



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάλυση των προδιαγραφών συμβατότητας  
μεταξύ ραδιοφωνίας FM και ραδιοβοηθημάτων:  
Μελέτη περίπτωσης**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΠΟΥΚΑΣ Η. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επιβλέπων : Καψάλης Χρήστος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

**Ανάλυση των προδιαγραφών συμβατότητας μεταξύ  
ραδιοφωνίας FM και ραδιοβοηθημάτων:  
Μελέτη περίπτωσης  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΜΠΟΥΚΑΣ Η. ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Επιβλέπων: Καψάλης Χρήστος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 12<sup>η</sup> Σεπτεμβρίου 2023.

.....  
Χ. Καψάλης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γ. Φικιώρης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Κωπτής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023

.....

Μπούκας Η. Βασίλειος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Μπούκας Η. Βασίλειος, 2023  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της συμβατότητας μεταξύ ραδιοφωνίας FM και αεροβοηθημάτων. Τα αεροβοηθήματα τα οποία εξετάζονται είναι το Instrument Landing System (ILS), το VHF Omnidirectional Range (VOR) και το VHF Communication (COM). Γίνεται μελέτη των συστάσεων της ITU δίνοντας έμφαση στην ITU-R SM.1009-1 με αντικείμενο τη συμβατότητα μεταξύ των υπηρεσιών ραδιοφωνικής εκπομπής στη ζώνη 87,5-108MHz και των αεροναυτικών υπηρεσιών της γειτνιάζουσας ζώνης 108-137 MHz. Στη σύσταση αυτή αναπτύσσεται η μεθοδολογία General Assessment Method για τη μέτρηση των παρεμβολών και της συμβατότητας των υπηρεσιών αυτών. Στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται συνοπτική παρουσίαση της εκχώρησης και διαχείρισης των ζωνών συχνοτήτων, στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η ραδιοφωνία FM, στο τρίτο τα αεροβοηθήματα και στο τέταρτο συνοπτικά ορισμένα κριτήρια αξιολόγησης συμβατότητας της ITU-R SM.1009-1. Στο πέμπτο γίνεται αναφορά στους τύπους παρεμβολών κατά τη σύσταση ITU-R SM.1009-1 και παρουσιάζονται κριτήρια αξιολόγησης κατά ICAO. Εν συνεχεία στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται εν συντομία η μέθοδος GAM και στο έβδομο το λογισμικό της ATDI ICS Telecom καθώς και μελέτη περίπτωσης με τη χρήση του λογισμικού αυτού για την περιοχή της Μακεδονίας. Στο όγδοο κεφάλαιο δίδονται τα συμπεράσματα και τέλος στο ένατο παρουσιάζεται ή βιβλιογραφία.

## Λέξεις Κλειδιά

ILS, ILS Localizer, glide slope, VOR, CVOR, DVOR, COM, FM, ITU, ICS Telecom, GAM, αεροναυτιλία, παρεμβολή, ραδιοβοηθήματα, συμβατότητα, συστάσεις ITU, φάσμα ραδιοσυχνοτήτων

## **ABSTRACT**

The aim of this thesis is to study the compatibility between FM radio broadcasting and aeronautical services. The examined aeronautical aids include the Instrument Landing System (ILS), VHF Omnidirectional Range (VOR), and VHF Communications (COM). The study focuses on ITU recommendations, particularly ITU-R SM.1009-1, concerning the compatibility between radio broadcasting services in the frequency band 87.5-108 MHz and aeronautical services in the neighboring band 108-137 MHz. ITU-R SM.1009-1 presents the General Assessment Methodology for measuring interference and compatibility between these services. The first chapter provides a brief overview of frequency band allocation and management. The second chapter introduces FM radio broadcasting, the third chapter discusses aeronautical aids, and the fourth chapter summarizes certain compatibility evaluation criteria from ITU-R SM.1009-1. The fifth chapter addresses interference types according to the ITU-R SM.1009-1 recommendation and presents compatibility evaluation criteria according to ICAO. In the sixth chapter, the General Assessment Method (GAM) is presented briefly, and in the seventh chapter, the ATDI ICS Telecom software is introduced, along with a case study using the software for the Macedonia region. The eighth chapter presents the conclusions, and finally, the ninth chapter includes the bibliography.

## **Key Words**

ILS, ILS Localizer, glide slope, VOR, CVOR, DVOR, COM, FM, ITU, ICS Telecom, GAM, aviation, interference, air navigation aids, ITU recommendations, radio frequency spectrum

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον καθηγητή κ. Χρήστο Καψάλη όχι μόνο διότι μου εμπιστεύτηκε την ακόλουθη διπλωματική εργασία αλλά και για την συνεισφορά του στις γνώσεις μου κατά την διάρκεια των ετών φοίτησής μου στο Τμήμα ΗΜΜΥ του ΕΜΠ.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τη σύζυγό μου και τα παιδιά μου για την αμέριστη συμπαράσταση και ηθική ενίσχυση τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου. Ήταν και θα παραμένει ανεκτίμητη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα κ. Αναστάσιο Γιαννόπουλο για την καθοδήγηση, την ενθάρρυνση και την πολύτιμη βοήθειά του που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

# Περιεχόμενα

## Πίνακας περιεχομένων

Περιεχόμενα .....	8
Λίστα Σχημάτων.....	10
Λίστα Πινάκων .....	11
Συντομογραφίες.....	12
Εισαγωγή.....	14
1. Εκχώρηση ζωνών και διαχείριση συχνοτήτων .....	15
1.1 Διαχείριση συχνοτήτων σε Διεθνές Επίπεδο.....	15
1.1.1 ITU.....	15
1.1.2 CEPT .....	16
1.2 Διαχείριση συχνοτήτων σε Εθνικό Επίπεδο.....	17
1.2.1 Ε.Ε.Τ.Τ.....	18
1.2.2 Εθνικός Κανονισμός Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων .....	18
2 FM ραδιοφωνία.....	20
2.1 Εισαγωγή.....	20
2.2 Διαμόρφωση γωνίας .....	22
2.3 Ένταση πεδίου.....	23
2.3.1 Καθορισμός παρεμβολής (σταθερή ή τροποσφαιρική) .....	24
2.3.2 Καμπύλες λόγου προστασίας .....	25
2.4 Ισχύς πεδίου ελευθέρου χώρου .....	28
2.5 Ισχύς στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη .....	29
3. Αεροναυτικά βοηθήματα πλοήγησης .....	31
3.1 ILS.....	32
3.1.1 Εισαγωγή.....	32
3.1.2 Κατηγορίες ILS αναλόγως αξιοπιστίας του συστήματος .....	33
3.1.3 Βασικές αρχές.....	33
3.1.4 ILS Localizer .....	34
3.1.5 Glide slope.....	36
3.1.6 Marker beacons.....	38
3.2 VOR .....	39
3.2.1 Εισαγωγή.....	39



3.2.2 Βασικοί ορισμοί.....	40
3.2.3 Βασικές αρχές.....	43
3.2.4 Χρήσεις VOR.....	45
3.2.5 Αρχή λειτουργίας.....	45
3.2.6 Τύποι VOR .....	46
3.2.7 Εμβέλεια VOR.....	49
3.3 VHF Communications (COM).....	50
4 Κριτήρια αξιολόγησης συμβατότητας.....	51
4.1 ILS Localizer .....	51
4.2 VOR .....	51
4.3 COM .....	51
5 Τύποι παρεμβολών κατά ITU-R SM.1009-1 .....	53
5.1 Εισαγωγή.....	53
5.2 Τύποι μηχανισμών παρεμβολής.....	53
5.2.1 ILS και VOR .....	53
5.2.2 COM .....	57
6 Μέθοδος GAM βάση της σύστασης ITU-R SM.1009-1 .....	58
6.1 Αξιολόγηση της λειτουργίας του ILS Localizer με GAM .....	59
6.2 Αξιολόγηση της λειτουργίας του VOR με GAM .....	60
7 Προσομοίωση.....	63
7.1 Λογισμικό ICS Telecom .....	63
7.1.1 Δυνατότητες του ICS Telecom.....	64
7.1.2 Αρχεία εισαγωγής χαρτογραφικών δεδομένων .....	66
7.1.3 Περιβάλλον λογισμικού.....	67
7.2 Μελέτη Περίπτωσης.....	74
7.2.1 Χρήση ICS για μελέτη συμβατότητας μεταξύ ραδιοφωνίας FM και αεροβοηθημάτων στη Μακεδονία .....	74
7.2.2 Τρόποι εξάλειψης των παρεμβολών .....	77
8 Συμπεράσματα .....	80
9 Βιβλιογραφία .....	81

## Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 1.1:	Η CEPT και οι τρεις επιτροπές αυτής.	17
Σχήμα 2.1:	Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας $\pm 75$ kHz για μονοφωνική υπηρεσία.	25
Σχήμα 2.2:	Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας $\pm 50$ kHz για μονοφωνική υπηρεσία.	27
Σχήμα 2.3:	Παράδειγμα ισχύος στην είσοδο αεροναυτικού δέκτη.	30
Σχήμα 3.1:	Τοποθέτηση αεροναυτικών βοηθημάτων σε αεροσκάφη γενικής χρήσεως.	31
Σχήμα 3.2:	Τα ILS, VOR και COM στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων.	32
Σχήμα 3.3:	Χωροθέτηση συστήματος ILS.	34
Σχήμα 3.4:	Τυπικός σχεδιασμός DOC μπροστινής πορείας του ILS Localizer.	35
Σχήμα 3.5:	Προσέγγιση με τη βοήθεια του ILS Localizer.	36
Σχήμα 3.6:	Λοβοί ακτινοβολίας Glide slope.	37
Σχήμα 3.7:	Marker Beacons.	39
Σχήμα 3.8:	Απεικόνιση των όρων Relative Bearing, Bearing και Heading.	41
Σχήμα 3.9:	Απόκλιση από και προς το σταθμό.	42
Σχήμα 3.10:	Μαγνητική και πραγματική απόκλιση.	42
Σχήμα 3.11:	Κατεύθυνση από και προς το σταθμό.	43
Σχήμα 3.12:	Η απόλυτη γωνία του αεροσκάφους ανεξάρτητη του προσανατολισμού του.	44
Σχήμα 3.13:	Διαφορά φάσης σε σχέση με τα σημεία του ορίζοντα.	46
Σχήμα 6.1:	Σταθερά σημεία δοκιμής συστήματος ILS.	59
Σχήμα 6.2:	Απόσταση έναντι ύψους σημείου δοκιμής πάνω από τον σταθμό VOR.	61
Σχήμα 7.1:	Εξαγωγή υπολογισμών κάλυψης από το ICS Telecom στο Google Earth.	65
Σχήμα 7.2:	Διάφοροι τύποι αρχείων του ICS Telecom που θα αναφερθούν εν συνεχεία.	66
Σχήμα 7.3:	Εισαγωγή αρχείων στο ICS Telecom.	67
Σχήμα 7.4:	Παράθυρο ρύθμισης συχνοτήτων.	69
Σχήμα 7.5:	Ρύθμιση λόγου προστασίας.	69
Σχήμα 7.6:	Παράθυρο Project Manager του ICS Telecom.	70
Σχήμα 7.7:	Καρτέλα General του ICS Telecom.	71
Σχήμα 7.8:	Καρτέλα Pattern του ICS Telecom.	72
Σχήμα 7.9:	Καρτέλα επιλογών site του ICS Telecom.	73
Σχήμα 7.10:	Καρτέλα επιλογών advanced του ICS Telecom.	73
Σχήμα 7.11:	Ενδεικτικό στιγμιότυπο της προσομοίωσης μέσω του ICS Telecom στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας.	74
Σχήμα 7.12:	Ενδεικτικά παράμετροι καρτέλας General.	75
Σχήμα 7.13:	Επιλογή προσομοίωσης κατά ITU-R SM.1009-1.	75
Σχήμα 7.14:	Isolation έναντι διαχωρισμού κάθετα πολωμένων κεραιών.	78
Σχήμα 7.15:	Τρισδιάστατο μοτίβο ακτινοβολίας διπολικής κεραίας και κεραίας γωνιακού ανακλαστήρα.	79

## Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2.1:	Ζώνες συχνοτήτων κατά ITU-R V.431-8.	20
Πίνακας 2.2:	Κατανομή συχνοτήτων βάση της ITU-R V.431-8.	21
Πίνακας 2.3:	Ελάχιστη στάθμη πεδίου κατά την ύπαρξη παρεμβολών οικιακού και βιομηχανικού εξοπλισμού.	23
Πίνακας 2.4:	Ελάχιστη στάθμη πεδίου κατά την απουσία παρεμβολών οικιακού και βιομηχανικού εξοπλισμού.	23
Πίνακας 2.5:	Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας $\pm 75$ kHz για μονοφωνική υπηρεσία.	26
Πίνακας 2.6:	Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας $\pm 75$ kHz για μονοφωνική υπηρεσία.	28
Πίνακας 3.1:	Πίνακας λειτουργικών κατηγοριών Βάση Annex 10, Volume I — Aeronautical Telecommunications.	33
Πίνακας 3.2:	Ζεύγη συχνοτήτων ILS Localizer και Glideslope.	37
Πίνακας 5.1:	Πίνακας λόγου προστασίας κατά ITU-R SM. 1009-1 για παρεμβολές τύπου A1.	54
Πίνακας 5.2:	Πίνακας λόγου προστασίας κατά ITU-R SM. 1009-1 για παρεμβολές τύπου A2.	54
Πίνακας 5.3:	Πίνακας συντελεστή διόρθωσης.	56
Πίνακας 6.1:	Πίνακας χαρακτηριστικών των σταθερών σημείων δοκιμής επί της εκτεταμένης γραμμής του κέντρου του διαδρόμου και εκτός αυτής.	60
Πίνακας 7.1:	Ενδεικτικός πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης λογισμικού ICS Telecom με χρήση της ITU-R SM.1009-1.	76

## Συντομογραφίες

ACARS: Aircraft Communications Addressing and Reporting System

AM: Amplitude Modulation

ATC: Air Traffic Control

BVOR: Broadcast VOR

CEPT: Conference of European Posts and Telecommunications

CERP: European Committee for Postal Regulation

DH: Decision Height

DME: Distance measuring equipment

DOC: Designated operational coverage

DVOR: Doppler VOR

ECC: Electronic Communications Committee

E.R.P.: Effective Radiated Power Όριο ενεργής ακτινοβολούμενης ισχύος

FANS: Future Air Navigation System

FAF: Final Approach Fix

FM: Frequency Modulation

ICAO: International Civil Aviation Organization

ICS: Integrated Communications System

IF: Intermediate Frequency

ILS: Instrument Landing System

ITU: International Telecommunication Union Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών

MAP: Miss Approach Point

MFN: Multi Frequency Network

QDM: Magnetic Bearing TO the station

QDR: Magnetic Bearing FROM the station

QTE: True Bearing FROM the station

QUJ: True Bearing TO the station

RVR: Runway Visual Range

SFN: Single Frequency Network  
SNR: Signal-To-Noise Ratio  
TACAN: Tactical Air Navigation System  
TVOR: Terminal VOR  
TWT: Traveling Wave Tube  
UHF: Ultra High Frequency  
UPU: Universal Postal Union  
VHF: Very High Frequency  
VOR: VHF Omnidirectional Range  
ΔΚΡ: Διεθνής Κανονισμός Ραδιοεπικοινωνιών  
ΕΕΤ: Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών  
ΕΕΤΤ: Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων  
ΕΚΚΖΣ: Εθνικός Κανονισμός Κατανομής Ζωνών Συχνότητων  
ΕΡΑ: Εθνική Ρυθμιστική Αρχή

## Εισαγωγή

Καθώς ο αριθμός των διαθέσιμων προς χρήση συχνοτήτων είναι περιορισμένος και ολοένα και αυξάνονται οι υπηρεσίες αλλά και οι απαιτήσεις αυτών για χρήση φάσματος, το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελεί σπάνιο, εθνικό πόρο συνεχώς αυξανόμενης αξίας [1]. Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις ραδιοφάσματος και η περιορισμένη διαθεσιμότητά του οδηγεί στην ανάγκη ολοένα αποτελεσματικότερης διαχείρισής του και πιστότερης τήρησης κανών και προτύπων συμβατότητας μεταξύ των υπηρεσιών. Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η συμβατότητα της ραδιοφωνίας FM και των αεροβοηθημάτων μέσω ανάλυσης των προδιαγραφών συμβατότητας που καθορίζονται από διεθνείς και εθνικούς οργανισμούς. Τα αεροβοηθήματα στα οποία επικεντρώνεται η εργασία αυτή είναι τα Instrument Landing System (ILS), VHF Communications (COM) και VHF Omnidirectional Radio Range (VOR). Αρχικά αναφέρεται η εκχώρηση των ζωνών και η διαχείρισή τους σε διεθνές και εθνικό επίπεδο. Κατόπιν παρουσιάζονται συνοπτικά βασικά θεωρητικά στοιχεία της FM ραδιοφωνίας. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αεροναυτικά βοηθήματα στα οποία επικεντρώθηκε η εργασία αυτή. Ακολούθως στο τέταρτο και πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται βάση των προτύπων της ITU τα κριτήρια αξιολόγησης συμβατότητας και οι τύποι των παρεμβολών αντιστοίχως. Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται συνοπτική παρουσίαση της μεθόδου αξιολόγησης συμβατότητας General Assessment Method (GAM) για τα αεροβοηθήματα ILS και VOR. Στο έβδομο κεφάλαιο της εργασίας αυτής πραγματοποιείται παρουσίαση των δυνατοτήτων και του περιβάλλοντος του λογισμικού ICS Telecom της ATDI με το οποίο πραγματοποιήθηκε προσομοίωση μελέτης συμβατότητας μεταξύ του αεροβοηθήματος VOR και της FM ραδιοφωνίας στην κεντρική Μακεδονία. Στη συνέχεια παρουσιάζονται και επεξηγούνται ενδεικτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την προσομοίωση και προτείνονται τρόποι εξάλειψης των παρεμβολών που βρέθηκαν μέσω της προσομοίωσης. Τέλος στο ένατο κεφάλαιο εξάγονται συμπεράσματα και στο δέκατο παρουσιάζεται η βιβλιογραφία στην οποία βασίστηκε η συγγραφή της διπλωματικής αυτής εργασίας.

# 1. Εκχώρηση ζωνών και διαχείριση συχνοτήτων

Το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων το οποίο εκχωρείται σε κάθε χώρα αποτελεί σημαντικό εθνικό πόρο του οποίου η διαχείριση αποτελεί κυριαρχικό δικαίωμα του εκάστοτε κράτους. Η εκχώρηση είναι σημαντική καθώς συμβάλλει άμεσα στην οικονομική ανάπτυξη των κρατών μέσω νέων επιχειρηματικών ευκαιριών, καινοτομιών και δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, συμβάλλει στην ανάπτυξη νέων υπηρεσιών και τεχνολογιών, προάγει τη συνεργασία μεταξύ των κρατών και τη συμμόρφωση σε διεθνείς κανόνες, πρότυπα και προδιαγραφές διευκολύνοντας την ομαλή λειτουργία διεθνών επικοινωνιακών συστημάτων και επιτρέποντας την ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ των χωρών. Ακόμη μέσω της εκχώρησης του φάσματος μπορούμε να εξασφαλίσουμε την αποκλειστική χρήση συχνοτήτων από συγκεκριμένους φορείς και υπηρεσίες αποτρέποντας έτσι τη δημιουργία παρεμβολών και εξασφαλίζοντας σταθερότητα και υψηλή ποιότητα παρεχόμενων υπηρεσιών.

Μία συχνότητα του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων μπορεί να εκχωρηθεί σε μία ή περισσότερες υπηρεσίες τόσο τοπικά όσο και παγκόσμια, καθώς το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων είναι περιορισμένο και διαρκώς αυξανόμενης σπουδαιότητας, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων απαιτήσεων των ήδη υπάρχουσών υπηρεσιών αλλά και των αυξανόμενων νέων υπηρεσιών που διεκδικούν μέρος αυτού. Έτσι μία συχνότητα μπορεί να εκχωρηθεί προς εκμετάλλευση από περισσότερες της μίας υπηρεσίες.

Όταν μία συχνότητα δίδεται προς εκμετάλλευση σε περισσότερες της μίας υπηρεσίες, πρέπει να λαμβάνονται όλα τα αναγκαία μέτρα ώστε μία υπηρεσία πρωτεύουσας προτεραιότητας να μην παρεμβάλλεται από άλλες δευτερεύουσας και να μην παρεμβάλλει ταυτόχρονα και τυχόν άλλη πρωτεύουσας προτεραιότητας. Υπηρεσίες δευτερεύουσας προτεραιότητας δεν μπορούν να διεκδικήσουν προστασία έναντι παρεμβολών [2].

## 1.1 Διαχείριση συχνοτήτων σε Διεθνές Επίπεδο

### 1.1.1 ITU

Μία από τις ειδικευμένες οργανώσεις του ΟΗΕ είναι η ITU. Η ITU είναι υπεύθυνη για θέματα επικοινωνιών και τηλεπικοινωνιών. Αποτελεί την υπεύθυνη αρχή ως προς την εκχώρηση ραδιοσυχνοτήτων σε Διεθνές επίπεδο. Διεξάγει διεθνείς διασκέψεις και συνεδριάσεις με αντικείμενο την κατανομή και εκχώρηση σε παγκόσμιο επίπεδο ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και ραδιοσυχνοτήτων. Σε αυτές οι εκπρόσωποι των κρατών μελών συνεργάζονται για την κατανομή και εκχώρηση συχνοτήτων για διάφορες χρήσεις. Τέτοιες μπορεί να είναι οι κινητές τηλεπικοινωνίες, οι ευρυζωνικές υπηρεσίες και οι επικοινωνίες ασφαλείας.

Μέσω των διεθνών συνεδριάσεων της δηλαδή, η ITU συνεργάζεται με τα κράτη μέλη και τους ενδιαφερόμενους φορείς για την εκχώρηση συχνοτήτων καθώς και τον καθορισμό παγκόσμιων προτύπων για τις επικοινωνίες.

Η ITU έχει ως σκοπό:

- Την προώθηση της διεθνούς συνεργασίας μεταξύ των κρατών μελών της, στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.
- Την ενίσχυση της καινοτομίας και της έρευνας
- Την ανάπτυξη της τυποποίησης μέσω διεθνών προτύπων
- Την προαγωγή της ευρυζωνικής πρόσβασης και διασφάλιση για όσο μεγαλύτερο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες υψηλού επιπέδου
- Την προώθηση της ασφάλειας των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών και την προστασία των χρηστών.

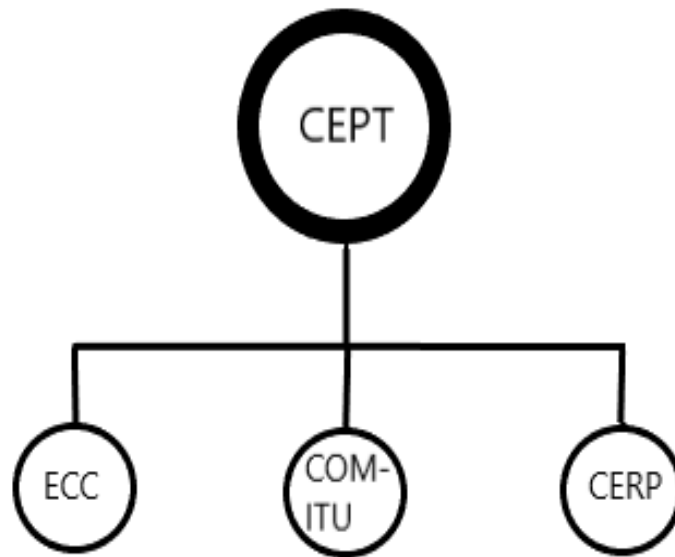
Η ITU συντονίζει τους δορυφόρους διαχειριζόμενη το φάσμα και τις τροχιές, καθιστώντας δυνατή την εκπομπή τηλεόρασης, την πλοήγηση μέσω GPS, τις επικοινωνίες στη ναυσιπλοΐα και την αεροναυτιλία και την παροχή πληροφοριών για τον καιρό και διαδικτυακών χαρτών. Μέσω των προτύπων της καθιστά δυνατές τις επικοινωνίες ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα μέρη της γης και διευκολύνει την πρόσβαση στο διαδίκτυο [3].

#### 1.1.2 CEPT

Η Ευρωπαϊκή Διάσκεψη Διοικήσεων Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT) ιδρύθηκε το 1959 από δεκαεννέα κράτη και σήμερα αποτελείται από σαράντα έξι κράτη [4]. Διεξάγει το έργο της μέσω τριών αυτόνομων επιτροπών, τις ECC, Com-ITU και CERP. Λειτουργεί ως προς την προώθηση της συνεργασίας και του συντονισμού μεταξύ των Εθνικών Ρυθμιστικών Υπηρεσιών (EPA) των ευρωπαϊκών κρατών, που την αποτελούν στους τομείς των τηλεπικοινωνιών και των ταχυδρομείων μέσω της δημιουργίας κοινού πλαισίου πολιτικών, προτύπων και τεχνικών προδιαγραφών για την εκχώρηση ραδιοσυχνοτήτων, την ασφάλεια των δικτύων και την ευρυζωνική πρόσβαση.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Επικοινωνιών ECC μελετά και αναπτύσσει πολιτικές αναφορικά με τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες στον ευρωπαϊκό χώρο βάση της διεθνούς και ευρωπαϊκής νομοθεσίας [5]. Η επιτροπή για την πολιτική της ITU Com-ITU έχει ως σκοπό τον συντονισμό των δράσεων της CEPT [6]. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή για την Ρυθμιστική των Ταχυδρομικών Υπηρεσιών CERP έχει ως αποστολή τη ρύθμιση των ταχυδρομικών υπηρεσιών καθώς και τον ευρωπαϊκό συντονισμό και προετοιμασία για τις συναντήσεις της Παγκόσμιας Ένωσης Ταχυδρομείων (UPU - Universal Postal Union) [7].





Σχήμα 1.1: Η CEPT και οι τρεις επιτροπές αυτής.

## 1.2 Διαχείριση συχνοτήτων σε Εθνικό Επίπεδο

Βάση της ITU στην Ελλάδα το Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης αποτελεί την Αρχή Τηλεπικοινωνιών [8].

Ορισμένες αρμοδιότητες του εκάστοτε Υπουργού Ψηφιακής Διακυβέρνησης οι οποίες καθορίζονται στο άρθρο 6 του νόμου της παραπομπής 9 είναι:

- Η χάραξη πολιτικής για της ηλεκτρονικές επικοινωνίες.
- Η χωροθέτηση των Χαρτών Συχνοτήτων σε συνεργασία με τους συναρμόδιους υπουργούς για τις ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές υπηρεσίες
- Η προώθηση και ανάπτυξη της επιστημονικής έρευνας σε τομείς όπως οι ηλεκτρονικές επικοινωνίες, η χρήση του ραδιοφάσματος και η τροχιά των γεωσύγχρονων δορυφόρων.
- Η ενσωμάτωση στην ελληνική νομοθεσία Αποφάσεων και Συστάσεων της Ε.Ε., της CEPT και της ITU, μέσω έκδοσης υπουργικών αποφάσεων.
- Η εναρμόνιση με τα υπόλοιπα κράτη μέλη της ΕΕ της χρήσης των ραδιοσυχνοτήτων, για να εξασφαλιστεί η ουσιαστική και αποτελεσματική χρήση αυτών.
- Κατόπιν εισήγησης της Ε.Ε.Τ.Τ., καθορίζει το περιεχόμενο της καθολικής υπηρεσίας, τις προϋποθέσεις και τη διαδικασία για τον καθορισμό κριτηρίων επιλογής των παροχών αυτής.
- Οι υπουργοί Ψηφιακής Διακυβέρνησης και Εθνικής Άμυνας εκδίδουν τον Εθνικό Κανονισμό Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων (Ε.Κ.Κ.Ζ.Σ.).

- Καθώς και οι αρμοδιότητες που καθορίζονται από το άρθρο 4 του ν. 4070/2012 και δεν καταργούνται από το άρθρο 119 του παρόντος [9].

#### 1.2.1 Ε.Ε.Τ.Τ.

Το 1992 ιδρύεται η Ε.Ε.Τ. η οποία το 1998 μετονομάζεται σε Ε.Ε.Τ.Τ. . Στην Ελλάδα η Ε.Ε.Τ.Τ αποτελεί την Ε.Ρ.Α. για τις επικοινωνίες και τα ταχυδρομεία. Η Ε.Ε.Τ.Τ. είναι αρμόδια για τη ρύθμιση, την εποπτεία και την εκχώρηση των συχνοτήτων επικοινωνιών στην Ελλάδα.

Η Ε.Ε.Τ.Τ ρυθμίζει, εποπτεύει και ελέγχει:

- Την αγορά ηλεκτρονικών επικοινωνιών.
- Τη χρήση του φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.
- Την ταχυδρομική αγορά [10].

Επίσης η Ε.Ε.Τ.Τ. λειτουργεί ως Αρχή Ανταγωνισμού εξασφαλίζοντας έτσι την ορθή λειτουργία των αγορών, τον υγιή ανταγωνισμό και τα δικαιώματα των χρηστών των ηλεκτρονικών επικοινωνιών και ταχυδρομικών υπηρεσιών. Οι αρμοδιότητες της Ε.Ε.Τ.Τ. καθορίζονται λεπτομερώς στο Σχέδιο Νόμου του Υπουργείου Ψηφιακής Διακυβέρνησης με το οποίο υλοποιείται η ενσωμάτωση στο ελληνικό δίκαιο της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/1972 [8].

Όσον αφορά το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων η Ε.Ε.Τ.Τ. είναι υπεύθυνη:

- Για τη διαχείριση του εμπορικού φάσματος πλην της τηλεόρασης και της ραδιοφωνίας.
- Είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο, την εποπτεία και την επιβολή κυρώσεων.
- Διερευνά καταγγελίες περί παράνομης κατασκευής και λειτουργίας κατασκευών κεραιών και αν απαιτείται επιβάλλει κυρώσεις [11].

#### 1.2.2 Εθνικός Κανονισμός Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων

Μέσω του Ε.Κ.Κ.Ζ.Σ. διασφαλίζεται η ορθή χρήση των ραδιοσυχνοτήτων απαλλαγμένη από παρεμβολές. Λαμβάνοντας υπόψη της διατάξεις του Καταστατικού Χάρτη καθώς και τις συμβάσεις της ITU, ο Ε.Κ.Κ.Ζ.Σ. προβλέπει για τον ελληνικό χώρο τις κατανομές μόνιμων εκχωρήσεων σε ειρηνική περίοδο του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων αρχομένης από 8.3 kHz έως και τα 1000 GHz.

Ανεξαρτήτως χρήσης όλοι οι σταθμοί οφείλουν να εγκαθίστανται και να λειτουργούν σύμφωνα με όσα ορίζονται από τον Ε.Κ.Κ.Ζ.Σ. και τις ισχύουσες διατάξεις αποφεύγοντας την δημιουργία παρεμβολών σε εγχώριες ή άλλων κρατών υπηρεσίες επικοινωνίας ή ραδιοεπικοινωνίας καθώς και υπηρεσιών από παρόχους σύμφωνων με τον Δ.Κ.Ρ. της ITU [12].

Ο Ε.Κ.Κ.Ζ.Σ. αναθεωρείται σε διάστημα όχι μεγαλύτερο των τριών ετών από την έκδοσή του [13] από τα Υπουργεία Εθνικής Άμυνας και Ψηφιακής Διακυβέρνησης σε συνεργασία με την Ε.Ε.Τ.Τ και ανά κανονικά διαστήματα πραγματοποιείται ανασκόπηση, όπου απαιτείται πραγματοποιούνται αλλαγές και διορθώσεις.

Από τον Ε.Κ.Κ.Ζ.Σ. για την ραδιοφωνία FM κατανέμεται ως προς χρήση η ζώνη 87,5 MHz έως 108 MHz ενώ για την αεροναυτική ραδιοπλοήγηση η γειτνιάζουσα ζώνη 108 - 117,975 MHz. Η ζώνη των 108-117,975MHz κατανέμεται σε πρωτεύουσα προτεραιότητα στην Αεροναυτική κινητή υπηρεσία (R) για επικοινωνία με σκοπό την ασφάλεια και την διαφύλαξη της κανονικότητας των πτήσεων κυρίως στους εθνικούς και διεθνής αεροδιαδρόμους των πολιτικών αεροδρομίων. Η ζώνη από 108 MHz έως 112 MHz προορίζεται για χρήση από συστήματα αποτελούμενα από επίγειους πομπούς και τους αντίστοιχους δέκτες με σκοπό την υποβοήθηση της αεροπλοήγησης [12].

## 2 FM ραδιοφωνία

### 2.1 Εισαγωγή

Το φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων κατά την ITU-R V.431-8 χωρίζεται σε ζώνες όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1:

Band number	Symbols	Frequency range (lower limit exclusive, upper limit inclusive)	Corresponding metric subdivision	Metric abbreviations for the bands
3	ULF	300-3 000 Hz	Hectokilometric waves	B.hkm
4	VLF	3-30 kHz	Myriametric waves	B.Mam
5	LF	30-300 kHz	Kilometric waves	B.km
6	MF	300-3 000 kHz	Hectometric waves	B.hm
7	HF	3-30 MHz	Decametric waves	B.dam
8	VHF	30-300 MHz	Metric waves	B.m
9	UHF	300-3 000 MHz	Decimetric waves	B.dm
10	SHF	3-30 GHz	Centimetric waves	B.cm
11	EHF	30-300 GHz	Millimetric waves	B.mm
12		300-3 000 GHz	Decimillimetric waves	B.dmm
13		3-30 THz	Centimillimetric waves	B.cmm
14		30-300 THz	Micrometric waves	B.μm
15		300-3 000 THz	Decimicrometric waves	B.dμm

Πίνακας 2.1 Ζώνες συχνοτήτων κατά ITU-R V.431-8

Παρατηρούμε ότι η ραδιοφωνία FM ανήκει στην όγδοη ζώνη VHF στην οποία ανήκουν συχνότητες από 30MHz έως 300MHz. Οι κλάσεις συχνοτήτων κατά την ITU-R V.431-8 που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες χώρες για τη ραδιοφωνία FM και την τηλεόραση καθορίζονται όπως παρουσιάζονται στον πίνακα 2.2. Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι τα εύρη συχνοτήτων δεν ανήκουν αποκλειστικά στις υπηρεσίες ευρυεκπομπής [14].

Designation	Frequency range (MHz)		
	Region 1	Region 2	Region 3
I	47-68	54-68	47-68
II	87.5-108	88-108	87-108
III	174-230	174-216	174-230
IV	470-582	470-582	470-582
V	582-960	582-890	582-960

Πίνακας 2.2: Κατανομή συχνοτήτων βάση της ITU-R V.431-8

Η ραδιοφωνία FM έχει επικρατήσει σήμερα έναντι της AM καθώς προσφέρει καλύτερη ποιότητα ήχου και σταθερή λήψη αφού παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά έναντι του θορύβου και των παρεμβολών με κόστος όμως το μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Επίσης η FM έχει αρκετά μικρότερη εμβέλεια από την AM καθώς οι συχνότητες FM παρουσιάζουν μικρότερη διεισδυτικότητα και επηρεάζονται περισσότερο από εμπόδια και αποσβέσεις σήματος. Το εύρος ενός καναλιού FM ραδιοφωνίας είναι συνήθως 200kHz και μπορεί να μεταδώσει πληροφορία έως 100kHz. Παρότι η απόκλιση είναι τυπικά 200kHz πρακτικά περιορίζεται στα 150kHz ( $\pm 75\text{kHz}$ ) έτσι ώστε να αποφευχθούν παρεμβολές σε γειτονικά κανάλια. Στις περισσότερες χώρες όπως και στην Ελλάδα οι κεντρικές συχνότητες των καναλιών καταλήγουν σε .1, .3, .5, .7, .9 παραδείγματος χάρι ο ραδιοφωνικός σταθμός Σκάϊ 100,3 MHz. Η ραδιοφωνία FM στη Region 1 χρησιμοποιεί τη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 87,5 MHz και 108 MHz [13].

Για το ραδιόφωνο, τα χαρακτηριστικά του σήματος που εκπέμπεται καθορίζονται από τα εξής: το σύστημα πιλότου για στερεοφωνική μετάδοση με συνολικό εύρος ζώνης 300kHz, την αδιαμόρφωτη φέρουσα που διατηρεί σταθερότητα με απόκλιση  $\pm 500\text{Hz}$  ανά έτος, τη μέγιστη ισχύ εκπομπής των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης τελικού σταδίου, η οποία πρέπει να είναι τουλάχιστον 60dB χαμηλότερη από τη φέρουσα, και τη μέγιστη απόκλιση της φέρουσας που είναι ίση με  $\pm 75\text{kHz}$ . Η ελάχιστη απαιτούμενη ισχύς πεδίου για τη ραδιοφωνική κάλυψη ενός σημείου λήψης καθορίζεται ανά περίπτωση με βάση το πρότυπο ITU-R BS.412-9 "Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF".

Ως γενική μορφή των διαμορφωμένων σημάτων που συναντώνται στις Τηλεπικοινωνίες είναι η συνάρτηση:

$$c(t) = a(t) \cos(\theta(t))$$

Όπου:  $a(t)$  το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος

$\theta(t)$  η γωνία του διαμορφωμένου σήματος

Όταν μεταβάλλεται το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος τότε προκύπτει διαμόρφωση AM ενώ όταν έχουμε μεταβολή στη στιγμιαία φάση του τότε έχουμε διαμόρφωση συχνότητας FM ή διαμόρφωση PM [15].

Στην Ελλάδα η ραδιοφωνία FM καταλαμβάνει τη ζώνη συχνοτήτων μεταξύ 87,5MHz και 108 MHz με ελάχιστη απόσταση συχνοτήτων τα 300kHz [16]. Επομένως σε αυτό το εύρος των (108-87,5)MHz = 20,5 MHz μπορούμε να έχουμε:

$$\frac{20,5MHz}{300kHz} \approx 68 \text{ FM προγράμματα}$$

δηλαδή μέχρι και 68 διαφορετικούς σταθμούς FM.

Επομένως η φασματική απόδοση της FM ραδιοφωνίας στο 1MHz είναι:

$$SE_{FM} = 68 \text{ προγράμματα} * \frac{1MHz}{20,5MHz} \approx 3.3 \frac{\text{προγράμματα}}{MHz} \quad [17].$$

## 2.2 Διαμόρφωση γωνίας

Από αναλογικό ή ψηφιακό σήμα πληροφορίας με μεταβολή της στιγμιαίας φάσης μπορεί να διαμορφωθεί ένα ημιτονοειδές φέρον σε διαμόρφωση συχνότητας FM και διαμόρφωση PM.

Ένα βασικό πλεονέκτημα της διαμόρφωσης γωνίας έναντι της διαμόρφωσης πλάτους είναι ότι διασφαλίζει καλύτερη συμπεριφορά ως προς τον θόρυβο και την παρεμβολή αλλά αυτό με κόστος το μεγαλύτερο εύρος ζώνης το οποίο απαιτείται.

Κατά τη διαμόρφωση συχνότητας FM η στιγμιαία συχνότητα προκύπτει:

$$\omega_i(t) = \omega_c + k_{FM}f(t)$$

και η στιγμιαία γωνία :

$$\theta(t) = \omega_c t + k_{FM} \int_{-\infty}^t f(x) dx$$

όπου: f(t) το σήμα πληροφορίας

$\omega_c$  η φέρουσα συχνότητα

$k_{FM}$  σταθερά εξαρτώμενη από τα χαρακτηριστικά του διαμορφωτή

Επομένως προκύπτει το διαμορφωμένο σήμα FM:

$$c_{FM}(t) = A \cos[\omega_c t + k_{FM} \int_{-\infty}^t f(x) dx]$$

Επίσης για το διαμορφωμένο σήμα FM έχουμε:

- μέγιστη απόκλιση συχνότητας:

$$\Delta\omega = k_{FM}f(t)|_{max}$$

- ενεργό τιμή απόκλισης συχνότητας:

$$\Delta\omega_{\varepsilon\nu} = k_{FM}(\overline{f^2(t)})^{1/2}$$

- δείκτη διαμόρφωσης:

$$\beta = \frac{\Delta\omega}{W_m}$$

- ενεργό δείκτη διαμόρφωσης:

$$\beta_{\varepsilon\nu} = \frac{\Delta\omega_{\varepsilon\nu}}{W_m}$$

όπου  $W_m$  είναι το κυκλικό εύρος ζώνης του σήματος  $f(t)$  [15]

## 2.3 Ένταση πεδίου

Κατά την ITU-R BS.412-9 οι ελάχιστες τιμές στάθμης πεδίου για εξυπηρέτηση της ραδιοφωνίας FM όταν υπάρχουν παρεμβολές βιομηχανικού και οικιακού εξοπλισμού, ώστε να απολαμβάνουμε υπηρεσίες ικανοποιητικού επιπέδου παρουσιάζονται στον πίνακα 2.3:

Περιοχές	Υπηρεσίες	
	Μονοφωνική dB(μV/m)	Στερεοφωνική dB(μV/m)
Αγροτική	48	54
Αστική	60	66
Μεγάλες πόλεις	70	74

Πίνακας 2.3: Ελάχιστη στάθμη πεδίου κατά την ύπαρξη παρεμβολών οικιακού και βιομηχανικού εξοπλισμού.

Αν θεωρηθεί απουσία παρεμβολών βιομηχανικού και οικιακού εξοπλισμού οι αποδεκτές τιμές έντασης πεδίου παρουσιάζονται στον πίνακα 2.4:

Υπηρεσίες	
Μονοφωνική dB(μV/m)	Στερεοφωνική dB(μV/m)
34	48

Πίνακας 2.4: Ελάχιστη στάθμη πεδίου κατά την απουσία παρεμβολών οικιακού και βιομηχανικού εξοπλισμού.

Οι τιμές για τον πίνακα 2.3 και τον πίνακα 2.4 είναι μετρημένες σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το επίπεδο του εδάφους. Σημειώνοντας ότι οι τιμές του πίνακα 2.3 δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες με του πίνακα 2.4 καθώς του πίνακα 2.4 δεν είναι τιμές μέσης έντασης όπως του 2.3. Επίσης πλησίον των συνόρων μεταξύ κρατών οι ακριβείς τιμές θα πρέπει να συμφωνηθούν κατόπιν συνεννόησης [16].

Η ελάχιστη τιμή του λόγου του επιθυμητού προς ανεπιθύμητο σήμα στη είσοδο ενός δέκτη, εκφρασμένη σε dB αναφέρεται ως radio-frequency protection ratio με σκοπό να επιτύχουμε συγκεκριμένη ποιότητα λήψης στην έξοδό του δέκτη υπό συγκεκριμένες συνθήκες.

Εάν δεν αναφέρεται κάτι διαφορετικό οι τιμές του λόγου προστασίας που αναφέρονται ισχύουν για παρεμβολή που προκαλείται από μία μόνο πηγή. Για πολλαπλές παρεμβολές μέθοδοι αξιολόγησης υπάρχουν στην ITU-R BS.945.

Για σταθερή παρεμβολή στην FM ραδιοφωνία έχουμε απαίτηση σηματοθορυβικού λόγου (SNR) περίπου 50 dB. Δηλαδή απαιτείται η ισχύς του σήματος να είναι 50 dB υψηλότερη από την ισχύ του θορύβου που προκαλείται από παρεμβολές ή άλλες πηγές θορύβου, ώστε να αποκατασταθεί ο ήχος με ακρίβεια και καθαρότητα. Βεβαίως υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ποιότητα της λήψης στην FM ραδιοφωνία όπως η απόσταση από τον πομπό και η ποιότητα του δέκτη.

Οι τροποσφαιρικές παρεμβολές προκαλούνται από φυσικές συνθήκες, όπως η διάδοση ενός σήματος δια μέσω των διαφορετικών ατμοσφαιρικών στρωμάτων και εμφανίζονται ως μία ελαφρώς ενοχλητική κατάσταση. Τέτοιου τύπου παρεμβολές θεωρούνται αποδεκτές όταν διαρκούν για χρόνο μικρότερο από το 1% έως 10% του συνολικού χρόνου.

Για την περίπτωση των στερεοφωνικών σημάτων ο λόγος προστασίας εξαρτάται από την καθυστέρηση της διάδοσης καθώς και το στερεοφωνικό περιεχόμενο.

### 2.3.1 Καθορισμός παρεμβολής (σταθερή ή τροποσφαιρική)

Για τη χρησιμοποίηση των καμπυλών λόγων προστασίας που ακολουθούν στα σχήματα 2.1 και 2.2 είναι απαραίτητο να καθοριστεί πότε η παρεμβολή θεωρείται σταθερή και πότε τροποσφαιρική. Για αυτό θα χρησιμοποιηθεί το κριτήριο "nuisance field" όπου:

- για σταθερή παρεμβολή ισχύει:

$$Es = P + E(50,50) + As$$

- για τροποσφαιρική παρεμβολή ισχύει:

$$Et = P + E(50, T) + At$$

Όπου

P: e.r.p. (dB(1 kW)) του παρεμβαίνοντος πομπού.

A: radio-frequency protection ratio (dB).

E(50, T): ισχύς πεδίου (dB(μV/m)) του παρεμβαίνοντος πομπού, κανονικοποιημένη σε 1 kW υπερβαίνουσα κατά T% του χρόνου. Στη διάσκεψη VHF/FM της Γενεύης το 1984 επιλέχθηκε T=1%.

Οι δείκτες s, t καταδεικνύουν αντίστοιχα σταθερή και τροποσφαιρική

H καμπύλη λόγου προστασίας για σταθερή παρεμβολή εφαρμόζεται αν  $Es \geq Et$ .



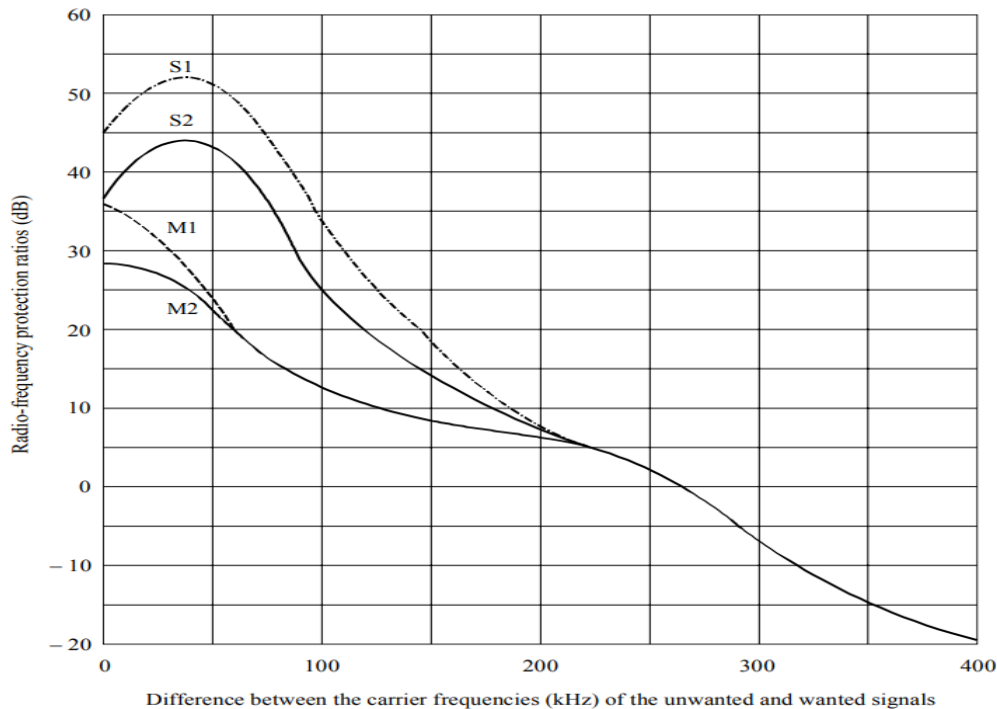
### 2.3.2 Καμπύλες λόγου προστασίας

Οι καμπύλες των σχημάτων 2.1 και 2.2 για μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 75$  kHz και  $\pm 50$  kHz αντίστοιχα δίνουν τιμές λόγων προστασίας για διαφορές συχνοτήτων φέροντος μεταξύ επιθυμητών και ανεπιθύμητων σημάτων έως 400 kHz. Για μεγαλύτερες διαφορές οι τιμές του λόγου προστασίας θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλότερες από -20dB. Για την ενδιάμεση συχνότητα (IF) των 10,7 MHz θα είναι κάτω από -20 dB. Θεωρείται ακόμη ότι η ισχύς του σήματος πολυπλεξίας το οποίο περιλαμβάνει τόσο τον πιλοτικό τόνο όσο πρόσθετα σήματα που ενσωματώνεται σε οποιοδήποτε διάστημα διάρκειας 60 δευτερολέπτων δεν υπερβαίνει την ισχύ σήματος πολυπλεξίας όπου εμπεριέχεται ένας μόνο ημιτονοειδής τόνος κορυφαίας απόκλισης  $\pm 19$ kHz.

Για τη στερεοφωνική μετάδοση για να ισχύουν οι καμπύλες προστασίας, απαραίτητη είναι η χρήση χαμηλοπερατού φίλτρου μετά τον αποδιαμορφωτή FM του δέκτη το οποίο μειώνει την παρεμβολή και το θόρυβο σε συχνότητες μεγαλύτερες των 53kHz στο σύστημα πιλοτικού τόνου και στο πολική διαμόρφωση για μεγαλύτερες των 46,25kHz.

#### 2.3.2.1 Συστήματα μέγιστης απόκλισης συχνότητας $\pm 75$ kHz

Στο σχήμα 2.1 παρουσιάζονται οι τιμές του λόγου προστασίας για ικανοποιητική λήψη, σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 75$ kHz επίσης δίνεται και ο πίνακας τιμών 2.5 για απόκλιση συχνότητας  $\pm 75$ kHz [16].



Σχήμα 2.1: Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 75$ kHz για μονοφωνική υπηρεσία (πηγή: ITU-R BS.412-9)

Όπου:

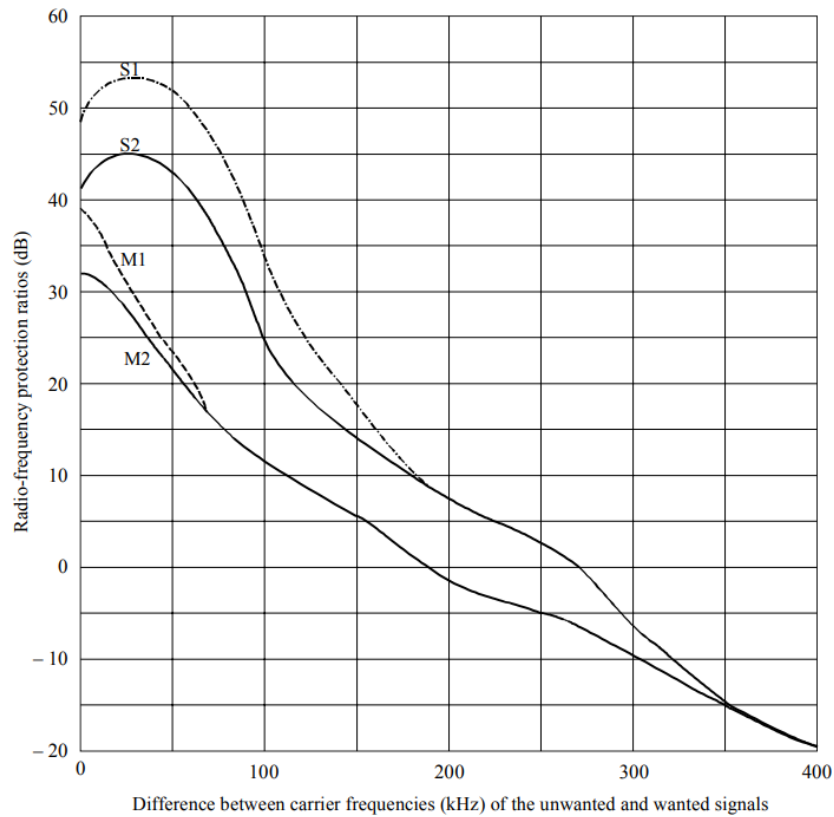
- M1 μονοφωνική μετάδοση, σταθερή παρεμβολή
- M2 μονοφωνική μετάδοση, τροποσφαιρική παρεμβολή
- S1 στερεοφωνική μετάδοση, σταθερή παρεμβολή
- S2 στερεοφωνική μετάδοση, τροποσφαιρική παρεμβολή

Carrier frequency spacing (kHz)	Radio-frequency protection ratio (dB) using a maximum frequency deviation of $\pm 75$ kHz			
	Monophonic		Stereophonic	
	Steady interference	Tropospheric interference	Steady interference	Tropospheric interference
0	36.0	28.0	45.0	37.0
25	31.0	27.0	51.0	43.0
50	24.0	22.0	51.0	43.0
75	16.0	16.0	45.0	37.0
100	12.0	12.0	33.0	25.0
125	9.5	9.5	24.5	18.0
150	8.0	8.0	18.0	14.0
175	7.0	7.0	11.0	10.0
200	6.0	6.0	7.0	7.0
225	4.5	4.5	4.5	4.5
250	2.0	2.0	2.0	2.0
275	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0
300	-7.0	-7.0	-7.0	-7.0
325	-11.5	-11.5	-11.5	-11.5
350	-15.0	-15.0	-15.0	-15.0
375	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5
400	-20.0	-20.0	-20.0	-20.0

Πίνακας 2.5: Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 75$  kHz για μονοφωνική υπηρεσία (πηγή: ITU-R BS.412-9 [16]).

### 2.3.2.2 Συστήματα μέγιστης απόκλισης συχνότητας $\pm 50$ kHz

Ακολουθεί το σχήμα 2.2 όπου παρουσιάζονται τιμές λόγου προστασίας για ικανοποιητική λήψη, σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 50$  kHz επίσης δίνεται και πίνακας τιμών για απόκλιση συχνότητας  $\pm 50$  kHz [16].



Σχήμα 2.2: Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μπάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 50$  kHz για μονοφωνική υπηρεσία (πηγή: ITU-R BS.412-9 [16]).

Όπου:

- M1 μονοφωνική μετάδοση, σταθερή παρεμβολή
- M2 μονοφωνική μετάδοση, τροποσφαιρική παρεμβολή
- S1 στερεοφωνική μετάδοση, σταθερή παρεμβολή
- S2 στερεοφωνική μετάδοση, τροποσφαιρική παρεμβολή

Carrier frequency spacing (kHz)	Radio-frequency protection ratio (dB) using a maximum frequency deviation of $\pm 50$ kHz			
	Monophonic		Stereophonic	
	Steady interference	Tropospheric interference	Steady interference	Tropospheric interference
0	39.0	32.0	49.0	41.0
25	32.0	28.0	53.0	45.0
50	24.0	22.0	51.0	43.0
75	15.0	15.0	45.0	37.0
100	12.0	12.0	33.0	25.0
125	7.5	7.5	25.0	18.0
150	6.0	6.0	18.0	14.0
175	2.0	2.0	12.0	11.0
200	-2.5	-2.5	7.0	7.0
225	-3.5	-3.5	5.0	5.0
250	-6.0	-6.0	2.0	2.0
275	-7.5	-7.5	0	0
300	-10.0	-10.0	-7.0	-7.0
325	-12.0	-12.0	-10.0	-10.0
350	-15.0	-15.0	-15.0	-15.0
375	-17.5	-17.5	-17.5	-17.5
400	-20.0	-20.0	-20.0	-20.0

Πίνακας 2.6: Καμπύλες απαιτούμενου λόγου προστασίας στην μάντα 8 (VHF) για συχνότητες μεταξύ 87,5 και 108 MHz με μέγιστη απόκλιση συχνότητας  $\pm 50$  kHz για μονοφωνική υπηρεσία (πηγή: ITU-R BS.412-9 [16]).

## 2.4 Ισχύς πεδίου ελευθέρου χώρου

Ο υπολογισμός της ισχύος πεδίου ελευθέρου χώρου κατά την ITU-R SM.1009-1 δίνεται από την εξίσωση:

$$E = 76,9 + P - 20 \log d + H + V$$

Όπου:

E: η ισχύς πεδίου (dB( $\mu$ V/m)) του σήματος της ραδιοφωνίας

P: η μέγιστη αποτελεσματική ισχύς εκπομπής (e.r.p.) του σταθμού ραδιοφωνίας, μετρημένη σε dBW

d: η απόσταση σε κλίση (slant path distance), μετρημένη σε χιλιόμετρα

H: η διόρθωση οριζόντιας αναφοράς (h.r.p.) σε dB. Αυτός ο παράγοντας διορθώνει τυχόν αποκλίσεις στην οριζόντια πόλωση του σήματος.

V: η διόρθωση κατακόρυφης αναφοράς (v.r.p.), μετρημένη σε dB. Αυτός ο παράγοντας διορθώνει τυχόν αποκλίσεις στην κατακόρυφη πόλωση του σήματος.

## 2.5 Ισχύς στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη

Για τον υπολογισμό της ισχύος στην είσοδο ενός αεροναυτικού δέκτη, από την ITU-R SM.1009-1 μετατρέπουμε την ισχύ πεδίου του σήματος της ραδιοφωνίας και του αεροναυτικού σήματος σε ισχύ στην είσοδο του δέκτη σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

- για ένα σήμα ραδιοφωνίας στη ζώνη 87,5-108,0 MHz ισχύει:

$$N = E - 118 - L_s - L(f) - L_a$$

όπου:

N: επίπεδο σήματος ραδιοφωνίας (dBm) στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη

E: ισχύς πεδίου (dB(μV/m)) του σήματος της ραδιοφωνίας

L<sub>s</sub>: απώλεια διαιρέτη σήματος 3,5 dB

L(f): συχνοτική απώλεια συστήματος κεραίας στη συχνότητα της ραδιοφωνικής συχνότητας f (MHz) 1,2 dB ανά MHz κάτω από 108 MHz

L<sub>a</sub>: σταθερή απώλεια συστήματος κεραίας 9 dB [18].

- Για ένα αεροναυτικό σήμα και ένα σήμα τύπου A1 στη ζώνη 108-118 MHz ισχύει:

$$N_a = E_a - 118 - L_s - L_a$$

όπου:

N<sub>a</sub>: επίπεδο σήματος (dBm) στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη

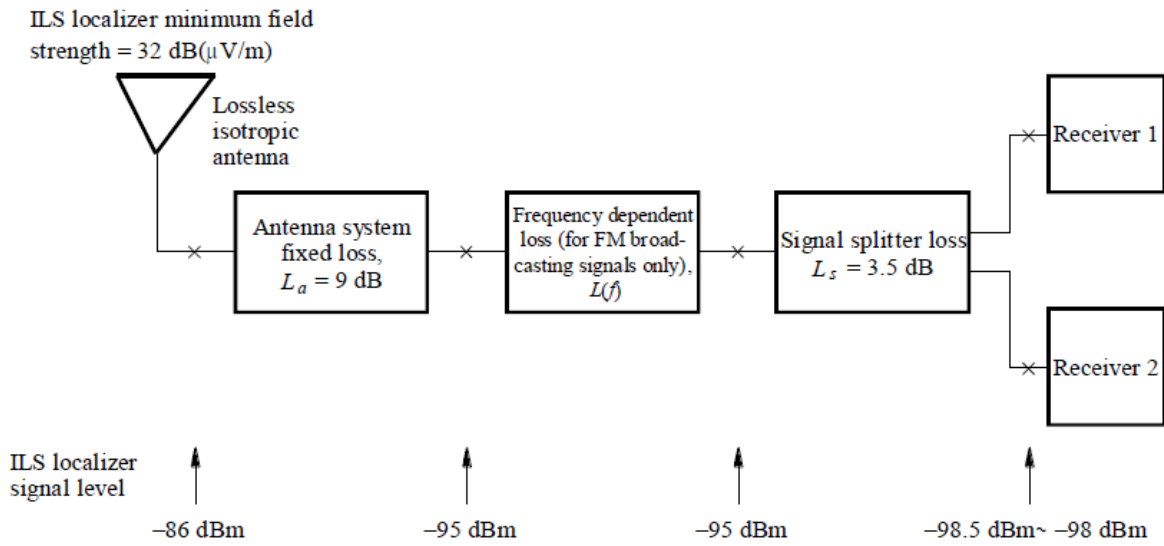
E<sub>a</sub>: ισχύς πεδίου (dB(μV/m)) του αεροναυτικού ή του σήματος τύπου A1.

L(f) είναι μηδενική για τις αεροναυτικές συχνότητες και για αυτό δεν υπάρχει στον τύπο

Χρησιμοποιώντας τη σχέση N<sub>a</sub>=E<sub>a</sub>-118-L<sub>s</sub>-L<sub>a</sub> για ελάχιστη ένταση του ILS localizer στα 32 dB(μV/m) στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη έχουμε για L<sub>s</sub> = 3.5 dB και L<sub>a</sub> = 9 dB:

$$N_a = 32 - 118 - 3.5 - 9 = -98,5 \text{ dB} \approx -98 \text{ dB}$$

**Conversion of the ILS localizer minimum field strength  
to a signal level at the input to an aeronautical receiver**



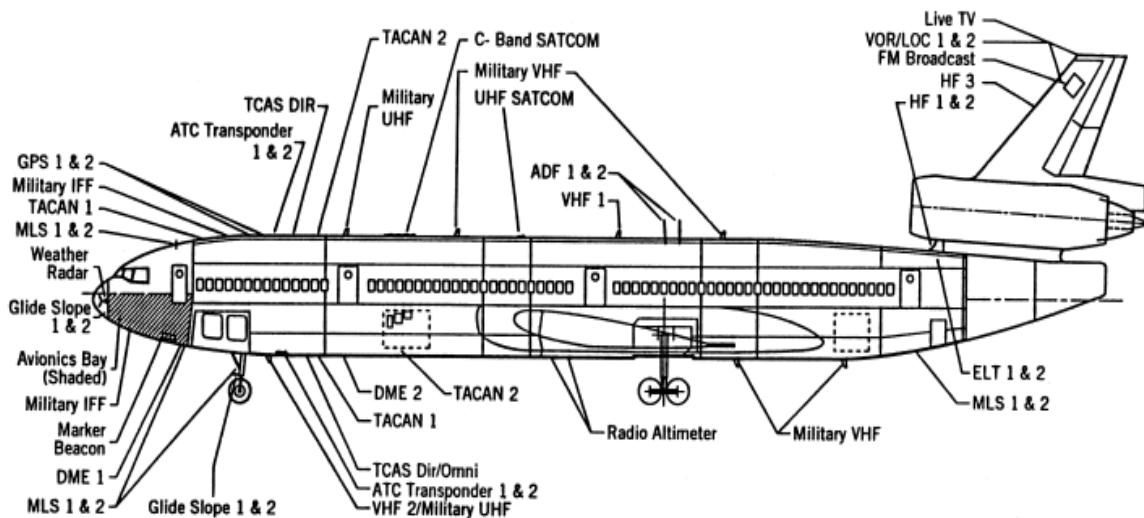
Σχήμα 2.3: Παράδειγμα ισχύος στην είσοδο αεροναυτικού δέκτη (πηγή ITU-R SM.1009-1 [18]).

### 3. Αεροναυτικά βοηθήματα πλοήγησης

Σε μεγάλα αεροδρόμια υπάρχουν πολλαπλοί αεροδιάδρομοι οι οποίοι εξυπηρετούνται από κοινά συστήματα VOR και Distance Measuring Equipment (DME) καθώς και συστήματα ILS τα οποία όμως εξυπηρετούν συγκεκριμένους αεροδιαδρόμους. Ο διαχωρισμός των αεροδιαδρόμων σε προσέγγιση και απογείωση λόγω της χρήσης πολλαπλών διαδρόμων διπλής κατεύθυνσεως πρέπει να γίνεται αποτελεσματικά παρέχοντας τη μέγιστη δυνατή ασφάλεια. Η επιλογή των διαδρόμων προσέγγισης και απογείωσης γίνεται αφού ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Τέτοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η κατεύθυνση του ανέμου, το μήκος του διαδρόμου, ο διαθέσιμος εξοπλισμός πλοήγησης και η ορατότητα [19].

Σε μεγάλα υψόμετρα ή κατά τη διάρκεια κακοκαιρίας ή απλά χαμηλής ορατότητας, τα συστήματα πλοήγησης είναι απαραίτητα για την ασφαλή πτήση των αεροσκαφών. Τα συστήματα πλοήγησης είναι απαραίτητα τόσο στους πιλότους κατά τη διάρκεια της πτήσης, κατά την προσέγγιση, την προσγείωση και απογείωση όσο και στους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας ώστε να προσδιορίσουν τη θέση ενός αεροσκάφους σε σχέση με το έδαφος και άλλα αεροσκάφη ανά πάσα στιγμή και σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα πλοήγησης έχουν εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου από παρωχημένους επίγειους ραδιοφωνικούς πομπούς σε προηγμένα δορυφορικά συστήματα.

Η τοποθέτηση αεροναυπηγικού εξοπλισμού σε ένα αεροσκάφος πολλαπλών χρήσεων εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού του και των λειτουργικών απαιτήσεων που προκύπτουν. Μια γενική επισκόπηση της τοποθέτησης των αεροναυτικών βοηθημάτων σε αεροσκάφη πολλαπλών χρήσεων δίνεται στο σχήμα 3.1 που ακολουθεί [20].

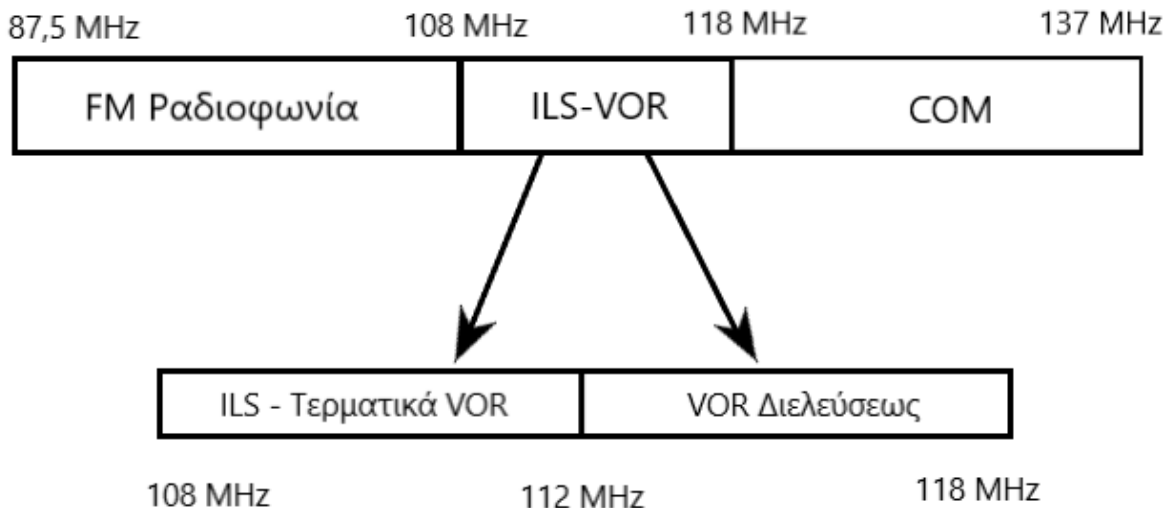


Σχήμα 3.1: Τοποθέτηση αεροναυτικών βοηθημάτων σε αεροσκάφη γενικής χρήσεως (πηγή: Kayton, M., and Fried, W. R. (1997). "Avionics Navigation Systems," 2nd ed., Wiley, New York [20])

Οι τρεις κύριες κατηγορίες αεροναυτικών βοηθημάτων είναι:

- ILS (Instrument Landing System).
- VOR (VHF Omnidirectional Radio Range).
- COM (VHF Communications).

Το ILS καλύπτει το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων μεταξύ 108 και 112 μεγακύκλων, τα τερματικά του VOR την περιοχή μεταξύ 108 και 112 μεγακύκλων όπως και το ILS ενώ τα διελεύσεως την περιοχή μεταξύ 112 και 118 μεγακύκλων. Τέλος στην περιοχή των 118-137 μεγακύκλων λειτουργεί το σύστημα COM όπως απεικονίζονται στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Τα ILS, VOR και COM στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων.

### 3.1 ILS

#### 3.1.1 Εισαγωγή

Για πρώτη φορά το 1929 στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής (ΗΠΑ) ξεκίνησαν οι δοκιμές του συστήματος υποβοήθησης προσγείωσης ILS (Instrument Landing System) . Στις ΗΠΑ η πρώτη προσγείωση προγραμματισμένης επιβατικής πτήσης με τη χρήση ILS πραγματοποιήθηκε το 1938 [21].

Το ILS είναι ένα σύστημα αεροναυσιπλοΐας το οποίο χρησιμοποιείται με σκοπό την ασφαλή και ακριβή προσέγγιση και προσγείωση των αεροσκαφών στους αεροδιαδρόμους μεγάλων κυρίως διεθνών αεροδρομίων. Παρέχει αξιόπιστη και ακριβή πλοήγηση στους πιλότους κατά την προσέγγιση και προσγείωση ιδιαίτερα υπό δυσμενείς καιρικές συνθήκες και χαμηλή ορατότητα. Οι κύριες χρήσεις του ILS περιλαμβάνουν τις προσεγγίσεις CAT I, CAT II και CAT III, αναλόγως του επιπέδου ακρίβειας και ανοχών που παρέχονται στους πιλότους κατά την προσγείωση. Επίσης παρέχει οδηγίες σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο. Στον ελλαδικό



χώρο συναντούμε συστήματα ILS στους κρατικούς αερολιμένες των Αθηνών, της Θεσσαλονίκης και της Ρόδου [22], [23].

### 3.1.2 Κατηγορίες ILS αναλόγως αξιοπιστίας του συστήματος

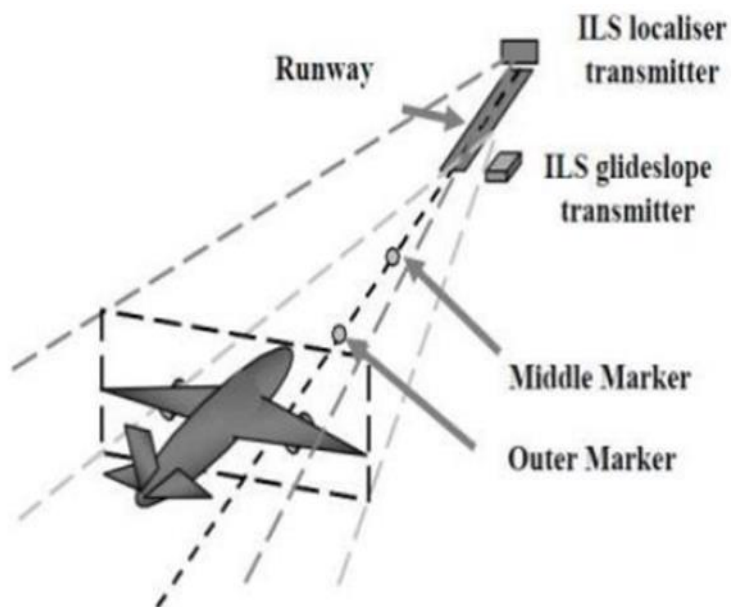
Κατά τη διάρκεια της προσέγγισης σε έναν αεροδιάδρομο, οι πιλότοι πρέπει να συμμορφώνονται με κριτήρια ύψος-εύρους των σταθμών αλλαγής επιπέδου ώστε να μην προκληθούν δυστυχήματα. Η προσέγγιση ακριβείας είναι μια ενόργανη προσέγγιση και προσγείωση που πραγματοποιούνται από αεροσκάφη παρέχοντας πλευρικές και κάθετες πληροφορίες αναλόγως με τις επιχειρησιακές κατηγορίες. Οι λειτουργικές κατηγορίες διαφέρουν ανάλογα με τις διαδικασίες προσέγγισης των αεροδρομίων και ταξινομούνται με βάση την οροφή συννεφιάς δηλαδή το ύψος της χαμηλότερης στρώσης νεφών από το έδαφος και την ορατότητα. Αναλόγως της αξιοπιστίας και ακρίβειας του συστήματος έχουμε τρεις κύριες κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες ορίζονται με βάση το ύψος απόφασης (DH) και την ορατότητα του διαδρόμου (RVR) [24]. Οι τιμές του ύψους απόφασης DH και των αποστάσεων ορατότητας του διαδρόμου RVR και Visibility που ισχύουν για τις τρέχουσες λειτουργικές κατηγορίες παρουσιάζονται στον κάτωθι πίνακα [25]:

Operation Categories	Decision Height (DH)	RVR	Visibility
CAT I	>60 m (200 ft)	>550m	>800m
CAT II	Between 30m and 60 m (100ft -200 ft)	>300m	
CAT III A	>30m (100 ft) or no DH	>175m	
CAT III B	<15m (50 ft) Or no DH	Between 50m and 175m	
CAT III C	No DH	No RVR limitations	

Πίνακας 3.1: Πίνακας λειτουργικών κατηγοριών Βάση Annex 10, Volume I — Aeronautical Telecommunications

### 3.1.3 Βασικές αρχές

Το σύστημα ILS αποτελείται από δύο βασικά στοιχεία: τον ILS localizer και τον ILS glide path. Ο ILS localizer παρέχει καθοδήγηση στο οριζόντιο επίπεδο, ενώ το ILS glide path παρέχει καθοδήγηση στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι πιλότοι ακολουθούν τις οδηγίες του ILS για να ευθυγραμμιστούν με τον αεροδιάδρομο και να κατευθυνθούν προς ασφαλή προσγείωση. Το ILS χρησιμοποιεί συνήθως ραδιοφάρους (marker beacons) και αισθητήρες που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της διαδρομής αεροδρομίου. Οι πιλότοι λαμβάνουν τις πληροφορίες του ILS μέσω ειδικών δεικτών στον πίνακα οργάνων του αεροσκάφους και χρησιμοποιούν αυτές τις πληροφορίες για να διορθώσουν την πορεία τους προς τη διάδρομο αεροδρομίου. Στο σχήμα 3.3 παρουσιάζεται η χωροθέτηση του συστήματος ILS.



Σχήμα 3.3: Χωροθέτηση συστήματος ILS {πηγή «Ανάλυση κρίσιμων παραγόντων ποιότητας για τη μελέτη και τον σχεδιασμό Συστήματος Ενόργανης Προσεγγίσης (ILS)» [22]}.

### 3.1.4 ILS Localizer

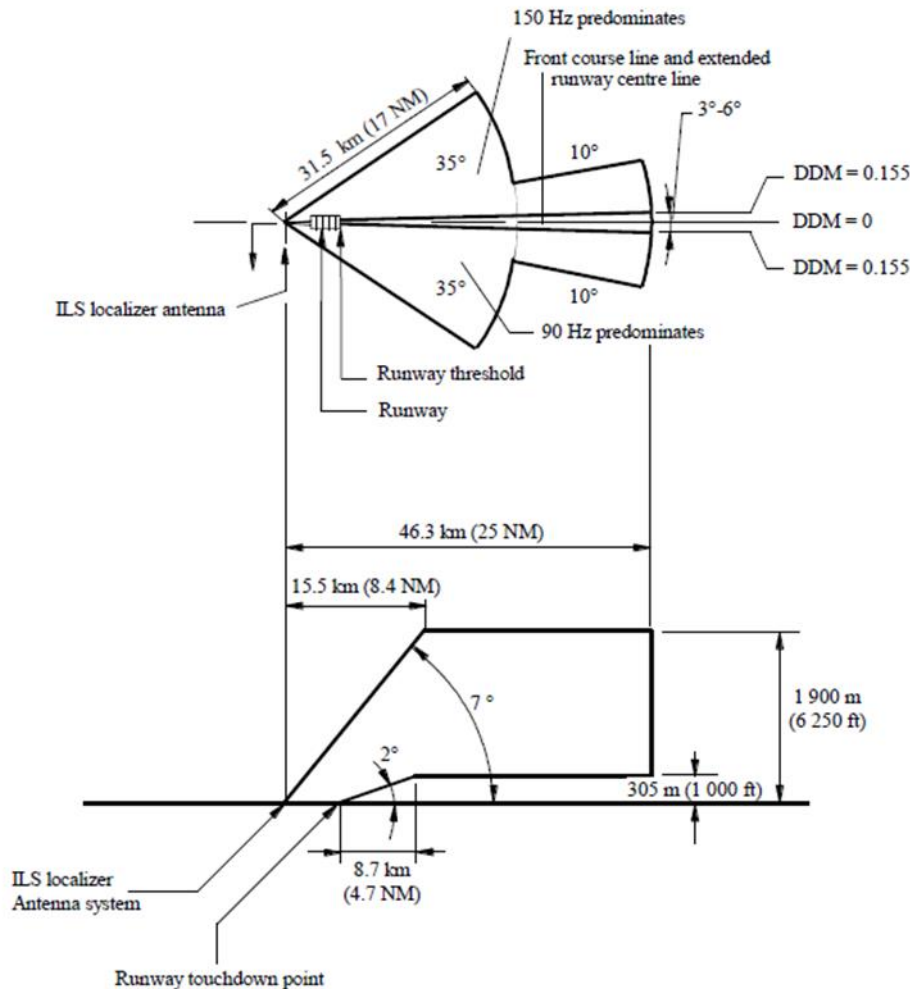
Ο ILS Localizer είναι σχεδιασμένος για να παρέχει καθοδήγηση στον πιλότο κατά την προσέγγιση στον αεροδιάδρομο ακόμη και όταν η πορεία προσέγγισης δεν είναι ευθυγραμμισμένη με τον αεροδιάδρομο. Επίσης παρέχει καθοδήγηση στον πιλότο και κατά την προσεγγίωση.

Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει και κάλυψη πίσω πορείας (back course). ο ILS localizer χρησιμοποιείται για να παρέχει καθοδήγηση στα αεροσκάφη, ανεξαρτήτως της πορείας της πίστας, και η Διαδοχική Περιοχή Κάλυψης (DOC) μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις

Για να εξασφαλιστεί η αξιόπιστη λειτουργία του ILS κατά τη διάρκεια της προσεγγίωσης των αεροσκαφών στην πορεία της προπορευόμενης κατεύθυνσης του Localizer η ένταση πεδίου του σήματος πρέπει να είναι κατ' ελάχιστο 32 dB(μV/m) ή ισοδύναμα 40 μV/m. Επίσης 32 dB(μV/m) πρέπει να είναι η ελάχιστη ισχύς εφόσον διατίθεται υπηρεσία στην περιοχή κάλυψης της αντίθετης κατεύθυνσης του ILS Localizer. Βάση του παραρτήματος 10 της ICAO υπάρχουν τμήματα της περιοχής κάλυψης του ILS Localizer όπου απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς πεδίου ώστε να αυξηθεί ο σηματοθορυβικός λόγος και να βελτιωθεί η αξιοπιστία του συστήματος. Αυτό ισχύει για την προπορευόμενη κατεύθυνση του ILS Localizer, από απόσταση 18,5 χιλιομέτρων (10 ναυτικά μίλια) μέχρι το σημείο αφής στον αεροδιάδρομο, όπου απαιτούνται σήματα ισχύος 39 έως 46 dB(μV/m), αναλόγως αν το ILS ανήκει στην κατηγορία I, II ή III.

Οι συχνότητες τις οποίες καταλαμβάνει το ILS Localizer είναι από 108 μεγακύκλους έως 112 με βήμα 0,05 μεγακύκλων. Τα σαράντα διαθέσιμα κανάλια είναι : 108.10, 108.15, 108.30, 108.35 MHz κ.λπ. έως 111.70, 111.75, 111.90 και 111.95 MHz [18]. Χρησιμοποιεί τις συχνότητες στις οποίες τα δέκατα του μεγακύκλου είναι περιττοί αριθμοί παραδείγματος χάρη τις 108.10 και 108,15 που αναφέρθηκαν προηγουμένως, και όχι τις 108.20 ή 108,25 όπου τα δέκατα είναι ζυγοί αριθμοί [26]. Επίσης η πολικότητα των σημάτων του ILS Localizer είναι οριζόντια.

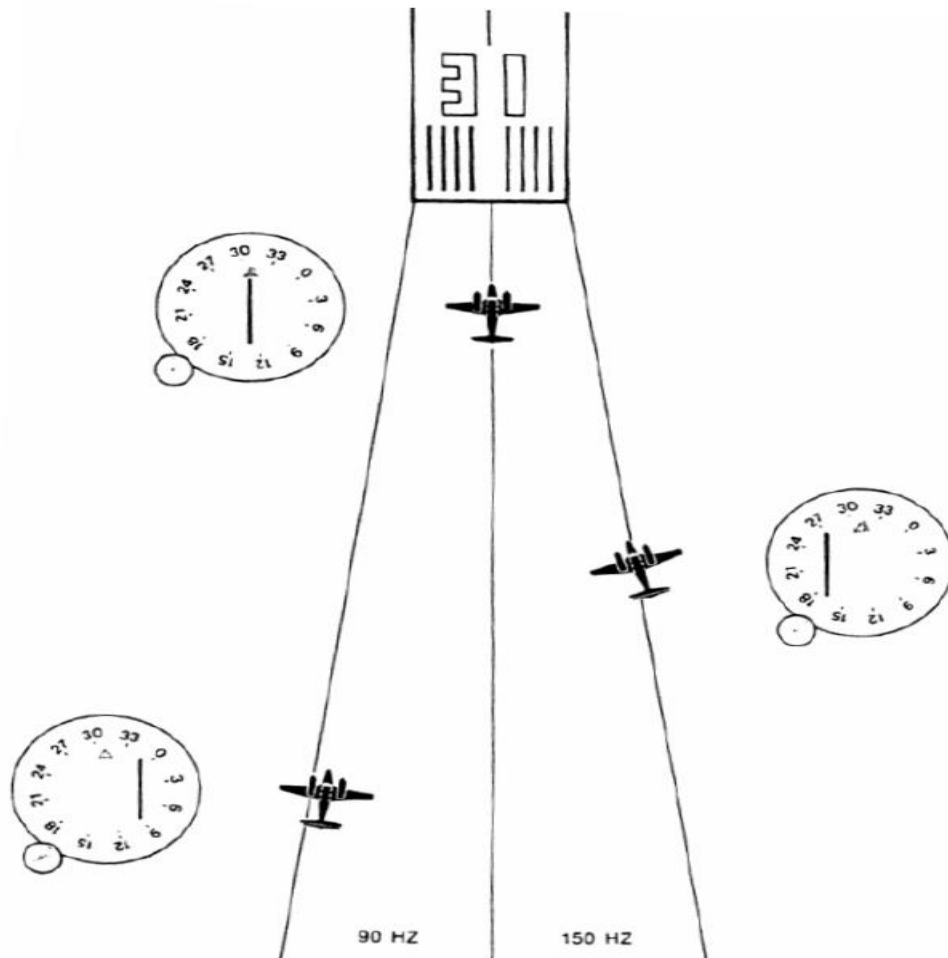
Ο τυπικός σχεδιασμός DOC μπροστινής πορείας για ILS Localizer βασιζόμενος στο Annex 10 Aeronautical Telecommunications, της ICAO δίνεται στο ακόλουθο σχήμα 3.4:



Σχήμα 3.4: Τυπικός σχεδιασμός DOC μπροστινής πορείας του ILS Localizer (πηγή ITU-R SM.1009-1 [18]).

Το σήμα το οποίο λαμβάνει ο δέκτης του αεροσκάφους ώστε να γνωρίζει το κέντρο του αεροδιαδρόμου εκπέμπεται από τον επίγειο σταθμό του Localizer παράγεται από δύο Α.Μ. διαμορφωμένα σήματα το ένα στα 90 kHz και το άλλο στα 150 kHz. Οι κεραίες είναι τοποθετημένες έτσι ώστε να διασταυρώνονται στο κέντρο του αεροδιαδρόμου οι κύριοι λοβοί των εκπεμπόμενων σημάτων.

Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό από το σχήμα 3.5, έχοντας εκ δεξιών του κέντρου όπως προσεγγίζει το αεροσκάφος τον αεροδιάδρομο, το σήμα των 150kHz και εκ των αριστερών το 90kHz κατά την προσέγγιση αναλόγως σε ποιο τμήμα βρίσκεται το αεροσκάφος ο πιλότος δέχεται ένδειξη προς τα που πρέπει να κατευθυνθεί ώστε να ευθυγραμμιστεί με το κέντρο του αεροδιαδρόμου.

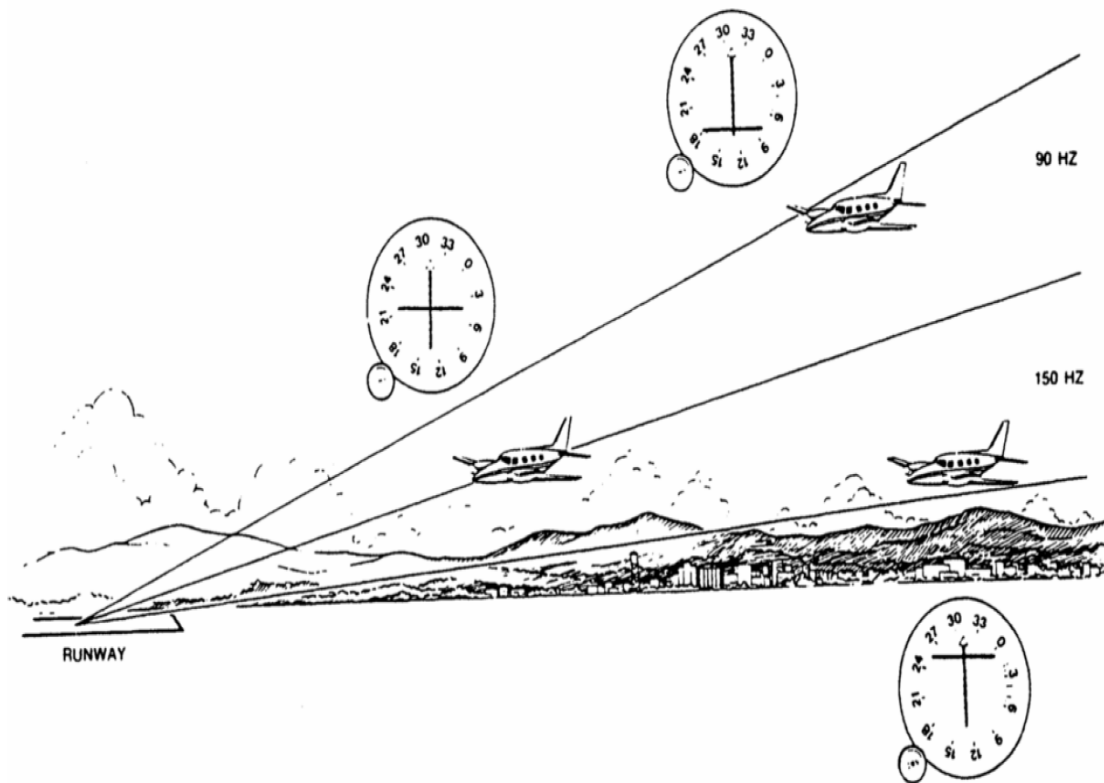


Σχήμα 3.5: Προσέγγιση με τη βοήθεια του ILS Localizer (πηγή «ΠΛΟΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ – EMC ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ»).

### 3.1.5 Glide slope

Το ILS glide slope λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με το Localizer και έχει και ίδιο μπλοκ διάγραμμα. Δύο διαμορφωμένα σήματα στην ίδια φέρουσα μεταδίδονται γύρω από την ιδανική πορεία πτήσης. Η ιδανική πορεία πτήσης βρίσκεται συνήθως τρεις μοίρες από το έδαφος. Η φέρουσα συχνότητα για το ILS glide slope είναι μία από τις 40 υπερύψηλές συχνότητες (UHF) μεταξύ 329.15 MHz και 335.0 MHz [27]. Όπως και στο Localizer έτσι και εδώ έχουμε δύο εκπομπούς στην ίδια συχνότητα που εκπέμπουν δύο διαμορφωμένα A.M. σήματα 90 Hz και 150 Hz. Ο λοβός ακτινοβολίας των 90 Hz βρίσκεται πάνω από αυτόν των 150 Hz όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.6. Στην περιοχή όπου τέμνονται και όπου τα πλάτη των δύο

σημάτων είναι ίσα έχουμε το Glide path το οποίο πρέπει να ακολουθήσει το αεροσκάφος ώστε να προσγειωθεί [26].



Σχήμα 3.6: Λοβοί ακτινοβολίας Glide slope (πηγή [www.Avionics11st.com](http://www.Avionics11st.com) [28]).

Για κάθε συχνότητα του glideslope αντιστοιχεί μοναδική συχνότητα του localizer. Καθ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται ζευγάρια συχνοτήτων. Επιλέγοντας τη συχνότητα του ILS Localizer ο δέκτης αυτόματα επιλέγει την αντίστοιχη συχνότητα του glideslope. Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται ζεύγη συχνοτήτων ILS localizer και glideslope.

Localizer	Glideslope	Localizer	Glideslope	Localizer	Glideslope	Localizer	Glideslope
108.1	334.7	109.1	331.4	110.1	334.4	111.1	331.7
108.15	334.55	109.15	331.25	110.15	334.25	111.15	331.55
108.3	334.1	109.3	332	110.3	335	111.3	332.3
108.35	333.95	109.35	331.85	110.35	334.85	111.35	332.15
108.5	329.9	109.5	332.6	110.5	329.6	111.5	332.9
108.55	329.75	109.55	332.45	110.55	329.45	111.55	332.75
108.7	330.5	109.7	332.2	110.7	330.2	111.7	333.5
108.75	330.35	109.75	332.05	110.75	330.05	111.75	333.35
108.9	329.3	109.9	333.8	110.9	330.8	111.9	333.1
108.95	329.15	109.95	333.65	110.95	330.65	111.95	332.95

Πίνακας 3.2: Ζεύγη συχνοτήτων ILS Localizer και Glideslope (πηγή *Position Navigation and Timing Technologies in the 21<sup>st</sup> Century* [27]).

### 3.1.6 Marker beacons

Οι ραδιοφάροι marker beacons χρησιμοποιούνται για να δώσουν πληροφορίες στο αεροσκάφος κατά την κάθοδο αναφορικά με την απόσταση και την ορθή προσέγγιση της αρχής του αεροδιαδρόμου μέσω της χρήσης φωτισμού Morse. Κάθε σταθμός χρησιμοποιεί διαφορετική φωτεινή ένδειξη Morse και συχνότητα για να επικοινωνήσει με το αεροσκάφος. Οι ραδιοσημαντήρες εκπέμπουν κάθετα ως προς τις εκπομπές των Localizer και Glide slope σε καθορισμένες αποστάσεις. Το φέρον σήμα εκπέμπεται σε συχνότητα 75 MHz με κατεύθυνση κάθετη προς τα επάνω [26].

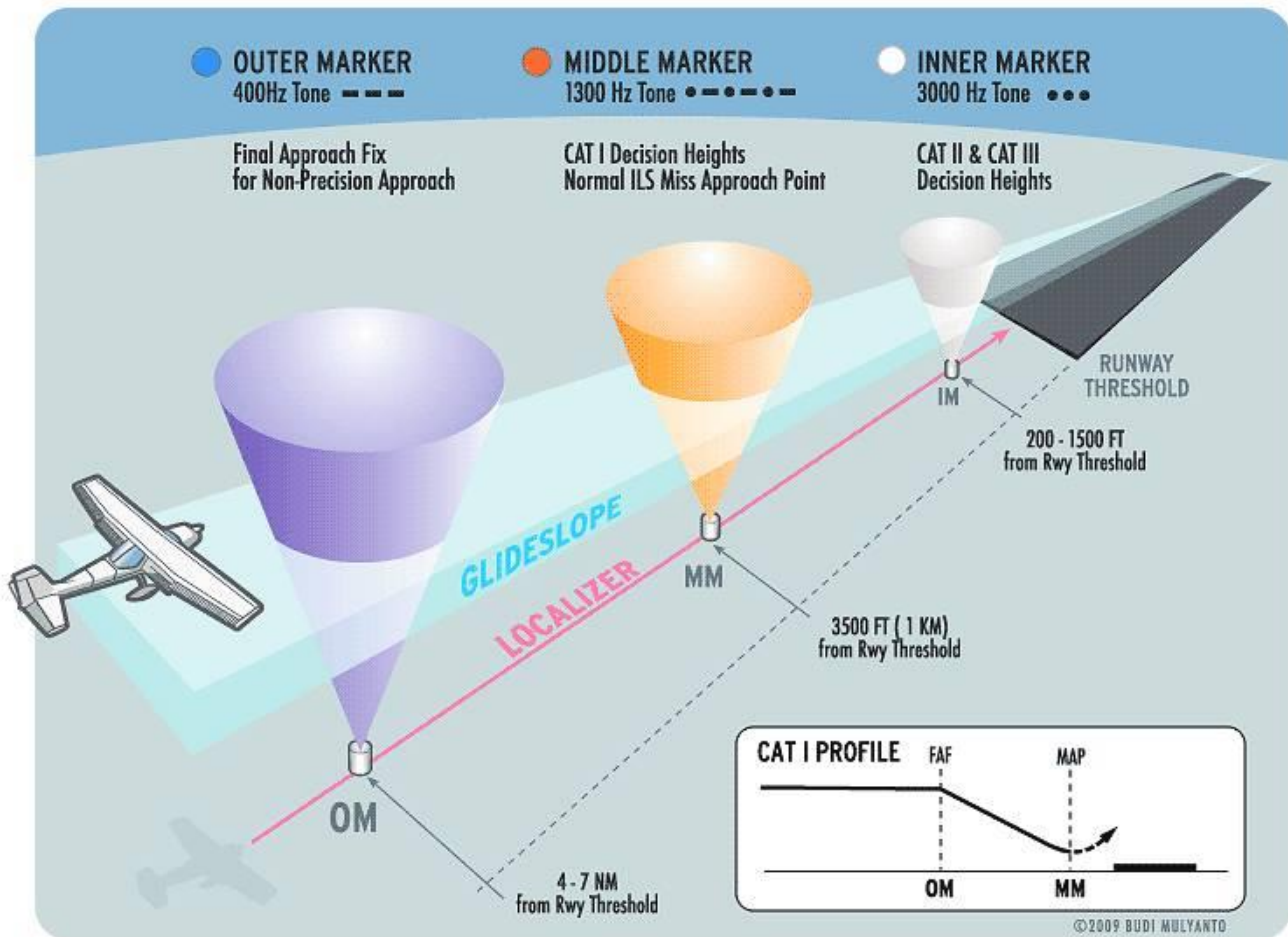
Οι τρεις σταθμοί ραδιοσημαντήρων όπως καταδεικνύονται και στο σχήμα 3.7 είναι:

- Ο εσωτερικός (Inner Marker) - IM (3000 Hz) λευκού χρώματος, σε απόσταση 400 μέτρων.
- Ο μεσαίος (Middle Marker) - MM (1300 Hz) πορτοκαλί χρώματος, σε απόσταση 1200 μέτρων.
- Ο εξωτερικός (Outer Marker) - OM (400 Hz) μπλε χρώματος, σε απόσταση 7500 μέτρων από την αρχή του αεροδιαδρόμου.

Ο εξωτερικός καθορίζει το σημείο όπου το προσεγγίζον αεροσκάφος, σε καθορισμένο ύψος, εντοπίζει τη γωνία κλίσης του glide path. Η φέρουσα συχνότητα τροποποιείται με 400 Hz και ενεργοποιείται η παύλα (- - -). Είναι και το τελικό σημείο προσέγγισης (Final Approach Fix – FAF) του αεροσκάφους προς τον αεροδιάδρομο προσγείωσης όπου ο πιλότος πραγματοποιεί τις τελικές ρυθμίσεις και ευθυγραμμίζει το αεροσκάφος με το αεροδιάδρομο.

Ο μεσαίος καταδεικνύει το σημείο όπου το αεροσκάφος βρίσκεται σε απόσταση 3500 ποδιών από την αρχή του διαδρόμου και 200 ποδιών πάνω από το έδαφος. Το εκπεμπόμενο σήμα είναι A.M. διαμόρφωσης στα 1300Hz και ενεργοποιούνται η παύλα-τελεία (. \_ . \_ . \_ . \_ .). Είναι και το σημείο επαναπροσέγγισης (Miss Approach Point – MAP) όπου αν λόγω ορατότητας ή άλλων παραγόντων δεν επιτευχθούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις για ασφαλή προσγείωση ο πιλότος αποφασίζει τη διακοπή της ή την επανεκτέλεση της προσέγγισης.

Ο εσωτερικός καταδεικνύει ότι το αεροσκάφος βρίσκεται στο σημείο DH. Το εκπεμπόμενο σήμα είναι A.M. διαμόρφωσης στα 3000 Hz και ενεργοποιείται η τελεία (. . .)[24], [26].



Σχήμα 3.7: Marker Beacons (πηγή: Marker Beacon System Using Arduino [29])

## 3.2 VOR

### 3.2.1 Εισαγωγή

Το VHF Omnidirectional Range (VOR) είναι ένα σύστημα που χρησιμοποιεί υψηλή συχνότητα για να καθορίσει μια μαγνητική κατεύθυνση. Είναι ένα βοηθητικό σύστημα μικρής εμβέλειας και συνήθως είναι συντονισμένο με ένα σταθμό μέτρησης αποστάσεων (Distance Measuring Equipment - DME), καθώς παρέχει πιο ακριβή μέτρηση απόστασης από το VOR [30]. Τα VOR επίσης μπορούν να συντοποθετηθούν με συστήματα TACAN (Tactical Air Navigation System), επιτρέποντας έτσι τον προσδιορισμό της οριζόντιας θέσης με τη χρήση ενός μόνο εδαφικού σταθμού [27]. Το VOR κατέστη βασικό βοήθημα ραδιοπλοήγησης το 1946 στις ΗΠΑ, και στον υπόλοιπο κόσμο τρία χρόνια αργότερα το 1949. Παλαιότερα βασιζόντουσαν σε μεταδόσεις χαμηλής/μεσαίας συχνότητας (LF/MF) όπου όμως υπήρχαν περιορισμοί στην εμβέλεια λόγω των χαμηλών συχνοτήτων. Επίσης ήταν ευάλωτες στο θόρυβο οικιακών συσκευών αλλά και ασύρματων δικτύων, σε παρεμβολές από φυσικά και ανθρωπογενή

εμπόδια όπως κτήρια, βουνά ή το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και λόγω της μετάδοσης μέσω επίγειων κυμάτων εκτός από περιορισμούς στην εμβέλεια υπήρχαν και περιορισμοί στην αξιοπιστία καθώς τα εμπόδια στην επιφάνεια της γης μπορούν να απορροφήσουν ή να ανακλάσουν τα σήματα, προκαλώντας απώλειες και παραμορφώσεις.

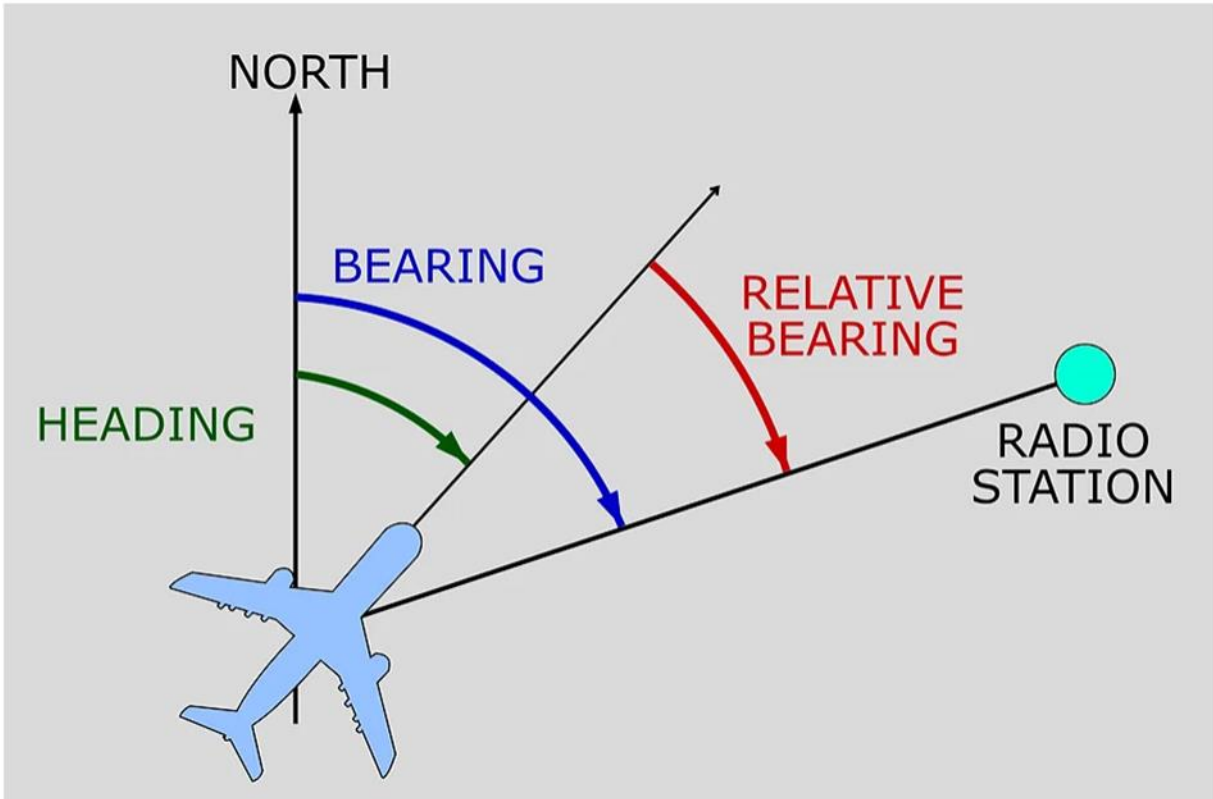
Για την εξάλειψη των περιορισμών αυτών αναπτύχθηκε το σύστημα VOR το οποίο βασίζεται σε συχνότητες VHF (Very High Frequency). Καθώς η διάδοση σε VHF χρησιμοποιεί ουράνια κύματα (sky waves) εξαλείφθηκαν τα προβλήματα τα οποία σχετίζονταν με την διάδοση σε LF/MF.

### 3.2.2 Βασικοί ορισμοί

Βασικοί όροι οι οποίοι παρουσιάζονται στο σχήμα 3.8 είναι:

- **Aircraft Heading**  
Η δεξιόστροφη γωνία από τον Βόρειο Πόλο προς τη μύτη του αεροσκάφους ονομάζεται κατεύθυνση του αεροσκάφους. Εάν αναφερόμαστε στο Μαγνητικό Βορρά τότε έχουμε τη μαγνητική κατεύθυνση (Magnetic Heading) ενώ αν η κατεύθυνση ορίζεται από τον Πραγματικό Βορρά τότε έχουμε την πραγματική κατεύθυνση (True Heading).
- **Bearing**  
Η δεξιόστροφη γωνία από τον Βόρειο Πόλο προς το σταθμό εκπομπής ονομάζεται απόκλιση από τον σταθμό (Bearing). Αν αναφερόμαστε στο Μαγνητικό Βορρά τότε έχουμε τη μαγνητική απόκλιση (Magnetic Bearing), ενώ αν αναφερόμαστε στον Πραγματικό Βορρά τότε έχουμε την πραγματική απόκλιση (True Bearing).
- **Relative Bearing**  
Η γωνία μεταξύ της απόκλισης προς έναν σταθμό και της κατεύθυνσης του αεροσκάφους ονομάζεται αναφορική απόκλιση (Relative Bearing).

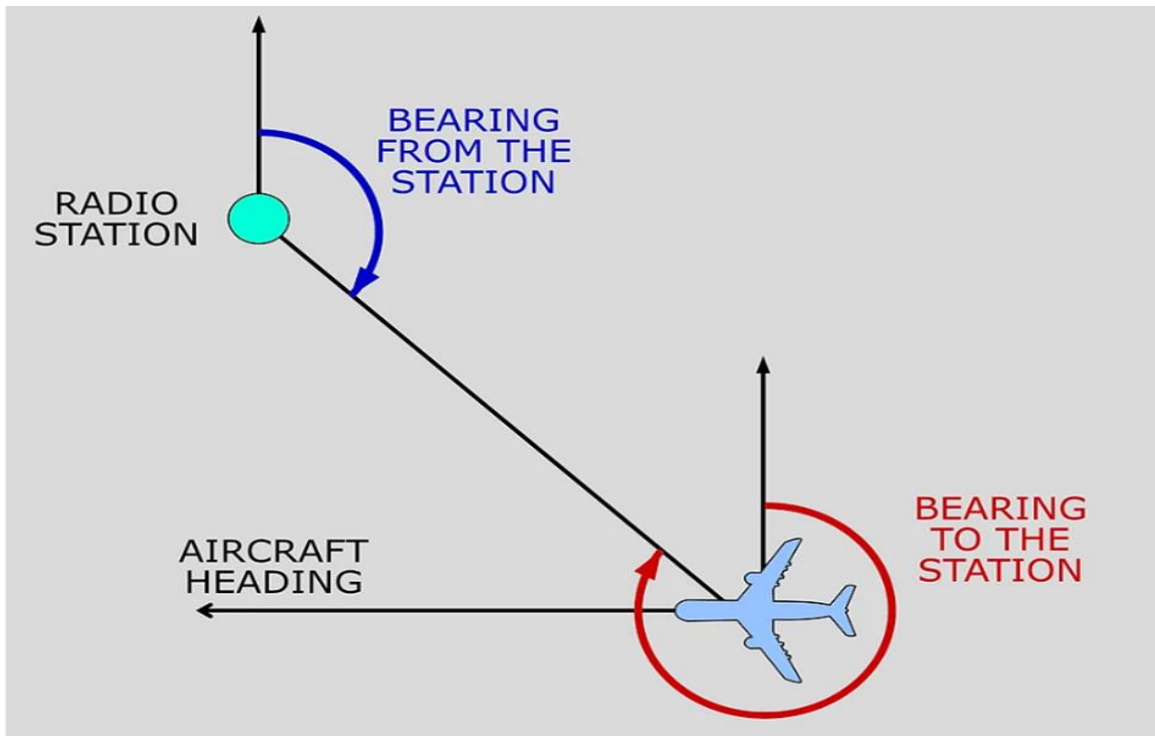




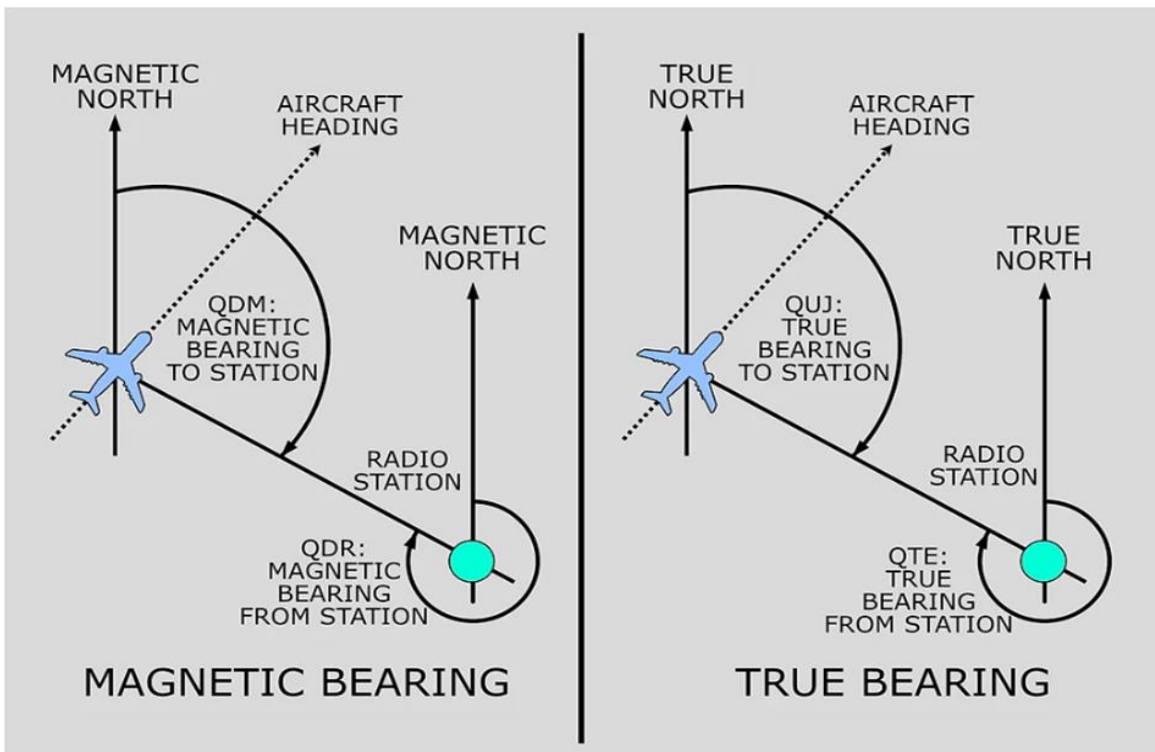
Σχήμα 3.8: Απεικόνιση των όρων *Relative Bearing*, *Bearing* και *Heading* (πηγή *study aircrafts* [31])

Η απόκλιση υπολογίζεται πάντα δεξιόστροφα και ανάλογα με το αν το αεροσκάφος κινείται προς ή από το τον σταθμό έχουμε την απόκλιση προς (*Bearing TO*) και την απόκλιση από (*Bearing FROM*) αντιστοίχως όπως στο σχήμα 3.9. Επίσης οι αποκλίσεις του σχήματος 3.10 υπολογίζονται ως προς τον πραγματικό και τον μαγνητικό βορρά και αναφέρονται βάση του κώδικα Q ως εξής:

- QDM η μαγνητική απόκλιση προς το σταθμό
- QDR η μαγνητική απόκλιση από το σταθμό
- QUJ η πραγματική απόκλιση προς το σταθμό
- QTE η πραγματική απόκλιση από το σταθμό

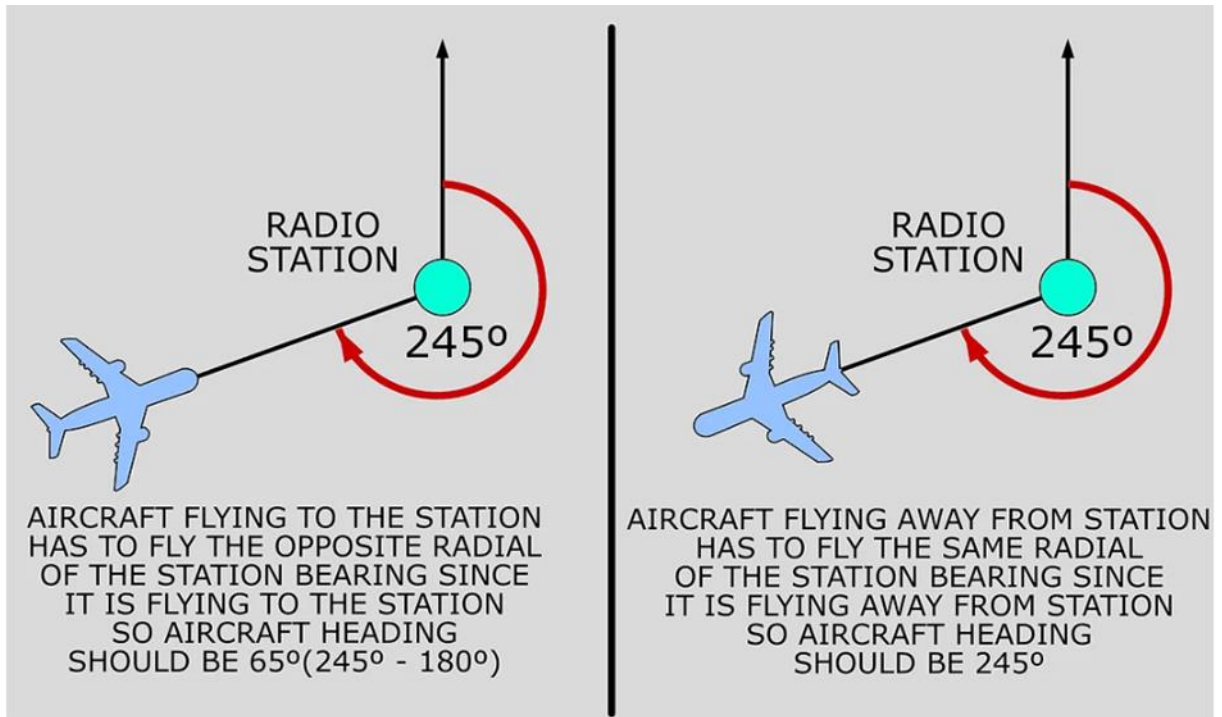


Σχήμα 3.9: Απόκλιση από και προς το σταθμό (πηγή study aircrafts [31])



Σχήμα 3.10: Μαγνητική και πραγματική απόκλιση (πηγή study aircrafts [31])

- Τέλος πρέπει να αναφερθούμε στη σχέση μεταξύ της κατεύθυνσης πτήσης του αεροσκάφους και της κατεύθυνσης του σταθμού του σχήματος 3.11. Καθώς το αεροσκάφος πετά προς τον σταθμό, πρέπει να πετά αντίθετα από την ακτίνα που δείχνει του σταθμού ώστε να πλησιάσει στον σταθμό. Αντίθετα, όταν το αεροσκάφος απομακρύνεται από τον σταθμό, πρέπει να πετά με κατεύθυνση ίδια με εκείνη που δείχνει ο σταθμός ώστε να απομακρύνεται από αυτόν.

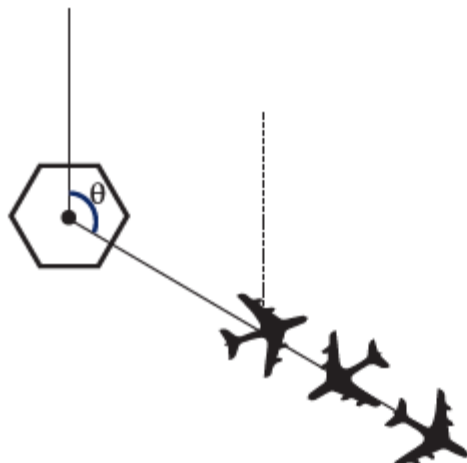


Σχήμα 3.11: Κατεύθυνση από και προς το σταθμό (πηγή study aircrafts [31])

### 3.2.3 Βασικές αρχές

Το VHF Omnidirectional Range (VOR) είναι ένα είδος ραδιοπλοήγησης μικρής εμβέλειας για αεροσκάφη. Μέσω ενός δέκτη δύναται το πλήρωμα του αεροσκάφους να προσδιορίζει τη θέση του και να παραμένει εντός της προκαθορισμένης επιθυμητής πορείας λαμβάνοντας ραδιοκύματα μεταδιδόμενα από ένα δίκτυο σταθερών επίγειων ραδιοφάρων.

Τα VOR συστήματα παρέχουν στο χρήστη τη μαγνητική κατεύθυνση προς τον σταθμό εδάφους. Η οποία είναι η απόλυτη γωνία του αεροσκάφους προς τον σταθμό εδάφους σε σχέση με το μαγνητικό βορρά. Η κατεύθυνση αυτή δεν εξαρτάται από τον προσανατολισμό του αεροσκάφους όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 3.12 η γωνία  $\theta$  που μετράται είναι ίδια για όλα τα αεροσκάφη ανεξάρτητα του προσανατολισμού τους [27].



Σχήμα 3.12: Η απόλυτη γωνία του αεροσκάφους ανεξάρτητη του προσανατολισμού του (πηγή: *Position, Navigation and Timing Technologies in the 21 Century* [27]).

Στο σχήμα 3.7 ως  $\theta$  θεωρείται η γωνία από τον σταθμό προς το αεροσκάφος με αναφορά στον μαγνητικό βορρά αυξανόμενη δεξιόστροφα.

Κάθε VOR λειτουργεί σε μια συχνότητα στο εύρος 108 MHz έως 117,95 MHz με απόσταση καναλιού 50 kHz. Στο εύρος 108 MHz έως 112 MHz έχουμε τη συνύπαρξη του συστήματος ILS (Instrument Landing System) και των τερματικών του VOR. Οι συχνότητες ILS ανατίθενται στις περιπτές δεκάδες του εύρους αυτού κάθε αυξομείωσης 50 kHz, για παράδειγμα 109,10 MHz, 109,15 MHz, 109,30 MHz κ.λπ. Οι συχνότητες του VOR ανατίθενται στις ζυγές δεκάδες του εύρους προσαυξάνοντας κατά 50 kHz, για παράδειγμα 109,20 MHz, 109,40 MHz, 109,60 MHz κ.λπ. Καθ' αυτόν τον τρόπο, διασφαλίζεται ότι οι συχνότητες των δύο συστημάτων διατηρούνται αρκούντως μακριά ώστε να μην προκαλέσουν παρεμβολές και να εξασφαλίζεται η ακριβής και ορθή λειτουργία του κάθε συστήματος. Έτσι από τα 200 διαθέσιμα στο εύρος αυτό κανάλια, τα 160 διατίθενται για την κάλυψη των αναγκών του VOR και τα εναπομείναντα 40 για τις ανάγκες του ILS. Τα 120 από τα συνολικά 160 του VOR ανατίθενται στο En-route VOR δηλαδή στα διελεύσεως και τα 40 στο Terminal VOR (TVOR) δηλαδή στα τερματικά. Επίσης τα σήματα του VOR είναι οριζόντιας πόλωσης.

Τα διελεύσεως διαθέτουν ισχύ 200W με εμβέλεια 49 ναυτικά μίλια και καταλαμβάνουν το εύρος συχνοτήτων μεταξύ 112 MHz έως 117,95 MHz ενώ τα Terminal VOR (TVOR) διαθέτουν ισχύ 50W με εμβέλεια 25 ναυτικά μίλια και καταλαμβάνουν το εύρος συχνοτήτων μεταξύ 108 MHz και 112 MHz.

Τα βοηθήματα πλοήγησης VOR διαθέτουν μοναδικούς τριψηφίους αναγνωριστικούς κωδικούς. Ο κωδικός αυτός διαμορφώνεται ως ένας ήχος συχνότητας 1020 Hz, τον οποίον το πλήρωμα δύναται να ακούσει υπό τη μορφή σήματος Morse. Βέβαια ορισμένα VOR παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματης φωνητικής αναγνώρισης που παρέχει το όνομα του σταθμού εναλλασσόμενο με σήμα αναγνώρισης Morse [26].

Η τοποθεσία (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) των επίγειων συστημάτων VOR επισημαίνεται μαζί με τις συχνότητες εκπομπής αυτών σε χάρτες πλοήγησης.

### 3.2.4 Χρήσεις VOR

Τα VOR χρησιμοποιούνται:

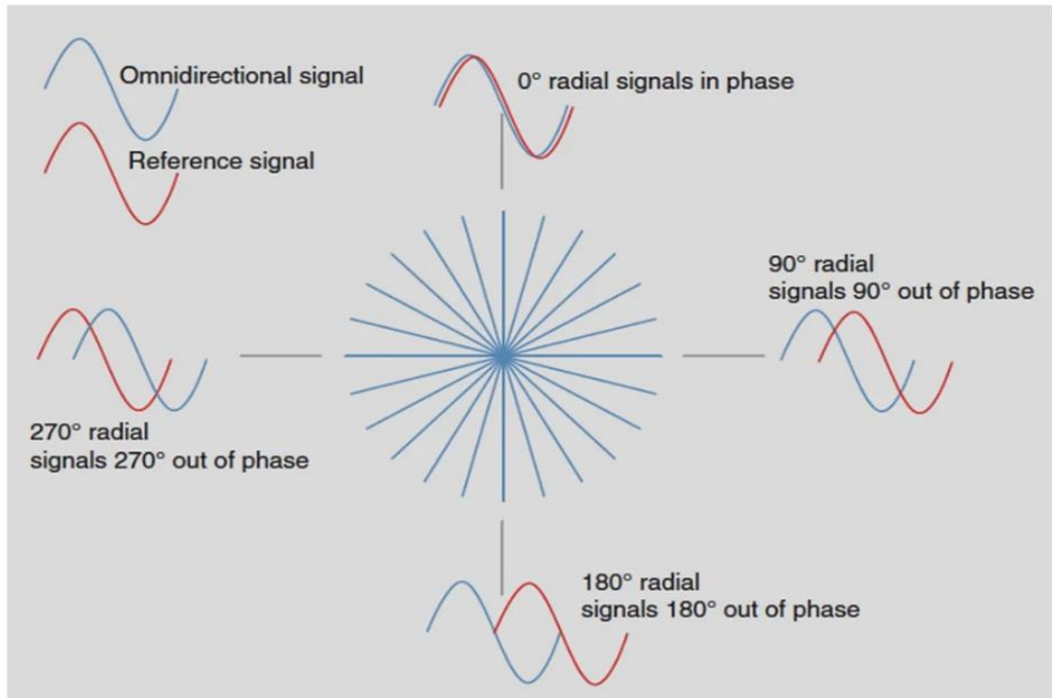
- Για τη σήμανση της αρχής, του τέλους και της κεντρικής γραμμής των αεροδρομίων ή ορισμένων τμημάτων των αεροδρομίων.
- Ως βοήθημα προσέγγισης και προσγείωσης σε αεροδιαδρόμους αεροδρομίων αν δεν υπάρχει σύστημα ILS.
- Ως σημείο κράτησης αεροσκαφών, για ορισμένο χρονικό διάστημα έως ότου δοθούν οι κατάλληλες οδηγίες ή αδειοδοτήσεις.
- Ως πηγή γραμμών πλοήγησης κατά τη διάρκεια πτήσεων σε ενδιάμεσες περιοχές με σκοπό τη διατήρηση της προκαθορισμένης πορείας του.
- Για τον καθορισμό της θέσης του αεροσκάφους.

### 3.2.5 Αρχή λειτουργίας

Η λειτουργία του σταθμού VOR βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του φάρου. Έστω ότι βρισκόμαστε βόρεια του φάρου παρακολουθώντας τη δέσμη της λάμπας του φάρου να κινείται γύρω γύρω. Την λάμψη αυτή της λάμπας τη βλέπουμε όταν το κάτοπτρο του φάρου δείχνει προς τη θέση μας. Μόλις μας φωτίσει ξεκινάμε να μετράμε έως ότου μας φωτίσει ξανά.

Αν η δέσμη χρειάστηκε παραδείγματος χάρη 20 δευτερόλεπτα για μια περιστροφή 360 μοιρών μπορούμε κατανέμοντας τα δευτερόλεπτα σε σημεία του ορίζοντα, να γνωρίζουμε σε ποια ακριβώς τοποθεσία στοχεύει η δέσμη ανά πάσα στιγμή. Έτσι, όταν περάσουν 10 δευτερόλεπτα από την αναλαμπή, η δέσμη θα είναι στραμμένη νότια, δηλαδή 180 μοίρες κτλ.

Με παρόμοιο τρόπο με αυτό του φάρου λειτουργεί και το VOR αλλά αυτό διαθέτει αντί για μία λάμψη, δύο ημιτονοειδή σήματα σε VHF, το σήμα αναφοράς και το μεταβλητό σήμα φάσης. Το σήμα αναφοράς είναι πανκατευθυντικό σήμα με την ίδια φάση σε όλες τις κατευθύνσεις, ενώ το μεταβλητό σήμα φάσης έχει μεταβαλλόμενη φάση γύρω από τον κύκλο από 0° έως 360° σε σχέση με το σήμα αναφοράς, η οποία εξαρτάται από τη θέση ή την απόκλιση του σταθμού από τον βόρειο πόλο βλέπε σχήμα 3.13 [32]. Για τον υπολογισμό της θέσης του σταθμού σε σχέση με το Βορρά, υπολογίζουμε τη διαφορά φάσης. Τα δύο σήματα είναι συμφασικά κατά μήκος του μαγνητικού Βορρά, έχουν 90° διαφορά φάσης στην Ανατολή, 180° στον Νότο και 270° στη Δύση.



Σχήμα 3.13: Διαφορά φάσης σε σχέση με τα σημεία του ορίζοντα (πηγή study aircrafts [12])

Δηλαδή η λειτουργία του VOR βασίζεται στη μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ του σήματος αναφοράς και του μεταβλητού σήματος που λαμβάνονται από το αεροσκάφος. Στο σταθμό VOR είναι τοποθετημένοι οι δύο σηματοδότες οι οποίοι και περιστρέφονται γύρω από τον άξονά τους. Λόγω αυτής της περιστροφής προκαλείται μια μεταβολή στη φάση του μεταβλητού σήματος, ενώ η φάση του αναφοράς παραμένει σταθερή.

Όταν τα δύο σήματα μεταβλητό και σταθερό λαμβάνονται από τον δέκτη του αεροσκάφους, υπολογίζεται η διαφορά φάσης τους η οποία αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη γωνία ή κατεύθυνση από τον σταθμό VOR προς το αεροσκάφος. Έτσι μπορεί ο πιλότος να προσδιορίσει την κατεύθυνση του αεροσκάφους από τον σταθμό VOR και να διατηρήσει την επιθυμητή πορεία, να κατευθυνθεί προς ένα αεροδρόμιο ή τον αεροδιάδρομο που του έχει υποδειχθεί.

### 3.2.6 Τύποι VOR

Οι τύποι VOR οι οποίοι χρησιμοποιούνται είναι [31]:

- CVOR - Ο Conventional VOR χρησιμοποιείται για τον καθορισμό αεροδρομίων και για πλοήγηση κατά τη διάρκεια της πτήσης.
- BVOR – Broadcast VOR που παρέχει πληροφορίες καιρού και αεροδρομίου
- DVOR – Doppler VOR διαθέτει ατρωσία σε σφάλματα τοποθέτησης
- TVOR - Terminal VOR που έχει μόνο χαμηλή ισχύ και χρησιμοποιείται σε μεγάλα αεροδρόμια

- VOT - Βρίσκεται σε ορισμένα αεροδρόμια και δεν χρησιμοποιείται για πλοήγηση αλλά για τον έλεγχο της ακρίβειας του VOR εξοπλισμού του αεροσκάφους πριν από μια πτήση. Σφάλμα μεγαλύτερο από  $\pm 4^\circ$  δηλώνει ότι απαιτείται συντήρηση του εξοπλισμού.
- VORTAC – Συνδυασμός των συστημάτων VOR και TACAN (DME)

Οι δύο πιο κοινά χρησιμοποιούμενοι τύποι VOR είναι ο CVOR και ο DVOR. Και οι δύο χρησιμοποιούν τον ίδιο σχεδιασμό κεραίας VHF, γνωστής ως "Alford loop". Η "Alford loop" αποτελείται από ένα ζεύγος κεραιών 90 μοιρών, τοποθετημένων σε τετράγωνο σχήμα και τροφοδοτούμενων σε αντίφαση από τον ταλαντωτή. Αυτός ο σχεδιασμός δημιουργεί ένα σταθερό σήμα φέροντος στη συχνότητα των VHF, ενώ η κίνηση των κεραιών σε αντίφαση παράγει τη μοναδική φάση που χρησιμοποιείται για την πλοήγηση.

Η κύρια διαφορά μεταξύ του CVOR και του DVOR είναι οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των μεταβλητών και αναφοράς παλμών στα 30 Hz. Στο CVOR, οι παλμοί παράγονται με τη χρήση αμφίδρομης πλευρικής (AM) διαμόρφωσης, ενώ στο DVOR, χρησιμοποιείται διαμόρφωση συχνότητας (FM). Η μεταβλητή φάση του σήματος δημιουργείται με την περιστροφή των κεραιών DVOR σε αντιωρολογιακή κατεύθυνση στις 30 περιστροφές ανά δευτερόλεπτο. Αυτή η μεταβλητή φάση συνδέεται με την κατεύθυνση ή την θέση του σταθμού από τον βόρειο πόλο και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θέσης του σταθμού σε σχέση με τον βόρειο πόλο.

Με αυτόν τον τρόπο, οι πιλότοι μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις φάσεις των δύο σημάτων για να προσδιορίσουν την κατεύθυνση του σταθμού από τον βόρειο πόλο. Όταν τα δύο σήματα είναι σε φάση αντιπροσωπεύουν το μαγνητικό βορρά. Όταν είναι σε αντίφαση 90 μοιρών, αντιπροσωπεύουν την ανατολή. Στα 180 μοίρες αντίφαση, αντιπροσωπεύουν το νότο, και στα 270 μοίρες αντίφαση, αντιπροσωπεύουν τη δύση. Αυτές οι πληροφορίες φάσης χρησιμοποιούνται από τους πιλότους για την πλοήγηση και τον υπολογισμό της θέσης τους σε σχέση με τον σταθμό VOR.

### 3.2.6.1 Conventional VOR (CVOR)

Οι σταθμοί Conventional VOR (CVOR) εκπέμπουν δύο σήματα, οριζόντια πολωμένα και μεταδίδονται σε VHF. Ένα σήμα αναφοράς και ένα μεταβλητό.

Το σήμα αναφοράς συχνότητας 30 Hz διαμόρφωσης FM μεταδίδεται μέσω ενός φέροντος διαμορφωμένου κατά πλάτος, συχνότητας 9950 Hz με απόκλιση  $\pm 480$  Hz. Το μεταβλητό κατευθυντικό σήμα είναι επίσης συχνότητας 30 Hz a.m. διαμόρφωσης και εκπέμπεται ως ένα μοτίβο σχήματος καρδιάς, το οποίο περιστρέφεται ηλεκτρονικά δεξιόστροφα με ταχύτητα 30 περιστροφών ανά δευτερόλεπτο.

Το μεταβλητό σήμα φάσης ακτινοβολείται ως πρότυπο σχήματος καρδιάς, που είναι ένα προκαθορισμένο μοτίβο ακτινοβολίας. Η ένταση δηλαδή του σήματος δεν είναι ομοιόμορφη σε όλες τις κατευθύνσεις, αλλά έχει μια προκαθορισμένη καμπύλη που ακολουθεί το σχήμα μιας καρδιάς. Αυτό χρησιμοποιείται για να περιορίσει την ακτινοβολία του μεταβλητού σήματος μόνο

σε συγκεκριμένες κατευθύνσεις, ενώ το σήμα αναφοράς εκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Επιτρέποντας έτσι στον ανιχνευτή του αεροσκάφους να ανιχνεύσει τη φάση του μεταβλητού σήματος και να υπολογίσει την κατεύθυνση προς τον σταθμό VOR.

Η ταυτοποίηση ενός σταθμού γίνεται μέσω κώδικα μορς και μεταδίδεται σε συχνότητα 1020 Hz a.m. διαμόρφωσης, κατ' ελάχιστον τρεις φορές σε κάθε 30 δευτερόλεπτα. Ένα αεροσκάφος το οποίο βρίσκεται βόρεια του σταθμού, λαμβάνει τα μεταβλητά και τα σήματα αναφοράς σε φάση. Όμως ένα αεροσκάφος το οποίο βρίσκεται σε X μοίρες μαγνητική απόκλιση από τον σταθμό, η φάση του μεταβλητού σήματος θα καθυστερεί έναντι του σήματος αναφοράς κατά X μοίρες. Ο δέκτης του αεροσκάφους, λαμβάνει το σύνθετο σήμα, το οποίο εκπέμπεται από τον σταθμό στον οποίο είναι συντονισμένος και μετά το διαχωρισμό μέσω φίλτρων συγκρίνεται η φάση του μεταβλητού με του φέροντος. Η διαφορά φάσης που τυχόν προκύψει μας δίνει την απόκλιση από το σταθμό. Η πραγματική ανάγνωση βέβαια που δίνεται στον πιλότο από τα όργανα του αεροσκάφους είναι η απόκλιση προς τον σταθμό και όχι από τον σταθμό. Δηλαδή αν η διαφορά φάσης μεταξύ του μεταβλητού σήματος και του αναφοράς είναι  $105^\circ$ , η γωνία προς τον σταθμό είναι  $105^\circ + 180^\circ = 285^\circ$ .

Οι σταθμοί εδάφους CVOR πρέπει να τοποθετούνται με προσοχή, λαμβάνοντας υπόψη τοπικά χαρακτηριστικά και εμπόδια όπως βουνά και δέντρα καθώς μπορούν να προκληθούν πολλαπλές ανακλάσεις του σήματος (multipath reflections) οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν παραμόρφωση του σήματος. Η παραμόρφωση αυτή είναι γνωστή ως σφάλματα τοποθέτησης (siting errors). Τα σφάλματα αυτά, μπορούν να επηρεάσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία της πλοήγησης. Για να αντιμετωπιστούν αυτά τα σφάλματα, αναπτύχθηκε ένα βελτιωμένο σύστημα δεύτερης γενιάς γνωστό ως Doppler VOR (DVOR) το οποίο χρησιμοποιεί την αρχή του Doppler [31].

### 3.2.6.2 Doppler VOR (DVOR)

Το σύστημα DVOR μέσω της αρχής του Doppler αντιμετωπίζει τις παραμορφώσεις του σήματος, δίνοντας έτσι μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στην πλοήγηση σε σχέση με το CVOR που αναλύθηκε προηγουμένως.

Το φαινόμενο του Doppler αφορά στην αλλαγή της συχνότητας ενός κύματος όταν η πηγή του κινείται προς από έναν παρατηρητή ή απομακρύνεται από αυτόν. Όταν μια πηγή λοιπόν κινείται προς τον παρατηρητή, η συχνότητα του κύματος που εκπέμπεται φαίνεται να αυξάνεται, ενώ όταν η πηγή απομακρύνεται από τον παρατηρητή, η συχνότητα φαίνεται να μειώνεται.

Παρότι οι συχνότητες μετάδοσης είναι ίδιες, η ακρίβεια μετάδοσης βελτιώνεται αφού είναι λιγότερο ευαίσθητη σε σφάλματα τοποθέτησης.

Στο DVOR το σήμα αναφοράς είναι διαμόρφωσης AM συχνότητας 30 Hz, ενώ το μεταβλητό είναι FM συχνότητας 30 Hz, σε έναν φέρον συχνότητας 9960 Hz και περιστρέφεται ανθρωπολογικά με 30 περιστροφές ανά δευτερόλεπτο. Καθώς τώρα έχουμε αντιστροφή των διαμορφώσεων AM και FM σε σχέση με το CVOR, η φάση του μεταβλητού προηγείται της φάσης του σήματος αναφοράς κατά x μοίρες για ένα αεροσκάφος σε x μοίρες μαγνητική



απόκλιση από το σταθμό. Καθώς το μεταβλητό σήμα διαμόρφωσης FM είναι λιγότερο ευαίσθητο στις παρεμβολές, το DVOR ακριβέστερο του CVOR [26].

### 3.2.6.3 DSB – DVOR

Στο DVOR διπλής πλευρικής ζώνης έχουμε την εκπομπή δύο αδιαμόρφωτων σημάτων πλευρικής ζώνης από δύο κεραίες αντιδιαμετρικά τοποθετημένες σε έναν κύκλο αποτελούμενο από περίπου 50 κεραίες, οι οποίες περιστρέφονται σύμφωνα με προκαθορισμένα πρότυπα. Το ένα σήμα είναι 9960 Hz κάτω από το φέρον και το άλλο 9960 Hz επάνω. Αν υπάρχουν δύο αεροσκάφη, εκ των οποίων το ένα πλησιάζει και το άλλο απομακρύνεται από τον σταθμό DVOR, υπόκεινται σε φασματική μετατόπιση Doppler. Λόγω των δύο περιστρεφόμενων σημάτων πλευρικής ζώνης, ένα πάνω από τη φέρουσα συχνότητα και ένα κάτω από αυτήν, το αεροσκάφος που πλησιάζει τον σταθμό DVOR, θα λαμβάνει σήμα μειωμένης συχνότητας, ενώ αυτό που απομακρύνεται θα έχει μια αυξημένη συχνότητα [26].

Διάμετρος του συστήματος είναι 13,5 μέτρα, η ταχύτητα περιστροφής του προτύπου είναι 30 περιστροφές ανά δευτερόλεπτο, επομένως η εφαπτομένη στην περιφέρεια ταχύτητα είναι:

$$\pi * 13,5 * 30 \approx 1272 \text{ m. p. s.}$$

Στην κεντρική συχνότητα της ζώνης VHF, των 113 MHz, ένας κύκλος αποτελείται περίπου από 2,65 μέτρα, επομένως η μέγιστη μετατόπιση Doppler είναι

$$\frac{1272}{2,65} = 480 \text{ Hz [31].}$$

### 3.2.7 Εμβέλεια VOR

Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την εμβέλεια του VOR είναι:

- Η ισχύς του πομπού καθώς όσο μεγαλύτερη η ισχύς του πομπού τόσο μεγαλύτερη η εμβέλεια λειτουργίας του VOR. Έτσι, ένα VOR, με πομπό ισχύος 200 Watt, θα έχει εμβέλεια περί των 200 ναυτικών μιλίων (NM), ενώ ένα τερματικό TVOR συνήθως μεταδίδει με ισχύ 50 Watt.
- Το ύψος πομπού και δέκτη επηρεάζει επίσης την εμβέλεια καθώς οι μεταδόσεις του VOR λειτουργούν βάση της γραμμής ορατότητας με μικρή αύξηση της εμβέλειας λόγω ατμοσφαιρικής διάθλασης. Όσο ψηλότερα είναι τοποθετημένες οι κεραίες τόσο μεγαλύτερη είναι και η λειτουργική εμβέλεια. Η μέγιστη θεωρητική εμβέλεια δίνεται από τον τύπο:  $(NM) = 1.23 * (\sqrt{h1} + \sqrt{h2})$  Όπου h1 το ύψος λήψης και h2 το ύψος του πομπού από την επιφάνεια της θάλασσας [31].
- Μορφολογία του εδάφους και ανθρώπινες κατασκευές που μπορούν να ανακλάσουν, εμποδίσουν ή να παραμορφώσουν τα σήματα του VOR.

### 3.3 VHF Communications (COM)

Τα VHF συστήματα είναι τα πιο διαδεδομένα συστήματα επικοινωνίας μεταξύ κέντρου ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας (Air Traffic Control - ATC) και πιλότου. Είναι μεταδόσεις οπτικής επαφής (Line of sight) περιορισμένης δηλαδή εμβέλειας. Χαρακτηριστικά έχουμε εμβέλεια περίπου 30 μιλίων για αεροσκάφος σε ύψος 1000 ποδιών και 135 μιλίων για αεροσκάφος σε ύψος 10000 ποδιών [33]. Η ζώνη ραδιοσυχνοτήτων VHF μεταξύ 118 MHz και 137 MHz χρησιμοποιείται κυρίως για τις φωνητικές επικοινωνίες μεταξύ των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας και των πιλότων της εναέριας κυκλοφορίας της πολιτικής αεροπορίας. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για τα συστήματα ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) το οποίο λειτουργεί στον ευρωπαϊκό χώρο στις συχνότητες 131,525 MHz, 131,725 MHz and 131,825 MHz και FANS (Future Air Navigation System) για τη μετάδοση δεδομένων αέρος-έδαφος και αέρος-αέρος μεταξύ αεροσκαφών και υπηρεσιών εδάφους [34], [35]. Εντός αυτής της ζώνης η ίδια συχνότητα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί αρκεί να μη δημιουργούνται παρεμβολές. Στην Ευρωπαϊκή Περιοχή (EUR) της ICAO, υπάρχουν περισσότερες από 10.000 εκχωρήσεις συχνοτήτων σε αυτήν τη ζώνη, καταγεγραμμένες στον πίνακα COM2[34].

Ο κύριος τρόπος επικοινωνίας στην αεροπορία είναι τα VHF ραδιοφωνικά συστήματα επικοινωνίας (VHF Communications). Τα κανάλια του COM καταλαμβάνουν το φάσμα συχνοτήτων από 118 MHz έως 137 MHz έχοντας απόσταση μεταξύ τους 25 kHz δηλαδή έχουμε τα κανάλια 118.000, 118.025, 118.050, ...136.950, 136.975 MHz [18]. Με σκοπό την αποτελεσματικότερη επικοινωνία και τη μείωση της συμφόρησης στη VHF ζώνη στην Ευρώπη, έχουμε την μείωση της απόστασης μεταξύ των καναλιών από 25 σε 8.33kHz[34]. Πρέπει να είναι υποχρεωτικά δυνατή η λειτουργία του εδαφικού εξοπλισμού των αεροπορικών σταθμών με διάκενα 8.33 kHz μεταξύ των καναλιών [36].

## 4 Κριτήρια αξιολόγησης συμβατότητας

Ως κατώφλι παρεμβολής θεωρείται η ελάχιστη ισχύς ενός σήματος που παρεμβάλλεται προκαλώντας μη αποδεκτή υποβάθμιση της απόδοσης του δέκτη. Κατά τη διάρκεια εργαστηριακών μετρήσεων και πτητικών δοκιμών των ILS localizer και VOR, έχει διαπιστωθεί ότι:

- το κατώφλι παρεμβολής που βασίζεται σε μεταβολή του course deflection current, υπερβαίνει το όριο προτού εμφανιστεί ένδειξη μη ικανοποιητικής λειτουργίας του δέκτη ή μη αποδεκτής ποιότητας του ληφθέντος σήματος.
- αύξηση της ισχύος του παρεμβαίνοντος σήματος κατά 1 έως 3 dB πέραν των ορίων του κατωφλίου παρεμβολής, προκαλεί σημαντική αλλαγή του course deflection current ή θα οδηγήσει στην εμφάνιση ένδειξης (flag) [18].

### 4.1 ILS Localizer

Κατά την ITU-R SM.1009-1 οι τιμές κατωφλίου παρεμβολής για ένα επιθυμητό σήμα με διαφορά στο βάθος διαμόρφωσης (DDM) της τάξης του 0,093 είναι:

- 7,5  $\mu$ A μεταβολή στο ρεύμα κλίσης της πορείας
- ή εμφάνιση της σημαίας (flag), ανάλογα με το ποιο από τα δύο συμβεί πρώτο.

### 4.2 VOR

Επίσης κατά την ITU-R SM.1009-1 για το VOR τα όρια παρεμβολής με την παρουσία ενός επιθυμητού σήματος είναι:

- Αλλαγή της ένδειξης φέρουσας κατεύθυνσης κατά 0,5°, που αντιστοιχεί σε ένταση ρεύματος κατεύθυνσης 7,5  $\mu$ A
- ή μια αλλαγή της τάσης ήχου κατά 3 dB,
- ή εμφάνιση της σημαίας για περισσότερο από 1 δευτερόλεπτο.

### 4.3 COM

Τα κατώφλια παρεμβολής για αεροπορικούς δέκτες COM είναι:

- Με παρουσία επιθυμητού σήματος, το κατώφλι παρεμβολής είναι η μείωση κατά 6 dB στο λόγο:  $\frac{S+N}{N}$   
Όπου S: signal ratio  
N: noise ratio

- Χωρίς την παρουσία επιθυμητού σήματος, η παρεμβολή δεν πρέπει να ενεργοποιεί τη λειτουργία του squeelch δηλαδή, η παρεμβολή δεν πρέπει να προκαλεί αυτόματο κλείσιμο του δέκτη όταν δεν λαμβάνεται κανένα επιθυμητό σήμα.

## 5 Τύποι παρεμβολών κατά ITU-R SM.1009-1

### 5.1 Εισαγωγή

Οι υπηρεσίες ευρυεκπομπής, διαμόρφωσης συχνότητας (FM), παρεμβάλουν στην ορθή λειτουργία των ραδιοβοηθημάτων πλοήγησης, επικοινωνιών και προσγειώσεως. Έχουμε παρεμβολές στα συστήματα ILS, VOR και COM οι οποίες μπορεί να προκαλούν από έναν εκνευριστικό θόρυβο υποβάθρου έως απόκλιση πορείας ή ακατάληπτη λήψη σημάτων ελέγχου κυκλοφορίας. Η παρεμβολή στους δέκτες πλοήγησης ILS Localizer και VOR θεωρείται ως το πιο σοβαρό πρόβλημα, καθώς ένα σφάλμα στην απόκλιση της πορείας ενός ιπτάμενου μέσου ιδιαίτερος κατά τις φάσεις της προσέγγισης και προσγειώσεως δεν γίνεται τόσο εύκολα αντιληπτό όπως παραδείγματος χάρη η διακοπή των επικοινωνιών. Λόγω της σπουδαιότητας του ραδιοφάσματος και της ολοένα αυξανόμενης ανάγκης για πρόσθετες υπηρεσίες εκπομπών η πιθανότητα δημιουργίας παρεμβολών είναι ολοένα και αυξανόμενη για αυτό απαιτείται ειδική μέριμνα προς αποφυγή αυτών ή έστω ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων εξαιτίας αυτών.

Αναφορικά με τους δέκτες ILS Localizer και VOR η διαμόρφωση μετάδοσης των ραδιοφωνικών εκπομπών FM μπορεί να θεωρηθεί ως θόρυβος. Όμως οι συχνότητες 90 Hz και 150 Hz είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες για το ILS Localizer όπως και οι συχνότητες 30 Hz και 9960 Hz για το VOR καθώς αυτές παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για τα σχετικά συστήματα και είναι επομένως ευαίσθητες σε παρεμβολές [18].

Με σκοπό την ασφαλή και αξιόπιστη λειτουργία των συστημάτων πλοήγησης και επικοινωνίας είναι σημαντική η ανάπτυξη και τήρηση προτύπων και πρακτικών που οδηγούν σε μείωση της πιθανότητας παρεμβολών καθώς και των επιπτώσεων αυτών στον εξοπλισμό. Στη μείωση των παρεμβολών και των επιπτώσεων εξαιτίας αυτών συμβάλλει η ορθή σχεδίαση και τοποθέτηση των ραδιοβοηθημάτων και των επίγειων σταθμών που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία τους, η επιλογή κατάλληλων συχνοτήτων και η χρήση δεκτών με κατάλληλη ατρωσία έναντι των παρεμβολών αυτών.

### 5.2 Τύποι μηχανισμών παρεμβολής

#### 5.2.1 ILS και VOR

Στους μηχανισμούς παρεμβολής έχουμε διαχωρισμό σε παρεμβολές τύπου A και παρεμβολές τύπου B. Οι παρεμβολές τύπου A προκαλούνται από μη επιθυμητές εκπομπές στην αεροναυτική ζώνη από έναν ή περισσότερους ραδιοφωνικούς πομπούς. Οι παρεμβολές τύπου B προκαλούνται σε έναν αεροναυτικό δέκτη από ραδιοφωνικές εκπομπές σε συχνότητες εκτός της αεροναυτικής ζώνης. Οι παρεμβολές τύπου A διαχωρίζονται σε A1 και A2 και αντιστοίχως οι B σε B1 και B2 [18].

### 5.2.1.1 Παρεμβολή τύπου A1

Παρεμβολή τύπου A1 μπορεί να προκύψει από έναν μόνο πομπό ή εξαιτίας γινομένων ενδοδιαμόρφωσης στις αεροναυτικές ζώνες συχνοτήτων, από την παρασιτική αλληλεπίδραση περισσότερων ραδιοφωνικών εκπομπών [37]. Δεν απαιτείται ο έλεγχος παρεμβολών για αποστάσεις μεταξύ αεροναυτικού σήματος και σήματος παρεμβολής μεγαλύτερες από 200 kHz.

Frequency difference between wanted signal and spurious emission (kHz)	Protection ratio (dB)
0	14
50	7
100	-4
150	-19
200	-38

Πίνακας 5.1: Πίνακας λόγου προστασίας κατά ITU-R SM. 1009-1 για παρεμβολές τύπου A1.

### 5.2.1.2 Παρεμβολή τύπου A2

Ένα σήμα εκπομπής μπορεί να περιέχει μη αμελητέες συνιστώσες στην αεροναυτική ζώνη συχνοτήτων. Η παρεμβολή τύπου A2, προκύπτει μόνο από σταθμούς ευρεκπομπής με συχνότητες κοντά στα 108 MHz και προκαλεί παρεμβολή μόνο στις υπηρεσίες των ILS localizer και VOR που λειτουργούν επίσης στη ζώνη συχνοτήτων κοντά στα 108 MHz. Η παρεμβολή τύπου A2 δεν χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη για διαφορές συχνότητας μεγαλύτερες από 300 kHz [18].

Λόγοι προστασίας για παρεμβολές τύπου A2:

Frequency difference between wanted signal and spurious emission (kHz)	Protection ratio (dB)
150	-41
200	-50
250	-59
300	-68

Πίνακας 5.2: Πίνακας λόγου προστασίας κατά ITU-R SM. 1009-1 για παρεμβολές τύπου A2.

### 5.2.1.3 Παρεμβολή τύπου B1

Για παρεμβολή τύπου B1 ένα από τα σήματα FM πρέπει να έχει ικανή ισχύ για να οδηγήσει το δέκτη σε περιοχές μη γραμμικής λειτουργίας. Η παρεμβολή θα παραχθεί ακόμη και εάν η ισχύς των υπόλοιπων σημάτων FM είναι σημαντικά μικρότερη, σύμφωνα με το σχετικό κριτήριο συμβατότητας. Παρεμβολή στον αεροναυτικό δέκτη μπορεί να παρουσιαστεί ακόμη και όταν το γινόμενο ενδοδιαμόρφωσης απέχει έως και 200kHz από τη συχνότητα λειτουργίας του ραδιοβοηθήματος

Υπόψη λαμβάνονται μόνο τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξεως όπου έχουμε:

- Για την περίπτωση δύο σημάτων:  $f_{intermod} = 2f1 - f2$
- Για την περίπτωση τριών σημάτων:  $f_{intermod} = f1 + f2 - f3$

Όπου:

- $f_{intermod}$  η συχνότητα του προϊόντος ενδοδιαμόρφωσης
- $f1, f2, f3$  οι συχνότητες των FM σημάτων

#### 5.2.1.3.1 Κριτήρια αξιολόγησης παρεμβολών B1 βάση ICAO Παράρτημα 10 του 1998

Για την αξιολόγηση πιθανών ασυμβατοτήτων χρησιμοποιούμε κατά περίπτωση:

- Για δύο σήματα τον τύπο:

$$2 \left\{ N1 - 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1 - f1)}{0.4} \right) \right\} + N2 - 20 \log \left\{ \frac{\max(0.4; 108.1 - f2)}{0.4} \right\} + K - LC + S > 0$$

- Για τρία σήματα:

$$N1 - 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1 - f1)}{0.4} \right) + N2 - 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1 - f2)}{0.4} \right) + N3 - 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1 - f3)}{0.4} \right) + K + 6 - Lc + S > 0$$

Όπου:  $f1, f2, f3$ : συχνότητες εκπομπής (MHz) με  $f1 \geq f2 > f3$

$N1, N2, N3$ : επίπεδα σήματος εκπομπής (dBm) στην είσοδο του αεροπορικού δέκτη για τις συχνότητες εκπομπής  $f1, f2$  και  $f3$  αντίστοιχα

$K = 78$  για ILS localizer και VOR

$Lc$ : παράγοντας διόρθωσης (dB) για λήψη υπόψη των αλλαγών στα επιθυμητά σήματα

$S$ : περιθώριο 3 dB για λήψη υπόψη του γεγονότος ότι οι εξισώσεις ανοχής του δέκτη βάση ICAO Annex 10 1998 δεν παρέχουν περιεκτικούς τύπους αξιολόγησης συμβατότητας.

Πριν εφαρμοστούν οι δύο προηγούμενοι τύποι πρέπει να εφαρμοστεί από τον κάτωθι πίνακα σε κάθε σήμα ένας συντελεστής διόρθωσης με χρήση της σχέσης:

$$N(\text{corrected}) = N - \text{correction term}$$

Frequency difference between wanted signal and spurious emission (kHz)	Correction term (dB)
0	0
50	2
100	5
150	11

Πίνακας 5.3: Πίνακας συντελεστή διόρθωσης.

Για διαφορές συχνότητας μεγαλύτερες των 150 kHz δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η παρεμβολή τύπου B1 καθώς σε τέτοιες περιπτώσεις τα επίπεδα σήματος θα ήταν τόσο υψηλά που θα παρουσιαστεί παρεμβολή τύπου B2.

$N$  (διορθωμένο) =  $N$  - όρος διόρθωσης

Δεν χρειάζεται να ληφθεί υπόψη η παρεμβολή τύπου B1 για διαφορές συχνότητας μεγαλύτερες από 150 kHz. Σε τέτοιες περιπτώσεις, τα επίπεδα σήματος θα ήταν τόσο υψηλά ώστε να παρουσιαστεί παρεμβολή τύπου B2 [18].

#### 5.2.1.3.2 Trigger and cut-off values

Ως Cut-off Value ορίζεται η ελάχιστη ισχύς ενός σήματος εκπομπής που εισέρχεται σε έναν αεροναυτικό δέκτη και θεωρείται ως πηγή δυνητικής παρεμβολής τύπου B1 με τύπο:

$$\text{Cut off value (dBm)} = -66 + 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1-f)}{0.4} \right) \text{ dBm}.$$

Ως Trigger Value ορίζεται η ελάχιστη τιμή ενός σήματος FM που, όταν εφαρμοστεί στην είσοδο ενός αεροναυτικού δέκτη, είναι ικανή να προκαλέσει τη δημιουργία προϊόντος ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης με επαρκή ισχύ ώστε να αντιπροσωπεύει δυνητική παρεμβολή και δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Trigger Value (dBm)} = \frac{Lc-K-S}{3} + 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1-f)}{0.4} \right).$$

Όπου:  $Lc$ : Παράγοντας διόρθωσης (dB) (βλ. § 4.3.3.3)

$K = 78$  για ILS localizer και VOR σε περιπτώσεις με 2 σήματα και

$K = 84$  για ILS localizer και VOR σε περιπτώσεις με 3 σήματα

$f$ : Συχνότητα εκπομπής (MHz)



S: 3 dB περιθώριο.

Ο παράγοντας  $L_c$  έχει διαφορετικές τιμές για το ILS localizer και το VOR. Συγκεκριμένα, για το ILS localizer η τιμή αναφοράς  $N_{ref}$  είναι -86 dBm, ενώ για το VOR είναι -79 dBm. Ο παράγοντας αυτός χρησιμοποιείται στην αξιολόγηση της συμβατότητας του δέκτη μεταβάλλοντας τις απαιτούμενες παραμέτρους ανάλογα με τα επίπεδα των επιθυμητών σημάτων.

#### 5.2.1.4 Παρεμβολή τύπου B2

Κατά την παρεμβολή B2 προκαλείται απευαισθητοποίηση λόγω υπερφόρτωσης στο RF section ενός αεροναυτικού δέκτη. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσκολία λήψης και αναγνώρισης των επιθυμητών σημάτων και σε προβλήματα επικοινωνίας και πλοήγησης του αεροσκάφους.

Για την αξιολόγηση της B2 παρεμβολής, μπορεί να γίνει χρήση της κάτωθι σχέσης ώστε να προσδιοριστεί η μέγιστη στάθμη του σήματος FM στην είσοδο του αεροπορικού δέκτη ILS localizer ή VOR ώστε να μην προκαλείται παρεμβολή:

$$N_{max} = \min(15; -10 + 20 \log\left(\frac{\max(0.4; 108.1 - f)}{0.4}\right) + L_c - S$$

Όπου:

$N_{max}$  : μέγιστη στάθμη (dBm) του σήματος FM στην είσοδο του αεροπορικού δέκτη

$f$  : συχνότητα FM (MHz)

$S$  : περιθώριο 3 dB για τον καθορισμό των τύπων συμβατότητας

$L_c$ : συντελεστής διόρθωσης (dB) για τις μεταβολές στη στάθμη του επιθυμητού σήματος.

$N_A$ : επίπεδο του επιθυμητού σήματος (dBm) στην είσοδο του αεροπορικού δέκτη

$N_{ref}$ : επίπεδο αναφοράς (dBm) του επιθυμητού σήματος στην είσοδο του αεροπορικού δέκτη για την εξίσωση ανοχής του τύπου B2 με τιμές:

- -86 dBm για ILS localizer
- -79 dBm για VOR [18].

#### 5.2.2 COM

Βάση του Παραρτήματος 10 της ICAO 1998 παρεμβολή τύπου A1 και B1 δεν είναι δυνατόν να παρουσιαστεί σε δέκτες COM με συχνότητες άνω των 128,5 MHz. Επίσης παρεμβολή A2 δεν είναι δυνατόν να προκληθεί σε καμία συχνότητα υπηρεσίας COM.

Ως προς την παρεμβολή τύπου B1 ο δέκτης COM παρέχει ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσίας παρουσία γινομένου ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξεως δύο FM σημάτων με στάθμη σήματος στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη έως -5dBm.

Για παρεμβολή τύπου B2 ο δέκτης COM δε χάνει την ευαισθησία του παρουσία FM σημάτων με στάθμη σήματος στην είσοδο του αεροναυτικού δέκτη έως -5dBm.

## 6 Μέθοδος GAM βάση της σύστασης ITU-R SM.1009-1

Βάση της ITU-R SM.1009-1 σύστασης θα παρουσιαστούν στοιχεία για τη συμβατότητα μεταξύ των σταθμών που ανήκουν στην αεροναυσιπλοΐα και των επίγειων σταθμών ραδιοφωνίας και τηλεόρασης. Με την αξιολόγηση αυτή γίνεται προσπάθεια διασφάλισης της ομαλής λειτουργίας των διαφορετικών αυτών σταθμών στο ίδιο φάσμα συχνοτήτων δίχως την πρόκληση παρεμβολών. Η μέθοδος General Assessment Method (GAM) βασίζεται στην ανάγκη προστασίας της υπηρεσίας αεροναυσιπλοΐας σε ελάχιστες καθορισμένες αποστάσεις από τις κεραίες των σταθμών ευρυεκπομπής, αναλόγως αν μελετούμε συστήματα ILS ή VOR και τη συγκεκριμένη χρήση τους.

Οι σταθμοί ευρυεκπομπής που περιλαμβάνονται στην ανάλυση μέσω ενός σημείου ελέγχου είναι όσοι έχουν:

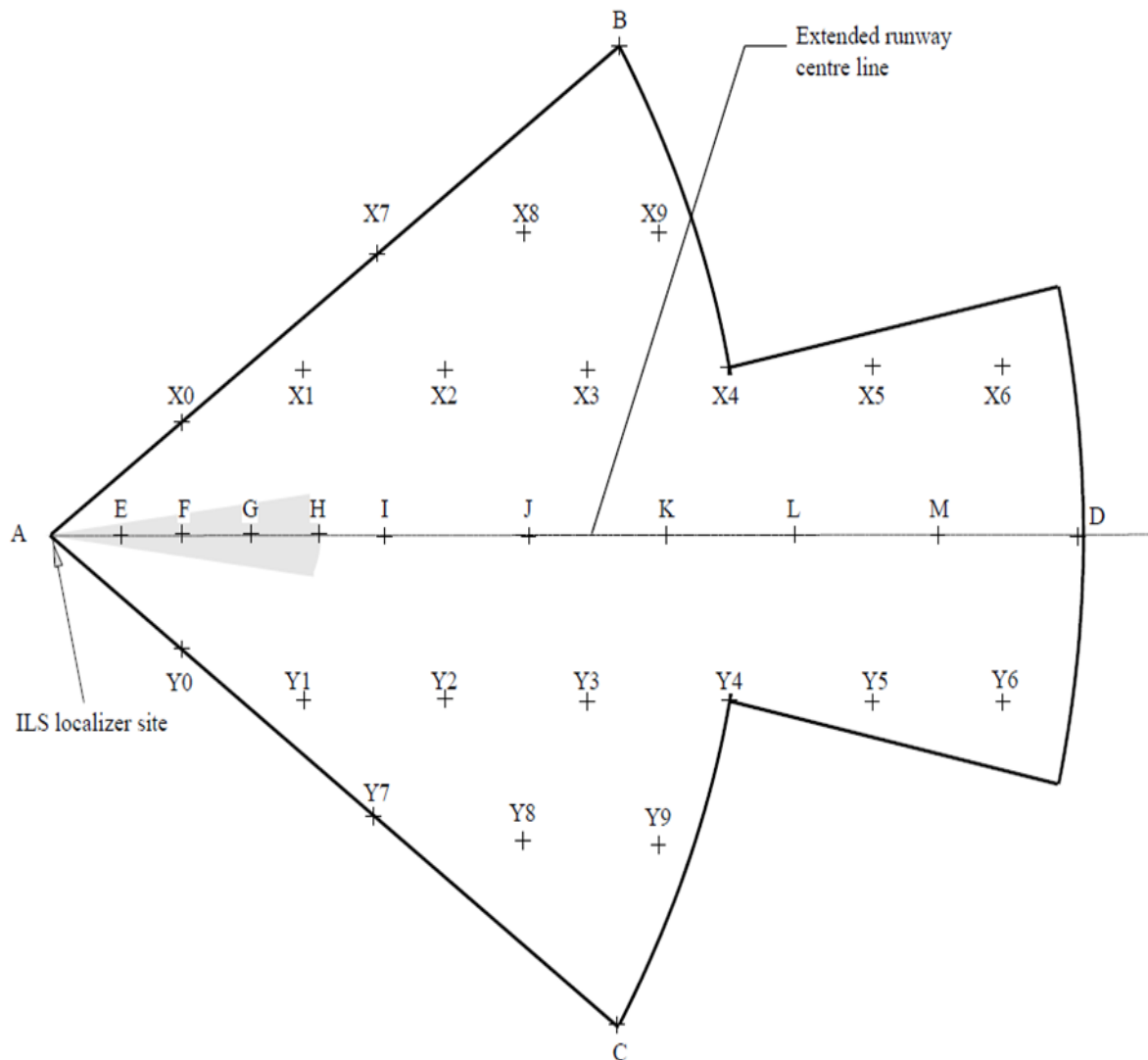
- οπτική επαφή μεταξύ κεραίας ευρυεκπομπής και σημείου ελέγχου και το υπολογιζόμενο επίπεδο σήματος είναι μεγαλύτερο από την cut - off τιμή της παρεμβολής τύπου B1, όπου  $Cut\ off\ value(dBm) = -66 + 20 \log \left( \frac{\max(0.4; 108.1 - f)}{0.4} \right) dBm$
- ισχύ πεδίου ελευθέρου χώρου τουλάχιστον ίση με την τιμή που μπορεί να προκαλέσει ασυμβατότητα παρεμβολής τύπου A1, A2 ή B2 με μέγιστη απόσταση διαχωρισμού τα 125 χιλιόμετρα για τις A1 και B2 περιπτώσεις.

Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ της τοποθεσίας των σημείων ελέγχου και των τοπικών μεγίστων του δυναμικού παρεμβολής. Για ένα αεροσκάφος που βρίσκεται στο ίδιο ύψος με την κεραία του σταθμού ευρυεκπομπής, η μέγιστη τιμή της ισχύος του σήματος του σταθμού που ανιχνεύει το αεροσκάφος θα είναι στο σημείο της πλησιέστερης προσέγγισης. Για μία πανκατευθυντική κεραία ευρυεκπομπής, τα σημεία μέγιστης ισχύος του σήματος βρίσκονται σε έναν κύκλο με κέντρο την κεραία. Αν το αεροσκάφος βρίσκεται ψηλότερα από την κεραία του σταθμού τότε το σημείο μέγιστου βρίσκεται κατακόρυφα πάνω από αυτή.

## 6.1 Αξιολόγηση της λειτουργίας του ILS Localizer με GAM

Για το ILS Localizer η μέθοδος βασίζεται σε ένα σύνολο σταθερών σημείων δοκιμής με ένα επιπλέον σημείο δοκιμής για κάθε επίγειο σταθμό μετάδοσης εντός της DOC.

Στο ακόλουθο σχήμα για κάθε ένα από τα σταθερά σημεία δοκιμής δίνεται τα ελάχιστα ύψη, η απόσταση από τον τοποθετημένο σταθμό του ILS Localizer και η απόκλιση σε μοίρες από την εκτεταμένη γραμμή από το κέντρο του αεροδιαδρόμου.



Σχήμα 6.1: Σταθερά σημεία δοκιμής συστήματος ILS (πηγή ITU-R SM.1009-1 [18]).

Για έναν αεροδιάδρομο κλίσης τριών μοιρών η απόσταση από τον σταθμό του ILS Localizer, το ελάχιστο ύψος πάνω από αυτόν και η απόκλιση από την εκτεταμένη γραμμή του κέντρου του αεροδιαδρόμου δίνονται στον πίνακα 6.1 που ακολουθεί.

Points on or above the extended runway centre line			Points off the extended runway centre line (all at height of 600 m)		
Identification	Distance (km)	Minimum height (m)	Identification	Distance (km)	Bearing relative to the runway centre line (degrees)
A	0	0	B, C	31.5	-35, 35
E	3	0	X0, Y0	7.7	-35, 35
F	6	150	X1, Y1	12.9	-25.5, 25.5
G	9	300	X2, Y2	18.8	-17.2, 17.2
H	12	450	X3, Y3	24.9	-12.9, 12.9
I	15	600	X4, Y4	31.5	-10, 10
J	21.25	600	X5, Y5	37.3	-8.6, 8.6
K	27.5	600	X6, Y6	43.5	-7.3, 7.3
L	33.75	600	X7, Y7	18.5	-35, 35
M	40	600	X8, Y8	24.0	-27.6, 27.6
D	46.3	600	X9, Y9	29.6	-22.1, 22.1

Πίνακας 6.1: Πίνακας χαρακτηριστικών των σταθερών σημείων δοκιμής επί της εκτεταμένης γραμμής του κέντρου του διαδρόμου και εκτός αυτής (πηγή ITO-R SM.1009-1 [18]).

Εάν ο σταθμός μετάδοσης βρίσκεται εντός της σκιασμένης περιοχής του σχήματος 6.1 δημιουργείται επιπλέον ένα σημείο δοκιμής με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του σημείου σταθμού ευρυεκπομπής στο ίδιο ύψος με την κεραία του σταθμού αυτού. Αν ο σταθμός ευρυεκπομπής βρίσκεται εντός της DOC αλλά εκτός της σκιασμένης περιοχής που αναφέρθηκε προηγουμένως τότε δημιουργείται ένα επιπλέον σημείο δοκιμής με τις γεωγραφικές συντεταγμένες του σταθμού ευρυεκπομπής αλλά με το ελάχιστο ύψος αυτού να είναι το μεγαλύτερο εκ των κάτωθι:

- 600 μέτρα πάνω από το σημείο τοποθέτησης του ILS Localizer
- ή 150 μέτρα πάνω από την κεραία του σταθμού ευρυεκπομπής [18].

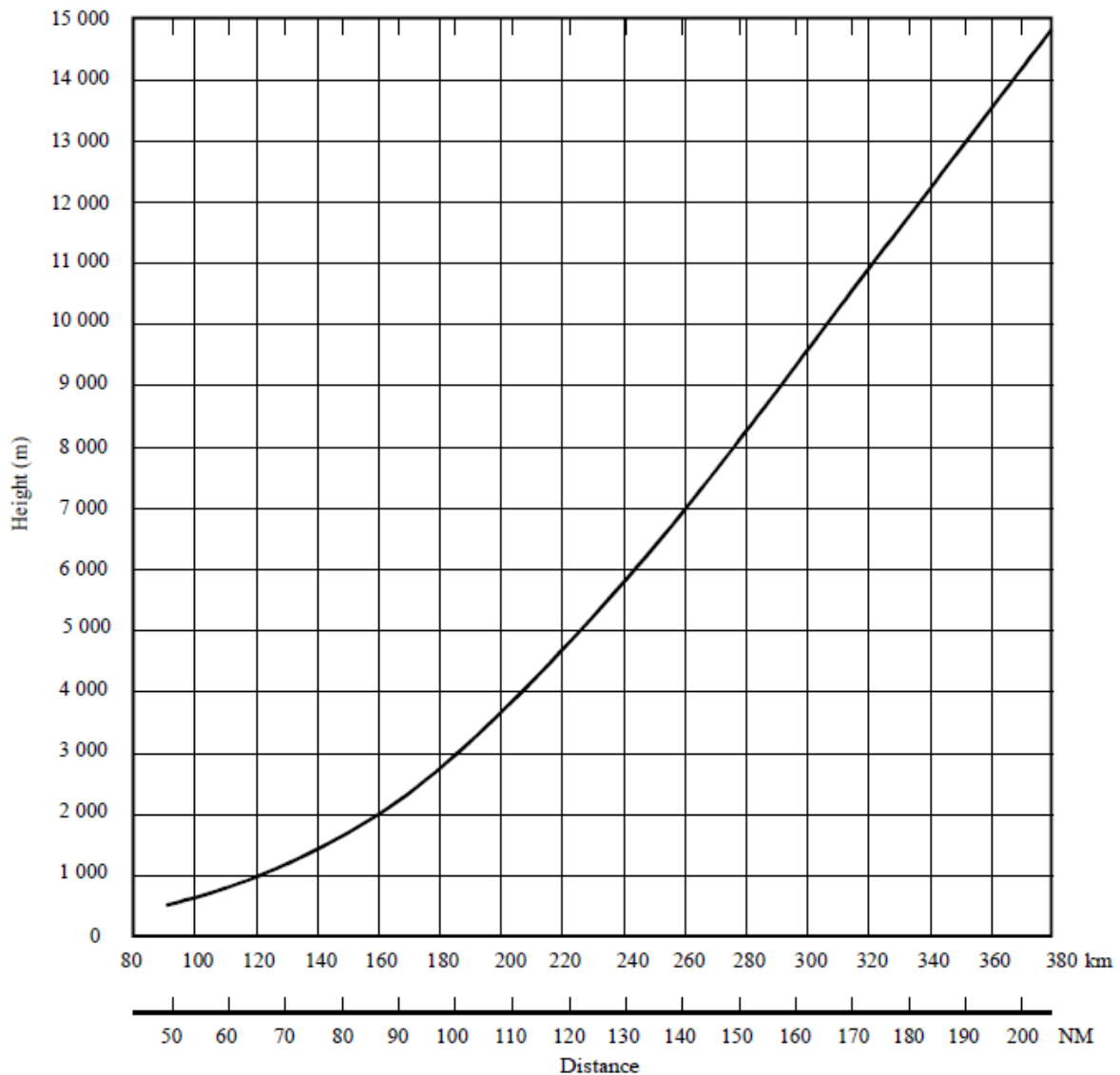
## 6.2 Αξιολόγηση της λειτουργίας του VOR με GAM

Ο όγκος κάλυψης για τις υπηρεσίες VOR είναι μεγάλος επομένως είναι πολύ πιθανό εντός του DOC να βρίσκεται ένας μεγάλος αριθμός σταθμών επίγειων μεταδόσεων. Η μέθοδος GAM για την αξιολόγηση της συμβατότητας με το σύστημα VOR δημιουργεί ένα σημείο δοκιμής πάνω από κάθε επίγειο σταθμό μετάδοσης που βρίσκεται εντός της DOC, λαμβάνοντας υπόψη και αυτούς που βρίσκονται εκτός αυτής.

Για τους σταθμούς ευρυεκπομπής που βρίσκονται εντός της DOC τοποθετείται ένα σημείο δοκιμής στις γεωγραφικές συντεταγμένες του και σε ελάχιστο ύψος ίσο με το μεγαλύτερο εκ των :

- 600 μέτρα προσεγγιστικά πάνω από το ύψος του σταθμού ευρυεκπομπής

- ή 300 μέτρα πάνω από την κεραία του σταθμού ευρυεκπομπής
- ή το ύψος που προκύπτει από την καμπύλη ύψους-απόστασης του σχήματος 6.2 στο οποίο προστίθεται το ύψος του VOR σταθμού [18].



Σχήμα 6.2: Απόσταση έναντι ύψους σημείου δοκιμής πάνω από τον σταθμό VOR (πηγή ITU-R SM1009-1 [18]).

Για σταθμούς ευρυεκπομπής εκτός DOC αλλά σε απόσταση μικρότερη των τριών χιλιομέτρων από τα όρια αυτής ισχύουν όσα αναφέρθηκαν και για αυτούς που είναι εντός της.

Για αυτούς που απέχουν άνω των τριών χιλιομέτρων από τα όρια της DOC με τις προϋποθέσεις που αναφέρονται στην ITU-SM.1009-1

Δημιουργείται ένα σημείο δοκιμής στο κοντινότερο σημείο του ορίου της DOC και σε ελάχιστο ύψος που είναι το μεγαλύτερο εκ των:

- 600 μέτρα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας ή

- το ύψος της κεραίας ευρυεκπομπής πάνω από τη μέση στάθμη της θάλασσας ή
- το ύψος που προκύπτει από το σχήμα 20 προσθέτοντας το ύψος του VOR σταθμού.

Τα σημεία δοκιμής που βρίσκονται στο όριο του DOC και απέχουν λιγότερο από 250 μέτρα μεταξύ τους θεωρούνται ως συν-τοποθεσίες.

Μπορούν να καθοριστούν πρόσθετα σημεία δοκιμής εντός της DOC ώστε να καλυφθεί συγκεκριμένη χρήση του VOR, όπως στην περίπτωση χρήσης του ως βοηθητικό μέσο προσγείωσης.

## 7 Προσομοίωση

Μέσω των προσομοιώσεων γίνεται πιο εύκολα και σε μεγαλύτερο βάθος κατανοητή η συμπεριφορά των πραγματικών αντίστοιχων συστημάτων που μελετώνται. Με την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης, μπορεί να παρατηρηθεί η συμπεριφορά του συστήματος στην πάροδο του χρόνου [38]. Με τη χρήση λογισμικών προσομοίωσης, μπορούν να μελετηθούν πιθανές παρεμβολές του υπό εξέταση συστήματος με άλλα γειτονικά γεωγραφικά ή συχνοτικά. Επίσης μπορεί να μελετηθεί η επίδραση της τροποποίησης διάφορων παραμέτρων και συνθηκών του συστήματος και του περιβάλλοντός στην απόδοση του και στην παρεμβολή του από άλλα και σε άλλα.

Το λογισμικό το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να εξετάσουμε την ύπαρξη και το αποτέλεσμα των παρεμβολών από την FM ραδιοφωνία στη λειτουργία των ραδιοβοηθημάτων είναι το ICS Telecom της ATDI για το οποίο δίνονται πιο κάτω κάποια βασικά θεωρητικά στοιχεία, η προσομοίωση και τα αποτελέσματα αυτής.

Με το λογισμικό ICS Telecom της ATDI το οποίο πρόσφατα αναβαθμίστηκε σε HTZ Communications μπορούμε μέσω κάποιου από τη μακρά λίστα μοντέλων διάδοσης που διαθέτει να προσομοιώσουμε την κάλυψη κάποιου δικτύου [39], [40]. Επίσης με τη χρήση του HTZ Communications μπορούμε να προχωρήσουμε στο σχεδιασμό και τη βελτίωση ασυρμάτων δικτύων, με υψηλή ακρίβεια προβλέψεων και ποιότητας χάρη σε τρισδιάστατους ψηφιακούς χάρτες, αυτόματη ανάθεση και συντονισμό συχνοτήτων καθώς και σε ανάλυση συνύπαρξης με σκοπό τη μείωση των παρεμβολών μεταξύ διαφόρων ασύρματων συστημάτων [41].

### 7.1 Λογισμικό ICS Telecom

Το ICS Telecom της ATDI είναι εργαλείο σχεδιασμού και μελέτης επίγειων και ασυρμάτων δικτύων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων το οποίο μας παρέχει τη δυνατότητα προσομοίωσης συστημάτων ραντάρ, αεροναυτικής, τηλεμετρίας, ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, τηλεπικοινωνιών, μεταφοράς δεδομένων, δορυφορικών και μικροκυματικών ζεύξεων [17]. Το λογισμικό υποστηρίζει τις ζώνες συχνοτήτων: LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF, THF. Επίσης υποστηρίζει τεχνολογίες όπως DVB-T, DVB-T2, T-DAB, DVB-H, DMB, MediaFLO™, ISDB-T, αναλογική τηλεόραση και ραδιοφωνία, δίκτυα μορφής MFN και SFN. Το λογισμικό αυτό είναι πλήρως συμμορφωμένο με τις συστάσεις της ITU [42]. Το λογισμικό αυτό είναι ιδανικό για το σχεδιασμό ομοιογενών και ανομοιογενών ασύρματων δικτύων [43].

Ο σχεδιασμός ενός ραδιοφωνικού δικτύου περιλαμβάνει τις απαραίτητες ενέργειες για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου δικτύου με υψηλή ποιότητα και ασφάλεια. Αυτές οι ενέργειες περιλαμβάνουν τον καθορισμό των παραμέτρων του δικτύου και των περιοχών κάλυψης, την ανάλυση της χωροθέτησης των σταθμών και των κεραιών και την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων όπως η παρεμβολή και η αλληλεπίδραση με άλλα δίκτυα. Το σημαντικότερο στοιχείο είναι η ακρίβεια και η αξιοπιστία των προβλέψεων και των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από τον σχεδιασμό, έτσι ώστε να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου και η βέλτιστη χρήση του φάσματος. Για να

υπολογίσουμε της απώλειες διάδοσης από τους πομπούς προς κάθε πιθανή θέση εύρεσης επιθυμητού δέκτη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διάφορα μοντέλα διάδοσης [17].

#### 7.1.1 Δυνατότητες του ICS Telecom

Στην προσομοίωση αυτή θα γίνει χρήση του ICS Telecom. Το λογισμικό αυτό χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό ραδιοκάλυψης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους καθ' όλη τη διάρκεια ύπαρξης ενός δικτύου από τον σχεδιασμό και καθορισμό των διαστάσεων έως και τη βελτιστοποίηση και αποσυμφόρρησή του [42].

Το ICS Telecom χρησιμοποιείται από:

- Ρυθμιστικές αρχές
- Παρόχους τηλεπικοινωνιών
- Broadcasters
- System integrators
- Κατασκευαστές εξοπλισμού
- Μηχανικούς και συμβουλευτικές εταιρείες
- Ερευνητικά κέντρα [42].

Βάση της προηγούμενης παραπομπής οι κύριες λειτουργίες του ICS telecom είναι κατά τον σχεδιασμό δικτύων:

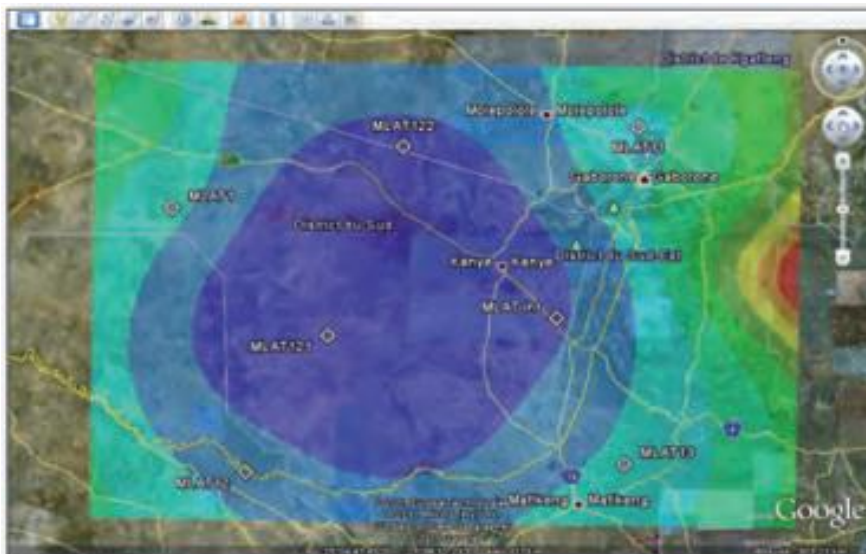
- Υπολογισμός κάλυψης δικτύου
- Πλήρεις βιβλιοθήκες μοντέλων διάδοσης
- Προφίλ διαδρομής
- Ανάλυση παρεμβολών
- Αυτοματοποιημένος σχεδιασμός συχνοτήτων
- Ανάλυση κίνησης/μεταβίβασης
- Ανάλυση πληθυσμού
- Στατιστικές
- Βελτιστοποίηση δικτύου
- Προοπτικός σχεδιασμός (αναζήτηση θέσης)
- Μέτρηση, συσχέτιση, ρύθμιση
- Υπολογισμοί σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ITU.

Προηγμένες δυνατότητες οι οποίες παρέχονται από το ICS Telecoms βάση της παραπομπής [42] είναι:

- Διαχείριση συνύπαρξης
- Σχεδιασμός εσωτερικών χώρων
- Μικτός υπολογισμός εσωτερικών/εξωτερικών χώρων
- Πρόβλεψη παρεμβολών από ανεμογεννήτριες
- Υπολογισμός ζώνης ασφαλείας υγείας.



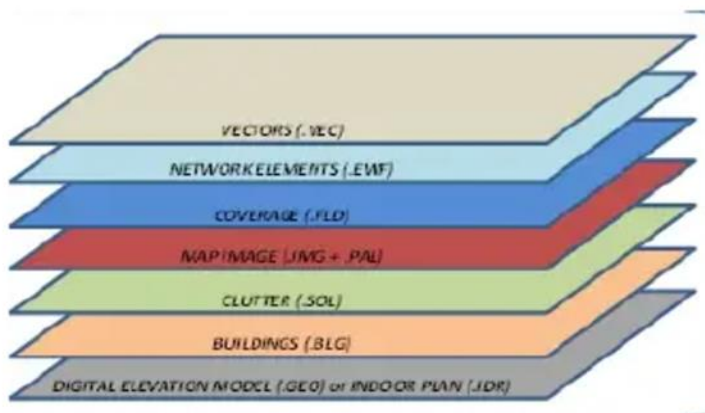
Το λογισμικό αυτό διαθέτει επίσης τη δυνατότητα ευέλικτης αλληλεπίδρασης με άλλα συστήματα και εφαρμογές παρέχοντας τη δυνατότητα εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων σε και από άλλα συστήματα και βάσεις δεδομένων, δυνατότητα δημιουργίας λεπτομερών αναφορών, τη δυνατότητα εισαγωγής ψηφιοποιημένων χαρτογραφικών δεδομένων. Ακόμη παρέχει τη δυνατότητα οπτικοποίησης των εξαγόμενων δεδομένων μέσω Google Earth καθώς και διανυσματοποίηση. Επίσης το ICS υποστηρίζει πολλαπλές τεχνολογίες σε ένα μόνο έργο. Παρέχει μια πλήρη σειρά προβολών ανάλυσης κάλυψης (συνθετική, καλύτερη εξυπηρετούσα κεραία, περιθώριο) και εξάγει τα αποτελέσματα σε όλες τις δημοφιλείς μορφές, όπως το Google Earth όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 7.1 [42].



Σχήμα 7.1: Εξαγωγή υπολογισμών κάλυψης από το ICS Telecom στο Google Earth (Πηγή: Φυλλάδιο ICS Telecom της ATDI)

Ο έλεγχος συμβατότητας μεταξύ FM ραδιοφωνίας και αεροναυτικών βοηθημάτων πλοήγησης γίνεται μέσω του λογισμικού ICS Telecom το οποίο δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού των παραμέτρων των ραδιοφωνικών σταθμών και των αεροβοηθημάτων. Παρέχει εξειδικευμένες δυνατότητες που είναι αφιερωμένες σε αρχές πολιτικής αεροπορίας, κατασκευαστές αεροναυτικών συστημάτων και τους χρήστες τους. Το ICS Telecom επιτρέπει τη διαχείριση των ζωνών κυκλοφορίας στα αεροδρόμια, την προσομοίωση διαφόρων τεχνολογιών που μπορεί να επηρεάζουν αλλήλους και τη διαχείριση των πτυχών συντονισμού.

### 7.1.2 Αρχεία εισαγωγής χαρτογραφικών δεδομένων



Σχήμα 7.2: Διάφοροι τύποι αρχείων του ICS Telecom (πηγή [44])

Στο λογισμικό ICS Telecom περιλαμβάνεται μία χαρτογραφική βάση δεδομένων ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Digital Terrain Model - DTM) ή Digital Elevation Model (DEM) με κατάληξη **.geo** τα οποία παρουσιάζουν το ανάγλυφο του εδάφους της περιοχής, δίνοντας πληροφορίες για το υψόμετρο κάθε ρικελ στο χάρτη, καθορίζοντας έτσι και την ανάλυση αυτού. Επίσης υπάρχουν τα απεικονιστικά κατάληξης **.img** τα οποία μπορεί να είναι αεροφωτογραφίες, δορυφορικές απεικονίσεις της υπό εξέταση περιοχής και χάρτες. Για να δοθούν πληροφορίες χρωματικών αποχρώσεων των αρχείων κατάληξης **.img** χρησιμοποιούμε αρχεία κατάληξης **.pal**. Ακόμη δύο μορφές αρχείων απαραίτητες για τη μελέτη της ραδιοκάλυψης μίας περιοχής είναι τα αρχεία κατάληξης **.sol** και **.blg**. Τα αρχεία κατάληξης **.sol** παρέχουν πληροφορίες αναφορικά με τα φυσικά και τα ανθρώπινα στοιχεία και κατασκευές οι οποίες δύναται να παρεμβάλλουν, να παραμορφώσουν και να προκαλέσουν απώλεια σήματος σε μία ραδιοσυχνότητα. Το clutter όπως συναντάται συνήθως αναφέρεται λοιπόν στη χρήση του εδάφους (αστική, αγροτική), στη βλάστηση, στην ύπαρξη δασών, κτιρίων και άλλων ανθρώπινων κατασκευών και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο καθώς η σκέδαση, η περίθλαση και οι λοιποί μηχανισμοί διάδοσης επηρεάζουν το πεδίο το οποίο πρέπει να υπολογιστεί. Αρχεία κατάληξης **.blg** δίνουν πληροφορίες σχετικά με το υψόμετρο κτιρίων και είναι ιδιαίτερα σημαντικά σε αστικές περιοχές όπου η σκίαση από τα κτίρια και η περίθλαση γύρω από αυτά δημιουργούν σημαντικές απώλειες [17], [38], [45]. Έτσι η χρήση των δύο τελευταίων τύπων αρχείων είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς περιγράφουν σε μεγάλο ποσοστό τον περιβάλλοντα χώρο για τον υπολογισμό του πεδίου και τη χρήση μοντέλων διάδοσης πάνω από εμπόδια [46].

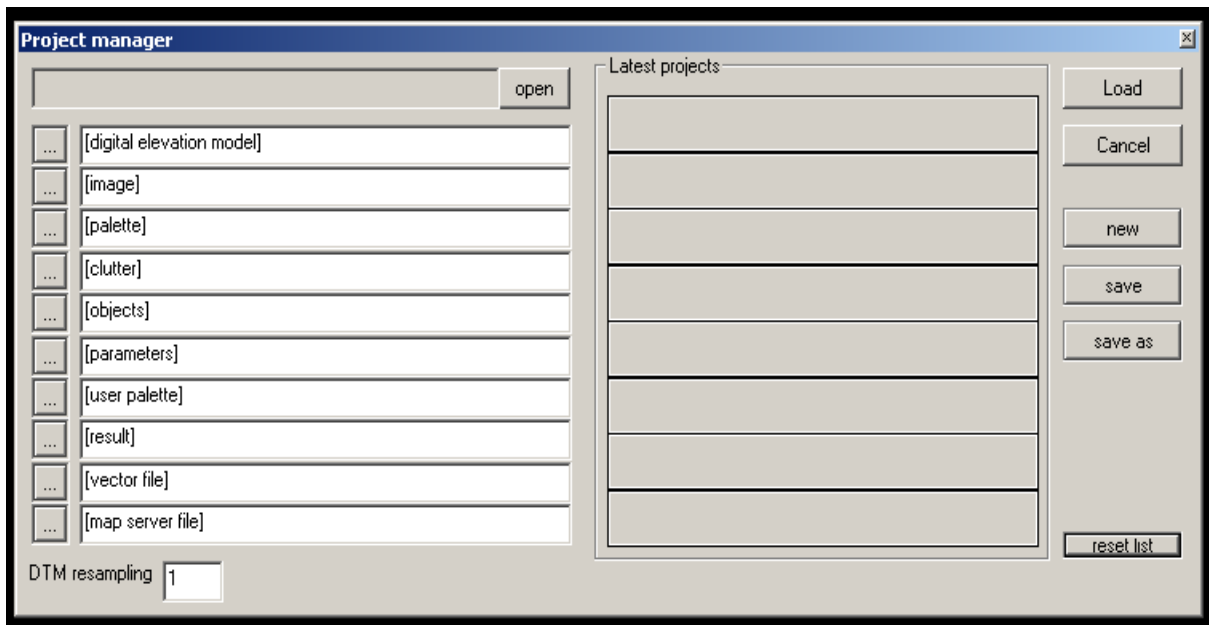
Στο σχήμα 7.2 που προηγείται παρουσιάζονται υπό τη μορφή στρωμάτων ορισμένοι από τους τύπους αρχείων που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για την εκάστοτε προσομοίωση.

Για τη δημιουργία μεγαλύτερης ακρίβειας και πολυπλοκότητας έργων μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και κάποιους από τους κάτωθι τύπους αρχείων:

- **.vec** αρχεία για εισαγωγή από τον χρήστη κειμένων, σημείων, πολυγώνων και κύκλων στο χάρτη.

- .ewf, αρχεία αντικειμένων τα οποία παρέχουν πληροφορίες όπως τη θέση των πομπών και των δεκτών, την ισχύ ενός δικτύου, την πυκνότητα ισχύος πεδίου και λοιπά για αντικείμενα του δικτύου όπως κεραίες, ραντάρ, πομποδέκτες, σταθμούς βάσης και μικροκυματικές ζεύξεις.
- .p11, είναι προαιρετικά αρχεία περιέχουν πληροφορίες σχετικά με 11 χρώματα περιγραφής επιλεγμένα από τον χρήστη του λογισμικού για την παρουσίαση διαφόρων φυσικών μεγεθών όπως το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και η ισχύς λήψης και αποτυπώνονται στο χάρτη.
- .prm, μέσω των οποίων μπορεί ο χειριστής του λογισμικού να αποθηκεύσει επιλογές που έχει κάνει αναφορικά με το μοντέλο της διάδοσης, τα κατώφλια ισχύος, παραμέτρους του clutter, το υπολογιστικό μοντέλο, χαρτογραφική περιγραφή τα οποία έχει χρησιμοποιήσει και άλλες επιλογές.
- .msk, αρχεία με τα οποία μπορεί να καθοριστεί μία περιοχή εντός ή εκτός της οποίας μπορεί να τροποποιηθεί το clutter ή να ευρεθεί η θέση βέλτιστης κάλυψης της υπό εξέταση περιοχής (η εντός ή η εκτός της καθορισμένης) από έναν πομπό [38], [17].

Στο σχήμα 7.3 παρουσιάζεται το παράθυρο εισαγωγής αρχείων που αναφέρθηκαν προηγουμένως.



Σχήμα 7.3: Εισαγωγή αρχείων στο ICS Telecom (πηγή Β. Σελίμης 2008 [38]).

### 7.1.3 Περιβάλλον λογισμικού

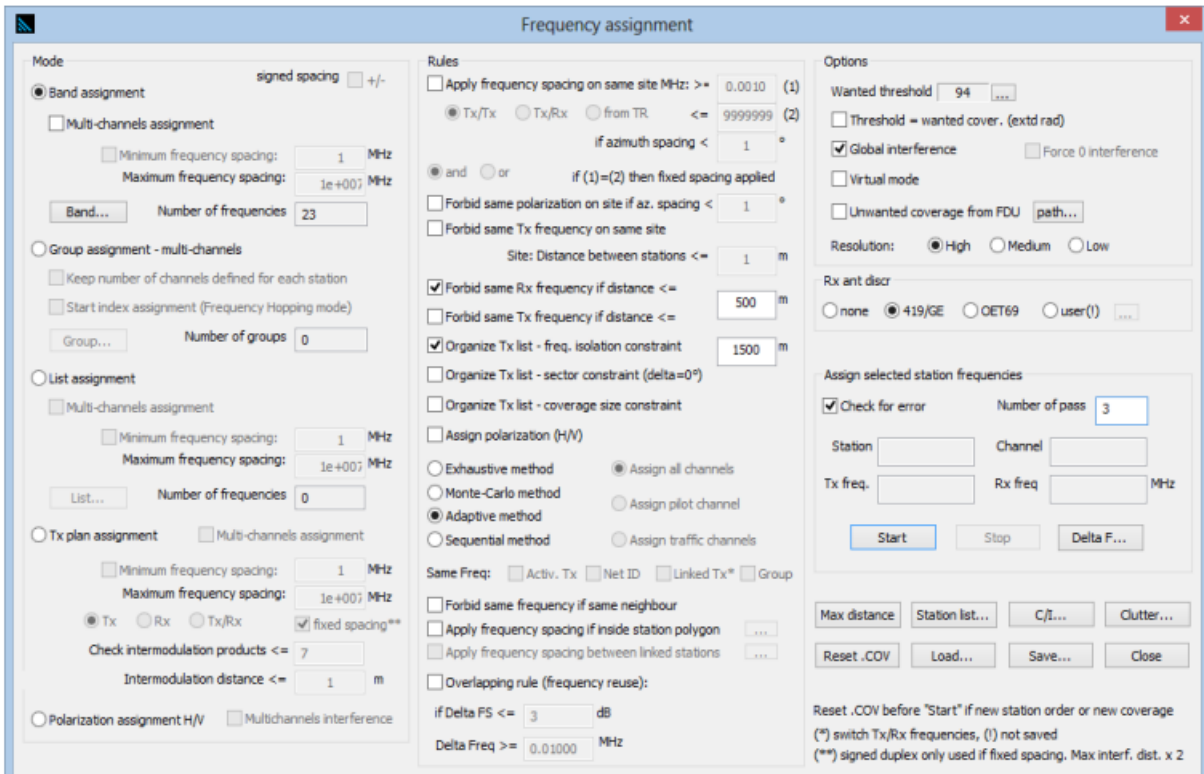
Το ICS Telecom μπορεί να προσομοιώσει δίκτυα MFN και SFN. Τα δίκτυα SFN κάνουν καλύτερη χρήση του φάσματος καθώς παρέχουν τη δυνατότητα στον χρήστη να δημιουργήσει σύμπλεγμα γειτονικών σταθμών που χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα. Στα SFN δίκτυα όμως το σύστημα μετάδοσης έχει μικρότερη δυνατότητα μετάδοσης δεδομένων για ένα κανάλι RF [47].

Για την ευρυεκπομπή FM στην Ελλάδα έχουμε τη χρήση δικτύου MFN το οποίο είναι πιο απλό στη σχεδίαση, την υλοποίηση και τη λειτουργία έναντι ενός SFN. Επίσης είναι πιο αποδοτικό για την κάλυψη ευρύτερης περιοχής και πιο οικονομικό. Το MFN δίκτυο παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή έναντι παρεμβολών και προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία και αυτονομία έναντι ενός SFN.

Στα MFN δίκτυα, ραδιοφωνικοί σταθμοί εκπέμπουν σε ανεξάρτητες, διαφορετικές μεταξύ τους συχνότητες όπου κάθε μία καλύπτει συγκεκριμένο γεωγραφικό πεδίο. Έτσι αποφεύγεται η παρεμβολή σημάτων στις αλληλοκαλυπτόμενες περιοχές. Παρεμβαλλόμενα σήματα του ίδιου δικτύου με ίδιες ή παραπλήσιες συχνότητες προκαλούν παρεμβολή η οποία δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί από τους FM δέκτες. Για αυτό με σκοπό τη βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος απαιτείται προγραμματισμός συχνότητας για τις διάφορες τοποθεσίες του πομπού [17].

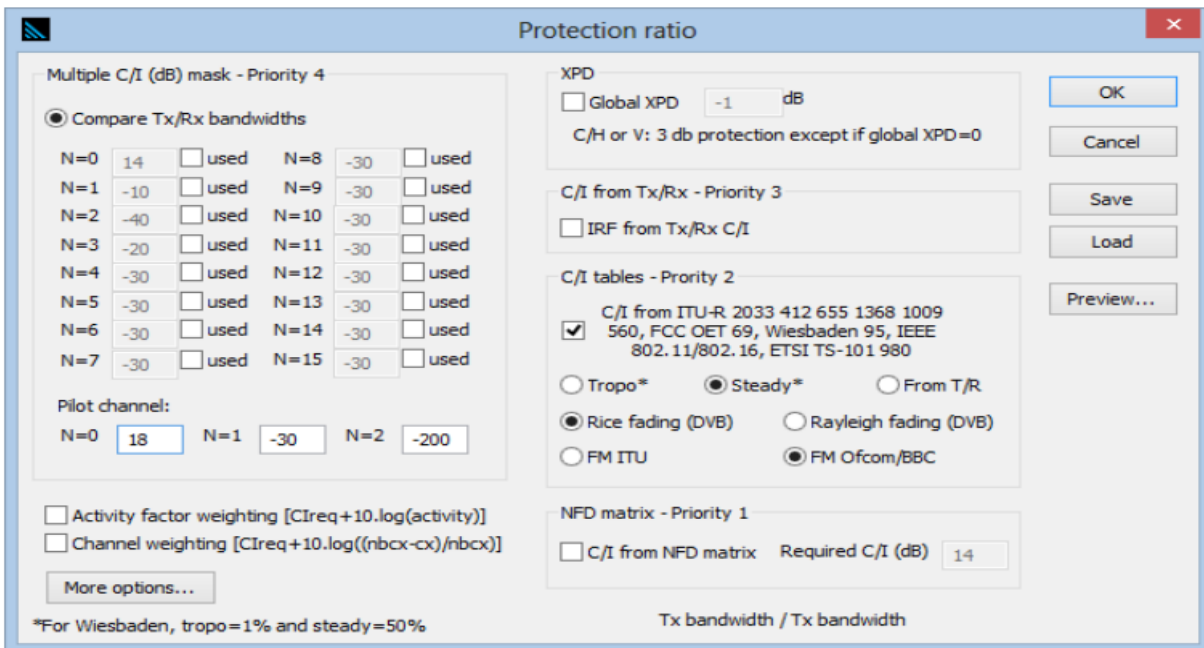
Ο προγραμματισμός των συχνοτήτων συντελεί στην ομαλή λειτουργία του δικτύου. Μέσω του σχεδιασμού συχνοτήτων ανατίθενται μοναδικές συχνότητες σε κάθε πομπό. Με τον υπολογισμό κάλυψης έχουμε την επιλογή κατάλληλου αριθμού πομπών και τοποθεσίας εγκατάστασής τους ώστε να καλύπτεται από το δίκτυο επαρκώς η ζητούμενη γεωγραφική έκταση. Επίσης επιλέγεται η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής.

Στο ICS Telecom υπάρχει το παράθυρο ρύθμισης ανάθεσης συχνοτήτων από όπου μπορεί ο χρήστης να καθορίσει τις συχνότητες οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν από διάφορες υπηρεσίες και σταθμούς εντός ενός δικτύου. Ακόμη μπορεί ο χρήστης να δει τις συχνότητες που έχουν ανατεθεί στον κάθε σταθμό ή υπηρεσία καθώς και τον τρόπο με τον οποίο έχουν κατανεμηθεί αυτές και τέλος να πραγματοποιήσει και εναλλαγή συχνοτήτων [48]. Στο σχήμα 7.4 παρουσιάζεται το παράθυρο ρύθμισης συχνοτήτων.



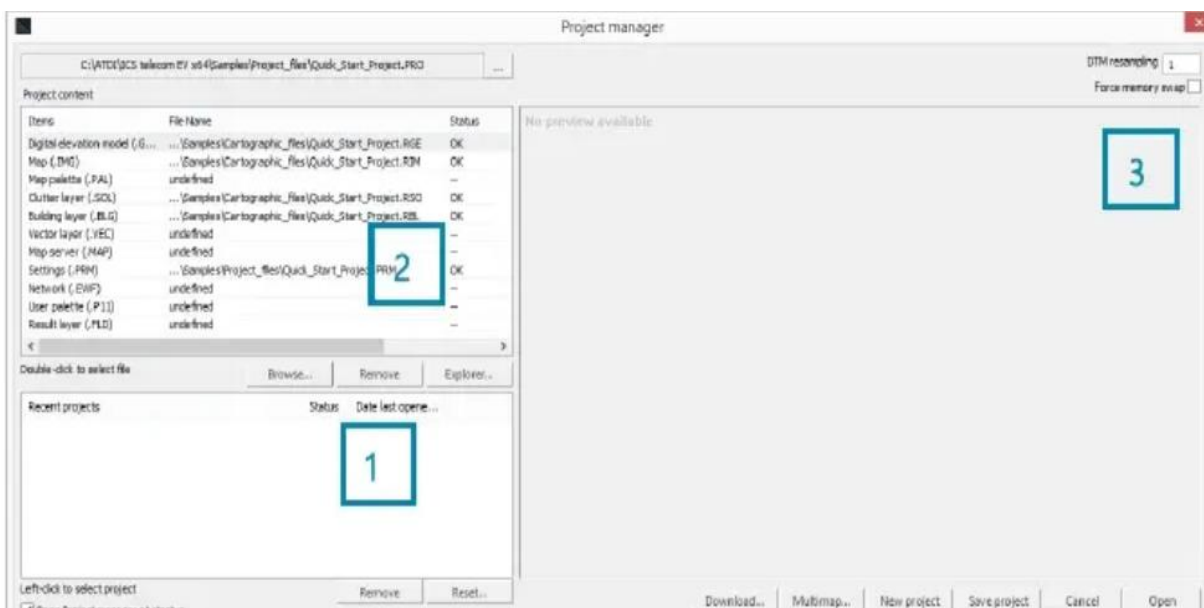
Σχήμα 7.4: Παράθυρο ρύθμισης συχνοτήτων (πηγή offcom [48])

Από το παράθυρο του λόγου προστασίας που απεικονίζεται στο σχήμα 7.5 ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει ο ίδιος τους λόγους προστασίας ή μπορεί να επιλέξει να γίνει αυτόματα από το λογισμικό μέσω προκαθορισμένων πινάκων.



Σχήμα 7.5: Ρύθμιση λόγου προστασίας (πηγή offcom [48])

Στην εφαρμογή ICS Telecom αρχικά εμφανίζεται το Project Manager εικόνα του οποίου παρουσιάζεται αμέσως μετά. Στο κάτω αριστερό κουτί το οποίο επισημαίνεται με τον αριθμό ένα του σχήματος 7.6 εμφανίζονται τα πρόσφατα project. Στο πλαίσιο το οποίο επισημαίνεται με τον αριθμό δύο έχουμε τη λίστα περιεχομένου του έργου όπου υπάρχουν συνδέσεις για όλα τα αρχεία στρωμάτων του έργου. Η πρόσφατη κατάσταση του έργου παρουσιάζεται δεξιά και επισημαίνεται με τον αριθμό τρία [45].



Σχήμα 7.6: Παράθυρο Project Manager του ICS Telecom (πηγή ATDI [45]).

Για την σχεδίαση και τον προγραμματισμό των δικτύων απαραίτητος είναι ο υπολογισμός κάλυψης δέκτη (Receiver Coverage Calculation) που καθορίζει για όλα τα ενεργοποιημένα στοιχεία που έχει το υπό εξέταση δίκτυο την ικανότητα λήψης ισχύος [38].

Επίσης σημαντικός για την σχεδίαση, τον προγραμματισμό και την αξιολόγηση του δικτύου είναι ο υπολογισμός κάλυψης Tx/Rx coverage calculation από πομπούς Tx και δέκτες Rx τύπου A ή τύπου B καθώς και από σταθμούς μικροκυμάτων (MW) που υπάρχουν στο χάρτη και είναι ενεργοί [38].

Ακόμη υπάρχει η λειτουργία υπολογισμού πορειών Path Calculation που δημιουργεί σχεδιαγράμματα πορειών μεταξύ ενός πομπού και ενός ορισμένου δέκτη στο χάρτη [38]. Τόσο η πολυπλοκότητα όσο και ο χρόνος υπολογισμού των πορειών αυξάνουν όσο αυξάνεται η ανάλυση. Η αύξηση της ανάλυσης, η οποία συνεπάγεται αύξηση του κόστους αλλά και αύξηση της ακρίβειας της προσομοίωσης, πραγματοποιείται με τη μείωση των τετραγωνικών μέτρων που αντιστοιχούν σε ένα pixel [17].

Με την ολοκλήρωση της δημιουργίας του έργου τοποθετούμε τους πομπούς, βρίσκοντας την ακριβή τους θέση μέσω της εφαρμογής Google Earth βρίσκοντας τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη των σημείων εκπομπής όπου για την FM ραδιοφωνία και για τα αεροβοηθήματα όπως το ILS είναι προκαθορισμένα. Αφού τοποθετήσουμε τους πομπούς, όπως παρουσιάζεται και στο σχήμα 7.7, ορίζουμε τις παραμέτρους που εμφανίζονται στο

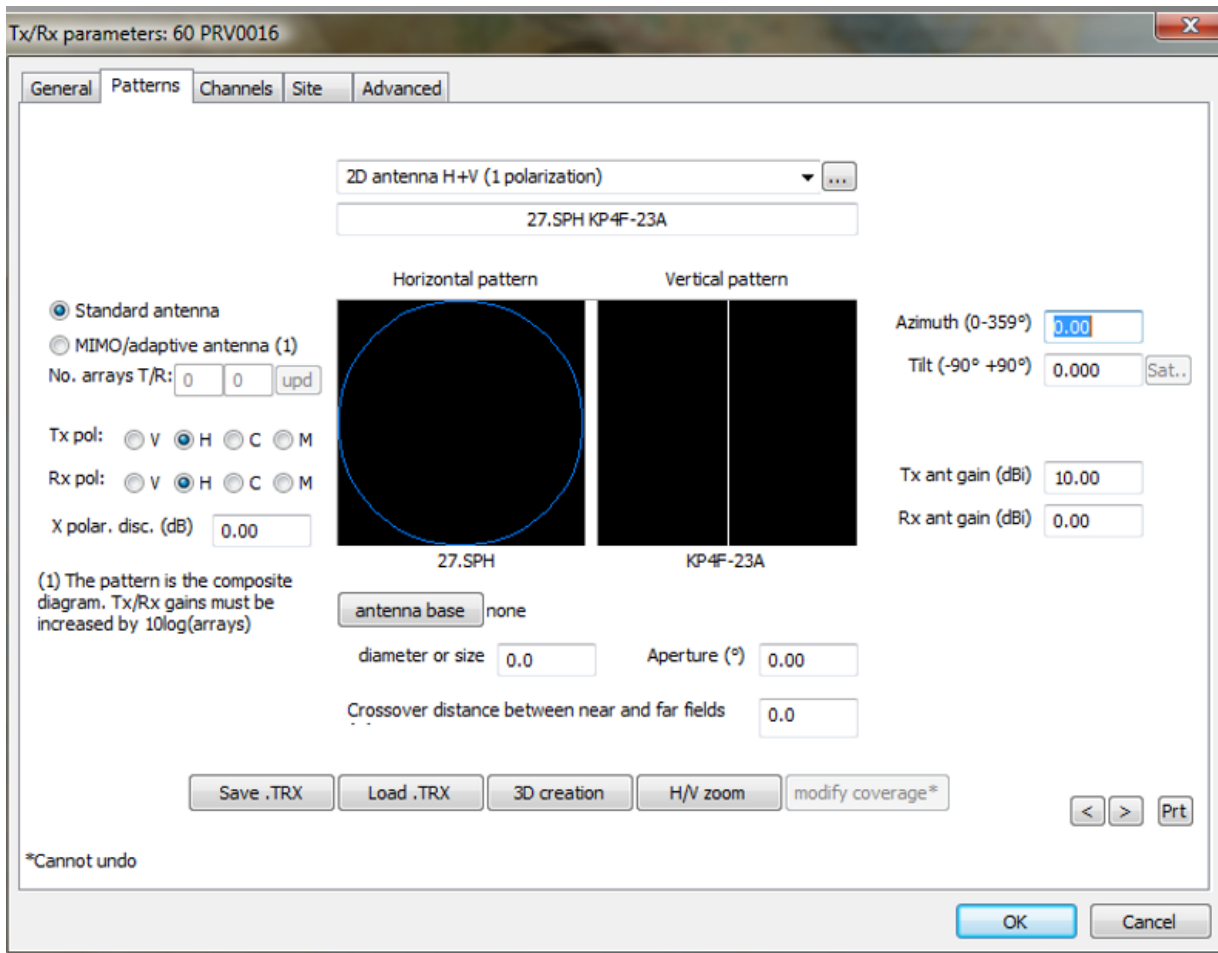
παράθυρο Tx/Rx. Μέσω της καρτέλας General του σχήματος 7.7, επιλέγουμε τον τύπο του τοποθετημένου αντικειμένου, του σήματος, τις απώλειες, τα κέρδη των κεραιών λήψης και εκπομπής καθώς και το ύψος των κεραιών, την επιθυμητή συχνότητα, το εύρος ζώνης για την εκπομπή και για την λήψη και την ονομασία του σταθμού [10].

Σχήμα 7.7: Καρτέλα General του ICS Telecom (πηγή Α. Γιαννόπουλος 2018 [17])

Στην καρτέλα Patterns του σχήματος 7.8 που ακολουθεί υπάρχουν για την κεραία εκπομπής παράμετροι όπως:

- το κάθετο και οριζόντιο διάγραμμα ακτινοβολίας
- αζιμούθιο
- η κλίση της κεραίας προς τον ορίζοντα
- το επιθυμητό επίπεδο πόλωσης.

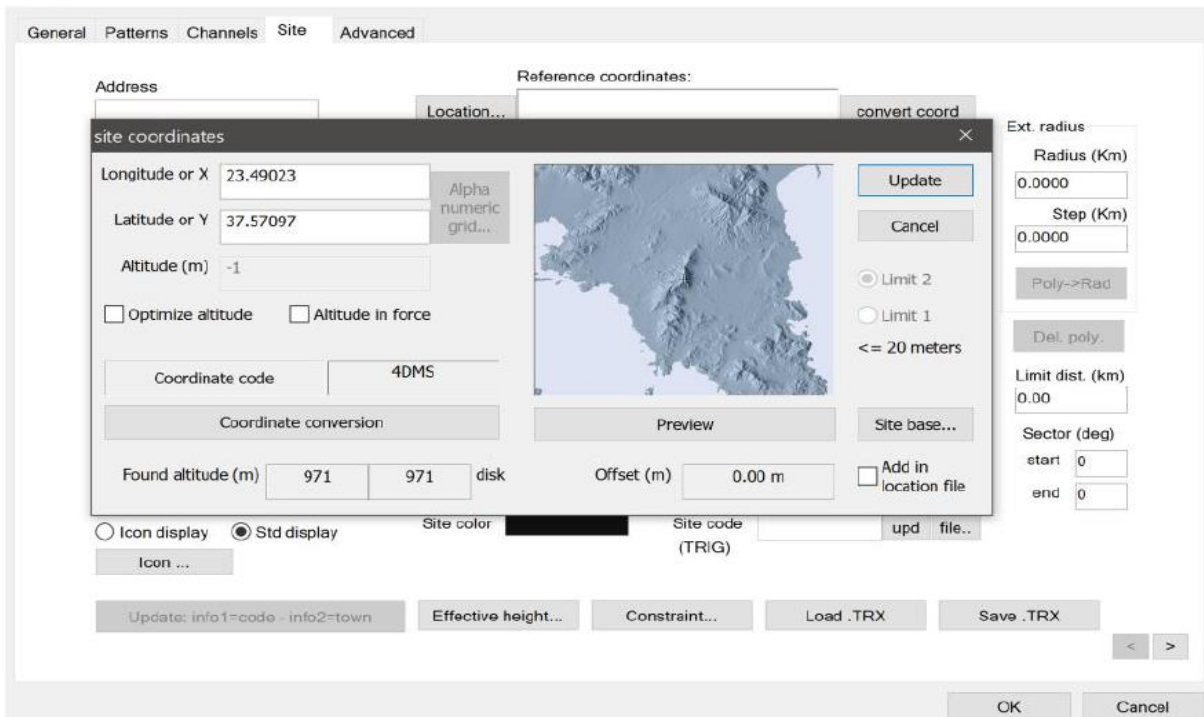
Μπορούμε επίσης να διαμορφώσουμε τα διαγράμματα κατά βούληση ή όπως περιγράφονται στις συστάσεις της ITU.



Σχήμα 7.8: Καρτέλα Pattern του ICS Telecom (πηγή Α. Γιαννόπουλος 2018 [17])

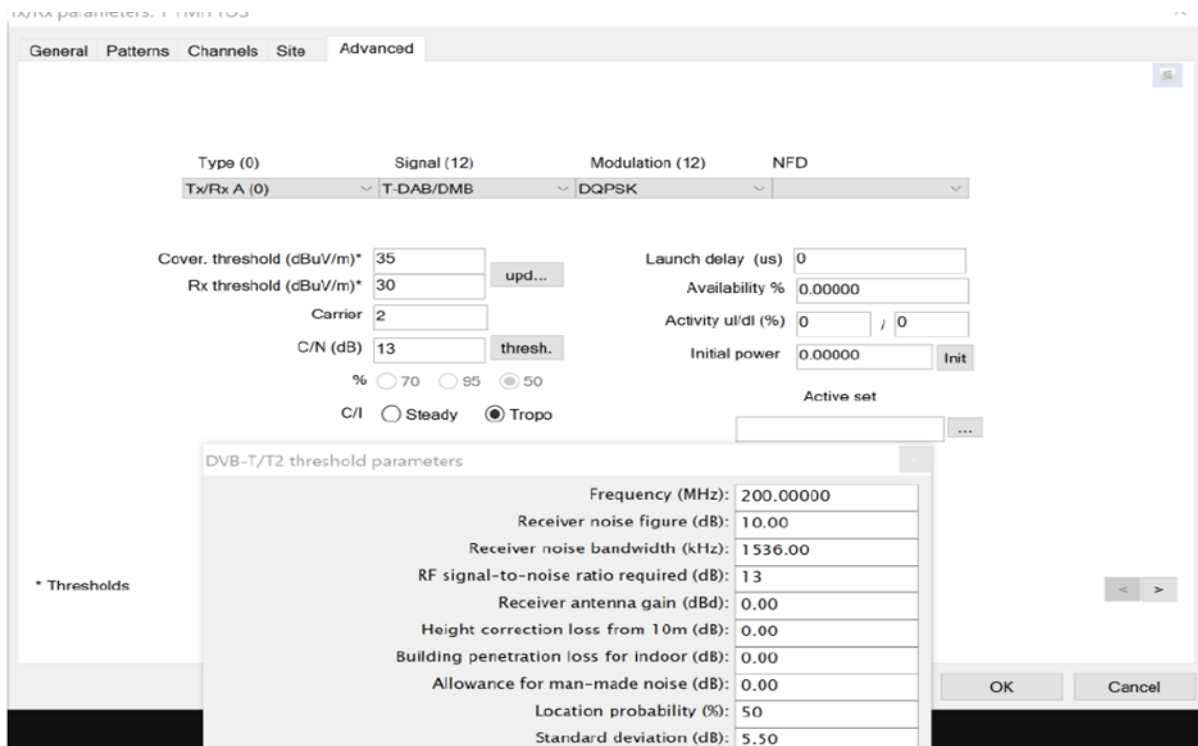
Η καρτέλα Channels δεν θα μας χρειαστεί για την προσομοίωση αλλά θα χρησιμοποιήσουμε την καρτέλα site η οποία σχετίζεται με την τοποθεσία του σταθμού μέσω των συντεταγμένων και του χρώματος εμφάνισης του σταθμού στο project, παράδειγμα παρουσιάζεται στο σχήμα 7.9 που ακολουθεί.





Σχήμα 7.9: Καρτέλα επιλογών site του ICS Telecom (πηγή Α. Γιαννόπουλος 2018 [17])

Τέλος στην καρτέλα Advanced υπάρχουν το σχήμα διαμόρφωσης και η κωδικοποίηση, τα κατώφλια κάλυψης και λήψης του δέκτη, οι απώλειες λόγω διάδοσης, το είδος παρεμβολής και η διαθεσιμότητα [17].

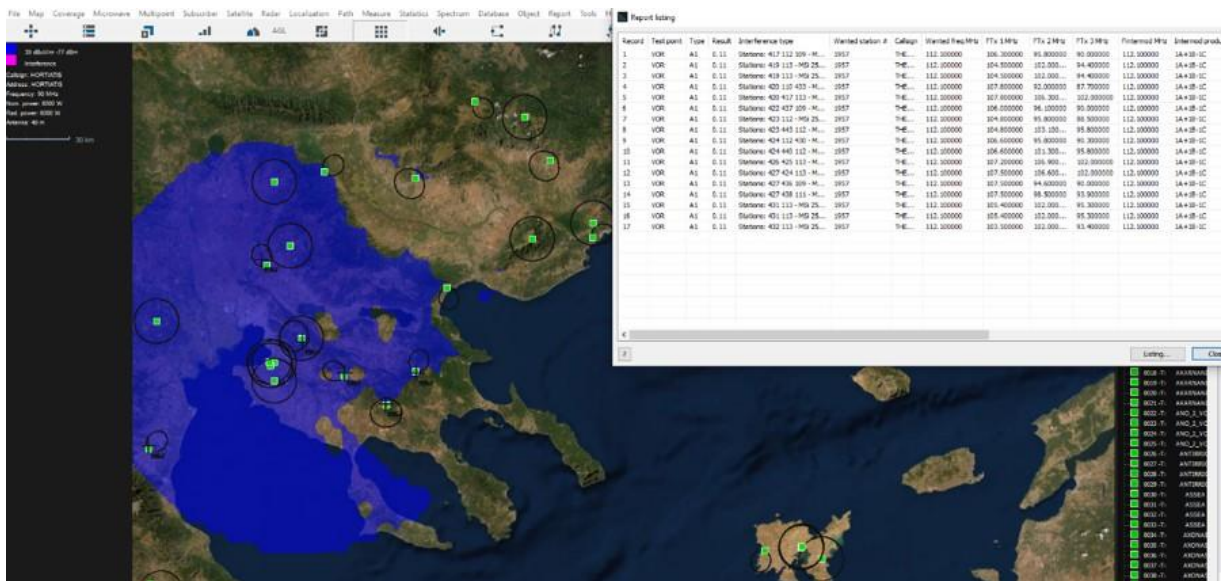


Σχήμα 7.10: Καρτέλα επιλογών advanced του ICS Telecom (πηγή Β. Σελίμης 2008 [38])

## 7.2 Μελέτη Περίπτωσης

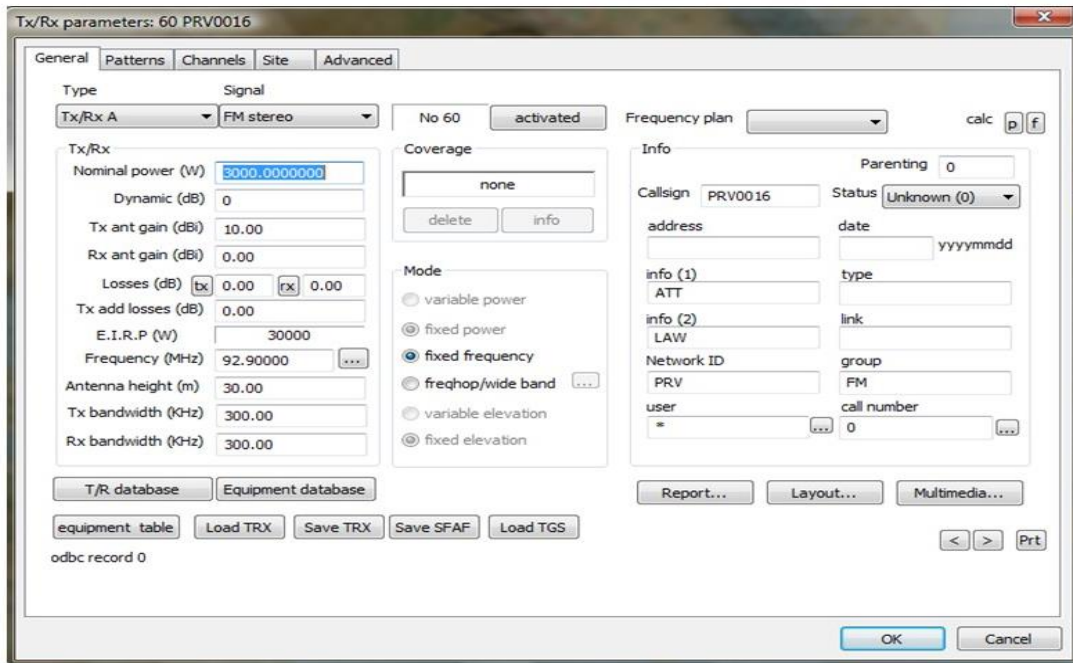
### 7.2.1 Χρήση ICS για μελέτη συμβατότητας μεταξύ ραδιοφωνίας FM και αεροβοηθημάτων στη Μακεδονία

Για τον έλεγχο της συμβατότητας μεταξύ των αεροβοηθημάτων και της ραδιοφωνίας FM έγινε χρήση του εξειδικευμένου λογισμικού ICS Telecom της ATDI, το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα προσδιορισμού των παραμέτρων των ραδιοφωνικών σταθμών και των αεροβοηθημάτων σε επιλεγμένη περιοχή. Επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί έλεγχος μεταξύ ραδιοφωνίας FM και VOR συστημάτων στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας όπως παρουσιάζεται ενδεικτικά και στο σχήμα 7.11 που ακολουθεί.



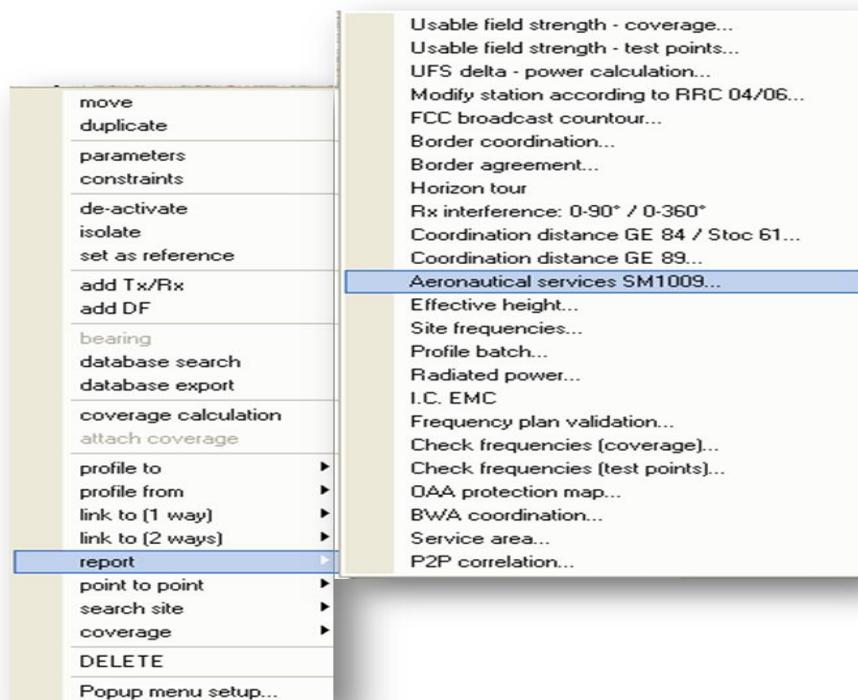
Σχήμα 7.11: Ενδεικτικό στιγμιότυπο της προσομοίωσης μέσω του ICS Telecom στην περιοχή της κεντρικής Μακεδονίας.

Αρχικά τοποθετήθηκαν οι πομποί FM στην ακριβή γεωγραφική θέση βρίσκοντας μέσω Google Earth τα γεωγραφικά μήκη και πλάτη των σημείων εκπομπής τα οποία για την FM ραδιοφωνία και για τα αεροβοηθήματα όπως το VOR είναι προκαθορισμένα. Κατόπιν μέσω του TX/RX Parameters όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 7.1.3 τέθηκαν οι κατάλληλες παράμετροι για κάθε σημείο εκπομπής FM εντός της υπό εξέταση περιοχής όπως ο τύπος του τοποθετημένου αντικειμένου, τα ύψη των κεραιών, οι απώλειες, το εύρος ζώνης εκπομπής και λήψης στην καρτέλα General όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται στο σχήμα 7.13 και στην καρτέλα Pattern το οριζόντιο και κάθετο διάγραμμα ακτινοβολίας, το αξιμούθιο, η κλίση και το επιθυμητό επίπεδο πόλωσης όπως παρουσιάστηκαν στο σχήμα 7.8.



Σχήμα 7.12: Ενδεικτικά παράμετροι καρτέλας General

Εν συνεχεία επιλέχθηκε το προς μελέτη αεροβοήθημα VOR και κάνοντας δεξί κλικ μέσω της λίστας που εμφανίζει στην επιλογή gerort καθορίστηκε ως πρότυπο η ITU-R SM.1009-1 όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 7.13.



Σχήμα 7.13: Επιλογή προσομοίωσης κατά ITU-R SM.1009-1

Το λογισμικό μέσω της ITU-R SM.1009-1 την οποία και επιλέξαμε πραγματοποιεί την προσομοίωση μέσω της οποίας προκύπτει ενδεικτικά το σχήμα 7.11 και ο πίνακας 7.1 επι του σχήματος 7.11.

Record	Test point	Type	Result	Interference type	Wanted station #	Collage	Wanted freq MHz	FTx 1MHz	FTx 2MHz	FTx 3MHz	Fintermod MHz	Intermod prod
1	VOR	A1	0.10	Stations: 417 112 309 - M...	2937	THE...	112.000000	106.300000	95.800000	90.000000	112.000000	1A+2B-1C
2	VOR	A1	0.10	Stations: 419 113 -MS 25...	2937	THE...	112.000000	104.500000	102.000...	94.400000	112.000000	1A+2B-1C
3	VOR	A1	0.10	Stations: 419 113 -MS 25...	2937	THE...	112.000000	104.500000	102.000...	94.400000	112.000000	1A+2B-1C
4	VOR	A1	0.10	Stations: 420 110 435 - M...	2937	THE...	112.000000	107.800000	92.000000	87.700000	112.000000	1A+2B-1C
5	VOR	A1	0.10	Stations: 420 417 113 - M...	2937	THE...	112.000000	107.800000	106.300...	102.000000	112.000000	1A+2B-1C
6	VOR	A1	0.10	Stations: 422 437 309 - M...	2937	THE...	112.000000	106.000000	95.000000	90.000000	112.000000	1A+2B-1C
7	VOR	A1	0.10	Stations: 423 112 -MS 25...	2937	THE...	112.000000	104.800000	95.800000	88.500000	112.000000	1A+2B-1C
8	VOR	A1	0.10	Stations: 423 443 112 - M...	2937	THE...	112.000000	104.800000	103.150...	95.800000	112.000000	1A+2B-1C
9	VOR	A1	0.10	Stations: 424 112 430 - M...	2937	THE...	112.000000	106.600000	95.800000	90.300000	112.000000	1A+2B-1C
10	VOR	A1	0.10	Stations: 424 440 112 - M...	2937	THE...	112.000000	106.600000	101.300...	95.800000	112.000000	1A+2B-1C
11	VOR	A1	0.10	Stations: 426 425 113 - M...	2937	THE...	112.000000	107.200000	106.900...	102.000000	112.000000	1A+2B-1C
12	VOR	A1	0.10	Stations: 427 424 113 - M...	2937	THE...	112.000000	107.500000	106.400...	102.000000	112.000000	1A+2B-1C
13	VOR	A1	0.10	Stations: 427 436 309 - M...	2937	THE...	112.000000	107.500000	94.600000	90.000000	112.000000	1A+2B-1C
14	VOR	A1	0.10	Stations: 427 438 111 - M...	2937	THE...	112.000000	107.500000	98.500000	91.900000	112.000000	1A+2B-1C
15	VOR	A1	0.10	Stations: 431 113 -MS 25...	2937	THE...	112.000000	105.400000	102.000...	95.300000	112.000000	1A+2B-1C
16	VOR	A1	0.10	Stations: 431 113 -MS 25...	2937	THE...	112.000000	105.400000	102.000...	95.300000	112.000000	1A+2B-1C
17	VOR	A1	0.10	Stations: 432 113 -MS 25...	2937	THE...	112.000000	103.500000	102.000...	93.400000	112.000000	1A+2B-1C

Πίνακας 7.1: Ενδεικτικός πίνακας αποτελεσμάτων προσομοίωσης λογισμικού ICS Telecom με χρήση της ITU-R SM.1009-1.

Στον πίνακα 7.1 παρουσιάζονται ο αύξων αριθμός παρεμβολής, το υπό εξέταση σύστημα, ο τύπος της παρεμβολής και χαρακτηριστικά των σταθμών FM όπως το ID τους. Εν συνεχεία παρατηρούμε τη συχνότητα του ραδιοσημείου ραδιοπλοήγησης 112,5 MHz στη στήλη “Wanted freq MHz”, τις συχνότητες FM που ενδοδιαμορφώνουν στις στήλες “FTx 1 MHz”, “FTx 2 MHz” και “FTx 3 MHz”, το γινόμενο ενδοδιαμόρφωσης στη στήλη “Fintermod MHz” και τέλος παρουσιάζεται ο τύπος ενδοδιαμόρφωσης.

Μέσω της προσομοίωσης ενδεικτικά παρατηρήθηκαν δεκαεπτά γινόμενα ενδοδιαμόρφωσης που παρεμβάλλουν. Στην περίπτωση αυτή παρατηρούνται γινόμενα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης, τριών σημάτων  $f_1$ ,  $f_2$  και  $f_3$  της μορφής:

$$f_{intermod} = f_1 + f_2 - f_3$$

Δηλαδή στην περίπτωση αυτή:

$$f_{intermod} = 1A + 1B - 1C$$

όπου: A οι συχνότητες της στήλης “FTx 1 MHz”,

B οι συχνότητες της στήλης “FTx 2 MHz” και

C οι συχνότητες της στήλης “FTx 3 MHz” του πίνακα 7.1.

### 7.2.2 Τρόποι εξάλειψης των παρεμβολών

Η εμφάνιση παρεμβολών λόγω των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης, οφείλεται στη μη γραμμική λειτουργία των ενισχυτικών διατάξεων. Τα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξεως καθώς παράγουν σήματα κοντά στις εισαγόμενες συχνότητες δεν μπορούν να φιλτραριστούν εύκολα [49]. Ένας τρόπος εξάλειψης των παρεμβολών λόγω των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης περιττής τάξης είναι η λειτουργία των ενισχυτικών διατάξεων στη γραμμική περιοχή το οποίο όμως δε μας επιτρέπει τη μέγιστη δυνατή ενίσχυση του σήματος [50]. Σε πρότυπα του Ευρωπαϊκού Ινστιτούτου Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (ETSI) γίνεται συχνά διάκριση μεταξύ ενεργής ενδοδιαμόρφωσης λόγω μη γραμμικών στοιχείων των πομπών και παθητικής ενδοδιαμόρφωσης λόγω υλικών των κεραιών και μεταλλικών επαφών σε πύργους [49]. Για τη γραμμικοποίηση ενός συστήματος πομπού βάση του προτύπου SM.2021-0 της ITU μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κάποια από τις μεθόδους:

- Feedforward linearization, η οποία όμως απαιτεί την ύπαρξη και δεύτερου ενισχυτή. Η τεχνική αυτή αν χρησιμοποιηθεί με ενισχυτή TWT μπορεί να δώσει αύξηση της ισχύος εξόδου κατά 3 dB.
- Feedback linearization, όπου μπορεί να επιτευχθεί γραμμικοποίηση μέσω ανατροφοδότησης
- Predistortion, όπου πραγματοποιείται επιθυμητή προπαραμόρφωση ώστε να μειωθεί η παραμόρφωση που εισάγεται λόγω της μη γραμμικότητας των ενισχυτικών διατάξεων.

Οι τεχνικές γραμμικοποίησης RF ενισχυτών χωρίζονται σε:

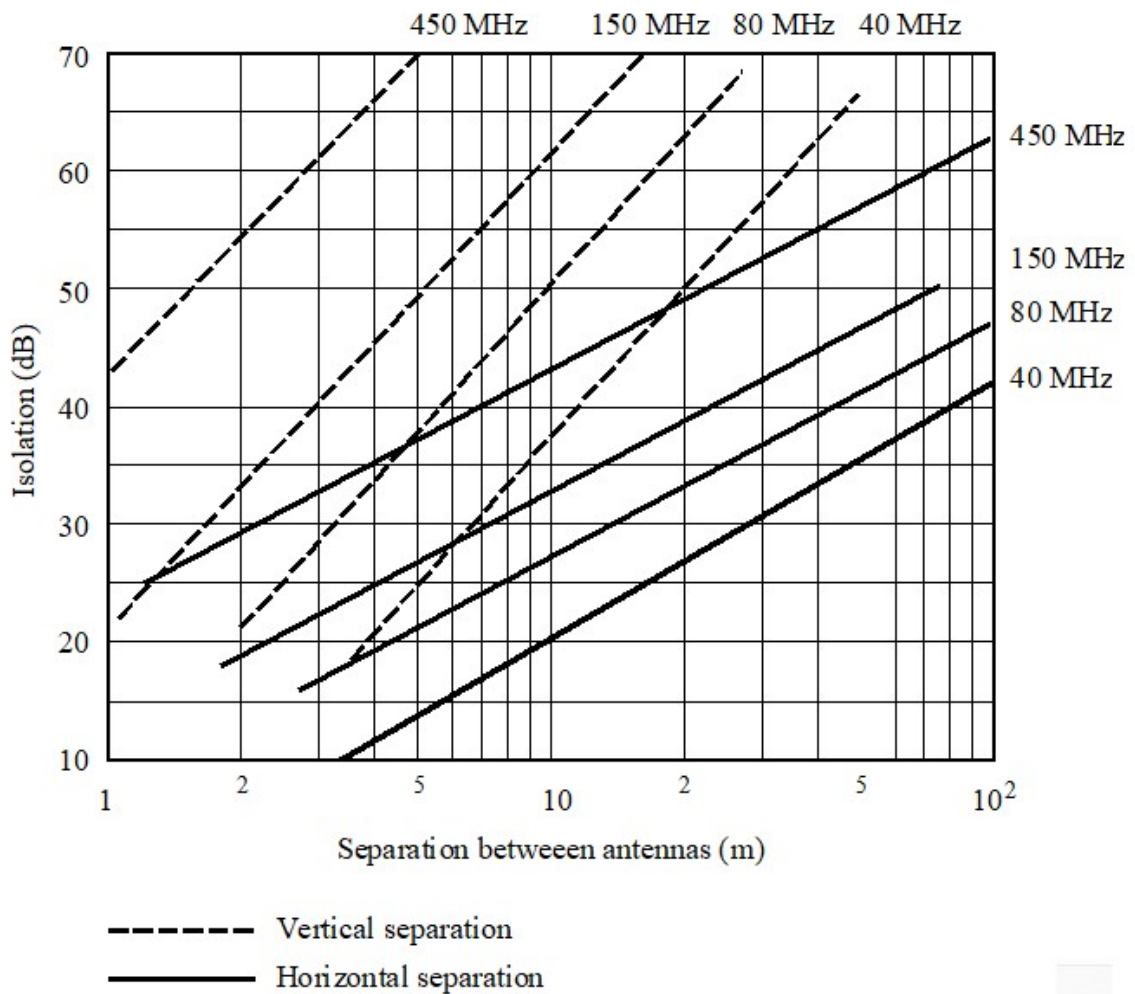
- Τεχνικές ανοιχτού βρόχου (open-loop techniques) όπως η Predistortion οι οποίες είναι απόλυτα σταθερές αλλά δεν μπορούν να ακολουθήσουν αλλαγές χαρακτηριστικών του ενισχυτή.
- Τεχνικές κλειστού βρόχου (close-loop techniques) οι οποίες είναι προσαρμόσιμες σε αλλαγές χαρακτηριστικών του ενισχυτή αλλά μπορεί να εμφανίσουν προβλήματα σταθερότητας.

Μείωση των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης διαφορετικών πομπών σε κοινή τοποθεσία μπορεί να επιτευχθεί με θωράκιση τοποθεσίας μεταξύ πομπών δηλαδή ελαχιστοποίηση της σύζευξης. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της απόστασης των κεραιών  $d$  όπου υποθέτοντας  $d \gg \lambda$  (με  $\lambda$  το ύψος της κεραιάς) προκύπτει isolation,  $L$ :

$$L = -27.5 + 20 \log\left(\frac{d}{m}\right) + 20 \log\left(\frac{f}{MHz}\right) - G1(\varphi1, \theta1) - G2(\varphi2, \theta2) \quad dB$$

Όπου  $G1, G2$  κέρδη κεραιών.

Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 7.14 που ακολουθεί, η μέγιστη εξασθένηση επιτυγχάνεται ευκολότερα για κατακόρυφο διαχωρισμό κεραιών.



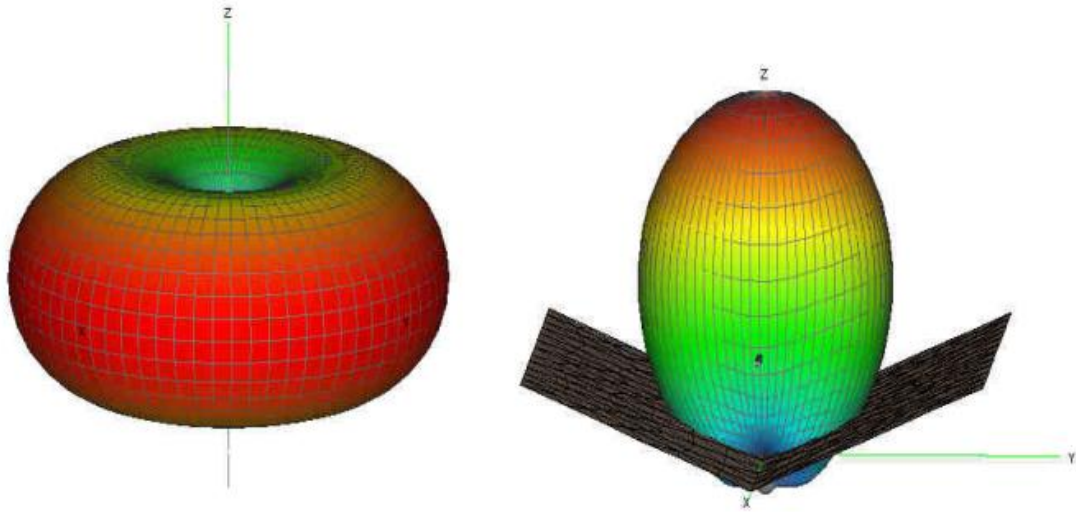
Σχήμα 7.14: Isolation έναντι διαχωρισμού κάθετα πολωμένων κεραιών (πηγή: ITU-R SM.2021-0 [49]).

Για μικρότερες συχνότητες ή για μεγάλες, πυκνά τοποθετημένες σειρές κεραιών οι τιμές isolation μειώνονται. Επίσης αν εντός των κύριων λοβών των κεραιών υπάρχουν κτίρια, οι πυλώνες ή άλλα εμπόδια τότε μπορεί να προκληθούν ανακλάσεις και να μειωθούν πάλι οι τιμές του L. Ακόμη η απομόνωση επηρεάζεται και από τα διαγράμματα ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται [49]. Μπορεί να πραγματοποιηθεί τροποποίηση του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραιάς [51].

Μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση της επιχειρησιακής λειτουργίας ενός VOR συστήματος με επέκταση του αντιβάρου (counterpoise) ώστε να μειωθούν τα σφάλματα λόγω κατακόρυφης πολυδιαδρομής, ή για την πλευρική με αύξηση του ύψους του το οποίο όμως συντελεί στην αύξηση της ασυνέχειας μεταξύ αντιβάρου και εδάφους αυξάνοντας έτσι την κατακόρυφη [32].

Στους σταθμούς FM που συμβάλλουν στη δημιουργία γινομένων ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξης που παρεμβάλλουν στη λειτουργία των VOR συστημάτων μπορούν να αντικατασταθούν οι διπολικές κεραιές τους με κεραιές γωνιακού ανακλαστήρα (corner reflector antennas) οι οποίες είναι πιο κατευθυντικές, και οδηγούν στη μείωση της ισχύος που φτάνει

στους δέκτες των VOR συστημάτων [51]. Στο σχήμα 7.15 παρουσιάζονται τα τρισδιάστατα μοτίβα ακτινοβολίας διπολικής κεραίας και κεραίας γωνιακού ανακλαστήρα.



Σχήμα 7.15: Τρισδιάστατο μοτίβο ακτινοβολίας διπολικής κεραίας και κεραίας γωνιακού ανακλαστήρα (πηγή: J. Kaaya, A. Sam, and N. Mandela [51]).

Αν το επίπεδο του επιθυμητού σήματος είναι αρκετά υψηλό μπορεί να τοποθετηθεί στην είσοδο του δέκτη ένας μεταβλητός RF εξασθενητής ώστε να μειώσει την εισερχόμενη παρεμβολή κάτω από ένα επιθυμητό επίπεδο [49], [52].

Μείωση των παρεμβολών λόγω των γινομένων ενδοδιαμόρφωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί επίσης με τη μείωση της ισχύος των πομπών FM που εκπέμπουν τα σήματα  $f_1$ ,  $f_2$  και  $f_3$  που παρουσιάστηκαν στην παράγραφο 7.2.1.

Ακόμη μπορεί να πραγματοποιηθεί μετατόπιση συχνοτήτων για τους υπαίτιους σταθμούς FM αν υπάρχουν διαθέσιμες συχνότητες, στο ήδη ιδιαίτερα περιορισμένο φάσμα συχνοτήτων [51]. Όμως υπάρχει ο κίνδυνος να δημιουργηθούν προβλήματα παρεμβολών σε άλλα τμήματα της ζώνης συχνοτήτων της FM ή και σε γειτονικές αυτής.

Τέλος άλλος τρόπος εξάλειψης των παρεμβολών ο οποίος όμως δεν προκρίνεται ως λύση, είναι η αλλαγή της τοποθεσίας εγκατάστασης του VOR συστήματος το οποίο όμως αποτελεί μία ιδιαίτερα πολύπλοκη, δαπανηρή και χρονοβόρα διαδικασία η οποία όταν ολοκληρωθεί θα πρέπει να ελεγχθεί εκ νέου [32].

## 8 Συμπεράσματα

Συμπερασματικά καθώς το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελεί έναν ακριβό και σπάνιο εθνικό πόρο καθίσταται αναγκαία η πιστή τήρηση των κανόνων και προτύπων των ρυθμιστικών αρχών ώστε να μειωθεί το πρόβλημα των παρεμβολών μεταξύ των υπηρεσιών.

Καθώς τα αεροβοηθήματα και η ραδιοφωνία FM, η συμβατότητα των οποίων πραγματεύεται στην εργασία αυτή, γειτνιάζουν φασματικά η ύπαρξη παρεμβολών μπορεί να επιφέρει αρκετά δυσμενείς επιπτώσεις στη λειτουργία τους και στην ασφάλεια των πτήσεων. Σημαντικότερο πρόβλημα από την ύπαρξη των παρεμβολών δημιουργείται στα αεροβοηθήματα όπου έχουμε παρεμβολή στις επικοινωνίες, στην πλοήγηση και στην προσέγγιση του αεροδιαδρόμου. Σημαντικό πρόβλημα παρεμβολών δημιουργείται λόγω των προϊόντων ενδοδιαμόρφωσης τρίτης τάξεως όπως προκύπτει από τη μελέτη περίπτωσης για την κεντρική Μακεδονία, ενδεικτικά αποτελέσματα της οποίας παρουσιάστηκαν στο έβδομο κεφάλαιο της εργασίας αυτής. Η πλήρης εξάλειψη των παρεμβολών είναι αδύνατη αλλά μπορεί να επιτευχθεί μείωση αυτών μέσω τεχνικών γραμμικοποίησης της λειτουργίας των FM πομπών, με ελαχιστοποίηση σύζευξης αυτών, με τροποποίηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και των διαγραμμάτων ακτινοβολίας των κεραιών, με χρήση κεραιών γωνιακού ανακλαστήρα, με επέκταση του αντιβάρου ή με χρήση μεταβλητών RF εξασθενητών στην είσοδο του δέκτη του αεροβοηθήματος εφόσον η ισχύς του επιθυμητού σήματος είναι αρκετά υψηλή.

Άλλοι τρόποι μείωσης των παρεμβολών στα αεροβοηθήματα οι οποίοι όμως δεν προκρίνονται λόγω υψηλού κόστους, πολυπλοκότητας αλλά και δημιουργίας πιθανών νέων παρεμβολών σε άλλα συστήματα και υπηρεσίες είναι η αλλαγή συχνότητας στους FM σταθμούς οι οποίοι συμβάλουν στη δημιουργία παρεμβολών, η μείωση της ισχύος των πομπών FM και η μετεγκατάσταση του συστήματος VOR.



## 9 Βιβλιογραφία

- [1] “Γενικές πληροφορίες - ΕΕΤΤ | Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων.” <https://www.eett.gr/parochoi/fasma-radiosychnotiton/adeiodotisi-radiosychnotiton/genikes-plirofories/?print=print> (accessed Jul. 29, 2023).
- [2] Δ. Πέτρα and Α. Παρασκευή, “Διαχείριση Φάσματος Στις Ζώνες Συχνοτήτων Vhf-uhf. Μελέτη Προδιαγραφών Για Την Κοινή Χρήση Του Φάσματος Από Υπηρεσίες Ευρυεκπομπής Και Από Άλλες Υπηρεσίες,” ΕΜΠ/ΗΜΜΥ, Αθήνα, 2008. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/15059>
- [3] “Our vision (ITU is committed to connecting the world).” <https://www.itu.int/en/about/Pages/vision.aspx> (accessed Jul. 29, 2023).
- [4] “CEPT.” <https://www.cept.org/cept> (accessed Jul. 29, 2023).
- [5] “ECC.” <https://www.cept.org/ecc> (accessed Jul. 29, 2023).
- [6] “Com-ITU.” <https://www.cept.org/com-itu> (accessed Jul. 29, 2023).
- [7] “CERP.” <https://www.cept.org/cerp> (accessed Jul. 29, 2023).
- [8] “Κώδικας Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών:Ενσωμάτωση στο ελληνικό δίκαιο της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/1972 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Δεκεμβρίου 2018 | Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης.” <http://www.opengov.gr/digitalandbrief/?p=1702> (accessed Jun. 01, 2023).
- [9] “Άρθρο 6 Αρμοδιότητες του Υπουργείου Ψηφιακής Διακυβέρνησης | Υπουργείο Ψηφιακής Διακυβέρνησης.” <http://www.opengov.gr/digitalandbrief/?p=1696> (accessed Jul. 29, 2023).
- [10] “Ποια είναι η ΕΕΤΤ - ΕΕΤΤ | Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων.” <https://www.eett.gr/eett/schetika-me-tin-eett/poia-einai-i-eett/> (accessed May 31, 2023).
- [11] “Αρμοδιότητες - ΕΕΤΤ | Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών & Ταχυδρομείων.” <https://www.eett.gr/parochoi/fasma-radiosychnotiton/armodiotites/> (accessed Jul. 29, 2023).
- [12] “Έγκριση Εθνικού Κανονισμού Κατανομής Ζωνών Συχνοτήτων (ΕΚΚΖΣ).” [https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2023/02/FEK6474\\_B\\_EKKZS\\_2021.pdf](https://www.eett.gr/wp-content/uploads/2023/02/FEK6474_B_EKKZS_2021.pdf) (accessed May 30, 2023).
- [13] Ηλίας Ι. Διονύσιος, “Σύγχρονες Τάσεις και απαιτήσεις για τη χρήση του ραδιοφάσματος,” ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ, Αθήνα, 2014. Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: [https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39842/Iliasd\\_frequency.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/39842/Iliasd_frequency.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- [14] "ITU-R V.431-8 : Nomenclature of the frequency and wavelength bands used in telecommunications." <https://www.itu.int/rec/R-REC-V.431-8-201508-I/en> (accessed Jul. 29, 2023).
- [15] Π. Κωττής, *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ Διαμόρφωση & Μετάδοση Σημάτων*. ΤΖΙΟΛΑΣ, 2019.
- [16] "ITU-R BS.412-9 : Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF." <https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.412/en> (accessed Jun. 04, 2023).
- [17] Α. Γιαννόπουλος, "Μελέτη εισαγωγής επίγειου ψηφιακού ραδιοφώνου DAB+ στην Ελλάδα," 2018. doi: 10.26240/HEAL.NTUA.15262.
- [18] I. Radiocommunication Bureau, "ITU-R SM.1009-1 Compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-137 MHz SM Series Spectrum management." Accessed: Apr. 02, 2023. [Online]. Available: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>
- [19] J. Rakas and M. Hecht, "Airport availability modelling: A different perspective," *International Journal of Critical Infrastructures*, vol. 3, no. 3–4, pp. 430–456, 2007, doi: 10.1504/IJCIS.2007.014119.
- [20] Myron Kayton and Walter R. Fried, "Avionics Navigation Systems." [https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=1KLTUWLz8jcC&oi=fnd&pg=PR17&dq=\).%E2%80%9CAvionics+Navigation+Systems,%E2%80%9D+2nd+ed.,+Wiley,+New+York&ots=6lpG2ahgY6&sig=JOzs9hP7r0hPpV2pV\\_PaT83XeT4&redir\\_esc=y#v=onepage&q=\).%E2%80%9CAvionics%20Navigation%20Systems%2C%E2%80%9D%202nd%20ed.%2C%20Wiley%2C%20New%20York&f=false](https://books.google.gr/books?hl=el&lr=&id=1KLTUWLz8jcC&oi=fnd&pg=PR17&dq=).%E2%80%9CAvionics+Navigation+Systems,%E2%80%9D+2nd+ed.,+Wiley,+New+York&ots=6lpG2ahgY6&sig=JOzs9hP7r0hPpV2pV_PaT83XeT4&redir_esc=y#v=onepage&q=).%E2%80%9CAvionics%20Navigation%20Systems%2C%E2%80%9D%202nd%20ed.%2C%20Wiley%2C%20New%20York&f=false) (accessed Jul. 30, 2023).
- [21] "Instrument landing system - Wikipedia." [https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument\\_landing\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Instrument_landing_system) (accessed Jul. 30, 2023).
- [22] Α. Καρφής, "Ανάλυση κρίσιμων παραγόντων ποιότητας για τη μελέτη και τον σχεδιασμό Συστήματος Ενόργανης Προσγείωσης (ILS)."
- [23] "Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας - Συστήματα Πλοήγησης DVOR, DME και ILS." <http://www.ypa.gr/profile/cofinancing/dvor/etairiko-symfono6/> (accessed Jul. 30, 2023).
- [24] E. Öktemer and E. E. Gültekin, "Operational usage and importance of instrument landing system (ILS)," *International Journal of Aeronautics and Astronautics*, vol. 2, no. 1, pp. 18–21, Apr. 2021.
- [25] *Annex 10, Volume I — Aeronautical Telecommunications Volume I — Radio Navigation Aids*, 7th edition. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2018.
- [26] Κ. Κουρής and Κ. Γεωργόπουλος, "Πλοήγηση και Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα-emc Αεροσκαφών," ΕΜΠ/ΗΜΜΥ, Αθήνα, 2008. Accessed: May 16, 2023. [Online]. Available: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/15075>

- [27] Lo Sherman, *Position, Navigation, and Timing Technologies in the 21st Century*. Wiley, 2020. doi: 10.1002/9781119458555.
- [28] "ILS Glideslope - How it Works." <https://www.avionicslist.com/articles/ILS-glideslope.php> (accessed Jun. 19, 2023).
- [29] "Marker Beacon System Using Arduino - Hackster.io." <https://www.hackster.io/rushi1705/marker-beacon-system-using-arduino-ea77cc> (accessed Jul. 30, 2023).
- [30] Clarke A. Clifton and Larsen E. William, "DOT /FAA/CT -86/40 Aircraft Electromagnetic Compatibility," Atlantic City, 1987.
- [31] "VHF Omnidirectional Range (VOR) | Study Aircrafts." <https://www.studyaircrafts.com/vor> (accessed Jun. 08, 2023).
- [32] Γ. Ζαχαρόπουλος and Π. Κυριαζής, "Μέθοδοι Αξιολόγησης Θέσεων Εγκατάστασης Συστημάτων Πλοήγησης Vhf Omnidirectional Range Για Τον Εντοπισμό Και Την Αναίρεση Των Πηγών Σφαλμάτων Της Παρεχόμενης Πληροφορίας," 2015, Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/12852>
- [33] "Aircraft communications | Aviation Pros." <https://www.aviationpros.com/engines-components/aircraft-airframe-accessories/cabin-communications/article/10389097/aircraft-communications> (accessed Jul. 31, 2023).
- [34] "EUROCONTROL Guidelines on 8.33 kHz Channel Spacing for Military Operators." Accessed: Jul. 31, 2023. [Online]. Available: [www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int)
- [35] S. De Cuendas, "The Future Air Navigation System FANS B Air traffic communications enhancement for the A320 Family".
- [36] "Aeronautical licence products - Ofcom." <https://www.ofcom.org.uk/manage-your-licence/radiocommunication-licences/aeronautical-licensing/licence-products> (accessed Jul. 31, 2023).
- [37] "SM.1140 : Test procedures for measuring aeronautical receiver characteristics used for determining compatibility between the sound-broadcasting service in the band of about 87-108 MHz and the aeronautical services in the band 108-118 MHz." <https://www.itu.int/rec/R-REC-SM.1140/en> (accessed Aug. 25, 2023).
- [38] Β. Σελίμης, "Χρήση του ICS TELECOM για την προσομοίωση εκπομπής ψηφιακής τηλεόρασης.," 2008, Accessed: Jun. 29, 2023. [Online]. Available: <https://apothesis.lib.hmu.gr/handle/20.500.12688/3577>
- [39] "Rebrand: HTZ communications now replaces ICS Telecom - ATDI." <https://atdi.com/products-and-solutions/ics-telecom/> (accessed Jul. 13, 2023).
- [40] "Bullington Delta-Bullington Diffraction UTD 3D Multipath: Ray-tracing and Lambertian reflections 2D reflections: minima/maxima, reflection point, 2-ray model Absorption (dB/km, mix Diffraction/absorption...) ITM-NTIA (Longley-Rice) Durkin 3GPP-LTE (urban/rural) SU1

Okumura-Hata Hata Seamcat modified Hata Cost 231 Cost 231 open Walfisch-Ikegami OHD TSB-88 Hata modified by ACMA Boitias,” 1994. <https://atdi.com/resources/htz-propagation-models-list/> (accessed Jul. 14, 2023).

- [41] “HTZ Communications -Radio network planning and optimisation ATDI.” <https://atdi.com/products-and-solutions/htz-communications/> (accessed Jul. 13, 2023).
- [42] “ICS telecom the ultimate radio network planning tool.” [http://www.iritel.com/images/pdf/ics\\_telecom\\_brochure\\_web.pdf](http://www.iritel.com/images/pdf/ics_telecom_brochure_web.pdf) (accessed Jul. 13, 2023).
- [43] Βλάσσης Ελευθέριος, “Σχεδιασμός και διαστασιολόγηση δικτύων κινητών επικοινωνιών 4ης γενιάς,” ΕΚΠΑ, Αθήνα, 2018. Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://pergamos.lib.uoa.gr/uoa/dl/frontend/file/lib/default/data/2779328/theFile>
- [44] “Getting started with ICS Telecom EV.” <https://www.scribd.com/document/442146009/Getting-Started-ICS-telecom-pdf#> (accessed Jul. 16, 2023).
- [45] “Getting Started ICS Telecom PDF | PDF | Computer File | 3 D Computer Graphics.” <https://www.scribd.com/document/442146009/Getting-Started-ICS-telecom-pdf#> (accessed Jul. 16, 2023).
- [46] Β.-Σ. Τσιαφάκης, “Ανάπτυξη τεχνολογιών σχεδιασμού και υλοποίησης δικτύων επίγειας ψηφιακής τηλεόρασης,” Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Τομέας Συστημάτων Μετάδοσης Πληροφορίας και Τεχνολογίας Υλικών, 2009. doi: 10.12681/EADD/27158.
- [47] “ITU-R BT 2386-4 Digital terrestrial broadcasting: Design and implementation of single frequency networks (SFN).” Accessed: Jul. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2386-4-2023>
- [48] “UHF and VHF spectrum planning - Call for inputs to Ofcom’s plans for the potential procurement of models, tools & services - Ofcom (responses ATDI).” <https://www.ofcom.org.uk/consultations-and-statements/category-1/uhf-vhf-spectrum-planning> (accessed Jul. 16, 2023).
- [49] ITU, “ITU-R SM.2021-0: Production and mitigation of intermodulation products in the transmitter.” Accessed: Aug. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2021-2000>
- [50] Χ. Δ. Χρυσάνθη, “Παρεμβολές Σε Αναλογικά Και Ψηφιακά Συστήματα Ευρυ-εκπομπής,” 2005, Accessed: Aug. 27, 2023. [Online]. Available: <http://artemis.cslab.ece.ntua.gr:8080/jspui/handle/123456789/14326>
- [51] J. Kaaya, A. Sam, and N. Mandela, “Corner Reflector Antenna Design for Interference Mitigation between FM Broadcasting and Aeronautical Ground to Air Communication Radios,” *Journal of Information Engineering and Applications*, vol. 4, no. 11, pp. 53–61, 2014, Accessed: Aug. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JIEA/article/view/17333>

[52] “R-REP-M.739-1-1986: Interference due to intermodulation products in the land mobile service between 25 and 100 MHz,” *ITU*. <https://extranet.itu.int/brdocsearch/R-REP/Forms/ITU-R%20Report%20Folder/docsethomepage.aspx?ID=1611&FolderCTID=0x0120D52000FFE50D18448C4F399F7F428BBD942B9E0077D609B9F4FA4DB396234CFA92FFC11A00A9965320ACA5F042953A35410C65C0BC&List=82e4a13d-c7f3-4844-9e8a-2463c4b7784f&RootFolder=%2Fbrdocsearch%2FR%2DREP%2FR%2DREP%2DM%2FR%2DREP%2DM%2E739%2FR%2DREP%2DM%2E739%2D1%2D1986&RecSrc=%2Fbrdocsearch%2FR%2DREP%2FR%2DREP%2DM%2FR%2DREP%2DM%2E739%2FR%2DREP%2DM%2E739%2D1%2D1986> (accessed Aug. 28, 2023).