

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

-----



**NGUYỄN HOÀNG ANH**

**TRIỂN KHAI RADAR THỜI TIẾT METEOR 60DX  
CHO CUNG CẤP DỊCH VỤ KHÍ TƯỢNG  
HÀNG KHÔNG DÂN DỤNG TẠI SÂN BAY NỘI BÀI**

**ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ KỸ THUẬT**

*(Theo định hướng ứng dụng)*

HÀ NỘI – 2024

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**

---



**NGUYỄN HOÀNG ANH**

**TRIỂN KHAI RADAR THỜI TIẾT METEOR 60DX  
CHO CUNG CẤP DỊCH VỤ KHÍ TƯỢNG  
HÀNG KHÔNG DÂN DỤNG TẠI SÂN BAY NỘI BÀI**

**Chuyên ngành: Kỹ thuật Viễn thông**

**Mã số: 8.52.02.08**

**ĐỀ ÁN TỐT NGHIỆP THẠC SĨ KỸ THUẬT**  
*(Theo định hướng ứng dụng)*

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**  
**PGS.TS. VŨ VĂN SAN**

**HÀ NỘI - 2024**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong đề án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

**Tác giả đề án tốt nghiệp**  
(Ký và ghi rõ họ tên)

**NGUYỄN HOÀNG ANH**

## MỤC LỤC

Lời cam đoan.....	i
Mục lục.....	ii
Danh mục các thuật ngữ, chữ viết tắt.....	iv
Danh sách bảng .....	v
Danh sách hình vẽ .....	vi
MỞ ĐẦU.....	1
Chương I – Radar thời tiết và dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng.....	3
1.1. Khái quát về dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng .....	3
1.1.1. Giới thiệu .....	3
1.1.2. Dịch vụ khí tượng hàng không.....	4
1.1.3. Các sản phẩm chính của dịch vụ khí tượng hàng không .....	5
1.2. Vai trò của dịch vụ khí tượng trong ngành hàng không.....	7
1.3. Nguyên lý Radar thời tiết .....	9
1.3.1. Nguyên Lý.....	9
1.3.2. Các tham số khí tượng nhận được từ Radar thời tiết: .....	10
1.3.3. Ưu điểm.....	15
1.3.4. Nhược điểm.....	16
1.3.5. Phân loại radar thời tiết .....	17
1.4. Kết luận chương I .....	18
Chương II – Công nghệ radar thời tiết METEOR 60DX.....	19
2.1. Hệ thống Radar thời tiết METEOR 60DX .....	19
2.1.1. Giới thiệu chung.....	19
2.1.2. Ưu điểm của radar hai phân cực .....	22
2.2. Phần mềm xử lý dữ liệu trong hệ thống Radar thời tiết METEOR 60DX. ....	24
2.2.1. Phần mềm Ravis.....	24
2.2.2. Phần mềm Rainbow .....	27
2.3. Đặc điểm và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng dữ liệu khí tượng .....	31
2.3.1. Đặc điểm của dữ liệu Radar thời tiết .....	31

2.3.2. Yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng dữ liệu Radar .....	31
2.4. Kết luận chương II.....	32
Chương III – triển khai radar thời tiết meteor 60dx cho cung cấp dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng tại sân bay nội bài .....	33
3.1. Các đặc điểm khi triển khai hệ thống.....	33
3.1.1. Khí hậu .....	33
3.1.2. Vị trí lắp đặt .....	34
3.2. Mô hình triển khai Radar thời tiết METEOR 60DX tại sân bay Nội Bài .....	35
3.3. Đánh giá thực tế hệ thống sau khi triển khai .....	41
3.4. Kết luận chương III .....	46
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	47
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	48

## DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, CHỮ VIẾT TẮT

Viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
AD WRNG	Aerodrome Warnings	Cảnh báo thời tiết sân bay
AR	Analog receiver	Máy thu analog
AIRMET	AIRman's METeorological Information	Thông tin thời tiết không ổn định cho máy bay nhỏ
CB	Cumulonimbus	Mây mang điện tích
DR	Digital receiver	Máy thu số
DP	Dual Polarization	Hai phân cực
FAA	Federal Aviation Administration	Cục Hàng không liên bang Hoa Kỳ
FIR	Flight Information Region	Vùng thông báo bay
HF	High Frequency	Tần số cao tần
HP	Horizontal Polarization	Phân cực ngang
ICAO	International Civil Aviation Organization	Tổ chức hàng không dân dụng quốc tế
LAN	Local Area Network	Mạng nội bộ
LDR	Linear Depolarization Ratio	Phân cực tuyến tính
METAR	Meteorological Aerodrome Report	Báo cáo thời tiết hàng không tức thời
NGS	New Group Server	Nhóm máy chủ mới
RCC	Rainbow Control Center	Ứng dụng khởi động chính của bộ phần mềm Rainbow
RCP	RADAR Control Processor	Bộ xử lý điều khiển Radar
R	Rainfall Rate	Lưu lượng mưa
SATCOM	Satellite Communication	Vệ tinh thông tin
SIGMET	Significant Meteorological	Thông tin cảnh báo thời tiết đặc

	Information	biệt
SP	Signal	Phản xử lý tín hiệu
SPM	Short Pulse Mode	Xung ngắn
TAF	Terminal Area Forecast	Bản tin dự báo thời tiết hàng không
TCP/IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol	Giao thức điều khiển truyền nhận/Giao thức liên mạng
VHF	Very high frequency	Tần số siêu cao tần
$V_r$	Radial velocity	Vận tốc hướng tâm
W	Spectrum Width	Độ rộng phổ
WAN	Wide Area Network	Mạng diện rộng
WS WRNG	Wind Shear Warning	Cảnh báo hiện tượng gió đứt
$Z_{dr}$	Differential Reflectivity	Hệ số sai biệt phản xạ

## DANH SÁCH BẢNG

Bảng 1.1: Quan hệ giữa hệ số phản xạ và lưu lượng mưa .....	10
Bảng 1.2: Độ rộng phổ của tốc độ hướng tâm và giá trị trung bình .....	14
Bảng 2.1: Tính năng của cấu hình 2 kênh DP.....	20
Bảng 2.2: Tính năng kỹ thuật của đài radar .....	21

## DANH SÁCH HÌNH VẼ

Hình 1.1: Cấu trúc các lớp khí quyển trái đất .....	3
Hình 1.2: Biểu diễn dBZ theo các mức màu .....	11
Hình 1.3: Hiện thị cường độ mưa và vùng khí tượng thành màu .....	11
Hình 1.4: Quan hệ ZR .....	13
Hình 1.5: Hai phân cực .....	15
Hình 2.1: Sơ đồ khối tổng quát hệ thống radar 2 phân cực .....	19
Hình 2.2: Phản xạ 2 phân cực từ các hạt khí tượng .....	23
Hình 2.3: Giao diện phần mềm Ravis .....	26
Hình 2.4: System Visualiztion .....	27
Hình 2.5: Rainbow Control Center .....	28
Hình 2.6: Rainbow DART .....	29
Hình 2.7: Rainbow RM .....	29
Hình 2.8: RainbowLOG .....	30
Hình 3.1: Vị trí Radar thời tiết .....	34
Hình 3.2: sơ đồ khối radar thời tiết .....	35
Hình 3.3: Build-in-Test Equipment .....	36
Hình 3.4: Antenna Control .....	37
Hình 3.5: Scan Worksheet.....	38
Hình 3.6: Sơ đồ nguyên lý truyền dẫn hệ thống Radar thời tiết Nội Bài.....	39
Hình 3.7: Rainbow RM .....	40
Hình 3.8: Rainbow DART .....	41
Hình 3.9: ScoutATC.....	42
Hình 3.10: Ảnh CAPPI .....	43
Hình 3.11: Ảnh Max .....	44
Hình 3.12: Ảnh CMAX.....	45
Hình 3.13: Ảnh CMAX.....	45



## MỞ ĐẦU

Trong vài năm gần đây, sự tăng trưởng hoạt động bay của các hãng hàng không dân dụng trong nước và quốc tế một cách đều đặn và nhanh chóng. Hiện tại, mật độ của các chuyến bay đi, đến các cảng hàng không quốc tế của Việt Nam đã được ghi nhận ngày một tăng cao. Với áp lực hoạt động bay nhiều hơn, việc cung cấp dữ liệu khí tượng cho kiểm soát viên không lưu phục vụ điều hành bay cần được liên tục và đầy đủ. Điều này được xem là một trong những yếu tố quan trọng thúc đẩy việc nâng cao hiệu quả trong việc quản lý nhà nước và đảm bảo an toàn cho hoạt động bay tại Việt Nam. Sân bay Nội Bài là một sân bay không quân dân sự dùng chung, thuộc hai xã Phú Cường và Phú Minh, huyện Sóc Sơn thành phố Hà Nội. Nằm trong vùng đồng bằng trung du Bắc Bộ, sân bay Nội Bài đóng một vai trò quan trọng cả về kinh tế lẫn quốc phòng. Về mặt hàng không dân dụng, sân bay Nội Bài là một trong sáu sân bay quốc tế của Việt Nam, là cửa ngõ đường không ở miền Bắc, là một trong ba sân bay nội địa chính của cả nước, nối liền miền Bắc với miền Trung và miền Nam, là sân bay trung chuyển các trục hàng không chính trong khu vực và châu lục. Sân bay quốc tế Nội Bài hiện có mật độ bay cao. Vấn đề khí tượng thời tiết xấu ảnh hưởng lớn quá trình khai thác của các hãng hàng không.

Do vậy, việc nghiên cứu các giải pháp nhằm nâng cao chất lượng cung cấp dịch vụ khí tượng hàng không nhằm chủ động tư vấn sớm, kịp thời cho kiểm soát viên không lưu tại Nội Bài về cường độ, thời gian kéo dài hay các hiện tượng thời tiết ảnh hưởng đến khu vực cất hạ cánh và tại sân bay để từ đó kiểm soát viên không lưu có thể lựa chọn đường cất hạ cánh phù hợp, không bị gián đoạn trong quá trình khai thác nhằm đảm bảo an toàn, điều hòa, hiệu quả trong dây chuyền đảm bảo hoạt động bay tại sân bay Nội Bài là rất cần thiết.

Đây cũng là lý do, tôi chọn đề tài “Triển khai Radar thời tiết METEOR 60DX cho cung cấp dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng tại sân bay Nội Bài” làm đề án tốt nghiệp thạc sĩ của mình.

Trên thế giới hiện nay có rất nhiều Radar thời tiết khá hiện đại với nhiều chức năng, sản phẩm dự báo khá chính xác cho các hiện tượng thời tiết nguy hiểm mà các Radar thời tiết thông thường không có như cảnh báo gió đứt tầng thấp, gió đứt tầng cao, phát hiện sét đã được triển khai ở một số sân bay ở châu Âu và châu Mỹ.

Sân bay Nội Bài thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa, có 2 mùa rõ rệt: mùa mưa và mùa khô. Mùa mưa có gió mùa Đông Nam, khí hậu nóng ẩm mưa nhiều và kéo dài từ tháng 5 đến hết tháng 10 dương lịch. Mùa khô có gió mùa Đông Bắc, khí hậu khô hanh và kéo dài từ tháng 11 đến hết tháng 4 dương lịch năm sau. Với tầm quan trọng của cảng hàng không quốc tế Nội Bài, việc bổ sung thiết bị quan trắc khí tượng là một yếu tố quan trọng quyết định năng lực, chất lượng hệ thống có được thông tin quan trắc đảm bảo độ chính xác, tin cậy. Trang thiết bị sử dụng và phần mềm cần sử dụng của các nhà sản xuất tích hợp hệ thống Radar thời tiết đáp ứng các khuyến nghị của ICAO.

Radar thời tiết METEOR 60DX là một hệ thống Radar thời tiết phân cực kép, tần số thu phát X band (9490 MHz), công suất cực đại 75 KW. Radar thời tiết là một công cụ cực kỳ quan trọng trong dự đoán tức thời - Nowcasting (00 h - 12 h) các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như: dông, sét, lốc, mưa to... Dựa trên vị trí, khoảng cách, hình dạng, cường độ phản hồi vô tuyến của sóng điện từ do Radar thời tiết thu được khi gặp các tinh thể nước, giọt nước siêu lạnh, tinh thể đá trong mây, các dự báo viên sẽ nhanh chóng đưa ra các cảnh báo, dự báo sớm, chính xác và kịp thời các hiện tượng thời tiết nguy hiểm sẽ xảy ra một cách chính xác.

Theo đó đề án: “Triển khai Radar thời tiết METEOR 60DX cho cung cấp dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng tại sân bay Nội Bài” sẽ tìm hiểu về các dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng, công nghệ Radar thời tiết và ứng dụng triển khai Radar thời tiết METEOR 60DX nhằm nâng cao chất lượng dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng tại sân bay Nội Bài đáp ứng tiêu chuẩn của ICAO.

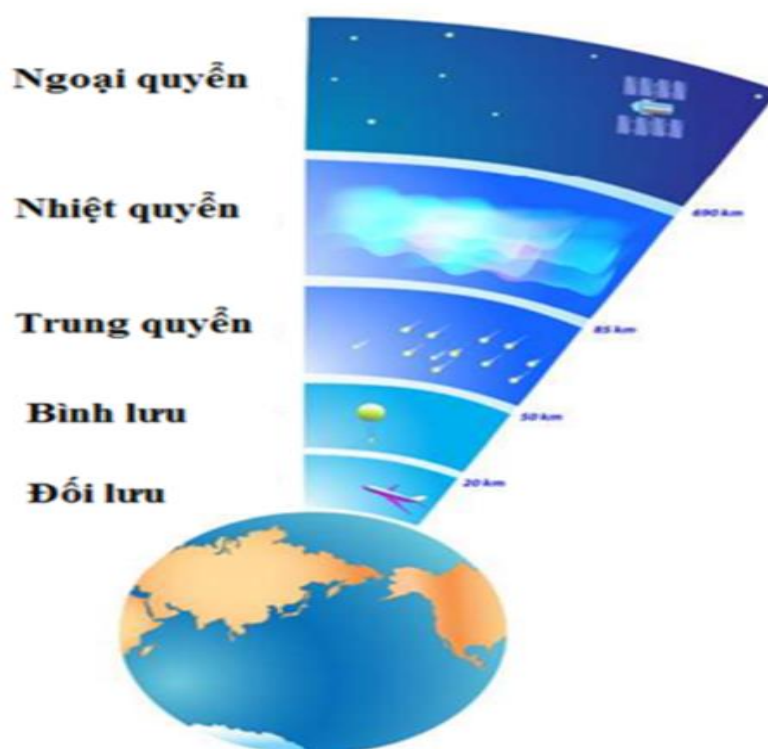
# CHƯƠNG I – RADAR THỜI TIẾT VÀ DỊCH VỤ KHÍ TƯỢNG HÀNG KHÔNG DÂN DỤNG

## 1.1. Khái quát về dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng

### 1.1.1. Giới thiệu

Khí quyển bao phủ Trái đất của chúng ta, tạo ra các lớp khí khác nhau. Do cấu tạo, đặc tính của từng lớp khí quyển khác nhau cộng với sự ảnh hưởng của năng lượng mặt trời ở từng lớp khí quyển là khác nhau nên mỗi một lớp khí quyển có những đặc tính riêng biệt.

Trong tầng đối lưu, nơi chứa phần lớn hơi nước trong khí quyển, nhiệt độ giảm theo chiều cao, là tầng chịu ảnh hưởng chủ yếu của năng lượng mặt trời truyền xuống trái đất dưới dạng bức xạ điện từ nên phần lớn quá trình khí quyển, các hiện tượng thời tiết được hình thành, phát triển. Các hoạt động của con người trong đó có hoạt động hàng không chủ yếu diễn ra trong tầng đối lưu nên chịu ảnh hưởng lớn bởi các quá trình khí quyển và các hiện tượng thời tiết diễn ra.



Hình 1.1: Cấu trúc các lớp khí quyển trái đất

Thuật ngữ khí tượng học (tiếng Anh là METEOROLOGY) có nguồn gốc từ tiếng Hy Lạp, có nghĩa là khoa học về các hiện tượng trong khí quyển. Mối quan hệ mật thiết của khí tượng học với nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau: vật lý, địa chất, toán học, khoa học trái đất... nhằm tìm hiểu các tính chất vật lý của khí quyển, nhằm hiểu được các tính chất và phân bố của hiện tượng thời tiết, khí hậu... nhằm đáp ứng nhu cầu của con người trong hoạt động kinh tế, chính trị và xã hội.

Khí tượng hàng không tìm hiểu về sự phân bố của các hiện tượng khí quyển trong tầng khí quyển, nguyên nhân hình thành và tác động của các yếu tố thời tiết, đặc điểm khí hậu liên quan đến hoạt động hàng không qua đó đưa ra những nhận định, dự báo đảm bảo hoạt động hàng không an toàn, thuận lợi. [11]

### ***1.1.2. Dịch vụ khí tượng hàng không***

Dịch vụ hàng không là một khái niệm rộng lớn, bao hàm tất cả các hoạt động và dịch vụ liên quan đến ngành hàng không nhằm đáp ứng nhu cầu vận chuyển của con người và hàng hóa bằng phương tiện bay. Dịch vụ này không chỉ giới hạn ở việc vận chuyển mà còn bao gồm các hoạt động bảo dưỡng, kiểm tra, cung cấp dịch vụ khí tượng, điều hành bay, an ninh và dịch vụ tại sân bay như quản lý hành lý, cung cấp thức ăn, nước uống, và các dịch vụ hỗ trợ khác.

Dịch vụ hàng không dân dụng là thuật ngữ chỉ riêng phần của ngành hàng không liên quan đến hoạt động vận chuyển hành khách và hàng hóa không liên quan đến mục đích quân sự. Dịch vụ này bao gồm cả chuyến bay thương mại và chuyến bay cá nhân không mang tính thương mại.

Cả ở Việt Nam và trên thế giới, dịch vụ hàng không dân dụng được coi là một phần không thể thiếu trong ngành giao thông vận tải, giúp thúc đẩy giao lưu kinh tế, văn hóa giữa các quốc gia và vùng lãnh thổ. Sự phát triển của dịch vụ hàng không dân dụng góp phần quan trọng vào sự phát triển của du lịch, thương mại và kinh tế toàn cầu.

Thời tiết luôn là yếu tố có ảnh hưởng đáng kể đến an toàn trong các chuyến bay trên toàn cầu. Theo dữ liệu từ Cục Hàng không Liên bang Mỹ (FAA), khoảng 70% các trường hợp chậm trễ chuyến bay có nguyên nhân từ thời tiết. Hơn nữa, thời tiết cũng gây ra nhiều sự cố và tai nạn hàng không, dẫn đến tổn thất lớn về mặt kinh tế và an toàn cho hành khách.

Ở Việt Nam, báo cáo từ Ban an toàn, Chất lượng và An ninh của Tổng công ty Quản lý bay Việt Nam cho thấy thời tiết ảnh hưởng đến khoảng 50 - 60% các sự cố hàng không, bao gồm việc chậm, chờ bay, phải bay vòng tránh khu vực có thời tiết xấu, hoặc thậm chí là hủy bỏ chuyến bay do điều kiện thời tiết không thuận lợi như bão, mây CB, hoạt động gió mạnh, hoặc đóng băng. [11]

Để đảm bảo rằng dịch vụ khí tượng đáp ứng yêu cầu của hoạt động hàng không một cách an toàn và hiệu quả, Tổ chức Hàng không Dân dụng Quốc tế (ICAO) đã ra đời Phụ ước 3 (Annex 3 - Meteorological Service for International Air Navigation) vào ngày 16 tháng 4 năm 1948. Đây là bộ tiêu chuẩn và khuyến cáo được thiết kế để hỗ trợ công việc khí tượng trong hàng không, áp dụng cho tất cả các quốc gia thành viên, trong đó có Việt Nam từ ngày 12 tháng 4 năm 1981. Mỗi năm, trong các cuộc họp của ICAO, Phụ ước này liên tục được xem xét, chỉnh sửa và cập nhật để phản ánh đúng thực tế và tiến bộ của khoa học kỹ thuật. Các dịch vụ khí tượng hàng không quốc gia do đó có nhiệm vụ cung cấp dữ liệu, phân tích và cảnh báo thời tiết, tuân theo các quy định của ICAO, nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả cho hoạt động vận tải hàng không cả trong và ngoài nước.

### ***1.1.3. Các sản phẩm chính của dịch vụ khí tượng hàng không***

Để hỗ trợ việc quản lý và vận hành các hoạt động bay một cách an toàn, trôi chảy và hiệu quả, cũng như đáp ứng yêu cầu về trao đổi và cung cấp thông tin khí tượng cho ngành hàng không cả trong và ngoài khu vực, Trung tâm Khí tượng hàng không cam kết cung cấp các sản phẩm dịch vụ tuân thủ chặt chẽ các quy định của pháp luật quốc gia về khí tượng hàng không và theo các tiêu chuẩn, khuyến nghị của Tổ chức Hàng không Dân dụng Quốc tế (ICAO).

Trong số các sản phẩm chính, chúng ta có:

Bản tin quan trắc và báo cáo thời tiết cho sân bay gồm bản tin thường lệ MET REPORT/METAR và bản tin đặc biệt SPECIAL/SPECI. Những bản tin này được cung cấp định kỳ mỗi 30 phút để thông báo cho các nhà vận hành bay, phi công và các bên liên quan khác về tình hình thời tiết tại sân bay, giúp họ đưa ra quyết định chính xác, bảo đảm an toàn cho hoạt động bay.

Các bản tin dự báo và cảnh báo cũng là phần không thể thiếu, với nhiều loại thông tin khác nhau như dự báo thời tiết cảng hàng không (TAF, TAF AMD), dự báo hạ cánh (TREND), dự báo cất cánh, dự báo thời tiết trên đường bay và khu vực bay, cùng với các thông báo về các hiện tượng thời tiết nguy hiểm như SIGMET và AIRMET, cảnh báo thời tiết sân bay (AD WRNG) và cảnh báo gió đứt tầng thấp (WS WRNG).[1]

Dự báo thời tiết cho cảng hàng không và sân bay đóng vai trò quan trọng trong việc thông báo cho các bên về diễn biến thời tiết dự kiến, giúp họ lập kế hoạch và chuẩn bị tốt hơn. Khi có thay đổi đáng kể so với dự báo đã phát hành, một bản tin dự báo bổ sung (TAF AMD) sẽ được lập để cập nhật những thay đổi mới nhất.

Ngoài ra, dịch vụ khí tượng còn bao gồm:

Hồ sơ khí tượng và tư vấn, thuyết trình dành cho các tổ lái và nhân viên điều độ bay tại các cảng hàng không, sân bay, giúp họ hiểu rõ về các điều kiện khí tượng cũng như cách ứng phó với các tình huống thời tiết khác nhau.

Thông tin về khí hậu hàng không cung cấp số liệu thống kê dựa trên chuỗi dữ liệu nhiều năm, hỗ trợ các nhà khai thác trong việc lập kế hoạch và quản lý các hoạt động bay dài hạn, cũng như trong quy hoạch mở mới các tuyến đường bay.

## 1.2. Vai trò của dịch vụ khí tượng trong ngành hàng không

- Dữ liệu khí tượng hàng không sẽ được thực hiện qua các bước sau:

**Thu thập dữ liệu:** Dữ liệu khí tượng được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau, bao gồm các trạm khí tượng trên mặt đất, vệ tinh, radar, và máy bay. Dữ liệu này bao gồm nhiệt độ, áp suất, độ ẩm, gió, và các hiện tượng thời tiết như mây, sương mù, mưa.

**Xử lý và phân tích:** Dữ liệu được gửi về trung tâm dự báo khí tượng, nơi nó được xử lý và phân tích để tạo ra các bản tin và bản đồ thời tiết. Những thông tin này được cập nhật liên tục để phản ánh chính xác nhất tình hình thời tiết hiện tại và dự báo.

**Phát hành thông tin:** Thông tin khí tượng được tổng hợp thành các báo cáo như METAR (báo cáo thời tiết hàng không tức thời), TAF (dự báo thời tiết hàng không), SIGMET (thông tin cảnh báo thời tiết đặc biệt), và AIRMET (thông tin thời tiết không ổn định cho máy bay nhỏ). Các báo cáo này được phát hành cho các đơn vị liên quan trong ngành hàng không. [4]

**Truyền dữ liệu:** Thông tin khí tượng sau khi đã được tổng hợp và phát hành sẽ được truyền đến các phi công, đơn vị kiểm soát không lưu, và các bên liên quan khác thông qua các hệ thống truyền thông hàng không. Quá trình này có thể được thực hiện thông qua hệ thống VHF, HF, mạng nội bộ ngành hàng không.

**Nhận và sử dụng thông tin:** Phi công và các bên liên quan sẽ sử dụng thông tin khí tượng nhận được để lập kế hoạch bay, đưa ra các quyết định điều chỉnh hành trình hoặc độ cao bay để tránh thời tiết xấu và đảm bảo an toàn cho chuyến bay.

- Dịch vụ khí tượng trong ngành hàng không đóng một vai trò cực kỳ quan trọng và không thể phủ nhận, với các tác động và ảnh hưởng lớn đến mọi khía cạnh của hoạt động hàng không, từ an toàn cho đến hiệu quả và kinh tế:

**Đảm bảo an toàn bay:** An toàn là ưu tiên hàng đầu trong ngành hàng không. Thời tiết xấu như bão, gió mạnh, sương mù, băng giá, hoặc mưa đá có thể gây ra

các tình huống nguy hiểm cho cả tàu bay và hành khách. Dịch vụ khí tượng cung cấp các bản tin dự báo, cảnh báo thời tiết nguy hiểm giúp phi công và đơn vị điều hành chuyến bay lập kế hoạch và chuẩn bị tốt hơn, từ đó giảm thiểu rủi ro và đảm bảo an toàn cho các chuyến bay.

Hỗ trợ lập kế hoạch bay và quản lý không lưu: Dự báo thời tiết chính xác giúp các tổ lái và nhà quản lý không lưu lên kế hoạch cho các chuyến bay một cách hiệu quả, bao gồm việc chọn lựa đường bay tối ưu, ước tính thời gian bay và xác định nhiên liệu cần thiết. Điều này giúp giảm thời gian và chi phí vận hành, đồng thời tăng cường hiệu suất của ngành hàng không.

Tối ưu hóa hoạt động tại sân bay: Dịch vụ khí tượng hàng không cung cấp thông tin quan trọng giúp quản lý sân bay và các dịch vụ mặt đất hoạch định các hoạt động của mình, từ việc sắp xếp lịch trình bay đến việc chuẩn bị các biện pháp ứng phó với thời tiết xấu, đảm bảo hoạt động của sân bay được duy trì trôi chảy và an toàn.

Cải thiện trải nghiệm hành khách: Thông tin thời tiết cập nhật giúp hãng hàng không và nhân viên dịch vụ khách hàng cung cấp thông tin chính xác cho hành khách về tình hình chuyến bay, bao gồm các chậm trễ do thời tiết. Điều này giúp tăng cường sự hài lòng và tin cậy của hành khách đối với dịch vụ hàng không.

Phòng chống và giảm nhẹ thiên tai: Trong trường hợp thời tiết cực đoan hoặc thiên tai như bão, lốc xoáy, dịch vụ khí tượng cung cấp thông tin quan trọng giúp các cơ quan hàng không và cơ quan quản lý khẩn cấp lập kế hoạch và triển khai các biện pháp ứng phó kịp thời, bảo vệ cơ sở hạ tầng và đảm bảo sự an toàn cho cả hành khách và nhân viên.



### 1.3. Nguyên lý Radar thời tiết

#### 1.3.1. Nguyên Lý

Radar thời tiết hoạt động dựa trên nguyên lý phản xạ sóng điện từ. Khi một sóng điện từ được phát đi từ radar và gặp các hạt thời tiết như mưa hoặc tuyết, một phần của sóng sẽ bị hạt này phản xạ lại về phía radar. Radar thu nhận tín hiệu phản xạ và xử lý nó để xác định thông tin về thời tiết.

Công thức xác định khoảng cách đến mục tiêu là

$$R = (c \times \Delta t) / 2 \quad (1.1)$$

Trong đó  $R$  là khoảng cách từ radar đến mục tiêu,  $c$  là tốc độ ánh sáng, và  $\Delta t$  là thời gian từ lúc sóng được phát đi cho đến khi nhận được sóng phản xạ.

Độ mạnh của tín hiệu phản xạ, được gọi là  $Z$ , thường được đo bằng dBZ.  $Z$  được tính theo công thức:

$$Z = A \times r^b \quad (1.2)$$

Trong đó  $A$  và  $b$  là hằng số phụ thuộc vào loại mưa và  $r$  là bán kính của hạt mưa. [6]

Radar thời tiết cũng sử dụng phép đo Doppler để xác định tốc độ và hướng chuyển động của các hạt, từ đó dự đoán hướng di chuyển của mây mưa. Tốc độ Doppler được tính bằng:

$$v = (\Delta f \times c) / (2 \times f_0) \quad (1.3)$$

Trong đó  $\Delta f$  là sự thay đổi tần số Doppler,  $c$  là tốc độ ánh sáng, và  $f_0$  là tần số sóng phát ra. [7]

### 1.3.2. Các tham số khí tượng nhận được từ Radar thời tiết:

#### - Hệ số phản xạ (Reflectivity) Z

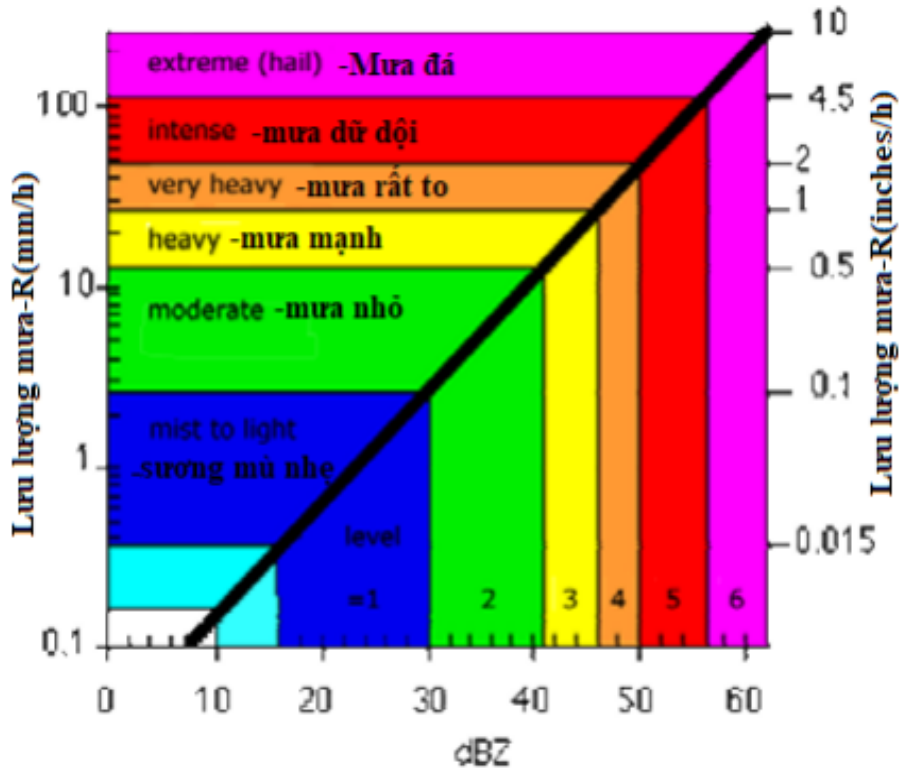
Hệ số phản xạ là thước đo công suất phản xạ từ mục tiêu khí tượng, mục tiêu mạnh (stronger) thì hệ số phản xạ Z có mức cao, do đó dBZ cũng có mức cao. Giá trị Z và dBZ có quan hệ với số phân tử khí tượng trong một đơn vị thể tích ( $1\text{m}^3$ ) và lũy thừa 6 của đường kính trung bình của chúng ( $D^6$ ), do vậy nó cũng thể hiện lưu lượng mưa (Rainfall Rate), người ta gọi đó là “quan hệ Z-R”. [10]

Giá trị của hệ số phản xạ Z nằm trong phạm vi:  $0,001 \text{ mm}^6 / \text{m}^3$  (sương mù nhẹ) ÷  $4000000 \text{ mm}^6 / \text{m}^3$  (mưa đá)

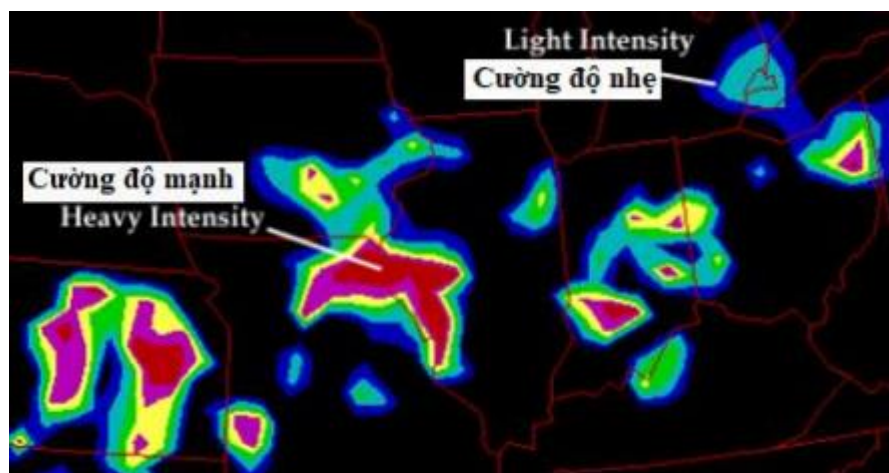
**Bảng 1.1: Quan hệ giữa hệ số phản xạ và lưu lượng mưa**

dBZ	Rain rate	Trạng thái khí tượng
10	~0,2	Mây
20	~1	Mưa Phùn
30	~3	Mưa nhẹ
40	~10	Mưa rào
50	~50	Mưa to kèm sấm sét, có thể kèm mưa đá
60	~200	Mưa rất to, bão tố sấm sét, mưa đá

Cường độ mạnh hay nhẹ của năng lượng tín hiệu phản xạ từ các vật thể khí tượng được hiển thị tương ứng với mức màu khác nhau:



Hình 1.2: Biểu diễn dBZ theo các mức màu



Hình 1.3: Hiển thị cường độ mưa và vùng khí tượng thành màu

### - Lưu lượng mưa (Rainfall Rate) R

Radar thời tiết cho phép quét vùng không gian rộng lớn và đo nhanh và tính ra lưu lượng mưa. Tuy không thể trực tiếp đo độ ngưng tụ của hơi nước, nhưng nếu giả thiết rằng biết được mật độ phân bố ngưng tụ của các phần tử khí tượng (tức biết số các phần tử với các kích thước theo phân loại khác nhau) thì có thể tính được mối quan hệ giữa hệ số phản xạ Z với lưu lượng mưa (R-mm/hr) dựa trên tín hiệu phản xạ thu được:

$Z = A \times R^b$  (A và b là các hằng số được xác định bởi giả thiết về phân bố kích thước phần tử khí tượng). Phương trình này thể hiện mối quan hệ giữa Z và lưu lượng mưa R, được gọi là “Quan hệ Z-R”. Việc tính toán được thực hiện tự động nhờ chương trình phần mềm của radar.

Giá trị hai hằng số A và b được tính riêng theo cấu hình của từng radar và được nghiên cứu từ nhiều tác giả. Quan hệ Z-R chung nhất là sau đây: [9]

$Z=200R^{1,6}$  (Tác giả Marshall và Palmer 1948) áp dụng cho mưa thành tầng, thành lớp.

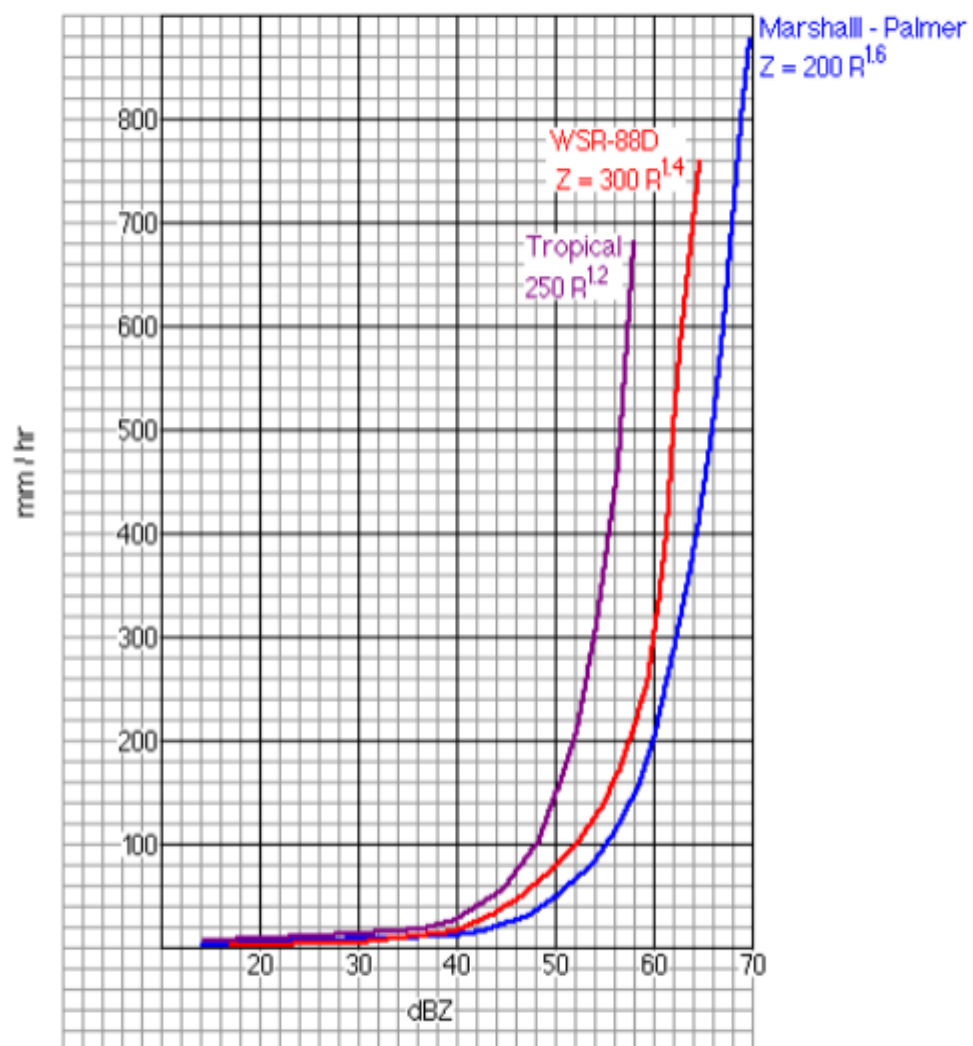
Cũng có một số quan hệ Z-R khác như sau:

$Z=31R^{1,71}$  (Blanchard, 1953) với mưa nhẹ

$Z=350R^{1,4}$  với mưa có sấm sét

$Z=500R^{1,5}$  (Joss, 1970) với bão tố sấm sét

$Z=2000R^2$  (Marshall and Gunn, 1958) đối với tuyết



Hình 1.4: Quan hệ ZR

### - Vận tốc $V_r$

Các radar hiện đại đều có thể đo được vận tốc hướng tâm (radial velocity)  $V_r$  của mục tiêu dựa vào độ dịch tần Dopple trong tín hiệu phản xạ thu được:

$$f_d = 2V_r / \lambda \quad (1.4)$$

Giá trị vận tốc hướng tâm cực đại có thể đo được đơn trị bị hạn chế bởi tần số lặp lại  $F_L$  của xung SCT phát từ radar:

$$V_{r_{\max}} = 0,5 f_d \lambda \leq 0,5 F_L \lambda \quad (1.5)$$

Lượng dịch tần Doppler dùng để xác định tốc độ gió, bão táp, xoáy lốc và phụ thuộc vào hướng di chuyển của vật thể khí tượng so với hướng trục quang của anten đài radar. Khi lượng dịch tần Dopple có giá trị âm thì hiện màu xanh trên màn hình, còn khi lượng dịch tần Dopple có giá trị dương thì hiện màu đỏ trên màn hình.

### - Độ rộng phổ (Spectrum Width) $W$

Dữ liệu độ rộng phổ cho biết độ phân tán tốc độ hướng tâm của khối khí tượng. Mặt khác, độ rộng phổ cũng cho biết phân bố tốc độ của các (có thể có hàng triệu) phần tử khí tượng thủy văn trong một thể tích phân biệt của radar. Mỗi phần tử khí tượng thủy văn lại có tốc độ và hướng di chuyển riêng. Hình dưới đây là dạng độ rộng phổ của tốc độ hướng tâm và giá trị trung bình của nó tùy thuộc vào tốc độ gió và mức độ cuộn xoáy của các vật thể khí tượng.

**Bảng 1.2: Độ rộng phổ của tốc độ hướng tâm và giá trị trung bình**

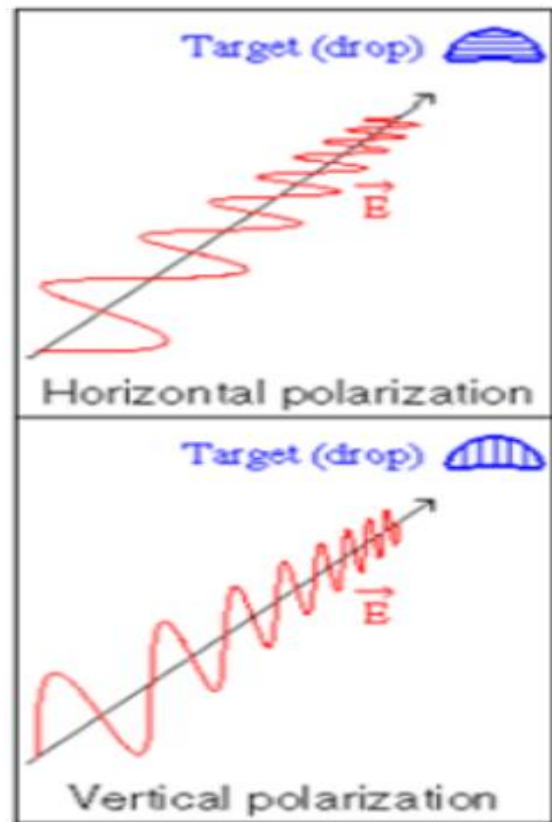
Cuộn xoáy	Nhẹ	Mạnh	Rất mạnh
Độ rộng phổ trung bình (m/s)	4	7	$\geq 8$

### - Hệ số sai biệt phản xạ (Differential Reflectivity) $Z_{DR}$

Hệ số sai biệt phản xạ là loại dữ liệu được tạo ra nhờ Radar hai phân cực. Nói chung, Radar khí tượng phát và thu sóng vi ba một phân cực, thường là phân cực ngang bởi vì các hạt mưa thường có dạng dẹt. Nhờ phát và thu sóng radar nhiều hơn một phân cực mà lấy được nhiều thông tin về bản chất của mục tiêu. Hệ số sai biệt phản xạ là tỉ số giữa công suất các sóng về phân cực ngang và sóng về phân cực đứng. Tỉ số này cho biết về hình dáng của giọt (phần tử) khí tượng và từ đó ước lượng chính xác hơn về kích thước trung bình của nó:

$$Z_{DR} = 10 \log_{10} (Z_H / Z_V) \quad (1.6)$$

ở đây  $Z_H$  là hệ số phản xạ phân cực ngang,  $Z_V$  là hệ số phản xạ phân cực đứng.  $Z_{DR}$  được tính ra dB (decibel).



**Hình 1.5: Hai phân cực**

### 1.3.3. Ưu điểm

#### 1) Phát hiện mưa và mây qua sóng điện từ

Radar thời tiết hỗ trợ đắc lực trong việc đo đạc các yếu tố thời tiết. Bằng cách sử dụng sóng điện từ và nhận phản hồi từ đám mây và mưa, chúng ta có thể xác định vị trí, hình dạng, và độ lớn của các hiện tượng thời tiết. Sự phản xạ và hấp thụ tín hiệu là chìa khóa để hiểu rõ về cấu trúc vật lý của mỗi loại mây và mưa.

## 2) Dự báo thời tiết chính xác với Radar

Với khả năng quét vùng một cách chi tiết và độ phân giải cao, radar không chỉ cung cấp ảnh với độ chính xác cao hơn mà còn giúp dự báo thời tiết trong các khu vực nhỏ và vừa. Quét ngang theo hình vòng tròn mang lại ảnh thời tiết xung quanh trạm, từ đó chúng ta có thể đoán được cường độ mưa và dự báo thời gian mưa.

Radar không chỉ giúp chúng ta theo dõi đám mây và mưa mà còn cung cấp thông tin về phân bố gió và độ ẩm trong khí quyển. Điều này làm cho quá trình nghiên cứu và dự báo thời tiết trở nên phong phú hơn, với những dữ liệu quan trọng mà radar thông thường không thể cung cấp.

### 1.3.4. Nhược điểm

Radar không thể theo dõi nếu một vật thể giảm tốc độ với hơn 161 km/h. Nếu một vật thể đang di chuyển, hệ thống radar có thể gặp khó khăn trong việc thu thập dữ liệu từ vật thể.

Bên cạnh đó, các vật thể lớn gần trạm phát có thể làm bão hòa bộ thu. Tín hiệu radio hoạt động tốt nhất khi vật thể cách xa bộ thu và không gần hơn.

Với những nhược điểm này, việc lựa chọn môi trường, vật thể để ứng dụng sóng radar cần được cân nhắc kỹ càng để sóng radar mang lại hiệu quả cao nhất.

Cần phải lắp đặt tốt, cần có khoảng không gian phía trước cảm biến không bị cản trở che chắn, không bị hạn chế bởi thi công lắp đặt.

Các vật cản trong đường phát tín hiệu có thể gây ra tín hiệu phản hồi sai.

Sóng Radar không tiếp xúc bị ảnh hưởng bởi bề mặt chất lỏng, nếu chất lỏng dao động thì sóng tín hiệu đưa về không chính xác do bề mặt sóng âm bị phân tán.



### ***1.3.5. Phân loại radar thời tiết***

Theo quá trình phát triển của các radar chuyên quan sát thời tiết, khí tượng phục vụ không lưu (sau đây gọi tắt là radar thời tiết) có thể chia thành 3 loại sau:

- Radar thời tiết thông thường: Các radar thời tiết trước kia thường không đo được sự thay đổi tần số trong tín hiệu phản xạ (phụ thuộc vào vận tốc chuyển động hướng tâm của mục tiêu) so với tần số tín hiệu phát.

- Radar thời tiết Doppler: Radar loại này đo được lượng dịch tần Doppler trong tín hiệu phản xạ. Sử dụng nguyên lý “xung tương can” dùng tách sóng pha để phát hiện những khác biệt về pha giữa các xung tín hiệu phát và các xung tín hiệu phản xạ từ mục tiêu. Loại radar này thuộc loại radar tương can. Các radar không tương can thì không thể đo được lượng dịch tần giữa xung phản xạ và xung phát.

- Radar thời tiết Doppler phân cực: Radar thời tiết Doppler phân cực thuộc loại radar phân cực, phát và thu sóng phân cực, có thể là phân cực thẳng, 1 phân cực hoặc ngang hoặc đứng, hoặc đồng thời cả 2 phân cực ngang và đứng (có thể tạo thành phân cực tròn). Radar loại này cho phép thu được nhiều thông tin khí tượng với dữ liệu đầy đủ và chính xác hơn.

Tất cả các loại radar thời tiết nói trên thường hoạt động ở các dải tần số: S-band (2-4 GHz) C-band (4-8 GHz), X-band (8-12 GHz). [5]

#### 1.4. Kết luận chương I

Dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng đóng một vai trò cốt yếu trong việc đảm bảo an toàn và hiệu quả của hoạt động hàng không trên toàn cầu. Nó không chỉ giúp trong việc lập kế hoạch và điều hành chuyến bay mà còn hỗ trợ cải thiện trải nghiệm của hành khách và tối ưu hóa hoạt động tại các sân bay. Tại Việt Nam, sự phát triển và tổ chức của dịch vụ khí tượng hàng không đã được củng cố và hiện đại hóa, điều này phản ánh sự cam kết trong việc tuân thủ các tiêu chuẩn và khuyến nghị của Tổ chức Hàng không Dân dụng Quốc tế (ICAO) cũng như nâng cao chất lượng dịch vụ để phục vụ ngành hàng không và đáp ứng yêu cầu của người dùng.

Các sản phẩm từ dịch vụ khí tượng, bao gồm bản tin dự báo thời tiết, cảnh báo thời tiết và tư vấn khí tượng, là những công cụ quan trọng để đảm bảo hoạt động bay an toàn và hiệu quả. Chúng giúp giảm thiểu rủi ro và cung cấp dữ liệu cần thiết cho việc quyết định lập kế hoạch và quản lý chuyến bay.

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và sự phát triển mạnh mẽ của ngành hàng không, vai trò của dịch vụ khí tượng hàng không ngày càng trở nên quan trọng hơn. Việc đầu tư và cải thiện các dịch vụ khí tượng không chỉ cần thiết cho an toàn hàng không mà còn góp phần vào sự phát triển bền vững của ngành hàng không dân dụng, cũng như thúc đẩy giao lưu kinh tế, văn hóa giữa các quốc gia và vùng lãnh thổ.

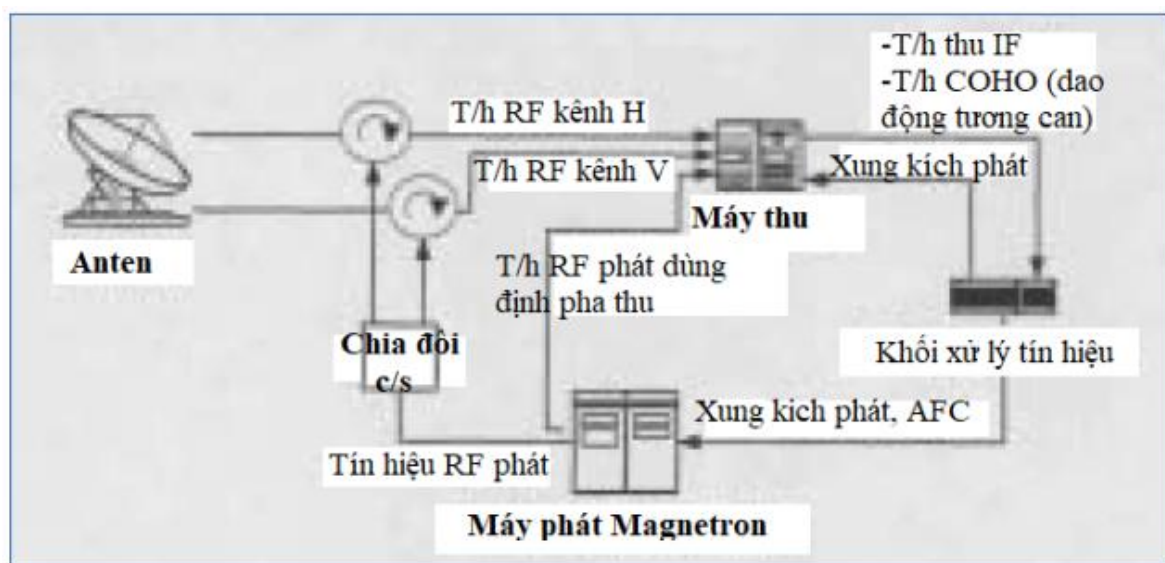
Radar thời tiết là một công cụ quan trọng trong việc phát hiện và dự báo thời tiết, hoạt động dựa trên nguyên lý phản xạ sóng điện từ. Tuy nhiên, radar cũng có nhược điểm như không thể theo dõi vật thể di chuyển nhanh hoặc bị ảnh hưởng bởi các vật cản gần trạm phát. Radar thời tiết đóng vai trò nâng cao chất lượng cung cấp sản phẩm khí tượng tức thời phục vụ điều hành hoạt động bay.

## CHƯƠNG II – CÔNG NGHỆ RADAR THỜI TIẾT METEOR 60DX

### 2.1. Hệ thống Radar thời tiết METEOR 60DX

#### 2.1.1. Giới thiệu chung

Hệ thống Radar thời tiết METEOR 60DX là radar thời tiết hai phân cực của công ty Selex ES – Gematronik nước Đức



**Hình 2.1: Sơ đồ khối tổng quát hệ thống radar 2 phân cực**

Cấu hình 2 kênh hỗ trợ 2 kiểu hoạt động của radar: kiểu hoạt động chỉ theo một kênh phân cực ngang (kiểu HP) và kiểu hoạt động theo cả 2 kênh phân cực (kiểu DP). Trong kiểu HP, máy phát và máy thu chỉ phát và thu phân cực ngang. Kiểu này cũng dùng để ước lượng tỷ số khử phân cực tuyến tính (LDR- Linear Depolarization Ratio)

Trong kiểu hoạt động 2 phân cực DP, công suất phát chia thành 2 kênh phân cực vuông góc và phát đồng thời. Mỗi kênh đều có máy thu riêng. Vì công suất phát chia đôi nên công suất mỗi kênh giảm đi 3 dB so với khi phát kiểu HP. Khi chuyển sang phát kiểu 2 kênh DP, mỗi xung đều được trích mẫu đồng thời trong 2 kênh H và V. [3]

**Bảng 2.1: Tính năng của cấu hình 2 kênh DP**

<b>Tham số</b>	<b>Giá trị tham số</b>
<b>Dàn ống dẫn sóng</b>	
Mức sai lệch công suất 2 kênh	$\pm 0,13$ dB max
Thời gian chuyển mạch	1s max
Độ trễ chuyển mạch	2s min
Chu kỳ chuyển mạch	1 mỗi lần quét
Độ cao buồng Radar	2,80 ÷ 3,00 m

Cấu trúc của radar METEOR 60DX bao gồm các thành phần chính sau:

- Hệ thống phát và thu tín hiệu hai phân cực: Radar METEOR 60DX sử dụng hệ thống phát và thu hai phân cực cho phép thu thập dữ liệu phong phú hơn về các mục tiêu khí tượng, bao gồm cả hình dạng và kích thước của các hạt mưa.

- Khớp quay hai kênh: Được thiết kế để hỗ trợ quay theo phương vị, khớp quay hai kênh giúp cải thiện khả năng thu thập dữ liệu từ nhiều hướng khác nhau, tăng cường độ chính xác của thông tin khí tượng.

- Máy phát: Sử dụng đèn siêu cao tần Magnetron đồng trục và bộ điều chế thể rắn. Bộ điều chế tạo ra các xung âm điện áp cao đặt vào đèn magnetron, khi vượt điện áp ngưỡng dao động thì trong đèn sẽ xuất hiện dao động siêu cao tần, năng lượng siêu cao tần từ hốc cộng hưởng trong đèn sẽ được ghép phối hợp ra ống dẫn sóng để truyền ra anten cho phép radar phát sóng với hiệu suất cao.

- Máy thu bao gồm 3 phần nối tiếp nhau: phần máy thu analog (AR – Analog receiver), phần máy thu số (DR – digital receiver) và phần xử lý tín hiệu (SP – Signal). [8]

**Bảng 2.2: Tính năng kỹ thuật của đài radar**

<b>Tham số</b>	<b>Giá trị tham số</b>
<b>Anten</b>	
Kiểu	Mặt phản xạ paraboloid tròn xoay
Đường kính mặt phản xạ	2,4 m
Hệ số khuếch đại	>44,5 dB
Độ rộng búp sóng ở mức 0,5 công suất	1,05 độ
Tính phân cực	Phân cực ngang và phân cực đứng
<b>Điều kiện môi trường của radar METEOR 60DX</b>	
Giải nhiệt độ bên ngoài	-15° C ÷ +45° C
Độ ẩm	Tới 100%
Thời tiết	Sương mù, mưa, mưa đá, bão tố sấm sét
Lưu lượng mưa	Mưa liên tục tới 500mm/h
Khí quyển	Chịu được ăn mòn của không khí biển
Độ cao lắp đặt	Tới 3,5 km trên mực nước biển
<b>Hệ thống ra đa khí tượng METEOR 60DX</b>	
Tần số hoạt động	9,3 ÷ 9,5 GHz điều chỉnh được (Băng X)
Mode xung mặc định	Xung ngắn (SPM-short pulse mode)
Độ rộng xung	0,33 ÷ 2,5 $\mu$ s

Độ phân giải theo cự ly	60m
Tần số lặp của xung	250 ÷ 3000Hz (theo tùy chọn)
Công suất phát đỉnh	75kW
Cự ly hoạt động	100 km
Dải chuyển động góc nâng	-6° đến 182°
Lưu lượng mưa tối thiểu quan sát được, ứng với khi cự ly hoạt động điển hình và tốc độ anten quay cực đại	<0,02 mm/h

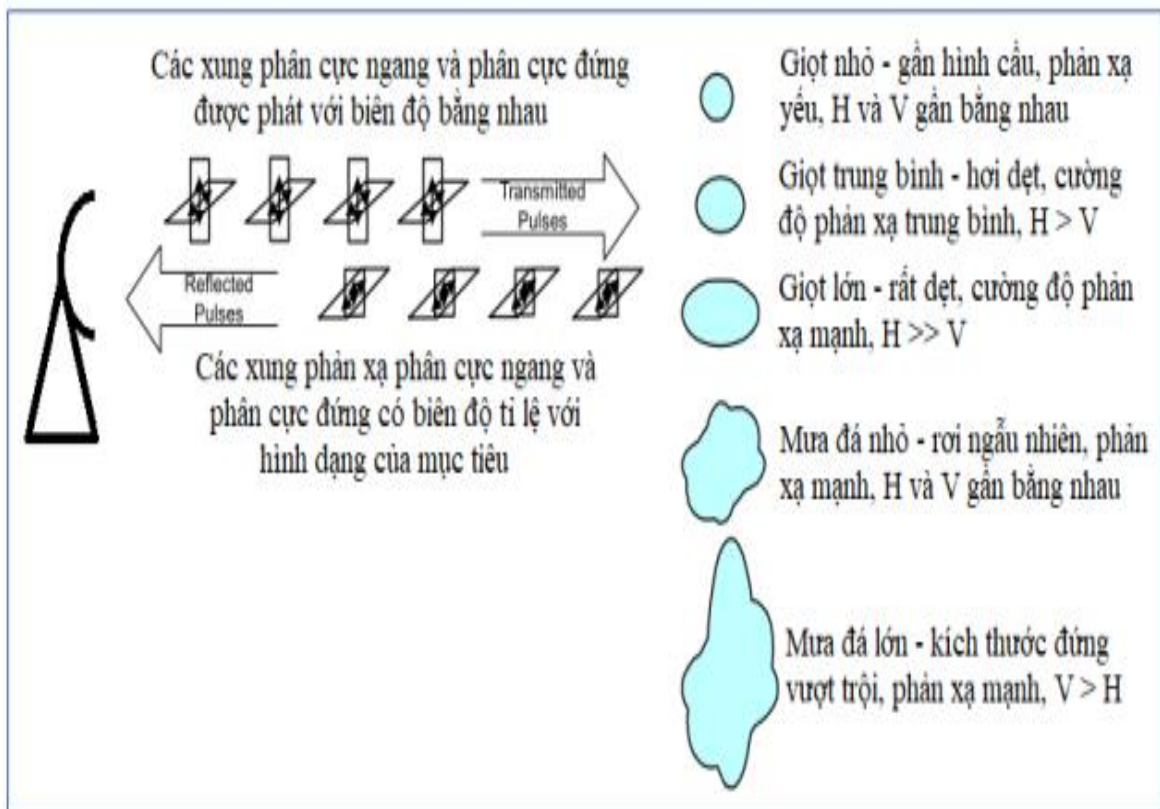
### ***2.1.2. Ưu điểm của radar hai phân cực***

Hệ thống radar thời tiết thông thường phát và thu tín hiệu phân cực ngang, có hiệu quả tốt trong việc thám sát trời mưa.

Radar thời tiết 2 phân cực phát và thu tín hiệu vi ba theo cả 2 phân cực. Các dữ liệu nhận được sẽ chứa đựng nhiều thông tin hơn về hình dạng và kiểu rơi của các loại vật thể khí tượng thủy văn khác nhau.

Sơ đồ chung nhất của radar 2 phân cực là phát và thu các sóng phân cực ngang và phân cực đứng, tương tự như dùng 2 chấn tử: một chấn tử nằm dọc theo phương ngang, một chấn tử nằm dọc theo phương thẳng đứng. So sánh cường độ tín hiệu và sai khác pha tín hiệu phản xạ từ vật thể khí tượng về 2 chấn tử vuông góc với nhau đó sẽ nhận được thông tin khí tượng thủy văn đặc trưng.

Nguyên lý cơ bản hoạt động của radar thời tiết 2 phân cực là các dữ liệu 2 phân cực thu được sẽ cho thông tin đầy đủ và chính xác hơn về hình dạng, dung lượng nước của các hạt mưa. Dựa vào hình dạng các hạt khí tượng cũng cho phép phân loại các trạng thái khí tượng. [2]



**Hình 2.2: Phản xạ 2 phân cực từ các hạt khí tượng**

Những ưu điểm của radar 2 phân cực là:

- Phân loại các vật thể khí tượng thủy văn (mưa đá, mưa, tuyết, v.v...)
- Đánh giá tốt hơn mật độ kích thước trung bình của hạt khí tượng
- Hiệu chỉnh hoàn thiện hệ số phản xạ đã có về suy giảm của mưa
- Ước lượng hoàn thiện lưu lượng mưa theo các phương pháp Z-R thông thường
- Lọc bỏ tốt hơn các sóng về không phải từ vật thể khí tượng ví dụ như nhiễu, các dị thường truyền sóng, v.v...

## **2.2. Phần mềm xử lý dữ liệu trong hệ thống Radar thời tiết METEOR 60DX.**

Bộ chương trình phần mềm đảm bảo giám sát và điều khiển các chế độ làm việc của đài radar, xử lý các kết quả quan trắc, truy xuất và hiển thị các dữ liệu thông tin khí tượng cho các thiết bị đầu cuối tại trạm radar thời tiết và cung cấp liên thông các dữ liệu trong mạng thông tin khí tượng.

Bộ chương trình phần mềm gồm hai phần mềm chính là Ravis và Rainbow.

### **2.2.1. Phần mềm Ravis**

Phần mềm Ravis là công cụ chính để bảo dưỡng và điều khiển radar. Người dùng có thể truy cập vào hệ thống radar từ máy tính bất kỳ trong mạng LAN hoặc qua kết nối mạng WAN (internet). Ravis là phần mềm được thiết kế riêng cho dòng sản phẩm METEOR Series của Selex ES-Gematronik.

Phần mềm có cấu trúc theo modul. Các đặc tính chương trình khác nhau được sử dụng để mô phỏng, điều khiển, ... có thể được khởi động riêng biệt như là các modul độc lập.

Có nhiều lựa chọn để mô phỏng dữ liệu radar: Dữ liệu có thể được hiển thị trong các cửa sổ PPI, Scope, B-Scope hoặc RHI. Người dùng có thể sử dụng các cửa sổ của phần mềm để bố trí và quản lý các thông tin thu thập được.

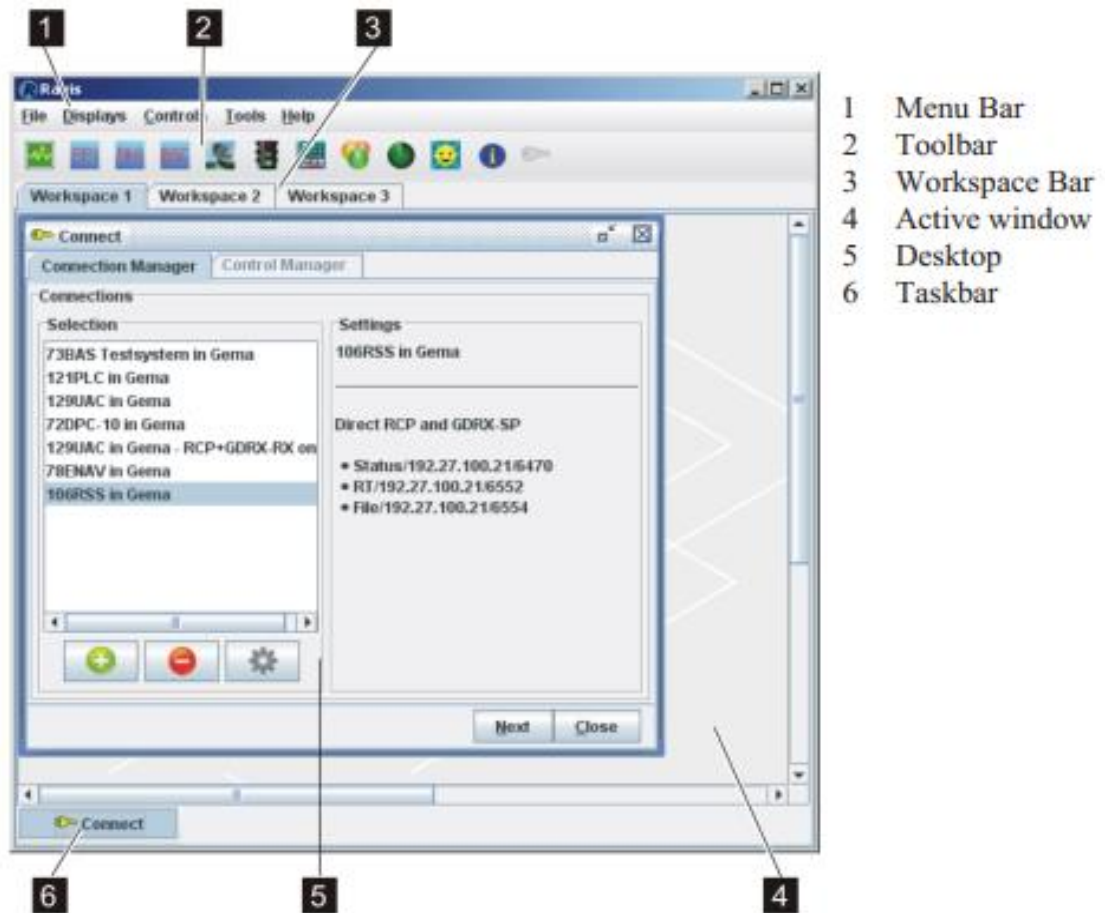
Máy tính chạy phần mềm Ravis kết nối với hệ thống radar thời tiết thông qua Radar Control Processor (RCP). Nếu cần kết nối đến mạng radar thời tiết, phải kết nối qua New Group Server (NGS)

Giao thức được sử dụng để giao tiếp giữa Ravis và RCP là giao thức TCP/IP. Giao tiếp này dựa trên ngôn ngữ điều khiển radar đặc biệt (Radar Control Language). Nhờ đó, Ravis có thể thông báo ngay lập tức về bất kỳ sự thay đổi nào của hệ thống radar nó đang giám sát và từ đó luôn hiển thị trạng thái hiện tại của hệ thống.



Đặc tính của phần mềm Ravis:

- Khả năng hiển thị thời gian thực cho tất cả chức năng điều khiển và giám sát radar.
- Hỗ trợ nhiều mức người dùng và có thể quản lý nhiều hệ thống radar.
- Truy cập thời gian thực vào dữ liệu thô.
- Hiển thị thời gian thực dữ liệu vào/ra từ bộ xử lý tín hiệu radar (I, Q, UZ, CZ, V, W, Spectrum, ZDR...) trong các cửa sổ PPI/RHI hoặc A-Scope/B-Scope.
- Điều khiển toàn quyền và chỉ báo trạng thái cho các thành phần bất kỳ của hệ thống radar.
- Hỗ trợ toàn quyền căn chỉnh và hiệu chỉnh hệ thống.
- Chức năng kiểm tra tự động (Build-In-Test).
- Có chế độ "passive mode" để hiển thị và theo dõi trực tiếp quá trình quét và chế độ "active mode" để toàn quyền điều khiển, hiệu chỉnh hệ thống.

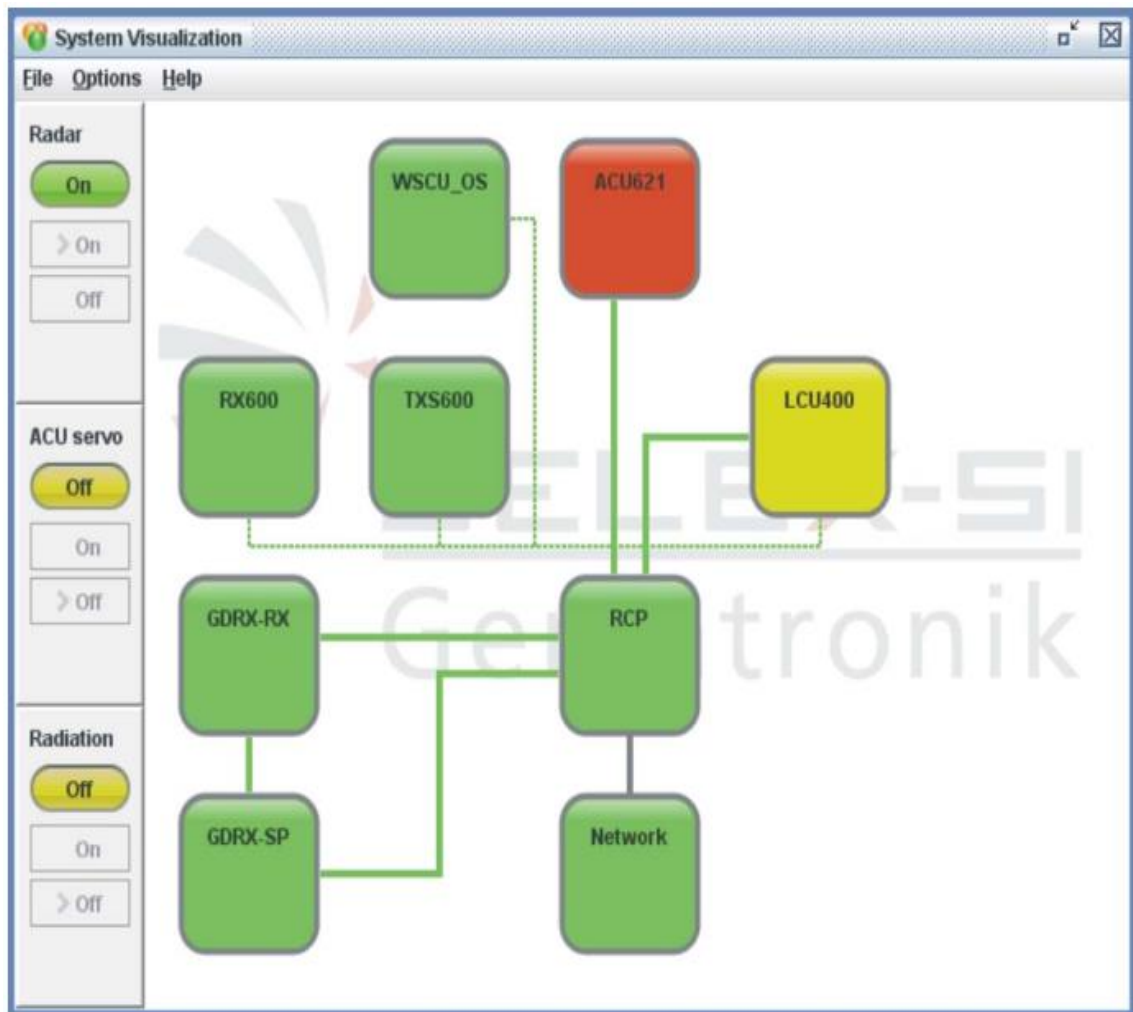


**Hình 2.3: Giao diện phần mềm Ravis**

Module Connect gồm có hai thành phần:

- Connection Manager cho phép tạo và quản lý cổng kết nối đến các hệ thống radar khác nhau nhằm từ một chỗ kết nối đến nhiều đài radar trong cùng mạng lưới.
- Control Manager có thể được sử dụng để truy cập thông tin có sẵn về hệ thống radar vừa kết nối. Người dùng cũng có thể sử dụng công cụ này để chủ động thực hiện điều khiển toàn bộ hệ thống radar

System Visualization mô phỏng trạng thái hiện tại của hệ thống và cung cấp các lựa chọn để điều khiển (bật/tắt) các thành phần của hệ thống radar. System Visualization còn thể hiện trạng thái các đường kết nối của các thành phần hệ thống:



Hình 2.4: System Visualiztion

### 2.2.2. Phần mềm Rainbow

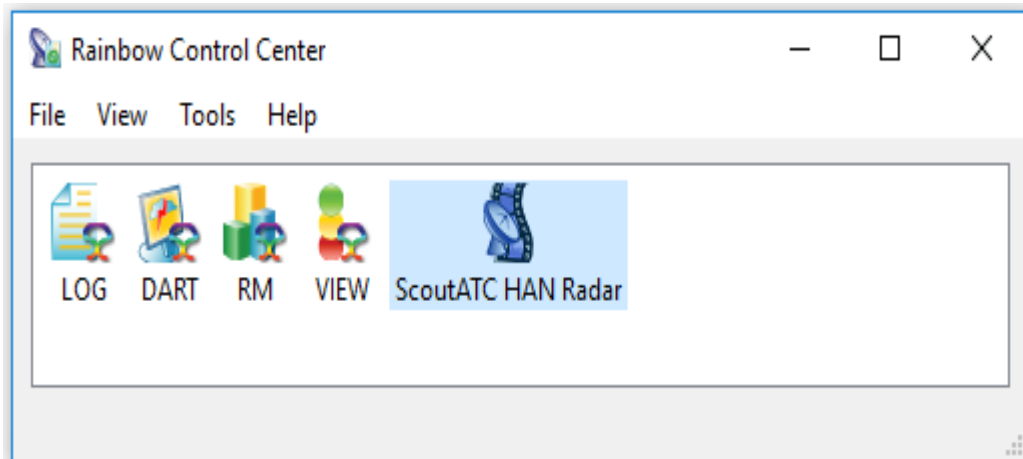
Bộ ứng dụng Rainbow là bộ phần mềm khí tượng linh hoạt để quản lý một hoặc nhiều radar thời tiết từ xa qua mạng, xử lý sản phẩm khí tượng, phân phối dữ liệu và hỗ trợ hiển thị dữ liệu qua web.

Bộ ứng dụng Rainbow có 05 chức năng chính:

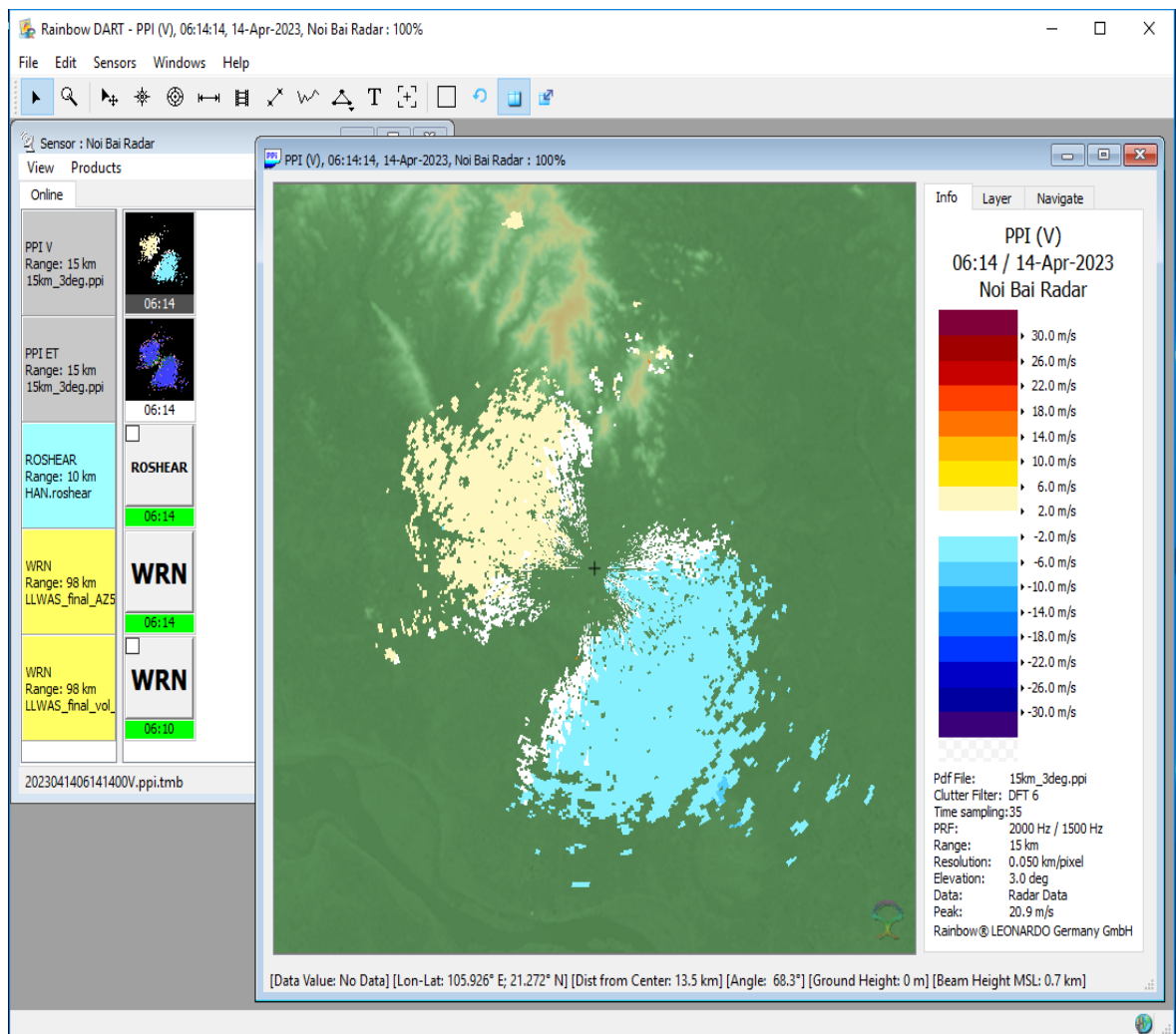
- Quản trị, giám sát radar.
- Xử lý dữ liệu khí tượng.
- Hiển thị và phân tích dữ liệu.
- Hỗ trợ phân phối và hiển thị dữ liệu qua web.

- Quản lý dữ liệu và giao diện đến các hệ thống khác.

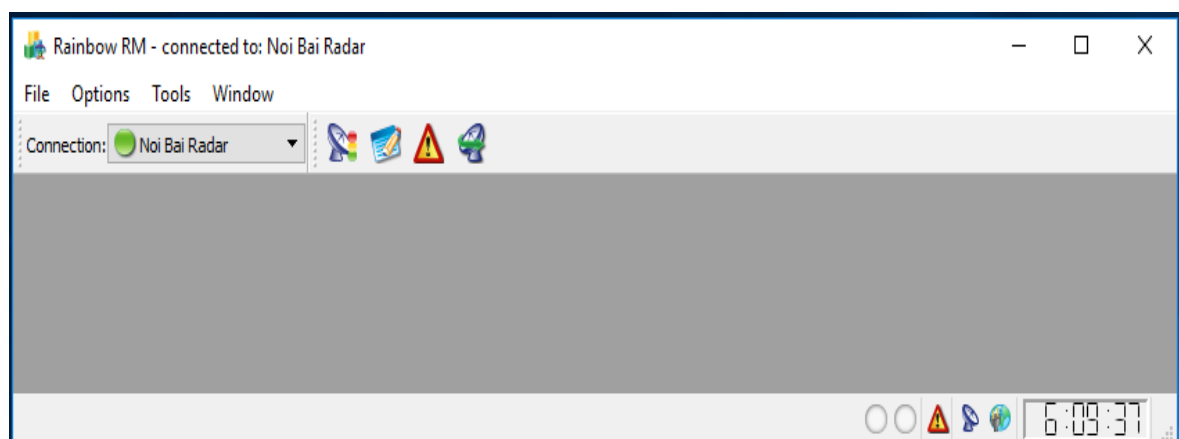
Bộ phần mềm Rainbow được cài đặt trên cả máy chủ và các máy trạm trong mạng. RCC là Rainbow Control Center, là ứng dụng khởi động chính của bộ phần mềm Rainbow. Tất cả các ứng dụng khác trong bộ phần mềm Rainbow đều được khởi động sử dụng RCC.



**Hình 2.5: Rainbow Control Center**

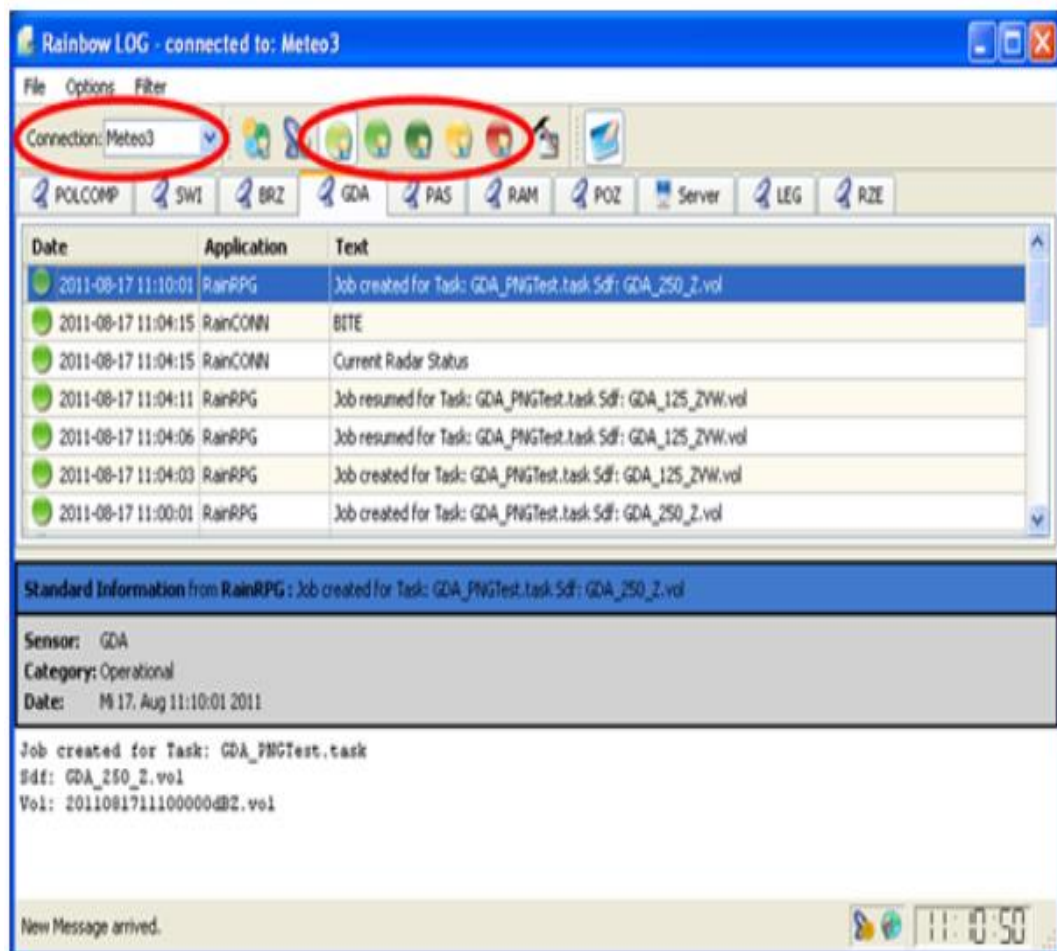


Hình 2.6: Rainbow DART



Hình 2.7: Rainbow RM

- RainbowLOG là phần mềm cho phép theo dõi các thông báo về trạng thái của đài radar được kết nối. Các thông báo được phân chia thành các loại: Thông báo, cảnh báo, lỗi.



**Hình 2.8: RainbowLOG**

## **2.3. Đặc điểm và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng dữ liệu khí tượng**

### **2.3.1. Đặc điểm của dữ liệu Radar thời tiết**

- Độ phân giải của Radar quyết định khả năng nhận biết và theo dõi các hiện tượng thời tiết nhỏ và di chuyển nhanh.

- Tần số và công suất phát Radar: các thông số này ảnh hưởng đến khả năng phát hiện và thu nhận tín hiệu từ các vật thể trong không gian như mưa, tuyết hoặc bão, ...

- Góc quét và phạm vi quét: Góc quét và phạm vi quét cung cấp thông tin về diện tích được quét và độ rộng của vùng phát hiện.

### **2.3.2. Yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng dữ liệu Radar**

- Nhiễu và nhiễu từ: nhiễu radar bao gồm nhiễu từ các nguồn như máy phát sóng VHF, và nhiễu từ sự phản xạ của tia radar từ các đối tượng không phải là hiện tượng thời tiết, cả hai đều có thể làm ảnh hưởng đến chất lượng dữ liệu.

- Hiệu chỉnh và bảo trì: Radar cần được hiệu chỉnh và bảo trì thường xuyên để đảm bảo rằng nó hoạt động chính xác và đưa ra dữ liệu chính xác.

- Việc lựa chọn vị trí quy hoạch trạm radar thời tiết có vai trò rất quan trọng để đạt được kết quả tối ưu đối với thông số kỹ thuật của radar sử dụng. Tầm phủ hoạt động của radar thời tiết không chỉ bị giới hạn bởi thông số kỹ thuật của thiết bị, mà còn phụ thuộc vào độ cong của trái đất, hiệu ứng khúc xạ của sóng điện từ trong môi trường khí quyển, và đặc biệt là sự che chắn tầm nhìn thẳng bởi các chướng ngại vật như đỉnh hình, các tòa nhà và cây cối. Việc giải thích chính xác về tác động của các hiện tượng này là điều cần thiết cho vị trí và hoạt động của radar thời tiết và cho việc làm sáng tỏ các dữ liệu và sản phẩm của radar.

## 2.4. Kết luận chương II

Chúng ta đã xem xét các khía cạnh chính của công nghệ radar thời tiết METEOR 60DX, bao gồm cấu trúc và các thành phần chính của hệ thống, cũng như phần mềm Ravis được sử dụng để xử lý và quản lý dữ liệu radar. Ngoài ra cung cấp phần mềm Rainbow nhằm khai thác hiệu quả dữ liệu radar thu thập được từ đó tạo ra sản phẩm phù hợp cho công tác khí tượng hàng không.

Công nghệ radar METEOR 60DX, với hệ thống phát và thu tín hiệu hai phân cực, khớp quay hai kênh, máy phát và thu tiên tiến, cung cấp một nền tảng mạnh mẽ để thu thập và phân tích dữ liệu khí tượng. Hệ số sai biệt phản xạ  $Z_{dr}$  và phần mềm Ravis tăng cường khả năng của radar trong việc cung cấp dữ liệu chính xác và chi tiết, từ đó hỗ trợ đắc lực trong việc quan sát và dự báo thời tiết.

Qua chương II cho ta biết về ưu điểm của Radar Meteor 60DX phù hợp với điều kiện khai thác sử dụng tại sân bay Nội Bài cũng như tại Việt Nam để từ đó đưa ra bước triển khai vào thực tế tại chương sau.



## **CHƯƠNG III – TRIỂN KHAI RADAR THỜI TIẾT METEOR 60DX CHO CUNG CẤP DỊCH VỤ KHÍ TƯỢNG HÀNG KHÔNG DÂN DỤNG TẠI SÂN BAY NỘI BÀI**

### **3.1. Các đặc điểm khi triển khai hệ thống**

#### **3.1.1. Khí hậu**

Sân bay Nội Bài là một sân bay trọng điểm của khu vực phía bắc đặc biệt là thủ đô Hà Nội có khí hậu nhiệt đới gió mùa, chia làm hai mùa rõ rệt: mùa hè ẩm và nóng, mùa đông khô và lạnh. Dưới đây là chi tiết về từng mùa:

- Mùa Hè (từ tháng 5 đến tháng 9): Mùa hè ở Hà Nội thường nóng và ẩm, với nhiệt độ trung bình từ 28°C đến 35°C. Thời gian này cũng chứng kiến lượng mưa lớn nhất trong năm, đặc biệt là do ảnh hưởng của các cơn bão.

- Mùa Đông (từ tháng 11 đến tháng 3): Mùa đông ở Hà Nội lạnh hơn nhiều so với các vùng khác ở Việt Nam, với nhiệt độ trung bình từ 10°C đến 20°C. Thời tiết thường khô và có sương mù, đôi khi nhiệt độ có thể giảm xuống dưới 10°C.

- Mùa Xuân (từ tháng 2 đến tháng 4) và Mùa Thu (từ tháng 10 đến cuối tháng 11): Cả hai mùa này đều có thời tiết ôn hòa, dễ chịu, với nhiệt độ trung bình là 20°C-25°C. Đây là thời gian lý tưởng để thăm quan và trải nghiệm Hà Nội.

Ngoài ra, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, mẫu thời tiết ở Hà Nội có thể thay đổi, với các hiện tượng thời tiết cực đoan xuất hiện nhiều hơn.

### 3.1.2. Vị trí lắp đặt

Vị trí lắp đặt: chọn vị trí nằm ở phía Bắc hai đường cất hạ cánh trong khu bay cảng hàng không quốc tế Nội Bài có những ưu điểm:

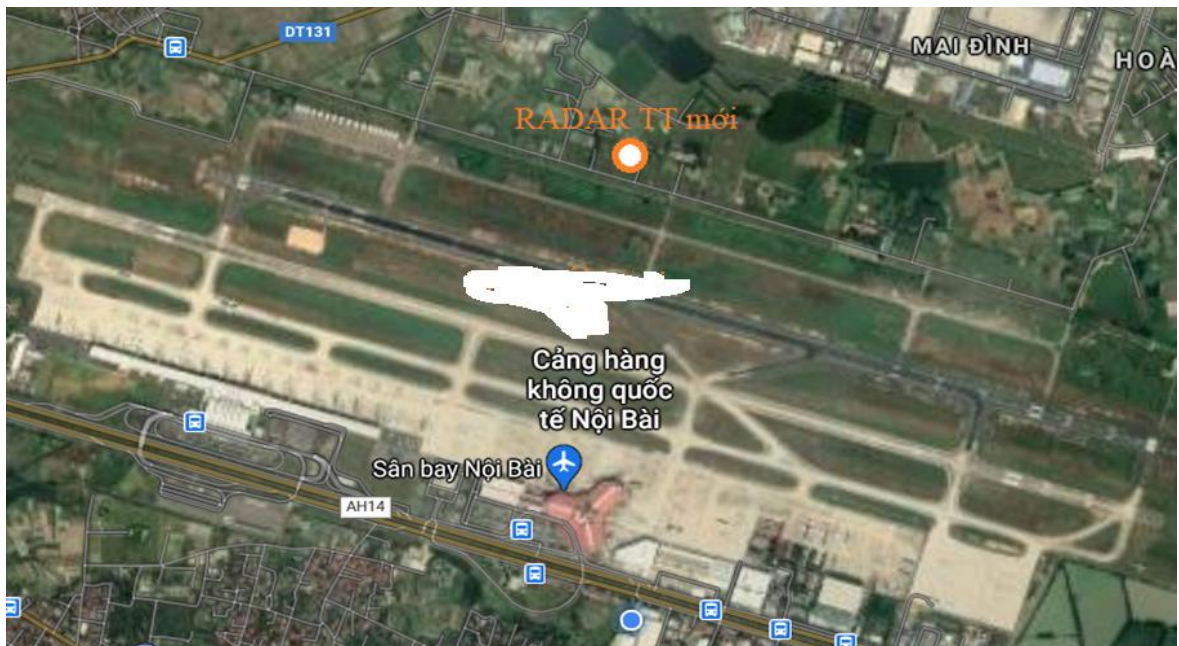
- Hoạt động của Radar thời tiết không bị ảnh hưởng bởi vật cản xung quanh, đảm bảo độ cao so với các công trình khác. Toàn bộ khu vực 02 đường CHC nằm ngoài vùng mù của Radar. Vị trí thích hợp cho quan trắc khí tượng.

- Đảm bảo cự ly an toàn yêu cầu đối với người lao động hoạt động tại các công trình xung quanh (như đài KSKL, nhà ga hành khách, nhà ga hàng hóa, ...) do phát xạ sóng điện từ trường.

- Tiết kiệm chi phí đầu tư đường giao thông, cấp điện, xây dựng cơ bản và thiết bị truyền dẫn tín hiệu.

- Thuận tiện công tác sửa chữa các sự cố liên quan đường truyền dẫn như thiết bị tại đài radar và an ninh.

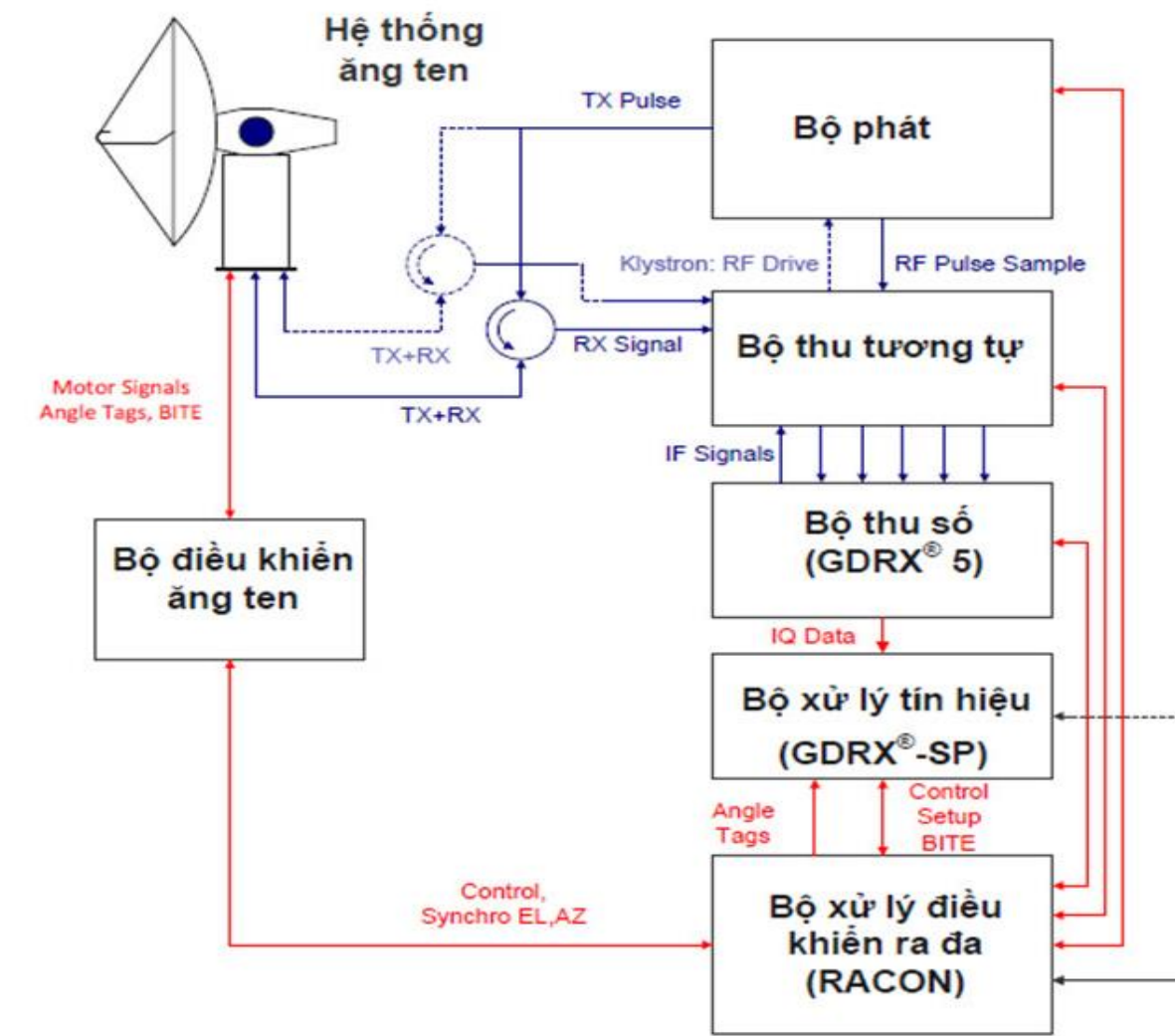
- Đảm bảo các yêu cầu về môi trường theo các quy định hiện hành của pháp luật.



Hình 3.1: Vị trí Radar thời tiết

### 3.2. Mô hình triển khai Radar thời tiết METEOR 60DX tại sân bay Nội Bài

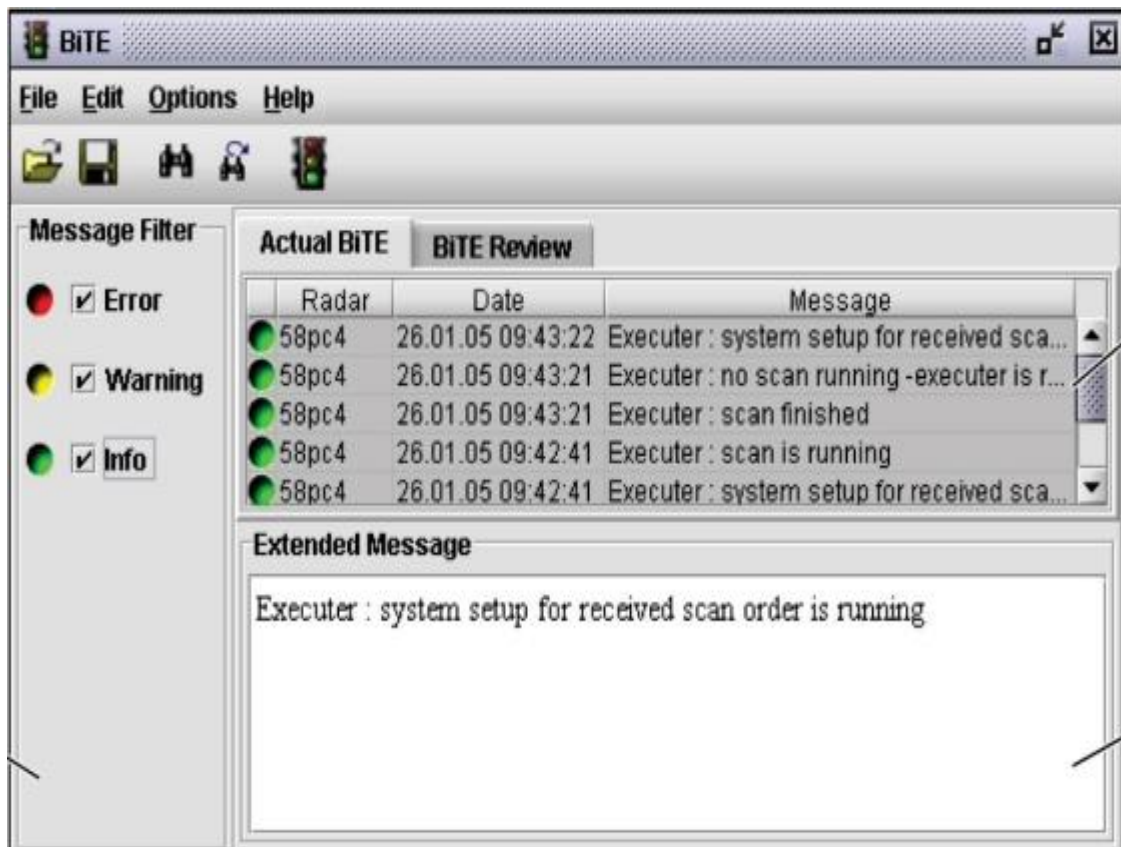
Triển khai lắp đặt thiết bị tại đài radar thời tiết bao gồm các thành phần: Hệ thống ăng ten, bộ điều khiển ăng ten, bộ phát, bộ thu tương tự, bộ thu số, bộ xử lý tín hiệu, bộ xử lý điều khiển radar.



Hình 3.2: sơ đồ khối radar thời tiết

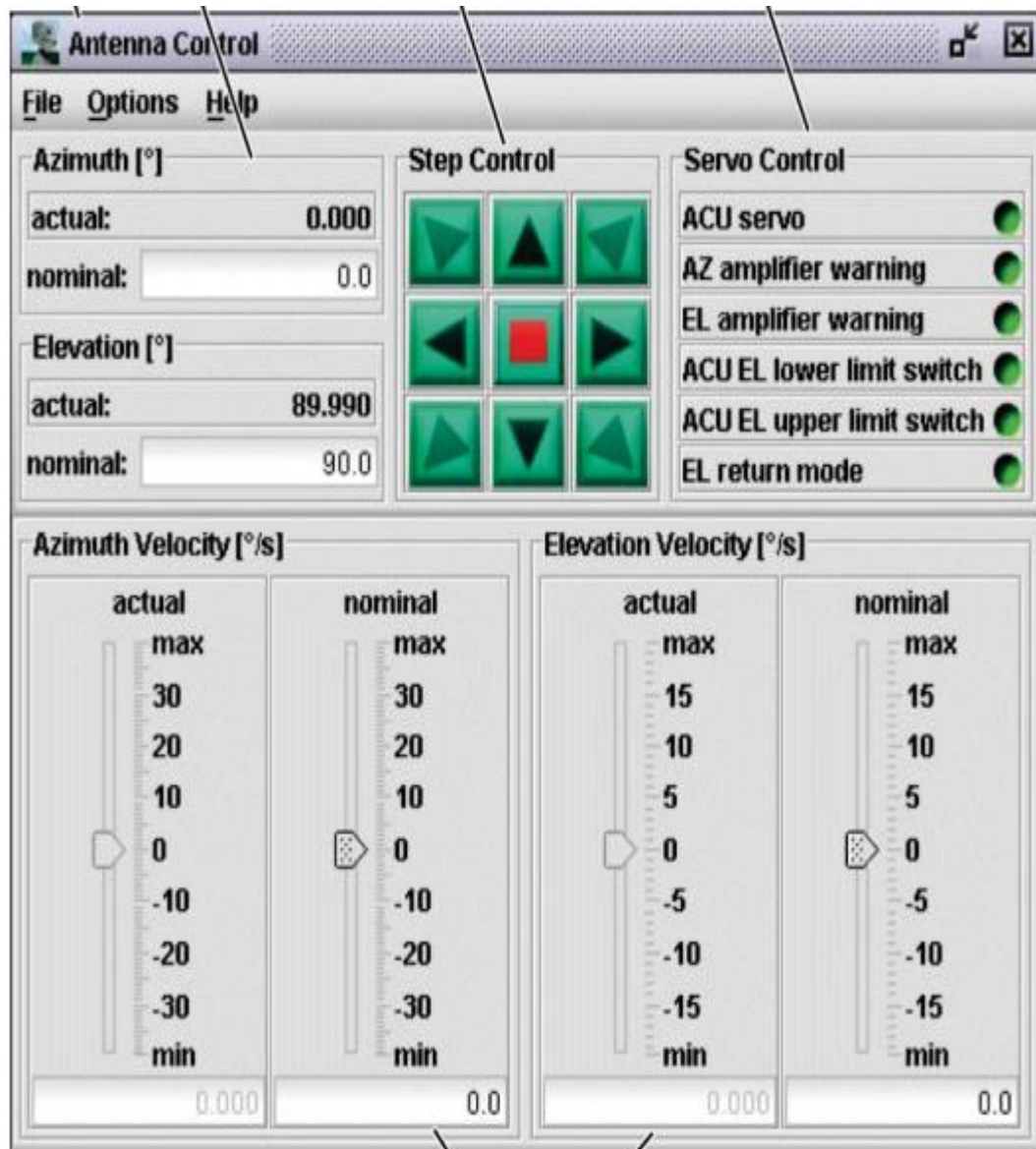
Triển khai thiết bị sử dụng phần mềm Ravis tại máy bảo dưỡng tại đài để giám sát hệ thống cũng như tinh chỉnh các tham số hoạt động của radar cho phù hợp với điều kiện khai thác cũng như theo nhu cầu sử dụng của nhân viên khí tượng thông qua một số chức năng:

- Build-in-Test Equipment (BiTE) cho biết các trạng thái xử lý của hệ thống radar trong các cửa sổ thông báo. Các biểu tượng màu được sử dụng để phân loại các thông báo. Mỗi thông báo bao gồm nguồn, dữ liệu và thời gian, cũng như thông tin tóm tắt liên quan. Mô tả chi tiết hơn của trạng thái xử lý cũng sẽ được hiển thị



**Hình 3.3: Build-in-Test Equipment**

- Antenna Control được sử dụng để điều khiển ăngten của radar. Có thể điều khiển góc phương vị và góc ngẩng bằng cách nhập các giá trị danh định và điều khiển ăngten sử dụng các phím mũi tên.



Hình 3.4: Antenna Control



- Scan Worksheet dùng để thiết lập radar bằng cách điều chỉnh các tham số quét được sử dụng để thu thập dữ liệu. Hệ thống sẽ kiểm tra các thông số nhập vào để đảm bảo độ tin cậy. Các loại dữ liệu được chia thành các mục Moment Data, IQ Data và TX Data.

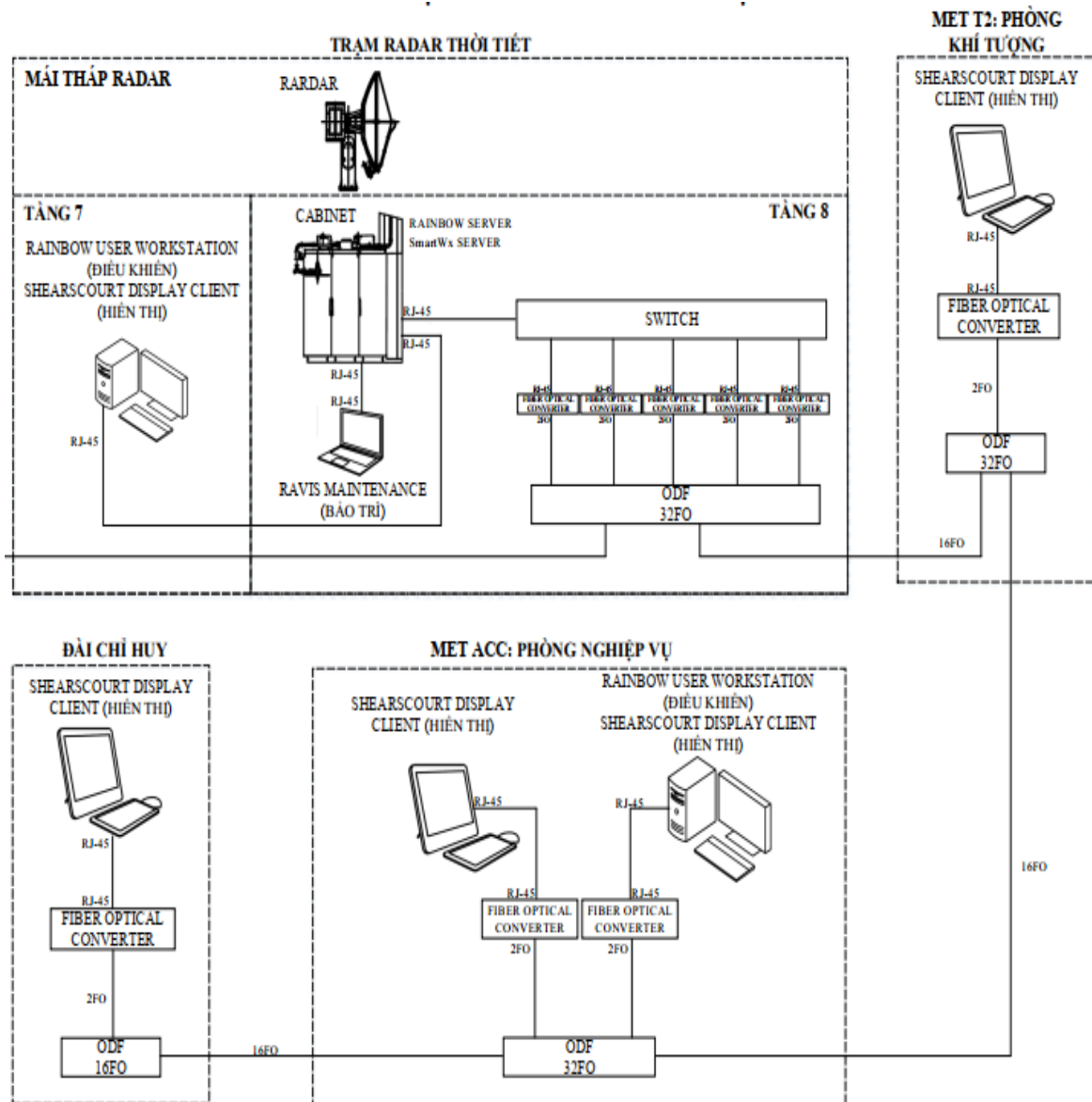
The screenshot displays the Scan-Worksheet application window with the following configuration sections:

- File Tools Help** (Menu bar)
- Start Scan** (Green play button) and **Show Scan Parameters** (Green icon with 'u')
- Polarization**: polarization: H (single pol) ▼
- Datatypes**:
  - moment data: ☒
  - IQ data: ☐
  - TX data: ☐
  - bypass mode: ☐
- Antenna**:
  - angle synchro.: azimuth ▼
  - angle synch. offset: 0.0 ▼
  - AZ scan step [°]: 1.0 ▼
  - EL scan step [°]: 0.7 ▼
  - line: 256 ▼
- Range**:
  - range correction: ☒
  - start [km]: 10 ▼
  - stop [km]: 100 ▼
  - step [km]: 0.100 ▼
  - average: 1 ▼
- Processing**:
  - domain: frequency ▼
  - Clutter Filter**:
    - type of clutter filter: clutter map ▼
    - map mode: apply ▼
    - broadening factor: 3
    - width: 3.92 m/s ▼
    - depth: 30dB ▼
    - DFT window: hamming ▼
  - Speckle Filter**:
    - filter type: spatial ▼
    - invalid neighbours: 3 ▼
    - valid neighbours: 6 ▼
  - Thresholds**:
    - LOG: 2.5
    - CCOR: 0.71
    - SOI1: -0.49
    - SOI2: 0.5
  - apply threshold-result to moment-calculation:
 

	UZ-LOG	CZ-LOG	SOI1	CCOR	SOI2
UZ	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CZ	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
V	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
W	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- Transmitter**:
  - TX-correction: both ▼
  - PRF: 1000.0
  - pulse width: PW0 ▼
  - stagger mode: standard ▼
  - stagger ratio: none ▼
  - dual PRF V unfolding corr.: Joe and May ▼
  - dual PRF Z corr. threshold: 2.5 dB ▼
  - Phase Coding**:
    - phase coding: ☒
    - pattern: random ▼
  - Trip Recovery**:
    - recovery mode: ☒
    - number of trips: 2 ▼
    - notch filter: 0.5
    - DFT window: hamming ▼
    - CCOR threshold: 30.
    - SNR threshold: 2.5
    - SOI threshold: 0.4
    - power ratio threshold: 2.5

Hình 3.5: Scan Worksheet

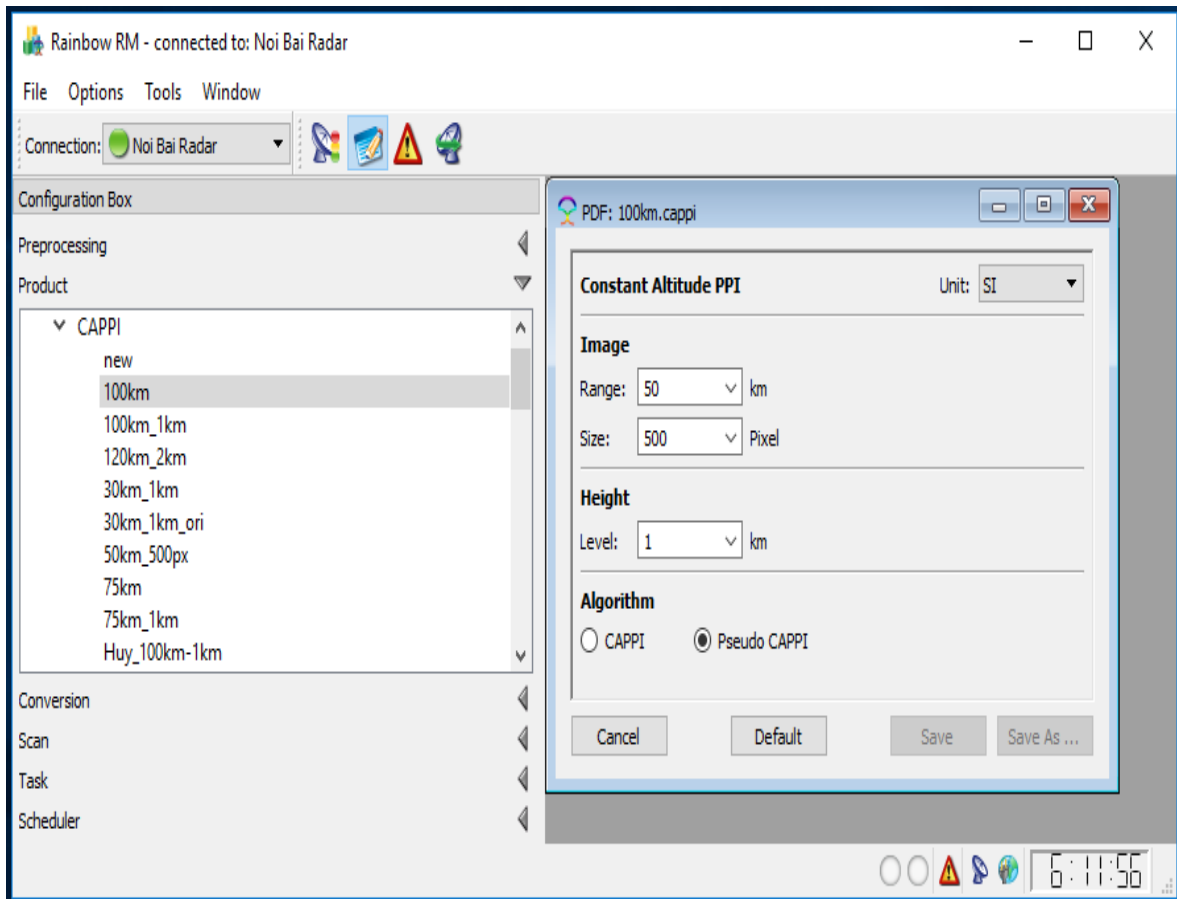
Xây dựng sơ đồ nguyên lý truyền dẫn hệ thống radar, thiết lập đường truyền quang và LAN từ đài radar thời tiết tới các máy tính trạm tại các vị trí: trung tâm khí tượng hàng không Nội Bài, trung tâm tiếp cận tại sân Nội Bài, phòng khí tượng cảng hàng không sân bay Nội Bài.



**Hình 3.6: Sơ đồ nguyên lý truyền dẫn hệ thống Radar thời tiết Nội Bài**

Thiết lập phần mềm Rainbow tại các máy trạm tại các vị trí:

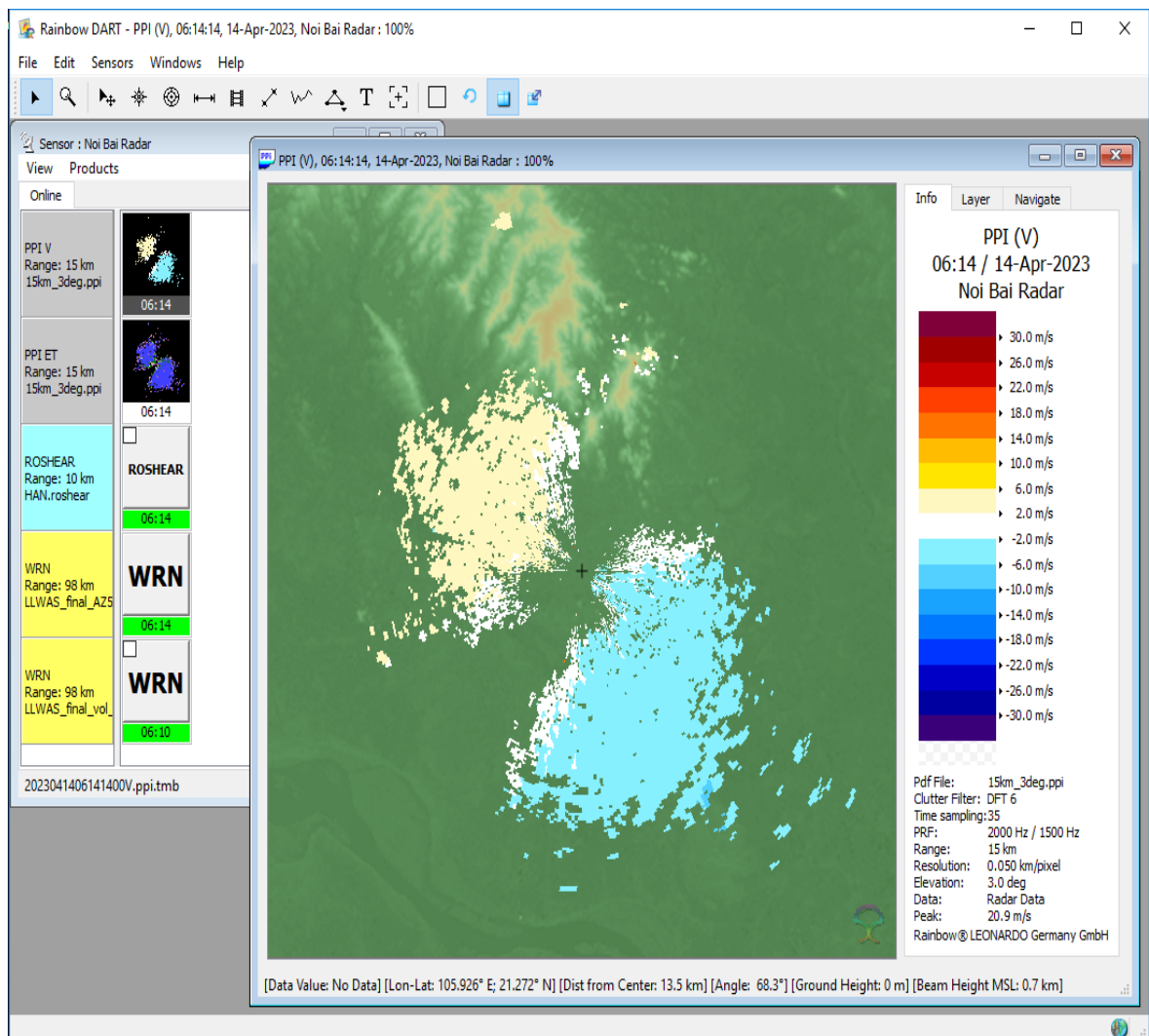
- Kết nối đến Radar qua Rainbow RM, tại Configuration Box, chọn Product để thiết lập các thông số cho sản phẩm ảnh radar thời tiết (như thông số khoảng cách quét, độ phân giải ảnh, độ cao quét, loại ảnh, ...).



**Hình 3.7: Rainbow RM**

- Hiển thị và phân tích dữ liệu sử dụng chức năng Rainbow DART để cung cấp giao diện đồ họa người dùng cho công việc hằng ngày bao gồm: hiển thị sản phẩm thu thập được, tạo ảnh, thu phóng ảnh, chọn màu sắc, ... Đồng thời cho phép chuyển đổi ảnh sang định dạng đồ họa, xử lý dữ liệu và lưu trữ sản phẩm thu được.



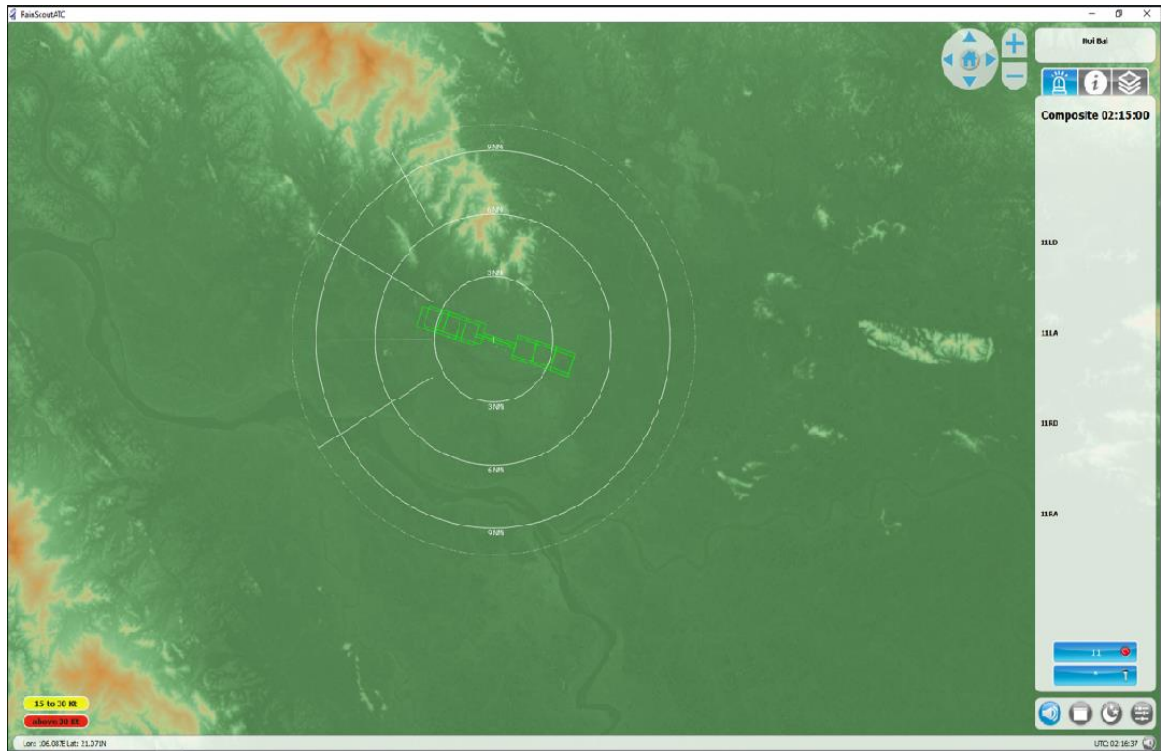


**Hình 3.8: Rainbow DART**

### 3.3. Đánh giá thực tế hệ thống sau khi triển khai

Sau khi triển khai hệ thống radar thời tiết METEOR 60DX tại sân bay Nội Bài, các bộ chương trình phần mềm quan trọng như Ravis và Rainbow đã được sử dụng để giám sát và điều khiển hiệu quả các chế độ làm việc của đài radar, xử lý và truy xuất kết quả quan trắc, cũng như hiển thị các dữ liệu thông tin khí tượng cho các thiết bị đầu cuối có độ chính xác và tốc độ phục vụ công tác điều hành hoạt động bay tại khu vực tiếp cận sân bay Nội Bài an toàn hiệu quả.

Màn hình hiển thị quan sát tại vị trí của kiểm soát viên không lưu và dự báo viên khí tượng giám sát hiện tượng thời tiết theo thời gian thực nhằm kịp thời phát hiện các hiện tượng thời tiết đột ngột cũng như dự báo được hướng di chuyển của các hiện tượng thời tiết nhằm đưa ra phương án kế hoạch bay phù hợp điều tiết hoạt động các chuyến bay đi và đến tại sân bay Nội Bài:



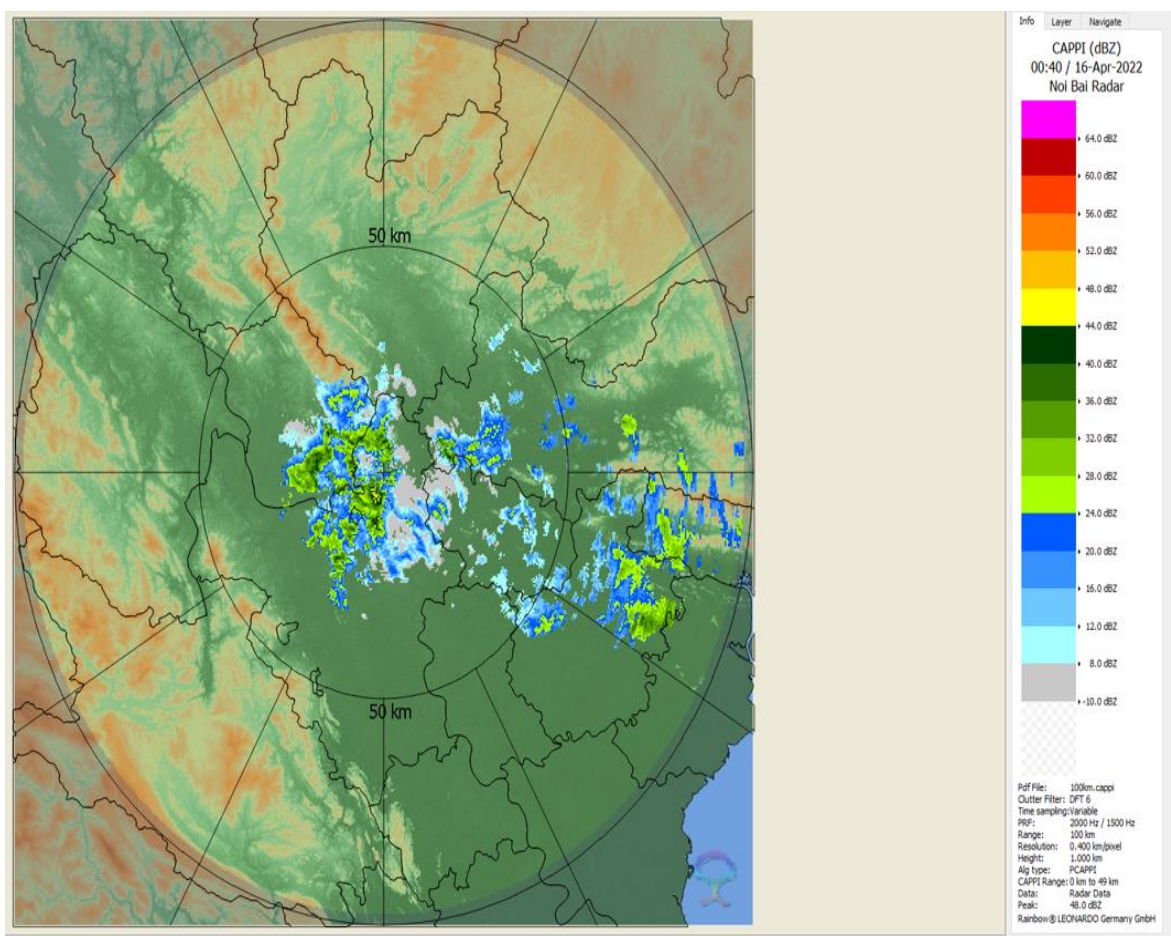
**Hình 3.9: ScoutATC**

Ngoài ra dựa trên dữ liệu thu thập được từ đài radar thời tiết, dự báo viên khí tượng thông qua phần mềm Ravis sẽ lựa chọn các chức năng từ đó tạo ra một số sản phẩm ảnh radar thời tiết phục vụ công tác theo dõi dự báo cũng như lưu trữ nhằm phân tích hiện tượng thời tiết.

Từ việc khai thác sử dụng đài radar thời tiết, chúng ta sẽ đặt thông số từ kiểu quét tầm quét độ cao quét để từ đó tạo ra một số sản phẩm ảnh radar thời tiết giúp cho việc phân tích đánh giá dự báo các hiện tượng thời tiết trong khu vực tiếp cận sân bay Nội Bài.

Một số sản phẩm:

- Ảnh CAPPI Là mặt cắt ngang được người sử dụng tính toán. Sản phẩm nhận được từ dữ liệu thô thông qua một phép nội suy. Dữ liệu từ các góc nâng và các hướng được sử dụng để ước tính lượng mưa, vận tốc hoặc chiều rộng phổ trên mặt cắt ngang. Ảnh CAPPI thể hiện đối tượng thời tiết ở độ cao không đổi trong lớp khí quyển. Tuy bị hạn chế về phạm vi quét, sản phẩm rất hữu ích khi loại bỏ được nhiễu bởi các vật thể tạp thu được ở khoảng cách gần.

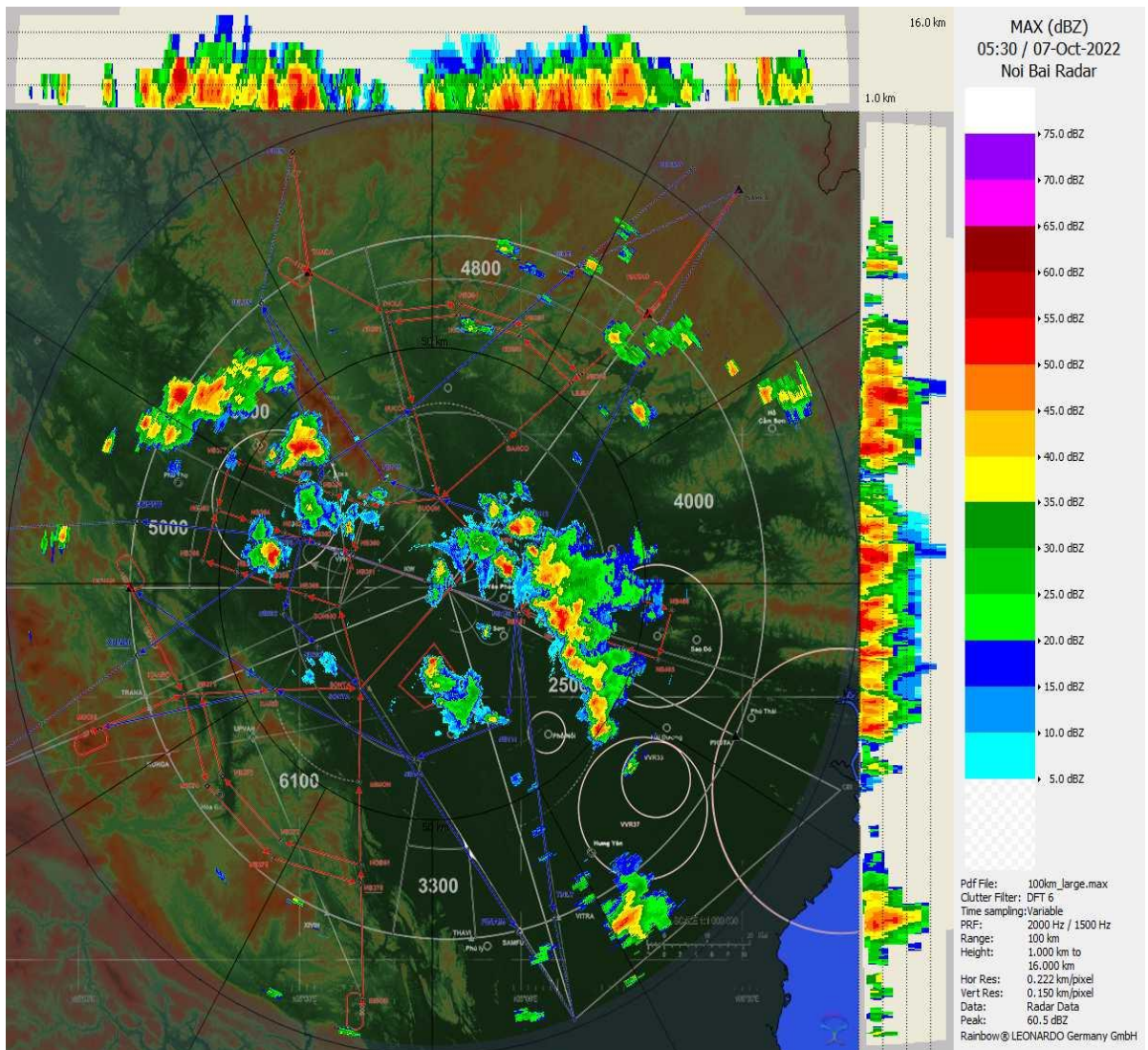


**Hình 3.10: Ảnh CAPPI**

- Ảnh MAX thực hiện quét khối theo hệ tọa độ cực, sau đó chuyển sang hệ tọa độ Đề-Các, tạo ra hình dung ba chiều về tình trạng thời tiết gồm 3 thành phần : thành phần thứ nhất thể hiện giá trị đo được lớn nhất đối với từng cột dọc theo hướng Z nhìn từ phía trên của khối theo hệ tọa độ Đề-Các; thành phần thứ hai ghép

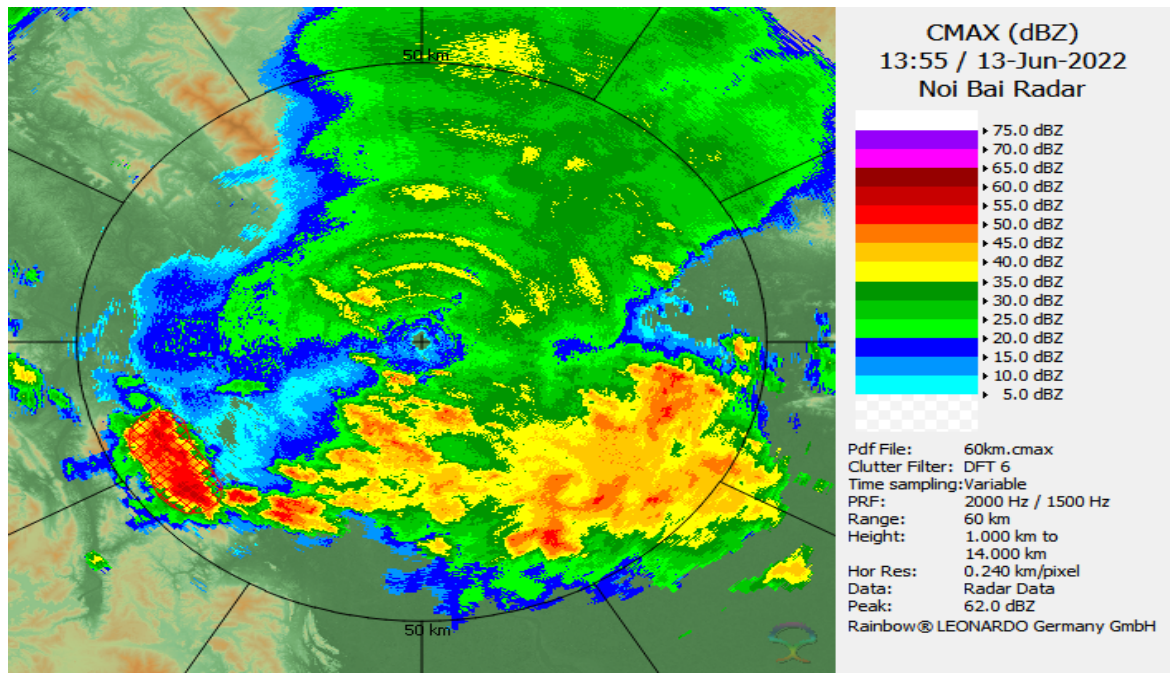


vào phía trên thành phần thứ nhất, thể hiện giá trị đo được lớn nhất đối với dòng ngang nhìn từ bắc về nam; thành phần thứ ba ghép vào phía bên phải thành phần thứ nhất, thể hiện giá trị đo được lớn nhất đối với dòng ngang nhìn từ đông sang tây.

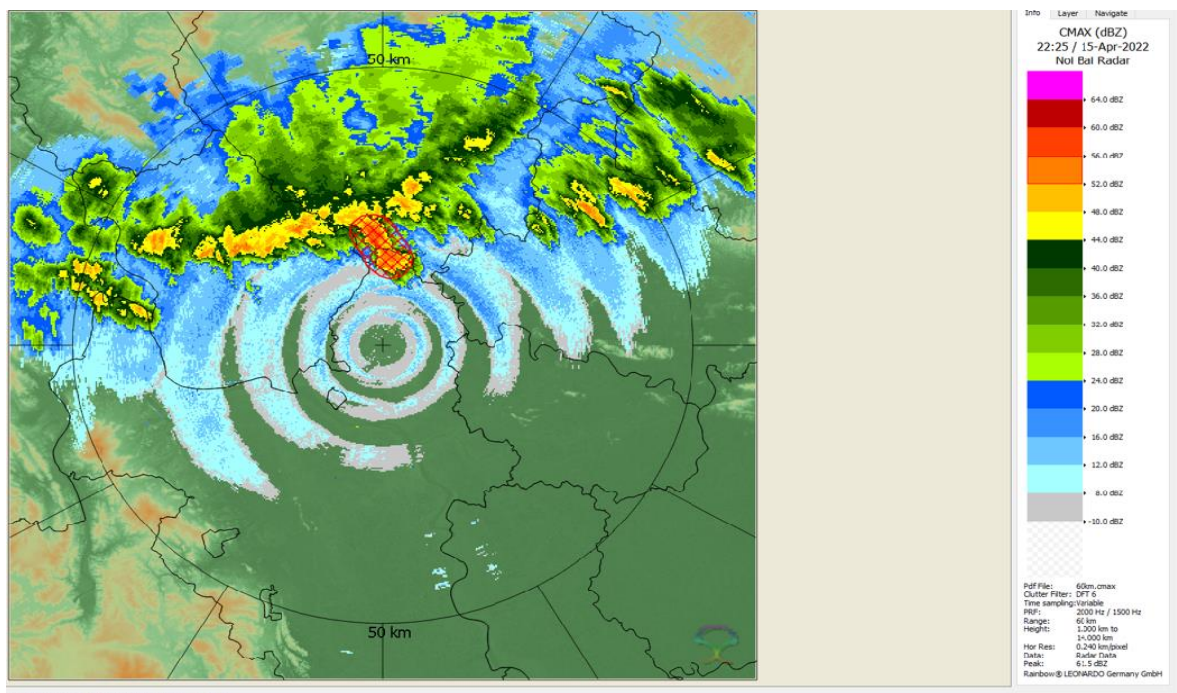


**Hình 3.11: Ảnh Max**

- Ảnh CMAX tương tự ảnh MAX nhưng không có ảnh thành phần ở trên và bên phải. Ảnh CMAX được dùng để giám sát vùng mưa đối lưu để nhận biết mây dông nguy hiểm hay mới hình thành, mây dông có cường độ phản hồi vô tuyến cao, hẹp và được hiển thị thành những vùng có phản hồi vô tuyến mưa đối lưu mạnh trên một tầng dày.



**Hình 3.12: Ảnh CMAX**



**Hình 3.13: Ảnh CMAX**

Dữ liệu về hiện tượng thời tiết trong bán kính 100km từ đài radar thời tiết theo thời gian thật được cập nhật liên tục giúp cho kiểm soát viên không lưu có thể nhận biết phát hiện các hiện tượng thời tiết xấu nhanh chóng từ đó lên phương án điều hành các chuyến bay đến và đi sân bay Nội Bài được hiệu quả giảm thiểu thời gian bay chờ tăng cường năng lực khai thác của sân bay và mục tiêu cao nhất là sự an toàn cho các chuyến bay.

Ngoài ra dựa vào những dữ liệu thu được của Radar thời tiết METEOR 60DX tạo ra nhiều loại sản phẩm ảnh radar thời tiết phục vụ việc lưu trữ phân tích hiện tượng thời tiết theo thời gian trong ngày theo thời điểm trong năm từ đó phục vụ cho bài toán thống kê các thời điểm xảy ra thời tiết xấu hỗ trợ cho các hãng bay lên lịch bay phù hợp hạn chế việc bị ảnh hưởng bởi thời tiết không tốt.

### **3.4. Kết luận chương III**

Sau quá trình triển khai và đánh giá, tôi đã rút ra những kết luận quan trọng sau đây về việc triển khai radar thời tiết Meteor 60DX tại sân bay Nội Bài:

Vị trí lắp đặt phù hợp để đạt được tối ưu các tính năng, hiệu quả thiết bị Radar thời tiết được thiết lập.

Mô hình triển khai hợp lý: Mô hình triển khai radar thời tiết Meteor 60DX tại sân bay Nội Bài đã được thiết kế sao cho phản ánh được yêu cầu và điều kiện cụ thể của sân bay. Điều này giúp tối ưu hóa việc thu thập và xử lý dữ liệu thời tiết, từ đó cung cấp thông tin chính xác và kịp thời cho dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng.

Đánh giá thực tế: Hệ thống đã được đánh giá trong điều kiện thực tế sau khi triển khai. Kết quả cho thấy hệ thống đáp ứng được yêu cầu và mang lại lợi ích trong việc cung cấp dịch vụ khí tượng hàng không dân dụng tại sân bay Nội Bài. Đóng góp cho sự phát triển của ngành hàng không: Việc triển khai radar thời tiết Meteor 60DX không chỉ cung cấp dịch vụ an toàn hàng không mà còn góp phần vào sự phát triển và nâng cao chất lượng sản phẩm khí tượng phục vụ ngành hàng không dân dụng tại sân bay Nội Bài. Việc triển khai radar thời tiết Meteor 60DX tại sân bay Nội Bài đã mang lại những kết quả tích cực và đáng giá, góp phần vào việc cung cấp dịch vụ an toàn và chất lượng cho ngành hàng không dân dụng tại Việt Nam.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nội dung Đề án đã nghiên cứu những vấn đề cơ bản trong hệ thống Radar thời tiết METEOR 60DX. Tiến hành triển khai hệ thống radar thời tiết vào thực tế đưa ra đánh giá.

Kết quả dự kiến sẽ là toàn bộ khu vực tiếp cận tại sân bay Nội Bài sẽ được giám sát và cung cấp số liệu dữ liệu thời tiết tức thời cho kiểm soát viên không lưu và các đơn vị liên quan góp phần đảm bảo công tác điều hành bay an toàn, điều hòa, hiệu quả.

Hướng phát triển của đề án: tiếp theo phương án cải tiến lắp các trạm radar thời tiết tại sân bay trong nước tạo thành một mạng lưới radar thời tiết của ngành hàng không. Mạng lưới hệ thống radar thời tiết có thể kết hợp với nhau tạo nên sự thống nhất chung trong công tác giám sát thời tiết cũng như cung cấp dịch vụ khí tượng sát hàng không dân dụng trên toàn khu vực.

Do một vài nguyên nhân khách quan và chủ quan, đề án còn để lại nhiều thiếu sót và mức độ chuyên sâu còn hạn chế. Tôi rất mong nhận được những ý kiến quý báu của quý thầy cô cùng các bạn.



## **DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Cục Hàng Không, “TIÊU CHUẨN VỀ KHÍ TƯỢNG HÀNG KHÔNG”, TCCS 25:2019/CHK, 2019.
- [2]. Dusan S. Zrnica and Alexander V. Ryzhkov, “Polarimetry for Weather Surveillance Radars”, Bulletin of the American Meteorological Society Vol.80, No. 3, March 1999.
- [3]. Enterprise Electronics Corporation Technical Description, “DWSR-3501C SDP Dual Polarization Radar System”, 2011.
- [4]. ICAO, “MANUAL OF AERONAUTICAL METEOROLOGICAL PRACTICE (DOC 8896)”, 2021.
- [5]. Mario Montopoli and Frank S. Marzano, “Meteorological Radar Systems”, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [6]. OFFICE OF THE FEDERAL COORDINATOR FOR METEOROLOGICAL SERVICES AND SUPPORTING RESEARCH, “DOPPLER RADAR theory and meteorology”, FCM-H11B, 2005.
- [7]. RICHARD J. DOVIAK, “Doppler Weather Radar”, PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 67, NO. 11, NOV. 1979.
- [8]. Selex ES GmbH – Germany, “Training Material METEOR 60DX”, 2018.
- [9]. WMO, “Lectures on RADAR BASICS”, Brasilia, Nov 2003.
- [10]. WMO/IMO, “Training Material on Weather Radar Systems”, Report No.88, WMO/TD- No.1308, 2006.
- [11]. Website <http://vatm.vn>.