogowych, na wykorzystaniu efektu Dopplera. Energia elektromagnetyczna wysyłana w

określony obszar (chronione pomieszczenie) wracała do odbiornika w postaci odbić. Dopóki obiekty w przestrzeni chronionej były nieruchome, składowa dopplerowska równała się zeru. W momencie pojawienia się obiektu ruchomego, powstawała częstotliwość dopplerowska wyzwalając wykonawczy układ alarmowy. Wiązka promieniowana (również w paśmie X) wykorzystywana była także w innym urządzeniu alarmowym produkowanym pod nazwą **UA-1** w latach dziewięćdziesiątych w Centrum RADWAR, a mianowicie w barierze mikrofalowej. Bariera stosowana była do budowy obwodowych systemów zabezpieczeń. Ogółem wyprodukowano systemy ochrony dla pięciu obiektów, przy czym każdy z nich składał się z 15 do 55 sekcji.

8.8. Mikrofalowe systemy ostrzegawcze

Nie dać się zniszczyć na polu walki to dostatecznie wcześnie wykryć i zidentyfikować źródło zagrożenia, tzn. być jak najwcześniej ostrzeżonym o tym, czy źródłem promieniowania elektromagnetycznego jest radar rozpoznania, czy głowica pocisku.

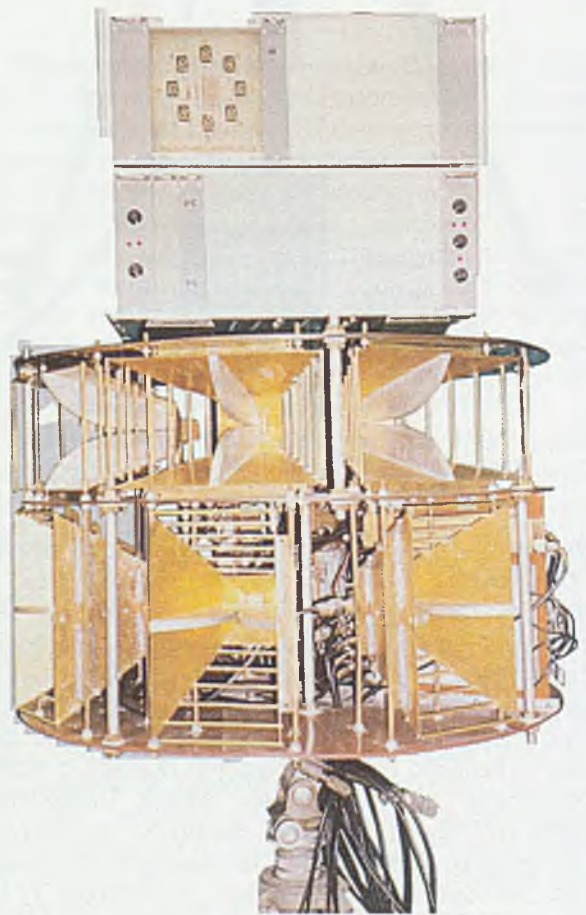
W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych w WITU zaprojektowano i przebadano system ostrzegania przed promieniowaniem mikrofalowym z pasma X i K_u dla wozów opancerzonych WIDAWA. System ten:

- przeznaczony był do wykrywania energii elektromagnetycznej pochodzącej od naziemnych radarów obserwacji pola walki i od pocisków samonaprowadzających, oraz określania i zobrazowania kierunków wykrytych źródeł promieniowania,
- mógł być montowany na pojazdach typu czołg, wozy opancerzone, rozpoznawcze, w sposób nie ograniczający dotychczasowych ich możliwości bojowych,
- mógł być montowany jako samodzielne urządzenie lub w połączeniu z ostrzegaczem promieniowania laserowego SSC-1 OBRA produkcji Przemysłowego Centrum Optyki.

Z braku niezbędnych funduszy system ten nie został wdrożony do eksploatacji pomimo pozytywnych wyników badań.

Również w WAT w latach 70. opracowano system ostrzegawczy przed opromieniowaniem radarowym AMIR. W ramach tych prac wykonano modele odbiorników mikrofalowych pokrywających pasmo $1 \div 18\text{GHz}$. Były to odbiorniki z rozdziałem częstotliwości, jak i odbiorniki natychmiastowego

pomiaru częstotliwości (IFM), w których wykorzystuje się szerokopasmowe dyskryminatory częstotliwości. To w Instytucie Radiolokacji WAT opracowano pierwsze w Europie Środkowej układy dyskryminatorów częstotliwości i fazy, których działanie jest oparte na interferometrach mikrofalowych. Posłużyło to do opracowania pierwszych szerokopasmowych ostrzegaczy radarowych z natychmiastowym pomiarem kierunku i częstotliwości (rys. 8.23). Te modelowe rozwiązania umożliwiły podjęcie przez przemysłowe ośrodki badawczo-wdrożeniowe prac nad budową urządzeń ostrzegawczych i rozpoznawczych dla sił lądowych oraz morskich WP.



Rys. 8.23. Model szerokopasmowego systemu ostrzegania o opromieniowaniu radarowym

Efektom prowadzonych prac badawczych są też liczne podzespoły mikrofalowe, do których przede wszystkim należy zaliczyć: szerokopasmowe anteny, macierze Butlera, filtry i układy rozdziału w częstotliwości.

8.9. Nadajniki zakłóceń

Rozwój techniki mikrofalowej i metod radio-przeciwdziałania pociągnął za sobą konieczność przygotowania obsługi stacji radarowych do pracy w warunkach zakłóceń. W latach 1964 – 65 na zlecenie Departamentu Uzbrojenia opracowano w WITU generatory zakłóceń radiolokacyjnych KABUL i DAKAR, pracujące w zakresie 50 i 20 cm. Generatory te zostały wdrożone do produkcji i wprowadzone na wyposażenie wojsk radiotechnicznych.

W latach 1989-90 podjęto w WITU ponownie tematykę budowy urządzeń zakłócających, konstruując nadajnik zakłóceń najpierw w oparciu o energochłonną lampę z falą bieżącą, którego masa i gabaryty stanowiły istotny mankament. Zmieniono więc konstrukcję miniaturyzując urządzenie i stosując nadajnik tranzystorowy. W tej wersji nadajniki na pasmo L i S o kryptonimie ŁADA poddano wszechstronnym badaniom, których pozytywne wyniki pozwoliły na wyprodukowanie w WITU serii kilkudziesięciu sztuk tych nadajników i wprowadzenie ich na wyposażenie WP. Eksploatowane nadajniki przeznaczone są do:

- badań odporności na zakłócenia stacji radiolokacyjnych;
- przygotowania obsługi stacji radiolokacyjnych do pracy w warunkach rzeczywistych zakłóceń;

- zakłócenia stacji radiolokacyjnych przeciwnika w warunkach bojowych.

Zasada pracy urządzeń opiera się na bezpośredniej generacji i wzmocnieniu w zadanym paśmie, sygnału szumowego. Szerokopasmowy sygnał szumowy dużej mocy, poprzez trakt mikrofalowy, przesyłany jest do anteny, z której promieniowany jest w kierunku zakłócaniej stacji radiolokacyjnej.

Zainstalowanie nadajnika na pokładzie statku powietrznego skutecznie maskuje jego położenie przed radarami pracującymi w zakresie generowanych zakłóceń.



Rys. 8.24. Widok ogólny nadajników zakłóceń

Tabela 3

Lp.	Pa rametr	Dane
1	Typ zakłóceń szumow	e zaporowe
2	Zakres generowanych zakłóceń	pasmo „L” 1,24 1,42 GHz lub „S” 1,24 1,42 GHz
3	Moc wyjściowa	regulowana w zakresie 100mW do 10W
4	Odczyt poziomu mocy	linijka świetlna
5	Wyjście generatora zakłóceń	N50f
6	Antena	standardowo o polaryzacji kołowej i zysku kierunkowym około 12dB lub dowolna
7	Kontrola stanu	automatyczna z sygnalizacją akustyczno-optyczną
8	Zasilanie	12 V DC, 220 V AC 50Hz, 15-35 V przez adapter
9	Pobór mocy	< 70W
10	Obudowa	wodoszczelna
11	Temperatura: pracy przechowywania	-25°C - +50°C -40°C - +60°C
12	Gabaryty i masa	350x240x150; 11,5 kG
13	Instalacja	pojazdy kołowe, statki powietrzne, okręty
14	Środki transportu	dowolne (lądowe, lotnicze, morskie)
15	Obsługa	jedna osoba

Przy założeniu oddziaływania poprzez listki boczne charakterystyk antenowych radarów, stosując standardową antenę, można z odległości 1 km spowodować ponad dwukrotne obniżenie zasięgu wykrywania samolotów przez zakłócaną stację radiolokacyjną.

Problematyka zakłóceń urządzeń radioelektronicznych jest kontynuowana w WITU w ramach prowadzonych prac projektowo-konstrukcyjnych nad nadajnikami jednorazowego użytku dla oddziałów specjalnych i dywersyjnych.

W 2002 roku Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia opracował dla potrzeb Policji urządzenie do zakłócania odbiorników telefonów komórkowych (rys. 8.25), które może pracować w pomieszczeniach zamkniętych oraz w terenie otwartym. Przeznaczone jest ono dla potrzeb Ministerstwa Spraw Wewnętrznych, Służb Więziennictwa i Straży Granicznej oraz jednostek antyterrorystycznych. Opracowane urządzenie może być wykorzystane tak do blokowania możliwości odpalania ładunków wybuchowych przy pomocy telefonów komórkowych, jak również kontrolowanego uniemożliwienia posługiwania się telefonem, np. w więzieniu, aresztach czy salach rozpraw. Po przejściu badań urządzenie zostało poddane kilkumiesięcznym testom w kilku pododdziałach antyterrorystycznych Policji. Z otrzymanych informacji wynika, że opinia potencjalnych użytkowników jest bardzo pozytywna.



Rys. 8.25. Widok urządzenia do zakłócania odbiorników telefonów komórkowych

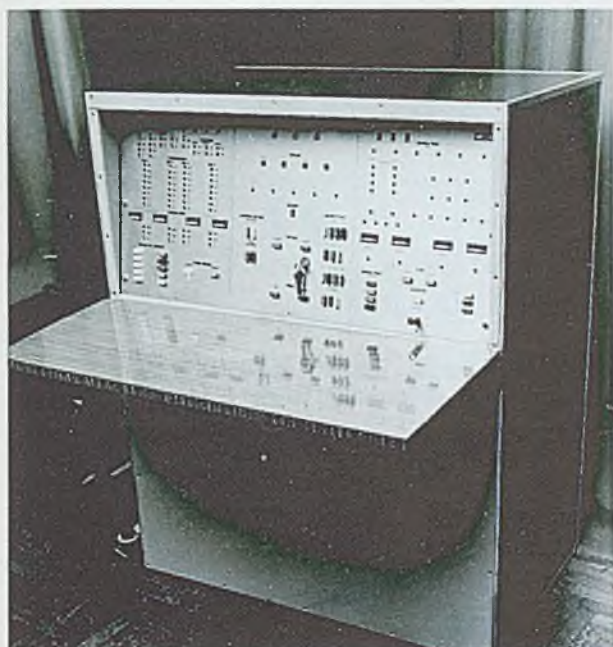
Podstawowe parametry taktyczno-techniczne urządzenia to:

- Zasilanie z wewnętrznego akumulatora NiMH lub poprzez adapter z sieci 220V/50Hz z równoczesnym doładowywaniem, lub z akumulatora samochodowego;
- Praca w pasmach 900 MHz i 1800 MHz;
- Moc dostarczona do anteny 1,5 W;
- Nieograniczony czas pracy z zewnętrznego źródła zasilania;
- Trzy skokowo ustawiane czasy zwłoki włączenia urządzenia oraz praca natychmiastowa;
- Zasięg blokowania w terenie otwartym 30 | 50m (promień).

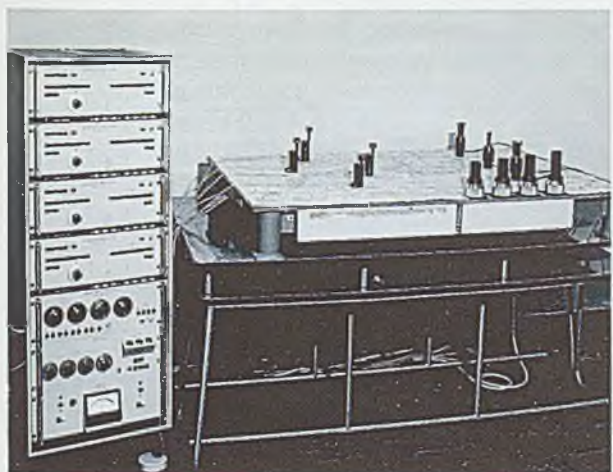
8.10. Imitatory sygnałów radiolokacyjnych

Ważnym dla IRL obszarem badań były prace poświęcone technikom imitacji sygnałów sondujących i sygnałów echa radarowego oraz symulacji sytuacji radiolokacyjnej. Prace te, prowadzone początkowo przez profesora Tadeusza Kątkkiego, później kontynuowane przez docentów Stanisława Janke i Stanisława Kozimora, zaowocowały powstaniem całej rodziny imitatorów: NATAL, MISR, KOS, CHICAGO, WENUS. Ważnym jest to, że wszystkie wymienione imitatory zostały wdrożone do produkcji przemysłowej i wprowadzone jako wyposażenie Sił Zbrojnych RP. Właśnie na tych urządzeniach szkolą się i doskonalą swoje umiejętności operatorzy oraz załogi stacji radiolokacyjnych w Wojskach Lotniczych i Obrony Powietrznej oraz Marynarce Wojennej RP.

Opracowane w latach 1970|1974 pierwsze imitatory były nową generacją urządzeń do szkolenia obsługi systemów radioelektronicznych. Były to: imitator do szkolenia operatorów stacji radiolokacyjnych NATAL (rys. 8.26), imitator do szkolenia obsługi systemu rozpoznania radioelektronicznego CHICAGO (rys. 8.27) oraz imitator do szkolenia pilotów samolotów myśliwskich w walce powietrznej z wykorzystaniem radaru pokładowego WENUS (rys. 8.28). Opracowane urządzenia zostały wdrożone do produkcji i eksploatacji w WP oraz były przedmiotem opłacalnego eksportu. Zastosowane w tych urządzeniach nowoczesne technologie oraz rozwiązania techniczne, chronione wieloma patentami, spowodowały wyróżnienie pracowników Instytutu Nagrodą Państwową.



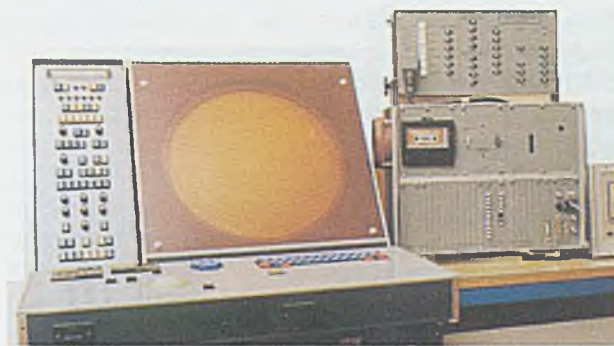
Rys. 8.26. Imitator do szkolenia operatorów stacji radiolokacyjnych NATAL



Rys. 8.27. Imitator do szkolenia obsługi systemu rozpoznania radioelektronicznego CHICAGO



Rys. 8.28. Imitator celu powietrznego WENUS



Rys. 8.29. Imitator sytuacji radiolokacyjnej MISR

W latach 1978|1989 opracowano rodzinę miniaturowych imitatorów sytuacji radiolokacyjnej (MISR-01, MISR-02, MISR-M, MISR-N2, MISR-N3, KOS). Imitatory te są przeznaczone do szkolenia personelu radarów. Wspólną cechą rodziny imitatorów jest możliwość symulowania sytuacji powietrznej na obszarze większym od obszaru wykrywania jednej stacji radiolokacyjnej, a więc możliwość prowadzenia szkolenia nie tylko obsługi stacji radiolokacyjnych, ale także obsługi zautomatyzowanych systemów radiolokacyjnych. Wszystkie typy imitatorów zostały wdrożone do produkcji i są obecnie eksploatowane. Imitator MISR-M. (rys. 8.29) został wykonany w wielu egzemplarzach i był przedmiotem eksportu. Zespoły opracowujące rodzinę imitatorów MISR uzyskały dwie nagrody Ministra Obrony Narodowej.

8.11. Maskowanie przeciwradiolokacyjne

Zagadnienia dotyczące maskowania przeciwradiolokacyjnego nabierają szczególnego znaczenia z uwagi na to, że polska armia jest gorzej przygotowana pod tym względem niż armie NATO. Z dostępnych materiałów wynika, że na wyposażeniu armii NATO znajduje się duży asortyment środków przeznaczonych do maskowania w szerokim zakresie promieniowania elektromagnetycznego od ultrafioletu do pasma mikrofalowego. Oprócz pokryć przeciwradiolokacyjnych w postaci siatek opracowano różnego rodzaju materiały radio absorpcyjne. Są one przewidziane do nakładania bezpośrednio na powierzchnie zewnętrzne sprzętu. Występują w postaci past, farb nakładanych metodą malowania warstwowego, elastycznych arkuszy lub płytek przyklejanych do podłoża.

Zagadnienia maskowania w zakresie przeciwradiolokacyjnym były rozwiązywane również w kraju. Już w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych do opracowania absorberów mikrofalowych przystąpiło kilka ośrodków i instytutów naukowo-badawczych, a w tym: Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia (WITU), Ośrodek Badawczo-

Rozwojowy Centrum Techniki Morskiej, Wojskowy Instytut Techniki Inżynieryjnej. Wymienione instytucje przyjęły nową koncepcję rozwiązania problemu, a mianowicie opracowania absorbera w postaci płytek bezpośrednio nakładanych na powierzchnię maskowanego obiektu. Z różnych przyczyn, niezależnych od opracowujących, absorbery nie weszły na uzbrojenia wojska, pomimo że charakteryzowały się dobrymi własnościami mikrofalowymi. Podobny los spotkał przeciwradiolokacyjną sieć maskującą opracowaną i wykonaną w ramach realizowanego tematu BERBERYS.

Pojawienie się w kraju nowych tworzywa przewodzących typu polimerowego na nowo zainspirowało placówki naukowo-badawcze do prac nad absorberem mikrofalowym, w tym absorberem typu powłoka malarska. W Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia podjęto również prace nad nowego typu absorberem we współpracy z ZM Bumar-Łabędy oraz prywatną firmą Poliplast s.c.

Prace eksperymentalne miały na celu wykonanie modeli struktur powłok absorpcyjnych i ich optymalizację, a docelowo opracowanie technologii nanoszenia ich na maskowany obiekt oraz określenie dopuszczalnych tolerancji wykonania struktury pokrycia. Przyjęto przy tym warunek odejścia od powszechnie stosowanej idei jednokowej grubości absorbera, a z nierównomierności stworzenie podstawowego czynnika poprawienia efektywności absorbera (tłumienie i szerokopasmowość) oraz uproszczenia technologii nanoszenia.

Opracowany lakier składający się z mieszaniny sadzy i polimerów przewodzących zawieszonych w uniepalnionym polimerze desmophen 650 utwardzonym izocjanianem Desmodur N75, poddano badaniom w zakresie:

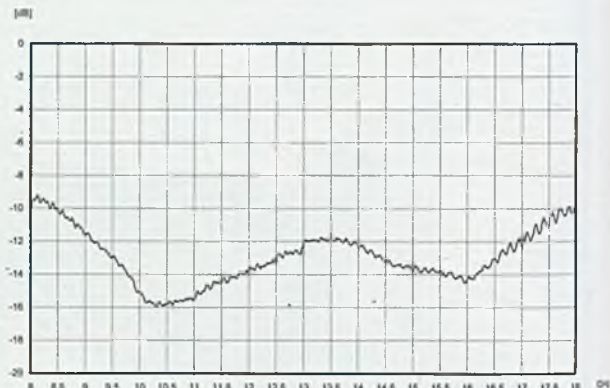
- mikrofalowym (skuteczność maskowania),
- narażeń na działania materiałów pędnych,
- własności użytkowych w temperaturze -40°C \div $+80^{\circ}\text{C}$,
- własności samogasnących,
- wodochłonności,
- zmywalności,
- odporności mechanicznej,
- przyczepności do podłoża,
- tłoczności,
- odporności na środki specjalne (odkażalniki i dezaktywatory w tym płyn ORO).

W wyniku przeprowadzonych badań, wykonaniu prac optymalizacyjnych grubości warstw i ich struktury chemicznej, otrzymano absorber typu powłoka malarska o bardzo dobrych własnościach tak mikrofalowych, jak i fizyko-mechanicznych.



Rys. 8.30. Rozmieszczenie losowo wybranych punktów pomiarowych na panczeru wozu bojowego strona lewa

Wykorzystując opracowaną technologię, przy współudziale Wojskowych Zakładów Mechanicznych w Siemianowicach Śl., absorber naniesiono na opancerzony samochód rozpoznania pola walki (rys.8.30). Uśrednione wyniki badań mikrofalowych w pasmie częstotliwości 8-18GHz z poszczególnych punktów zamieszczono na rysunku 8.31. Jak wynika z przedstawionych danych średni współczynnik odbicia jest mniejszy od -12dB . Oznacza to, że około 94% mocy fali elektromagnetycznej padającej na pancierz wozu ulega absorpcji, a tylko 6% mocy ulega odbiciu.



Rys. 8.31. Średni mocowy współczynnik odbicia dla wszystkich punktów pomiarowych w zakresie częstotliwości 8)18 GHz

Zmniejszenie mocy odbitej o 94% odpowiada dwukrotnemu zmniejszeniu zasięgu wykrycia wozu bojowego pokrytego absorberem przez radary przeciwnika pracujące w pasmie 8 \div 18 GHz. Własności tłumiące absorbera zostały zweryfikowane również w badaniach poligonowych, poprzez porównanie amplitudy sygnału odbitego od niepokrytego i pokrytego samochodu rozpoznania pola walki. Wyniki badań potwierdziły założenia projektowe.

9. RADARY DLA CYWILNYCH SYSTEMÓW KONTROLI RUCHU LOTNICZEGO

Edward Sędek

W 1958r. zainstalowano na lotnisku Okęcie w Warszawie pierwszy w kraju radar do kontroli ruchu lotniczego typu AVIA. Radar ten pracował na fali ok. 23cm z mocą impulsową ok. 600kW. W nadajniku zastosowano magnetron impulsowy krajowej produkcji. Antena paraboliczna miała rozpiętość reflektora 12m. Urządzenie wyposażone było w układy tłumienia ech stałych i dorównywało parametrami współczesnym stacjom zagranicznym. Zasięg radaru wynosił ponad 200km. W czasie długoletniej eksploatacji trwającej ok. 50.000 godz. zebrano bogate doświadczenie, które zostało wykorzystane przy kolejnych rozwiązaniach radarów dla lotnictwa cywilnego [12, 13].

W 1967r. opracowano w PIT nowy radar kontroli obszaru typu AVIA B. Radar ten pracował w pasmie 23cm. Wprowadzono w nim system podwójnego *diversity* częstotliwości oraz regulowaną liniową lub kołową polaryzację. Radar wyposażony był w układy TES z przemienną częstotliwością powtarzania. Moc w impulsie wynosiła 1,5MW przy długości impulsu 3 μ s. Układ automatyczny regulacji częstotliwości zapewniał podstrajanie magnetronu do kwarcowej heterodyny. W odbiorniku zastosowano wzmacniacz parametryczny. Zasięg radaru przekraczał 240 km [14].

Radary AVIA B zainstalowane zostały w Poznaniu oraz w latach 1969, 1970 w NRD w Cottbus i Neubrandenburg, a w 1973 r. zainstalowano radar AVIA BM w Pułtusku. Podkreślić należy, że radary zainstalowane w NRD eksploatowane były skutecznie jeszcze w 1991r., a więc po 20 latach od przekazania użytkownikowi.

W latach 1978-1981 przekazano do eksploatacji całkowicie nowe wersje radarów kontroli obszaru i kontroli rejonu lotniska – radary AVIA C, AVIA D i AVIA W. Radary te pracują w tym samym pasmie częstotliwości (pasmo L) co poprzednie urządzenia. Doświadczenie krajowe i zagraniczne potwierdziły w pełni zalety tego pasma dla radarów średniego i większego zasięgu. Zastosowano również system *diversity* częstotliwości, przy czym dla pełnego wykorzystania zalet tego systemu w radarze większego zasięgu (AVIA C) dodano trzeci, rezerwowy kanał nadawczo-odbiorczy, zapewniający pracę w systemie podwójnego *diversity* częstotliwości, nawet w przypadku awarii jednego z kanałów. W nadajniku zastosowano magnetrony o mocy impulsowej 1,5 MW przy szerokości impulsu 3 μ s, wystarczające do uzyskania wymaganego pokrycia przestrzeni. Wysoka stabilność nadajnika wyposażonego w modulatory ze stabilizacją napięcia impulsu zapewnia dobrą pracę systemu TES. W celu polepszenia wykrywania ech na tle odbić od obiektów naziemnych zastosowano dwuwiąz-

kowy system antenowy z charakterystyką antenową ostro podciętą od strony Ziemi.

Dla prawdopodobieństwa wykrycia 0,8 radar AVIA C zapewnia wykrywanie obiektów o powierzchni skutecznej 5 m² na odległości do 300 km przy pułapie do 25.000 m, kącie pokrycia w elewacji do 45° i częstotliwości odnawiania informacji co 6s (10 obr./min).

Antena radaru ma reflektor paraboliczny o rozpiętości 13 x 9 m zasilany 2 tubami. Szerokość wiązki w azymucie wynosi 1,2°.

Na wejściu układów odbiorczych wprowadzono wzmacniacz parametryczny, zastąpiony później wzmacniaczem tranzystorowym.

W radarze zastosowano analogowo-cyfrowy blok obróbki sygnałów wyposażony w kwadratowy układ filtrów okresowych z podwójnym odejmowaniem i sprzężeniem zwrotnym. Przy siedmiokrotnej przemienności częstotliwości powtarzania ślepe szybkości występują dopiero powyżej szybkości 3 M. Blok AC- BOSS zawiera układy stabilizacji poziomu fałszywego alarmu, integrator i korelator. Dynamika logarytmicznych torów odbiorczych wynosi 60dB. Współczynnik kompensacji ech stałych wynosi 36dB, a współczynnik widzialności – 25dB. Stacja AVIA D pracuje w tym samym pasmie częstotliwości co stacja AVIA C. Moc magnetronu w impulsie wynosi 0,8 MW przy szerokości impulsu 1,2 μ s i średniej częstotliwości powtarzania ok. 1000Hz (przy 5-krotnej przemienności). Przy 15 obr/min zasięg stacji wynosi ponad 100 km pułap 10.000 m przy wykrywaniu pojedynczym kanałem obiektu o powierzchni skutecznej 2 m² dla $P_{det} = 0,8$. Średni okres awaryjny szacowany jest na 800 h. W stacji zastosowane są dwa kanały nadawczo-odbiorcze. Antena ma reflektor o rozmiarach 12 x 4 m i wiązkę antenową o szerokości w azymucie 1,3°. Radary AVIA C i AVIA D przystosowane są do współpracy z radarem wtórnym.

W celu zapewnienia wysokiej niezawodności radaru wprowadzono:

- rezerwowe łożysko antenowe,
- podwójne mechanizmy napędu anteny,
- modułową konstrukcję aparatury,
- rozbudowane układy kontrolno-pomiarowe,
- system czasostery z automatycznie włączaną się rezerwą.

Informacja radiolokacyjna zobrazowana jest na wskaźniku panoramiczno-syntetycznym z lampą obrazową o średnicy 45 cm, z pulpitem wyposażonym w uniwersalną klawiaturę alfanumeryczną.

Aparatura nadawczo-odbiorcza umieszczona jest w 6-metrowych kontenerach typu ICC specjalnie adaptowanych dla tych celów i klimatyzowanych. Antena wraz z kabiną podantennową umiesz-

czona jest na wieży o wysokości ok. 20 m. Sygnały radiolokacyjne z aparatury odbiorczej umieszczonej obok wieży antenowej przekazywane są do sali techniczno-operacyjnej kablami współosiowymi na odległość do 5 km.

Szczegółowy opis rozwiązania radaru AVIA C i AVIA D przedstawiony był w Pracach PIT [15].

W 1978 r. radar AVIA D zainstalowany został w Berlinie na lotnisku Schönefeld Jednokanałową wersję radaru AVIA D stanowi AVIA W, dostarczona na lotniska wojskowe. Stacja ta była seryjnie produkowana w WZR RAWAR w znacznych ilościach.

Instalacja radarów AVIA

1958 – AVIA A – Warszawa Okęcie
1968 – AVIA B – Poznań
1969 – AVIA B – Cottbus – NRD
1970 – AVIA B – Neubrandenburg – NRD
1973 – AVIA BM – Pułtusk
1978 – AVIA D – Berlin Schönefeld – NRD
1981 – AVIA C – Buchtov – Kopec – CSRS
1984 – AVIA C - Velky Javornik – CSRS
1984 – 88 – AVIA D – Havana – Kuba
1984 – AVIA C – Poznań
1984- - 91 – AVIA W – Seria dla potrzeb specjalnych
1988 – AVIA CM – Praha Jih – CSRS
1990 – AVIA CM – Pułtusk
1990 – AVIA D – Drezno – NRD/RFN
1991 – modernizacja AVIA C - Poznań

W latach 1981 i 1984 radary AVIA C zainstalowane zostały w Czechosłowacji (Buchtov Kopec, Valky Javornik), a w 1984 r. w Poznaniu. Radary AVIA D dostarczono w 1984 r. do Havany na Kubie, gdzie zostały oddane do eksploatacji w 1988 r. Wykonano również serię radarów typu AVIA D dla odbiorcy specjalnego. W 1990 r. przekazano do eksploatacji radar AVIA D w Dreźnie.

W 1986 r. w ramach modernizacji radaru AVIA D zainstalowanego w Berlinie wprowadzono nowe rozwiązania obejmujące [16]:

- adaptywne sterowanie rodzajami pracy w oparciu o mapy zakłóceń,
- diversity polaryzacji,
- kanał meteorologiczny wytwarzający ciągłe zobrazowanie ech pogodowych z oznaczeniem obszarów dużej intensywności.

W 1988 r. zainstalowano radar kontroli obszaru AVIA CM w Czechosłowacji (Praha Jih). W stosunku do poprzednich rozwiązań w radarze tym wprowadzono nowy, w pełni adaptacyjny, system odbioru i przetwarzania sygnałów. Wprowadzenie systemu istotnie poprawiło możliwości wykrywania małych samolotów na tle silnych odbić w terenie górzystym. W radarze AVIA CM wprowadzono również kanał meteorologiczny z bardzo dobrą czułością (25dBz).

AVIA CM została również zainstalowana w 1990 r. w Pułtusku. Posterunek w Pułtusku jest wyposażony w monoimpulsowy radar wtórny firmy Westinghouse oraz ekstraktor radaru pierwotnego firmy Telefunken. Skorelowane meldunki z radaru pierwotnego i wtórnego są przesyłane wąskowstęgową linią radiową do centrum kontroli ruchu lotniczego w Warszawie [17-19].



Rys. 9.1. Stacja AVIA D zainstalowana na lotnisku Berlin-Schönefeld



Rys. 9.2. Stacja AVIA CM zainstalowana w Pułtusk



Rys. 9.3. Kabina operatora stacji AVIA CM w wieży podantennej



Rys. 9.4. Falowodowy trakt nadawczo-odbiorczy stacji AVIA CM



Rys. 9. 5. AVIA W na posterunku radiolokacyjnym

10. ZAUTOMATYZOWANE SYSTEMY ROZPOZNANIA RADIOLOKACYJNEGO, DOWODZENIA I KIEROWANIA

Jerzy Fiett¹, Aleksander Janyszek²

10.1. Wstęp

W Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji w roku 1963 został utworzony Zakład Techniki Cyfrowej. Do zakładu przeniesiono pracowników z zakładów n-b PIT. W roku 1964 w zakładzie rozpoczęła pracę grupa inżynierów i matematyków z Instytutu Maszyn Matematycznych.

Nowy zakład stał się atrakcyjnym miejscem pracy dla absolwentów Politechniki Warszawskiej i Uniwersytetu Warszawskiego.

Zakład Techniki Cyfrowej został włączony do realizacji pracy HAWANA. Celem tej pracy było wykonanie modelu 3-współrzędnej stacji radiolokacyjnej. W stacji tej, po raz pierwszy w historii polskiej radiolokacji, zastosowano „Uniwersalną Maszynę Cyfrową ODRA 1204” – tak w tamtych czasach nazywano komputer. Maszyna była opracowana i produkowana przez Wrocławskie Zakłady Elektroniczne ELWRO (zakład został zlikwidowany w latach 90.).

Sprzężenie „świata analogowego”, jakim była część nadawczo-odbiorcza stacji radiolokacyjnej, ze „światem cyfrowym” wymagało opracowania specjalnych urządzeń, w tym przetworników typu „analog-cyfra”. Szybki przetwornik typu „napięcie-cyfra” zapewnił pomiar amplitud sygnałów wizyjnych na wyjściu torów odbiorczych (dane do określenia przez komputer współrzędnej wysokości).

Przetworniki typu „odcinek czasu – cyfra” i „kął – cyfra” przetwarzały na postać cyfrową odległości i azymut wykrytych obiektów powietrznych. Automatyczne wykrywanie obiektów powietrznych zapewniło opracowane urządzenie REX-10 (radiolokacyjny ekstraktor), do budowy którego zastosowano pamięć ferrytową jako linię opóźniającą.

Do badań efektywności algorytmów wykrywania obiektów powietrznych stosowano modelowanie matematyczne z wykorzystaniem komputera ODRA 1204. Komputer stał się narzędziem pracy w Instytucie.

W roku 1972 model 3-współrzędnej stacji radiolokacyjnej HAWANA przeszedł badania poligonowe. Stacja spełniała wymagane funkcje – co 10 sek. (tyle wynosił czas obrotu anteny stacji o 360°), dla wszystkich automatycznie wykrytych obiektów powietrznych, określała ich azymut, odległość, wysokość.

Praca HAWANA spowodowała szybkie upowszechnienie zastosowania techniki cyfrowej i technologii stosowanych w przemyśle komputerowym również w polskiej radiolokacji.

Na bazie prac realizowanych nad tematem HAWANA rozpoczął się szybki rozwój w PIT tematyki obejmującej oprogramowanie, problematykę konstrukcji modułowych i nowych technologii. Podejmowano m.in. takie tematy, jak zestaw tranzystorowych modułów techniki cyfrowej MM-16, system testowania pakietów wraz z językiem pisania testów JAT, pamięć ferrytowa dostosowana do pracy w trudnych warunkach otoczenia, selektory rdzeni ferrytowych, technologia i montaż obwodów drukowanych, pierwsze konstrukcje modułowe - kasety, technika połączeń owijanych.

Jednocześnie PIT prowadził wspólnie z innymi zainteresowanymi instytucjami (IMM, ELWRO) ożywioną działalność zmierzającą do ukierunkowania polskiego przemysłu na perspektywiczne technologie. Warunkiem koniecznym wprowadzenia nowej techniki urządzeń elektronicznych o wysokim stopniu złożoności, a przede wszystkim komputerów i urządzeń opartych na technice cyfrowej do praktyki przemysłowej było opanowanie technologii obwodów jedno i wielowarstwowych, uzyskanie złącz wielostykowych do obwodów drukowanych odpowiedniej jakości, wprowadzenie technologii połączeń owijanych. W szczególności w zastosowaniach militarnych i w sprzęcie profesjonalnym miało to decydujący wpływ na akceptację przez użytkownika nowych rozwiązań, głównie ze względu na wymaganą niezawodność pracy w trudnych warunkach eksploatacji.

¹ W latach 1964- 1972 Kierownik Zakładu Techniki Cyfrowej, a w latach 1976- 1991 Dyrektor Naczelny PIT.

² W roku 1979 w PIT został utworzony pion Zautomatyzowanych Systemów Kierowania. Organizator pionu i pierwszy jego kierownik – zastępca dyrektora PIT w latach 1979-2001.

Model stacji 3-współrzędnej był dobrym demonstratorem możliwości uniwersalnych maszyn cyfrowych w zakresie realizacji złożonych funkcji w czasie rzeczywistym. Natomiast w PIT zaczęła się wyraźnie kształtować tematyka systemowa dotycząca systemów obrony powietrznej w tym systemów rozpoznania radiolokacyjnego.

Do początku lat 90. zadania Obrony Powietrznej były wykonywane przez odrębne rodzaje Sił Zbrojnych: Wojska Obrony Powietrznej Kraju, Wojska Lotnicze, Marynarkę Wojenną. W Wojskach Lądowych, które również były odrębnym rodzajem sił zbrojnych (RSZ), istnieje oddzielny rodzaj wojsk – Wojska Obrony Przeciwlotniczej. Wszystkie wymienione RSZ dysponowały specjalistycznymi siłami i środkami naziemnej obrony przeciwlotniczej, rozpoznania radiolokacyjnego oraz lotnictwem.

Każdy RSZ posiadał własny system rozpoznania radiolokacyjnego oraz system dowodzenia i kierowania, a także prowadził działania ukierunkowane na doskonalenie eksploatowanych systemów.

Na przełomie lat 60. i 70. była realizowana praca MONAKO. Wykonawcą tej pracy był zespół specjalistów przemysłu radiolokacyjnego i wojska. Zespołem kierował płk. doc. dr inż. T. Kątcki (WAT). Analiza potrzeb wszystkich rodzajów sił zbrojnych, kierunki rozwoju zautomatyzowanych systemów OP, możliwość budowy systemów na bazie zunifikowanych elementów (modułów) to najważniejsze tematy pracy zespołu.

WOPK już w latach 60. eksploatowały zautomatyzowany system zbioru i zobrazowania informacji radiolokacyjnej WOZDUCH 1P (prod. ZSRR) oraz tzw. „system planszetyowy”.

Żaden z tych systemów w latach 70. nie spełniał już wymagań tych wojsk. Istniała pilna potrzeba automatyzacji przede wszystkim podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego WOPK.

Osiągnięcia polskiego przemysłu w dziedzinie radiolokacji oraz wnioski z pracy MONAKO utrwalały przekonanie w przemyśle i wojsku o celowości podjęcia prac systemowych w kraju. Został zrobiony pierwszy krok – na początku lat 70. w PIT uruchomiono pracę DUNAJEC.

Polskie systemy nie powstałyby bez udziału ich użytkowników i oficerów kierujących opracowaniem uzbrojenia i sprzętu wojskowego, a szczególnie gen. dyw W. Wojciechowskiego i płk J. Ścieżki.

Wdrożenie do produkcji urządzeń, obiektów i systemów oraz zapewnienie ich dostaw dla Wojska Polskiego jak i dla zagranicznych odbiorców, to przede wszystkim zasługa pracowników: WZR RAWAR, WZE ELWRO, Zakładu Produkcji Doświadczalnej PIT oraz ich kooperantów. Wdrożenie zautomatyzowanych systemów (obiektów, urządzeń) do eksploatacji było i jest trudnym zadaniem

dla użytkownika (wojska) jak i dostawcy (przemysłu). Zadanie to byłoby zapewne jeszcze trudniejsze bez wyszkolonych obsług. Szkolenie obsług polskich systemów zapewniła Wyższa Oficerska Szkoła Radiotechniczna, a później Centrum Szkolenia Radiotechnicznego w Jeleniej Górze. Znaczący udział w szkoleniu miała również Wojskowa Akademia Techniczna.

Działalność PIT w dziedzinie automatyzacji systemów rozpoznania radiolokacyjnego oraz systemu dowodzenia i kierowania obroną powietrzną obejmuje projektowanie, wykonawstwo prototypów, badania. Instytut w uzasadnionych przypadkach podejmuje również produkcję oraz szkolenie obsługi technicznej i operacyjnej. W ciągu całego cyklu życia, - opracowanych przez PIT zautomatyzowanych systemów, - zapewniona jest pomoc techniczna.

10.2. Zautomatyzowane systemy Wojsk Obrony Powietrznej oraz Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej

10.2.1. Podsystem rozpoznania radiolokacyjnego

Opracowane przez WOPK założenia na pracę DUNAJEC zawierały wymagania na dwa obiekty automatyzacji podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego szczebla taktycznego (batalionu radiotechnicznego). Jeden z nich RPT-11³ miał zapewnić automatyzację posterunków radiolokacyjnych, a drugi RPT-21 głównego posterunku radiolokacyjnego. Zadaniem głównego posterunku radiolokacyjnego razem z podległymi posterunkami radiolokacyjnymi (oddalone posterunki) było zapewnienie jednolitej (uogólnionej) informacji o sytuacji powietrznej w obszarze odpowiedzialności batalionu radiotechnicznego (brt) przy wykorzystaniu stacji radiolokacyjnych rozwiniętych na posterunkach.

Założenia na pracę DUNAJEC zawierały również wymagania, których realizacji WOPK oczekiwało w przyszłości (wymagania rozwojowe).

Przyjęta została koncepcja realizacji wymagań WOPK, którą można opisać następującym zdaniem: „co nieco opracować, co nieco przetestować, co nieco wdrożyć”. To „co nieco” było celem, który należało osiągnąć na pierwszym etapie realizacji pracy i w następnych etapach realizowanych już w czasie eksploatacji obiektów.

Doświadczenia z pracy HAWANA sprawiły, że przyjęto w owym czasie jedyną perspektywiczną koncepcję wykorzystania uniwersalnej maszyny cyfrowej (komputera) jako centralnej części każdego obiektu automatyzacji.

³ Na etapie opracowania obiekty te miały nazwy: DS.-11 i DS.-21

Centralną częścią obiektu RPT-21 były dwie maszyny cyfrowe RODAN-10 (prod. WZE ELWRO) połączone kanałem współpracy międzymaszynowej. Maszyny te za pomocą urządzeń transmisji danych z szybkością 60 lub 200 bit/s były połączone z trzema, a później i pięcioma oddalonymi kompaniami radiotechnicznymi (krt), tj. z obiektami RPT-11. Centralną częścią obiektu RPT-11 była tylko jedna maszyna RODAN-10 (decyzja podyktowana względami ekonomicznymi). Maszyna cyfrowa RODAN-10 powstała na bazie produkowanej przez WZE ELWRO maszyny cyfrowej ODRA 1325 (opracowanie na podstawie licencji angielskiej firmy ICL). Maszynę ODRA 1325 dostosowano do eksploatacji w warunkach, jakie występują w specjalnych pomieszczeniach stacjonarnych – miejscach rozwinięcia obiektów. Dzisiaj powiedzielibyśmy, że RODAN-10 to pierwszy w kraju komputer wzmocniony (ang. ruggedized computer).

Przyjęty tryb opracowania maszyny zapewnił możliwość stosowania dostępnej maszyny ODRA 1325 do opracowania oprogramowania oraz urządzeń współpracujących z maszyną RODAN-10; interfejsy w maszynie RODAN-10 i ODRA 1325 były takie same (również na poziomie fizycznym). Wdrożenie do produkcji maszyny RODAN-10 wymagało stosunkowo małych nakładów finansowych i nie było elementem krytycznym w czasie realizacji pracy DUNAJEC.

Oprogramowanie maszyny ODRA 1325 zostało wykorzystane przy opracowaniu systemu operacyjnego EXTRA (późniejsza udoskonalona wersja systemu operacyjnego nosi nazwę MOS), a także do badań np. algorytmów śledzenia obiektów powietrznych.

Podstawowym środkiem zobrazowania informacji w obiektach był wskaźnik panoramiczno – syntetyczny WPS-10 (rys. 10.1). Wskaźnik był zautomatyzowanym miejscem pracy osób funkcyjnych (operatorów). WPS-10 to pierwszy w Polsce wskaźnik, w którym na tak dużą skalę zastosowano technikę cyfrową, w tym również dla generacji podstawy czasu z konwerterem typu „cyfra – napięcie”. Wskaźnik umożliwiał zobrazowanie informacji analogowej z jednego lub dwóch źródeł (wybór źródła przez operatora), albo zobrazowanie łączne informacji analogowej i cyfrowej, albo też zobrazowanie tylko informacji cyfrowej.

Źródłem informacji analogowej były stacje radiolokacyjne. Wskaźnik zapewniał komunikację z wykorzystywaną stacją radiolokacyjną np. sterowanie urządzeniem identyfikacji („swój-obcy”). Źródłem informacji cyfrowej był komputer RODAN-10; wskaźnik umożliwiał sprzężenie z dwoma komputerami, ale pracę z jednym wybranym (wybór przez operatora). Na wskaźniku można było zobrazować oprócz znaków alfanumerycznych

również prostą grafikę. Ponadto wskaźnik umożliwiał sterowanie i zobrazowanie informacji z dwóch radionamierników. Funkcja ta okazała się przydatną przy zastosowaniu wskaźnika na „wieży” portu lotniczego.

Operator do komunikacji z komputerem (oprogramowaniem systemowym, użytkowym) używał uniwersalnej klawiatury alfanumerycznej, elektronowego znacznika z mechanizmem kulowym (analog dzisiejszej „myszy”) oraz klawiatury specjalizowanej. Znacznik elektronowy można było przemieszczać po ekranie wskaźnika z dwoma prędkościami. Klawiatura specjalizowana była wykorzystywana do szybkiego uruchamiania wybranych funkcji, np. do inicjowania śledzenia wykrytego obiektu, wprowadzania korekty w procesie śledzenia obiektu powietrzego, dopisania do śledzonej trasy cechy „swój – obcy”.

Ponadto w skład obiektów RPT-11 i RPT-21 wchodziły urządzenia, które zapewniały dołączenie do obiektów stacji radiolokacyjnych oraz dystrybucję sygnałów analogowych i transmisję danych.



Rys. 10.1. Wskaźnik panoramiczno-syntetyczny WPS - 10

Zastosowane rozwiązanie sprzętowe oraz programowe w obiektach RPT-11 i RPT-21 zapewniały:

- śledzenie obiektów powietrznych na podstawie informacji z wielu źródeł radiolokacyjnych,
- dystrybucję jednolitej informacji o sytuacji powietrznej, w tym przekazywanie do obiektów szczebla operacyjno – taktycznego (system CYBER),
- kierowanie podsystemem rozpoznania radiolokacyjnego szczebla taktycznego. Komendy i meldunki były przekazywane za pomocą dwóch cyfr.

Zapewniało to wymaganą skrytość kierowania (kodowanie i dekodowanie za pomocą tablicy kodowej).

Na podstawie pozytywnych wyników badań państwowych prototypów obiektów została podjęta decyzja o wykonaniu tzw. dostawy specjalnej przed uruchomieniem produkcji seryjnej. Dostawa specjalna obejmowała jeden obiekt RPT-21 i trzy obiekty RPT-11. Obiekty zostały zintegrowane z otoczeniem systemowym batalionu radiotechnicznego, (stacje radiolokacyjne różnych typów i dostawców, system łączności). Szkolenie obsługi operacyjnej i technicznej przeprowadził PIT i WITU.

Stworzone zostały warunki dla pełnej weryfikacji parametrów podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego, w tym wszystkich funkcji systemowych w warunkach rzeczywistych. Wykonawcą dostawy specjalnej był Zakład Doświadczalny PIT. W WZR RAWAR zostały wdrożone do produkcji obiekty z uwzględnieniem zaleceń z badań dostawy specjalnej.

Opracowaniem, badaniami, wdrożeniem do produkcji obiektów oraz podsystemu zautomatyzowanego rozpoznania radiolokacyjnego do eksploatacji kierował główny projektant dr inż. A. Janyszek.

Oprogramowanie zostało opracowane przez PIT przy udziale pracowników WITU.

Zespół pracowników uczestniczący w opracowaniu i wdrożeniu tych obiektów w składzie: dr inż. A. Janyszek, gen bryg. inż. W. Wojciechowski, płk mgr inż. J. Ścieżka, płk dr inż. K. Zasada, mgr inż. Z. Pajewski, dr inż. K. Marcinkowski, inż. J. Jurzysta, mgr inż. W. Szelenbaum, ppłk mgr inż. F. Michalski, inż. I. Kulcenty, ppłk inż. J. Zając, kpt mgr inż. S. Burak, mgr W. Bielska, mgr inż. J. Rychlik i inż. R. Beluch, został w 1978 r. wyróżniony nagrodą I stopnia (zespołową) Ministra Obrony Narodowej.

W 1979 roku Minister Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki przyznał nagrodę za pracę pt. „Opracowanie i wdrożenie do produkcji zestawu

DUNAJEC”. Nagrodą została wyróżniona grupa pracowników PIT, WZR RAWAR, WITU, WZE ELWRO i 96 RPW.

W 1980 roku główni twórcy oraz organizatorzy produkcji i wdrożenia do eksploatacji obiektów automatyzacji otrzymali Nagrodę Państwową II stopnia (zespołową). Nagrodę tę otrzymali: dr inż. A. Janyszek, inż. R. Beluch, doc. mgr inż. J. Fielt, inż. J. Jurzysta, technik W. Łukasik, ppłk mgr inż. F. Michalski, mgr inż. Z. Pajewski, mgr inż. J. Rychlik, płk mgr inż. J. Ścieżka, gen bryg. inż. W. Wojciechowski i płk dr inż. K. Zasada.

Pierwsza połowa lat 80. to czas realizacji drugiego etapu pracy DUNAJEC. Celem prac była zamiana w obiektach RPT-11 i RPT-21 (obiekty później otrzymały nowe nazwy RPT-10 i RPT-20) wykorzystywanych urządzeń systemu WOZDUCH 1P, urządzeniami polskimi oraz rozszerzenie liczby i funkcji realizowanych w trybie automatycznym. Kolejnym celem była poprawa parametrów eksploatacyjnych (niezawodność, czas osiągania gotowości bojowej).

W obiektach zastosowano:

- zestaw urządzeń do współpracy z radiolokacyjnym wysokościomierzem. Zestaw umożliwiał: automatyczne ustawienie anteny wysokościomierza na żądanym azymucie i wskazanie obiektu powietrznego na wskaźniku pomiaru wysokości (odległość, i „stara” wysokość) oraz półautomatyczny pomiar i przesyłanie wyniku do komputera RODAN-10,
- wielomikroprocesorowy system ASM-10 dla realizacji podstawowych funkcji obiektu RPT-10 w przypadku awarii komputera RODAN-10. Zapewniało to ciągłość pracy posterunku radiolokacyjnego,
- urządzenie automatycznego wykrywania obiektów powietrznych oraz automatyczną inicjację śledzenia wykrytych obiektów powietrznych,
- automatyczne śledzenie nośników zakłóceń typu szumowego.

W obiekcie RPT-20 wskaźniki WPS-10 zamieniono nowymi wskaźnikami WPS-11 (rys.10.2). Natomiast wycofane wskaźniki WPS-10 zostały zastosowane w obiektach RPT-10, w których zwiększono liczbę wskaźników.

Nowa wersja oprogramowania użytkowego dla zmodernizowanych obiektów została opracowana przez WITU. Pozytywne wyniki badań zmodernizowanych obiektów umożliwiły wdrożenie nowych urządzeń do produkcji w WZR RAWAR oraz modernizację eksploatowanych obiektów. Modernizację wykonał również WZR RAWAR bezpośrednio u użytkownika obiektów.



Rys. 10.2. Wskaźnik panoramiczno-syntetyczny WPS -11

Od początku lat 80. modernizacją obiektów kierował mgr inż. A. Kątcki.

Zespół głównych twórców zmodernizowanych obiektów w składzie: dr inż. A. Janyszek, mgr inż. A. Kątcki, mgr inż. Z. Pajewski, płk mgr inż. S. Ramel, mgr inż. S. Durbajło, płk mgr inż. T. Mikoś, mgr inż. J. Rozum, płk mgr inż. W. Skrzyński i mjr mgr inż. T. Bondarowicz został w 1985 r. wyróżniony nagrodą I stopnia (zespołową) Ministra Obrony Narodowej.

Nowy wskaźnik WPS-11 znalazł wiele innych zastosowań. Został wdrożony do produkcji w WZR RAWAR i wyprodukowany w ilości kilkuset sztuk. Był wielokrotnie modernizowany głównie przez PIT.

Za opracowanie i wdrożenie wskaźnika WPS-11 zespół pracowników PIT, WZR RAWAR i WITU w składzie: mgr inż. J. Rychlik, mgr inż. W. Ziółkowski, mgr inż. G. Świstak, mgr inż. E. Czapczyńska, technik R. Cedro, ppłk mgr inż. J. Zając i inż. A. Gruszczyński otrzymał w 1983 r. nagrodę III stopnia (zespołową) Ministra Obrony Narodowej.

Doświadczenia z automatyzacji podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego szczebla taktycznego wykorzystano w latach 80. do opracowania zautomatyzowanego podsystemu kierowania walką radioelektroniczną WRE. Podsystem umożliwiał zbieranie informacji ze stacji rozpoznania radioelektronicznego, przetwarzanie tej informacji i kierowanie stacjami zakłócania źródeł promieniowania elektromagnetycznego na samolotach lotnictwa uderzeniowego.

Na bazie nadwozia kontenerowego, transportowanego na samochodzie TATRA 815 zbudowano obiekt RUDNIA – centralny element podsystemu. Do budowy obiektu zastosowano między innymi

maszynę cyfrową UMJS-10 (prod. IKSAiP Wrocław) i wskaźniki WPS-11.

Oprogramowanie obiektu RUDNIA zostało opracowane przez zespół programistów WOPK. Do sprzężenia obiektu RUDNIA ze stacjami rozpoznania radioelektronicznego i stacjami zakłóceń opracowano przenośny pulpit – terminal, który został wprowadzony do wyposażenia tych stacji.

Terminal zapewniał odbiór komend i ich zobrazowanie, oraz redagowanie sformalizowanych meldunków np. o wykryciu źródła promieniowania (azymut, częstotliwość) i ich przesyłanie do obiektu RUDNIA. Zastosowana sygnalizacja świetlna i dźwiękowa informowała operatora o odebraniu komendy (polecenia) z obiektu RUDNIA.

Obiekt RUDNIA ze stacjami rozpoznania i zakłóceń (terminalami) współpracował za pomocą specjalnego podsystemu łączności (opr. WIŁ), do budowy którego zostały wykorzystane eksploatowane radiolinie.

Do obiektu RUDNIA mogła być dołączona stacja radiolokacyjna (odległościomierz), a odbierana informacja zobrazowana na wskaźnikach WPS-11.

Zespół twórców obiektów automatyzacji podsystemów kierowania walką radioelektroniczną został wyróżniony w 1985 r. Nagrodą Ministra Obrony Narodowej II stopnia (zespołową).

Nagrodę otrzymali: dr inż. Z. Maik, mgr inż. S. Szewczyk, mgr inż. A. Karpa, technik J. Berliński, ppłk mgr inż. J. Misztal, płk mgr inż. E. Sołtysiak, płk mgr inż. B. Jaworski, mgr inż. M. Paluch, J. Balik, płk mgr inż. K. Wawrzykowski.

Głównym projektantem podsystemu kierowania walką radioelektroniczną był dr inż. Z. Maik.

Trzeci etap rozwoju obiektów RPT-20 i RPT-10, realizowany na początku lat 90. zapewnił integrację tych obiektów z odrębnymi systemami kierowania środkami obrony powietrznej szczebla taktycznego. Opracowano i wdrożono interfejs zapewniający wymianę informacji pomiędzy obiektem RPT-20 i kabiną WP-11M (prod. ZSRR). Kabina wchodziła w skład punktu naprowadzania lotnictwa myśliwskiego.

Opracowany interfejs zapewniał wymianę informacji pomiędzy kabiną, a obiektem RPT-20 (informacja o sytuacji powietrznej, zadanie dla nawigatora naprowadzania, meldunki o gotowości i prowadzonej działalności bojowej).

W roku 1992 został wdrożony do eksploatacji interfejs obiektu RPT-20 z systemem kierowania działaniami bojowymi wojsk raketowych i naprowadzania samolotów myśliwskich – WEKTOR (prod. ZSRR) [27].

Sprzężenie (interfejs) obiektu RPT-20 z systemem WEKTOR zostało zrealizowane za pomocą opracowanego urządzenia EP-10 (sprzęt, oprogramowanie), które podłączono do głównego i rezerwowego komputera RODAN-10. W skład urządzenia EP-10 wchodził mikrokomputer w wykonaniu przemysłowym (Intel 386, dysk twardy 40MB) i

specjalne urządzenie transmisji danych o szybkości 1200 bit/s do dwustronnej wymiany informacji z systemem WEKTOR. Interfejs zapewniał przesyłanie z obiektu RPT-20 do systemu WEKTOR informacji o sytuacji powietrznej, zadań bojowych na zwalczanie celów powietrznych oraz odbiór przez obiekt RPT-20 meldunków o gotowości i prowadzonej działalności bojowej.

Realizacja interfejsów wymagała rozszerzenia oprogramowania RPT-20. Kolejna wersja oprogramowania została opracowana przez WITU i wdrożona do eksploatacji. Wersja ta zapewniała również wymianę danych z obiektem RUDNIA (informacja o sytuacji powietrznej, zadanie bojowe, meldunki o gotowości i prowadzonej działalności środków WRE) oraz wymianę danych z obiektem CYBER (szczebel operacyjno-taktyczny).

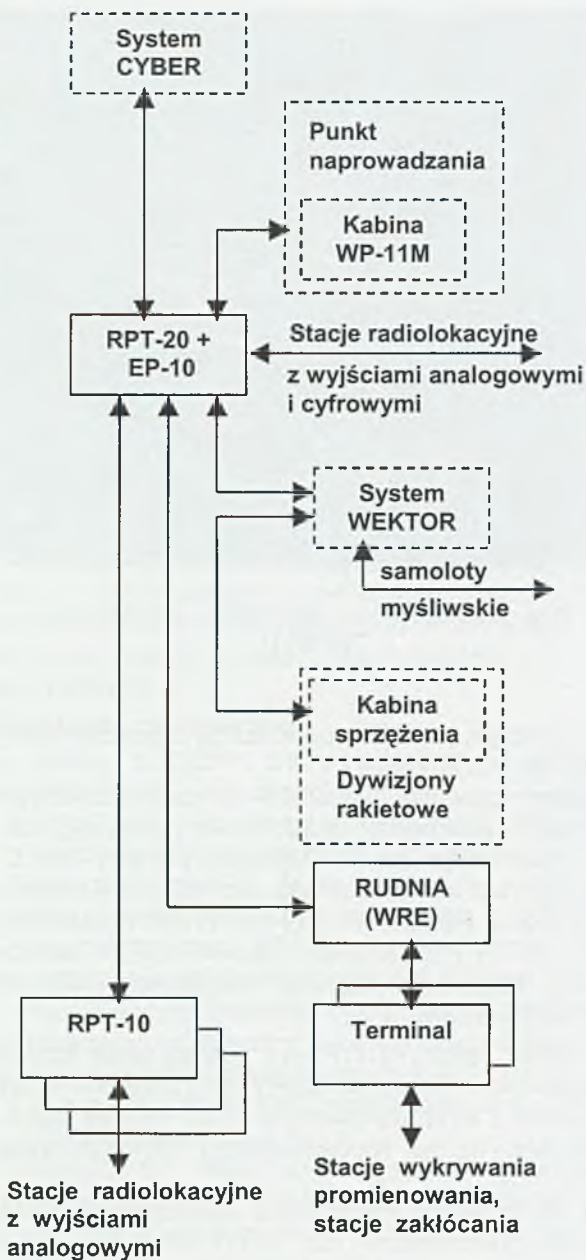
W wyniku realizacji opisanych przedsięwzięć stworzono możliwość zautomatyzowanego kierowania działaniami lotnictwa myśliwskiego, wojskami raketowymi, środkami WRE ze szczebla operacyjno-taktycznego (system CYBER), a w razie potrzeby ze szczebla taktycznego (RPT-20 zapewniał możliwość stawiania zadań i kontrolę przebiegu ich realizacji).

Działania bojowe środków obrony powietrznej były prowadzone przy wykorzystaniu jednolitej informacji o sytuacji powietrznej, źródłem której jest obiekt RPT-20 z podległymi obiektami RPT-10. Zapewniano – w tamtych latach unikalną – możliwość wykorzystania w podsystemie rozpoznania radiolokacyjnego informacji ze stacji rozpoznania radioelektronicznego, za pośrednictwem obiektu RUDNIA (informacja o wykryciu obiektu powietrznego, prawdopodobnym jego typie).

Na początku lat 90. zrealizowano również wiele przedsięwzięć, których celem była poprawa parametrów eksploatacyjnych obiektów, w szczególności:

- w komputerach RODAN-10 pamięć na rdzeniach ferrytowych została zamieniona na pamięć półprzewodnikową (układy scalone dużej skali integracji). Nastąpiła radykalna poprawa wskaźników niezawodności eksploatowanych obiektów,
- w obiektach RPT-20 zapewniono pracę zestawu dwóch komputerów RODAN-10 w trybie tzw. „gorącej rezerwy”.

W ciągu kilku lat w wyniku realizacji kolejnych etapów pracy DUNAJEC powstał zautomatyzowany system rozpoznania radiolokacyjnego oraz dowodzenia i kierowania środkami walki szczebla taktycznego, pokazany na rys. 10.3. (system CYBER był opracowany przez WAT).



Rys. 10.3. Zautomatyzowany system obrony powietrznej – szczebel taktyczny

Zbudowany system zapewnił skrócenie czasu reakcji ogniowej i zwiększenie precyzji (dokładności) rażenia środków napadu powietrznego. Zapewnia on realizację w czasie rzeczywistym cyklu kierowania obejmującego: wykrycie celów powietrznych, identyfikację i ich śledzenie oraz rozdział celów, wskazanie celów, a na koniec odbiór meldunków o wynikach walki. Kierowanie walką z przeciwnikiem powietrznym było możliwe ze szczebla operacyjno – taktycznego oraz z szczebla taktycznego.

Niewiele krajów na świecie może opracować i wdrożyć do eksploatacji taki system.

Druga połowa lat 90. to czas szybkiego moralnego starzenia się zautomatyzowanego systemu OP eksploatowanego przez WLiOP; z eksploatacji zostają wycofane systemy WEKTOR i kabiny WP-11M. Druga połowa lat 90. to również czas realizacji pracy DUNAJ. Jednakże proces wycofania z eksploatacji obiektów RPT-20 i RPT-10 rozpoczął się dopiero na początku 21. wieku.

10.2.2. Zautomatyzowany system dowodzenia i kierowania pułku lotnictwa myśliwskiego

Celem pracy ORZYC było opracowanie oraz wdrożenie zautomatyzowanego systemu dowodzenia i kierowania Wojskami Lotniczymi.

Pracę ORZYC rozpoczęto w warunkach istnienia świata „dwubiegunowego”. W Wojskach Lotniczych były dywizje i pułki lotnictwa myśliwskiego oraz myśliwsko-bombowego. Pracę realizowano w warunkach zachodzących zmian w technice, ekonomice i wojsku.

W roku 1990 w Siłach Zbrojnych RP powstał nowy Rodzaj Sił Zbrojnych - Wojska Lotnicze i Obrony Powietrznej WLiOP. Nowy rodzaj sił zbrojnych powstał z połączenia dwóch odrębnych rodzajów sił zbrojnych: Wojsk Obrony Powietrznej Kraju i Wojsk Lotniczych. Miało to istotny wpływ na dalszy przebieg pracy ORZYC. Zakres prac został ograniczony do systemu dowodzenia i kierowania pułku lotnictwa myśliwskiego PLM.

System ten był już postrzegany jako element zautomatyzowanego systemu WLiOP szczebla taktycznego.

Przedstawiony do badań państwowych system dowodzenia i kierowania PLM zapewniał automatyzację stanowiska dowodzenia za pomocą obiektu DL-30, a głównego punktu naprowadzania i podległych wysuniętych punktów naprowadzania za pomocą obiektu DL-15. Strukturę techniczną automatyzacji głównego punktu naprowadzania tworzyły dwa obiekty DL-15 (jedna lokalna sieć komputerowa).

Terminal TU-20L, rozwinięty na wieży portu lotniczego, zapewniał automatyzację stanowiska kierowania lotami w obszarze lotniska.

Terminal TU-10 (przenośny komputer) był przeznaczony dla SD eskadr. Zapewniał wymianę informacji pomiędzy SD pułku i SD eskadr, w tym aktualizację bazy danych w obiekcie DL-30 (dane o pilotach i samolotach, starty, lądowania itd.).

Do budowy obiektów DL-15 i DL-30 zastosowano zestaw zunifikowanych urządzeń oraz nadwozie kontenerowe. Nadwozie wraz z wyposażeniem (kabina) jest transportowane na podwoziu samochodu TATRA-815. Wyposażenie nadwozia w podnośniki (mechaniczne) umożliwia jego zdejmowanie z samochodu i ustawianie na samochodzie. Nadwozie jest wyposażone w urządzenia

zapewniające „mikroklimat” wewnątrz kontenera. Krótkotrwałe zaniki napięcia sieci energetycznej nie powodują przerwy w pracy kabiny.

Obiekt DL-30 składał się z kabiny technicznej oraz dwóch kabin operacyjnych.

W każdej kabine operacyjnej jest 5 zautomatyzowanych stanowisk pracy. Architektura obiektu DL-30 była oparta o model lokalnej sieci komputerowej (Ethernet).

Obiekt DL-15 składa się z jednej kabiny, którą nazywano kabiną naprowadzania

Badania państwowe zautomatyzowanego systemu dowodzenia pułku lotnictwa myśliwskiego zakończono w 1999 roku.

Została podjęta decyzja o wdrożeniu do produkcji i eksploatacji w WLiOP terminala TU-20L i obiektu DL-15 w wykonaniu zapewniającym eksploatację w pomieszczeniach stacjonarnych i ogrzewanych z możliwością stosowania urządzeń w wykonaniu komercyjnym.

Oprogramowanie obiektu DL-30 zostało opracowane przez Centrum Informatyki SG WP przy współpracy z zespołem programistów WLiOP. Oprogramowanie terminala TU-20L i obiektu DL-15 zostało opracowane w PIT, przy współpracy z oficerami WLiOP.

Głównym projektantem systemu ORZYC był mgr inż. A. Kątki.

Przebieg pracy ORZYC pokazuje bardzo duże uzależnienie prac systemowych od zmian zachodzących w strukturach organizacyjnych wojsk i ich uzbrojeniu oraz na potrzebę stosowania rozwiązań technicznych (sprzęt, oprogramowanie), które mogą być łatwo adaptowane do nowych wymagań użytkownika lub zastosowanie w innych systemach.

10.2.3. Obiekt DL-15

Główną część wyposażenia obiektu DL-15 stanowią urządzenia informatyczne, urządzenia do współpracy ze stacjami radiolokacyjnymi oraz środki łączności, w tym pulpit do zdalnego sterowania radiostacjami „ziemia – powietrze”. Radiostacje te są wykorzystywane przez nawigatorów naprowadzania, do przekazywania (głosem) komend (informacji) na pokład samolotów [28].

Zunifikowane zautomatyzowane miejsca pracy są przeznaczone dla starszego nawigatora naprowadzania (kieruje pracą nawigatorów naprowadzania) i dwóch nawigatorów naprowadzania. Kabina jest również miejscem pracy operatora, którego głównym zadaniem jest zapewnienie nawigatorom naprowadzania, informacji o sytuacji powietrznej. Jakość tej informacji powinna zapewniać realizację otrzymywanych zadań bojowych tj. procesu naprowadzania.

Nawigatorzy wykonują:

- naprowadzanie samolotów na cele powietrzne i naziemne,
- każdy nawigator może naprowadzać 3 samoloty myśliwskie (trzy grupy) na 3 cele powietrzne (trzy grupy),
- doprowadzenie samolotów do stref dyżurowania w powietrzu i do lotniska lądowania,
- doprowadzenie do spotkania samolotów myśliwskich (osłony) z grupą lotnictwa uderzeniowego oraz z samolotami tankowania w powietrzu (w strefach tankowania lub na trasach lotu).

Zadania te mogą być realizowane z wykorzystaniem informacji o sytuacji powietrznej w postaci analogowej lub cyfrowej. Źródłem informacji analogowej są stacje radiolokacyjne (2 odległościomierze i 2 wysokościomierze), a informacji cyfrowej stacje radiolokacyjne z wyjściami cyfrowymi lub obiekty podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego.

Informacje analogowe są zobrazowywane na monitorach nawigatorów i mogą być wykorzystane do naprowadzania sposobem „foniczno-wzrokowym”. Natomiast informacja cyfrowa jest wykorzystywana przede wszystkim do naprowadzania ze wspomaganie komputerowym w tym do:

- wstępnych obliczeń nawigatorskich (ustalenie możliwości przechwycenia celu przez wskazany myśliwiec),
- bezpośredniego naprowadzania (nawigatorowi naprowadzania jest proponowana trajektoria lotu oraz komendy, które należy przekazywać pilotowi myśliwca, aby przechwycić cel powietrzny).

Naprowadzanie ze wspomaganie komputerowym może być realizowane przy użyciu 6 metod naprowadzania w tym: ataku z przedniej albo tylnej półsfery, pościgu i manewru. Samolot myśliwski może mieć różne uzbrojenie (podwieszenia), różną ilość paliwa, różne lotnisko lądowania po wykonaniu zadania.

Przechwycenie celu może nastąpić na zadanej rubieży albo na rubieży możliwej. Do przechwycenia celu mogą być wykorzystane samoloty znajdujące się w strefie dyżurowania powietrznego lub samoloty znajdujące się na lotniskach w określonej gotowości bojowej. Możliwa jest zmiana zadania bojowego dla samolotu znajdującego się w powietrzu.

Głównym elementem każdego zautomatyzowanego miejsca pracy w kabine naprowadzania jest specjalizowany komputer, do którego są podłączone: monitor rastrowy (dużej rozdzielczości), klawiatura i „mysz” oraz klawiatura specjalna dla potrzeb obliczeń nawigatorskich. Miejsce pracy jest dołączone do lokalnej sieci komputerowej kabiny. Komputer specjalizowany zapewnia również przetwarzanie informacji analogowej odbieranej ze stacji radiolokacyjnych (odległościomierze i wyso-

kościomierze) na postać umożliwiającą zobrazowanie na monitorze rastrowym (funkcje wskaźnika panoramicznego).

Zautomatyzowane miejsce pracy zapewnia możliwość realizacji zautomatyzowanego pomiaru wysokości funkcji, która w systemie DUNAJEC była realizowana przez odrębne urządzenia tj. wskaźnik WPS-10(11) i wskaźnik pomiaru wysokości. Na jednym ekranie monitora rastrowego w jednym oknie może być zobrazowana informacja analogowa z wybranego odległościomierza radiolokacyjnego łącznie z informacją cyfrową, a w drugim oknie z wybranego wysokościomierza radiolokacyjnego dla zapewnienia pomiaru wysokości wskazanego obiektu powietrznego. Okna zastąpiły ekrany dwóch wskaźników.

Zastosowane rozwiązania techniczne w zakresie zobrazowania informacji analogowej umożliwiły rozpoczęcie procesu zastępowania w stacjach kontroli obszaru lotniska AVIA-W, eksploatowanych wskaźników WPS-10(11) nowym urządzeniem zobrazowania, wzorowanym na zautomatyzowanym miejscu pracy kabiny naprowadzania.

Wdrożenie obiektów DL-15 do eksploatacji rozpoczęło się w 2003r. Przedmiotem wdrożenia będzie również wykonanie tego obiektu dla wysuniętego punktu naprowadzania, zintegrowanego z obiektem automatyzacji posterunku radiolokacyjnego.

10. 2.4. Terminal lotniskowy TU-20L

Terminal lotniskowy TU-20L został wdrożony do produkcji w ZPD PIT. Dwa egzemplarze partii próbnej zostały zainstalowane w 2000r. na wieżach wojskowych portów lotniczych baz lotniczych w Mińsku Mazowieckimi i w Krzesinach. Kolejne dwa egzemplarze serii produkcyjnej są przygotowywane do instalacji w roku 2003 [29].

Terminal TU-20L jest przeznaczony do automatyzacji kontroli lotów w strefie odpowiedzialności lotniska – strefie bliższej. Jego głównym zadaniem jest wspomaganie osób funkcyjnych wchodzących w skład zespołu kierowania lotami.

W pierwotnej wersji przewidywano wyposażenie terminala lotniskowego w stanowiska pracy kierownika lotów (obecnie kontrolera lotniska), nawigatora kontroli strefy bliższej (obecnie kontrolera zbliżania) i dyżurnego ewidencji lotów [30].

Z inicjatywy zespołu kontrolerów I PLM rozszerzono zestaw o stanowisko nawigatora systemu lądowania (obecnie kontrolera precyzyjnego podejścia) oraz wprowadzono pomocnicze stanowisko operatora analizy sytuacji powietrznej. Po opracowaniu koncepcji sprzężenia systemu SUPRAŚL z zautomatyzowanymi systemami rozpoznania radiolokacyjnego i wykonaniu przez WZR RAWAR urządzenia UZS 01 opracowano zasady współpracy terminala TU-20L z systemem SUPRAŚL poprzez UZS01. Ponadto dokonano

odpowiedniego rozszerzenia oprogramowania i wyposażenia sprzętowego terminala [31].

Terminal TU-20L zapewnia automatyzację procesów kierowania lotami w zakresie:

- zbioru i opracowania informacji o sytuacji powietrznej w strefie bliższej na podstawie lokalnych źródeł informacji,
- wydawania informacji o śledzonych obiektach powietrznych (tras) do ośrodka dowodzenia i naprowadzania (centrum rozpoznania radiolokacyjnego),
- przyjmowania informacji o sytuacji powietrznej z centrum rozpoznania radiolokacyjnego,
- przekazywania dowodzenia statkami powietrznymi na granicy stref odpowiedzialności, to znaczy na granicy strefy bliższej i strefy dalszej,
- przyjmowania zadań od nadrzędnego SD w zakresie startów,
- meldowania do nadrzędnego SD o startach i lądowaniach statków powietrznych.

Lokalnymi źródłami informacji o sytuacji powietrznej są: radar kontroli rejonu lotniska AVIA-W, system identyfikacji swój/obcy SUPRAŚL, radiolokacyjny system lądowania typu RSP-10 (składający się z radaru precyzyjnego podejścia – PAR i radaru obserwacji dookólnej SRE) oraz radionamiernik typu ARP-11.

Ze względu na specyficzne warunki pracy kontrolerów na wieży portu lotniczego zastosowano monitory o dużej jasności zobrazowania, wyposażone dodatkowo w łatwo wymienne osłony przeciwsłoneczne.

Dla zwiększenia niezawodności terminala zastosowano oszczędny ale skuteczny system rezerwacji, umożliwiający realizację podstawowych funkcji terminala przez odpowiednią rekonfigurację stanowisk pracy, przy niewielkiej redundancji poszczególnych zespołów.

Realizację czynności związanych z nadzorem i kontrolą ruchu lotniczego ułatwia czytelne zobrazowanie informacji o sytuacji powietrznej w całej strefie kontroli lotniska, jak również możliwość obserwacji informacji o obiektach powietrznych w postaci analogowej i/lub syntetycznej w postaci tras, z wywoływaniem na żądanie kontrolera zobrazowaniem historii tras oraz tzw. sztucznej poświaty dla ech analogowych rys 10.4.

Automatyzacja procesów śledzenia oraz wyposażenie terminala w zautomatyzowane stanowisko pracy operatora śledzenia, jak również możliwość wspomaganie śledzenia danymi z systemu identyfikacji, umożliwiają zapewnienie ciągłości śledzenia w strefie kontroli lotniska nawet w przypadku dużego zagęszczenia tras w niektórych obszarach obserwacji. Dobra jakość informacji analogowej uzyskiwanej ze stacji AVIA-W i wspomniane powyżej cechy systemu stwarzają możliwość przyporządkowywania do tras zawiązywanych po starcie

danych, zawartych w planowej tabeli lotów. Przyporządkowanie to jest utrzymywane przez cały czas śledzenia trasy. Dla podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego stwarza to dodatkową możliwość identyfikacji obiektów powietrznych, dla których została wprowadzona do systemu informacja o starcie.



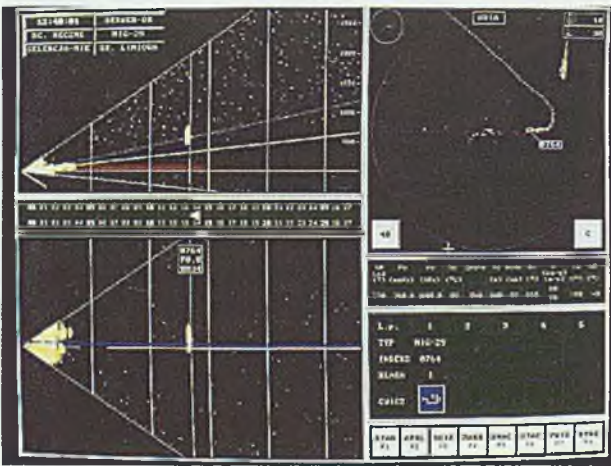
RYS. 10.4 Zobrazowanie sytuacji powietrznej - w kolorze żółtym zobrazowane są echa analogowe ze sztuczną poświatą, białe kropki oznaczają historię tras



Rys. 10.5. Stanowisko pracy KPP

Specjalną uwagę poświęcono funkcjom stanowiska pracy kontrolera precyzyjnego podejścia (KPP), pokazanego na rys. 10.5 Dla uzyskania kompleksowego, a jednocześnie czytelnego zobrazowania informacji o statkach powietrznych podchodzących do lądowania, pochodzącej z dostępnych źródeł, utworzono na ekranie monitora

KPP zobrazowanie rozmieszczone w 3 oknach – oknie sytuacji dookreżnej (zobrazowanie ech analogowych i tras), oknie zniżania (echa analogowe z radaru zniżania stacji PAR) oraz oknie kursu (echa analogowe z radaru kursu stacji PAR) – rys. 10.6. Dodatkowo wyświetlane są okienka pomocnicze, połączone linią pionową, związaną z echem analogowym stacji PRŁ, w których są zobrazowane: wysokość uzyskiwana z systemu „SUPRAŚL” oraz indeks pilota, kąt odchylenia od osi pasa startowego i odległość od osi pasa, uzyskiwane z systemu śledzenia terminala TU-20L na podstawie informacji pochodzących ze stacji AVIA-W.



Rys. 10.6. Przykład zobrazowania na ekranie monitora KPP. W oknach kursu i zniżania widoczne echa analogowe z dwóch radarów PAR i SRE, w oknie sytuacji dookreżnej zobrazowania analogowe i syntetyczne ze stacji AVIA – W

Współpraca z systemem „SUPRAŚL” umożliwia rozszerzenie w sposób zautomatyzowany danych o obiekcie powietrznym o następujące elementy: wysokość lotu, odpowiedzi w modach SIF: M1, M2, M3/A, cechę przynależności (odpowiedź w modzie SM). Dzięki sprzężeniu z systemem „SUPRAŚL” terminal zapewnia również możliwość uzyskiwania informacji o statkach powietrznych znajdujących się w niebezpieczeństwie. Po odebraniu sygnału niebezpieczeństwa asynchronicznie następuje automatyczna zmiana tła w oknie sytuacji powietrznej na kolor czerwony oraz zostaje automatycznie wysłane zapytanie dookreżne w modzie 3/A i C. Po uzyskaniu odpowiedzi kolor tła zmienia się na fioletowy, a wokół symbolu trasy wyświetla się biały pierścień. Udogodnienia, jakie wprowadza terminal TU-20L przy realizacji zadań służb kierowania lotami, a w szczególności zalety systemu zobrazowania informacji o statkach powietrznych takie, jak możliwość wyświetlania na żądanie „historii” tras, uzyskiwania dodatkowych

informacji o statkach powietrznych (kody odpowiedzi w modach 3/A, M1, M2, wysokość lotu), możliwość uzyskania sztucznej poświaty dla ech analogowych, zachowania ciągłości tras, automatyczna sygnalizacja nadawania przez statki powietrzne kodów niebezpieczeństwa, zostały pozytywnie ocenione przez kontrolerów stanowiska kierowania lotami w czasie ponad dwuletniej eksploatacji terminala.

10.2.5. System zbioru i uogólniania informacji o sytuacji powietrznej – system DUNAJ

System DUNAJ jest przeznaczony do automatyzacji procesów tworzenia jednolitej informacji o sytuacji powietrznej RAP (ang. Recognized Air Picture) oraz automatyzacji procesów dowodzenia i kierowania aktywnymi środkami walki sektora obrony powietrznej [32].

W systemie DUNAJ wyróżnia się:

- zautomatyzowany podsystem rozpoznania radiolokacyjnego: obiekty automatyzacji posterunków radiolokacyjnych i centrum rozpoznania radiolokacyjnego CRR,
- centrum dowodzenia i kierowania aktywnymi środkami walki sektora OP – CDS. Z centrum są zintegrowane obiekty automatyzacji, stanowiska dowodzenia lotnictwa (eskadry w bazie lotniczej), wojsk raketowych i walki radioelektronicznej oraz obiekty automatyzacji punktów naprowadzania DL-15 i terminale automatyzacji stanowiska kierowania lotnictwem w strefie lotniska TU-20L.

Obiekty DL-15 zintegrowane z posterunkami radiolokacyjnymi tworzą posterunki wykrywania i naprowadzania.

System OP sektora funkcjonuje w czasie pokoju i wojny. W czasie pokoju zapewnia suwerenność i nienaruszalność granic powietrznych RP, a w czasie wojny zapewnia kierowanie walką z środkami napadu powietrznego.

System sektora OP jest elementem systemu obrony powietrznej państwa, a z racji członkostwa NATO jest również elementem zintegrowanego systemu obrony powietrznej NATINADS.

W związku z powyższym system OP sektora otrzymuje zadania bojowe oraz zarządzenia, w tym dotyczące wykorzystania przestrzeni powietrznej, przez wszystkich jej użytkowników, z SD nadrzędnego szczebla (uprawnionego).

Do nadrzędnego szczebla przesyłane są również meldunki o realizacji postawionych zadań.

Natomiast jednolita informacja o sytuacji powietrznej RAP jest przesyłana do krajowego centrum OP oraz do nadrzędnego SD systemu NATINADS. Ponadto odbiorcami RAP są stanowiska dowodzenia i kierowania sektora OP w tym CDS, sąsiednie sektory OP, obiekty dowodzenia i

kierowania OPL Wojsk Lądowych oraz Marynarki Wojennej; są to użytkownicy przestrzeni powietrznej. Ponadto odbiorcą RAP mogą również być ustalone instytucje cywilne.

W czasie pokoju aktywny jest podsystem rozpoznania radiolokacyjnego (jeden z użytkowników przestrzeni powietrznej) oraz CDS i wydzielone siły lotnictwa myśliwskiego. Wojska rakietowe w czasie pokoju nie pełnią dyżurów bojowych, ich gotowość bojowa jest mała.

Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego i Centrum Dowodzenia Sektora są rozmieszczone w Ośrodku Dowodzenia i Naprowadzania, który jest centralnym elementem sektora OP.

W systemie DUNAJ źródłami informacji o sytuacji powietrznej są stacje radiolokacyjne z wyjściami analogowymi i cyfrowymi rozwinięte na posterunkach radiolokacyjnych oraz wysunięte posterunki radiolokacyjne (mobilne). Źródłami informacji są również stacje radiolokacyjne stanowisk dowodzenia i kierowania aktywnymi środkami walki np. stacja AVIA – W. Wykorzystanie informacji ze stacji AVIA – W zapewnia przekazywanie dowodzenia samolotami w powietrzu z wykorzystaniem informacji radiolokacyjnej.

Rozwiązania techniczne obiektów podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego zapewniają możliwość wykorzystania innych źródeł np. stacji radiolokacyjnych Marynarki Wojennej i Wojsk Lądowych oraz źródeł powietrznego bazowania.

Uwzględniając aktualne zagrożenia, w tym środki i metody walki z systemami dowodzenia i kierowania oraz możliwe ataki terrorystyczne, celem jest zapewnienie możliwości wykorzystania w systemie DUNAJ informacji o sytuacji powietrznej z:

- stacji cywilnego systemu kontroli ruchu lotniczego (ATC) w polskiej przestrzeni powietrznej. Wykorzystanie tej informacji jest wskazane ze względu na spodziewaną poprawę jakości procesu identyfikacji obiektów powietrznych w czasie pokoju (funkcję identyfikacji realizuje CRR). Aktualnie w systemie DUNAJ do identyfikacji wykorzystuje się informacje z wojskowego ruchu lotniczego za pośrednictwem systemu BLUSZCZ-H,
- stacji rozpoznania radioelektronicznego (szczebla taktycznego). Stacje te mogą dostarczać informacje o położeniu wykrytych (śledzonych) obiektów powietrznych oraz informacje powodujące poprawę jakości procesu klasyfikacji obiektów powietrznych. Stacje rozpoznania radioelektronicznego powinny mieć możliwość prowadzenia, na żądanie obiektów systemu DUNAJ, rozpoznania radioelektronicznego wskazanych obiektów powietrznych. Funkcja ta powinna być realizowana w czasie zbliżonym do czasu rzeczy-

wistego i wymaga dwustronnej wymiany informacji pomiędzy stacją i systemem.

Centrum rozpoznania radiolokacyjnego wraz ze źródłami informacji można rozpatrywać jako zautomatyzowaną sieć radiolokacyjną [33].

Jakość jednolitej informacji o sytuacji powietrznej, jaką można otrzymać wykorzystując taką sieć wymaga:

- cechowania jednolitym czasem informacji przekazywanych przez źródło do Centrum Rozpoznania Radiolokacyjnego. Udostępniana przez Centrum informacja powinna być również cechowana czasem. Źródłem jednolitego czasu jest odbiornik GPS lub zegar zlokalizowany np. w CRR,
- dokładnej orientacji wszystkich źródeł wykorzystywanych przez system. Spełnienie tego warunku umożliwi eliminację błędów systematycznych oraz zapewnienie wymaganej jakości RAP.

Stacje radiolokacyjne w szczególności mobilne, wysunięte posterunki radiolokacyjne (mobilne) powinny zostać wyposażone w urządzenia zapewniające automatyzację procesu justacji np. na bazie urządzeń nawigacji lądowej.

Jednolity czas źródłem którego jest GPS i jego wykorzystanie w systemie DUNAJ wraz z zastosowanymi rozwiązaniami (sprzęt i oprogramowanie) zapewnia możliwość przeprowadzania badań jakości jednolitej informacji o sytuacji powietrznej RAP przy wykorzystaniu lotów kontrolnych. Samolot wykonujący lot kontrolny powinien mieć zbudowany na pokładzie odbiornik GPS z rejestratorem, (rejestracja współrzędnych cechowanych jednolitym czasem).

Metodyka takich badań została sprawdzona w czasie badań państwowych systemu DUNAJ. W jej opracowaniu i realizacji uczestniczyli oficerowie WOŚSP w Dęblinie.

W drugiej połowie lat 90 nie było już problemu z dostawami sprzętu informatycznego. Do budowy CRR i CDS było możliwe zastosowanie sprzętu oraz oprogramowania systemowego (systemy operacyjne), usługowego np. RBD dostępnego na rynku.

Natomiast stało się oczywistym, że opracowanie oprogramowania użytkowego dla systemu DUNAJ będzie największym wyzwaniem dla zespołów programistów Instytutu i firmy FILBICO (wykonawca oprogramowania CRR i CDS).

Integracja systemu DUNAJ z systemem NATO spowodowała konieczność pozyskania wiedzy o filozofii budowy i funkcjonowania systemu NATO o stosowanych standardach, zaleceniach, procedurach itp.

Architektura każdego elementu systemu DUNAJ (centra, obiekty automatyzacji posterunków) jest oparta o technologię lokalnej sieci komputerowej. Centralną częścią, której jest serwer lub zestaw serwerów.

W obiektach CRR i CDS zastosowano zunifikowane zautomatyzowane stanowiska pracy osób funkcyjnych. Każde stanowisko zawiera komputer do którego są podłączone 2 monitory ekranowe (kolor, duża rozdzielczość), klawiatura i „mysz”. Komputer jest dołączony do przełącznika sieciowego. Do sieci lokalnej jest dołączone również stanowisko zobrazowania wielkoformatowego (rys.10.7).



Rys. 10.7. Centrum dowodzenia sektorem OP CDS (prototyp). Widok na zautomatyzowane stanowiska pracy (dwuekranowe). Na drugim planie widoczne zobrazowanie wielkoformatowe (dwa ekany)

Współpraca z niezautomatyzowanymi systemami jest organizowana przez osobę funkcyjną za pomocą łączności fonicznej i specjalnych okien, na ekranach monitorów z przygotowaną informacją do przekazywania np. komendy na start samolotu, a za pomocą okien edycyjnych, przekazywane głosem dane są wprowadzane do bazy danych.

Architektura obiektów automatyzacji posterunków radiolokacyjnych nieco różni się od opisanej. Do budowy obiektów, obok urządzeń dostępnych na rynku, są zastosowane oryginalne urządzenia opracowane w Instytucie w tym pozyskane z innych prac (ORZYC).

Obiekty zapewniają wykorzystanie stacji radiolokacyjnych z wyjściami analogowymi i cyfrowymi. Wymagało to zastosowanie np. ekstraktorów, a stanowiska pracy operatorów muszą być wyposażone w tzw. „scankonwertery” zapewniające zobrazowanie sygnałów analogowych na ekranie

monitora rastrowego łącznie z informacją cyfrową (wskaźnik panoramiczno syntetyczny w nowym wykonaniu).

W składzie zautomatyzowanego stanowiska pracy występuje specjalizowany komputer, który już wcześniej był stosowany w temacie ORZYC. Opracowane oprogramowanie stanowiska (praca w czasie rzeczywistym) zapewnia jednocześnie zobrazowanie na monitorze informacji analogowej z odległościomierza i wysokościomierza. Proces pomiaru wysokości (automatyczny i półautomatyczny) nie wymaga operatora i specjalnego wskaźnika pomiaru wysokości, jak to miało miejsce w systemie DUNAJEC [6].

W procesie opracowania systemu DUNAJ zwiększenie niezawodności wymiany informacji, dostrzeżono w zastosowaniu technologii rozległych sieci komputerowych z uwzględnieniem pracy w czasie rzeczywistym.

Rozległe sieci komputerowe z opracowanymi przez Instytut węzłami sieciowymi tzw. autonomicznymi węzłami dostępu połączyły zautomatyzowane obiekty systemu DUNAJ w jeden zautomatyzowany system OP sektora.

Zastosowane rozwiązania umożliwiają rezerwację elementów automatyzacji jednego sektora, elementami drugiego sektora (sąsiada). Jednakże zapewnienie niezawodnego funkcjonowania systemu DUNAJ wymaga od systemu łączności usług dobrej jakości.

Wojnę można przegrać przed jej rozpoczęciem, jeżeli system OP państwa i jego podsystemy nie będą bezpieczne. Problem bezpieczeństwa nie może być sprowadzony tylko do obrony informacji w czasie ich przekazywania lub przechowywania. Bezpieczeństwo zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania powinno być utrzymywane w czasie ich eksploatacji, co będzie wymagało przygotowania specjalistów z umiejętnościami prowadzenia wojny informacyjnej. W systemie DUNAJ jest zautomatyzowane stanowisko pracy dla oficera bezpieczeństwa, są wprowadzone odpowiednie zabezpieczenia sprzętowe i programowe. Ocena bezpieczeństwa systemu w procesie eksploatacji nie powinna hołdować starej zasadzie „kto chce chronić wszystko w rzeczywistości nie chroni niczego”.

Głównym Projektantem systemu DUNAJ jest mgr inż. Jan Modelski.

Opracowaniem oprogramowania kieruje mgr inż. A. Kątcki (ostatni okres opracowania i etap wdrożenia systemu do eksploatacji).

10.3. Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania Wojsk Lądowych

10.3.1. Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk

W wojskach lądowych występują organiczne siły obrony przeciwlotniczej OPL. Wyposażone są one w mobilną broń przeciwlotniczą zdolną do skutecznej osłony wojsk w różnych rodzajach działań operacyjnych. Środki rozpoznania oraz dowodzenia i kierowania są zdolne do towarzyszenia osłanianym wojskom w celu zapewnienia kierowania walką z środkami napadu powietrznego. Siły te są zorganizowane w oddziały i pododdziały przeciwlotnicze tworząc oddzielny rodzaj wojsk – Wojska Obrony Przeciwlotniczej Wojsk Lądowych.

Wdrożenie w WOPK zautomatyzowanego podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego, doświadczenia zespołów badawczo – konstrukcyjnych przemysłu i wojska umożliwiło przystąpienie do automatyzacji Wojsk OPL.

Do automatyzacji systemu rozpoznania radiolokacyjnego opracowano dwa obiekty:

- obiekt automatyzacji mobilnego posterunku radiolokacyjnego – DP-10 (krt);
- obiekt automatyzacji centrum rozpoznania radiolokacyjnego (SD brt) – DP-20 rys.10.8.



Rys. 10.8. Obiekt DP-20 (DP-40).
Widok na zautomatyzowane stanowiska pracy
w zunifikowanej kabynie

Dla automatyzacji stanowiska dowodzenia Wojsk OPL korpusu zmechanizowanego opracowano obiekt DP-40. Stanowisku temu podlegały punkty dowodzenia szefa OPL ZT i SD pułku rakiet przeciwlotniczych. Stanowisko to zapewniało również powiadamianie wojsk o zagrożeniu powietrznym, uprzedzanie środków OPL o przelotach własnego lotnictwa oraz kierowanie środkami osłony przeciwlotniczej stanowiska dowodzenia.

Obiekty te, ze względu na realizowane przez WOPL Wojsk Lądowych zadania, powinny być mobilne i dlatego do ich budowy zastosowano zunifikowane nadwozie kontenerowe, które jest transportowane na samochodzie TATRA 815. Zastosowane rozwiązania sprzętowe i programowe zapewniają bezprzerwowe funkcjonowanie obiektów.

Centralną częścią każdego obiektu jest zestaw komputerowy, zbudowany na bazie komputera UMJS-10 (UMJS-10M). Niestety zastosowanie maszyny RODAN-10 pozwalające wprowadzić na wykorzystanie dorobku z obszaru oprogramowania do nowego zastosowania, nie było możliwe, ponieważ rozwiązanie konstrukcyjne komputera RODAN-10 uniemożliwiło jego zabudowę w nadwoziu kontenerowym.

Wskaźnik WPS-11 oraz monitory zobrazowania tabelarnego MZT-20 (na ekranie były zobrazowywane głównie tabele) są podstawowymi elementami stanowisk pracy osób funkcyjnych (rys.10.9.). W obiektach jest również specjalne stanowisko dla operatora łączności.



Rys. 10.9. Zautomatyzowane stanowisko pracy
w obiekcie DP-20 (DP-40)

Zastosowane urządzenia transmisji danych o szybkości (1200 – 16000) bit/s zapewniały możliwość przesyłania danych w kanale głównym i rezerwowym; wybór kanału po stronie odbiorczej - automatyczny albo ręczny.

Do transmisji informacji są wykorzystywane środki łączności przewodowo – radioliniowej i radiowej (radiostacje UKF i KF).

Radiostacje UKF wyposażone w anteny szerokopasmowe dookólną (rys. 10.12) i logoperiodyczną (rys.10.10), zapewniają stabilną łączność przy wymaganych odległościach między obiektami.



Rys. 10.10. Szerokopasmowa antena typu LPD na zakres 30 –80 MHz

Obiekty DP-20 i DP-40 umożliwiają wymianę informacji z obiektami WOPK (RPT-20, CYBER).

Obiekt DP-10 zapewnia wykorzystanie jako źródeł informacji o sytuacji powietrznej stacji radiolokacyjnych z wyjściami analogowymi i cyfrowymi.

Obiekt DP-20 (sprzęt i oprogramowania przy współdziałaniu osób funkcyjnych) umożliwia tworzenie jednolitej (uogólnionej) informacji o sytuacji powietrznej na podstawie danych przekazywanych przez cztery krt wyposażone w obiekty DP-10. Obiekt DP-20 zapewnia również dystrybucję jednolitej informacji powietrznej w tym przesyłanie jej do obiektu DP-40.

Oprogramowanie obiektu DP-40 zapewniało, między innymi, wspomaganie procesu rozdziału celów, przekazywanie komend, odbiór meldunków o gotowości bojowej, stanie sił i środków prowadzonej działalności bojowej i wynikach realizacji postawionych zadań.

Dla zautomatyzowanego systemu dowodzenia WOPL została opracowana kompletna struktura informacyjno-decyzyjna obejmująca wszystkie szczeble dowodzenia i kierowania.

Przesyłane komendy i meldunki są kodowane 2 cyframi z wykorzystaniem tablic kodowych. Po-

nadto obiekty posiadają możliwość przesyłania krótkich tekstowych wiadomości (mini poczta elektroniczna) redagowanych przez osoby funkcyjne i kierowanych do osób funkcyjnych. Funkcja ta, okazała się bardzo użyteczna szczególnie przy pracy z wykorzystaniem środków łączności radiowej. Jest również stosowana w aktualnie wdrażanych systemach.

Informacje przekazywane w zautomatyzowanym systemie, w tym informacje przekazywane w czasie rzeczywistym, mogą być utajniane za pomocą specjalnego urządzenia szyfrującego.

Jednym z najważniejszych ustaleń Komisji Badań Państwowych, która prowadziła badania prototypów obiektów było stwierdzenie o potrzebie przeprowadzenia badań systemowych w rzeczywistych warunkach. Badania powinny być przeprowadzone przed przekazaniem partii próbnej obiektów do eksploatacji w jednostkach Wojsk OPL.

Badania systemowe miały na celu integrację obiektów z otoczeniem systemowym (środki radiolokacyjne, środki łączności) i weryfikację funkcji obiektów po wprowadzeniu zmian i uzupełnień wynikających z badań państwowych oraz sprawdzenie wszystkich funkcji systemowych w warunkach rzeczywistych z udziałem wojska.

Badania systemowe przeprowadzono w 1991 r. Instytut wspólnie z WZR RAWAR (obiekty DP-10) zapewnił dostawę pierwszego kompletu obiektów (partia próbna), a wojska OPL zapewniły przeprowadzenie badań systemowych. Wynik wspólnych wieloletnich prac przemysłu i wojska znalazł się w rękach polskich przeciwlotników.

Dostawy obiektów, z uwzględnieniem wyników badań systemowych były realizowane przez WZR RAWAR; dostawę obiektów DP-20 i DP-40 realizował Zakład Doświadczalny PIT. Część obiektów w wyniku późniejszej reorganizacji Wojsk OPL została przekazana WLiOP.

Głównym projektantem systemu był mgr inż. L. Knapski, a następnie mgr inż. J. Modelski.

Oprogramowanie obiektów zostało opracowane przez zespół programistów PIT, WITU i firmy FILBICO Sp z o.o.

10.3.2. Zautomatyzowane systemy obrony przeciwlotniczej związku taktycznego –zautomatyzowane wozy dowodzenia

Opracowana wspólnie z wojskami OPL, koncepcja automatyzacji systemu obrony przeciwlotniczej związku taktycznego (dywizji zmechanizowanej) zakłada wykorzystanie do tego dwóch „uniwersalnych urządzeń systemowych”:

- Zautomatyzowanego Wozu Dowodzenia ZWD,
- Terminala TDR.

ZWD jest przeznaczony do automatyzacji punktu dowodzenia szefa OPL ZT, stanowiska dowodzenia brygady rakiet przeciwlotniczych, (aktualnie nie występuje w strukturze ZT) stanowisk dowodzenia pułków i dywizjonów przeciwlotniczych.

Terminal TDR jest przeznaczony dla automatyzacji punktów dowódczo-obszernych - szczebla baterii przeciwlotniczych.

Rozwiązania techniczne tych „uniwersalnych urządzeń systemowych” powinny umożliwiać ich adaptację, głównie przez zmianę oprogramowania, do wymagań wynikających z miejsca ich zastosowania w zautomatyzowanym systemie OPL ZT. Oprogramowanie, składało się z oprogramowania systemowego (system operacyjny), użytkowego i testującego. Oprogramowanie użytkowe zapewniało realizację zadań specyficznych dla każdego zastosowania tego wozu (praca w czasie rzeczywistym).

Informację o przeciwniku powietrznym zapewniają mobilne stacje radiolokacyjne będące na wyposażeniu pułków i dywizjonów OPL ZT oraz obiekt szczebla nadrzędnego DP-40.

Pracę ZWD w ruchu zapewniają nie tylko zastosowane środki łączności radiowej, które realizują wymianę informacji (głos, dane) ale i urządzenie nawigacji lądowej. Urządzenie to na bieżąco określa położenie (współrzędne) wozu w czasie jazdy oraz kierunek jazdy.

Terminal TDR przedstawiony na rys. 10.11. zapewnia odbiór zadań (komend) z nadrzędnego szczebla kierowania (ZWD) oraz przekazywanie meldunków o położeniu, gotowości bojowej, wynikach działań bojowych itp.



Rys. 10.11. Terminal TDR –10 widoczny na pierwszym planie (opracowanie firmy ELTIS Sp. z o.o.)

Opracowanie ZWD okazało się zadaniem trudnym, nie tylko ze względów technicznych. Państwa – Członkowie d. Układu Warszawskiego postanowiły opracować i wdrożyć polowy zautomatyzowany system dowodzenia wojskami związku taktycznego; w skład tego systemu wchodził również podsystem OPL.

Decyzja o budowie, produkcji i wdrożeniu w armiach d. Układu Warszawskiego polowego zautomatyzowanego systemu dowodzenia wojskami została podjęta w końcu lat 70. Ze względu na ogromną złożoność takiego systemu postanowiono budowę tego systemu rozpocząć od szczebla taktycznego. Szczebel operacyjny miał być realizowany w drugiej kolejności.

Do realizacji tego przedsięwzięcia powołano międzynarodową organizację przemysłową, znaną pod nazwą „Inter ASU”. Powołano, między innymi, Radę Głównych Konstruktorów. Na Głównego Konstruktora systemu w Polsce został powołany dr inż. A. Janyszek.

W wyniku przyjętego podziału zadań pomiędzy kraje – członków organizacji Inter ASU - polski przemysł przyjął specjalizację na podsystem automatyzacji dowodzenia obroną przeciwlotniczą i lotnictwem związku taktycznego. Specjalizacja obejmowała rozwój, badania i produkcję wyrobów będących przedmiotem specjalizacji.

Punktem wyjścia do rozpoczęcia w kraju prac, była wiedza zespołów badawczo-konstrukcyjnych d. ZSRR, przekazane stronie polskiej w postaci dokumentacji konstrukcyjnej na wykonanie prototypów elementów niezbędnych do budowy podsystemu. Przekazana do PIT dokumentacja obejmowała trzy typy wozów: dwa wozy dowódczo-sztabowe, jeden wóz specjalny (przetwarzania informacji radiolokacyjnej) oraz szereg urządzeń (zespółów) wchodzących w skład wymienionych wozów.

Bazę transportową wszystkich wozów systemu stanowił wielozadaniowy lekki transporter opancerzony gąsienicowy MTLB-u. Wozy były przeznaczone do pracy w ruchu i na postoju oraz zapewniały pracę w terenie skażonym i umożliwiały pokonywanie przeszkód wodnych np. rzek. Do budowy wozów zastosowano zestaw zunifikowanych urządzeń. Do transmisji mowy i danych były wykorzystywane środki radiowe oraz przewodowe. Każdy wóz był wyposażony w system nawigacji lądowej.

PIT był wykonawcą nie tylko prototypów wozów, ale dostarczył jeden komplet wozów do Bułgarii: wykonany z uwzględnieniem zmian wprowadzonych w wyniku przeprowadzonych badań autonomicznych prototypów oraz badań systemowych (poligonowych). Zorganizowany, w bardzo krótkim czasie, system kooperacji obejmował wiele zakładów podległych Ministrowi Przemysłu Maszynowego (dzisiaj wiele z tych zakładów nie istnieje). Zagranicznymi kooperantami były zakłady przemysłowe z byłego ZSRR oraz Bułgarii i Rumunii.

Badania prototypu wykonał PIT przy współpracy z WIL, WITPiS, WICHIR i WZR RAWAR.

WZR RAWAR na podstawie przekazanej przez Instytut zatwierdzonej i kompletnej dokumentacji konstrukcyjnej, początkowo przy zachowaniu utworzonego przez PIT krajowego i zagranicznego systemu kooperacyjnego, zapewniały dalsze dostawy wozów (głównie na eksport), a następnie ich modernizację.

Mimo znaczącego eksportu, a przedmiotem eksportu były nie tylko kompletne wozy, ale również duża ilość urządzeń produkowanych przez zakłady krajowe ocenia się, że udział Polski w tym przedsięwzięciu spowodował zahamowania w rozwoju i praktycznej realizacji krajowych koncepcji z zakresu dowodzenia i kierowania obroną przeciwlotniczą wojsk. Prowadzone w ramach organizacji Inter ASU prace dały również pozytywne wyniki, do których można zaliczyć opracowanie, w ramach działalności naukowo-badawczej Oddziału Gdańskiego PIT, dwóch typów anten szerokopasmowych na pasmo 30-80 MHz i zbudowanie specjalnego stanowiska do badań tych anten.

Stanowisko to było wykorzystywane przez wiele lat w pracach nad innymi typami anten.

Opracowane anteny zostały zastosowane w krajowych zautomatyzowanych systemach dowodzenia, w tym i w zautomatyzowanym wozie dowodzenia ŁOWCZA 3.

Innym pozytywnym wynikiem udziału w tym przedsięwzięciu było zdobycie wiedzy i doświadczeń w dziedzinie organizacji i metod badań dużych zautomatyzowanych systemów dowodzenia w warunkach rzeczywistych z wykorzystaniem środków łączności radiowej.

Doświadczenie z uruchomienia produkcji wozów oraz wdrożenia ich do eksploatacji zostały również wykorzystane przy opracowaniu polskiego zautomatyzowanego wozu dowodzenia ŁOWCZA 3.

Udział Polski w realizacji tego międzynarodowego przedsięwzięcia podważał celowość opracowania wozu ZWD, w tym i oprogramowania, które realizował Wojskowy Instytut Informatyki. Zainteresowanie pracą w przemyśle i wojsku osłabło, ale praca nie została przerwana.

Kierownictwo Szefostwa Badań i Rozwoju Techniki Wojskowej, podtrzymało opracowanie dla potrzeb WP transportera opancerzonego gąsienicowego – SPG-2A. Nowy transporter został wykonany przez Hutę Stalowa Wola, przeszedł badania kwalifikacyjne z wynikiem pozytywnym.

Na początku lat 90 nastąpił powrót (głównie ze względów politycznych) do koncepcji budowy polskiego systemu kierowania obroną przeciwlotniczą związku taktycznego z wykorzystaniem ZWD na transporterze SPG-2A.

W roku 1991 opracowano nowe założenia taktyczno – techniczne na ZWD, a w roku 1992 PIT wspólnie z WZR RAWAR wykonał prototyp ZWD-10R ŁOWCZA 3 (rys. 10.12).



Rys. 10.12. Zautomatyzowany wóz dowodzenia ŁOWCZA 3 przygotowany do pracy na postoju – rozwinięty maszt z anteną dookólną, ADS –1 na zakres 30 –80 MHz

Równoległe z wykonaniem prototypu Wojskowy Instytut Informatyki WII opracował oprogramowanie dla wszystkich planowanych zastosowań ZWD i terminala.

W roku 1993 przeprowadzono badania państwowe wozu z wynikiem pozytywnym. Na podstawie uzyskanych wyników została podjęta decyzja o wdrożeniu zautomatyzowanego wozu dowodzenia do produkcji w WZR RAWAR.

Głównym projektantem ZWD był inż. Z. Sabak (PIT).

Uruchomienie produkcji wozu, jego dalszy rozwój, w tym realizacja zaleceń Komisji Badań Państwowych, jest wynikiem prac prowadzonych przez Zakład Badawczo – Rozwojowy WZR RAWAR.

Pierwotnie podjęta w 1993 r. decyzja o wdrożeniu do produkcji Zautomatyzowanego Wozu Dowodzenia ŁOWCZA 3 została wstrzymana.

Uznano, że niezbędne jest zastosowanie w wozie radiostacji z rodziny PR4G, wdrażanych w tym czasie do produkcji przez zakłady RADMOR z Gdańska na licencji firmy Thompson – CSF. Konieczne stało się opracowanie nowej organizacji systemu łączności dla wojsk OPL w opracowaniu, której uczestniczyli PIT, WZR RAWAR oraz wojsko.

W roku 1998 zakończono opracowanie nowych wymagań na wóz ŁOWCZA 3. Wykonawcą całego projektu nowego wozu był WZR RAWAR. Oprogramowanie dla wozu opracowała firma FILBICO, wykorzystując wcześniej sprawdzone w prototypie rozwiązania (algorytmy).

Zautomatyzowany wóz dowodzenia ŁOWCZA 3 zbudowano na transporterze opancerzonym gąsienicowym SPG-2A⁴. Pojazd jest zdolny do poruszania się w każdym terenie w tym również pokonywania przeszkód wodnych. Wyposażony został w system nawigacji lądowej, dzięki czemu dane o jego położeniu są cały czas uaktualniane i wprowadzane do aparatury analizy sytuacji. Załoga wozu jest chroniona przed skażeniami bronią ABC dzięki wbudowanemu systemowi filtrowentylacji, a opancerzenie daje również ochronę przed pociskami broni strzeleckiej.

Do realizacji funkcji zautomatyzowanego dowodzenia pojazd wyposażono w nowoczesną aparaturę, w której można wydzielić dwie zasadnicze grupy: aparaturę automatyzacji dowodzenia i środki łączności (rys. 10.13).



Rys. 10.13. Wnętrze kabiny operacyjnej wozu ŁOWCZA 3

Aparaturę automatyzacji dowodzenia tworzą:

- serwer z centralną bazą danych oraz oprogramowaniem analizy sytuacji i obsługi modemów transmisji danych,
- trzy stacje robocze połączone siecią lokalną, wyposażone w płaskie kolorowe monitory 16 calowe o rozdzielczości 1280 x 1024 pikseli, na których tworzone jest wysokiej jakości zobrazowanie sytuacji operacyjno-taktycznej.

Zainstalowane środki łączności obejmują:

- trzy radiostacje UKF, zapewniające łączność w zakresie odległości do około 20 km, ograniczonym zasięgiem horyzontalnym,

- jedną radiostacją KF (opcjonalnie) pozwalającą na łączność dalszego zasięgu, do 70 ... 100 km, zależnie od warunków terenowych i pogodowych,
- osiem portów łączności przewodowej do bezpośredniej (kierunkowej) komunikacji z podległymi pododdziałami opl.

Zastosowane radiostacje są urządzeniami nowoczesnymi, zapewniającymi zwielokrotniony dostęp w trybie podziału czasowego (TDMA) oraz wysoką odporność na zakłócenia dzięki trybowi pracy ze „skaczącą” częstotliwością (freguency hopping) oraz wbudowanym urządzeniom szyfrującym.

Wszystkie radiostacje mają interfejs analogowy do łączności fonicznej i cyfrowy do transmisji danych. W celu zwiększenia zasięgu jednej radiostacji UKF pojazd wyposażony jest w automatycznie składany maszt antenowy, do którego można podłączyć wybraną radiostację (ten tryb pracy nie jest możliwy w czasie ruchu pojazdu). Pozostałe radiostacje wykorzystują anteny prętowe pozwalające na pracę w ruchu.

Łączność przewodowa jest przewidziana na szczególne sytuacje, gdy z różnych powodów łączność drogą radiową nie jest wskazana.

Porty łączności przewodowej obejmują kanał grupy łączności przewodowej elektrycznej, kanał grupy łączności światłowodowej, sześć linii bezpośredniej transmisji cyfrowej z szybkością 16 kb/s współpracujące z podsystemem cyfrowej łączności utajnionej i dwie linie telefoniczne typu MB.

Wszystkie urządzenia elektroniczne są uodpornione na narażenia mechaniczne występujące podczas ruchu pojazdu i przystosowane do pracy w szerokim zakresie temperatur. Aparatura jest zasilana z baterii akumulatorów, która podczas jazdy jest doładowywana z prądnicy napędzanej silnikiem pojazdu. W czasie postoju funkcję ładowania akumulatorów przejmuje wbudowany agregat prądotwórczy.

W pierwotnej koncepcji automatyzacji OPL związku taktycznego zakładano wykorzystanie na szczeblach baterii przeciwlotniczych terminala TDR.

Nowa koncepcja budowy systemu OPL związku taktycznego zakłada wykorzystanie wozu automatyzacji dowodzenia i kierowania baterią przeciwlotniczą WD-2001 (rys. 10.14).

⁴ Opis wozów ŁOWCZA 3 i WD-2001 wykonano na podstawie opracowania Z. Czekaty (WZR RAWAR).



Rys. 10.14. Wóz WD 2001 z zespołem zasilania



Rys. 10.15. Wnętrze kabiny operacyjnej wozu WD-2001

WD-2001 może przyjmować dane o sytuacji powietrznej z wyższego szczebla dowodzenia wyposażonego w pojazd ŁOWCZA-3 bądź bezpośrednio z sieci rozpoznania radiolokacyjnego. Z wyższego szczebla dowodzenia WD-2001 otrzymuje dane o sytuacji taktycznej i zadania dotyczące zwalczania wskazanych celów. Z podległych stanowisk ogniowych do WD-2001 dostarczana jest informacja o ich położeniu w terenie, gotowości bojowej i wynikach realizacji wcześniejszych zadań.

Otrzymane dane są przetwarzane przez komputer pokładowy, a wypracowane decyzje są przedstawione na monitorze do akceptacji. Po zatwierdzeniu przez dowódcę baterii decyzje są przekazywane jako komendy do stanowisk ogniowych.

Otrzymał dane są przetwarzane przez komputer pokładowy, a wypracowane decyzje są przedstawione na monitorze do akceptacji. Po zatwierdzeniu przez dowódcę baterii decyzje są przekazywane jako komendy do stanowisk ogniowych. Załoga wozu liczy trzy osoby wraz z kierowcą. W kabine operacyjnej są dwa stanowiska robocze (rys. 10.15). Dowódca baterii obsługuje stanowisko komputerowe. Operator obsługuje aparaturę łączności, a w przypadkach awaryjnych nanosi na planszet dane potrzebne do wykonywania zadań.

WD-2001 jest zbudowany na samochodzie terenowym Daewoo Honker. Do realizacji funkcji zautomatyzowanego dowodzenia pojazd wyposażono w aparaturę informatyczną i środki łączności. Podstawowym elementem wyposażenia jest blok komputera z płaskim monitorem ciekłokrystalicznym 18". Zastosowano płytę komputera zgodnego z PC w wykonaniu przemysłowym, z dyskiem twardym odpornym na udary. Środki łączności obejmują trzy radiostacje UKF typu TRC-9500-3 pracujące w trybie TDMA. Kabina pojazdu jest klimatyzowana.

Pojazd jest wyposażony w baterię akumulatorów, która zapewnia około 8 godzin pracy ciągłej aparatury bez doładowywania. Umieszczony na przyczepie zespół prądowłóczy o mocy 3,5 kW umożliwia 34 godzin pracy zestawu bez uzupełnienia paliwa.

10.3.3. Informatyczny System Wspomagania Dowodzenia Związku Taktycznego – SZAFRAN ZT

Sprawne dowodzenie wymaga informacji, kierowania i łączności. Informacja jest potrzebna do podjęcia decyzji, kierowanie do koordynacji, synchronizacji i nadzoru działań własnych sił i środków, a łącznie do przekazywania informacji umożliwiającej wypracowanie decyzji i wprowadzenie w życie nakazów niezbędnych do osiągnięcia zamierzonego celu.

Główny cel doskonalenia systemów dowodzenia to przyspieszenie (skrócenie) procesów decyzyjnych i zapewnienie wyprzedzenia przeciwnika w użyciu środków rażenia (skrócenie reakcji systemu).

Jedną z głównych dróg doskonalenia systemów jest stosowanie dostępnych technologii informacyjnych do automatyzacji procesów dowodzenia i kierowania.

System dowodzenia związku taktycznego jest strukturą hierarchiczną, wieloszczeblową (wielopoziomową). W związku taktycznym występują szczeble: korpusu, dywizji, brygady i batalionu z podległymi pododdziałami. Na każdym z wymienionych szczebli występują Stanowiska Dowodzenia SD (z reguły więcej niż jedno) oraz mogą występować Punkty Dowódczo-Obswacyjne.

Ilość stanowisk dowodzenia, rozwijana na każdym szczeblu, struktura i realizowane zadanie są ustalone Regulaminem Wojsk Lądowych oraz decyzjami dowódcy.

Przykładowo w brygadzie mogą być tworzone: główne stanowisko dowodzenia i punkt dowódczo-obswacyjny. W składzie każdego stanowiska można wyróżnić część operacyjną SD (organ dowodzenia – podstawowy element systemu dowodzenia).

W składzie organu dowodzenia występują zespoły (na wyższych szczeblach występują centra, a na niższych sekcje):

- dowodzenia: pełni funkcję planistyczną, organizacyjną, koordynacyjną oraz przygotowuje dane (informacje) do podjęcia decyzji,
- wsparcia dowodzenia: organizuje i nadzoruje przepływ informacji między poszczególnymi elementami SD (w poziomie) i na zewnątrz (w pionie) oraz zapewnia ich bezpieczeństwo,
- wsparcia działań: planuje koordynuje użycie pododdziałów wsparcia np. środków i sił OPL,
- zabezpieczenia działań: organizuje zabezpieczenie logistyczne działań, uzupełnienie stanów osobowych.

Stanowiska dowodzenia są mobilne, rozwijane w każdych warunkach klimatycznych i terenowych. Zastosowane środki automatyzacji nie mogą i nie będą tej mobilności ograniczać [34].

Informatyczny system wspomagania dowodzenia związku taktycznego powinien zapewniać [27]:

- zwiększenie szybkości i jakości przepływu informacji pomiędzy komórkami (zespołami) oraz między stanowiskami dowodzenia,
- skrócenie czasu opracowania dokumentów (rozkazy, zarządzenia) i czasu ich rozpowszechniania (zastosowanie dokumentów elektronicznych),
- przyspieszenie procesów planowania (usprawnienie pracy grupowej, jednolita baza danych),
- stosowanie w procesach podejmowania decyzji tzw. kalkulacji operacyjnych oraz zwiększenie ilości i jakości danych wykorzystywanych w procesach decyzyjnych.

W procesach opracowania i rozwoju zautomatyzowanego systemu dowodzenia związku taktycznego uwzględnione są wymagania z zakresu standaryzacji, interoperacyjności i bezpieczeństwa. Pod interoperacyjnością rozumie się zdolność dwóch lub więcej systemów do wzajemnej wymiany informacji i wzajemnego wykorzystania wymienionej informacji (informacje powinny być zrozumiałe dla odbiorcy i w sposób jednoznaczny określać dalsze działania).

Przyjęta koncepcja budowy informatycznego systemu wspomagania dowodzenia ZT zakłada, że na każdym stanowisku dowodzenia będzie rozwijana „mobilna lokalna sieć komputerowa stanowiska dowodzenia” [34], [35].

Sieć ta zapewnia osobom funkcyjnym korzystanie z zautomatyzowanych stanowisk pracy (stacji roboczych), dostęp do wspólnej (jednolitej i aktualnej) bazy danych, możliwość wymiany dokumentów itp.

Mobilne lokalne sieci komputerowe zostaną ze sobą połączone przez system komutacji pakietów tworząc rozległą sieć komputerową, która zapewni

kompleksową automatyzację procesów dowodzenia związku taktycznego.

Elementy systemu dowodzenia wymagające nie tylko pracy na postoju ale i w ruchu są wyposażone oprócz środków do łączności przewodowej w środki łączności radiowej UKF (PR46) i KF, które zapewniają pracę w sieciach radiowych. Sieci radiowe są wykorzystywane głównie na szczeblu batalionu przez system wymiany danych do przesyłania informacji pomiędzy elementami systemu dowodzenia pracującymi w ruchu. System wymiany danych zapewnia również dostęp do sieci komutacji pakietów lub do lokalnej sieci komputerowej stanowiska dowodzenia. Sieci komutacji pakietów, system wymiany danych w sieciach radiowych, są elementami systemu łączności związku taktycznego. Informatyczny system wspomagania dowodzenia korzysta z usług udostępnionych przez system łączności.

Do realizacji przyjętej koncepcji budowy Informatycznego Systemu wspomagania dowodzenia związku taktycznego opracowano (lub planuje się opracować) specjalny sprzęt:

- Zautomatyzowany Wóz Sztabowy – ZWS-10S (rys. 10.16). Centralny element mobilnej sieci komputerowej stanowiska dowodzenia: brygady, dywizji i korpusu. Wóz zapewnia interfejsy z elementami systemu łączności związku taktycznego rozwijanymi na SD. Wóz jest wyposażony w serwery (bazy danych, komunikacyjny) zautomatyzowane stanowiska pracy (rys. 10.17), sprzęt sieciowy (przełączniki, routery).
- Zautomatyzowany Wóz Sztabowy ZWS-20. Podstawową funkcją tego wozu jest zapewnienie wykorzystania w procesie dowodzenia dokumentów „papierowych”, stąd w jego wyposażeniu znajdują się drukarka, ploter, skaner. Spełnia on rolę archiwum dokumentów w postaci elektronicznej, a ponadto w przypadku awarii wozu ZWS-10S przejmuje jego podstawowe funkcje.
- Zautomatyzowany Wóz Sztabowy ZWS-10. Wyposażony w zautomatyzowane stanowiska pracy oraz dziedzinową bazę danych (serwer bazy danych). Stosowanie wozu może być podyktowane względami bezpieczeństwa.
- Zautomatyzowany Wóz Dowódczo Sztabowy ZWDS-10. Jest to element systemu dowodzenia, który będzie stosowany przede wszystkim na szczeblu batalionu (walczy z przeciwnikiem). Zapewnia pracę w ruchu i na postoju i jest wyposażony w zautomatyzowane stanowiska pracy, serwer bazy danych, sprzęt łączności w tym komplet radiostacji UKF i KF oraz w system nawigacji lądowej.
- Terminal TPP-10 – mobilny zestaw urządzeń informatycznych – funkcjonalny odpowiednik wozu ZWS – 10. Terminal może być rozwijany

w autobusach sztabowych, pomieszczeniach tymczasowych [36]. Terminal składa się z modułów (niezależne jednostki konstrukcyjne), serwera, stacji roboczej i zasilania (rys. 10.18).

- Terminal będzie stosowany w pojazdach np. w kabinie samochodu. Pod względem funkcjonalnym jest to małogabarytowa stacja robocza, wyposażona w odbiornik GPS oraz interfejsy ze środkami łączności radiowej.



Rys. 10.16. Zautomatyzowany Wóz Sztabowy ZWS-10S (ZWS-20, ZWS-10) samochód STAR 944DK, nadwozie kontenerowe typu 890, przyczepa D622 z zespołami prądowórczymi

Krótkotrwałe zaniki napięcia zasilania nie powodują przerw w pracy wozu. Urządzenia klimatyzacji i wentylacji zapewniają eksploatację wozów w różnych warunkach klimatycznych.



Rys. 10.17. Widok na zautomatyzowane stanowiska pracy w wozie ZWS-10S. Ekran płaski, o przekątnej ekranu 20 cali, rozdzielczość 1268 x 1024 pikseli



Rys. 10.18. Stacja robocza (moduł monitora terminala) TPP – 10



Rys. 10.19. Terminal TP – 10W
(opracowanie firmy ELTIS Sp. z o.o.)

Oprogramowanie Informatycznego systemu wspomaganie dowodzenia związku taktycznego składa się z:

- oprogramowania systemowego – systemy operacyjne,
- oprogramowania usługowego np. poczty elektronicznej MS Exchange,
- oprogramowania użytkowego.

Oprogramowanie użytkowe ze względu na jego dużą złożoność jest podzielone na podsystemy w szczególności:

- wymiany informacji (danych),
- bazy danych,
- zobrazowania,
- zadań ogólnych.

Każdy podsystem stanowi również złożony produkt programowy np. podsystem zobrazowania składa się z wielu programów (modułów), które służą do rysowania, edycji i przechowywania sytuacji operacyjno-taktycznej. Umożliwia nanoszenie znaków taktycznych na podkład mapy numerycznej (rys. 10.20).

Nanoszenie znaków odbywa się poprzez bazę danych i narysowaniu jego reprezentacji graficznie na mapie. Obiekty bazy danych będą miały wcześniej przyporządkowany szablon znaku graficznego, którym będą rysowane. Baza danych (obiektowa) jest centralną częścią oprogramowania informatycznego systemu wspomaganie dowodzenia.

Przy opracowaniu oprogramowania uwzględniono następujące standardy i zalecenia Agencji NATO:

- Model danych ATCCIS.
- Mechanizm replikacji ARM ATCCIS.

- Wymiana wiadomości (dokumenty sformalizowane) APP-9 (APP-11) i AdatP-3.
- Opis znaków taktycznych APP-6 i APP-6a.
- Mapy numeryczne VPF i CADRG.
- Model terenu DTED.



Rys. 10.20. Zobrazowanie sytuacji taktycznej na tle „mapy elektronicznej” dostosowanej do szczebla dowodzenia

Ponadto przy opracowaniu zarówno oprogramowania I sprzętu uwzględnia się zalecenia dotyczące OSE (ang. Open Systems Environment). Zastosowane rozwiązania sprzętowe i programowe zapewnia rozwój systemu w całym cyklu życia. Przekonanie Wojsk Lądowych o potrzebie posiadania, w obszarze zautomatyzowanym systemów dowodzenia i kierowania, stwarza perspektywy ich rozwoju [37].

Oprogramowanie systemu jest opracowywane przez pracowników Centrum Informatyki i Łączności Obrony Narodowej. Głównym Projektantem systemu jest inż. Z. Sabak.

10.3.4. Systemy nawigacji lądowej

Opracowanie przez PIT pierwszego systemu (urządzenia) nawigacji lądowej przebiegało równoległe z pracami nad zautomatyzowanym wozem dowodzenia [38].

Pod koniec lat siedemdziesiątych rozpoczęto opracowanie urządzenia nawigacji lądowej o nazwie UNZ-10 (Urządzenie Nawigacji Zliczeniowej); następne udoskonalone wykonanie tego urządzenia oznaczono jako UNZ-11. Do budowy tych urządzeń zastosowano żyroskopy mechaniczne GAK i MAJAK-2 (produkcja d. ZSRR). Na podstawie danych z żyroskopu – ką, oraz danych z czujnika drogi oblicza się bieżące położenie

i kierunek jazdy (ruchu) wozu. Urządzenia UNZ-10 i UNZ-11 były przedmiotem dostaw dla odbiorców krajowych jak i zagranicznych (CSRS, Słowacja).

W połowie lat dziewięćdziesiątych zakończono opracowanie systemu nawigacji lądowej – UNZ-20. W systemie tym dane z żyroskopu mechanicznego MAJAK-2 oraz dane z czujnika drogi zintegrowano z danymi z systemu nawigacji satelitarnej GPS (ang. Global Positioning System). Do integracji tej wykorzystano techniki optymalnej estymacji oparte o filtr Kalmana. Kilkadziesiąt sztuk systemów UNZ-20 dostarczono odbiorcom krajowym (dostawcy wyrobów dla MON). UNZ-20 jest stosowany w mobilnych stacjach radiolokacyjnych, stacjach rozpoznania radioelektronicznego i w zautomatyzowanych wozach dowodzenia ŁOWCZA 3.

Trudności z zapewnieniem ciągłości dostaw żyroskopów mechanicznych w szczególności żyroskopu MAJAK-2 stały się przyczyną poszukiwań nowych dostawców żyroskopu.

Na światowym rynku są dostępne żyroskopy mechaniczne, doskonale żyroskopy laserowe (bardzo drogie) oraz żyroskopy światłowodowe FOG (ang. Fibre Optic Gyro).

Dla nowych systemów nawigacji lądowej opracowywanych w PIT wybrano żyroskop światłowodowy.

Opracowano dwa nowe systemy nawigacji lądowej UNZ-50 (rys. 10.21) oraz UNZ-90.



Rys. 10.21. System nawigacji lądowej UNZ – 50 (prototyp)

Systemy te mają różną dokładność wyznaczenia położenia i kątów oraz różnią się ceną.

Zróżniczonymi źródłami informacji w tych systemach są: inercyjny blok pomiarowy IMU (ang. Inertial Measurement Unit) zbudowany z trzech żyroskopów światłowodowych i trzech czujników przyspieszenia oraz czujnik drogi i odbiornik GPS.

Zastosowanie IMU zapewnia realizację przez systemy nawigacji lądowej dodatkowych funkcji: pomiar kierunku początkowego wozu (azymutu) oraz pomiar kątów przechylenia i pochylenia (w urządzeniu UNZ-20 takich możliwości nie ma – jest wykonywany pomiar tylko jednego kąta w płaszczyźnie horyzontalnej) [26]. System UNZ-90 dzięki

swoim właściwościom jest zastosowany, między innymi, do orientacji mobilnych stacji radiolokacyjnych.

10.4. Zautomatyzowane systemy dowodzenia i kierowania Marynarki Wojennej

W 1990 roku zakończono badania kwalifikacyjne zautomatyzowanych obiektów zbioru, transmisji i zobrazowania informacji o sytuacji taktycznej nawodnej i powietrznej oraz wspomaganie procesów dowodzenia siłami morskimi i powietrznymi marynarki, a także wydawania i przesyłania komend dowodzenia o zwalczaniu środków napadu przeciwnika. Opracowany przez zespół pracowników PIT pod kierunkiem mgr inż. W. Zielińskiego, a w fazie końcowej mgr inż. W. Buszki, we współpracy z zespołem specjalistów Marynarki Wojennej i WZR RAWAR system ŁEBA składał się z obiektów dwu typów. Obiekt niższego szczebla był stacjonarnym obiektem brzegowym, współpracującym ze stacjami radiolokacyjnymi, stanowiącym podstawowe źródło informacji wprowadzanej do systemu. Jako jednostkę przetwarzania informacji zastosowano blok mikroprocesorowy opracowany i wykonany przez WZR RAWAR. Obiekt wyższego szczebla spełniał przede wszystkim funkcje uogólniania informacji uzyskiwanych z obiektów podporządkowanych oraz przedstawiania w możliwie przejrzysty sposób sytuacji taktycznej w obszarze obserwacji obiektów współpracujących. Ponadto obiekt nadrzędny mógł wspomagać rozwiązywanie zadań z zakresu nawigacji oraz wysyłać informacje związane z dowodzeniem i komendy o zwalczaniu celów. Obiekt ten był wyposażony w zestaw mini-komputerów o niewystarczających, jak się okazało w trakcie realizacji pracy, możliwościach. W omawianym systemie zastosowano dwie niezależne sieci łączności: główną telekodową i pomocniczą foniczną. W sieci łączności telekodowej zastosowano opracowane specjalnie na potrzeby systemu urządzenia transmisji danych, pracujące synchronicznie w jednolitym czasie systemowym. Urządzenia te, jak przewidywano, mogą znaleźć również zastosowanie w innych rozwiązaniach. Przyjęto zasadę komutacji pakietów przy wymianie informacji pomiędzy obiektami systemu. Przy transmisji między obiektami został zastosowany geograficzny układ współrzędnych i jednolity czas systemowy.

W wyniku przeprowadzonych badań kwalifikacyjnych ww. obiektów określono kierunki dalszych prac nad systemem ŁEBA. Prace te zostały omówione w oddzielnym artykule poświęconym pracom nad obiektami ZSyD dla Marynarki Wojennej).

10.5. Eksport systemów militarnych

Prace prowadzone w PIT dla Wojska Polskiego oraz wdrożenie do eksploatacji opracowywanych w Instytucie urządzeń i systemów stworzyło realne możliwości eksportu myśli technicznej i sprzętu.

Instytut przy współpracy z WZR RAWAR opracował w końcu lat 70. obiekty automatyzacji posterunków radiolokacyjnych (rys. 10.22), znanych pod nazwą L-10M, a w dalszej kolejności obiekty L-10P. Dostawy tych obiektów dla odbiorcy zagranicznego wykonał WZR RAWAR przy współpracy z PIT.



Rys. 10.22. Fragment sali operacyjnej obiektu L – 10M

Były to obiekty wymagające kompleksowego zaprojektowania - od koncepcji systemowej, poprzez adaptację sprzętu komputerowego i urządzeń zbioru, przetwarzania i zobrazowania informacji radiolokacyjnej do specyficznych wymagań użytkownika oraz oprogramowanie obiektów - do zabudowy w specjalnie zaprojektowanych budynkach, przystosowanych do eksploatacji w warunkach pustynnych. Posterunki radiolokacyjne zapewniały kontrolę sytuacji powietrznej oraz nawodnej.

Prace projektowe realizowano w bardzo krótkich terminach - od podpisania kontraktu do dostawy pierwszego obiektu upłynęło niewiele ponad rok!

Doświadczenia i wyniki prac nad zautomatyzowanym systemem obrony przeciwlotniczej wojsk, połączone z wcześniej zdobytą przez zespoły naukowo-badawcze Instytutu wiedzą z zakresu integracji obiektów systemowych, zaowocowały opracowaniem w drugiej połowie lat 80., a następnie eksportem obiektów DR-20N (zestaw dla połączonego stanowiska dowodzenia obroną powietrzną) oraz obiektów DR-10M i DR-20M dla zautomatyzowanego systemu obrony powietrznej szczebla taktycznego.

Wyżej wymienione obiekty są w pełni oryginalnymi rozwiązaniami, w których uwzględniono specyficzne wymagania użytkownika, w szczególności w zakresie integracji dostarczonych obiektów z posiadanym przez odbiorców i eksploatowanym przez nich sprzętem, zarówno radiolokacyjnym (stacje radiolokacyjne produkcji byłego ZSRR oraz produkcji polskiej), jak również obiektami dowodzenia i kierowania lotnictwem myśliwskim i wojskami raketowymi.

Eksport miał również pozytywne oddziaływanie na dostawy dla Wojska Polskiego. Wiele rozwiązań zastosowanych po raz pierwszy w eksportowanych obiektach znalazło później zastosowanie w dostawach krajowych i spotkało się z pozytywną oceną polskich użytkowników.

Eksport stworzył również dla Instytutu „poligon doświadczalny” w dziedzinie organizacji serwisu obiektów, w których oprócz sprzętu poważną rolę pełni oprogramowanie oraz wiedza systemowa.

Doświadczenia w zakresie działalności eksportowej wykazują, że eksport obiektów automatyzacji systemów dowodzenia i kierowania oraz wiedzy systemowej powinien być powiązany z doświadczeniem uzyskanym w wyniku eksploatacji podobnego sprzętu przez WP, którego opinia będzie dla zagranicznego odbiorcy zawsze jednym z istotnych elementów do podjęcia decyzji o zakupie. Znaczący eksport był możliwy dzięki wysiłkowi wielu specjalistów, przy czym jego początki były związane z działalnością gen. Dyw. W. Wojciechowskiego, inż. M. Migdalskiego, mgr inż. I. Grzenkowicza, dr inż. A. Janyszka, doc. mgr inż. J. Fietta.

10.6. Systemy kierowania ruchem lotniczym

W ścisłym powiązaniu z pracami prowadzonymi dla potrzeb wojska rozwijano w Polsce, podobnie jak to się dzieje na całym świecie, prace nad systemami kierowania ruchem lotniczym. Wspólną bazę stanowiła kadra specjalistów w dziedzinie systemów rozpoznawania radiolokacyjnego, wykształcona podczas realizacji zadań dla wojska, jak również wytworzona przy tym infrastruktura przemysłu i zaplecza badawczego. W Polsce skoncentrowano się przede wszystkim na systemach kierowania ruchem lotniczym w rejonie lotnisk. W roku 1980 na lotnisku Berlin-Schönefeld zainstalowano komputerowy system kontroli ruchu lotniczego GAMMA-1 dla tego lotniska. System GAMMA-1 został opracowany pod kierunkiem mgr Z. Juszczyka. Oprogramowanie zostało opracowane przez zespół programistów Zakładów Elektronicznej Techniki Obliczeniowej w Kielcach. Podstawą do prac nad oprogramowaniem stanowisk pracy kontrolerów była „Technologia pracy kontrolera ruchu lotniczego” opracowana niezwykle skru-

pulatnie przez specjalistów - praktyków organizacji Flugsicherung przedsiębiorstwa Interflug.

System GAMMA-1 realizuje swoje funkcje w oparciu o dwa podstawowe procesy:

- proces przetwarzania informacji radiolokacyjnej,
- proces przetwarzania informacji o planach lotów.

Procesy te są w dużym stopniu niezależne. Proces przetwarzania informacji radiolokacyjnej obejmuje przetwarzanie danych z radaru pierwotnego i wtórnego. Analogowy sygnał wizyjny radaru pierwotnego wprowadzony do ekstraktora poddawany jest obróbce w celu automatycznego wykrywania ech pochodzących od samolotów oraz pomiaru ich współrzędnych, tzn. odległości i kierunku wykrycia względem radaru. Dane te w postaci depe sz są wprowadzone do komputera.

Analogicznie sygnał wizyjny radaru wtórnego wprowadzany do ekstraktora pozwala na wykrycie oraz określenie współrzędnych obiektów powietrznych wyposażonych w transponder. Wypracowane przez ekstraktor radaru wtórnego depe sze zawierają ponadto dane przekazywane z pokładu samolotu przez transponder.

Jako źródła informacji zastosowano radar pierwotny kontroli rejonu lotniska AVIA-D oraz radar wtórny KOREŃ (produkcji dawnego ZSRR).

Przekazywane sukcesywnie z ekstraktora do komputera depe sze o wykrytych obiektach są poddawane dalszej obróbce polegającej na kojarzeniu ich w trasy. Stosowane są w tym celu odpowiednio dobrane algorytmy selekcji, gładzenia i predykcji, dzięki którym eliminowane są „falszywe” echa powstające na wskutek różnorodnych zewnętrznych czynników zakłócających pracę radarów, uzupełniane braki w informacji wynikające z naturalnych strat w wykrywaniu, zmniejszane błędy określenia położenia w przestrzeni. W procesie śledzenia następuje określenie parametrów ruchu każdego śledzonego obiektu oraz systematyczna aktualizacja tych parametrów na podstawie nowych danych uzyskiwanych z radaru. Do każdego śledzonego obiektu, który odpowiada na zapytanie radaru wtórnego dowiązywana jest automatycznie informacja o indywidualnym numerze transpondera i ewentualnie o aktualnej wysokości.

Proces przetwarzania planów lotów polega na bieżącym uzupełnianiu oraz aktualizacji danych zawartych we wstępnych planach lotów zmagazy nowanych w pamięci komputera w miarę otrzymania informacji przez kontrolerów ruchu lotniczego. Zbiór planów lotów w pamięci komputera jest w każdej chwili w pełni aktualny. Plany, dla których zbliża się czas realizacji są automatycznie zobra zowane na ekranie monitora. Po dokonaniu niezbędnych uzgodnień i dokonaniu właściwych aktualizacji w planie lotu, kontroler nadaje mu status planu bieżącego.

Bieżące plany lotów podlegają automatycznej aktywizacji w zależności od zawartej w nich informacji o przewidywanym czasie wejścia samolotu w przestrzeń odpowiedzialności systemu.

Informacje z planu aktywnego pojawiają się na ekranie wskaźnika kontrolera radarowego w postaci tzw. listy oczekiwań. Plany lotów już zrealizowanych są usuwane z pamięci komputera zwalniając miejsce na nowe plany. W przypadku znalezienia zgodności pomiędzy wpisanym kodem radiolokacji wtórnej śledzonego obiektu a kodem podanym przez transponder śledzonego obiektu następuje oznaczenie skojarzonego obiektu kodem wywoławczym, który znajduje się w znalezionym planie lotu.

Śledzone w komputerze obiekty są zobra zowane na wskaźnikach panoramiczno-syntetycznych kontrolerów radarowych. W systemie GAMMA-1 przewidziano rejestrację przebiegu kontroli ruchu lotniczego i możliwość odtworzenia na żądanie zarówno sytuacji powietrznej jak i przebiegu procesu kierowania ruchem lotniczym.

System GAMMA-1 w podstawowym wykonaniu może śledzić jednocześnie 100 samolotów znajdujących się w zasięgu jego działania oraz magazynować i poddawać obróbce jednocześnie 300 wstępnych planów lotów. Może być wyposażony w 3 do 6 stanowisk kontrolerów ruchu lotniczego i kontrolerów planowania.

System bazuje na dwumaszynowym zestawie komputerów Odra 1305, a na stanowiskach kontrolerów zainstalowane są wskaźniki panoramiczno-syntetyczne WPS-10. Pełniejszy opis systemu GAMMA-1 znajduje się w Pracach PIT [22].

Na bazie eksperymentalnego systemu kierowania ruchem lotniczym GAMMA-2 opracowano w PIT w latach 1990/91 nowy system kierowania ruchem lotniczym, przeznaczony dla obszarów z małą i średnią intensywnością ruchu lotniczego GAMMA-3. System ten został opracowany w Oddziale Gdańskim PIT przez zespół pracowników Oddziału pod kierunkiem mgr inż. W. Buszki.

System GAMMA-3 był przeznaczony do automatyzacji systemów kierowania ruchem lotniczym w centrach kontroli obszaru oraz kontroli zbliżania i realizował następujące funkcje:

- przechowywanie, kontrolę, korekcję i przetwarzanie informacji wieloradarowej pochodzącej z radarów pierwotnych (do 5 źródeł) i wtórnych (do 5 źródeł),
- śledzenie do 200 samolotów. Zastosowane algorytmy śledzenia uwzględniają m.in. wysokość lotu obiektów i kształt kuli ziemskiej oraz różne czasy lokacji obiektów,
- śledzenie obiektów manewrujących,
- automatyczną korekcję informacji o planach lotów z trasami,
- rejestrację i odtwarzanie na żądanie procesów kierowania ruchem lotniczym.

System bazował na komputerach kompatybilnych z IBM PC/386 i podwójnej sieci Ethernet. Konfiguracja systemu i zasoby mikrokomputerów były dostosowywane do realizowanych funkcji [11].



Rys. 10.23. Fragment sali operacyjnej wyposażonej w sprzęt systemu GAMMA

Autorzy postawili sobie zadanie pokazania wybranych problemów i osiągnięć automatyzacji systemów rozpoznania radiolokacyjnego, kontroli ruchu lotniczego oraz dowodzenia i kierowania w zakresie zastosowań militarnych i cywilnych, które wyznaczały kierunki rozwoju w blisko 30-letniej historii tej dziedziny w Polsce. Zdaniem autorów, będą miały również wpływ na rozwój tej dziedziny w przyszłości.

Zagadnienia związane z automatyzacją dowodzenia i rozpoznania były również przedmiotem prac badawczo-rozwojowych w Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) i w Centrum Techniki Morskiej (CTM). W dalszej części niniejszego rozdziału zostaną przedstawione opracowania powyższych instytucji w tej dziedzinie.

10.7. Zautomatyzowane systemy dowodzenia w Instytucie Automatyzacji Systemów Dowodzenia WAT

E. Kołodziński, T. Pietkiewicz

Instytut Automatyzacji Systemów Dowodzenia Wojskowej Akademii Technicznej powstał 15 listopada 1994 r. w wyniku przekształcenia Instytutu Komputerowych Systemów Dowodzenia Wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej. Komendantem IASD został płk dr hab. inż. Edward Kołodziński. W Instytucie prowadzono badania naukowe i prace badawczo-wdrożeniowe w następujących obszarach:

- automatyzacja procesów informacyjno-decyzyjnych w zarządzaniu i dowodzeniu, ze szczególnym uwzględnieniem:
 - komputerowego wspomaganie procesów dowodzenia w systemach obrony powietrznej,
 - komputerowego wspomaganie procesów dowodzenia Wojskami Lądowymi,
 - zintegrowanych informatycznych systemów zarządzania,
 - komputerowego wspomaganie procesów eksploatacji sieci przesyłowych,
- inżynieria oprogramowania,
- systemy baz danych,
- systemy informacji o terenie,
- sieci teleinformatyczne,
- projektowanie systemów informatycznych czasu rzeczywistego.

Działalność Instytutu była kontynuacją prac nad automatyzacją systemów dowodzenia obroną powietrzną kraju, prowadzonych od lat sześćdziesiątych XX wieku w Wydziale Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej. Poprzednikami Instytutu Automatyzacji Systemów Dowodzenia były następujące komórki Wojskowej Akademii Technicznej:

- Zespół Badawczo-Wdrożeniowy Specjalizowanych Systemów Informatycznych
- Wydziału Cybernetyki WAT (1981-1992),
- Instytut Komputerowych Systemów Dowodzenia Wydziału Cybernetyki WAT (1992-1994).

W ich ramach zrealizowano następujące prace badawczo-projektowe i projektowo-wdrożeniowe:

1. Opracowanie eksperymentalno-użytkowego systemu zbierania, obróbki i zobrazowania informacji radiolokacyjnej o sytuacji powietrznej w obszarze związku operacyjno-taktycznego Wojsk Obrony Powietrznej Kraju – CYBER-WA (1978 – 1983). Kierownikiem pracy był płk prof. dr inż. Jan Stasiński. Wynikiem pracy było opracowanie unikalnego zautomatyzowanego systemu dowodzenia obroną powietrzną na szczeblu operacyjno-taktycznym Wojsk Obrony Powietrznej Kraju i wdrożenie go do pracy bojowej w 2 KOPK.
2. Uruchomienie systemu CYBER-W w 1 i 3 KOPK (1983 – 1986). Wynikiem pracy było opracowanie wersji systemu CYBER-W do pracy w 1 i 3 KOPK i wdrożenie ich do pracy bojowej w tych korpusach.
3. Opracowanie użytkowego systemu zautomatyzowanego przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej oraz wspomaganie procesu decyzyjnego na SD KOPK (1984 – 1989). Wynikiem pracy było opracowanie zautomatyzowanego systemu dowodzenia obroną powietrzną na szczeblu operacyjno-taktycznym Wojsk Obrony Powietrznej Kraju, umożli-

- wiąjącego sprzężenie zautomatyzowanych systemów dowodzenia WOPK w jednolity system dowodzenia. System ten posiadał narzędzia wspomagające procesy podejmowania decyzji o użyciu aktywnych środków obrony.
4. Opracowanie podsystemu barwnego zobrazowania informacji alfanumerycznej w systemie CYBER-WA (1984 – 1989). Wynikiem pracy było skonstruowanie zestawu urządzeń do barwnego zobrazowania informacji alfanumerycznej, zastępującego monitory monochromatyczne MERA 7911.
 5. Podsystem informacyjnego zabezpieczenia CSD DW OPK w oparciu o technikę mikroprocesorową (1986 – 1987). Wynikiem pracy było opracowanie analizy funkcjonowania systemu dowodzenia WOPK oraz opracowanie założeń taktyczno-technicznych, analizy techniczno-ekonomicznej i koncepcji rozległej sieci mikrokomputerowej, łączącej stanowiska dowodzenia wszystkich szczebli WOPK.
 6. Opracowanie ZTT na zintegrowane miejsce pracy dla potrzeb systemów automatyzacji szczebla operacyjnego i operacyjno-taktycznego (1990 – 1991). Wynikiem pracy było opracowanie założeń taktyczno-technicznych, analizy techniczno-ekonomicznej i koncepcji realizacji zintegrowanego miejsca pracy, które byłoby wykorzystywane w nowo opracowywanych zautomatyzowanych systemach dowodzenia obroną powietrzną na szczeblu operacyjnym i operacyjno-taktycznym WLOP (m.in. w systemie BODZISZEK).
 7. Podsystem wielkoformatowego zobrazowania dla SD związku operacyjno-taktycznego Wojsk OPK z wykorzystaniem wideoprojektora (1990). Wynikiem pracy było opracowanie wielkoformatowego podsystemu zobrazowania informacji na SD KOPK, współpracującego z systemem CYBER-WA. Do realizacji pracy wykorzystano sieć mikrokomputerów IBM PC oraz wideoprojektory. Ponadto opracowano urządzenie sprzęgające wyżej wymienioną sieć z systemem komputerowym ODRA 1305.
 8. Opracowanie ZTT na zintegrowany system dowodzenia na CSD DW OPK (1990 – 1991). Wynikiem pracy było opracowanie założeń taktyczno-technicznych, analizy techniczno-ekonomicznej i koncepcji realizacji zautomatyzowanego systemu dowodzenia na CSD DW OPK, stanowiących podstawę do dalszych prac badawczo-projektowych.
 9. Wdrożenie użytkowego systemu zautomatyzowanego przetwarzania informacji o sytuacji powietrznej oraz wspomagania procesu decyzyjnego na SD 1, 2 i 3 KOPK (1990 - 1992).
 10. Wynikiem pracy było opracowanie użytkowych wersji systemu CYBER-WA przeznaczonych dla 1,2 i 3 KOPK i wdrożenie jej do pracy bojowej w tych korpusach.
 11. Uruchomienie podsystemu wielkoformatowego zobrazowania informacji na SD 3 KOP i SD 3 BRt (1992).
 12. Modyfikacja i rozbudowa oprogramowania eksploatowanych zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania środkami walki - modyfikacja oprogramowania systemu CYBER-WA (1991 – 1992).
 13. Wynikiem pracy było opracowanie zmodyfikowanej wersji oprogramowania systemu CYBER-WA, uwzględniającej wnioski z eksploatacji bojowej systemu oraz zmiany zachodzące w otoczeniu systemu.
 14. Metody i środki do doskonalenia działań systemu obrony powietrznej Rzeczypospolitej Polski (1992 – 1994). Wynikiem pracy było opracowanie metod i narzędzi do oceny stopnia zagrożenia powietrznego terytorium RP, opracowanie algorytmów komputerowego wspomagania procesów decyzyjnych w systemach obrony powietrznej oraz metod wspomagania prac projektowych ww. dziedzinie. W 1992 roku opracowano założenia i koncepcję symulatora do oceny stopnia zagrożenia powietrznego terytorium kraju.
 15. Opracowanie i wdrożenie wielostanowiskowego zautomatyzowanego systemu dowodzenia, który był eksploatowany na CSD WLOP.
- Zasadnicza praca realizowana w Instytucie w latach dziewięćdziesiątych (1992 – 1998) dotyczyła opracowania zautomatyzowanego systemu dowodzenia na CSD Dowódcy Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej pod kryptonimem „BODZISZEK”. W skład systemu weszło pięć podsystemów:
- podsystem dowodzenia,
 - podsystem oceny stanu i prognozowania sytuacji meteorologicznej,
 - podsystem planowania, koordynacji i kontroli ruchu lotniczego,
 - podsystem terminali w KOP,
 - symulator.
- Największy z nich – podsystem dowodzenia – składał się z wielu podsystemów składowych, między innymi obejmował:
- podsystem opracowywania obrazu sytuacji powietrznej (podsystem Centrum Informacyjno – Rozpoznawczego),
 - podsystem operacyjny (wojsk lotniczych, wojsk raketowych, wojsk radiotechnicznych, wojsk łączności i ubezpieczenia lotów, WRE i rozpoznania, służb operacyjnych),
 - podsystem logistyki,
 - podsystem analizy skażeń,
 - podsystem archiwum,

- podsystem zarządzania dokumentami bojowymi.

System BODZISZEK przeszedł pomyślnie badania kwalifikacyjne w końcu 1998 r.

IASD był również zaangażowany w realizację zautomatyzowanego systemu dowodzenia Wojsk Lądowych „KOLORADO” oraz opracowanie sieci komputerowej dla potrzeb służb hydrometeorologicznych WLOP. W latach dziewięćdziesiątych Instytut znacznie rozszerzył tematykę prac badawczo-projektowych i projektowo-wdrożeniowych, podejmując prace na rzecz gospodarki i instytucji administracji państwowej, w tym Ministerstwa Przemysłu i Handlu, Ministerstwa Łączności, Agencji Rynku Rolnego i Polskiego Górnictwa Naftowego i Gazu. Nową dziedziną, będącą kontynuacją prac z zakresu automatyzacji systemów dowodzenia wojskami, było zarządzanie kryzysowe.

W wyniku zmian zachodzących w resorcie Obrony Narodowej Instytut Automatyzacji Systemów Dowodzenia Wojskowej Akademii Technicznej został rozwiązany z dniem 31.12.2002 r.

W ponad dwudziestoletnim okresie istnienia Instytutu oraz jego poprzedników w tych instytucjach było zatrudnionych ponad 200 pracowników. Trudno jest wymienić wszystkich, natomiast od początku istnienia ZBW SSI (1981) do końca istnienia IASD WAT pracowali: mgr K. Górski, płk dr hab. inż. E. Kołodziński, płk dr inż. T. Pietkiewicz, płk mgr inż. P. Romaniec.

Tematykę realizowaną w IASD WAT kontynuuje pod kierownictwem dr. hab. inż. E. Kołodzińskiego Zespół Badawczo – Projektowy Specjalizowanych Systemów Informatycznych Wydziału Techniki Wojskowej WAT utworzony w lutym 2003 r.

10.8. Zautomatyzowane systemy dowodzenia w Centrum Techniki Morskiej (CTM)

J. Jakubczyk, R. Rugała

W 50-letniej historii radiolokacji w Polsce istotną rolę odegrało środowisko specjalistów zgrupowane w Marynarce Wojennej i przemysłowych ośrodkach badawczo-rozwojowych, bezpośrednio z nią współpracujących. Wiązało się to z budową Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia Marynarki Wojennej, której pierwotne koncepcje przygotowywali oficerowie JW. 2711 pod dowództwem kmdr. Zygmunta Zawadzkiego, już pod koniec lat 70. Pierwsze modele obiektów ZtSyD MW, wykorzystujące komputer polskiej produkcji Rodan-10, powstały w połowie lat 80. Zbudowano wówczas zarówno model obiektu brzegowego (ŁB-10) jak i okrętowego (ŁO-10), które utrzymywały ze sobą dwustronną transmisję danych z utajnieniem, wykorzystując, przystosowane specjalnie do tych

celów, urządzenie transmisji danych UTD-3cT, pracujące w kanale radiowym KF.

Jednym z pierwszych był obiekt ŁO-10, zainstalowany na okręcie ORP „Tur”, współpracujący z prototypowym radarem okrętowym NUR-25, opracowywanym przez WZR Rawar. W obu obiektach ZtSyD, lądowym i okrętowym, jako wskaźnik operatora, zastosowano nowoczesny wskaźnik panoramiczno-syntetyczny WPS-10, a w kolejnym modelu – WPS-11. Na ekranie, w oparciu o wizję radarową otrzymywaną ze stacji NUR-25, operator opracowywał obraz syntetyczny aktualnej sytuacji nawodnej. Dodatkowo, za pośrednictwem urządzenia UTD-3cT (produkcji WZE TELETRA z Poznania) można było na bieżąco, w czasie rzeczywistym, przysyłać opracowane informacje o sytuacji do obiektu brzegowego, pracującego w kontenerze. Jednocześnie obydwa te obrazy były rejestrowane – obraz radiolokacyjny, na specjalnie dostosowanym, polskiej produkcji, magnetowidzie MTV-50, a obraz syntetyczny na taśmach pamięci kasetowej PK-1. Dawało to możliwość przeglądania i analizowania zarejestrowanej na ćwiczeniach sytuacji, po powrocie do portu. Dokonywane oceny przebiegu ćwiczeń pozwalały na wprowadzanie kolejnych udogodnień w modelowym oprogramowaniu obiektów ZtSyD.

Pozytywne wyniki badań modelu stacji NUR-25 we współpracy z komputerem RODAN-10 posłużyły do opracowania programu budowy okrętowej stacji NUR-27 oraz modernizacji brzegowego systemu rozpoznania radiolokacyjnego. Stymulowały jednocześnie podjęcie kolejnych zadań w zakresie projektowania obiektów ZtSyD MW. Dostęp do nowych technologii, pod koniec lat 80., umożliwił podjęcie decyzji o budowie obiektów z wykorzystaniem mikroprocesorów serii Intel-8086. Specjaliści zakładu doświadczalnego WZR Rawar, przy wsparciu specjalistów JW. 2711, skonstruowali specjalizowany komputer BMP-10u, którego zadaniem było przejęcie funkcji uprzednio zaimplementowanych w modelach obiektów ŁB-10 i ŁO-10, wykorzystując jako konsolę operatorską zmodyfikowany wskaźnik stacji radiolokacyjnej WRP-10. Jako nowoczesny system operacyjny wykorzystano zakupiony w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów system SIRTOS (Small Industrial Real-Time Operation System). Po jego gruntownym przebudowaniu (zakupiono wersję know-how) i dostosowaniu do nowych potrzeb (tzw. duży model pamięci tj. powyżej 64 kB dla pamięci danych i powyżej 64 kB dla pamięci kodu), znacznie przekraczających możliwości oryginalnej wersji, uzyskano znakomicie radzący sobie z kilkudziesięcioma jednoczesnymi przerwaniem sprzętowymi, system operacyjny czasu rzeczywistego. Rewolucyjne w tych czasach było również zastosowanie przy pisaniu oprogramowania, mało popularnego jeszcze w kraju, języka programowania

C, w połączeniu z językiem asemblerowym, w szczególnie newralgicznych czasowo miejscach. Jednocześnie, wraz ze specjalistami WAT, w JW. 2711, opracowano nową wersję urządzenia transmisji danych, znanego pod nazwą UTD-MW, które umożliwiło zastosowanie nowatorskich metod w zakresie tworzenia sieci abonentów z wykorzystaniem podziału czasu (TDMA – Time Division Multi Access). W wyniku tych prac w 1990 roku przebadano z wynikiem pozytywnym pięć prototypowych konsol operatorskich, mogących pracować na okręcie i integrujących kilka okrętowych podsystemów, a w szczególności: podsystem obserwacji w oparciu o radar NUR-27, Zintegrowany System Określania Pozycji SZOP (zbudowany w Wyższej Szkole Marynarki Wojennej) oraz podsystem wymiany danych w oparciu o UTD-MW.

Od początku lat 90. w JW. 2711 rozpoczęto prace nad nową wersją konsol operatorskich dla brzegowego systemu obserwacji radiolokacyjnej (ŁB-10 i ŁB-20) w oparciu o komputery klasy PC, zarządzane systemem operacyjnym DOS i współpracujące ze zmodernizowanym podsystemem radiolokacyjnym MW, realizowanym w ramach programu „Czeczotka” przez WZR Rawar. Program ten umożliwił znaczne unowocześnienie Posterunków Obserwacji Wzrokowo-Technicznej i Łączności MW, które wyposażono w radary, automatycznie wykrywające i prowadzące wykryte cele, oraz w środki łączności, umożliwiające bezawaryjne, całodobowe przekazywanie informacji o sytuacji na morzu i w powietrzu do stanowisk dowodzenia. System do tej pory znakomicie spełnia swoje zadania podczas prowadzenia przez Morskie Ratownicze Centrum Koordynacyjne akcji ratowniczych na morzu, wspomaganych siłami i środkami Marynarki Wojennej.

Równolegle, w Zespole Informatyki oraz w OBR Centrum Techniki Morskiej – pracowano nad nową wersją obiektów okrętowych (ŁO-20) i brzegowych – szczebla taktycznego (ŁB-30) i operacyjno-taktycznego (ŁB-40), w oparciu o komputery z systemem operacyjnym UNIX, wykorzystujące terminale i stacje robocze. Prace te doprowadziły do powstania w 1996 roku prototypu pełnego systemu, spełniającego podstawowe zadania Zautomatyzowanego Systemu Dowodzenia MW, takie jak: zobrazowanie rzeczywistej sytuacji operacyjnej obszaru odpowiedzialności Marynarki Wojennej, a także wspomaganie planowania podstawowych działań oraz zautomatyzowaną wymianę informacji pomiędzy obiektami. W ramach ZtSyD MW powstały obiekty brzegowe, lotnicze i okrętowe. Systemy okrętowe integrują wszystkie sensory, efektory i podsystem wspomaganie decyzyjnego, a okręty proj. 206FM, wyposażone w nie są, wg opinii użytkownika, najlepiej przystosowane do wykonywania zadań trałowania, niszczenia pól minowych, wytyczania torów oraz przeprowadzania

zespołów okrętów w rejonach zagrożeń minowych, zgodnie z wymaganiami NATO.



Rys. 10.24. Konsole na okręcie proj. 206FM

W ten sposób, w końcu lat 90., powstała infrastruktura informacyjna w Marynarce Wojennej, która umożliwiła podejmowanie kolejnych wyzwań. W ciągu ostatnich lat, w ramach kolejnej pracy badawczo-rozwojowej, prowadzonej przez OBR Centrum Techniki Morskiej, system został rozbudowany o prototypowe rozwiązania z zakresu obserwacji sytuacji podwodnej, zarówno na torach wodnych, jak i przy podejściach do portów. Informacje o obiektach podwodnych, wykrytych przez specjalizowane sonary, umieszczone na okrętach oraz samolocie „BRYZA”, a także przez pasywne anteny hydro-akustyczne, barierę magnetyczną oraz czujniki określające poziom podstawowych parametrów pól fizycznych, wchodzących i wychodzących z portu okrętów, są przekazywane bezpośrednio do systemu dowodzenia Marynarki Wojennej i udostępniane operatorom uprawnionych konsol. Równocześnie poddano również gruntownej modernizacji system łączności radiowej, pracujący zarówno w oparciu o radiostacje KF jak i UKF. Poprzez wprowadzenie zdalnego sterowania środkami radiowymi, rozmieszczonymi wzdłuż wybrzeża i częściowe jego zautomatyzowanie, znacznie uproszczono jego obsługę. Sys-

tem ten wykorzystywany jest jednocześnie dla zapewnienia łączności fonicznej oraz wymiany danych.

Aktualnie trwają prace nad systemami zapewniającymi interoperacyjność działań sił Marynarki Wojennej w ramach współdziałania w NATO. Pierwszym gotowym produktem jest urządzenie sprzęgające, zrealizowane w ramach pracy pk. „POLIP”. Urządzenie to zapewnia interoperacyjność obiektu, wyposażonego w system LINK-11, w zakresie wymiany informacji o celach powietrznych, nawodnych oraz podwodnych. Cele odbierane z łącza LINK-11 są zobrazowywane na konsoli obiektu ZtSyD MW. Z kolei cele prowadzone w ramach systemu ZtSyD MW mogą być przesyłane do łącza LINK-11. Została także zakończona budowa prototypu polskiej konsoli łącza LINK-11 (KSL-1100), zdolnej do współpracy zarówno w ramach sieci natowskiej, jak też z obiektami narodowego systemu dowodzenia Marynarki Wojennej. Konsola ta zapewnia w pełni kompatybilne zobrazowanie sytuacji taktycznej, sterowanie i zarządzanie pracą łącza LINK-11 oraz wymianę danych o wszystkich celach zdefiniowanych w łączu. Najistotniejszym elementem w tym rozwiązaniu jest dostosowanie informacyjne meldunków o sytuacji radiolokacyjnej do potrzeb łącza natowskiego. Podjęte już w OBR CTM prace w zakresie budowy własnych rozwiązań w zakresie: urządzeń DTS, modemu radiowego KF, a także wspomnianych konsol i konwerterów protokołu LINK-11, pozwolą w najbliższym czasie na zbudowanie polskiej wersji urządzenia LINK-11.



Rys. 10. 25. Konsole systemu LINK-11, od lewej – konsola symulatora łącza LINK, w środku – konsola KSL-1100 w wersji COTS, po prawej – okrętowa wersja konsoli KSL-1100

Konsola KSL-1100 może być wykorzystywana przez MW jako produkt końcowy, zapewniający zobrazowanie sytuacji taktycznej, ale także może być traktowana jako baza do budowy specjalizowanych konsol dedykowanych dla konkretnych platform (np. dla konkretnego samolotu, okrętu, brzegowego punktu radiolokacyjnego). W przypadku specjalizowanych konsol funkcjonalność KSL-1100 jest rozszerzana o integrację z dostępnymi podsystemami wykrywania oraz śledzenia, a także o wymagane funkcje wspomaganie dowodzenia (np. planowanie trasy). Jako pierwsza planowana jest budowa konsoli KSL-11BR, będącej wersją konsoli KSL-1100 przeznaczoną na samolot „BRYZA”. KSL-11BR będzie integrowała: radar ARS-400, podsystem magnetometryczny oraz hydroakustyczny, znajdujące się na pokładzie tego samolotu.

Duży wkład w polską myśl z zakresu badań kompatybilności elektromagnetycznej mają, pracujący od 20 lat w tym zakresie, specjaliści OBR Centrum Techniki Morskiej. Rozbudowane w ostatnich latach laboratoria umożliwiają badania gotowych urządzeń pod kątem spełnienia wymagań zarówno z zakresu odporności na zewnętrzne pola elektromagnetyczne, jak też określania poziomu emisji pola elektrycznego i magnetycznego, mogącego mieć wpływ na działania innych urządzeń, pracujących w pobliżu oraz wzajemnego negatywnego oddziaływania jednego na drugie.

Te stanowiska laboratoryjne umożliwiają także prowadzenie w ośrodku prac nad budową urządzeń komputerowych (obudów komputerów i monitorów), spełniających wysokie wymagania z zakresu, w pełni kontrolowanego, poziomu emisji ujawniającej podczas przetwarzania danych. Szczelne elektromagnetycznie komory i kontenery, które powstały przy współdziałaniu OBR CTM, potwierdzają przygotowanie firmy w tym zakresie.

Wiedza w zakresie szeroko pojętej teorii pola elektromagnetycznego jest szczególnie cenna przy realizowaniu nowatorskich koncepcji z zakresu wzbudnikowych trałów niekontaktowych, za pomocą których można emulować pole magnetyczne i akustyczne dowolnego obiektu nawodnego, przechodzącego nad polem minowym, na którym postawiono miny inteligentne. Wiedza ta jest także stosowana praktycznie na okrętach MW podczas procesu minimalizacji i kontrolowanego kształtowania pola magnetycznego każdego z nich.



Rys. 10.26. Komputer w obudowie „Tempest”

Jak wynika z 50-letniego dorobku polskiego przemysłu radiolokacyjnego, jedynie głęboka współpraca szerokiego, krajowego, przemysłowego środowiska badawczo-rozwojowego umożliwi realizację planów unowocześnienia i modernizacji polskich sił zbrojnych, proponując rozwiązania nie gorsze technologicznie i konkurencyjne cenowo. Lata doświadczeń uświadomiły istniejące ogromne sprzężenie rozwoju radiolokacji i zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Trudno dziś powiedzieć, która dziedzina którą napędza.



Rys. 10.27. Monitory: „tempestowy” (po lewej) i standardowy (po prawej), pracujące w wymuszonym polu elektromagnetycznym na stanowisku badawczym

Niewątpliwie trzeba przyznać, że pionierskie postępy Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji oraz WZR Rawar w tym zakresie spowodowały lawinowe zapotrzebowanie, a w konsekwencji rozwój prac badawczo-rozwojowych, przede wszystkim w obszarze systemów obserwacji radiolokacyjnej, a następnie zautomatyzowanych systemów dowodzenia w Marynarce Wojennej RP.

11. DZIAŁALNOŚĆ KONFERENCYJNA I WYDAWNICZA

Krzysztof Łoziński, Edward Sędek

Działalność konferencyjna i wydawnicza związana z radiolokacją skupia się głównie na organizacji konferencji krajowych i międzynarodowych, a także na publikacji osiągnięć w czasopiśmie krajowych i zagranicznych. W rozdziale tym dokonano próby przedstawienia zorganizowanych w ubiegłych latach konferencji jak również wydawnictw, w których były publikowane najważniejsze wyniki prowadzonych prac.

11.1. Działalność konferencyjna

Już od 35 lat organizowane są coroczne krajowe naukowo-techniczne Konferencje Radiolokacji. Pierwsza konferencja zorganizowana z inicjatywy ówczesnego Departamentu Uzbrojenia MON, Wojskowego Instytutu Uzbrojenia, Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji i Warszawskich Zakładów Radiowych RAWAR obradowała w 1968 roku na terenie Wyższej Oficerskiej Szkoły Radiotechnicznej w Jeleniej Górze. Uczestniczył w niej nieliczny zespół 33 specjalistów i decydentów wojskowych i cywilnych, aby wytyczyć zadania na najbliższy okres i ukierunkować prace na lata następne.

Tej pierwszej konferencji nadano roboczy tytuł „Perspektywy Rozwoju Radiolokacji w Polsce”. Skupiono wtedy uwagę głównie na problemach technicznych warunkujących wysoką jakość i gotowość bojową systemu radiolokacyjnego oraz na pożądanych parametrach ówczesnych stacji radiolokacyjnych, a zwłaszcza na ich zdolności do wykrywania obiektów na małych wysokościach. Omówiono też problemy bazy podzespołowej, a nawet zagadnienia BHP przy obsłudze urządzeń radiolokacyjnych. Była to konferencja nader ważna, doprowadziła do koncentracji wysiłków na wybranych kierunkach, a ponadto podjęto wtedy decyzję o celowości corocznych spotkań tego typu.

Każda z kolejnych konferencji poświęcona była innej problematyce i miała inny roboczy tytuł, a organizatorzy starali się, aby w każdym roku zmieniać miejsce konferencji. Przytaczanie tematyki poszczególnych konferencji zajęłoby zbyt wiele miejsca. Warto jednak zwrócić uwagę na niektóre ważniejsze problemy podejmowane na tych konferencjach, które w sposób dodatni skutkują do dzisiaj. Na przykład na IV konferencji przyjęto kierunek i zasady budowy modułowych urządzeń radiolokacyjnych, co dało początek rodzinie stacji NUR. Na V konferencji wypracowano kierunki i dziedziny specjalizacji oraz zasady współpracy międzyinstytucjonalnej. Na VI przyjęte kierunki automatyzacji podsystemów radiolokacyjnych stały

się podstawą do intensywnego i owocnego rozwoju tej dziedziny, a na VIII przyjęto zasady wdrażania systemów. Nie uszły z pola widzenia zagadnienia jakości i niezawodności, a w związku ze zmieniającą się sytuacją gospodarczą w kraju były korygowane i optymalizowane działania rozwojowe radiolokacji w warunkach reformy i rozwijającej się gospodarki rynkowej. Wiele uwagi poświęcono problemom badawczym i wdrożeniowym urządzeń i systemów oraz zasadom współdziałania.

Począwszy od XVI konferencji podjęto dodatkowo tematykę rozpoznawania radiolokacyjnego, systemów dowodzenia, walki radioelektronicznej, identyfikacji obiektów i radarów balistycznych. Nasze konferencje nigdy nie usiłowały formułować recepty na gotowe rozwiązania problemów, wskazywały jedynie na pożądane bądź konieczne kierunki działania.

Wszystkie nasze konferencje zawsze stawały sobie za cel wypracowanie takich kierunków działania, które służyłyby przede wszystkim zaspokoleniu potrzeb naszego wojska zgodnie z wymaganiami współczesnego pola walki oraz stanowiłyby wkład w rozwój gospodarki narodowej i stwarzałyby możliwości eksportowe opracowanego i produkowanego w kraju sprzętu radiolokacyjnego i systemów dowodzenia.



Rys. 11.1. Uczestnicy XXXII Konferencji Radiolokacji w Jeleniej Górze w 2000 roku

Każda z konferencji podejmowała stosowną uchwałę, której postanowienia, mimo braku formalnych rygorów, są wiążące i respektowane nie tylko przez uczestników konferencji, a stopień ich realizacji zwykle zamyka się wynikiem dodatnim.

Wszystko to możliwe było dzięki temu, że konferencje potrafiły zainteresować i skupić przedstawicieli Dowództw i Szefostw rodzajów wojsk i

służb, instytutów, uczelni oraz cywilnych i wojskowych instytucji naukowych i badawczych, a także przedstawicieli resortów i przemysłu, pracujących na rzecz obronności w dziedzinie elektroniki, a także w innych dziedzinach niezbędnych dla rozwoju radiolokacji i jej systemów. Ten stan rzeczy przyczynił się do coraz lepiej układającej się współpracy między wojskowymi i cywilnymi ośrodkami naukowo-badawczymi, zakładami produkcyjnymi i użytkownikami.

Ta współpraca i wyniki obrad konferencji skutkowały pośrednio w sposób dodatni na rozwój i kondycję całej Polskiej Radiolokacji, która w minionym 50-leciu, mimo różnych przeciwności losu, a ostatnio niekorzystnej koniunktury, ma na swoim koncie szereg osiągnięć na poziomie krajów wysoko rozwiniętych w dziedzinie opracowań i produkcji na skalę przemysłową. Opracowane w kraju urządzenia produkowane były nie tylko dla potrzeb Wojska Polskiego ale niejednokrotnie były przedmiotem opłacalnego eksportu do wielu krajów świata, skutecznie konkurując z analogicznymi produktami państw o rozwiniętej technologii.

W bieżącym, jubileuszowym roku Polskiej Radiolokacji obradować będzie kolejna XXXV Konferencja Radiolokacji, której jednym z głównych organizatorów przez 35 lat, począwszy od I Konferencji jest doc. mgr inż. Krzysztof Łoziński.

Drugą, krajową konferencją ściśle związaną z radiolokacją jest Konferencja Automatyzacji Dowodzenia. Konferencja organizowana jest corocznie, a tematyka jej obejmuje zagadnienia związane z: integracją zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania środkami walki, komputerowym wspomaganie systemów dowodzenia, modelowaniem i symulacją w szkoleniu wojsk oraz wymianą informacji w ZSyD. Drugą grupą tematów omawianych w czasie obrad konferencji są bezpieczeństwo informacyjne w systemach dowodzenia i wojna informacyjna oraz problemy standaryzacji i unifikacji w ZSyD. Ponadto prezentowane są zagadnienia związane z projektowaniem i badaniami ZSyD oraz techniką wytwarzania oprogramowania.

Pierwsza konferencja odbyła się w 1993r. w Centrum Szkolenia Wojsk Radiotechnicznych w Jeleniej Górze, a wzięło w niej udział około 90 uczestników reprezentujących rodzaje wojsk, uczelnie wojskowe, instytuty cywilne i wojskowe oraz instytucje zajmujące się tematyką automatyzacji dowodzenia. Organizatorami konferencji były następujące instytucje: Instytut Automatyzacji Systemów Dowodzenia WAT, Przemysłowy Instytut Telekomunikacji, Centrum Informatyki Sztabu Generalnego Wojska Polskiego, Centrum Techniki Morskiej, Departament Polityki Zbrojeniowej MON, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych oraz Centrum Szkolenia Radioelektronicznego. Celem konferencji było przedstawienie przez rodzaje sił zbrojnych potrzeb w zakresie systemów dowodzenia oraz określenie kierunków prac pod kątem

wymagań stawianych przez NATO. Ważną częścią konferencji jest prezentacja stanu realizacji bieżących prac przez poszczególne ośrodki naukowe, badawcze i produkcyjne. Począwszy od ubiegłej konferencji wprowadzono zasadę zmieniającą w istotny sposób samą jej koncepcję. Mianowicie zaproszone referaty wygłaszane są przez reprezentantów sił zbrojnych, a następnie przedstawiciele nauki prezentują swój punkt widzenia. Stwarza to możliwość oceny prawidłowości zaproponowanych kierunków prac i stanowi pole do szerokiej dyskusji.



Rys. 11.2. Uczestnicy Konferencji „Automatyzacja Dowodzenia” w Jeleniej Górze w 1999 roku

W bieżącym, jubileuszowym Roku Polskiej Radiolokacji kolejna XI konferencja Automatyzacji Dowodzenia odbędzie się na jesieni w Wojskowym Ośrodku Wypoczynkowym w Pieczyskach.

Krajową konferencją, z udziałem gości zagranicznych, jest organizowana od 1990r. przez Instytut Radiolokacji WAT konferencja pt. „Sterowanie w radiolokacji i obiektach latających”. Już podczas II konferencji w 1991r. do jej organizacji aktywnie włączyli się: Wydział Elektroniki WAT oraz Przemysłowy Instytut Telekomunikacji.

Podczas III Konferencji w 1992r. tematyka jej została wzbogacona o teorię radiolokacji, co podniosło jej poziom naukowy. W konferencji bierze udział około 110 uczestników głównie z WAT i PIT, uczelni wyższych i krajowych ośrodków badawczych. Konferencja odbywała się co roku w Jeleniej Górze, w Centrum Szkolenia Wojsk Radiotechnicznych. Ze względu na likwidację Centrum w ubiegłym roku rozpatruje się jej kontynuację w innym miejscu. Plonem dotychczasowych konferencji jest 508 opublikowanych komunikatów i referatów w materiałach konferencyjnych. Wydawane corocznie materiały stają się literaturą poszukiwaną przez wielu pracowników z instytucji cywilnych i wojskowych. Zagranicznymi gośćmi konferencji są tradycyjnie przedstawiciele Akademii Wojskowej ze Słowacji. Prezentują oni swój dorobek w dziedzinie ogólnie pojętej radiolokacji.

Ważną konferencją międzynarodową związaną z radiolokacją jest MIKON. Konferencja ta powołana do życia w 1968r. przez prof. dr inż. Adama Smolińskiego pod nazwą Mikrofalowa Elektronika Ciała Stałego (MECS) była krajowym forum dyskusyjnym środowiska mikrofalowego w Polsce. Na konferencji prezentowano referaty i komunikaty obejmujące prace w dziedzinie techniki mikrofalowej wykonywane w uczelniach wyższych cywilnych i wojskowych, a także w instytutach naukowych. Bardzo często prezentowane prace dotyczyły bezpośrednio radiolokacji, tzn. nadajników, odbiorników czy też anten urządzeń radiolokacyjnych. Nazwę MIKON konferencja przyjęła począwszy od 1986r. (Krajowa Konferencja Mikrofalowa). Głównym organizatorem konferencji począwszy od 1988r. był Przemysłowy Instytut Telekomunikacji i jest nim do dzisiaj. Konferencja MIKON uzyskała status konferencji międzynarodowej w 1994r. dzięki poparciu jej przez trzy „chaptery” IEEE, a mianowicie: szwedzki, niemiecki i węgierski. Zakres tematyczny konferencji został przez międzynarodowy komitet programowy TPC w 1998r. rozszerzony o tematykę radarową i radiokomunikacji bezprzewodowej. Obecna nazwa konferencji brzmi: „International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications”. Konferencja odbywa się co dwa lata (w latach parzystych), na przemian z konferencją mikrofalowo-optoelektroniczną MIOP, organizowaną w Monachium (Niemcy), w latach nieparzystych. Taki układ umożliwia wymianę doświadczeń w dziedzinie mikrofalowej, radiolokacyjnej i optoelektronicznej w regionie europejskim, co jest zgodne z celem postawionym przez organizatorów konferencji MIKON i MIOP.



Rys. 11.3. Zespół międzynarodowego komitetu naukowego konferencji MIKON

Tematyka konferencji obejmuje zagadnienia związane z: propagacją fal EM, antenami, mikrofalowymi układami aktywnymi i pasywnymi, scalonymi układami hybrydowymi i monolitycznymi, techniką fal milimetrowych, teorią pola EM, mierzniactwem mikrofalowym oraz zastosowaniami tech-

niki mikrofalowej w przemyśle, rolnictwie i medycynie. Tematyka radiolokacyjna obejmuje radary wojskowe, radary polarymetryczne i cywilne, radary wykorzystujące technikę SAR (Synthetic Aperture Radar) i ISAR oraz obróbkę sygnałów radiolokacyjnych. Prezentowane są również urządzenia i systemy wsparcia elektronicznego ESM, zakłócania ECM, czy też rozpoznania radioelektronicznego ELINT. W konferencjach MIKON bierze udział około 300 uczestników, z tego ponad 100 z zagranicy. Referaty zaproszone wygłaszają najlepsi w świecie specjaliści z poszczególnych dziedzin wiedzy, reprezentujący zarówno uniwersytety jak i znane firmy światowe. Do „stałych” uczestników konferencji należą: prof. Wolfgang Boerner (Chicago University), prof. Tatsuo Itoch (University of California), prof. Robert Hill (Maryland University), Steven Johnston (Huntsville Alabama), prof. Rolf Jansen (Aachen University of Technology), prof. Tibor Berceli (Technical University of Budapest), prof. Franco Giannini (University „Tor Vergata” Roma), prof. Eric Kollberg (Chalmers University of Technology), prof. Leo Ligthart (Delft University of Technology) i wielu innych, których nie sposób tu wymienić. Począwszy od 1988r. funkcję przewodniczącego komitetu organizacyjnego pełni prof. Edward Sędek, zaś funkcję przewodniczącego komitetu programowego od 1996r. pełni prof. Józef Modelski z Politechniki Warszawskiej.

11.2. Działalność wydawnicza

Działalność wydawnicza w dziedzinie radiolokacji obejmuje czasopisma ukazujące się periodycznie, materiały z konferencji krajowych i zagranicznych oraz publikacje w postaci monografii i książek. Z czasopism należy wymienić Prace Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji, Biuletyn Wojskowej Akademii Technicznej oraz Postępy Radiotechniki wydawane w PIT. W wymienionych czasopismach są publikowane prace obejmujące całość tematyki radiolokacyjnej. Dodatkowo wydawane są tzw. zerowe (poufne) numery Prac PIT, w których są zamieszczane głównie referaty, a także wybrane komunikaty wygłaszane w czasie obrad Konferencji Radiolokacji. Czasopismo „Prace PIT” wysyłane jest do 38 ośrodków naukowych i badawczych zarówno wojskowych, jak i cywilnych w kraju, a także do kilku ośrodków za granicą.

Materiały z konferencji krajowych wydawane są w postaci książkowej, natomiast materiały z konferencji MIKON zarówno w postaci książkowej (4 tomy), jak i w postaci elektronicznej na płycie CD. Materiały te w liczbie 40 kpl. po 4 tomy wysyłane są również do IEEE w USA, co jest związane zarówno ze sponsorowaniem konferencji przez tę organizację, jak również utrzymania jej statusu międzynarodowego.

12. SYSTEMY ZAPEWNIENIA JAKOŚCI

Edward Sędek, Marek Borejko

System Zapewnienia Jakości gwarantuje i uwiarygodnia spełnienie wymagań i oczekiwań klienta. Stanowi uznaną przez kierownictwo podstawę zarządzania firmą i żaden dokument, ani działanie nie może pozostać z nim w sprzeczności. System jest weryfikowany przez działalność auditową i wynikające z niej działania korygujące. Ponadto uznaje się, że jakość jest podstawowym miernikiem wykonanej pracy przez każdego pracownika i stanowi podstawę do indywidualnej oceny każdego pracownika. Wdrożone Systemy Zapewnienia Jakości ISO-9001 i AQAP-110 obejmują kontrolę realizacji prac badawczo-rozwojowych na wszystkich etapach ich realizacji, począwszy od prac studialnych i projektów koncepcyjnych, poprzez projekt wstępny i techniczny, aż do wykonania prototypu i serii wyrobów. System jakości obejmuje również serwis oraz eksploatację w pełnym cyklu życia wyrobu, aż do jego złomowania.

12.1. System Zapewnienia Jakości ISO-9001 i AQAP-110 w PIT

Systemy Zapewnienia Jakości ISO-9001 i AQAP-110 zostały wdrożone w PIT odpowiednio w 1998r. i w 1999r. W grudniu 1999r. PIT uzyskał stosowne certyfikaty obejmujące następujący zakres działalności: prace badawczo-rozwojowe, projektowanie, produkcja, instalowanie i serwis urządzeń radiolokacyjnych, anten radiolokacyjnych, systemów rozpoznania radioelektronicznego, podzespołów mikrofalowych i zautomatyzowanych systemów dowodzenia. Certyfikat systemu jakości wg PN-ISO 9001: 1996 jest ważny do 15.12. 2003r., natomiast certyfikat wg AQAP-110 jest ważny do 5.01. 2006r. W drugiej połowie br. zostanie opracowana dokumentacja systemu zgodnie z normą PN-ISO 9001: 2000 i PIT wystąpi o przedłużenie certyfikatu systemu na dalsze 5 lat. Poniżej są przedstawione uzyskane certyfikaty.



Rys. 12.1. Kopia certyfikatu systemu jakości PN-ISO 9001



Rys. 12.2. Kopia certyfikatu systemu jakości AQAP-110

12.2. Certyfikacja wyrobów

Spełnienie wymagań technicznych, jakościowych i eksploatacyjnych przez wyroby produkowane przez ZPD PIT potwierdzają certyfikaty na wyroby wydane na podstawie badań wykonanych w wojskowych laboratoriach akredytowanych. Aktualnie posiadamy osiem certyfikatów na wyroby, do których należą:

- Trójwspółrzędna stacja radiolokacyjna „EDYTA”, certyfikat Nr Z/27/3/99
- Obiekt centrum dowodzenia sektora CDS-20 z automatycznym węzłem dostępu AWD-10D, Certyfikat Nr Z/27/19/2002
- Obiekt centrum rozpoznania radiolokacyjnego CRR-20 z automatycznym węzłem dostępu AWD-10C i terminalem DUNAJ-ASOC Nr Z/27/18/2002
- Zautomatyzowany postereunek radiolokacyjny ZPR-10S, certyfikat Nr Z/27/20/2002
- Terminal sprzężenia stacji TSS-10S, certyfikat Nr Z/27/21/2002
- Radar mobilny RM-100, certyfikat Nr Z/27/4/2002

- Cichy radar morski CRM-200, certyfikat Nr Z/27/5/2002
- Stacja rozpoznania naziemnych systemów radiolokacyjnych MUR-20, certyfikat Nr Z/27/2/2002.

12.3. Wewnętrzny system kontroli obrotu wyrobami strategicznymi (WSK)

Rosnąca wymiana międzynarodowa zwiększa niebezpieczeństwo, że towary i technologie, które mogą być użyte do projektowania, wytwarzania, przenoszenia broni masowego rażenia, dostaną się w niepowołane ręce. Intencją PIT jest ścisłe przestrzeganie zasad kontroli obrotu towarami, technologiami i usługami o znaczeniu strategicznym, określonych w krajowych przepisach prawa. W związku z powyższym w Instytucie wprowadzono wewnętrzny system kontroli (WSK) obrotu towarami, technologiami i usługami o znaczeniu strategicznym, wydano Księgę WSK, ustalono i ogłoszono „Politykę Instytutu dotyczącą WSK”. Otrzymane certyfikaty krajowy i międzynarodowy IQNet są przedstawione na rys. 12.3. i 12.4.



Rys. 12.3. Certyfikat systemu jakości i Kryteriów WSK

Rys. 12.4. IQNet certyfikat systemu jakości PN-ISO 9001

Uzyskany certyfikat stanowił podstawę do uzyskania koncesji na prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym lub policyjnym, do tej bowiem kategorii zaliczono produkcję urządzeń radiolokacyjnych w szerokim tego słowa znaczeniu. Koncesję taką Instytut uzyskał w dniu 30.04.2003r.



Rys. 12.5. Kopia udzielonej przez MSWiA koncesji

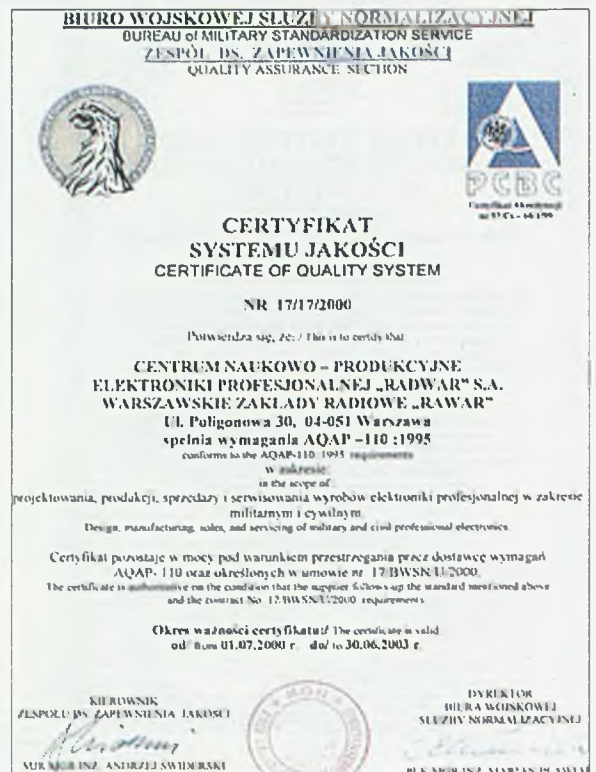
12.4. Systemy Zapewnienia Jakości ISO 9001:2000 i AQAP-110 w CNPEP RADWAR S.A.

Spełnienie wymagań technicznych, jakościowych i eksploatacyjnych przez wyroby produkowane przez RADWAR potwierdzają certyfikaty na wyroby wydane na podstawie badań wykonanych w wojskowych laboratoriach akredytowanych. Aktualnie posiadamy szesnaście certyfikatów na wyroby.

W Centrum Naukowo-Produkcyjnym Elektroniki Profesjonalnej RADWAR projektowanie, produkcja i serwis wyrobów objęte są certyfikowanym systemem zarządzania jakością według wymagań międzynarodowej normy ISO 9001:2000. Ponadto spełniamy wymagania zawarte w dokumencie normalizacyjnym NATO AQAP-110: 1995. Odpowiednie certyfikaty są przedstawione na rys. 12.6 i 12.7.



Rys. 12.6. Kopia certyfikatu systemu ISO 9001: 2001



Rys. 12.7. Kopia certyfikatu AQAP-110

12.5. Wewnętrzny system kontroli obrotu wyrobami strategicznymi (WSK)

CNPEP RADWAR prowadzi bieżącą kontrolę obrotu wyrobami strategicznymi w ramach certyfikowanego Systemu Kontroli Wewnętrznej.

Wraz z rosnącą wymianą międzynarodową zwiększa się możliwość, że towary i technologie, które mogą być użyte do projektowania, wytwarzania, przenoszenia broni masowego rażenia, dostaną się w niepowołane ręce. Intencją CNPEP RADWAR S.A. jest ściśle przestrzeganie zasad kontroli obrotu towarami, technologiami i usługami o znaczeniu strategicznym określonych w krajowych przepisach prawa. W związku z powyższym w naszej firmie wprowadzono wewnętrzny system kontroli (WSK) obrotu towarami, technologiami i usługami o znaczeniu strategicznym, wydano Księgę WSK, ustalono i ogłoszono „Politykę firmy dotyczącą WSK”. Pan Marek Borejko jako Przedstawiciel Kierownictwa ds. Kontroli Obrotu nadzoruje funkcjonowanie wewnętrznego systemu kontroli.

Polskie Centrum Badań i Certyfikacji w styczniu 2003r przeprowadziło audit certyfikacyjny wymagań WSK z wynikiem pomyślnym. CNPEP RADWAR S.A. otrzymało certyfikat nr JW-79/1/2003 z dnia 03.03.2003. Aktualnie w ramach funkcjonowania systemu WSK prowadzone są następujące działania w naszej firmie:

- sprawdzanie listy odmów i ewidencja raportów, archiwizacja.
- klasyfikacja towaru i ich ewidencja przy udziale konstruktorów.
- występowanie do Departamentu Kontroli Eksportu Ministerstwa Gospodarki i Polityki Społecznej o zgodę na obrót.

Posiadany Certyfikat jest ważny przez 3 lata. Certyfikat jest warunkiem uzyskania koncesji na prowadzenie działalności gospodarczej w zakresie wytwarzania i obrotu materiałami wybuchowymi, bronią, amunicją oraz wyrobami i technologią o przeznaczeniu wojskowym i policyjnym.



Rys. 12.8. Certyfikat systemu jakości i Kryteriów WSK

13. KRAJOWY POTENCJAŁ NAUKOWO-BADAWCZY I PRODUKCYJNY W DZIEDZINIE RADIOLOKACJI

Edward Sędek

Opracowanie i produkcja urządzeń radiolokacyjnych w Polsce związana jest w pierwszym rzędzie z działalnością Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji i Warszawskich Zakładów Radiowych RAWAR.

PIT stanowi wiodącą jednostkę badawczo-rozwojową, która prowadzi szeroką gamę tematów naukowo-badawczych związanych z radiolokacją, opracowuje prototypy urządzeń, a od 1990r. wdraża wyniki prac w Zakładzie Produkcji Doświadczalnej PIT, realizując niezbędne dla Polskich Sił Zbrojnych zamówienia na urządzenia radiolokacyjne, systemy rozpoznania radioelektronicznego oraz systemy kierowania i dowodzenia.

WZR RAWAR są zakładem powołanym do seryjnej produkcji urządzeń radiolokacyjnych i obiektów systemowych zarówno w oparciu o opracowania Instytutu, jak i własne prace badawczo-rozwojowe. W porównaniu do lat 70. i 80. zapotrzebowanie na seryjną produkcję obecnie znacznie zmalało, ze względu na ograniczenia finansowe MON, co zmusiło zakład do głębokiej restrukturyzacji. Działające od 1997r. Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej RADWAR, w którym zakładem wiodącym jest RAWAR, uległo znacznej redukcji ze względu na drastyczny spadek zamówień ze strony MON.

Badania państwowe prototypów radarów przeprowadzane są w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia na poligonie w Zielonce koło Warszawy.

Należy podkreślić, że rozwój polskiej radiolokacji byłby niemożliwy bez zaplecza podzespołowego i materiałowego, głównie w technice mikrofalowej. Wymienić tu należy: Zakłady Elektroniczne LAMINA, w których opracowano i produkowano lampy mikrofalowe dużej mocy: amplitrony i magnetrony, ITE Politechniki Wrocławskiej oraz nieistniejące dzisiaj zakłady DOLAM, produkujące lampy z falą bieżącą (LFB). Obecnie lampy (LFB) są produkowane w Oddziale Wrocławskim PIT, co w pełni pokrywa zapotrzebowanie MON w tym zakresie. Wymienione podzespoły mikrofalowe przeznaczone są do budowy nadajników radiolokacyjnych. Wymienić również należy Instytut Technologii Elektronowej (ITE), gdzie opracowano gamę półprzewodnikowych diod mikrofalowych, takich jak: waraktory, diody Schotkyego, diody Gunn'a oraz diody PIN, które stanowią ważne podzespoły w układach odbiorczych urządzeń radiolokacyjnych. Podobnie istotną rolę odegrały opanowane w ZMM-POLFER technologie produkcji mi-

krofalowych materiałów ferrytowych i dielektrycznych. Materiały te pozwoliły na opracowanie szeregu mikrofalowych podzespołów ferrytowych dużej i małej mocy, wykonanych w technice falowodowej, paskowej i mikropaskowej. Podzespoły te są niezbędne w konstrukcjach przełączników NO, separatorów w łańcuchach wzmacniaczy dużych mocy, separatorów w nadawczo-odbiorczych wierszach płaskich anten ścianowych, czy układów kierunkowych stosowanych w traktach odbiorczych. Z firm produkcyjnych należy tutaj wymienić zakłady BUMAR, OBRUM i OBR Stalowa Wola, które specjalizują się w produkcji różnego typu podwozi, konstrukcji kabin antenowych i podantenowych, jak również napędów i siłowników hydraulicznych niezbędnych w konstrukcji kompletnych urządzeń radiolokacyjnych.

Zarówno PIT jak i RAWAR współpracują z wieloma krajowymi ośrodkami naukowymi, badawczo-rozwojowymi i produkcyjnymi, w których opracowano szereg nowoczesnych podzespołów niezbędnych do konstrukcji złożonych urządzeń radiolokacyjnych i obiektów systemowych.

Uzyskanie pozytywnych wyników w działalności przemysłowej w radiolokacji związane jest ze ścisłą współpracą z instytucjami wojskowymi i bezpośrednimi użytkownikami sprzętu. Przede wszystkim należy tutaj wymienić:

- Wojskową Akademię Techniczną,
- Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia,
- Wojskowy Instytut Łączności,
- Centrum Informatyki i Łączności Obrony Narodowej,
- Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych.

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpił szybki rozwój technik informacyjnych i informatycznych, co spowodowało zmianę profilu działalności wielu zakładów naukowo-badawczych Instytutu, jak również komórek organizacyjnych RAWARU. Wzrosła również współpraca i kooperacja z placówkami reprezentującymi tę dziedzinę wiedzy. Z głównych kooperantów wymienić tu należy Politechnikę Warszawską, WAT, Politechnikę Gdańską oraz szereg mniejszych firm, jak np. FILBICO.

Aby uzmysłowić czytelnikowi jakim potencjałem badawczym i produkcyjnym dysponuje dzisiaj polska radiolokacja, zostaną obecnie przedstawione w skrócie najważniejsze w tej dziedzinie możliwości reprezentowane przez poszczególne instytucje. W poprzednich rozdziałach niniejszego opracowania przedstawiono opracowane w PIT i RADWAR urządzenia radiolokacyjne oraz szereg innych

mniejszych systemów opracowanych w WAT, WITU i FILBICO. Obecnie przedstawimy bliżej charakterystyki ośrodków badawczych i firm związanych z radiolokacją.

13.1. Charakterystyka działalności PIT

Edward Sędek

Przemysłowy Instytut Telekomunikacji w ramach działalności statutowej prowadzi prace w dziedzinach wiedzy bezpośrednio związanych z radiolokacją, a mianowicie:

- techniką mikrofalową,
- techniką antenową,
- cyfrową obróbką sygnałów,
- zobrazowaniem radiolokacyjnym,
- systemami rozpoznania radioelektronicznego,
- systemami kierowania i dowodzenia.

W PIT skupiony jest największy w kraju potencjał badawczo-rozwojowy i konstrukcyjny związany z radiolokacją, techniką mikrofalową oraz systemami dowodzenia i kierowania. Ponad połowa z 850 pracowników posiada wyższe wykształcenie techniczne, w tym 26 specjalistów posiada tytuł naukowy profesora, lub stopień doktora nauk technicznych. W Instytucie i jego oddziałach zamiejscowych działa 16 zakładów naukowo-badawczych, które realizują bieżące prace badawczo-rozwojowe oraz wyprzedzeniowe dofinansowywane przez KBN. Instytut posiada w KBN kategorię I oraz uprawnienia do nadawania stopnia naukowego doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektronika.

Trzy oddziały zamiejscowe zlokalizowane są w Gdańsku, Wrocławiu oraz w Kobyłce koło Warszawy.

Oddział Gdański prowadzi prace badawczo-rozwojowe i projektowe nad systemami antenowymi z elektronicznie sterowaną wiązką. Anteny tego typu wykonane w postaci płaskich ścian, złożone są z wielu podzespołów mikrofalowych, elektronicznych i mechanicznych. Oddział specjalizuje się w projektowaniu i budowie radarów dla Marynarki Wojennej, systemów rozpoznania radioelektronicznego, jak również opracowuje radary pola walki i kontroli płyt baz lotniczych.

W Oddziale Wrocławskim PIT opracowywane są i produkowane lampy z falą bieżącą (LFB) przeznaczone do nadajników radiolokacyjnych urządzeń stacjonarnych, mobilnych i lotniczych. W ostatnich latach Oddział wyspecjalizował się również w systemach rozpoznania RWR/ESM.

Oddział Anten w Kobyłce stanowi poligon badawczo-pomiarowy anten radiolokacyjnych wyposażony w niezbędne do badań wieże antenowe, systemy wielokanałowych odbiorników pomiarowych oraz zaplecze warsztatowo-produkcyjne.

Realizacja programu w dziedzinie radiolokacji wymagała opracowania wielu podzespołów i zespołów mikrofalowych dużej i małej mocy, bez których nie byłoby możliwe wykonanie modelu, a później prototypu radaru (większość tych podzespołów była objęta embargiem). Należało również wdrożyć do produkcji nowo opracowane podzespoły, których parametry spełniały specjalne wymagania mechaniczno-klimatyczne. Utrudniony był dostęp do światowej literatury naukowo-technicznej, zarówno czasopism jak i książek specjalistycznych. Ograniczenia te spowodowały, że opracowania w dziedzinie techniki mikrofalowej stanowią poważny dorobek naukowo-badawczy wielu specjalistów krajowych. Były to w większości prace twórcze, rozpoczynające się od projektu koncepcyjnego, przez etap analizy teoretycznej i projekt, zakończone dokumentacją konstrukcyjną, weryfikacją modeli i na koniec realizacją prototypu z pełnymi ich badaniami. Ostatnim etapem pracy była realizacja serii informacyjnej, a następnie nadzór nad serią produkcyjną. Prace te wymagały wysoko specjalizowanych kadr mikrofalowców, konstruktorów mechaników oraz technologów. W ciągu 30 lat opracowano metody analizy, projektowania i badania wielu podzespołów, zespołów i bloków funkcjonalnych urządzeń radiolokacyjnych. Znaczącą rolę przy opracowaniu nowych podzespołów odegrała aparatura kontrolno-pomiarowa. W latach 60. Instytut dysponował jedynie aparaturą produkcji radzieckiej o średniej klasie dokładności. Były to generatory sygnałowe pracujące punktowo, ręcznie przestrajane, linie pomiarowe ze szczeliną, tłumiki absolutne, sprzęgacze, dzielniki mocy oraz kalorymetryczne mierniki mocy. Opracowania to pozwoliły na skompletowanie stanowisk pomiarowych do pomiaru elementów przeznaczonych zarówno na duże, jak i małe poziomy mocy mikrofalowej.

Istotny postęp w technice pomiarowej nastąpił w latach 80. i ostatnio w latach 90. po wyposażeniu laboratoriów PIT w amplitudowo-fazowe i amplitudowe analizatory obwodów mikrofalowych. Za pomocą tej aparatury opracowano większość stosowanych do dzisiaj podzespołów mikrofalowych. Do najważniejszych opracowań i wdrożeń Instytutu należy zaliczyć:

- nadajniki mikrofalowe dużej mocy,
- wysokostabilne źródła sygnału radiolokacyjnego,
- wielowrotowe falowodowe dzielniki dużej mocy,
- nadawcze trakty falowodowe,
- polaryzatory falowodowe oraz przełączniki antena - sztuczne obciążenie ASO,
- rodzinę ograniczników pasywnych i quasi-aktywnych,
- rodzinę niskoszumnych wzmacniaczy parametrycznych,

- niskoszumne wzmacniacze LFB,
- bloki sygnałów wzbudzających nadajników radiolokacyjnych,
- filtry falowodowe dużej mocy oraz elementy traktów falowodowych,
- rodzinę mikrofalowych podzespołów ferrytowych dużej mocy,
- złącza obrotowe dużej i małej mocy wykonane w technice falowodowej i paskowej,
- rodzinę zintegrowanych głowic odbiorczych z podwójną przemianą częstotliwości,
- rodzinę mikrofalowych podzespołów ferrytowych małej mocy na podłożach z granatu, wykonanych techniką MUS,
- rodzinę wzmacniaczy niskoszumnych i liniowych wzmacniaczy mocy na podłożach ceramicznych i laminatowych,
- tzw. galanterię mikrofalową, tzn. złącza współosiowe, przejścia, ruchome zwarcia, strojniki itp.

Projektowanie i budowa bloków i zespołów funkcjonalnych w urządzeniach radiolokacyjnych wiąże się z opracowaniem szeregu podzespołów mikrofalowych czynnych i biernych. Opracowania układowe PIT w tym zakresie nie odbiegają pod względem koncepcyjnym od rozwiązań światowych. Opracowano m.in. mikrofalowe wzmacniacze małoszumne na tranzystorach bipolarnych i tranzystorach polowych, przeznaczone do pracy w zakresie częstotliwości do pasma X włącznie, o wzmacnieniu zależnie od potrzeb $10\div 30\text{dB}$, (np. wzmacniacze na tranzystorach bipolarnych na pasmo S, o współczynniku szumu mniejszym od $3,5\text{dB}$ [4], wzmacniacze na tranzystorach polowych na pasmo X o współczynniku szumu mniejszym od $1,25\text{dB}$ i wzmacnieniu mocy większym od 20dB) [5].

W dziedzinie wzmacniaczy liniowych średniej mocy o mocy wyjściowej rzędu kilkudziesięciu mW opracowano szereg typów wzmacniaczy pracujących zazwyczaj w układzie zrównoważonym. Zależnie od potrzeb wzmacniacze pracują w pasmach o szerokościach od kilkunastu procent od kilku oktaw. Wzmacniacze te są również projektowane na tranzystorach bipolarnych do częstotliwości pasma S i na tranzystorach polowych na częstotliwościach od pasma L do pasma X. We wzmacniaczach zrównoważonych są stosowane oryginalne rozwiązania sprzęgaczy kierunkowych chronione patentem RP. W zakresie częstotliwości pasm L i S opracowano wzmacniacze liniowe o mocach do $1,0\text{ W}$.

Przykładami szerokopasmowych wzmacniaczy są: wzmacniacz mocy na tranzystorach bipolarnych [6] o mocy wyjściowej większej niż $+29\text{dBm}$ w zakresie liniowej pracy i w zakresie częstotliwości $1\div 3,3\text{GHz}$, wzmacniacze na tranzystorach polowych [7] o mocy większej od 23dBm w pasmie

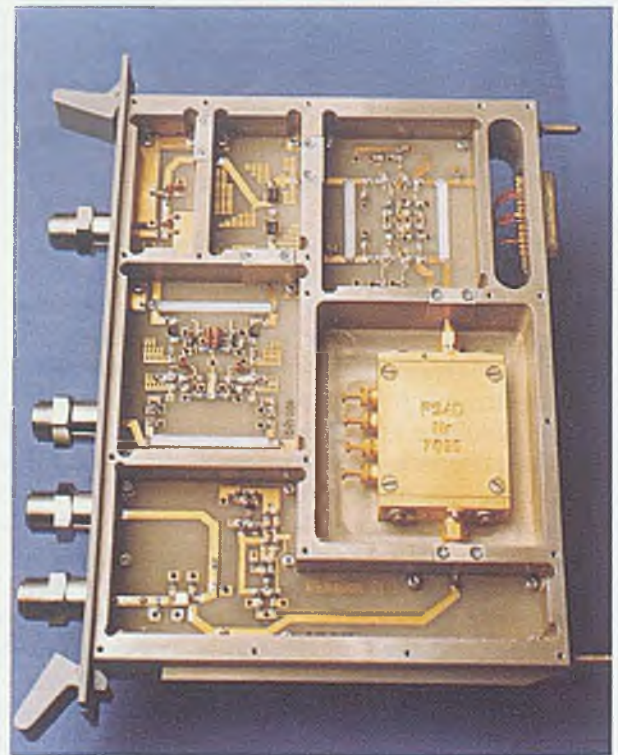
$0,8\div 2\text{GHz}$ i o takiej samej mocy w pasmie $2\div 3,8\text{GHz}$.

Mieszacze mikrofalowe stosowane w PIT są na ogół układami monolitycznymi, produkowanymi przez czołowych światowych producentów; w szczególnych zastosowaniach wykorzystywane są własne opracowania mieszaczy projektowanych na kwartetach z diodami Schottky'ego.

W torach odbiorczych i w torach wzbudzenia nadajnika, przy budowie źródeł mocy mikrofalowej są niezbędne filtry mikrofalowe, często o bardzo wysokich wymaganiach na stromość zboczy lub na dopuszczalną wartość tłumienia przepustowego.

Są one wykonywane w technice linii mikropaskowych lub budowane na elementach o stałych skupionych, w formie najbardziej przydatnej do łączenia z innymi układami MUS [8]. W układach, w których wymagana jest duża selektywność i małe straty przenoszenia, stosowane są filtry na sprzężonych liniach powietrznych.

Przykładem rozwiązania fragmentu toru odbiorczego urządzenia radiolokacyjnego pracującego w pasmie L jest zintegrowany odbiornik o dużej dynamice przenoszonych sygnałów i dużej odporności na zakłócenia. Odbiornik składa się z dwóch konwerterów pierwszej i drugiej przemiany umieszczonych w oddzielnych obudowach. Odbiornik jest szczegółowo opisany w artykule [9]. Konwerter pierwszej przemiany jest przedstawiony na rysunku 13.1.



Rys.13.1. Konwerter pierwszej przemiany zintegrowanego odbiornika na pasmo L

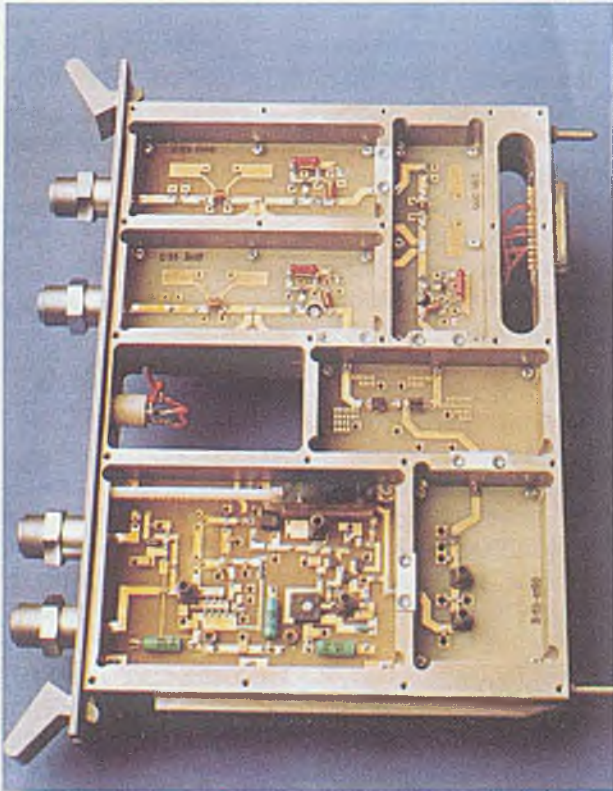
Na wejściu konwertera wbudowano przełącznik do wprowadzenia sygnału testującego tor odbiorczy

urządzenia, za którym umieszczono filtr pasmowo przepustowy na liniach powietrznych TEM o stratach przenoszenia mniejszych od 0,5dB i WFS =1,2. Dalej zastosowano małoszumny wzmacniacz pracujący w układzie zrównoważonym o współczynniku szumu mniejszym od 2dB i wzmacnieniu około 20dB.

Przemiana częstotliwości zachodzi w mieszaczu podwójnie zrównoważonym z kwartetem na diodach Schottky'ego z wysoką barierą. Mieszacz zapewnia dobrą izolację wejść heterodyny: sygnału i pośredniej częstotliwości i mały poziom sygnałów pasożytniczych na wyjściu p.cz.

Moc pierwszej heterodyny jest wzmacniana w zrównoważonym wzmacniaczu średniej mocy do poziomu niezbędnego do wypompowania mieszacza; moc wyjściowa wzmacniacza przy 1dB kompresji wzmacnienia wynosi + 23dBm.

Konwerter drugiej przemiany przedstawiono na rys. 13.2. Zastosowano w nim taki sam mieszacz jak w konwerterze wejściowym, szerokopasmowe wzmacniacze na zakres pierwszej i drugiej częstotliwości pośredniej oraz częstotliwości II heterodyny, a także filtry pasmowo przepustowe o specjalnej konstrukcji, zapewniające poza pasmem pracy, tj. na częstotliwościach zaporowych, impedancję bliską 50 Ω .

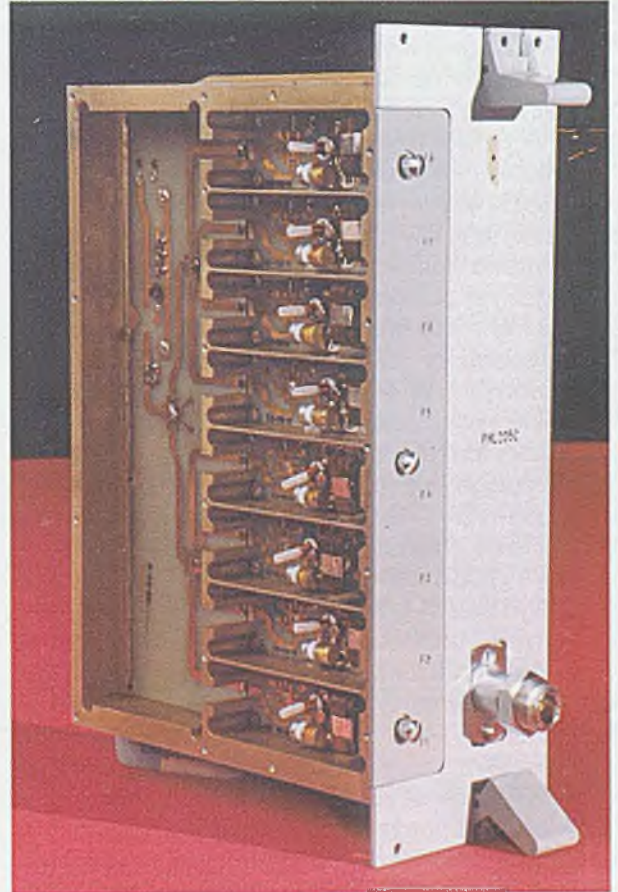


Rys. 13.2. Konwerter drugiej przemiany zintegrowanego odbiornika na pasmo L

Takie rozwiązanie pozwoliło zminimalizować poziom szkodliwych produktów intermodulacyjnych

oraz zapewnić dużą równomierność wzmacnienia przemiany w pasmie. Na wyjściu konwertera zastosowano wzmacniacz o 1dB punkcie kompresji +20dBm, dzięki czemu dynamika wypadkowa odbiornika dla pasma 1MHz wynosi około 75dB. W obwodzie wyjściowym wzmacniacza wprowadzono dodatkowy tor pomiarowy wykorzystywany do kontroli wzmacnienia torów odbiorczych urządzenia. W odbiorniku zastosowano nowoczesne elementy półprzewodnikowe i elementy bierne przewidziane do montażu płaskiego. W większości zespołów zastosowano zasilanie aktywne, dzięki czemu odbiornik pracuje w szerokim zakresie zmian temperatury otoczenia bez zmian parametrów elektrycznych. Odbiornik charakteryzuje się dużą odpornością na zakłócenia zewnętrzne.

Źródła mocy mikrofalowej budowane w PIT są wykorzystywane przede wszystkim jako układy wzbudzania torów nadawczych w urządzeniach radiolokacyjnych i jako heterodyny lokalne w układach odbiorczych. Na rys. 13.3. przedstawiono źródło mocy na pasmo L z bezpośrednią syntezą o bardzo małych szumach fazowych i szybkim czasie przełączania. Źródło szczegółowo opisano w publikacji [10].



Rys. 13.3. Wysokostabilna szybko przestrajana heterodyna na pasmo L

Źródło mocy mikrofalowej zawiera zestaw ośmiu generatorów kwarcowych pracujących w sposób ciągły i wytwarzających sygnały o częstotliwościach będących harmonicznymi częstotliwościami znamionowych kwarców. Każdy z generatorów wyposażony jest w szybki elektroniczny przełącznik typu SPDT, zapewniający stałość obciążenia dla generatora. Przełącznik kieruje sygnał generowany albo do obciążenia $Z_0=50\Omega$, „albo do dalszej części układu. Sygnał z aktualnie wykorzystywanego generatora jest dostarczany do jednego z ośmiu wejść szybkiego elektronicznego demultipleksera, którego czas przełączania jest mniejszy od $4\mu s$, a dalej do zespołu wzmacniająco-powielającego, gdzie jest filtrowany, wzmacniany i powielany do częstotliwości leżącej w zakresie częstotliwości pasma L. Sekwencyjny wybór częstotliwości pracy jest sterowany mikroprocesorem.

Źródło mocy wykonano w technice hybrydowej z zastosowaniem technologii montażu płaskiego. W układzie stosowano nowoczesne elementy półprzewodnikowe i układy monolityczne. Na rys. 13.3. przedstawiono widok obwodów źródła mocy od strony generatorów kwarcowych i szybkiego demultipleksera. Do ochrony wejściowych stopni torów odbiorczych urządzeń stosowane są układy ograniczania mocy mikrofalowej. Opracowane w PIT układy pasywne i quasi-aktywne ograniczają przychodzącą na ich wejście moc impulsową z przedziału $0,1 W \div 15 kW$ do mocy kilkudziesięciu mW w impulsie na wyjściu.

Podobnie jak w układach czynnych, opanowano projektowanie i wykonawstwo mikrofalowych podzespołów ferrytowych w pasmach od UHF do X. Opracowano falowodowe izolatory rezonansowe pracujące na poziomie mocy do $1,5 MW$ w impulsie i $10 kW$ mocy średniej. Układy te stosowane są jako separatory stopni końcowych nadajników mikrofalowych. W ścianowych antenach urządzeń radiolokacyjnych stosowane są rozgałęzieniowe cyrkulatory dużej i małej mocy. Od podzespołów tych wymaga się powtarzalności charakterystyk amplitudowych i fazowych. Opracowania PIT w tym zakresie obejmują rozgałęzieniowe cyrkulatory paskowe i falowodowe, które wdrożono do produkcji na Wydziale Produkcji Doświadczalnej Instytutu. Na potrzeby techniki odbiorczej (do zastosowania w głowicach odbiorczych) opracowano i wdrożono rodzinę cyrkulatorów mikropaskowych wykonanych techniką MUS na podłożach magnetycznych (granat mikrofalowy). Podzespoły te są wykonywane w wersji obudowanej i nie obudowanej w zależności od potrzeb konstrukcyjnych. Opanowanie tej dziedziny wiedzy związane jest z opracowaniem w PIT metod analizy i projektowania CAD. Przy ich użyciu można projektować cyrkulatory paskowe, mikropaskowe i falowodowe [11], [12]. Za ich opracowanie dr inż. Edward Sędek otrzymał w latach 1980 i 1992 nagrody IV Wydziału Nauk Technicznych PAN.

Materiały ferrytowe, zarówno o strukturze spinelowej jak i granatu, przeznaczone do tych zastosowań, zostały opracowane i wdrożone do produkcji w Zakładach Materiałów Magnetycznych POLFER.

Jedną z najważniejszych części urządzenia radiolokacyjnego jest jego antena nadawczo-odbiorcza, której parametry decydują o podstawowych właściwościach radaru. Jej sprawność energetyczna, kształty wiązek, charakterystyka promieniowania, poziom listków bocznych, własności filtracji przestrzennej wprost przekładają się na zasięg radaru, rozróżnialność w odległości i azymucie oraz odporność na zakłócenia bierne i czynne. W okresie 50 lat opracowano szereg anten reflektorowych przeznaczonych do opracowanych radarów, a począwszy od lat 90. płaskich anten ścianowych, charakteryzujących się znacznie niższym poziomem listków bocznych, niż w antenach reflektorowych. Technologia i konstrukcja anten ścianowych w sposób zasadniczy różni się od technologii i konstrukcji anten reflektorowych. Antena reflektorowa zbudowana jest na stelażu o odpowiednim kształcie, na którym zamontowana jest metalowa siatka. Oświetlenie reflektora odbywa się za pomocą tuby (tub), do której doprowadzona jest moc mikrofalowa. Układy mikrofalowe dużej i małej mocy są praktycznie poza anteną. Inaczej rzecz się ma w płaskiej antenie ścianowej, która zbudowana jest z n-wierszy nadawczych i odbiorczych bądź nadawczo-odbiorczych, które same w sobie stanowią wielowrotowe dzielniki mocy. Każdy z wierszy od strony przestrzeni zakończony jest elementami promieniującymi wykonanymi w postaci dipoli półfalowych (najczęściej 32-40 elementów). Ustawione w postaci regału wiersze tworzą ścianę płaskiej anteny (zwykle kilkanaście do kilkudziesięciu wierszy). Dzielniki mocy w każdym wierszu zapewniają odpowiedni rozkład mocy sygnału wzdłuż wiersza, natomiast rozkład mocy w kierunku od wiersza do wiersza zapewnia pionowy dzielnik mocy wykonywany najczęściej w wersji falowodowej. Technologię wykonania takich anten opanowano w Zakładzie Produkcji Doświadczalnej PIT.

Opracowane w ostatnich latach płaskie anteny ścianowe posiadają wiązkę (wiązki) przestrajane elektronicznie w jednej bądź dwu płaszczyznach. Stanowi to dalszy postęp technologiczny i konstrukcyjny, wynikający z zastosowania sterowanych przesuwników fazy w każdym wierszu. Wiodącą rolę w opracowaniu metod projektowania tego typu anten odegrał prof. dr hab. inż. Stanisław Rosłonec, który obecnie w dalszym ciągu je doskonali.

Drugą najważniejszą częścią urządzenia radiolokacyjnego jest system obróbki odebranych sygnałów radiolokacyjnych. Po odebraniu ech sygnałów, ich wzmocnieniu, przemianie częstotliwości, filtracji i detekcji w odbiorniku radaru w taki sposób,

aby zapewnić maksymalne wyróżnienie sygnałów użytecznych na tle zakłóceń, następuje przetworzenie ich na postać cyfrową i zasadnicza ich obróbka. Polega ona na zastosowaniu filtracji dopplerowskiej w celu pozbycia się zakłóceń biernych, porównaniu sumy sygnału i szumu z progiem wykrywania w układzie stabilizacji poziomu fałszywego alarmu (wspomagane przez mapy zakłóceń biernych), co pozwala na podjęcie decyzji o wykryciach bądź niewykryciach obiektów, a następnie integracji paczki impulsów echa w celu dalszej poprawy stosunku sygnału do szumu. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów wykonywane w oparciu o specjalizowane procesory sygnałowe zostało opanowane w Instytucie dla różnych klas radarów. Znaczący wkład w tę dziedzinę wiedzy wniósł współpracujący z PIT zespół naukowców z Politechniki Warszawskiej pod kierunkiem prof. *nzw. dr hab. inż. Andrzeja Wojtkiewicza*.

Możliwości badawcze i aplikacyjne w dziedzinach systemów rozpoznania radioelektronicznego oraz zautomatyzowanych systemów kierowania i dowodzenia zostały przedstawione w rozdz. 9 i 10. Dzięki ciąglemu rozwojowi młodej kadry naukowej i badawczo-technicznej dziedziny te są w Instytucie traktowane priorytetowo. Dla podkreślenia tego faktu należy zaznaczyć, że w tych dziedzinach wiedzy pracuje w PIT ponad 100 specjalistów.

13.1.1. Charakterystyka działalności Oddziału Gdańskiego PIT

Jerzy Miłoś

Oddział PIT w Gdańsku utworzono w 1949r. z inicjatywy prof. dr Pawła Szulki, ówczesnego kierownika katedry na Politechnice Gdańskiej. Od początku działalność Oddziału nakierowana była na dziedzinę radioelektroniki morskiej, obejmującej radiokomunikację, radionawigację i radiolokację. W latach 1949-1954 Oddział korzystał z gościnnych pomieszczeń w Katedrze Radiotechniki, przy czym kadrę stanowili w przeważającej mierze pracownicy Politechniki Gdańskiej.

Od 1955r Oddział korzystał z dzierżawionych pomieszczeń przy ul. Podwałe Przedmiejskie 30 (dawna Leningradzka 30), które stanowiły główną siedzibę do 1990r. Pozwoliło to na rozszerzenie zatrudnienia i działalności w zakresie urządzeń elektronicznych przeznaczonych do wyposażenia statków morskich. W 1973r. utworzone zostały trzy zakłady naukowo-badawcze: Elektroniki Morskiej, Anten i Radiolokacji Morskiej oraz Przetwarzania Informacji. W tej strukturze Oddział praktycznie działał do końca lat 80. stanowiąc zaplecze projektowo-badawcze krajowego przemysłu i takich zakładów jak RADWAR, UNIMOR, RADMOR. W tym czasie opracowano typoszereg falowodowych anten szczelinowych w pasmie X i S dla potrzeb radarów morskich. W dziedzinie radiolokacji współpracowano przy opracowywaniu systemów

antenowych i układów generacji sygnałów dla nowej rodziny stacji radiolokacyjnych. Podjęto też prace nad okrętowymi urządzeniami „łączności w niebezpieczeństwie”.

W pierwszej kolejności były to automatyczne klucze alarmowych sygnałów radiotelegraficznych i sygnałów niebezpieczeństwa oraz automatyczne odbiorniki radiotelegraficznych sygnałów alarmowych i nasłuchowych. Kolejne prace z tej dziedziny to awaryjne radiopławy nadające sygnały alarmowe na częstotliwościach niebezpieczeństwa: morskiej (2182kHz) i lotniczej (121,5MHz). W dziedzinie radiokomunikacji opracowano pełno zakresowy odbiornik KF (15kHz÷30MHz). Podjęto też prace zakończone wykonaniem prototypu okrętowej radiostacji do łączności satelitarnej. Przeznaczona ona była do automatycznej łączności dalekopisowej i telefonicznej statków z lądem w międzynarodowym systemie radiokomunikacji satelitarnej INMARSAT. Dla potrzeb radiokomunikacji morskiej i lądowej opracowano cały szereg anten wąsko i szeroko-pasmowych zarówno dookólnych jak i kierunkowych. Oddział Gdański w latach 80. był również zaangażowany w projekt systemu dowodzenia dla potrzeb Marynarki Wojennej.

Początek lat 90. wraz ze zmianami społeczno-gospodarczymi w kraju przyniósł restrukturyzację Oddziału PIT w Gdańsku. Dotyczyło to tyleż zmian kadrowych, zaplecza badawczo-projektowego, co i podstawowych obszarów działalności naukowo-badawczej i projektowej. Początkowo zmiany organizacyjne pociągnęły za sobą redukcję zatrudnienia bliską pięćdziesiąt procent. Potem potencjał kadry został odbudowany przy ścisłej współpracy z Politechniką Gdańską przez zatrudnianie przedstawicieli kolejnych roczników absolwentów. Główną siedzibę Oddziału przeniesiono do budynku przy ul. Gen. J. Hallera 13 jednocześnie zagospodarowując dzierżawione pomieszczenia laboratoryjne przy ul. 3-go Maja 14. Na dachu tego ostatniego budynku wybudowano i wyposażono poligony pomiarowe anten, systemów antenowych i urządzeń. Pozwoliło to rozszerzyć działalność w zakresie opracowywania urządzeń radiolokacyjnych i systemów rozpoznania sygnałów radiolokacyjnych. Możliwości projektowe zespołów obejmują wszystkie podstawowe elementy urządzeń od systemów antenowych poprzez tory nadawcze i odbiorcze w.cz. i p.cz., obróbkę sygnałów oraz przetwarzanie i zobrazowanie informacji. Daje to dużą autonomię Oddziału w zakresie opracowania klasy małych urządzeń i systemów rozpoznania radiolokacyjnego.

Pierwszym obszarem działalności w ostatniej dekadzie była radiolokacja czynna. W tym zakresie Oddział uczestniczył we wszystkich dużych tematach realizowanych w PIT, takich jak BRDA, ODRA, EDYTA czy CAR. Prace obejmowały głównie projektowanie systemów antenowych uwzględniając zarówno struktury promieniujące jak i ele-

menty formowania i sterowania położeniem wiązek. Samodzielnie w Oddziale opanowano dziedzinę radarów pracujących ze zmodulowaną częstotliwościowo falą ciągłą. Charakteryzują się one niską efektywną mocą promieniowania i przez to mieszczą się w kategorii radarów trudno wykrywalnych. Prace obejmowały radary o różnym zastosowaniu: morskie, lądowe i lotniskowe. Wdrożono do produkcji radar mobilny RM-100 jako postereunek brzegowy do wykrywania celów nawodnych oraz nawigacyjny radar okrętowy CRM-200, oba przeznaczone dla potrzeb Marynarki Wojennej.

Drugim nowym obszarem działalności w skali PIT była radiolokacja bierna. Rozpoczęła się ona opracowaniem systemu antenowego i konstrukcją urządzenia BREŃ-R realizowanego przez Oddział PIT we Wrocławiu. Jest to urządzenie klasy RWR/ESM przeznaczone na okręty. Prace zakończone zostały wdrożeniem. Oddział w Gdańsku był koordynatorem projektu urządzenia BREŃ-2 jako stacji rozpoznania systemów radiolokacyjnych klasy ELINT/ESM, które przeznaczone jest dla szczebla taktycznego Wojsk Lądowych. Prace zostały zakończone wdrożeniem i produkcją urządzenia. Kolejną pracą z dziedziny rozpoznania radioelektronicznego było opracowanie i wdrożenie wspólnie z Akademią Marynarki Wojennej kontenera SROKOSZ. Umożliwia on prowadzenie rozpoznania zarówno w paśmie radiolokacyjnym, radiowym i podczerwieni. W uzupełnieniu opracowano cały typoszereg dookólnych i kierunkowych anten szerokopasmowych, z zastosowaniem do systemów rozpoznania radioelektronicznego różnego przeznaczenia.

W zakresie przetwarzania informacji kontynuowane były prace związane z integracją informacji z wielu źródeł, systemami kierowania i dowodzenia związane w szczególności z ruchem lotniczym. Obejmowały one współdziałanie w projekcie dotyczącym dowodzenia lotnictwem myśliwskim w ramach projektu ORZYC. Opracowano też rodzinę systemów TRACER jako stanowiska pracy kontrolerów ruchu lotniczego (rys. 13.4).



Rys. 13.4. Kabina operatora stanowiska TRACER

Zostały one zainstalowane na kilkunastu krajowych lotniskach zarówno cywilnych jak i wojskowych.

W dziedzinie przetwarzania informacji kolejnym obszarem zainteresowania jest integracja informacji z różnych urządzeń pokładowych platform lotniczych. W tym zakresie Oddział brał udział w projektach BRYZA i KRYL-lot. Pierwszy dotyczył stanowiska dowodzenia samolotu patrolowego z wymianą informacji z systemem naziemnym. Drugi dotyczył modernizacji śmigłowca Mi-14 służącego do wykrywania okrętów podwodnych, integrujący systemy wykrywania hydrolokacyjnego i magnetometrycznego oraz połączenie ich z systemem kierowania i dowodzenia Marynarki Wojennej.

Obecna struktura organizacyjna Oddziału Gdańskiego PIT obejmuje trzy zakłady naukowo-badawcze i zespół obsługi administracyjno-technicznej. Obszar działalności pokrywa prace studialne, naukowo-badawcze, projektowe i konstrukcyjne z dziedziny:

- urządzeń radiolokacji czynnej z ukierunkowaniem na zastosowania morskie,
- urządzeń rozpoznania radioelektronicznego,
- systemów antenowych i zespołów mikrofalowych do urządzeń radiolokacyjnych i radiokomunikacyjnych,
- systemów przetwarzania i zobrazowania informacji radiolokacyjnej dla zastosowań morskich, lotnictwa cywilnego i systemów rozpoznania,
- podsystemów radiokomunikacji, radionawigacji, hydrolokacji, magnetometrii i innych.

13.1.2. Charakterystyka działalności Oddziału Wrocławskiego PIT

Zbigniew Kempisty

Wrocławski Oddział Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji istnieje formalnie od 1 lipca 1993 roku. Powstał on w wyniku przejęcia przez PIT tej części Instytutu Technologii Elektronowej Politechniki Wrocławskiej, która była związana z działalnością w dziedzinie techniki mikrofalowej. Działalność ta we Wrocławiu była prowadzona pod różnymi szyldami od roku 1957. Tak więc niemal przez całą historię polskiej radiolokacji ośrodek wrocławski wniósł swój znaczący wkład.

Początki prac z dziedziny mikrofalowej elektroniki próżniowej sięgają roku 1957, kiedy to w powstałym w 1956r. Oddziale Wrocławskim Przemysłowego Instytutu Elektroniki rozpoczęto prace nad lampami o fali bieżącej (LFB) o niskich szumach. Lampy te były zamiennikiem lampy UW-1M, pracującej w paśmie S jako przedwzmacniacz w stacji radiolokacyjnej P-30 produkcji radzieckiej. Pierwsza lampa LFB-5 (rys. 13.5) była wykonana w technologii szklanej i ogniskowana zewnętrznym solenoidem. Sygnał wejściowy i wyjściowy wpro-

wadzony był poprzez przejście falowodowe sprzężane pojemnościowo z wejściem i wyjściem spirali.



Rys. 13.5. Lampa LFB -5; konstrukcja 1959r

W latach 1960-64 opracowano szereg lamp LFB o niskich szumach, pracujących w pasmie L, przeznaczonych do radarów rodziny „Jawor”. I tak lampa LFB-6 opracowana w 1961r. miała współczynnik szumów $F = 8\text{dB}$.

W 1963r. została opracowana lampa LFB-61 o szumach $F = 6\text{dB}$ zaś lampa LFB-62 o $F = 4\text{dB}$ w roku 1968. Wszystkie lampy pasma L miały wejścia i wyjścia bwcz współosiowe sprzężone z lampą poprzez wnęki rezonansowe. Konstruktorzy tych lamp mgr inż. J. Kampa i mgr inż. W Sielanko wchodzili w skład zespołu, który za opracowanie stacji „Jawor” otrzymał w roku 1964 Nagrodę Państwową 1 Stopnia.

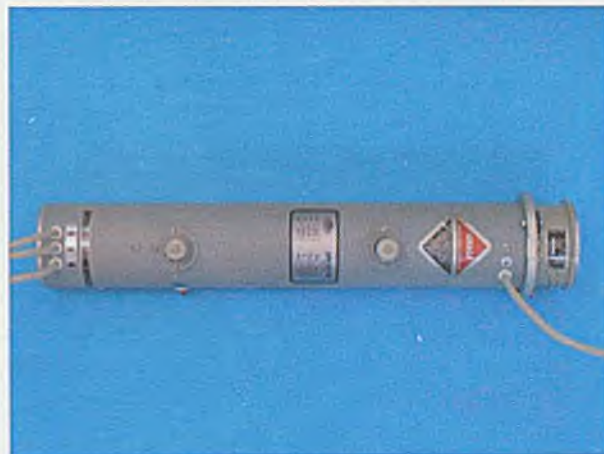
Epoka LFB niskoszumowych skończyła się wraz z końcem lat 60. na skutek postępu w technologii półprzewodników, umożliwiających konstrukcję wzmacniaczy bwcz, pracujących w torach odbiorczych współczesnych radarów. Ostatnia o niskich szumach lampa LFB-51 była opracowana w latach sześćdziesiątych, pracowała w paśmie S ze współczynnikiem szumów $F = 5\text{dB}$.

W skład zespołu, który za opracowanie stacji „Jawor M” otrzymał w roku 1970 Nagrodę Państwową II Stopnia, wszedł mgr inż. W. Sielanko z OW PIE.

Od roku 1972 po reorganizacji PIE Oddział Wrocławski tego Instytutu wszedł w skład Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Elektroniki Próżniowej (OBREP). Od początku lat 70. OW OBREP brał udział w opracowaniu rodziny pełnokoharentnych radarów typu N (NUR). Do końca lat 70. opracowano lampy LO-20 i LO-111 pracujące w paśmie L w nadajnikach radaru ostrzegawczego NUR 31. Lampa LO-20 o mocy wyjściowej 20W i lampa LO-111 o mocy wyjściowej 5kW stanowiły dwa pierwsze stopnie łańcucha wzmacniaczy mocy nadajnika. Lampy te miały już konstrukcję całkowicie metalowo-ceramiczną i periodyczny układ ogniskujący (ppm). W tym samym okresie rozpoczęto

opracowanie LFB pracujących w pasmie S dla radaru N-21 do wykrywania celów nisko lecących. Dla nadajników tych radarów zostały opracowane lampy LO-401 i LO-301. Także i te lampy miały konstrukcję metalowo-ceramiczną i periodyczny układ ogniskujący. Opracowaniem tych lamp kierowali dr Wojciech Czarczyński i mgr inż. Tadeusz Fijewski. Przykład lamp dużej mocy o konstrukcji metalowo-ceramicznej pokazuje rys. 13.6.

Ogólną koncepcją LFB mocy, techniką obliczeniową i zagadnieniami technologicznymi tych i wielu następných lamp kierował dr inż. Janusz Sobański. Produkcja wszystkich wymienionych lamp została w 1984r. przekazana do DZE DOLAM, który to zakład został w 1990r. zlikwidowany.



Rys. 13.6. Współczesne metalowo-ceramiczne lampy LFB dużej mocy typu LO-120 i LO750; konstrukcja 2000/2001r.

W roku 1978 w wyniku kolejnej reorganizacji Wrocławski Oddział OBREP został włączony do Instytutu Technologii Elektronicznej Politechniki Wrocławskiej. Ta kolejna zmiana szyldu nie zmieniła zakresu prac w dziedzinie techniki mikrofalowej. Od początku lat 70. prowadzono prace nad hybrydowymi układami mikrofalowymi. W ciągu lat 70. opracowano szereg układów w oparciu o technikę linii mikropaskowych na podłożach ceramicznych lub ferrytowych. I tak opracowano lub wdrożono do produkcji małoseryjnej takie układy jak:

- dzielniki mocy (6 typów),
- mieszacz ML 30,
- mieszacz MS-300,

- układ mieszacza dużego sygnału UMDS,
- rodzina przełączników pin (8 typów),
- wzmacniacz WTLN-01,
- głowica SAN.

W latach 80. opracowano szeroką gamę podzespołów, pracujących w pasmach L i S, takich jak wzmacniacze, cyrkulatory, mieszacze, filtry, przełączniki, dzielniki mocy oraz bloków nadawczo-odbiorczych przeznaczonych dla:

- systemu identyfikacji wagonów kolejowych SICARID,
- urządzeń do automatycznej regulacji szybkości wagonów kolejowych na górkach rozrządowych,
- radiowysokościomierzy dla małych samolotów,
- policyjnego radaru drogowego MIRADO.

Opracowano także ostrzegacz promieniowania WIDAWA dla pojedynczego żołnierza. Wszystkie te układy zostały opracowane przez zespół pod kierownictwem doc. dr inż. Jerzego Kampy.

Od 1 lipca 1993, w wyniku umowy PIT z Politechniką Wrocławską, część Instytutu Technologii Elektronowej zajmująca się techniką mikrofalową została przekazana do PIT i stanowi Oddział Wrocławski.

Po roku 1993 zostały opracowane nowe typy lamp z falą bieżącą. Należą do nich:

- lampa LO-302 o mocy impulsowej 10kW pracująca w pasmie S, moc średnia 150W,
- lampa LO-112 o mocy impulsowej 10kW pracująca w pasmie L, moc średnia 150W,
- lampa LO-750 o mocy impulsowej 5kW pracująca w pasmie X, moc średnia 100W,
- lampa LO-550 o mocy impulsowej 10kW pracująca w pasmie C, moc średnia 500W,
- lampa LO-303M o mocy impulsowej 10kW pracująca w pasmie S, moc średnia 400W,
- lampa LO-120 o mocy impulsowej 40kW pracująca w pasmie L, moc średnia 800W.

Wszystkie te lampy zostały opracowane dla radarów konstruowanych przez PIT i RAWAR.

Poza lampami z falą bieżącą w OW PIT opracowano i wykonano również kompletne bloki wzmacniaczy wykorzystujące te lampy, a mianowicie: blok NSX-800 do radaru ARS-400 i blok BWL-122 dla nadajnika zmodernizowanego radaru RST-12M. W skład wzmacniacza BWL-122 wchodzi lampa LO-120, zasilacz tej lampy ZS-120, wzmacniacz tranzystorowy IMA-1.1., układ sterowania i diagnostyki ZSD-122 oraz falowodowy trakt mikrofalowy.

Lampy LO-120 i LO-303M opracował zespół pod kierunkiem dr inż. Eugeniusza Adamskiego, lampy LO-750 i LO-550 zespół pod kierunkiem mgr Waldemara Wiejaka, a lampy LO-302 i LO-112 zespół pod kierunkiem mgr inż. Tadeusza Fijewskiego. Wzmacniacz BWL-122 zespół w składzie mgr W. Wiejak i Dariusz Kotyla.

Poza wzmacniaczem tranzystorowym IMA-1.1, pracującym w pasmie L zespół pracujący pod kierownictwem doc. dr J. Kampy opracował także wzmacniacze tranzystorowe IMA.S o mocy wyjściowej 15W oraz WTCI pracujący w pasmie C z mocą wyjściową 10W, a także wzmacniacz L-100 pracujący w pasmie L z impulsową mocą wyjściową 100W.

W latach 1998-2002 OW PIT brał także udział w modernizacji zestawów raketowych OSA i KUB. Modernizacja polegała na opracowaniu wzmacniaczy zastępujących LFB w torach odbiorczych radarów wykrywających i naprowadzających zestawów raketowych. W ramach umowy z Wojskowymi Zakładami Uzbrojenia Nr 2 w Grudziądzu opracowano 9 typów tych wzmacniaczy, pracujących w pasmach od 4,8GHz do 16GHz. Cechą charakterystyczną tych wzmacniaczy jest pełna kompatybilność ze wzmacniaczami lampowymi i wymiana tych ostatnich nie wymagała żadnych przeróbek w odbornikach radarowych zestawów raketowych

W roku 1997 opracowano także 2 typy wzmacniaczy LO-6P i LO-5P. Wzmacniacze te stanowią zamienniki lamp LFB-61 i LFB-51 pracujących w radarach typu „Jawor” i „Nida”. Wszystkie te wzmacniacze zostały opracowane przez zespoły kierowane przez doc. J. Kampę i mgr inż. W. La-skę.

W 1994r. wdrożono do produkcji przesuwniki fazy opracowane w OG PIT dla radarów pracujących w pasmie C (A. Jankowski). W latach 1994-1997 wykonano 370 szt. przesuwników fazy.

Wzmacniacze WTLN 05 wdrożono do produkcji na podstawie prototypu opracowanego przez Zakład R-7 PIT w Warszawie. W latach 1995-2000 wykonano 200 szt. dla RST Edyta.

W latach 1998-2000 wykonano 132 szt. kolumn antenowych KKF-20 dla radarów produkowanych przez PIT. (A. Jankowski).

13.1.3. Laboratoria badawcze PIT

PIT posiada szereg specjalistycznych laboratoriów badawczych, które zapewniają możliwości prowadzenia prac badawczych w pełnym ich cyklu tzn. b+ r + w. Do najważniejszych można zaliczyć:

- laboratorium badań urządzeń na dużych poziomach mocy mikrofalowej: badania wytrzymałości i odporności na dużych poziomach mocy do kilkuset kW mocy impulsowej i około 5 kW mocy średniej w pasmach L i S.
- laboratorium badań zespolonych charakterystyk układów mikrofalowych: badania charakterystyk amplitudowych i fazowych układów mikrofalowych w pasmie 0,1MHz ÷ 18GHz (rys. 13.7).
- laboratorium badań anten radiolokacyjnych: badania charakterystyk promieniowania anten

- radarów o masie do 20t, na poligonie w Kobyłce, w pasmie od 1 do 10GHz oraz małych anten metodą czasową w pasmie 10÷18GHz,
- laboratorium badań szumów fazowych generatorów mikrofalowych: badanie szumów fazowych (krótkotrwałej stałości częstotliwości) w pasmie do 6 GHz,
- laboratorium ochrony radiowej: badanie gęstości mocy mikrofalowej w pomieszczeniach i wolnej przestrzeni oraz określanie stref ewentualnych zagrożeń,
- laboratorium badań mechano-klimatycznych: badanie odporności i wytrzymałości na udary, wstrząsy, wibracje, a także na podwyższoną i obniżoną temperaturę, wilgoć, słoną mgłę, pyłoszczelność.

oraz wiele innych, zlokalizowanych w poszczególnych zakładach i pracowniach instytutu, wyposażonych w nowoczesną aparaturę kontrolno-pomiarową, najczęściej produkcji firmy Hewlett-Packard.



Rys. 13.7. Laboratorium badań zespolonych charakterystyk układów mikrofalowych

13.1.4. Potencjał produkcyjny i technologiczny

W PIT funkcjonuje Zakład Produkcji Doświadczalnej (ZPD) zatrudniający około 300 pracowników, w tym ponad połowę stanowią wysoko specjalizowani robotnicy i technicy oraz pracownicy kontroli technicznej. Potencjał produkcyjny ZPD PIT pozwala na produkowanie elementów, podzespołów, bloków aż po wyroby finalne. Ich jakość jest zasługą nowoczesnego parku maszynowego i stosowanych technologii, a przede wszystkim wysoko wykwalifikowanych pracowników produkcji i kontroli technicznej. Wyposażenie ZPD w latach 90. zostało poważnie zmodernizowane i aktualnie można uznać je za bardzo nowoczesne. W skład tego wyposażenia wchodzi:

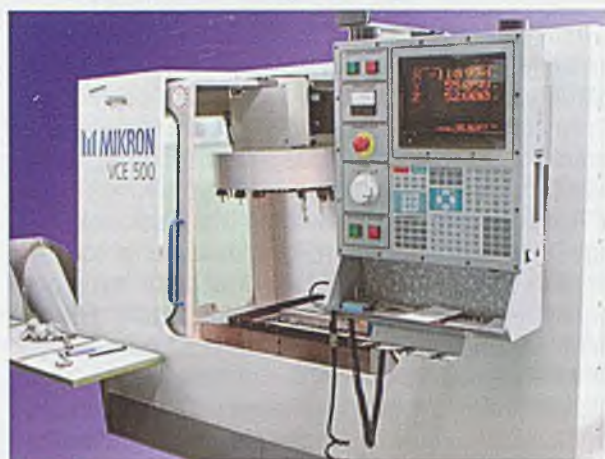
- numerycznie sterowane obrabiarki,
- automaty frezarsko-tokarskie,
- zautomatyzowane numeryczne centra obróbcze,

- wycinarki laserowe,
- elektrodrążarki i wycinarki drutowe,
- urządzenia do wykonywania płytek drukowanych,
- urządzenia do płaskiego montażu.

Na kolejnych rysunkach pokazano niektóre urządzenia stanowiące nowoczesne wyposażenie Zakładu Produkcji Doświadczalnej PIT.



Rys. 13.8. Frezarka sterowana numerycznie FIRST CV-850



Rys. 13.9. Sterowane numerycznie centrum obróbcze MICRON VCE 500

ZPD, zorganizowany w postaci 3 wydziałów produkcyjnych, zapewnia realizację pełnego cyklu produkcyjnego pod kontrolą Działu Jakości i przestrzeganie norm ISO-9001 oraz AQAP-110. Rekomendacją działalności ZPD jest ciągła produkcja urządzeń. I tak w latach 1991-2002 wyprodukowano 7 kompletów trójwspółrzędnych radarów TRD-12, które zainstalowano na posterunkach radiolokacyjnych, wyprodukowano 7 radarów samolotowych ARS-400 i zainstalowano je na samolotach AN-28, wyprodukowano 2 urządzenia rozpoznania radioelektronicznego MUR-20, oraz wyprodukowano 2 systemy DUNAJ i zainstalowano je u użytkownika. ZPD prowadzi również działalność gwarancyjną i serwisową „on line” u

użytkownika wszystkich wykonanych u siebie urządzeń.

Niezależnie od działalności produkcyjnej w zakresie urządzeń radiolokacyjnych PIT posiada unikatowe technologie, które umożliwiają produkcję:

- mikrofalowych lamp z falą bieżącą (LFB) dużej i średniej mocy,
- mikrofalowych materiałów ferrytowych i dielektrycznych,
- mikrofalowych układów scalonych na podłożach ferrytowych i ceramicznych MUS,
- dyskretnych rezystorów mikrofalowych oraz chemicznego złączenia układów MUS.

Pierwsze dwie technologie zapewniają niezależność gospodarczą i są ekonomicznie opłacalne, w szczególności dla zastosowań na dużych poziomach mocy mikrofalowej, gdzie ceny LFB i materiałów ferrytowych oferowane przez firmy zachodnie wzrastają wykładniczo. Pozostałe dwie są na bieżąco stosowane i z ich pomocą wykonano do dzisiaj kilka tysięcy różnego typu podzespołów MUS.

13.2. Charakterystyka działalności Instytutu Radiolokacji WAT

Tomasz Rapacki, Jerzy Pietrasiński

Instytut Radiolokacji Wydziału Elektroniki WAT formalnie powstał w roku 1968, kiedy to nastąpiła restrukturyzacja Wojskowej Akademii Technicznej. W ramach tej restrukturyzacji w oparciu o Katedrę Radiolokacji i Radionawigacji oraz Katedrę Urządzeń Mikrofalowych powołano Instytut Nr 4 (Instytut Rozpoznania i Przeciwdziałania Radio-lokacyjnego - nazwa niejawną) – w nazwie potocznej Instytut Radiolokacji. Obie katedry, tworzące obecny Instytut, wywodzą się z Katedry Radio-techniki Specjalnej utworzonej w 1951 roku w celu kształcenia kadr dla WP w zakresie radiolokacji. Tak więc sięgamy myślą daleko wstecz, do początku lat 50., kiedy to rodziła się polska radiolokacja, kiedy w Wydzielonym Laboratorium Konstrukcyjnym (TL) przy Zakładach Kasprzaka powstał prototyp pierwszego polskiego radaru - Nysa A. Od tamtej pory, a więc przez 50 lat, powstają coraz to nowsze generacje radarów, wdrażane do WP i eksportowane do kilkunastu państw świata.

W pracach badawczo-rozwojowych dotyczących techniki radarowej, systemów radiolokacyjnych, a później urządzeń walki radioelektronicznej, uczestniczą naukowcy z Wojskowej Akademii Technicznej, w tym z Instytutu Radiolokacji.

13.2.1. Dorobek naukowo-badawczy IR

Nauczyciele akademicki IRL oprócz działalności dydaktycznej realizują także zadania naukowo-badawcze. Tematyka badań wynika głównie z potrzeb krajowych projektantów, producentów

oraz eksploatatorów sprzętu wojskowego w zakresie nowych metod i technik z dziedziny radiolokacji, radionawigacji oraz walki radioelektronicznej.

W pierwszym okresie działalności katedr, z których wywodzi się Instytut, prowadzone prace badawcze pod kierunkiem profesorów Dzieciołowski i Kąckiego dotyczyły:

- statystycznej teorii detekcji echa radarowego, syntezy optymalnych układów odbiorczych, problematyki wielopoziomowego kwantowania sygnałów,
- mikrofalowych technik nadawczo-odbiorczych,
- techniki laserów gazowych (w 1963 r. powstał pierwszy w kraju laser He-Ne autorstwa zespołu prof. Dzieciołowskiego).

Utworzony w 1968 roku Instytut przez następne lata rozwijał tę tematykę, rozszerzając zakres badań o problematykę nadajników zakłóceń, odbiorników rozpoznawczych, szerokopasmowych układów mikrofalowych, metod i technik odbioru i estymacji parametrów emisji radarowych, a także zagadnień imitacji ech radarowych i symulacji sytuacji radiolokacyjnych.

Początkowe prace badawcze z dziedziny techniki mikrofalowej dotyczyły przede wszystkim odbiorników rozpoznawczych i nadajników zakłóceń. Zespół, kierowany przez docenta Norberta Andrzejewskiego, opracował pierwsze w kraju nadajniki zakłóceń pracujące w pasmie mikrofalowym, które znalazły zastosowanie w wojsku. Jednocześnie zostały zapoczątkowane prace nad odbiornikami rozpoznawczymi. W ramach tych prac wykonano modele odbiorników mikrofalowych pokrywających pasmo od 1GHz do 18GHz. Były to odbiorniki z rozdziałem w częstotliwości, oraz odbiorniki natychmiastowego pomiaru częstotliwości (IFM), w których wykorzystuje się szerokopasmowe dyskryminatory częstotliwości. To w IRL - w zespołach kierowanych przez profesorów Bogusława Smólskiego i Bronisława Steca - opracowano pierwsze w Europie Środkowej dyskryminatory częstotliwości i fazy, których działanie jest oparte na interferometrach mikrofalowych. Pozwoliło to opracować pierwsze szerokopasmowe ostrzegacze radarowe z natychmiastowym pomiarem kierunku i częstotliwości (rys. 8.23). Te modelowe rozwiązania umożliwiły podjęcie przez przemysłowe ośrodki badawczo-wdrożeniowe prac nad budową urządzeń ostrzegawczych i rozpoznawczych dla sił lądowych oraz morskich WP.

Efektom prowadzonych prac badawczych są też liczne podzespoły mikrofalowe, do których przede wszystkim należy zaliczyć: szeroko-pasmowe anteny, macierze Butlera, filtry i układy rozdziału w częstotliwości.

W latach 1972-1984 prowadzono prace nad automatyzacją procesów pomiarowych i procedur rozpoznawania radarowych źródeł emisji w syste-

mach rozpoznania radioelektronicznego, a także automatyzacją odwzorowania wyników namierzenia emisji na mapie. Zaowocowały one między innymi opracowaniem zautomatyzowanego urządzenia rozpoznawczego ASYR oraz planszetu odwzorowania wyników namierzenia. Urządzenie ASYR (rys. 13.10) realizuje automatyczny pomiar czasowych parametrów sygnałów, klasyfikację sygnałów i identyfikację źródeł emisji. ASYR został wdrożony do produkcji i eksploatacji w WP oraz był eksportowany. Zespół opracowujący system ASYR wyróżniono nagrodą Ministra Obrony Narodowej.



Rys.13.10. Planszet odwzorowania wyników namierzenia (góra) oraz zautomatyzowane urządzenie rozpoznania radioelektronicznego ASYR (dół)

Elektroniczny planszet umożliwiał lokalizację źródła emisji i zobrazowanie jego pozycji na mapie (rys. 13.4).

W końcu lat osiemdziesiątych, pod kierunkiem profesora Lesława Paradowskiego, współdziałając z profesorami Adamem Kawalcem oraz Jerzym Filipiakiem z Instytutu Fizyki Technicznej WAT, opracowano kompresyjny analizator widma, a we współpracy z profesorem Mieczysławem Szustakowskim i dr. inż. Wiesławem Ciurapińskim - akustooptyczny analizator widma. Urządzenia te realizują w czasie rzeczywistym analizę widma sygnałów radarowych i znalazły zastosowanie w opracowywanych współcześnie urządzeniach rozpoznawczych.

Ważnym dla IRL obszarem badań były prace poświęcone technikom imitacji sygnałów sondujących i sygnałów echa radarowego oraz symulacji sytuacji radiolokacyjnej. Prace te, prowadzone początkowo przez profesora Tadeusza Kątkiego, później kontynuowane przez docentów Stanisława Janke i Stanisława Kozimora, zaowocowały powstaniem całej rodziny imitatorów: NATAL, MISR, KOS, CHICAGO, WENUS. Ważnym jest to, że

wszystkie wymienione imitatory zostały wdrożone do produkcji przemysłowej i wprowadzone jako wyposażenie Sił Zbrojnych RP. Właśnie na tych urządzeniach szkolą się i doskonalą swoje umiejętności operatorzy oraz załogi stacji radiolokacyjnych w Wojskach Lotniczych i Obrony Powietrznej oraz Marynarce Wojennej RP.

Jednym z najistotniejszych problemów technicznych Sił Zbrojnych jest zapewnienie stałej gotowości bojowej sprzętu wojskowego i właściwej jego eksploatacji. Instytut na początku lat 90., ściśle współpracując z jednostkami Wojsk Lotniczych, opracował model systemu diagnostycznego urządzeń radioelektronicznych dla samolotu MIG-29. Jest to mikrokomputerowy system wspomagania procesu diagnozowania aparatury radioelektronicznej samolotu.

13.2.2. Aktualna działalność naukowo-badawcza

Podstawowe obszary prowadzonych prac badawczych to nadal metody i techniki w dziedzinie radiolokacji, radionawigacji oraz rozpoznania radioelektronicznego. Obecnie prace te koncentrują się na:

- detekcji i przetwarzaniu sygnałów ech radarowych na tle zakłóceń,
- syntezie sygnałów radarowych,
- zarządzaniu zasobami i zadaniami radaru,
- metodach odbioru, przetwarzania i rozpoznawania emisji radarowych,
- symulacji sygnałów radarowych,
- metodach przetwarzania sygnałów i informacji w radioelektronicznych systemach pokładowych, w tym estymacji i filtracji parametrów nawigacyjnych w zintegrowanych systemach nawigacyjnych,
- technice mikrofalowej, mikrofalowych systemach pomiarowych, w tym monoimpulsowych układach namierzenia i pomiaru częstotliwości,
- termografii mikrofalowej,
- akustoelektronice mikrofalowej.

Prace te wykonywane są w ramach zadań statutowych, projektów badawczych (tzw. grantów) przyznawanych w drodze konkursu przez KBN oraz w ramach projektów zamawianych przez MON, krajowy przemysł obronny lub inne ośrodki.

Prace dotyczące problematyki przetwarzania sygnałów w odbiornikach radarowych obejmują takie zagadnienia, jak: synteza i kompresja sygnałów z wewnątrzimpulsową modulacją lub manipulacją, filtracja sygnałów z zakłóceń oraz ich detekcja w sensie wykrywania (w tym detekcja sekwencyjna), kojarzenie wykryć oraz estymacja parametrów obiektów wykrytych przez radar.

Badania powyższych problemów prowadzone są w zespole płk. dr. inż. Jerzego Pietrańskiego. Są one realizowane najczęściej komputerowo,

metodą symulacji z wykorzystaniem modeli matematycznych sygnałów oraz układów ich przetwarzania. Do przetwarzania sygnałów i informacji oprócz metod klasycznych zespół stosuje najnowocześniejsze narzędzia takie jak teoria filtracji nieliniowej oraz metody sztucznej inteligencji. W ramach tych prac wykonano szereg programowych narzędzi badawczych i aplikacji użytkowych, w tym między innymi:

- Pakiet oprogramowania do projektowania banków filtrów cyfrowych dla systemów MTD. Umożliwia on łatwe i szybkie projektowanie oraz badanie banku filtrów dopplerowskich o skończonej odpowiedzi impulsowej, przeznaczonych do zastosowania w radarowym układzie wykrywania obiektów ruchomych (MTD). Pakiet ma charakter wirtualnego przyrządu, który służy do kształtowania charakterystyk przenoszenia filtrów w warunkach występowania różnorodnych zakłóceń biernych. Pozwala on także na obserwację podstawowych miar jakości banku filtrów oraz ich porównanie z charakterystykami filtru optymalnego. Podstawowe właściwości oprogramowania to:
 - szeroka gama standardowych okien wagowych np. Czebyszewa, Keizera, Hamminga, Hanna,
 - uwzględnienie kwantowania współczynników filtrów w przypadku zastosowania arytmetyki stałoprzecinkowej o zadanej liczbie bitów,
 - wyznaczanie podstawowych miar jakości banku dopplerowskiego w warunkach występowania różnego typu zakłóceń biernych,
 - elastyczne kształtowanie parametrów zakłóceń biernych.
- Stanowisko do badań układów radiolokacyjnych; Jest to zespół narzędzi programowych do zaawansowanego przetwarzania sygnałów radarowych w newralgicznych układach toru odbiorczego współczesnych radarów. Zawiera on symulacyjne modele wybranych układów cyfrowego przetwarzania sygnałów radarowych umożliwiające optymalizację tychże układów w sensie ich struktury oraz charakterystyk. Posiada zaawansowane narzędzia do graficznej wizualizacji i dokumentowania wyników badań.
- Przestrzenny model sygnału echa radarowego. Model symulacyjny echa radarowego stanowi sumę sygnałów będących echemi od celów radarowych i obiektów niepożądanych występujących na tle szumu własnego odbiornika. Umożliwia on generację sygnałów echa o dużej gamie rozkładów prawdopodobieństwa. Wy-

korzystywane one są do badań modeli symulacyjnych układów przetwarzania sygnałów w radarach naziemnych wysokiej rozdzielczości z ołówkową wiązką antenową sterowaną elektronicznie.

- Neuronowy ekstraktor współrzędnych. Opracowano strukturę ekstraktora współrzędnych dla radaru 3D, w którym zastosowano jednokierunkowe wielowarstwowe sztuczne sieci neuronowe. Modele symulacyjne układów ekstrakcji wykonano w środowisku Matlab. Opracowane zostały algorytmy trenowania sieci przeznaczonych do estymacji azymutu, kojarzenia (fuzji) wykryć elementarnych oraz estymacji elewacji. Problem kojarzenia wykryć elementarnych pojawia się w radarach trójwspółrzędnych z dwuwymiarowym elektronicznym skanowaniem przestrzeni. W takich radarach wykrycia pojedynczego obiektu mogą się pojawiać niezależnie w sąsiednich położeniach azymutalno-elewacyjnych wiązki. Zastosowanie sieci neuronowych poprawia właściwości układu kojarzenia wykryć elementarnych oraz ma zasadniczy wpływ na parametry charakteryzujące rozdzielność radaru.
- Zintegrowany zestaw pomiarowy do rejestracji echa radarowych i ich analizy czasowo - częstotliwościowej. Zestaw przeznaczony jest do obserwacji i rejestracji echa radarowego oraz pomiaru jego parametrów i analizy czasowo-częstotliwościowej, a także do testowania systemów przetwarzania sygnałów. Zestaw zbudowany jest w oparciu o syntezer sygnałów AWG 2021 oraz digitizer TDS 744A.
- Pakiet narzędzi programowych do badania właściwości sygnałów radarowych. Pakiet umożliwia badanie właściwości czasowych oraz korelacyjno-widmowych sygnałów radarowych. Pakiet zawiera generatory następujących sygnałów: prostego, klasycznego typu LMCz, z dwuwartościową manipulacją fazy, z wielowartościową manipulacją fazy oraz z wielowartościową manipulacją częstotliwości. W pakiecie znajdują się ponadto programowe modele wielu klasycznych oraz oryginalnych rozwiązań cyfrowych filtrów dopasowanych. Wszystkie te narzędzia umożliwiają programowe badania zespołu układów kompresji w warunkach braku i obecności sygnałów zakłócających. Pod pojęciem zespołu układów kompresji należy rozumieć układy konwersji AC, detekcji fazy, decymacji oraz kompresji.

Od kilku lat owocnie współpracujemy z Przemysłowym Instytutem Telekomunikacji (PIT) nad pionierskim projektem mobilnego radaru trójwspółrzędnego. W radarze tym po raz pierwszy w kraju

zastosowano dwuwymiarowe elektroniczne sterowanie położeniem wiązki antenowej w nieruchomym mechanicznie systemie antenowym.

W rezultacie tej działalności opracowano oraz przebadano unikalny w skali kraju system przetwarzania sygnałów oparty na strukturze typu MTD, którego istotą jest wykorzystanie banku filtrów dopplerowskich. Ponadto opracowano i przebadano oryginalne metody pomiaru współrzędnych kątowych wykrytego obiektu i jego jednoznacznej prędkości radialnej, co nadaje temu radarowi cechy radaru impulsowo-dopplerowskiego. Uważamy, że realizacja omawianego projektu pozwoli wyposażać Wojsko Polskie w nowoczesny radar średniego zasięgu, o właściwościach, których nie ma żadna ze stacji znajdujących się obecnie na uzbrojeniu, a które są niezbędne na współczesnym i przyszłym polu walki. Radar ten może stać się w kraju początkiem nowej generacji stacji radiolokacyjnych o parametrach porównywalnych z wyrobami najlepszych firm światowych.

13.3. Charakterystyka działalności WITU

Krzysztof Łoziński

Historia radiolokacji w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia jest ściśle związana z początkami radiolokacji w Kraju.

Rozwijający się intensywnie w latach 50. proces elektronizacji wojska i związany z tym krajowy przemysł radiolokacyjny pracujący głównie dla potrzeb obronności pociągnął za sobą konieczność utworzenia wojskowego zaplecza naukowo-badawczego radiolokacji. Zapleczem takim stał się Centralny Naukowo-Badawczy Poligon Artyleryjski w Zielonce, a po kolejnych zmianach nazwy Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia.

Pierwsze prace w dziedzinie radiolokacji Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia podejmuje już w 1956 roku prowadząc badania poligonowe wyprodukowanej w kraju stacji radiolokacyjnej SON-4 tworzącej wraz z 85mm armatą plot i przelicznikiem artyleryjskim PUAZO-3 zestaw AZPL-1. Kolejne prace to badania państwowe opracowanego przez polskich specjalistów radaru wstępnego poszukiwania NYSA-C i wysokościomierza radiolokacyjnego NYSA-B. Pozytywne wyniki badań pozwoliły na uruchomienie produkcji tych radarów. Weszły one do uzbrojenia WP oraz stanowią przedmiot opłacalnego eksportu.

Rozszerzający się tematyczny i ilościowy zakres prac w dziedzinie radiolokacji powoduje powołanie w Instytucie w 1962 roku Ośrodka Badań Sprzętu Radiolokacyjnego i Telewizji. Ośrodek nawiązuje bliższą współpracę z instytucjami naukowymi i przemysłowymi, a głównie z Przemysłowym Instytutem Telekomunikacji, Warszawskimi Zakładami Radiowymi, Wojskową Akademią Techniczną, Instytutem Podstawowych Problemów Techniki PAN i Politechniką Warszawską. Ta sze-

roka współpraca owocuje opracowaniem w Instytucie technologii wytwarzania i produkcją małoseryjną diod tunelowych niezbędną dla ówczesnych nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Diody te jako jedne z pierwszych w kraju znalazły zastosowanie w szybko działających licznikach dekadowych do dalmierzy laserowych opracowywanych w WAT. Odbiorcami tych diod były również Instytut Maszyn Matematycznych, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN i Politechnika Warszawska.

Ośrodek coraz szerzej rozwija własne metody i stanowiska badawcze oraz opracowuje specjalistyczną aparaturę badawczą, ponieważ ani wojsko ani przemysł nie dysponują odpowiednio wyposażoną bazą pomiarową przystosowaną do prowadzenia badań w trudnych warunkach poligonowych.

Podjęta zostaje również działalność w zakresie ochrony mikrofalowej personelu. W tym celu zbudowano ruchome laboratorium pomiarów promieniowania mikrofalowego, które przemierza cały kraj dokonując pomiarów na posterunkach radiolokacyjnych. Jednocześnie prowadzone są działania nad opracowaniem materiałów i metod do zbiorowej ochrony personelu.

Na początku lat 60. podjęte zostały w kraju próby wykorzystania w wojsku techniki telewizyjnej. Ośrodek Radiolokacji WITU wraz z utworzoną przy nim kompanią telewizyjną przeprowadził kompleksowe badania takich urządzeń, jak mobilne łącze transmisji telewizyjnej KORMORAN, przenośna kamera i plecakowy nadajnik telewizyjny BETA do obserwacji pola walki, urządzenie do transmisji obrazu map sztabowych wraz z wyposażeniem wozu dowodzenia, kamerę do podwodnej transmisji obrazu oraz kamerę i nadajnik telewizyjny LAMBDA do transmisji obrazu pola walki ze śmigłowca. Na uwagę zasługuje fakt, że tymi urządzeniami została przeprowadzona ze śmigłowca po raz pierwszy w 1963 roku przez WITU w programie ogólnopolskim transmisja telewizyjna z tras Wyścigu Pokoju. Mimo zadowalających wyników badań prototypów nie podjęto decyzji o ich wdrożeniu, głównie z uwagi na dużą zawodność spowodowaną niską podówczas jakością podzespołów. Dalsze prace w tej dziedzinie zostały przez wojsko zaniechane.

Rozwój techniki mikrofalowej i metod radio-przeciwdziałania pociągnął za sobą konieczność przygotowania obsługi stacji radarowych do pracy w warunkach zakłóceń. W latach 1964 – 65 na zlecenie Departamentu Uzbrojenia opracowano w WITU generatory zakłóceń radiolokacyjnych KABUL i DAKAR pracujące w zakresie 50 i 20 cm. Generatory te zostały wdrożone do produkcji i wprowadzone na wyposażenie wojsk radiotechnicznych.

W 1966 r. władze wojskowe podjęły decyzję, że niezależnie od stacjonarnych warsztatów remontowych sprzętu radiolokacyjnego niezbędne jest

dysponowanie warsztatami ruchomymi. Opracowanie takich mobilnych warsztatów szczebla Frontu zlecono Instytutowi. W oparciu o dokumentację konstrukcyjną warsztatów oraz wyposażenia aparaturowego i narzędziowego opracowaną przez WITU podjęły się Wojskowe Zakłady Remontowe w Krakowie zaś Instytut przeprowadził ich badania państwowe.

Niezależnie od wielu prac z dziedziny radiolokacji i techniki mikrofalowej zleczonych Instytutowi w latach 60. głównym nurtem działalności Ośrodka Radiolokacji WITU są ekspertyzy i kompleksowe badania poligonowe opracowanych i produkowanych w kraju kolejnych typów stacji radiolokacyjnych, takich jak artyleryjskie stacje SON-9AK i STRZAŁA, stacje wykrywania i naprowadzania P-35M, JAWOR, JAWOR-M, wysokościomierze BOGOTA i BOGOTA-M oraz innych urządzeń radiolokacyjnych.

We wszystkich tych radarach opracowanych w kraju zwracano szczególną uwagę na ich dużą mobilność, możliwie krótkie czasy rozwijania i zwijania, a przede wszystkim na ich odporność na zakłócenia aktywne i pasywne. W stacjach rodziny JAWOR po raz pierwszy zastosowano szybkie przestrajanie w szerokim paśmie częstotliwości oraz koherentno-impulsowe układy tłumienia ech stałych z przemienną częstotliwością powtarzania impulsów co stawiało ten sprzęt w rzędzie nowoczesnych, odpowiadających poziomowi techniki krajów rozwiniętych, rozwiązań konstrukcyjnych. Również wybór częstotliwości pracy w rzadko stosowanym paśmie L stanowił dodatkowy walor tych urządzeń. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że konstrukcje ówczesnych stacji oparte były o krajową elektronikę i podzespoły. Wszystkie typy badanych urządzeń weszły do uzbrojenia WP.

Intensywny rozwój krajowej radiolokacji wymagał również opracowywania w Instytucie coraz to nowszych mikrofalowych technik pomiarowych. Badania w tej dziedzinie zapoczątkowane w 1966r. rozwijane były w dwu kierunkach:

- dla potrzeb ochrony zbiorowej personelu zatrudnionego w polu wielkiej częstotliwości;
- dla potrzeb laboratoryjnych i maskowania.

Obok pomiarów czysto użytkowych na rzecz bezpieczeństwa pracy obsługi stacji radiolokacyjnych na posterunkach (tematy: SALUS, BETA) oraz zapewniających tajność przestrajania stacji w warunkach poligonowych bez konieczności promieniowania mocy (HAMILTON) rozwinięto w temacie AMMAN obszerną dziedzinę konstrukcji i technologii materiałów dielektrycznych i absorpcyjnych. Opracowano i wdrożono do produkcji materiały wielowarstwowe płaskie i kształtowane, zapewniające absorpcję energii fal b.w.cz. w szerokim zakresie częstotliwości. Materiały te znalazły zastosowanie do budowy mikrofalowych komór bezechowych, maskowania przeciwradiolokacyj-

nego, ochrony środowiska i poprawy warunków BHP osób zatrudnionych w zasięgu mikrofal. Prace nad udoskonalaniem materiałów pochłaniających promieniowanie elektromagnetyczne prowadzone są w sposób ciągły znajdując coraz to nowe zastosowania.

Rozwój techniki cyfrowej, metod obróbki informacji oraz konieczność rozwiązywania problemów wykrywania i obiegu informacji na drodze systemowej spowodowały przegrupowanie sił Zespołu Radiolokacji WITU. Jedną z pierwszych tego typu prac były prowadzone w 1972r przemysłowo-wojskowe badania stacji trójwspółrzędnej HAWANA z cyfrową obróbką sygnałów. Dało to początek rozwojowi w WITU prac naukowo-badawczych związanych z opracowaniem i wdrożeniem zautomatyzowanych systemów zbioru, obróbki i transmisji informacji radiolokacyjnej na szczeblu taktycznym. W tym zakresie WITU ściśle współpracuje jako kooperant z Przemysłowym Instytutem Telekomunikacji jako głównym wykonawcą tematu DUNAJEC. W WITU opracowywane jest oprogramowanie podstawowe i użytkowe obiektów automatyzacji kompanii radiotechnicznej DS-11 i batalionu radiotechnicznego DS-21. Opracowywane są również metodyki i programy badań urządzeń składowych systemu i kompleksowych badań państwowych zakończonych w 1977 roku. Orzeczenie o wyniku badań stanowiło podstawę do wprowadzenia obiektów DS-11 i DS-21 zestawu DUNAJEC na wyposażenie wojsk radiotechnicznych DWOPK. W kolejnych latach podsystem DUNAJEC podlegał ciągłym udoskonaleniom. Był także przedmiotem opłacalnego eksportu, w którym niebagatelny udział miał również WITU.

Doświadczenia w opracowaniu i uruchomieniu produkcji obiektów DS-11 i DS-21 pozwoliły na podjęcie nowego zadania, którego celem było opracowanie mobilnych obiektów automatyzacji podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego i dowodzenia dla wojsk OPL o kryptonimie DUNAJEC-P z obiektami DP-10, DP-20 i DP-40 oraz DP-10R i ZWD-10. Tu również udziałem WITU było opracowanie oprogramowania podstawowego i użytkowego opracowanie metodyk i programów badań oraz przeprowadzenie badań państwowych. Realizacja tego tematu była o wiele bardziej złożona głównie z uwagi na wymóg dużej mobilności obiektów, a nawet wymóg pracy w ruchu. Pokonano i tę przeszkodę, a końcowe pozytywne wyniki badań pozwoliły na wdrożenie systemu do produkcji i wprowadzenie do wyposażenia wojsk OPL.

Równoległe z pracami nad oprogramowaniem i badaniami zautomatyzowanych systemów prowadzone są w Zespole Radiolokacji zlecone przez Szefostwo Badań i Rozwoju prace teoretyczne i rozpoznawcze nad prognozami i kierunkami rozwoju elektroniki i radiolokacji do roku 1990. W wyniku powstaje 10-tomowe opracowanie o kierunkach i uwarunkowaniach rozwoju elektroniki, które

przez wiele lat było pomocne decydom oraz zespołom twórców pracujących w tej dziedzinie. Powstaje też zbiorowa praca RADEW poświęcona określeniu wskaźników oceny naziemnych źródeł informacji radiolokacyjnej obejmująca analizę, klasyfikację oraz usystematyzowanie zasadniczych parametrów i czynników wyznaczających jakość stacji radiolokacyjnych.

W zakresie konstrukcji opracowano aparaturę do prowadzenia oblotów stacji naprowadzania rakiet S125 PROMNIK. W temacie WRONIEC dla Marynarki Wojennej opracowano stanowisko pomiarowe do określania skuteczności maskowania przeciwradiolokacyjnego okrętów. Dla potrzeb wojskowych zaprojektowano i wykonano serię anten do odbioru sygnałów z satelitów wojskowych.

Badaniom państwowym poddany zostaje radar JAWOR-M2 w wersji przewoźnej i stacjonarnej, pracujący na amplitronach z mocno rozbudowanymi i skutecznymi układami przeciwwzakłócenio- wymi. Radar ten uzyskuje wysoką ocenę i przez wiele lat produkowany jest dla potrzeb wojsk radiotechnicznych. Badaniom poddany jest też radiolokacyjny wysokościomierz NIDA o dużym zasięgu, z hydraulicznym napędem, odporny na zakłócenia, z układami cyfrowymi i automatyzacją procesów zdejmowania i przetwarzania informacji. W 1976 roku zakończono badania państwowe stacji do wykrywania celów nisko lecących NAREW. Stacja ta charakteryzowała się wysokim 25m masztem z hydraulicznym napędem o krótkim czasie rozwijania. Również i ta stacja po pozytywnych wynikach badań w WITU weszła do wyposażenia wojska.

Lata osiemdziesiąte to rozwój radarów nowej generacji z pełnokoheryntnymi układami nadawczo-odbiorczymi z dodatkową modulacją częstotliwości wewnątrz impulsu, szybko przestrajane w szerokim paśmie, odporne na zakłócenia czynne i bierne. Kolejne typy tych stacji rodziny NUR poddawane są w Instytucie kompleksowym badaniom kwalifikacyjnym. I tak mobilny radar NUR-31, budowany również w wersji stacjonarnej z anteną o większej rozpiętości i większym zasięgu, radar NUR-21 wysoce mobilny na pojeździe gąsienicowym przeznaczony dla wojsk OPL do wykrywania celów na małych wysokościach, posiadający automatycznie podnoszoną rozwijaną antenę z układami żyro-nawigacji i określaniem stref wysokości celu. Kolejny radar poddany badaniom państwowym to mobilny wysokościomierz dużego zasięgu NUR-41 z hydraulicznymi napędami rozwijania i sterowania anteną oraz automatycznym wykrywaniem i określaniem wysokości celów. Nową jakość stanowi mobilny radar NUR-11 do automatycznego wykrywania i określania 3 współrzędnych celu i automatycznego śledzenia tras celów. Te cechy oraz automatyczne rozwijanie i pozimowanie anteny, duża odporność na zakłócenia i

duża przepustowość stawiały go w rzędzie konstrukcji na europejskim poziomie. Badania państwowe w Instytucie przeszedł również prototyp pierwszej w kraju przewoźnej trójwspółrzędnej stacji radiolokacyjnej NUR-12 z anteną ścianową. Szybki rozwój światowej elektroniki, a w tym sprzętu radiolokacyjnego oraz doświadczenia wyniesione z konfliktów zbrojnych stały się stymulatorem rozwoju urządzeń rozpoznania i walki radioelektronicznej. Doceniając wagę tych problemów krajowy przemysł opracował urządzenia BREŃ-R i BREŃ-2. Do badań w WITU trafił prototyp urządzenia ostrzegawczego BREŃ-R dla Marynarki Wojennej, przeznaczonego do wykrywania sygnałów elektromagnetycznych oraz natychmiastowego określania ich podstawowych parametrów i na tej podstawie szacowania rodzaju zagrożeń dla ostrzeganego obiektu.

Rozwinięciem urządzenia ostrzegawczego była mobilna stacja rozpoznawcza naziemnych systemów radiolokacyjnych BREŃ-2 przeznaczona do zautomatyzowanego wykrywania, pomiaru parametrów i analizy sygnałów oraz gromadzenia danych o nich. Prototyp stacji przeszedł badania państwowe w Zakładzie Radiolokacji i wszedł na uzbrojenia WP. Ponadto dla wojsk WRE przebadano śmigłowiec rozpoznania radioelektronicznego PROCJON-3.

Zakład Radiolokacji przez okres pięciu lat prowadził badania państwowe nowego systemu rozpoznania „swój-obcy” kompatybilnego z systemami rozpoznania NATO instalowanego na wszystkich typach statków powietrznych, zestawach rakiety- wych oraz okrętach Marynarki Wojennej.

Pracownicy Zakładu Radiolokacji prowadzili badania państwowe prawie wszystkich produkowanych na potrzeby wojsk systemów automatyzacji dowodzenia. Obiekty systemu ORZYC, które po badaniach w WITU weszły na uzbrojenie WP przyczyniły się do automatyzacji dowodzenia lotnictwem myśliwskim a system ŁOWCZA-3 stał się elementem automatyzacji procesami dowodzenia Wojsk Obrony Przeciwlotniczej. Badania tego typu radarów oraz systemów dowodzenia pociągnęły za sobą konieczność opracowania nowych metodyk badawczych i nowej bardziej złożonej aparatury, a wyniki badań wraz z zaleceniami zmian i uzupełnień pozwoliły na uruchomienie produkcji i wyposażenie wojska w nowoczesne stacje radiolokacyjne i obiekty automatyzacji.

W latach 80. i 90. zaprojektowano i wdrożono do produkcji Blok Współpracy Systemowej dla stacji NUR-11 oraz transkoder umożliwiający wymianę informacji między systemami dowodzenia stosowanymi w wojskach WLOP i OPL. Opracowano również Rejestrator Sygnałów transmitowanych przez stacje radiolokacyjne, pozwalający na automatyzację procesów badawczych. Dla wozów opancerzonych zaprojektowano w WITU i przebadano system WIDAWA przeznaczony do ostrzega-

nia przed promieniowaniem mikrofalowym w paśmie X i K_u. Z braku niezbędnych funduszy system ten nie został wdrożony do eksploatacji pomimo pozytywnych wyników badań. Podobny los spotkał przeciwradiolokacyjną sieć maskującą opracowaną i wykonaną w ramach realizowanego tematu BERBERYS, zakończonego pozytywnym wynikiem badań państwowych. Niemniej jednak, prace nad środkami maskowania przeciwradiolokacyjnego są kontynuowane w oparciu o nowo opracowywane materiały absorbujące promieniowanie b.w.cz.

Lata dziewięćdziesiąte to wejście Polski do struktur NATO, i przygotowania w kraju do wstąpienia do Unii Europejskiej. W związku z tym w WITU powstaje Ośrodek Certyfikacji Wyrobów oraz Zespół Laboratoriów Badawczych. W skład tego Zespołu wchodzi akredytowane Laboratorium Badań Radiolokacji, Systemów Dowodzenia, Walki Radiolokacyjnej i Techniki Mikrofalowej będące częścią Zakładu Radiolokacji.

Liczne są opracowania WITU, których wyniki w okresie prawie 50 lat zostały wdrożone do produkcji i wojsk. Można by je analizować i przedstawiać w różnych aspektach: wdrożone do produkcji i wprowadzone do uzbrojenia, usprawniające proces eksploatacji, podnoszące walory taktyczno-techniczne wyposażenia radioelektronicznego, usprawniające proces szkolenia obsługi, umożliwiające ocenę celności i wyników strzelań, automatyzujące proces wykrywania celów i obiegu informacji oraz modernizujące sprzęt już eksploatowany. Wypada wymienić również obszerne opracowania prognostyczne stymulujące postęp i dające udokumentowaną podstawę inicjowania w kraju nowych opracowań. Niezależnie od samodzielnych opracowań WITU w każdym niemal urządzeniu i systemie radiolokacyjnym opracowanym w kraju i eksploatowanym w wojsku, a składa się na to ponad 40 typów różnych urządzeń i systemów, zawarta jest część myśli i wyników opracowań Instytutu.

Wyniki prac Zespołu Radiolokacji WITU uzyskiwały wysoką ocenę co znalazło odzwierciedlenie w Nagrodach Państwowych, nagrodach Ministra Obrony Narodowej, Ministra Nauki Szkolnictwa Wyższego i Techniki, Ministra Przemysłu Maszynowego, Sekretarza Naukowego PAN, Głównego Inspektora Techniki WP i innych.

Charakterystyczną cechą prac Zespołu Radiolokacji WITU jest powiązanie ich z aktualnymi potrzebami wojsk i ich ścisłą korelacją z tematyką krajową. Przyczynkiem do tego są również organizowane już od 35 lat przy istotnym współudziale WITU coroczne krajowe naukowo-techniczne Konferencje Radiolokacji, na których wymieniane są informacje o postępach prac i wynikach badań i wypracowywane są kierunki dalszych działań w oparciu o potrzeby, poglądy i doświadczenia szerokiego grona użytkowników techniki radiolokacyjnej, przedstawicieli organów zarządzania oraz

twórców, producentów i badaczy tej techniki zarówno wojskowych jak i cywilnych.

13.4. Charakterystyka działalności CNPEP RADWAR

Marek Borejko

Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej RADWAR SA od 1954 roku prowadzi działalność związaną z projektowaniem i produkcją urządzeń elektroniki profesjonalnej dla wojska i dla odbiorców cywilnych.

W ciągu pół wieku działalności w CNPEP RADWAR SA wyprodukowano ponad 6000 różnego typu radarów oraz ponad 150 urządzeń i systemów dowodzenia i kierowania ogniem. Jakość urządzeń wyprodukowanych w CNPEP RADWAR SA znajduje uznanie nabywców. Jest to rezultatem profesjonalnych konstrukcji i nowoczesnych technologii stosowanych w produkcji, które są z kolei zasługą zatrudnionych tu wykształconych i doświadczonych konstruktorów, a także wysoko wykwalifikowanych pracowników produkcji i kontroli technicznej.

Podstawowy potencjał naukowo-badawczy CNPEP RADWAR SA stanowi Zakład Badawczo-Rozwojowy (ZBR). Powstały w 1992 r. na bazie wcześniej funkcjonujących biur konstrukcyjnego i technologicznego ZBR działa na prawach jednostki badawczo-rozwojowej. Ponad połowa pracowników ZBR ma wyższe wykształcenie. Są to głównie absolwenci Politechniki Warszawskiej, posiadający bogatą wiedzę specjalistyczną, doskonałą znajomość narzędzi i technik komputerowych, znający języki obce. Konstruktorzy ZBR podczas swych prac mają do dyspozycji najnowocześniejszy sprzęt laboratoryjny czołowych światowych firm oraz korzystają ze sprzętu komputerowego i oprogramowania wspomagającego projektowanie. Zakład Badawczo-Rozwojowy realizuje takie zadania jak:

- prace rozwojowe i wdrożeniowe dotyczące radiolokacji oraz zautomatyzowanych systemów dowodzenia i kierowania ogniem;
- prace naukowo-badawcze dotyczące elektroniki profesjonalnej dla wojska i odbiorców cywilnych;
- opracowywanie nowoczesnych unikatowych technologii do szerokiego spektrum zastosowań;
- opracowywanie dokumentacji nowych wyrobów oraz nadzór nad całym procesem wdrożenia i produkcji;
- opracowywanie nowoczesnej niestandardowej aparatury pomiarowo-kontrolnej.

13.4.1. Potencjał produkcyjny

Potencjał produkcyjny CNPEP RADWAR SA pozwala na produkowanie wyrobów od poziomu detali i podzespołów po wyroby finalne. Ich jakość jest zasługą nowoczesnego parku maszynowego i stosowanych technologii, a przede wszystkim wysoko wykwalifikowanych pracowników produkcji i kontroli technicznej. Poza tym wszystkie produkowane urządzenia poddawane są w laboratoriach odpowiednim testom i badaniom gwarantującym niezawodność oraz długą pracę w różnych warunkach środowiskowych.

Atutem CNPEP RADWAR SA jest nowoczesny i bogaty park maszynowy, umożliwiający realizację kompleksowego zakresu procesów produkcyjnych. Park ten tworzą takie urządzenia jak:

- prasy firm AMADA (Japonia), RASKIN (Szwajcaria), TRUMPF (Niemcy);
- zautomatyzowane tokarki firm RIKA (Szwajcaria) i HABEGGER (Niemcy);
- sterowane numerycznie centra obróbcze firm MIKRON (rys. 13.11) i RAMBAUDI;
- wycinarki laserowe firmy BYSTRONIC (Szwajcaria);
- elektrodrążarki i wycinarki drutowe firmy CHARMILLES (Szwajcaria);
- maszyny zimnokomorowe do wykonywania odlewów ciśnieniowych firmy CASTAMATIC (Włochy);
- urządzenia do wykonywania płytek drukowanych firmy AGFA (Japonia);
- automaty do montażu na płytkach drukowanych (rys.13.12) firm ESEC (Szwajcaria), JORDAN SCHWEISSTECHNIK (Niemcy);
- automatyczne urządzenia do testowania obwodów drukowanych i zmontowanych na nich układów firm HEWLETT PACKARD (USA), EMC AUTOMATION (USA) i RHODE SCHWARZ (Niemcy).



Rys. 13.11. Sterowane numerycznie centrum obróbcze MIKRON



Rys. 13.12. Stanowisko do montażu powierzchniowego

13.4.2. Nowoczesne technologie

Produkowanie wyrobów o złożonych parametrach technicznych wymaga dużej liczby stanowisk o różnorodnej specjalizacji. Większość procesów technologicznych niezbędnych do wyprodukowania wyrobów jest realizowana na terenie Zakładu. W CNPEP RADWAR SA wykonywane są m.in. takie prace jak:

- obróbka blach i materiałów hutniczych (m. in. laserowa, elektroerozyjna i elektroiskrowa);
- wykonywanie odlewów ciśnieniowych, form odlewniczych, narzędzi;
- obróbka powierzchniowa, wykonywanie powłok galwanicznych, lakierowanie;
- wykonywanie płytek drukowanych: wykonywanie precyzyjnych klisz, płytek 1|16 warstwowych, precyzyjnych płytek mikrofalowych i płyt wielkogabarytowych;
- wykonywanie oraz testowanie układów elektronicznych (montaż przewlekany i powierzchniowy, clean room) rys. 13.12;
- montaż układów mikrofalowych wymagają-

13.4.3. Laboratoria

CNPEP RADWAR SA posiada wyposażone w nowoczesny sprzęt laboratoria przeprowadzające różnego typu badania i pomiary, takie jak:

- badania mechano-klimatyczne: odporności i wytrzymałości na wstrząsy (rys.13.13), udary, podwyższoną i obniżoną temperaturę otoczenia (rys.13.14), wilgoć, mgłę solną, pyłoszczelność;
- pomiary wielkości elektrycznych oraz mechanicznych (długości i kąta);
- pomiary narażeń i zagrożeń czynnikami szkodliwymi w środowisku pracy: oznaczanie sub-

stacji toksycznych w powietrzu, oznaczanie stężenia pyłu w powietrzu, pomiary hałasu, pomiary oświetlenia.



Rys. 13.13. Wytrząsarka TIRA



Rys. 13.14. Komora klimatyczna

13.5. Charakterystyka działalności Zakładów Elektronowych LAMINA S.A.

Edward Nietubyć, Jerzy Szyjko

Pierwsze prace nad lampami mikrofalowymi prowadzili profesorowie Janusz Groszkowski i Stanisław Ryżko w Zakładzie Radiotechniki Politechniki Warszawskiej i Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym. Już w 1939r. opublikowali oni artykuł o magnetronie wnękowym (jedna z pierwszych publikacji światowych).

Po wojnie w latach 1949-50 prace te były kontynuowane w Państwowym Instytucie Telekomunikacyjnym (przekształconym później w Przemysłowy Instytut Telekomunikacji – PIT).

W 1952r. Zakład Elektroniki tego instytutu zlokalizowano w Zakładach Wytwórczych Lamp Elektrycznych (ZWLE), przekształcając go później w Wydział "M" ZWLE. Tam wyprodukowano lampy

mikrofalowe – magnetrony i przełączniki mikrofalowe do pierwszej krajowej stacji radiolokacyjnej NYSA „C”. Stacja ta weszła na uzbrojenie polskiej armii, była także eksportowana do kilku krajów.

Produkcja tych lamp została przeniesiona w 1957r. do nowo zorganizowanych wtedy Doświadczalnych Zakładów Lampowych, które zlokalizowano w Piasecznie (obecnie Zakłady Elektronowe „LAMINA” S.A.). Na początku lat 60. już w nowo zbudowanej fabryce intensywnie kontynuowano prace projektowe i uruchomiono produkcję lamp nowej generacji na pasmo „L”. Były to przestrajane magnetrony i szerokopasmowe przełączniki mikrofalowe. Lampy te były wykorzystane w stacji radiolokacyjnej JAWOR (opracowanej w PIT i produkowanej przez Warszawskie Zakłady Radiowe), za którą konstruktorzy otrzymali nagrodę państwową I-go stopnia w 1964r. Była to prawdopodobnie pierwsza w Pakcie Warszawskim stacja z tłumieniem ech stałych. W latach następnych podjęto prace nad nowymi typami lamp w pasmie „L” i „S” (magnetronami, amplitronami i przełącznikami mikrofalowymi o konstrukcji rurowej). Do końca lat 90. opracowano około 50 nowych typów lamp, które z małymi wyjątkami weszły do produkcji seryjnej. Lampy te znalazły zastosowanie we wszystkich krajowych stacjach radiolokacyjnych (JAWOR 2M, Avia, Avia B, NUR 3, NUR 11, NUR 12, NUR 12M, NUR 21, NUR 22, NUR 23, NUR 25, NUR 41).



Rys. 13.15. Zestaw lamp opracowanych i produkowanych przez ZE LAMINA S.A.

W latach 2000-2002 opracowane zostały amplitrony dużej mocy na pasmo C dla potrzeb PIT oraz amplitron na pasmo L, pracujący przy szerokich impulsach. Amplitron ten stosowany jest w najnowszej stacji opracowanej przez PIT dla nатовskiego systemu ASOC.

W roku 2003 trwają prace nad drugim prototypem amplitronu do tej stacji.

Nadążanie za potrzebami krajowego przemysłu radiolokacyjnego w opracowywaniu lamp mikrofalowych było możliwe dzięki współpracy z krajowymi

placówkami naukowymi i producentami materiałów. Wymienić tu szczególnie należy: Przemysłowy Instytut Telekomunikacji, Przemysłowy Instytut Elektroniki, Politechnikę Warszawską i Wrocławską, CEMAT 70, Instytut Metali Nieżelaznych, Instytut Technologii Próżniowej, WAT.

Posiadanie krajowej bazy projektowo-produkcyjnej w lampach mikrofalowych, które generują (wzmacniają) falę elektromagnetyczną, penetrującą dozorowaną przez radiolokator przestrzeń powietrzną, niezależnieli krajowy przemysł radiolokacyjny od drogiego (i objętego także embargiem) importu.

Należy tutaj podkreślić inspirującą i wspomagającą rolę agend MON. Szczególnie dotyczy to okresu, kiedy interesy MON reprezentowało Szefostwo Służby Uzbrojenia i Elektroniki.

Dzisiaj, w dobie napiętego budżetu i szeregu wydatków, które należy ponieść, żeby modernizować armię, należy odpowiedzieć na pytanie, czy stać nas na to, aby jubileuszowe uroczystości zamykały historię krajowej radiolokacji i tych przemysłów, które wspomagały jej rozwój.

13.6. Charakterystyka działalności ZMM POLFER

Wojciech Glogier, Edward Sędek

Ferryty mikrofalowe dla potrzeb radiolokacji rozpoczęto produkować w 1959r. w Zakładach Magnetycznych POLFER pod kierunkiem inż. Fryderyka Fonioka. Były to początkowo proste struktury spinelowe, a na przełomie lat 60/70 materiały o strukturze granatu. Dzięki bezpośredniej współpracy z PIT i wynikającymi stąd potrzebami związanymi z radiolokacją powstaje cała gama nowych materiałów. W latach 70. PIT wspólnie z POLFER opracowały oryginalne metody testowania materiałów ferrytowych przeznaczonych do paskowych cyrkulatorów rozgałęziennych. Metody te pozwoliły uruchomić w WZR RAWAR seryjną produkcję cyrkulatorów paskowych opracowanych w PIT. Znaczenie POLFERU oraz możliwości produkcyjne stopniowo wzrastają, w kolejnych latach działalności Zakładu, aż stanie się on po 1975 roku jedynym dostawcą ferrytów i granatów mikrofalowych w Polsce. Należy podkreślić, że jakość produkowanych w tym czasie materiałów ferrytowych i ich parametry były najlepsze w byłych krajach "demokracji ludowej". POLFER zresztą jako jedyny zakład w Polsce zajmował się również produkcją materiałów magnetycznie miękkich, przeznaczonych do sprzętu elektronicznego powszechnego użytku oraz materiałów magnetycznie twardych - rdzeni o prostokątnej pętli histerezy do pamięci maszyn cyfrowych oraz magnesów, które stanowią niezbędny komponent większości ferrytowych podzespołów mikrofalowych. Prace nad podzespołami ferrytowymi były równolegle prowadzone w Instytucie Fizyki PAN w latach 60/70. W celu integracji

działań technologicznych i konstrukcyjnych w 1980r. przeniesiono grupę naukowców z IF PAN do ZMM POLFER. Zaowocowało to opracowaniem szeregu podzespołów na duże poziomy mocy mikrofalowej, przede wszystkim rozgałęziennych cyrkulatorów. Należy tu podkreślić, że oprócz samego ferrytu mikrofalowego niezmiernie ważną rolę w podzespołach ferrytowych pełni również obwód magnesujący element ferrytowy, w tym sam magnes. W nowoczesnych mikrofalowych podzespołach ferrytowych własności tego obwodu mają często decydujący wpływ na parametry użytkowe danego podzespołu. W Polferze nastąpiło więc zintegrowanie organizacyjno - lokalizacyjne wszystkich uwarunkowań istotnych przy produkcji nowoczesnych podzespołów ferrytowych dla potrzeb radiolokacji.

Prowadzone w IF PAN prace nad mikrofalowymi podzespołami ferrytowymi były od roku 1980 kontynuowane w Biurze Badawczo-Rozwojowym Polferu, w Mikrofalowym Zespole Produkcyjno-Badawczym, którego kierownikiem do roku 1996 był dr inż. Z. Krzycki, a później, do roku 1999 dr inż. W. Glogier.

Drugi dział, którego kierownikiem był mgr inż. M. Konwicki, zajmował się opracowywaniem materiałów ferrytowych, nadzorem nad ich produkcją oraz wykonywaniem wszelkich czynności pomiarowych. Pomiarów materiałowe pozwalały ustalić fizyczne własności materiału oraz jego własności strukturalne. Druga grupa pomiarów pozwalała określić niektóre podstawowe parametry mikrofalowe wytwarzanych ferrytów i granatów, niezbędne w początkowej fazie projektowania podzespołu. Niestety, istniejące stanowiska pomiarowe pozwalały jedynie na wyznaczenie parametrów w zakresie niskich poziomów mocy. Podjęta próba uruchomienia stanowiska pomiarowego dla wyznaczenia parametrów przy wysokich poziomach mocy nigdy nie została uwieńczona powodzeniem ze względów organizacyjnych.

Obróbka mechaniczna kształtek była wykonywana poza Biurem Badawczym, w innych działach Polferu. Magnes - początkowo wytwarzano magnesy jedynie z ferrytu barowego ($BaFe_{12}O_{19}$) (w odmianach: izotropowy i anizotropowy), później również magnesy o dużej energii typu żelazo-neodym - bor (Nd-Fe-B). W przypadku szczególnych wymagań stosowano w podzespołach również magnesy samarowo-kobaltowe ($SmCo_5$). W przypadku tych magnesów materiał był importowany, natomiast przygotowanie kształtek i ich magnesowanie było wykonywane na miejscu.

Ważniejsze etapy :

- Do 1982 roku - wdrażanie do produkcji opracowań własnych, udoskonalanie konstrukcji w oparciu o nowe możliwości materiałowe, w tym falowodowe cyrkulatory średniej mocy opracowane dla W.Z.R. „RAWAR”

- Nawiązanie współpracy z Politechniką Gdańską, później z Warszawską dotyczącej opracowania podzespołów typu mikropaskowego. W wyniku prac teoretycznych i eksperymentalnych stworzono w latach 1982 – 92 wiele udanych modeli cyrkulatorów i izocyrkulatorów. Podzespoły te były sprzedawane głównie do PZT (Państwowe Zakłady Teletransmisyjne), dla konstruowanej w tym zakładzie nadajników dla systemu radiolinii. Sprzedano tam łącznie kilkaset sztuk podzespołów do czasu likwidacji tego zakładu (wykupienia przez ALCATEL). W następnych latach rozszerzono ofertę podzespołów tego typu o podzespoły przeznaczone do zastosowań na podwyższonym poziomie mocy (do 100W). Sprzedawano je między innymi do takich zakładów i instytucji jak PIT, RAWAR oraz WAT i Politechnika Gdańska.

W następnych latach, dzięki zakupionej nowej aparaturze pomiarowej oraz komputerom znacznie wzrastają możliwości badawcze i produkcyjne. Jest to niezmiernie istotne w warunkach w których większość konstrukcji ma charakter prototypowy, a czas opracowania nowego modelu nie może przekroczyć okresu 2-3 miesięcy. Rozwój metod numerycznych projektowania podzespołów ferrytowych, ścisła współpraca z grupą technologiczną opracowującą materiał ferrytowy odpowiedni dla danego zamówienia pozwala znacząco zwiększyć sprzedaż podzespołów ferrytowych.

Do końca okresu istnienia grupy mikrofalowej w Polferze najbardziej znaczącą pozycję miała sprzedaż cyrkulatorów średniej i dużej mocy, w tym cyrkulatorów falowodowych CS37, CS38, cyrkulatorów przełączanych (CS43, $P_{sr} \sim 800W$, $P_{imp} \sim 50kW$), cyrkulatorów, miniaturowego cyrkulatora współosiowego średniej mocy CL11M dla Zakładów „RAWAR”, do opracowywanego tam systemu „LOARA”. Wśród innych podzespołów opracowanych w tym okresie były specjalne konstrukcje wykonane na zamówienie zakładów RADWAR (eksport do Indii), Zakładów Urzędzeń Radiowych „ZURAD”, i PIT.



Rys. 13.16. Cyrkulatory średniej mocy CLD13 i CS38

W dniu 1 marca 1999r, w wyniku likwidacji Zakładów „POLFER”, cały zespół mikrofalowy wraz z działem technologii ferrytów mikrofalowych zostaje przejęty przez Przemysłowy Instytut Telekomunikacji. Obecnie produkcja materiałów ferrytowych i dielektrycznych zlokalizowana jest w Oddziale Anten PIT w Kobylce.

13.7. Mikrofalowe przyrządy półprzewodnikowe dla radiolokacji

Jerzy Klamka

Rozwój polskiej radiolokacji i rozbudowa w kraju przemysłu związanego z tą dziedziną spowodował podjęcie prac nad najnowszymi przyrządami elektronicznymi, przeznaczonymi do zastosowań w technice mikrofalowej. Wśród nich znalazły się mikrofalowe przyrządy półprzewodnikowe.

W tej dziedzinie pierwsze prace rozpoczęto na przełomie lat 1959/60 i dotyczyły one waraktorów stosowanych we wzmacniaczach parametrycznych o małych szumach [43]. Miało to miejsce w Zakładzie Elektroniki Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN. Od 1966r. prace badawczo-rozwojowe w dziedzinie waraktorów były kontynuowane w Instytucie Technologii Elektronowej, gdzie ten zakład przeniesiono.

Stopniowo rozszerzano prace nad coraz nowszymi diodami waraktorowymi do różnych zastosowań. Równolegle podejmowano badania nad kolejnymi grupami półprzewodnikowych diod mikrofalowych. W wyniku tego już pierwsze modele użytkowe, a następnie prototypy w wersji militarnej, znajdowały zastosowanie w urządzeniach radarowych opracowywanych i wytwarzanych w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji i w WZR RAWAR. Były to kolejne diody lawinowe [44], diody PIN [45], diody Gunn’a, diody Schottky’ego i diody ładunkowe, tranzystory mikrofalowe p-n-p i n-p-n [46, 47]. Obok przyrządów zaczęto konstruować również podzespoły mikrofalowe, zarówno na potrzeby miernictwa, jak i zastosowań w radiolokacji.

Tak szeroki wachlarz prac badawczych, a następnie natychmiastowa produkcja opracowanych przyrządów, powodowała stopniowe rozszerzanie ram organizacyjnych zespołu. W 1962r. prace takie były prowadzone w jednej pracowni, a w 1971r. już w zakładzie składającym się z kilku pracowni. W końcu 1972r. powstał Pion Mikrofal, w którym rozbudowano cztery zakłady. W latach 80. Pion Mikrofal był najbardziej rozbudowany, a jego zespoły badawcze liczyły łącznie ok. 70 osób. W latach 90. zespoły te były stopniowo redukowane z powodu braku środków finansowych. Miało to też związek z ograniczeniem produkcji przemysłu radiolokacyjnego.

W okresie 1994–1999 r. kontynuowano prace na rzecz radiolokacji w ramach już tylko 20-osobowego Zakładu Elektroniki Mikrofalowej. Dotyczyły one nadal teorii, technologii, konstrukcji i miernic-

stwa mikrofalowych przyrządów półprzewodnikowych, oraz ich zastosowań. Zakład ten był ostatnio bardzo dobrze wyposażony w nowoczesną linię technologiczną i klimatyzowane laboratoria. Ostatnio produkował ok. 40 typów różnych diod mikrofalowych dla przemysłu radiolokacyjnego i innych odbiorców.

13.8. Charakterystyka firmy FILBICO S.A.

Stefan Burak

Firma FILBICO powstała w 1991 roku jako spółka prawa handlowego z udziałem kapitału wyłącznie 5-ciu założycieli firmy wywodzących się z Zakładu Systemów Radiolokacyjnych Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia. Doświadczenie zawodowe i merytoryczne przygotowanie założycieli firmy ukierunkowało jej działalność na projektowanie, badania i wdrażanie oprogramowania obiektów automatyzacji wojskowych systemów rozpoznania, kierowania i dowodzenia różnych szczebli.

W chwili obecnej firma zatrudnia na stałe 55 pracowników w tym 47 pracowników merytorycznych z dziedzin: informatyka, elektronika, robotyka i nauki wojskowe. Siedmiu pracowników posiada stopień naukowy doktora oraz trzech jest w trakcie pisania dysertacji.

Firma spełnia wymagania wynikające z ustawy o ochronie informacji niejawnych. Doświadczenie i umiejętności pracowników firmy połączone z możliwością korzystania z najnowszych technologii informatycznych to potencjał firmy, umożliwiający podejmowanie dużych, złożonych projektów informatycznych, spełniających wysokie wymagania odbiorcy wojskowego. Potwierdzona w eksploatacji jakość produktów, terminowość realizacji i gwarancje wieloletniej opieki autorskiej wytwarzanych produktów (oprogramowania) są wysoko oceniane przez użytkowników wojskowych i zleceniodawców. Wszystko to wynika z połączenia wiedzy i doświadczenia części pracowników wywodzących się z instytucji wojskowych (WAT, WITU, jednostki wojskowe eksploatujące systemy radiolokacyjne) z wiedzą i doświadczeniem informatycznym młodych absolwentów wydziałów elektroniki, informatyki, cybernetyki i łączności uczelni cywilnych i wojskowych.

Podstawowe funkcje i zadania wdrożone przez firmę i stosowane w aplikacjach:

I. Systemów rozpoznania radiolokacyjnego i radioelektronicznego:

- Zarządzanie źródłami rozpoznania sytuacji powietrznej (opracowanie konsoli radiolokacyjnej);
- Podetekcyjne przetwarzanie informacji radiolokacyjnej, a w tym min. różne metody

śledzenia tras obiektów powietrznych w systemie multiradarowym;

- Identyfikacja obiektów powietrznych na podstawie informacji otrzymywanych z różnych źródeł (radary pierwotne, wtórne, IFF¹, RL²);
- Przeliczanie (transformacja) układów współrzędnych (kartezjańskie, biegunowe, WGS-84, UTM³, układ 1942) z jednego układu do dowolnie innego;
- Ocena charakterystyk zasięgowych stacji radiolokacyjnych i justowanie systemu radiolokacyjnego;
- Przetwarzanie informacji z podsystemów rozpoznania radioelektronicznego;
- Integracja systemów o różnej klauzuli tajności;
- Integracja z systemami krajów NATO.

II. Systemów dowodzenia obroną powietrzną:

- Opracowanie funkcji i algorytmów wspomagania dowodzenia;
- Opracowanie i implementacja metod naprowadzania myśliwców oraz rozdział celów do zwalczania przez systemy ognia (LM⁴ i OPL⁵);
- Opracowanie podsystemu monitorowania stanu sił i środków;
- Obliczenia nawigatorskie i planowanie misji lotniczych;

II. Systemów dowodzenia obroną powietrzną:

- Opracowanie funkcji i algorytmów wspomagania dowodzenia;
- Opracowanie i implementacja metod naprowadzania myśliwców oraz rozdział celów do zwalczania przez systemy ognia (LM⁶ i OPL⁷);
- Opracowanie podsystemu monitorowania stanu sił i środków;
- Obliczenia nawigatorskie i planowanie misji lotniczych;
- Opracowanie emulatorów i symulatorów do szkolenia, badań, testowania zautomatyzowanych systemów kierowania ogniem, rozpoznania i dowodzenia;
- Koordynacja działań rodzajów sił zbrojnych;
- Opracowanie podsystemu monitorowania stanu sił i środków;
- Obliczenia nawigatorskie i planowanie misji lotniczych;

² RL – Ruch Lotniczy

⁴ LM – Lotnictwo Myśliwskie

⁵ OPL – Obrona Przeciwlotnicza

⁶ LM – Lotnictwo Myśliwskie

⁷ OPL – Obrona Przeciwlotnicza

- Integracja z systemami dowodzenia krajów NATO.

Głównymi zleceniodawcami prac są: Departament Polityki Zbrojeniowej MON, Komitet Badań Naukowych, Przemysłowy Instytut Telekomunikacji, CNPEP RADWAR S.A, a użytkownikami systemów WLOP i Wojska Łądowe.

Do najważniejszych zrealizowanych w ostatnim czasie prac należy zaliczyć zaprojektowanie i opracowanie oprogramowania dla:

- Ośrodka Dowodzenia i Naprowadzania (obiektów CRR i CDS) – DUNAJ;
- przeciwlotniczego zestawu artyleryjskiego – LOARA;
- zautomatyzowanego wozu dowodzenia – ŁOWCZA;
- systemu planowania i wykonywania wojskowego ruchu lotniczego oraz systemu meteorologicznego WLOP – BLUSZCZ-H;
- Mobilnego Centrum Koordynacji Operacji Powietrznych oraz wykonanie prototypu technicznego – PODBIAŁ.

Ponadto w 2002 roku opracowano w firmie projekt koncepcyjny realizacji pracy pt.: „Zautomatyzowane narzędzia wspomagania decyzji – systemy ekspertowe” – GURU.

Oprócz prac wykonywanych na zamówienie w firmie realizowane są prace rozpoznawcze i wyprzedzające. W ich wyniku powstają opracowania studyjne lub nawet gotowe produkty. Do takich prac należy zaliczyć opracowania w zakresie:

- możliwości budowy systemów ekspertowych do wspomagania podejmowania decyzji implementowanych jako aplikacje programowe do zautomatyzowanych systemów dowodzenia;
- możliwości implementacji algorytmów identyfikacji obiektów powietrznych według standardu opisanego w STANAG 4162 do centrum rozpoznania radiolokacyjnego;
- analizy standardów DIS i HLA i krajowych systemów symulacyjnych w zakresie możliwości opracowania symulatorów do zautomatyzowanych systemów rozpoznania i dowodzenia;
- analizy możliwości opracowania sensorów akustycznych do zastosowania w systemach rozpoznania;
- studium możliwości planowania obrony powietrznej obiektów i rejonów;
- analizy możliwości opracowania konsoli zdalnego sterowania radarami starszego typu (na wzór konsoli SRCC).

Prace rozpoznawcze umożliwiają przystępowanie firmy do przetargów (np. do realizacji pracy GURU) lub są wykorzystywane w realizowanych

przez firmę aplikacjach programowych a także są lub mogą być źródłem referatów na konferencjach i publikacji artykułów w czasopiśmie specjalistycznych.

W firmie prowadzone są również badania symulacyjne i modelowanie różnych algorytmów min. w zakresie przetwarzania informacji radiolokacyjnej. Wykonano np. model i przeprowadzono badania w zakresie:

- porównania różnych metod uogólniania informacji radiolokacyjnej;
- porównania jakości kołowych i prostokątnych obszarów kojarzenia informacji radiolokacyjnej;
- określenie efektywności parametrycznych i nieparametrycznych detektorów manewru do zastosowania w algorytmach śledzenia obiektów powietrznych.

Modelowanie matematyczne i symulację komputerową przeprowadzono z użyciem narzędzi MATLAB. W ich wyniku powstały opracowania i modele do wykorzystania w procesie projektowania i tworzenia oprogramowania dla zautomatyzowanych systemów rozpoznania radiolokacyjnego. W firmie używa się najnowszych narzędzi do produkcji oprogramowania użytkowego (technologii modelowania matematycznego, analizy i projektowania oraz implementacji, badań i pielęgnacji produktów softwerowych) przystosowanego do pracy pod kontrolą różnych systemów operacyjnych, na różnych platformach sprzętowych i współpracy z różnymi typami baz danych.

W firmie FILBICO opracowano kilka uniwersalnych aplikacji (produktów softwerowych) przeznaczonych do stosowania w zautomatyzowanych systemach dowodzenia różnych rodzajów wojsk i szczebli. Jednym z nich jest pakiet aplikacji FAMA. Pakiet aplikacji FAMA zaprojektowany został jako narzędzie umożliwiające przetwarzanie sformalizowanych wiadomości tekstowych tworzonych w oparciu o składnię definiowaną w ramach standardu STANAG 5500 – ADatP-3 Part I (FORMETS).

Z przedstawionych informacji wynika, że wszystkie softwerowe produkty firmy FILBICO znalazły lub mogą znaleźć zastosowanie w zautomatyzowanych systemach dowodzenia a w szczególności podsystemach informacyjnych jakimi są systemy rozpoznania radiolokacyjnego.

14. WYKAZ LITERATURY

1. K. Cieliszak, S. Darecki, T. Gawron: Geneza i rozwój Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji. Prace PIT, Nr 69/70, 1970.
2. J. Groszkowski, S. Ryżko: Nowy sposób modulacji generatora magnetronowego., Wiadomości i Prace PIT, zeszyt 4-5, 1935.
3. J. Groszkowski, S. Ryżko: Magnetron z katodą tlenkową. Wiadomości i Prace PIT, zeszyt 5-6, 1937.
4. J. Kroszczyński: Polish Radar Development. Proc. of International Radar Conference. 1977.
5. M.R. Sztarski: Radary, Wyd. MON, 1981.
6. 50 lat Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji. Praca zbiorowa pod redakcją T. Gawrona, Prace PIT, Nr 104, 1988.
7. 35 lat polskiej radiolokacji. Praca zbiorowa pod red. T. Gawrona, Prace PIT, Nr 108, 1988.
8. T. Gawron, W. Klemkowski: Outline of Polish Radar Research and Development. IEEE Trans. AES, Nr.5, 1991.
9. T. Gawron: Rozwój polskiej radiolokacji. Prace PIT, Nr 111, 1991.
10. Republic of Poland. Cumulative Index on Radar Systems 1934-1989. IEEE Trans. AES, Nr 2, March, 1991.
11. 40 lat polskiej radiolokacji. Praca zbiorowa pod red. T. Gawrona. Prace PIT, Suplement, Nr 13/93, 1993.
12. 60 lat Przemysłowego Instytutu Telekomunikacji. Praca zbiorowa pod red. E. Sędka, Prace PIT, Suplement Nr 17/94, 1994.
13. T. Gawron, B. Jankowski: Radiolokator dużej rozróżnialności TOR. Prace PIT, Nr 57, 1967.
14. J. Kroszczyński: Radar dla centralnego portu lotniczego. Prace PIT, Nr 26, 1959.
15. J. Kroszczyński: Radiolokacyjna stacja kontroli obszaru powietrznego AVIA. Prace PIT, Nr 30, 1960.
16. J. Kroszczyński, T. Gawron, M. Herman: Nowy radar kontroli obszaru AVIA B. Prace PIT, Nr 69/60, 1968.
17. J. Kroszczyński, M. Nierzwicki: Nowe radary do kierowania i kontroli ruchu lotniczego AVIA C i AVIA D. Prace PIT, Nr 96/97, 1981.
18. W. Klemkowski, W. Raschke: Ausrüstung der Radaranlage AVIA D mit Wetterkanal als Beitrag zur Modernisierung des Radar-komplexes AVIA D/KOREN. H-6. 22, 1986.
19. W. Klemkowski, J. Pikielny: Design of New Polish Primary Radars AVIA DM/CM. Proc. of the 1989 International Radar Conference, 1989.
20. W. Klemkowski, J. Pikielny: Adaptive Radar AVIA CM. IEEE Trans. AES, Nr 5, 1991.
21. W. Klemkowski, J. Pikielny: Radar AVIA CM. Prace PIT, Nr 111, 1991.
22. W. Buszka: Automated Data Processing and Display System for ATC Gamma 3. Prace PIT, Nr 111, 1991.
23. B. Mróz: Kolejne generacje radarów morskich opracowane w WZR RAWAR. Prace PIT, Nr 111, 1991.
24. M. Hilsberg: Radarowe systemy kontroli ruchu wzdłuż tras wodnych. Prace PIT, Nr 111, 1991.
25. J. Grzelewski: Radary drogowe i systemy alarmowe. Prace PIT, Nr 111, 1991.
26. Z. Juszczyk: Zautomatyzowany system kontroli ruchu lotniczego "GAMMA". Postępy Radiotechniki, Nr 104, 1981.
27. J. Milewski, S. Naczyński: Jak dobre urządzenie zamienić lepszymi. Polska Zbrojna z dn. 18.03.1993.
28. S. Łącki: Informacja nie może czekać. Raport Nr 90/2001.
29. A. Janyszek: Zautomatyzowane systemy dowodzenia – problemy i uwarunkowania techniczne. Mat. VI Konf. Naukowej "Automatyzacja Dowodzenia", Cz.1, 1998.
30. P. Zaskórski: Automatyzacja systemu dowodzenia. Wyd. A. Marszałek, Toruń, 2001.
31. Farina F.A. Studer: Radar Data Processing. Wyd. Res. Studies Press Ltd.1985.
32. J. Grzelak, W. Szelembaum: Systemy nawigacji lądowej opracowane w PIT. Postępy Radiotechniki Nr 145, 2002.
33. J. Szymanowski, J. Grzelak: Analiza i optymalizacja algorytmów orientacji wstępnej systemu nawigacji lądowej. Prace PIT, zeszyt 128, 2001.
34. J. Fiett, T. Gugała, W. Okoń: Automatyzacja stanowiska kierowania lotami. Prace PIT Nr 069, 1997.
35. J. Fiett: Wnioski z wdrożenia partii próbnej terminala TU-20L. Prace PIT, Nr 070, 1998.
36. J. Fiett, K. Liwkowicz: Przystosowanie terminala lotniskowego TU-20L do współpracy z systemem SUPRAŚL. Prace PIT, Nr Z-72, 1999.
37. J. Lanssen: Finding the key to unlock air-space integrating military and commercial ATM, Intern. Defence Review No:4/2000.

38. J. Fiett, K. Liwkowicz: Terminal lotniskowy TU-20L, Postępy Radiotechniki Nr 140, 2000.
 39. W. Byrski, T. Wasylilijew: Naprowadzanie samolotów na cele powietrzne i naziemne: VIII Konf. Naukowa "Automatyzacja Dowodzenia", część 1, 2000.
 40. M. Myszkowski: Terminal przewoźno-przeñośny TPP-10. Budowa i zastosowanie. VIII Konf. Naukowa "Automatyzacja Dowodzenia", część 1, 2000.
 41. A. Kątcki: Wybrane problemy budowy i funkcjonowania podsystemu rozpoznania radiolokacyjnego. VIII Konf. Naukowa "Automatyzacja Dowodzenia", część 1, 2000.
 42. K. Liwkowicz, K. Marcinkowski: Algorytmy śledzenia i pomiaru wysokości obiektów powietrznych w oprogramowaniu TSS-10. VII Konf. Naukowa "Automatyzacja Dowodzenia", część 1, 1999.
 43. J. Klamka: Technology of Germanium p-n Alloyed Junctions for Microwave Variable-Capacitance Diodes. Bull. Acad. Pol. Sci. Ser. Techn. vol. 8, no. 7, 1960.
 44. J. Klamka: Krzemowa dioda lawinowa na pasmo X., Arch. Elektrotechniki. vol. 8, Nr 7, 1970.
 45. J. Klamka: Mikrofalowe diody PIN. Arch. Elekt. ,vol. 21, Nr 5, 1972.
 46. J. Klamka, R. Latkowski: Diody Gunna o mocy ciągłej w pasmie X. III Kraj. Konf. MECS, 1974.
 47. J. Klamka: Mikrofalowe przyrządy półprzewodnikowe wytwarzane w kraju. Prace ITE, zeszyt 7, 1979.
 48. W.J. Białkowski, K. Bienia, J. Klamka, J. Lewandowski: Mikrofalowe tranzystory bipolarne p - n - p. Prace ITE, zeszyt 8, 1981.
 49. W. J. Białkowski, J. Klamka, T. Zalewski: Mikrofalowy tranzystor bipolarny na pasmo L o małym poziomie szumów. VI Kraj. Konf. MIKON-83, 1983.
- 14. 1. Niektóre publikacje książkowe poświęcone opisanej tematyce**
- J. Kroszczyński: Tłumienie ech stałych w radiolokacji. PWN, 1965.
 - K. Kokot: Podstawy radiolokacji. Cz.1 i 2, Wyd. WAT, 1967.
 - J. Brożyna: Zarys teorii morskich radarów nawigacyjnych: Wyd. Pol. Warsz. 1972.
 - R. Litwin, M. Suski: Technika mikrofalowa. WNT, W-wa, 1972.
 - Technika współczesnej radiolokacji: Praca zbiorowa pod red. J. Kroszczyńskiego, Wyd. Wkił, W-wa, 1975.
 - J. Kroszczyński: Współczesne urządzenia radiolokacyjne. Wyd. Wkił, W-wa, 1976.
 - W. Rosiński, E. Sędek, Z. Wroński: Mikrofalowa elektronika półprzewodnikowa. PWN, W-wa, 1982.
 - B. Galwas: Miernictwo mikrofalowe: Wyd> Wkił, W-wa, 1985.
 - Z. Czekąła: Parada radarów. Wyd. Bellona, W-wa, 1999.
 - S. Rosłonec: Liniowe obwody mikrofalowe. Metody analizy i syntezy. Wyd. Wkił, W-wa, 1999.
 - W. Zieniutycz: Anteny - podstawy polowe. Wkił, W-wa, 2001.

