



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2016-17



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ

(ΠΔ 97 / 2015 / ΦΕΚ 163Α' / 20.08.2014)

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

“Χαρτογράφηση των μεταβλητών παραμέτρων ενός τυχαίου σχεδίου επικοινωνιών και σχεδίαση μοντέλου διασφάλισης ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος για χρήση σε πρόγραμμα προσομοίωσης σε δεδομένο (γεωγραφικά) θέατρο επιχειρήσεων”

(Survey of a random communications plan by utilisation of characteristic variable parameters aiming to the development of a minimum practically exploitable result assuring model for a given (in aspects of geography) operations theatre intended to be used by a simulation programme.)

Διατριβή που υπεβλήθη για τη μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

ΥΠΟ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΑΛΚ. ΓΙΟΛΔΑΣΗ

A.M.: 2014018024

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2017

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή του Γιολδάση Κωνσταντίνου εγκρίνεται:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ (Επιβλέπων)

Γεώργιος Γερούλης

Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Νικόλαος Ιω. Δάρας

Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Απόστολος Μπουρνέτας

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

© Copyright υπό Γιολδάση Κωνσταντίνο

Έτος 2017

Αφιερώσεις

Στην αγαπημένη μου μονάδα «Κ/Φ ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ», όπου κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας μου, οι διάφοροι επιχειρησιακοί προβληματισμοί που ανέκυψαν, αποτέλεσαν την πηγή της έμπνευσής μου για την υλοποίηση της παρούσας διατριβής

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στον πατέρα μου, Αλκιβιάδη Γιολδάση, ο οποίος κατάφερε και με έπεισε να δηλώσω συμμετοχή στο εν λόγω Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών, παρά τους προσωπικούς μου ενδοιασμούς.

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	18
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	20
1. Πρόλογος.....	20
2. Γενικά	20
(Σχήμα 1: Εφαρμογή ενός επικοινωνιακού σχεδίου σε δεδομένο περιβάλλοντα χώρο και με δεδομένους συνδρομητές)	21
3. Χαρακτηριστικά ενός Ηλεκτρομαγνητικού (Η/Μ) Κύματος	23
4. Κατανομή Η/Μ Φάσματος	25
5. Διάδοση Η/Μ Κυμάτων.....	26
6. Προσδιορισμός των Μεταβλητών Παραμέτρων	26
7. Δομή Περιεχομένου της Διατριβής.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:	32
ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ (PROPAGATION OF RADIO WAVES IN SPACE).....	32
1.1 Η Έννοια της διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο	32
1.2 Βασική Εξίσωση Διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο	33
1.3 Χρήση της Λογαριθμικής Κλίμακας (Decibel) Κατά τους Υπολογισμούς	34
1.3.1 Εφαρμογή της Κλίμακας (dB) για τον Υπολογισμό της Βασικής Εξίσωσης Διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο.....	36
1.3.2 Υπολογισμός της Βασικής Εξίσωσης Διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο με Χρήση της Βασικής Απώλειας Μετάδοσης Ελεύθερου Χώρου (Free Space Basic Transmission Loss).....	36
1.3.3 Αριθμητικό Παράδειγμα	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:	38
ΠΕΡΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΈΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ, ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	38
2.1 Περιγραφή Θερμικού Θορύβου	38
2.2 Εξωγενείς Παράγοντες που Επηρεάζουν το Επίπεδο Θορύβου – Ορισμοί των Παραγόντων Συντελεστής Θορύβου (Noise Factor) και Noise Figure.....	40
2.2.1 Συσχετισμός Noise Figure με Επίπεδο Ευαισθησίας – Αριθμητικό Παράδειγμα	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:	47
ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ – ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ	47
3.1 Τρόποι Επίτευξης Επικοινωνίας στα Διατιθέμενα Δίκτυα.....	47

3.2	Πληροφορίες Περί των Διαμορφώσεων.....	48
3.2.1	Γενικές Αρχές των Ψηφιακών Διαμορφώσεων Περί της Επεξεργασίας του Ληφθέντος Σήματος.....	48
3.2.2	Αριθμητικό Παράδειγμα Ασύρματης Ψηφιακής Ζεύξης.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:		53
Ο ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΠΟΛΕΜΟΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....		53
4.1	Διάθρωση του «Δένδρου» του Ηλεκτρονικού Πολέμου στις Επικοινωνίες.....	53
4.2	Βασικές Έννοιες του Ηλεκτρονικού Πολέμου.....	53
4.2.1	COMINT (COMMUNICATION INTELLIGENCE):	53
4.2.2	ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ (NOISE JAMMING):.....	54
4.2.3	ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ (SEDUCTION):	54
4.2.4	COMSEC (COMMUNICATION SECURITY):.....	55
4.2.5	TRANSEC (TRANSMISSION SECURITY):	56
4.2.6	Ηλεκτρονική Διάταξη Μάχης (Electronic Order Of Battle E.O.B):.....	58
4.3	Η Τεχνική της Παρεμβολής Θορύβου Στις Ασύρματες Επικοινωνίες	60
4.4	Επίδραση της Παρεμβολής Θορύβου στα Υφιστάμενα Δίκτυα.....	64
4.4.1	Επίδραση της Παρεμβολής στις Ψηφιακές Διαμορφώσεις	64
4.4.2	Η Τεχνική της Παρεμβολής στα Δίκτυα με Δυνατότητα «frequency hopping».....	66
4.5	Αξιολόγηση των Υφιστάμενων Ψηφιακών Δικτύων στην Ικανότητα να Ανθίστανται στις Παρεμβολές Θορύβου	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:		69
ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ L.O.S/BEYOND L.O.S ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ (PROPAGATION LOSSES DUE TO DIFFRACTION)		69
5.1.	Γενικά περί της περίθλασης	69
5.1.1	Περιπτώσεις Επιφανειών Διάδοσης	70
5.2.	Γενικός Κανόνας Υπολογισμού Υφιστάμενων Απωλειών	71
5.2.1	Spherical- Earth Diffraction Loss (L_{dsph}).....	71
5.2.2	Bullington Diffraction Loss For The Actual Path Profile (L_{dba})	74
5.2.3	Bullington Diffraction Loss For a Smooth Path Profile (L_{dbs})	77
5.3.	Άθροιση των Απωλειών – Αριθμητικά Παραδείγματα.....	78
5.4.	Σύνθετα Παραδείγματα με τη Χρήση του Λογισμικού «Radio Mobile On Line».....	84
5.4.1	Αριθμητικό Παράδειγμα	85
5.4.2	Αριθμητικό Παράδειγμα	87

5.4.3	Αριθμητικό Παράδειγμα	89
5.4.4	Αριθμητικό Παράδειγμα	92
5.4.5	Αριθμητικό Παράδειγμα	93
5.4.6	Αριθμητικό Παράδειγμα	95
5.4.7	Συμπεράσματα – Διαπιστώσεις επί των Παραδειγμάτων	95
5.5	Υπολογισμός της Επίδρασης της Παρεμβολής Θορύβου στα Δοθέντα Παραδείγματα	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:		100
ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ SHF ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ (TROPOSCATTER PROPAGATION OF SHF RADIO WAVES)		100
6.1.	Η Έννοια της Σκέδασης στην Τροπόσφαιρα	100
6.2.	Η Εξίσωση Υπολογισμού των Απωλειών Κατά την Διαδρομή Διάδοσης Μέσω της Τροποσφαιρικής Σκέδασης	101
6.3.	Τεχνικές Περιορισμού/Καταστολής των Απωλειών Κατά την Τροποσφαιρική Διάδοση	104
6.4.	Αριθμητικό Παράδειγμα Υπολογισμού των Απωλειών, Κατά την Διάδοση Μέσω Τροποσφαιρικής Σκέδασης	105
6.5.	Αριθμητικό Παράδειγμα	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:		109
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ/ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΝΟΣ Η/Μ ΚΥΜΑΤΟΣ, ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ, ΤΗΣ ΟΜΙΧΛΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ		109
7.1	Γενικά	109
7.2.	Απορρόφηση από τα Αέρια της Ατμόσφαιρας (Atmosphere's Gaseous Absorption)	109
7.2.1	Απορρόφηση από τα Μόρια του Οξυγόνου	110
7.2.2	Απορρόφηση από τα Μόρια των Υδρατμών	110
7.2.3	Αριθμητικό Παράδειγμα	111
7.3.	Απορρόφηση από την Ομίχλη και τα Νέφη	111
7.3.1	Αριθμητικό Παράδειγμα	112
7.4.	Εξασθένηση Λόγω της Βροχόπτωσης	112
7.4.1	Αριθμητικό Παράδειγμα	115
7.4.2	Περίπτωση κεκλιμένης διαδρομής διάδοσης (slade propagation path)	116
7.4.3	Αριθμητικά Παραδείγματα Δορυφορικών Ζευξων HELLAS SAT-2	118
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:		121
ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟ ΘΕΑΤΡΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ – ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		121

8.1.	Σχηματική Διάταξη Υφιστάμενων και Διατιθέμενων Δικτύων για τη Διάρθρωση ενός Σχεδίου Επικοινωνιών	121
8.2.	Η Έννοια της Αποτελεσματικότητας ενός Ασύρματου Δικτύου Στρατιωτικών Εφαρμογών.....	122
8.3.	Αξιολόγηση Υφιστάμενων Δικτύων	122
8.4.	Αξιολόγηση Διατιθέμενων στην Αγορά Συστημάτων.....	127
8.5.	Σενάριο σε Καθορισμένο Γεωγραφικά Θέατρο Επιχειρήσεων προς Εξέταση Επίτευξης του «Ελάχιστου Δυνατού Αποτελέσματος».....	128
8.6.	Μοντελοποίηση Προβλήματος.....	132
8.6.1	Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου	134
8.6.2	Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου	137
8.6.3	Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου	139
8.6.4	Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου	141
8.7.	Έλεγχος Αποτελεσμάτων Μοντελοποίησης με τη Χρήση του Λογισμικού.....	143
8.7.1	Παράδειγμα.....	143
8.7.2	Παράδειγμα.....	149
8.7.3	Παράδειγμα.....	155
8.7.4	Παράδειγμα.....	160
8.8.	Αξιολόγηση Μοντελοποίησης – Περιθώρια Βελτιστοποίησης του «Ελάχιστου Δυνατού Αποτελέσματος».....	165
8.9.	Αξιολόγηση Χρήσης Συστημάτων Διάδοσης Μέσω Τροποσφαιρικής Σκέδασης	167
8.9.1	Αριθμητικό Παράδειγμα	168
8.10	Τρόπος Άθροισης των Υφιστάμενων Απωλειών Κατά το Συνδυασμό Διαφορετικών Μεθόδων Διάδοσης των Η/Μ Κυμάτων.....	172
8.11	Συμπεράσματα – Διαπιστώσεις.....	174

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**175****ΠΙΝΑΚΕΣ**

Πίνακας 1: Γενική περιγραφή των διατιθέμενων δικτύων που συγκροτούν ένα τυχαίο σχέδιο επικοινωνιών)	22
Πίνακας 2: Κατανομή Η/Μ φάσματος κατά μπάντα με αντίστοιχες ενδεικτικές εφαρμογές	25
Πίνακας 1-1: Πίνακας μετατροπής τιμών από dB σε dBm και αντίστροφα	35
Πίνακας 1-2: Περιγραφή της γενικής εξίσωσης υπολογισμού των απωλειών μετάδοσης ελεύθερου χώρου	36

Πίνακας 2-1: Τιμές των μεταβλητών c, d στην εξίσωση (6), για τους διάφορους περιβάλλοντες χώρους	43
Πίνακας 3-1: Περιγραφή του τρόπου επικοινωνίας στα υπάρχοντα δίκτυα	47
Πίνακας 3-2: Σύνοψη περιγραφή των εν ισχύι διαμορφώσεων στις υφιστάμενες δομές των επικοινωνιακών δυνατοτήτων των Ε.Δ	48
Πίνακας 4-1: Τρόπος επίδρασης της παρεμβολής θορύβου στα διατιθέμενα δίκτυα, αναλόγως του είδους της διαμόρφωσης αυτών	64
Πίνακας 4-2: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει ενός σήματος εισόδου $P_r = -117 \text{ dBm}$ και αντιστοιχεί για την περίπτωση παρεμβολής, όπου $(J/C)_{dB} = 0$	65
Πίνακας 4-3: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, με $(J/C)_{dB} = 17,56$	67
Πίνακας 4-4: Αξιολόγηση υφιστάμενων ψηφιακών δικτύων με μια τυχαία τιμή $(J/C)_{dB} = 17,56$	68
Πίνακας 5-1: Στοιχεία ηλεκτρικής αγωγιμότητας και διαπερατότητας εδάφους και θαλασσινού ύδατος	71
Πίνακας 5-2	78
Πίνακας 5-3 : Στοιχεία δικτύων φίλιων μονάδων	84
Πίνακας 5-4: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος	86
Πίνακας 5-5: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει ενός σήματος εισόδου $P_r = -105,3 \text{ dBm}$	87
Πίνακας 5-6: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος	88
Πίνακας 5-7: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει ενός σήματος εισόδου $P_r = -112,86 \text{ dBm}$	89
Πίνακας 5-8: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος	91
Πίνακας 5-9: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος	92
Πίνακας 5-10: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος	94
Πίνακας 5-11: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος	95
Πίνακας 5-12: Συσχετισμός ισχύος ληφθέντων φίλιων σημάτων από την αντίπαλη μονάδα, συναρτήσει των μεταξύ τους αποστάσεων	95
Πίνακας 5-13: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από τη μονάδα Π1 στη συχνότητα 225 MHz	96
Πίνακας 5-14: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από τη μονάδα Π1 στη συχνότητα 50 MHz	97
Πίνακας 5-15: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από τη μονάδα Π2 στη συχνότητα 225 MHz	97
Πίνακας 5-16: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από τη μονάδα Π2 στη συχνότητα 50 MHz	98
Πίνακας 5-17: Εποπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων του παρεμβολέα έναντι των Π1, Π2 στο σύνολο των συχνοτήτων	98
Πίνακας 6-1: Αριθμητική τιμή των παραμέτρων $(M), (\gamma)$ για τις διάφορες περιοχές της Υδρογείου, βάσει του διαχωρισμού του σχήματος 6-3	103
Πίνακας 6-2: Αριθμητική τιμή των παραμέτρων $q, C(q)$	104
Πίνακας 6-3: Παράμετροι λειτουργίας των συμμετεχουσών μονάδων κατά τη ζεύξη	105
Πίνακας 6-4: Παράμετροι λειτουργίας της ψηφιακής διαμόρφωσης του παραδείγματος κατά τη ζεύξη	107
Πίνακας 7-1: Εξίσωση υπολογισμού απωλειών, λόγω των μορίων του O_2 για συχνότητες	

έως 54 GHz	110
Πίνακας 7-2 : Εξίσωση υπολογισμού απωλειών, λόγω των μορίων των υδρατμών για συχνότητες έως 54 GHz	110
Πίνακας 7-3: Εξίσωση υπολογισμού απωλειών, λόγω της ομίχλης ή νέφωσης	111
Πίνακας 7-4: Εξισώσεις υπολογισμού παραμέτρων a, K	113
Πίνακας 7-5: Απώλειες λόγω βροχόπτωσης για συχνότητα $f: 4,5$ GHz, και για οριζόντια διαδρομή απόστασης $d=50$ km	115
Πίνακας 7-6: Απώλειες λόγω βροχόπτωσης για συχνότητα $f: 37$ GHz, και για οριζόντια διαδρομή, απόστασης $d=4$ km	116
Πίνακας 7-7: Απώλειες λόγω βροχόπτωσης για συχνότητα $f: 11,5$ GHz, και για κεκλιμένη διαδρομή, απόστασης $d=5,1606$ km και ύψωσης $\theta = 35^\circ$	117
Πίνακας 7-8: Εύρους Συχνοτήτων Λειτουργίας για τη Ζεύξη από το Δορυφόρο HELLAS SAT-2 προς τους Επίγειους Χρήστες (Down Link)	118
Πίνακας 7-9: Allocated Bandwidth vs Information Rate in QPSK mode HELLAS-SAT-2	118
Πίνακας 7-10 Eb/No versus BER for BPSK/QPSK and different FEC Ratios with Viterbi decoding)	118
Πίνακας 7-11 Αριθμητικό παράδειγμα	119
Πίνακας 7-12: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $Pr = -87$ dBm	119
Πίνακας 7-13: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $Pr = -95$ dBm	120
Πίνακας 7-14: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $Pr = -105$ dBm	120
Πίνακας 8-1: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας HF, μεταξύ ξηράς και πλοίων	123
Πίνακας 8-2: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice HF	123
Πίνακας 8-3: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice UHF	124
Πίνακας 8-4: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας data UHF	125
Πίνακας 8-5: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice UHF/ frequency hopping	125
Πίνακας 8-6: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice VHF/ frequency hopping	125
Πίνακας 8-7: Αξιολόγηση δικτύου δορυφορικής επικοινωνίας voice/data SHF	126
Πίνακας 8-8: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης voice/data SHF	127
Πίνακας 8-9: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας μικρών αποστάσεων voice/data SHF – EHF	127
Πίνακας 8-10: Αξιολόγηση δικτύου κινητής τηλεφωνίας UHF	128
Πίνακας 8-11: Περιγραφή δυνατοτήτων και αποστολών φίλιων και αντίπαλων μονάδων	130
Πίνακας 8-12: Περιγραφή χαρακτηριστικών κάλυψης παρεμβολέα	131
Πίνακας 8-13: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	135
Πίνακας 8-14: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	136
Πίνακας 8-15: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	136
Πίνακας 8-16: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	137

Πίνακας 8-17: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	138
Πίνακας 8-18: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	138
Πίνακας 8-19: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	139
Πίνακας 8-20: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	140
Πίνακας 8-21: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	140
Πίνακας 8-22: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	141
Πίνακας 8-23: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	142
Πίνακας 8-24: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	142
Πίνακας 8-25: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών	143
Πίνακας 8-26: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 1 στη συχνότητα 50 MHz	144
Πίνακας 8-27: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 1 στη συχνότητα 50 MHz	145
Πίνακας 8-28: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στην μονάδα ΚΦ 1 στη συχνότητα 50 MHz	146
Πίνακας 8-29: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΤΠΚ	149
Πίνακας 8-30: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΤΠΚ	150
Πίνακας 8-31: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΤΠΚ	151
Πίνακας 8-32: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στην μονάδα ΤΠΚ στη συχνότητα 50 MHz	152
Πίνακας 8-33: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στη μονάδα ΚΦ 2 στη συχνότητα 50 MHz	155
Πίνακας 8-34: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στη μονάδα ΚΦ 2	156
Πίνακας 8-35: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στη μονάδα ΚΦ 2 στη συχνότητα 50 MHz	157
Πίνακας 8-36: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 3 στη συχνότητα 50 MHz	160
Πίνακας 8-37: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στη μονάδα ΚΦ 3	161

Πίνακας 8-38: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στη μονάδα ΚΦ 3 στη συχνότητα 50 MHz	162
Πίνακας 8-39: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στη μονάδα ΚΦ 3 στη συχνότητα 50 MHz	163
Πίνακας 8-40: Σύγκριση τιμών μεταξύ της μοντελοποίησης και των αποτελεσμάτων του Λογισμικού	166
Πίνακας 8-41: Περιγραφή δυνατοτήτων συστημάτων διάδοσης μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης	168
Πίνακας 8-42: Πίνακας απωλειών λόγω βροχόπτωσης για συχνότητα f : 4,5 GHz, και για κεκλιμένη διαδρομή, απόστασης $d=59,216$ km	171
Πίνακας 8-43 Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $P_r = -107,5446$ dBm	173

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Εφαρμογή ενός επικοινωνιακού σχεδίου σε δεδομένο περιβάλλοντα χώρο και με δεδομένους συνδρομητές	21
Σχήμα 2: Αναπαράσταση H/M κύματος.	24
Σχήμα 1-1: Η απλοποιημένη μορφή διάδοσης ενός H/M κύματος	32
Σχήμα 1-2: Η ποιοτική απεικόνιση της μεταβολής της ισχύος κατά τη διάδοση ενός H/M κύματος από τον πομπό προς τον δέκτη	34
Σχήμα 2-1: Θεωρητική απεικόνιση της φασματικής πυκνότητας ισχύος ενός σήματος, ως προς το διατιθέμενο εύρος συχνοτήτων αυτού	38
Σχήμα 2-2: Πραγματική απεικόνιση της φασματικής πυκνότητας ισχύος ενός σήματος, ως προς το διατιθέμενο εύρος συχνοτήτων αυτού	39
Σχήμα 2-3: Τυπική διάταξη σύνδεσης μιας κεραίας λήψης, και ενός δέκτη, μέσω μιας γραμμής μεταφοράς	41
Σχήμα 2-4: F_a versus frequency (10^4 to 10^8 Hz)	42
Σχήμα 2-5: F_a versus frequency (10^8 to 10^{11} Hz)	43
Σχήμα 2-6: F_a από ανθρωπίνες δραστηριότητες για τα διάφορα περιβάλλοντα μέρη	44
Σχήμα 2-7: F_{am} due to extra-terrestrial sources	45
Σχήμα 3-1: Συσχετισμός των λόγων (E_b/N_0) και BER.	50
Σχήμα 4-1: Διάρθρωση του «δένδρου» του Ηλεκτρονικού πολέμου στις επικοινωνίες	53
Σχήμα 4-2: Γενική αρχή εφαρμογής συμμετρικής κρυπτογράφησης	55
Σχήμα 4-3: Λειτουργία σε σταθερή συχνότητα	57
Σχήμα 4-4: Λειτουργία με τεχνική «αναπήδησης συχνότητας»	57
Σχήμα 4-5: Τυπική διάρθρωση ενός φίλιου σχεδίου επικοινωνιών ναυτικών μονάδων και η ταυτόχρονη προσπάθεια του αντιπάλου για σύνθεση E.O.B	59
Σχήμα 4-6: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης μιας αντίπαλης μονάδας που εκτελεί υποκλοπές σε ένα τυχαίο φίλιο ασύρματο δίκτυο	60
Σχήμα 4-7: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης ενός αντίπαλου παρεμβολέα, που εκτελεί παρεμβολές σε ένα τυχαίο φίλιο ασύρματο δίκτυο	61

Σχήμα 4-8: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης ενός αντίπαλου παρεμβολέα, που επιχειρεί να παρεμβάλλει τον φίλιο πομπό	63
Σχήμα 4-9: Συσχετισμός των λόγων (Eb0/N0) και BER. για ψηφιακές διαμορφώσεις PSK/FSK	67
Σχήμα 5-1: Σχηματική απεικόνιση κατά την L.o.S διάδοση ενός H/M κύματος, το οποίο συναντά εμπόδια	69
Σχήμα 5-2:	73
Σχήμα 5-3: Γραφικός υπολογισμός των υφιστάμενων απωλειών J(v)	75
Σχήμα 5-4: Περίπτωση επίτευξης επικοινωνίας μέσω περιθλασης από την επιφάνεια της θάλασσας, με αύξηση των απωλειών	80
Σχήμα 5-5: Περίπτωση επίτευξης L.o.S επικοινωνίας, άνευ προσθήκης επιπλέον απωλειών από την επιφάνεια της θάλασσας	80
Σχήμα 5-6: Περίπτωση πιθανής επίτευξης non L.o.S επικοινωνίας, μέσω μεμονωμένου εμποδίου, χάρη στο φαινόμενο της περιθλασης	81
Σχήμα 5-7: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης των δύο φίλιων μονάδων	85
Σχήμα 5-8: Απεικόνιση των θέσεων των δύο κεραιών, ως προς των μεταξύ τους προκύπτοντα γεωγραφικό ορίζοντα	87
Σχήμα 5-9: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης της φίλιας μονάδας Π ₁ και της αντίπαλης μονάδας	89
Σχήμα 5-10: Σχηματική αναπαράσταση ζεύξης μεταξύ παρεμβολέα και φίλιας μονάδας Π1	90
Σχήμα 5-11: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης της φίλιας μονάδας Π ₂ και της αντίπαλης μονάδας	93
Σχήμα 5-12: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης των φίλιων μονάδων και της αντίπαλης μονάδας	99
Σχήμα 6-1: Κατακόρυφη διάρθρωση των κατωτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας.	101
Σχήμα 6-2: Σχηματική αναπαράσταση της απαιτούμενης διάταξης των κεραιών για την επίτευξη ζεύξης μέσω της τροποσφαιρικής σκέδασης	101
Σχήμα 6-3: Values of meteorological and atmospheric structure parameters	103
Σχήμα 7-1: Υπολογισμός της κεκλιμένης απόστασης διάδοσης, η οποία επηρεάζεται από την βροχόπτωση σε περίπτωση δορυφορικής ζεύξης	117
Σχήμα 8-1 Σχηματική ταξινόμηση ανά μπάντα συχνοτήτων των υπαρχόντων και των δυνάμει προς απόκτηση επικοινωνιακών δικτύων	121
Σχήμα 8-2: Σχηματική σύνθεση των παραμέτρων που συνθέτουν την αποτελεσματικότητα ενός δικτύου	122
Σχήμα 8-3	126
Σχήμα 8-4: Γεωγραφική απεικόνιση των διατιθέμενων φίλιων και αντίπαλων μονάδων στο καθορισμένο θέατρο επιχειρήσεων	129
Σχήμα 8-5: Γεωγραφική απεικόνιση της κάλυψης του παρεμβολέα για ύψος δέκτη 8 m.	131
Σχήμα 8-6: Γεωγραφική απεικόνιση των θέσεων των μονάδων ΚΦ 1, υποσταθμού και παρεμβολέα	147
Σχήμα 8-7: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΚΦ 1	147
Σχήμα 8-8: Ζεύξη υποσταθμού σε νήσο Σάμο με μονάδα ΚΦ 1	148
Σχήμα 8-9: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ 1	148
Σχήμα 8-10: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΤΠΚ	153

Σχήμα 8-11: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΤΠΚ	153
Σχήμα 8-12: Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου με μονάδα ΤΠΚ	153
Σχήμα 8-13: Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Σάμου με μονάδα ΤΠΚ	154
Σχήμα 8-14: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΚΦ 2	158
Σχήμα 8-15: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ 2	158
Σχήμα 8-16: Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου με μονάδα ΚΦ 2	158
Σχήμα 8-17: Γεωγραφική απεικόνιση μεταξύ υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου κα μονάδας ΚΦ 3	159
Σχήμα 8-18: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ 3	164
Σχήμα 8-19: Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου με μονάδα ΚΦ 3	164
Σχήμα 8-20: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΚΦ 3	164
Σχήμα 8-21: Ζεύξη πιθανού υποσταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ 3	165
Σχήμα 8-22: Γεωγραφική απεικόνιση των φίλιων μονάδων, καθώς και στοιχεία για το δημιουργηθέν «common volume» κατά την διάδοση μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης	168

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως στόχο καταρχάς την πληρέστερη δυνατή καταγραφή των υφιστάμενων μεταβλητών παραμέτρων, οι οποίες καθορίζουν και διαμορφώνουν την εν γένει αποτελεσματικότητα ενός οιουδήποτε (τυχαίου) σχεδίου επικοινωνιών, το οποίο εφαρμόζεται στο ελάχιστο θέατρο επιχειρήσεων μεταξύ των φίλιων μονάδων. Όταν αναφερόμαστε σε «σχέδιο επικοινωνιών (communication plan)», εννοούμε το σύνολο των δυνατών συνδυασμών των διαύλων/δικτύων επικοινωνιών που δύναται να προκύψουν μέσω της αντίστοιχης χρήσης των κατάλληλων υφιστάμενων συσκευών επικοινωνίας. Με τον όρο «συσκευή επικοινωνίας», εννοούμε κάθε κατάλληλη συσκευή, μέσω της οποίας είναι δυνατή η εκπομπή ή/και η λήψη της πληροφορίας από και προς τις φίλιες μονάδες. Όταν πρόκειται μόνο για εκπομπή, η εν λόγω συσκευή ονομάζεται «πομπός (transmitter)», όταν πρόκειται μόνο για λήψη, «δέκτης (receiver)», ενώ όταν εκτελεί αμφότερες τις λειτουργίες, «πομποδέκτης (transceiver)».

Η αποτελεσματικότητα ενός σχεδίου επικοινωνιών είναι δυναμική, λόγω της φύσης των παραμέτρων, από τις οποίες επηρεάζεται. Για το λόγο αυτό η βέλτιστη απόδοση ενός επικοινωνιακού σχεδίου είναι συνάρτηση του αντίστοιχου γεωγραφικού χώρου εφαρμογής του, της διάταξης των διατιθέμενων μονάδων, καθώς και της εν γένει επίδρασης των φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν χώρα την αντίστοιχη

χρονική περίοδο. Συνδυάζοντας όλα τα ανωτέρω, δύναται να διασφαλισθεί η απρόσκοπτη αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκομένων. Η επίτευξη αυτή σε μια συνήθη διάταξη φίλιων δυνάμεων και με την επίδραση των μεταβλητών παραμέτρων σε επίπεδο σχετικά ανεκτό, ως προς την επιρροή της αποτελεσματικότητας, ενδεχομένως να θεωρείται προφανής. Σε συνθήκες όμως όπου υφίσταται πέραν των ανωτέρω και εσκεμμένη επαύξηση της επιρροής της αποτελεσματικότητας αυτών από μεθοδευμένες ενέργειες του αντιπάλου, τότε η διασφάλιση του συνόλου των επικοινωνιακών ζεύξεων προφανώς δεν είναι εφικτή. Σε μια τέτοια περίπτωση, η οποία άλλωστε θα είναι και η αναμενόμενη σε ένα θέατρο πολεμικών επιχειρήσεων, σημασία έχει η διασφάλιση της διαβίβασης της ζωτικής σημασίας πληροφορίας προς την μονάδα εκείνη, στην οποία χρονικά και τοπικά θα ανατεθεί η εκτέλεση ενός συγκεκριμένου έργου.

Μετά τη χαρτογράφηση και ποσοτικοποίηση της επίδρασης των μεταβλητών αυτών σε ένα επικοινωνιακό σχέδιο, θα ακολουθήσει η αξιολόγηση των υφιστάμενων και διατιθέμενων στην αγορά επικοινωνιακών συστημάτων, τα οποία δύναται να ενσωματωθούν και να υποστηρίξουν ένα υφιστάμενο επικοινωνιακό σχέδιο. Η αξιολόγηση των υφιστάμενων μέσων θα έγκειται πάνω σε εκπλήρωση ή μη βασικών κριτηρίων, με αντίστοιχη βαθμολόγηση μέσω της πενταβάθμιας κλίμακας «Likert»¹. Τέλος, σε καθορισμένο γεωγραφικά χώρο και με ορισμένη την έννοια του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», σε συνδυασμό με την πλέον ενδεδειγμένη επιλογή επικοινωνιακού σχεδίου, θα εξετασθεί μέσω του μαθηματικού προγραμματισμού, καθώς και κατάλληλου λογισμικού² και θα εξαχθούν τα αντίστοιχα συμπεράσματα περί της διασφάλισης του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος».

¹ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΥΠΟ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ Δ.ΓΕΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ, «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΡΙΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ» ΚΕΦ 6^ο, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ, 2014

² «RADIO MOBILE ON LINE», ΥΠΟ ΤΟΥ ROGER COUDÉ

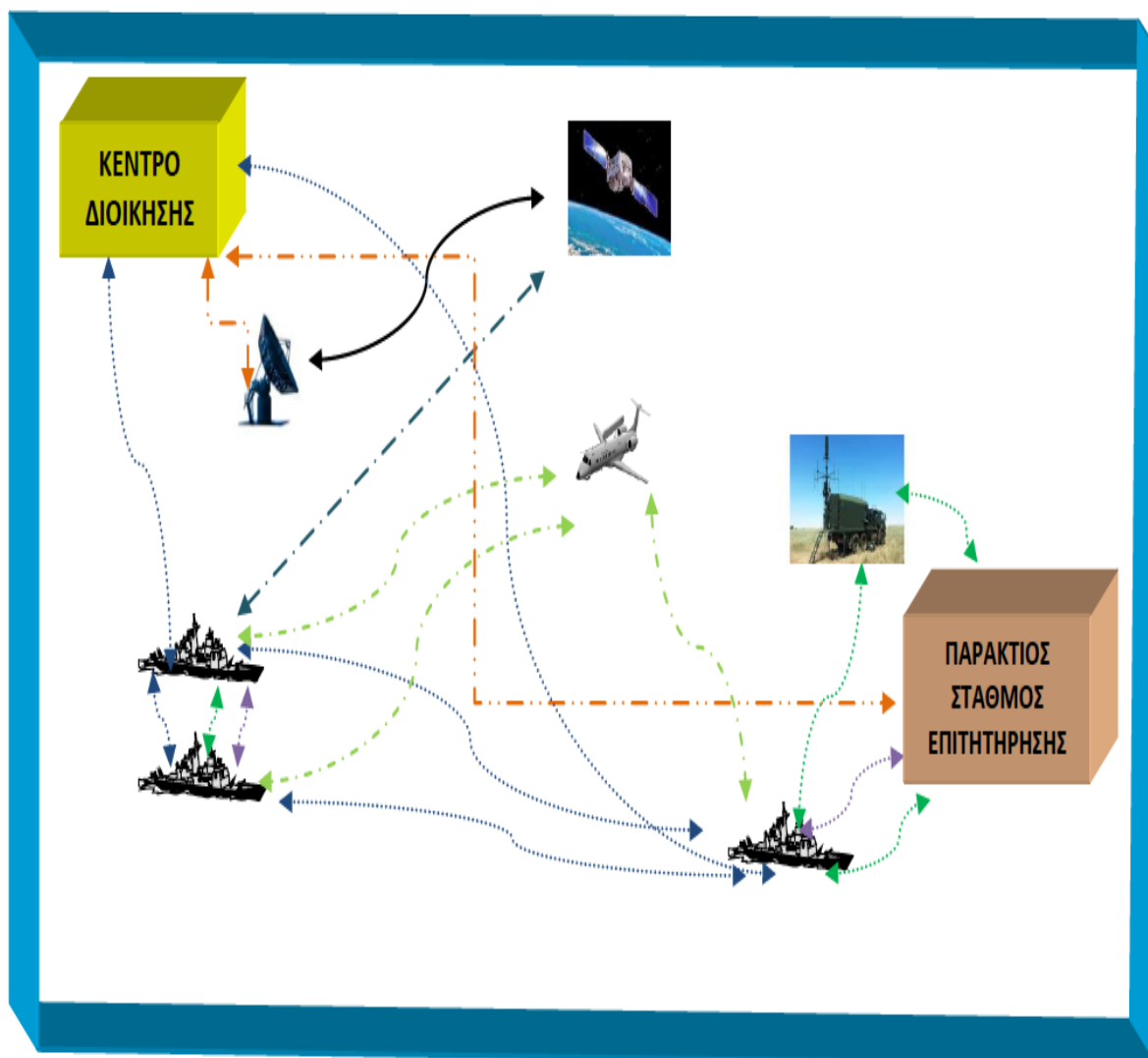
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Πρόλογος

Η εισαγωγή παρέχει τη δυνατότητα στον αναγνώστη για μια ομαλή μετάβαση στην κατανόηση της ποσοτικοποίησης της επίδρασης των μεταβλητών παραμέτρων και της αξιολόγησης των επικοινωνιακών μέσων που θα ακολουθήσει στα επόμενα Κεφάλαια. Θα δοθεί σχηματικά η έννοια περί του τυχαίου επικοινωνιακού σχεδίου, θα ακολουθήσει αναφορά στα κύρια χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρομαγνητικού (H/M) κύματος και εν συνεχεία αναφορά στις παραμέτρους που επηρεάζουν ένα επικοινωνιακό σχήμα.






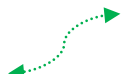

2. Γενικά

Η εκπόνηση ενός κατάλληλου και εφικτού σχεδίου επικοινωνιών στο σύγχρονο θέατρο επιχειρήσεων συνιστά μια ουσιαστική και απαραίτητη παράμετρο υπεροχής, δυνάμει να διασφαλίσει την επιτυχή έκβαση υπέρ των φίλων μαχόμενων δυνάμεων. Η υλοποίηση των ανωτέρω έχει ως προϋπόθεση τον αρμονικό συνδυασμό των υφιστάμενων επικοινωνιακών μέσων με την αντίστοιχη ανάπτυξη των φορέων αυτών, ώστε ακόμη και με τη δυσμενέστερη ποσοτικά επίδραση των μεταβλητών παραμέτρων, να επιτυγχάνεται το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η διαχείριση εν γένει του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στις στρατιωτικές επικοινωνίες κινείται σε δύο άξονες. Αφενός τη διασφάλιση του φίλιου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από την αρνητική επίδραση των ανωτέρω μεταβλητών (ακούσιων ή εκούσιων) και αφετέρου την προσπάθεια καταστολής της χρήσης του αντίστοιχου φάσματος από τις αντίπαλες δυνάμεις. Στην παρούσα διατριβή θα εξετασθεί μόνο η πρώτη περίπτωση της διαχείρισης του H/M φάσματος. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται μια μεικτής σύστασης φίλια δύναμη, η οποία είναι αναπτυγμένη σε συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο και μέσω της εφαρμογής ενός κατάλληλου επικοινωνιακού σχεδίου, εξασφαλίζεται ή επιδιώκεται η διασφάλιση της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ των συμμετεχόντων.



(Σχήμα 1: Εφαρμογή ενός επικοινωνιακού σχεδίου σε δεδομένο περιβάλλοντα χώρο και με δεδομένους συνδρομητές)

Στον παρακάτω πίνακα ακολουθεί η επεξήγηση των αμφίδρομων βελών του επικοινωνιακού σχεδίου, βάσει του ενδεικτικού χρωματικού τους διαχωρισμού:

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟ ΣΧΕΔΙΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ		
ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΣ ΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΣ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΟΥ	ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ
	ΕΥΡΟΣ ΚΑΙ ΜΠΑΝΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	
	Ενσύρματη ζεύξη μεταξύ Κέντρου Διοίκησης (Πολεμικού Ναυτικού) και: - Τερματικού επίγειου σταθμού λήψης δορυφορικών σημάτων. - Παράκτιων σταθμών επιτήρησης σε νήσους του Αιγαίου (Πολεμικού Ναυτικού).	- Τερματική λήψη των δορυφορικά εκπεμπόμενων πληροφοριών από τα πολεμικά πλοία, φορείς δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας. - Αμφίδρομη επικοινωνία με τους ναυτικούς σταθμούς στη νησιωτική Ελλάδα.
	Ασύρματη δορυφορική ζεύξη μεταξύ της πλατφόρμας του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού λήψης. 10 – 13 GHz SUPER HIGH FREQUENCY (SHF)	- Λήψη των δορυφορικά εκπεμπόμενων πληροφοριών από τα πολεμικά πλοία, φορείς δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας. - Διαβίβαση προς τα πολεμικά πλοία, φορείς δορυφορικών συστημάτων επικοινωνίας, πληροφορίες από το Κέντρο Διοίκησης.
	Ασύρματη δορυφορική ζεύξη μεταξύ της πλατφόρμας του δορυφόρου και των πολεμικών πλοίων. 10 – 13 GHz SUPER HIGH FREQUENCY (SHF)	Αμφίδρομη λήψη και διαβίβαση πληροφοριών.
	Ασύρματη επίγεια ζεύξη μεγάλων αποστάσεων (της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων) μεταξύ: - Πολεμικών πλοίων - Πολεμικών πλοίων και Κέντρου Διοίκησης. 3 – 30 MHz HIGH FREQUENCY (HF)	- Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των πολεμικών πλοίων σε μεγάλες μεταξύ τους αποστάσεις. - Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των πολεμικών πλοίων και του Κέντρου Διοίκησης.
	Ασύρματη επίγεια ζεύξη μικρών αποστάσεων (περιορισμός λόγω του εκάστοτε οριζοντα, της τάξης περί τα 30 -40 km) μεταξύ: - Πολεμικών πλοίων. - Πολεμικών πλοίων και παράκτιων ναυτικών σταθμών. 225 – 400 MHz ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)	- Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των πολεμικών πλοίων σε μικρές σχετικά αποστάσεις. - Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των πολεμικών πλοίων και των παράκτιων σταθμών.
	Ασύρματη επίγεια ζεύξη μικρών αποστάσεων (περιορισμός λόγω του εκάστοτε οριζοντα, της τάξης περί τα 30 -40 km) μεταξύ: - Πολεμικών πλοίων. - Πολεμικών πλοίων και μονάδων Στρατού Ξηράς. - Πολεμικών πλοίων και παράκτιων ναυτικών σταθμών. 30 – 88 MHz VERY HIGH FREQUENCY (VHF)	- Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων, ιδιαίτερα ικανή σε περιβάλλον έντονων ηλεκτρονικών παρεμβολών από τον αντίπαλο.
	Ασύρματη επίγεια ζεύξη σε αποστάσεις που περιορίζονται από τον εκάστοτε οριζοντα, μεταξύ πολεμικών πλοίων και αεροσκαφών της Πολεμικής Αεροπορίας. 225 – 400 MHz ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF)	- Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ των εμπλεκόμενων, ικανή να αντισταθεί σε περιβάλλον ηλεκτρονικών παρεμβολών από τον αντίπαλο.

(Πίνακας 1: Γενική περιγραφή των διατιθέμενων δικτύων που συγκροτούν ένα τυχαίο σχέδιο επικοινωνιών)

3. Χαρακτηριστικά ενός Ηλεκτρομαγνητικού (H/M) Κύματος

Τα H/M κύματα αναπαριστώνται ως μια ημιτονοειδής κυματομορφή (περιοδικό σήμα) και έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

α. Ένταση:

Η ένταση αποτελεί το στιγμιαίο μέτρο της ενέργειας του H/M κύματος, ως προς τον χρόνο.

β. Πλάτος:

Αποτελεί τη μέγιστη θετική τιμή της έντασης.

γ. Κύκλος:

Αποτελεί μια πλήρη θετική και αρνητική μεταβολή ενός περιοδικού σήματος.

δ. Συχνότητα:

Αποτελεί τον αριθμό των κύκλων που εκτελεί ένα σήμα σε ένα δευτερόλεπτο. Συμβολίζεται με «f» και μονάδα μέτρησης είναι το «Hertz (Hz)». Εκφράζεται κυρίως με πολλαπλάσια του (Hz), ήτοι (KHz), (MHz), (GHz).

ε. Περίοδος:

Αποτελεί το χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου. Συμβολίζεται με (T) και ισούται με: $T = 1/f$.

στ. Μήκος κύματος:

Αποτελεί το διάστημα που διανύει το κύμα κατά την ολοκλήρωση ενός κύκλου. Συμβολίζεται με (λ) και ισούται με: $\lambda = c/f$, όπου (c) = η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό) και ισούται με $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$.

ζ. Πόλωση:

Αναφέρεται στο φυσικό προσανατολισμό του Η/Μ κύματος. Καθορίζεται από την κατεύθυνση του Ηλεκτρικού πεδίου και ενός επιπέδου αναφοράς (συνήθως λαμβάνεται η επιφάνεια της γης). Διακρίνεται σε γραμμική και μη γραμμική:

(1) Γραμμική:

/α/ Οριζόντια (το Ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο με το επίπεδο κίνησης).

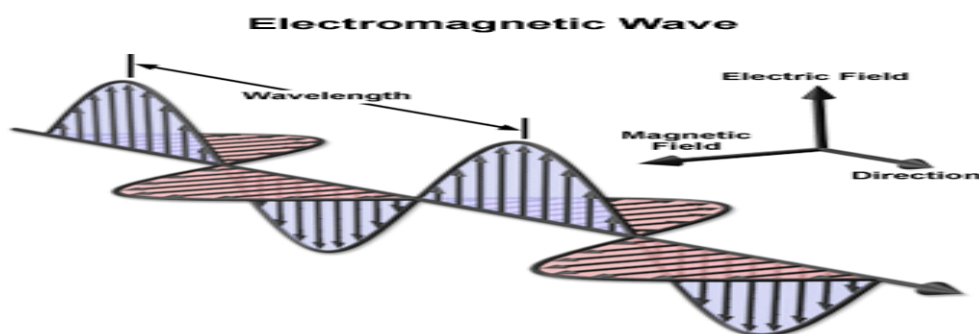
/β/ Κατακόρυφη (το Ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο με το επίπεδο κίνησης).

(2) Μη γραμμική:

/α/ Ελλειπτική πόλωση (κατά την περιστροφή τους τα δύο πεδία δεν διατηρούν τις ίδιες μέγιστες τιμές τους).

/β/ Κυκλική πόλωση (κατά την περιστροφή τους τα δύο πεδία διατηρούν τις ίδιες μέγιστες τιμές τους).

Η σημασία της πόλωσης έγκειται κυρίως στο γεγονός της μεταβολής της επίδρασης της εξασθένισης από την βροχόπτωση, ιδιαίτερα σε αρκετά υψηλές συχνότητες.



(Σχήμα 2: Αναπαράσταση Η/Μ κύματος. Στην προκειμένη περίπτωση, το Ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο στο επίπεδο διάδοσης.)

4. Κατανομή Η/Μ Φάσματος

	Abbreviation	Frequency and wavelength in air	Example uses
Extremely low frequency	ELF	3–30 Hz 100,000 – 10,000 km	SUBMARINE'S COMMUNICATION
Super low frequency	SLF	30–300 Hz 10,000 – 1000 km	SUBMARINE'S COMMUNICATION
Ultra low frequency	ULF	300–3000 Hz 1000 – 100 km	SUBMARINE'S COMMUNICATION
Very low frequency	VLF	3–30 kHz 100 – 10 km	SUBMARINE'S COMMUNICATION -
Low frequency	LF	30–300 kHz 10 – 1 km	AM LONG-RANGE BROADCASTING – NAVIGATIONAL SIGNALS
Medium frequency	MF	300–3000 kHz 1 km – 100 m	AM BROADCAST RADIO
High frequency	HF	3–30 MHz 100 – 10 m	AM BROADCAST RADIO/MILITARY SURFACE AND SKY WAVE RADIO PROPAGATION
Very high frequency	VHF	30–300 MHz 10 – 1 m	FM BROADCAST TV - RADIO / LINE –OF –SIGHT PROPAGATION
Ultra high frequency	UHF	300–3000 MHz 1 m – 100 mm	FM/DIGITAL BROADCAST TV –/LINE –OF –SIGHT PROPAGATION / MOBILE PHONES –GPS
Super high frequency	SHF	3–30 GHz 100 – 10 mm	SATELLITE BROADCASTING/LINE –OF –SIGHT PROPAGATION/ SHORT –RANGE TELECOMMUNICATION SYSTEMS.
Extremely high frequency	EHF	30–300 GHz 10 – 1 mm	LINE –OF –SIGHT PROPAGATION/VERY SHORT –RANGE TELECOMMUNICATION SYSTEMS.

(Πίνακας 2: Κατανομή Η/Μ φάσματος κατά μπάνα με αντίστοιχες ενδεικτικές εφαρμογές)

5. Διάδοση Η/Μ Κυμάτων

Στον πίνακα (2), οι μπάντες με έγχρωμη επισήμανση, **θα αποτελέσουν αντικείμενο μελέτης της εν λόγω διατριβής και συγκεκριμένα η ασύρματη ζεύξη σε αυτές, ήτοι η χρήση ως μέσω διάδοσης της ατμόσφαιρας και πιο συγκεκριμένα του κατώτερου στρώματος αυτής της τροπόσφαιρας**, η οποία εκτείνεται από το έδαφος μέχρι και τα 10.000 μέτρα ύψος. Η διάδοσή τους εκτελείται είτε ευθυγράμμως από την πηγή εκπομπής είτε μέσω ανάκλασης στο έδαφος και εκτείνεται μέχρι τον εκάστοτε ορίζοντα της αντίστοιχης πηγής ακτινοβολίας ή και πέραν αυτού (Line-of-Sight (L.O.S)/Beyond (L.O.S)). Επισημαίνεται ότι ο ορίζοντας είναι συνάρτηση του ύψους και σχετίζεται ανάλογα με αυτό. Έστω λοιπόν δύο κεραίες, μίας εκπομπής και μίας λήψης με αντίστοιχα ύψη h_1 και h_2 και μεταξύ τους απόσταση d . Προκύπτει λοιπόν ότι η μέγιστη L.O.S απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών, δίδεται από τον εμπειρικό τύπο

$$d_{los} = 4,11 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ (km)}.$$

Σε περίπτωση όπου $d_{los} > d$, τότε το Η/Μ κύμα καταλήγει απ'ευθείας στην κεραία λήψης, διαφορετικά καταλήγει μέσω ανάκλασης στην επιφάνεια διάδοσης. Κατά την διάδοσή τους τα εν λόγω Η/Μ κύματα δύνανται να υποστούν τα φαινόμενα της «**ανάκλασης**», «**διάθλασης**» και «**περίθλασης**». Από αυτά, το τελευταίο ουσιαστικά έχει σημασία στη σχεδίαση ενός διαύλου επικοινωνίας, καθόσον επηρεάζει την εν γένει διάδοση του εκπεμπόμενου σήματος. Κατά το φαινόμενο αυτό, το Η/Μ κύμα όταν κατά τη ευθύγραμμη διάδοσή του βρεθεί σε εμπόδιο, έχει την τάση να καμπυλώνει πέριξ του εμποδίου και να διαδίδεται ακόμη και πίσω από αυτό, έχοντας υποστεί μια σχετική εξασθένηση. Το ποσοστό περίθλασης εξαρτάται από το ύψος του εμποδίου σε σχέση με το μήκος κύματος. Όσο πιο χαμηλή είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι και το ποσοστό περίθλασης.

6. Προσδιορισμός των Μεταβλητών Παραμέτρων

Σε μία ασύρματη ζεύξη το μέσον που χρησιμοποιείται είναι η ατμόσφαιρα της γης. Ως εκ τούτου υφίστανται καταρχάς μεταβλητές, οι οποίες δεν δύναται να εξαλειφθούν και προκαλούν απώλειες κατά τη διάδοσή του, με αποτέλεσμα την

εξασθένιση της ισχύος του εκπεμπόμενου σήματος, σε βαθμό ανάλογο με ορισμένα από τα χαρακτηριστικά του, όπως παρατίθενται παρακάτω:

α. Βασική απώλεια μετάδοσης ελεύθερου χώρου (free space basic transmission loss)

Ένα Η/Μ σήμα που διαδίδεται από μία πηγή θεωρητικά στο κενό, παρουσιάζει απώλειες κατά τη μετάδοσή του, σε οιοδήποτε σημείο, ανάλογες της απόστασης από την πηγή εκπομπής και της συχνότητας, επομένως όσο αυξάνεται η συχνότητα εκπομπής και η απόσταση από την πηγή ακτινοβολίας, τόσο αυξάνεται η εν λόγω μεταβλητή.

β. Απώλειες λόγω απορρόφησης από τα υφιστάμενα μέρη των υδρατμών και του οξυγόνου της ατμόσφαιρας:

Ένα Η/Μ σήμα που διαδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας, παρουσιάζει απώλειες λόγω της ανωτέρω απορρόφησης. Η απορρόφηση αυτή είναι ανάλογη της συχνότητας, δηλαδή όσο αυξάνεται η συχνότητα εκπομπής, τόσο αυξάνεται η εν λόγω μεταβλητή.

γ. Εξασθένιση λόγω βροχόπτωσης:

Η εξασθένιση που λαμβάνει χώρα κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος, είναι καταρχήν ανάλογη με τη συχνότητα εκπομπής και την πόλωση του Η/Μ κύματος.

δ. Εξασθένιση λόγω ομίχλης/νέφωσης:

Η εξασθένιση που λαμβάνει χώρα κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος, είναι ανάλογη με τη συχνότητα εκπομπής.

ε. Θόρυβος:

Κάθε ανεπιθύμητη παραγωγή Η/Μ ακτινοβολίας από εξωγενείς παράγοντες, η οποία δύναται να επηρεάσει αρνητικά το επίπεδο της ληφθείσας Η/Μ ακτινοβολίας του επιθυμητού (wanted/desired) σήματος στο δέκτη. Ως προς τον τρόπο παραγωγής του, διακρίνεται στην ακούσια (προερχόμενη είτε από την κοσμική ακτινοβολία είτε από τις πάσης φύσεως ανθρώπινες δραστηριότητες) και στην εκούσια, ήτοι τη σκόπιμη δημιουργία από τον αντίπαλο μη επιθυμητού σήματος. Στην προκειμένη περίπτωση, αναφερόμαστε στη χρήση τεχνικών παρεμβολής, η οποία σαφώς αποτελεί την μεταβλητή εκείνη με την πιο ισχυρή επίδραση, καθόσον δύναται να επηρεάσει σημαντικά τη λήψη ή όχι του επιθυμητού σήματος.

στ. Επιπρόσθετα, υφίστανται απώλειες λόγω περίθλασης (diffraction), κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος, λόγω της μορφολογίας του ανάγλυφου της επιφάνειας, πάνω από την οποία διαδίδεται η αντίστοιχη Η/Μ ακτινοβολία.

ζ. Επιπλέον, πέραν των ανωτέρω, υφίστανται μεταβλητές, που σχετίζονται με τις δυνατότητες εκάστης συσκευής επικοινωνίας, ήτοι:

(1) Ισχύς εκπομπής (Power/Strength of Transmitted Signal):

Αποτελεί την παράγωγο της Ενέργειας (E) ενός Η/Μ κύματος ως προς το χρόνο. Συμβολίζεται με (P) και μονάδα μέτρησης στο S.I είναι το (Watt). $1W = 1J/s$. Είναι καθοριστικής σημασίας παράμετρος, καθόσον το μέτρο αυτής καθορίζει κατά μεγάλο ποσοστό την επίτευξη ή μη επικοινωνίας σε ένα δίαυλο. Χρησιμοποιείται τόσο για την εκπομπή ενός σήματος, όσο και για τη λήψη αυτού από ένα δέκτη, προκειμένου να εκφράσει την ισχύ του ληφθέντος σήματος. Κατά την εκπομπή εκφράζεται ενίοτε και σε πολλαπλάσια του Watt (KW), ενώ κατά τη λήψη, λόγω των απωλειών/αξασθενήσεων που λαμβάνουν χώρα, σε υποπολλαπλάσια του Watt (mW). Για πρακτικούς λόγους, όπως θα παρατεθεί στο αντίστοιχο Κεφάλαιο, τα εν λόγω μεγέθη όπως και άλλα, θα εκφράζονται με λογαριθμικό τρόπο (έκφραση σε Decibel ή (dB) για απλούστευση των αλγεβρικών πράξεων.

(2) Διαμόρφωση εκπεμπόμενου Η/Μ σήματος (Modulation):

Διακρίνεται καταρχήν σε αναλογική και ψηφιακή. Αναλόγως της εφαρμογής, επιτυγχάνονται συγκεκριμένα αποτελέσματα.

(3) Ευαισθησία λήψης του δέκτη (Sensitivity of received signal):

Αποτελεί κρίσιμη μεταβλητή, καθόσον καθορίζει, αναλόγως της διαμόρφωσης, τη λήψη ή όχι ενός σήματος στο δέκτη.

7. Δομή Περιεχομένου της Διατριβής

Η δομή του περιεχομένου της παρούσας διατριβής, ακολουθεί την κάτωθι διάρθρωση:

Το πρώτο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Διάδοση των Η/Μ κυμάτων στον χώρο (propagation radio waves in space)», όπου δίδεται η βασική έννοια των απωλειών κατά τη διάδοση ενός σήματος, χωρίς να ληφθούν υπόψη λοιπές παράμετροι, οι οποίες επιδρούν στην περαιτέρω εξασθένηση της ισχύος του. Επίσης παρατίθεται επαρκής επεξήγηση, όσον αφορά στην εισαγωγή και εφαρμογή των λογαριθμικών μεγεθών Decibel, για αντίστοιχη εφαρμογή, προς απλούστευση των απαιτούμενων αλγεβρικών πράξεων.

Το δεύτερο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Περί ευαισθησίας του δέκτη – εισαγωγή στην έννοια θόρυβος στις επικοινωνίες, επίδραση του θορύβου στη λήψη ενός σήματος». Ουσιαστικά ο αναγνώστης αφού προσδιορίσει την ισχύ ενός ληφθέντος σήματος στο δέκτη από το προηγούμενο Κεφάλαιο, γνωρίζει πλέον και τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη λήψη αυτού και την ικανότητα για την περαιτέρω ανάκτηση της αρχικής πληροφορίας, μέσω της έννοιας της «ευαισθησίας». Επίσης γίνεται εκτενής αναφορά στην μεταβλητή παράμετρο «θόρυβος» (πηγές προέλευσης, τρόπος επίδρασης) και η σημασία της στη λήψη και επεξεργασία ενός σήματος.

Το τρίτο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Γενικές αρχές περί του τρόπου επίτευξης επικοινωνίας στα υπάρχοντα δίκτυα επικοινωνιών – γενικά περί των χρησιμοποιούμενων διαμορφώσεων», όπου δίδεται η επεξήγηση για τον τρόπο επικοινωνίας των συνδρομητών στα υφιστάμενα δίκτυα. Παράλληλα παρατίθενται στοιχεία για τις εν ισχύ διαμορφώσεις (αναλογικές και ψηφιακές), καθώς επίσης γίνεται μια σύντομη αναφορά στις ιδιαιτερότητες των ψηφιακών διαμορφώσεων, ως προς τον τρόπο επεξεργασίας του ληφθέντος σήματος.

Το τέταρτο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Ο ηλεκτρονικός πόλεμος στις επικοινωνίες». Ακολουθεί αναφορά σε βασικές έννοιες αυτού και παράλληλα γίνεται εκτενής αναφορά στην εκούσια εφαρμογή από τον αντίπαλο στην παράμετρο «θόρυβος», στο πλαίσιο της καταστολής της αποτελεσματικής χρήσης του φίλιου διατιθέμενου Η/Μ φάσματος. Ακολουθεί ενδελεχής αξιολόγηση του συνόλου των υφιστάμενων δικτύων, ως προς την αποτελεσματικότητά τους να ανθίστανται στην σκόπιμη χρήση παρεμβολών θορύβου από τον αντίπαλο.

Το πέμπτο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Περί των υφιστάμενων απωλειών κατά την L.O.S/BEYOND L.O.S διάδοση των Η/Μ κυμάτων, λόγω της επίδρασης της περίθλασης (propagation losses due to diffraction)». Με τη συμπλήρωση των προκυπτουσών απωλειών, θα εμπλουτισθεί η αρχική εξίσωση διάδοσης του Η/Μ κύματος και τα αντίστοιχα αποτελέσματα θα είναι πιο ρεαλιστικά. Βάσει αυτού, θα ακολουθήσουν εκτενώς παραδείγματα για τον τρόπο που επηρεάζει η περίθλαση, αναφορικά με την περίπτωση παρεμβολής από τον αντίπαλο συγκεκριμένων δικτύων. Προς επίρρωση των συμπερασμάτων θα χρησιμοποιηθούν αποτελέσματα και από το λογισμικό υπολογισμού διάδοσης των Η/Μ κυμάτων για τις διάφορες περιπτώσεις.

Στο έκτο Κεφάλαιο, το οποίο φέρει τον τίτλο «Περί της διάδοσης των Η/Μ κυμάτων SHF μέσω της τροποσφαιρικής σκέδασης (Troposcatter propagation of SHF radio waves)», δίδεται η επεξήγηση για το πώς ένα ανεπιθύμητο φυσικό φαινόμενο, η σκέδαση, δύναται να αξιοποιηθεί και να αποτελέσει μια μέθοδο ασφαλούς ασύρματης επικοινωνίας, η οποία εκτενώς είχε χρησιμοποιηθεί από τις χώρες του ΝΑΤΟ έως και τη δεκαετία του '70 στην μπάντα των VHF κυρίως, αλλά λόγω της επικείμενης ραγδαίας ανάπτυξης των δορυφορικών επικοινωνιών έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Με την εκχώρηση πλέον φάσματος στην μπάντα των SHF, έχουν ήδη αναπτυχθεί συστήματα με ικανότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου δεδομένων, όπως και τα δορυφορικά. Εν συνεχεία, ακολουθεί παράδειγμα για την αξιολόγηση αυτού, όσον αφορά στη σκοπιμότητα, από πλευράς επιδόσεων, για την περαιτέρω ενσωμάτωση τέτοιου είδους συστημάτων στα υφιστάμενα δίκτυα, με απώτερο σκοπό τη διασφάλιση του εκάστοτε «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος» σε ένα επικοινωνιακό σχέδιο.

Το έβδομο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Υφιστάμενες απώλειες/εξασθενήσεις κατά την ασύρματη διάδοση ενός Η/Μ κύματος». Αναφέρεται στην εξασθένιση που προκαλούν τα μόρια της τροπόσφαιρας (οξυγόνου και υδρατμών), καθώς και την επίδραση της βροχόπτωσης και της ομίχλης/νεφών, στην εξασθένιση της ισχύος ενός σήματος. Έχοντας πλέον προσδιορίσει πλήρως τις μεταβλητές παραμέτρους που επηρεάζουν ένα Η/Μ κύμα, μπορούμε να προβούμε στην πληρέστερη αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υφιστάμενων και των διαθέσιμων στην αγορά επικοινωνιακών δικτύων.

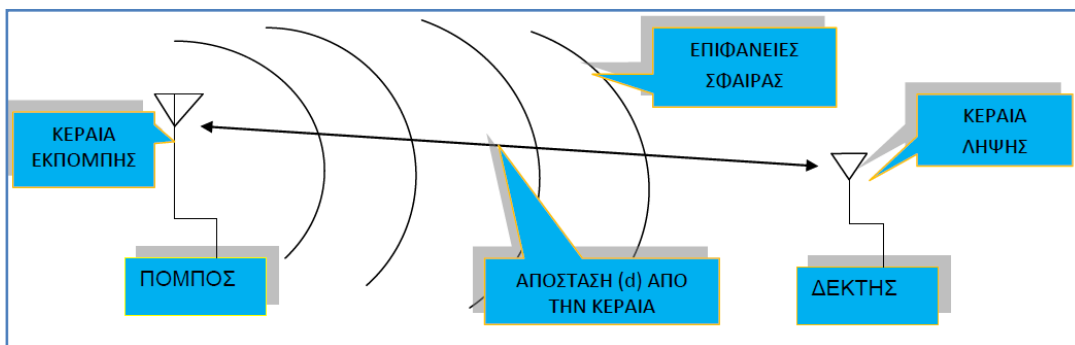
Το όγδοο Κεφάλαιο φέρει τον τίτλο «Γενικά περί της αποτελεσματικότητας ενός δικτύου ασύρματης επικοινωνίας στο θέατρο επιχειρήσεων – καθορισμός σεναρίου – εφαρμογή – διαπιστώσεις - συμπεράσματα». Ουσιαστικά, έχοντας περατώσει τα κριτήρια αποτελεσματικότητας και με την εφαρμογή της πενταβάθμιας κλίμακας «Likert», θα αξιολογηθεί έκαστο υφιστάμενο δίκτυο ως προς τη συνολική του αποτελεσματικότητα προς επίτευξη του «ελάχιστου αποτελέσματος». Εν συνεχεία, έχοντας επιλέξει το βέλτιστο ενδεδειγμένο δίκτυο/συνδυασμό δικτύων, για δεδομένο θέατρο επιχειρήσεων και σαφώς ορισμένη έννοια περί της «διασφάλισης του ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», με την εφαρμογή του μαθηματικού προγραμματισμού θα εξετασθεί εάν και εφόσον και υπό πίες παραδοχές θα επιτευχθεί ο ανωτέρω σκοπός. Προς τεκμηρίωση των συμπερασμάτων θα χρησιμοποιηθούν αποτελέσματα και από το λογισμικό υπολογισμού διάδοσης των Η/Μ κυμάτων για τις διάφορες περιπτώσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:

ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ (PROPAGATION OF RADIO WAVES IN SPACE).

1.1 Η Έννοια της διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο

Στο κατωτέρω σχήμα παρατίθεται σε απλοποιημένη μορφή η απαιτούμενη διάταξη για την επίτευξη εκπομπής, ήτοι ένας πομπός και μία κεραία. Κατά την εκπομπή ενός Η/Μ κύματος και αναλόγως του τύπου της προς χρήση κεραίας, η εκπεμπόμενη ισχύς εκπέμπεται (radiated) προς μια συγκεκριμένη διεύθυνση, ακολουθώντας στην αυτή κατεύθυνση ομοιόμορφη κατανομή. Συνεπώς, η πυκνότητα ισχύος (W/m^2) (Power density P_D) σε οιαδήποτε απόσταση (d) από την κεραία, θα ισούται με την ισχύ εκπομπής προς τη σφαιρική επιφάνεια στην αντίστοιχη απόσταση (d), ήτοι $P_D = P/4\pi d^2$ (1).



(Σχήμα 1-1: Η απλοποιημένη μορφή διάδοσης ενός Η/Μ κύματος)

Στην περίπτωση, όπου η κεραία εκπέμπει προς όλες τις διευθύνσεις (360°), ονομάζεται **ισοτροπική**. Λόγω του τρόπου εκπομπής της, δεν συγκεντρώνει την ισχύ προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση. Ο εν λόγω τύπος κεραίας χρησιμοποιείται ως μέτρο για τον καθορισμό ενός αδιάστατου μεγέθους, το **κέρδος** της κεραίας. Καθορίζεται λοιπόν, ως ο λόγος της εκπεμπόμενης ισχύος προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, προς την ισχύ μιας ισοτροπικής κεραίας που θα εξέπεμπε στην αυτή θέση με την ίδια ισχύ. Εκφράζεται με το γράμμα (**G**) γενικότερα, (**G_T** για πομπό και **G_R** για το δέκτη) και ουσιαστικά υποδηλώνει την κατευθυντικότητα μιας κεραίας. Όσο μεγαλύτερη η κατευθυντικότητα μιας κεραίας, τόσο μεγαλύτερο και το αντίστοιχο κέρδος της.

Η τιμή της εξαρτάται από ένα πηλίκιο, με αριθμητή τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτής και παρονομαστή το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου Η/Μ κύματος. Συνεπώς αν χρησιμοποιηθεί με συγκεκριμένες διαστάσεις μια κεραία αλλά με διαφορετικές συχνότητες που διαφέρουν αρκετά, γίνεται αντιληπτό ότι θα ποικίλει και το αντίστοιχο κέρδος. Πλέον η εξίσωση (1) τροποποιείται ως ακολούθως: $P_D = P \cdot G_T / 4 \cdot \pi \cdot d^2$ (2). Το γινόμενο του αριθμητή ($P \cdot G_T$), ονομάζεται Ενεργός Ισοτροπικά Ακτινοβολούμενη Ισχύς (Effective Isotropically Radiated Power) (EIRP).

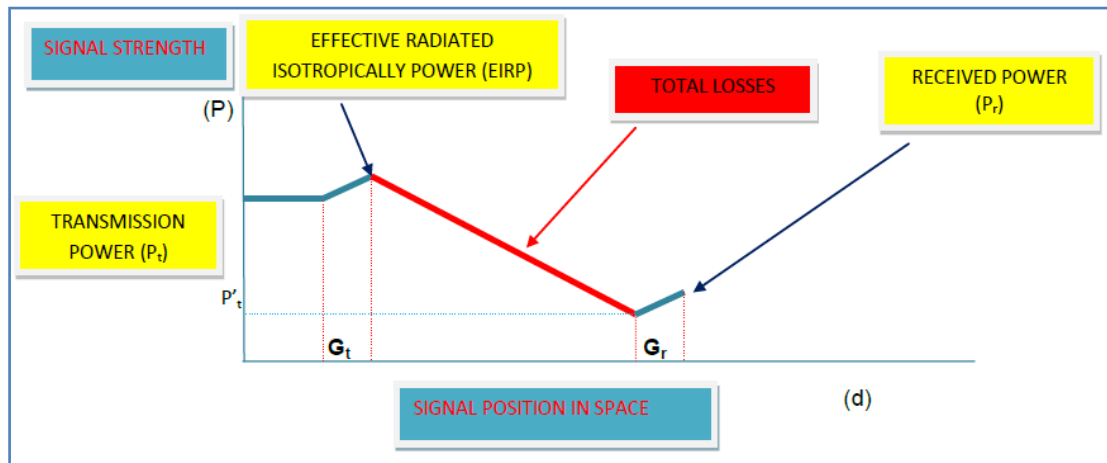
Για τις ισοτροπικές κεραίες, που άλλωστε θα χρησιμοποιηθούν για τους υπολογισμούς των ημέτερων επικοινωνιακών μέσων, το κέρδος ορίζεται ως μονάδα. Η χρήση κατευθυντικών κεραιών στις ασύρματες επικοινωνίες ενδείκνυται κυρίως σε εφαρμογή συγκεκριμένων ραδιοζευξέων (radio links), ή στην περίπτωση του Ηλεκτρονικού Πολέμου (εφαρμογή διαδικασιών **COMINT, JAMMING**), όπως θα παρατεθεί στο τέταρτο Κεφάλαιο³. Η χρήση των ισοτροπικών κεραιών πλεονεκτηί έναντι των κατευθυντικών, καθόσον η εκπομπή διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

1.2 Βασική Εξίσωση Διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο

Στο σχήμα (1-2), παρατίθεται ένα σύστημα αξόνων, με οριζόντιο άξονα την απόσταση μεταξύ πομπού – δέκτη (d) και κατακόρυφο την ισχύ του εκπεμφθέντος σήματος (P). Από τον πομπό παράγεται ένα επίπεδο ισχύος P_t το οποίο ως γινόμενο πλέον με το κέρδος της κεραίας (G_t), δημιουργεί την ποσότητα EIRP, η οποία και εκπέμπεται στο χώρο. Κατά τη διάδοση του κύματος, υφίστανται εξασθενήσεις και απώλειες της ισχύος, με αποτέλεσμα στο δέκτη να λαμβάνεται ένα σήμα ισχύος $P_r \ll P_t$. Το εν λόγω σήμα ενισχυμένο από το κέρδος της κεραίας του δέκτη (G_r), καταλήγει ως P_r για περαιτέρω επεξεργασία στο δέκτη. Ισχύει ότι

$$\text{RECEIVED POWER (P}_r\text{)} = \text{EIRP} - (\text{TOTAL LOSSES})$$

³ ΟΙ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΥΤΕΣ ΑΦΟΡΟΥΝ ΣΕ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΥ ΠΟΛΕΜΟΥ



(Σχήμα 1-2: Η ποιοτική απεικόνιση της μεταβολής της ισχύος κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος από τον πομπό προς τον δέκτη)

1.3 Χρήση της Λογαριθμικής Κλίμακας (Decibel) Κατά τους Υπολογισμούς

Όπως είχε αναφερθεί και στο κύριο σώμα, για τους υπολογισμούς θα χρησιμοποιηθεί η λογαριθμική κλίμακα των Decibel ή (dB). Το dB αποτελεί ένα αδιάστατο μέγεθος και εκφράζει το λόγο δύο μεγεθών στην αυτή μονάδα μέτρησης, εκφρασμένο σε λογαριθμική κλίμακα, ήτοι ως το γινόμενο δέκα επί τον δεκαδικό λογάριθμο του ανωτέρω πηλίκου. Έστω πχ δύο τιμές ισχύος P_1 και P_2 και $P_1 > P_2$. Εάν υπολογίσουμε το λόγο των δύο τιμών ($P_1/P_2 > 1$), πράγμα που σημαίνει ότι η τιμή P_1 είναι μεγαλύτερη της P_2 κατά τόσες φορές, όσο το αριθμητικό αποτέλεσμα του πηλίκου αυτού. Προς απλούστευση των ανωτέρω και εν γένει των αλγεβρικών πράξεων, χρησιμοποιείται το dB, που ισούται με: $10 \cdot \log_{10}(P_1/P_2)$. Επομένως, αντί να ορίζουμε πόσες φορές μία τιμή είναι μεγαλύτερη της συγκρινόμενης, χρησιμοποιείται η έκφραση «η τιμή P_1 είναι μεγαλύτερη της P_2 κατά τόσα dB, όσο το ανωτέρω γινόμενο». Για παράδειγμα εάν $P_1/P_2 = 2$, η τιμή P_1 είναι διπλάσια της P_2 , ή μεγαλύτερη της P_2 κατά $10 \cdot \log(2) = 3$ dB. (Συνήθως παραλείπεται στη βιβλιογραφία η αναγραφή της βάσης του δεκαδικού λογάριθμου στις πράξεις). Αντίστοιχα ο λόγος $P_2/P_1 = 1/2$ εκφράζεται σε dB ως $10 \cdot \log(1/2) = -3$ dB. Πέραν από λόγους μεταξύ δύο τιμών, η ανωτέρω εφαρμογή χρησιμοποιείται και για μεγέθη συγκρινόμενα ως προς την μονάδα μέτρησή τους. Για παράδειγμα, έστω ότι η ισχύς εξόδου είναι 15W. Η ποσότητα αυτή εκφρασμένη σε dB είναι:

$10 \cdot \log(15W/1W) = 11,76 \text{ dBW}$. (Αποτελεί αδιάστατο μέγεθος, αλλά τίθεται στην προκειμένη περίπτωση το (**W**) για να υποδηλώσει ότι αναφερόμαστε σε λόγο με WATT.⁴

Η εν λόγω εφαρμογή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη και για την περιγραφή του ληφθέντος σήματος στο δέκτη. Στην περίπτωση αυτή επειδή τα επίπεδα ισχύος είναι αρκετά χαμηλά, χρησιμοποιούμε το (**dBm**). Το **dBW** και **dBm** ναι μεν είναι αδιάστατα μεγέθη, αλλά δεν δύναται να αθροίζονται απ' ευθείας αποτελέσματα σε **dBW** με αντίστοιχα σε **dBm**, χωρίς να εισάγονται οι απαραίτητες διορθώσεις. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται ο συσχετισμός των δύο μεγεθών.

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ Η ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΘΑ ΕΚΦΡΑΣΘΕΙ ΣΕ dB ΕΙΝΑΙ ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ (ΑΦΟΡΑ ΚΥΡΙΩΣ ΣΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ)	
ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ ΣΕ dB +30 = dBm	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ ΣΕ dBm -30 = dB
15 W = $10 \cdot \log(15) = 11,76 \text{ dB} = (11,76 + 30) \text{ dBm} = 41,76 \text{ dBm}$	1000 mW = $10 \cdot \log(10^3) = 30 \text{ dBm} = (30 - 30) \text{ dB} = 0 \text{ dB}$
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ Η ΤΙΜΗ ΠΟΥ ΘΑ ΕΚΦΡΑΣΘΕΙ ΣΕ dB ΕΙΝΑΙ ΜΙΚΡΟΤΕΡΗ ΤΗΣ ΜΟΝΑΔΑΣ (ΑΦΟΡΑ ΚΥΡΙΩΣ ΣΤΗ ΛΗΨΗ)	
ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ ΣΕ dB (με το πρόσημο) +30 = dBm	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΑ ΤΙΜΗ ΣΕ dBm (με το πρόσημο) -30 = dB
Π.χ -145 dB = $(-145 + 30) \text{ dBm} = -115 \text{ dBm}$	Π.χ -120 dBm = $(-120 - 30) \text{ dB} = -150 \text{ dB}$

(Πίνακας 1-1: Πίνακας μετατροπής τιμών από dB σε dBm και αντίστροφα)

⁴ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΛΟ (dB) ΟΤΑΝ ΑΝΑΦΕΡΟΜΑΣΤΕ ΣΕ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ ΜΕΤΡΗΣΙΜΕΣ ΣΕ WATT ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΜΒΟΛΟ (dBm) ΓΙΑ ΝΑ ΥΠΟΔΗΛΩΘΕΙ ΟΤΙ ΑΝΑΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ mW

1.3.1 Εφαρμογή της Κλίμακας (dB) για τον Υπολογισμό της Βασικής Εξίσωσης Διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο

Από τη γενική εξίσωση της παραγράφου 1.2 μπορούμε με τη χρήση των dB να υπολογίσουμε την ισχύ του ληφθέντος σήματος στο δέκτη. Θα έχουμε λοιπόν:

$$P_r = (P_t * G_t) - (\text{Total losses}) + (G_r) \quad (3).$$

Η ανωτέρω γράφεται με χρήση λογαρίθμων:

$$(P_r)_{dB} = (P_t)_{dB} + (G_t)_{dB} - (\text{Total losses})_{dB} + (G_r)_{dB} \quad (4).$$

Σε περίπτωση ισοτροπικών κεραιών κατά την εκπομπή και τη λήψη, $(G_t)_{dB} = (G_r)_{dB} = 0$. Συνεπώς η (4) μετασχηματίζεται ως εξής:

$$(P_r)_{dB} = (P_t)_{dB} - (\text{Total losses})_{dB} \quad (5).$$

1.3.2 Υπολογισμός της Βασικής Εξίσωσης Διάδοσης ενός Η/Μ Κύματος στο Χώρο με Χρήση της Βασικής Απώλειας Μετάδοσης Ελεύθερου Χώρου (Free Space Basic Transmission Loss)

Ο υπολογισμός των συνολικών απωλειών σε μια ασύρματη ζεύξη προϋποθέτει την άθροιση των επιμέρους απωλειών που προκύπτουν κατά τη διάδοση του Η/Μ κύματος. Μια βασική μεταβλητή, η οποία υφίσταται **μόνιμα** είναι η βασική απώλεια μετάδοσης ελεύθερου χώρου (free space basic transmission loss), δηλαδή οι απώλειες που θα υπήρχαν ούτως ή άλλως, εάν το Η/Μ κύμα διαδίδονταν στο κενό. Αυτές ισούνται με:

$$L_{bf} = 32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d) \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

L_{bf} : free-space basic transmission loss (dB).

f : frequency (MHz).

d : distance (km).

(Πίνακας 1-2: Περιγραφή της γενικής εξίσωσης υπολογισμού των απωλειών μετάδοσης ελεύθερου χώρου)

⁵ RECOMMENDATION ITU-R P.525-2 - CALCULATION OF FREE-SPACE ATTENUATION, ANNEX 1, (1978-1982-1994)

Παρατηρούμε ότι οι ανωτέρω απώλειες είναι ανάλογες της συχνότητας και της απόστασης. Έστω μια ασύρματη ζεύξη, όπου δεν υφίστανται έτερες απώλειες (θεωρητικά και μόνο) με τα κάτωθι στοιχεία:

1.3.3 Αριθμητικό Παράδειγμα

ΠΟΜΠΟΣ/ΚΕΡΑΙΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ/ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΔΕΚΤΗΣ
ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ: 30W	225 MHz /25 km	ΚΕΡΑΙΑ: ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗ
ΚΕΡΑΙΑ: ΙΣΟΤΡΟΠΙΚΗ		ΖΗΤΕΙΤΑΙ: ΛΗΦΘΕΝ ΣΗΜΑ

Από τις (5),(6) προκύπτει:

$$(P_r)_{dB} = (P_t)_{dB} - (32.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d))_{dB} \quad (7)$$

$$(P_t)_{dB} = 10 * \log(30) = 14,77 \text{ dB} \quad (8)$$

$$(32,4 + 20 * \log(225) + 20 * \log(25)) = 107,40 \text{ dB} \quad (9)$$

Από τις (7),(8),(9) προκύπτει: $(P_r)_{dB} = 14,77 - 107,4 = -92,63 \text{ dB} = -62,63 \text{ dBm}$.

Συνεπώς το ληφθέν σήμα στο δέκτη είναι - 62,63 dBm. Εάν θέλουμε να αντιληφθούμε το μέγεθος αυτό, θα κάνουμε την αντίστροφη διαδικασία για το λογάριθμο. Έστω (X) ο αριθμός σε mW. Τότε ισχύει: $10 * \log(X) = -62,63 \text{ dBm}$. Άρα $X = 10^{(-62,63/10)} = 10^{(-6,263)} = 5,4575 * 10^{-7} \text{ mW}$. Γίνεται λοιπόν αντιληπτή η χρησιμότητα των λογαρίθμων, προς αποφυγή εκτέλεσης αλγεβρικών πράξεων με τέτοιους αριθμούς.

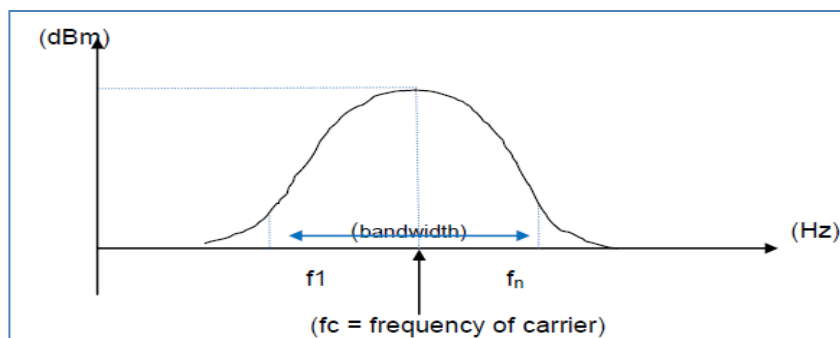
Η ικανότητα λήψης του ανωτέρω εκπεμφθέντος σήματος από ένα συγκεκριμένο δέκτη για την περαιτέρω επεξεργασία αυτού και εν τέλει τη λήψη της επιθυμητής πληροφορίας, εξαρτάται από τη μεταβλητή «ευαισθησία (sensitivity)» του δέκτη, σε συνδυασμό με την έτερη μεταβλητή «θόρυβος». Την επίδραση των ανωτέρω θα την μελετήσουμε στο επόμενο Κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΠΕΡΙ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΤΟΥ ΔΕΚΤΗ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ, ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΗ ΛΗΨΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

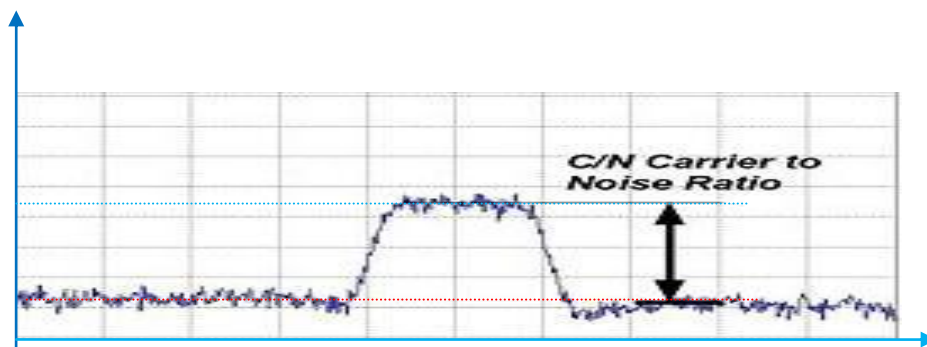
2.1 Περιγραφή Θερμικού Θορύβου

Όπως θα παρατεθεί στο επόμενο Κεφάλαιο, για την εκπομπή ενός σήματος χρησιμοποιείται η διαδικασία της διαμόρφωσης, με την οποία επιτυγχάνεται μια μίξη ενός φέροντος (carrier) υψίσυχνου ημιτονοειδούς σήματος με την αντίστοιχη πληροφορία και εν συνεχεία πραγματοποιείται η εκπομπή αυτού. Για την ανάκτηση της πληροφορίας από το δέκτη εκτελείται η αντίστροφη διαδικασία, ήτοι διαχωρισμός της πληροφορίας από το φέρον σήμα. Αναλόγως του τύπου της διαμόρφωσης και της συχνότητας του φέροντος, σχηματίζεται εκατέρωθεν της φέρουσας συχνότητας μία περιοχή συχνοτήτων, που περικλείει το σύνολο της μεταφερόμενης πληροφορίας. Αυτό ονομάζεται εύρος συχνοτήτων (**bandwidth**) και συμβολίζεται με (Bw) με μονάδα μέτρησης το (Hz). Το εύρος αυτό δύναται να ποικίλει, αναλόγως της χρησιμοποιούμενης μπάντας. Έτσι λοιπόν στα HF συνήθως κυμαίνεται σε εκατοντάδες Hz, ενώ στις υψηλότερες μπάντες (UHF/Πχ τηλεόραση/ GSM) δύναται να κυμανθεί σε δεκάδες KHz και στην μπάντα (SHF/ Πχ δορυφορικές επικοινωνίες) ακόμη και σε MHz. Το bandwidth αποτελεί μέτρο που καθορίζει την ποσότητα/όγκο της μεταφερόμενης πληροφορίας. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται θεωρητικά η ισχύς ενός σήματος στο δέκτη με μονάδα μέτρησης στον οριζόντιο άξονα το Hz και στον κατακόρυφο την ισχύ (εκφρασμένη σε dBm)



(Σχήμα 2-1: Θεωρητική απεικόνιση της φασματικής πυκνότητας ισχύος ενός σήματος, ως προς το διατιθέμενο εύρος συχνοτήτων αυτού)

Προκύπτει λοιπόν ένα νέο μέγεθος, η φασματική πυκνότητα ισχύος (power spectral density) $|X(f)|^2$ (w/Hz). Το ορισμένο ολοκλήρωμα $\int |X(f)|^2 df$ από f_1 έως f_n δίνει ως αποτέλεσμα την ισχύ του σήματος. Στην πραγματικότητα λόγω της εισαγωγής θορύβου στο δέκτη, μια πραγματική εικόνα είναι η κάτωθι:



(Σχήμα 2-2: Πραγματική απεικόνιση της φασματικής πυκνότητας ισχύος ενός σήματος, ως προς το διατιθέμενο εύρος συχνοτήτων αυτού)

Στο ανωτέρω σχήμα, παρατηρούμε ότι η λαμβανόμενη ισχύς του φέροντος σήματος (ή του επιθυμητού σήματος γενικότερα και κατ' επένταση της περιεχόμενης πληροφορίας) υπερτερεί έναντι του θορύβου και ως εκ τούτου δύναται να ανακτηθεί από το δέκτη. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι κάθε ηλεκτρονική σκευή περιέχει ένα επίπεδο εσωτερικού «**θορύβου**», το οποίο οφείλεται στην κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων όντος των επιμέρους κυκλωμάτων αυτής. Ο θόρυβος αυτός αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και τείνει να κατανεμηθεί σε όλο το εύρος λειτουργίας (bandwidth) της συσκευής. Ονομάζεται «**θερμικός θόρυβος (thermal noise)**» και η ισχύς του είναι ανάλογη της θερμοκρασίας και του bandwidth. Ακόμη και αν θεωρητικά δεν υπάρξει εισαγωγή θορύβου στο δέκτη από εξωγενείς παράγοντες, όπως θα αναλυθούν στη συνέχεια, θα υφίσταται ο εν λόγω παράγοντας, ο οποίος επηρεάζει το επίπεδο «**ευαισθησίας (sensitivity)**» του δέκτη και συνεπώς καθορίζει σημαντικά τη λήψη ή όχι ενός ασθενούς σήματος. Πιο συγκεκριμένα, ισχύει:

α. Θερμικός θόρυβος (thermal noise power) = $K \cdot T_0 \cdot B$,

β. Όπου K : σταθερά Boltzmann = 1.38×10^{-23} J/K

γ. T_0 : η θερμοκρασία σε Kelvin που αντιστοιχεί στους 290 K (για πρακτικούς λόγους στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιείται πάντα αυτή η τιμή και η θερμοκρασία θα συμβολίζεται ως T)

δ. B: το χρησιμοποιούμενο bandwidth του δέκτη (noise power bandwidth of the receiving system) (Hz)

Έστω ένας δέκτης με bandwidth 2 KHz. Για να υπολογίσουμε το θερμικό θόρυβο στο δέκτη, μετατρέπουμε τα ανωτέρω σε dB, προκύπτει:

$$10 \cdot \log(1.38 \times 10^{-23}) = -228,6 \text{ dB.}$$

$$10 \cdot \log(2 \times 10^3) = 33 \text{ dB.}$$

$$10 \cdot \log(290) = 24,624 \text{ dB}$$

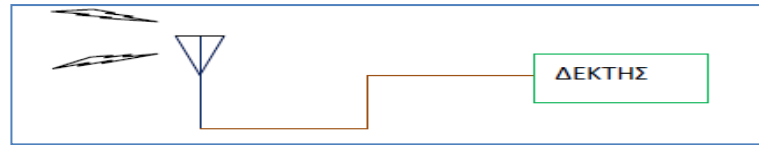
Συνεπώς η ισχύς του θερμικού θορύβου, ισούται με :

$$P_{(\text{thermal noise power})} = (-228,6 + 33 + 24,624) = -170,976 \text{ dB} = -140,976 \text{ dBm.}$$

2.2 Εξωγενείς Παράγοντες που Επηρεάζουν το Επίπεδο Θορύβου – Ορισμοί των Παραγόντων Συντελεστής Θορύβου (Noise Factor) και Noise Figure

Γίνεται αντιληπτό ότι σε περίπτωση μη επίδρασης έτερου εξωγενούς παράγοντα για εισαγωγή θορύβου στο δέκτη (μέσω της κεραίας λήψης), το «**ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα (minimum detectable signal)**» θα ήταν μεγαλύτερο ή ίσο της ανωτέρω προκύπτουσας τιμής, ήτοι για το παράδειγμά μας περί τα -141 dBm. Στην πραγματικότητα κυμαίνεται πιο χαμηλά (ως προς την απόλυτη τιμή σε dBm), με αποτέλεσμα να απομεινύεται η ικανότητα του δέκτη για λήψη ως προς το επίπεδο αναφοράς τα -141 dBm. Με άλλα λόγια, ο δέκτης μετατρέπεται σε λιγότερο «ευαίσθητος».

Η επίδραση των εξωγενών μεταβλητών, δύναται να συνεισφέρει είτε με την αύξηση της θερμοκρασίας στα επιμέρους τμήματα (κεραία/γραμμή μεταφοράς), είτε με την απ' ευθείας εισαγωγή ανεπιθύμητης ποσότητας ισχύος στο δέκτη (προερχόμενη από Η/Μ ακτινοβολία που δημιουργείται με τυχαίο τρόπο) και η οποία επεξεργάζεται όπως και το επιθυμητό σήμα. Για να γίνει πιο αντιληπτό αυτό, παρατίθεται το σχήμα (2-3):



(Σχήμα 2-3: Τυπική διάταξη σύνδεσης μιας κεραίας λήψης, και ενός δέκτη, μέσω μιας γραμμής μεταφοράς)

Στο ανωτέρω σχήμα μέσω μιας κεραίας και μιας γραμμής μεταφοράς καταλήγει το επιθυμητό σήμα στο δέκτη για την περαιτέρω επεξεργασία του. Μαζί όπως αναφέρθηκε εισάγεται και το ανεπιθύμητο σήμα (θόρυβος). Επειδή κάθε γραμμή μεταφοράς και συσκευή παρουσιάζει απώλειες, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενισχύεται ο θόρυβος. Σε κάθε ηλεκτρονικό σύστημα/συσκευή ορίζεται ένας συντελεστής, ο **συντελεστής θορύβου (Noise Factor f)**, ο οποίος αποτελεί τη συνισταμένη των επιμέρους συντελεστών θορύβου στα αντίστοιχα τμήματα (κεραία/γραμμή μεταφοράς/δέκτης), όπου υφίστανται απώλειες. Πιο συγκεκριμένα:

$$\diamond f = f_a + (f_c - 1) + l_c (f_t - 1) + l_c l_t (f_r - 1) \quad (1)$$

❖ l_c antenna circuit loss (available input power/available output power)

❖ l_t : transmission line loss (available input power/available output power)

❖ f_a : the external noise factor

❖ f_r : noise factor of the receiver

❖ f_t : is the noise factor associated with the transmission line losses

❖ f_c : is the noise factor associated with the antenna circuit losses

❖ T_c : actual temperature (K) of the antenna and nearby ground

❖ T_t : actual temperature (K) of the transmission line

$$\diamond f_c = 1 + (l_c - 1) * (T_c / T_0) \quad (2)$$

$$\diamond f_t = 1 + (l_t - 1) * (T_t / T_0) \quad (3)$$

❖ Εάν θεωρήσουμε ότι $T_c = T_t = T_0$, τότε από (1),(2),(3) προκύπτει:

$$\diamond f = f_a + (f_c * f_t * f_r) - 1 \quad (4)$$

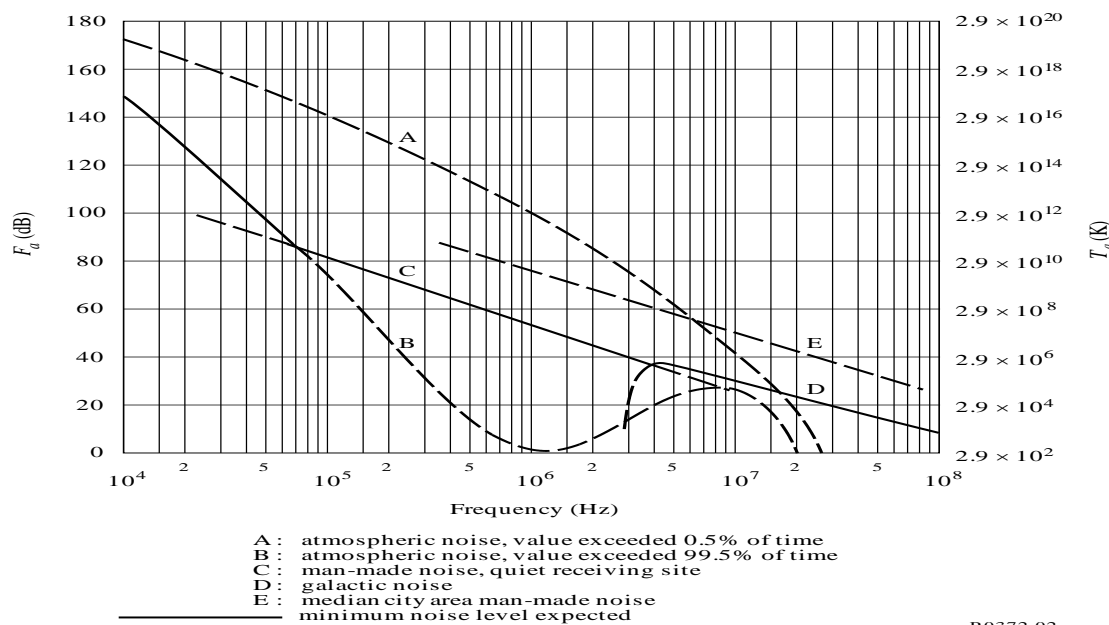
⁶ RECOMMENDATION ITU-R P.372-13, RADIO NOISE, pp 4, (09/2016)

Η έκφραση του ανωτέρω συντελεστή Noise Factor (f) σε dB, ονομάζεται **Noise Figure**.

Συνεπώς το ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα πλέον ,ορίζεται ως εξής:

$$(\text{Ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα})_{\text{dB}} = (K \cdot T \cdot B)_{\text{dB}} + (NF)_{\text{dB}} \quad (5)^7$$

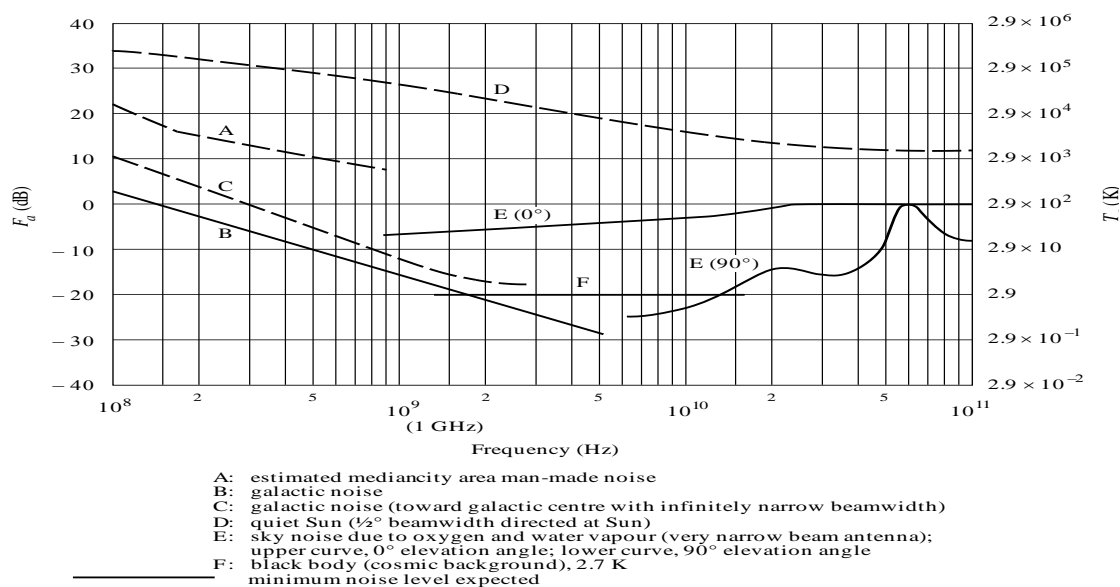
Επιπλέον ο θόρυβος δύναται να εκφρασθεί ως συνάρτηση της χρησιμοποιούμενης συχνότητας. Παρατίθενται ενδεικτικά τα κάτωθι σχήματα για διάφορες συχνότητες με την αντίστοιχη επίδραση από τους διάφορους εξωγενείς παράγοντες δημιουργίας θορύβου⁸.



(Σχήμα 2-4: F_a versus frequency (10^4 to 10^8 Hz))

⁷ MATT LOY, UNDERSTANDING AND ENHANCING SENSITIVITY IN RECEIVERS FOR WIRELESS APPLICATIONS, TECHNICAL BRIEF SWRA030, TEXAS INSTRUMENTS, pp 47

⁸ RECOMMENDATION ITU-R P.372-13, RADIO NOISE, pp 7,8, (09/2016)



(Σχήμα 2-5: F_n versus frequency (10^8 to 10^{11} Hz))

Επιπλέον, όπως έχει ήδη αναφερθεί, υπάρχει και ο παραγόμενος θόρυβος από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, (man-made noise power), ο οποίος δύναται να ποσοτικοποιηθεί και να ενταχθεί σε κατηγορίες, συναρτήσει του υφιστάμενου περιβάλλοντος, όπου λαμβάνει χώρα η ανθρώπινη δραστηριότητα. Η γενικότερη εξίσωση που περιγράφει τη μέση τιμή του παραγόμενου θορύβου αυτής της περίπτωσης είναι:

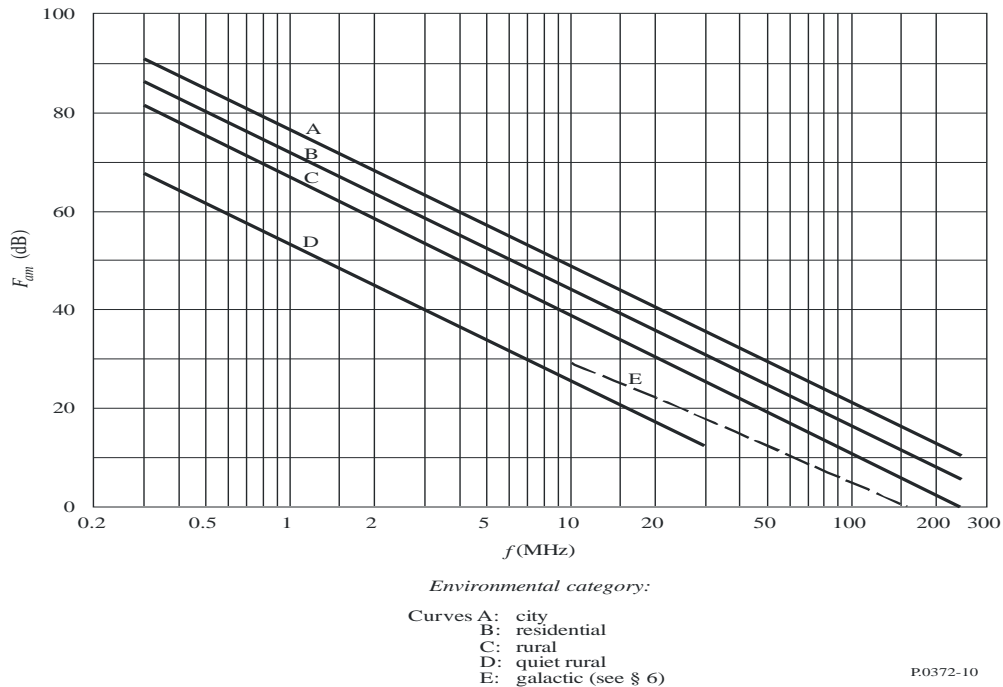
$F_{am} \text{ (MEDIAN VALUE)} = c - d \log f_{(MHz)}$, (6), και αφορά σε ένα εύρος συχνοτήτων από (0,3 – 250 MHz), ενώ αντίστοιχα οι μεταβλητές c , d λαμβάνουν τιμές βάσει του κάτωθι πίνακα⁹:

Environmental category	c	d
City (curve A)	76.8	27.7
Residential (curve B)	72.5	27.7
Rural (curve C)	67.2	27.7
Quiet rural (curve D)	53.6	28.6
Galactic noise (curve E)	52.0	23.0

(Πίνακας 2-1: Τιμές των μεταβλητών c, d στην εξίσωση (6), για τους διάφορους περιβάλλοντες χώρους)

⁹ RECOMMENDATION ITU-R P.372-13, RADIO NOISE, pp 15 (09/2016)

Η εξίσωση (6) δεν ισχύει για τις καμπύλες (D),(E), που παρατίθενται συνολικά στο κάτωθι σχήμα¹⁰:



(Σχήμα 2-6: F_m από ανθρώπινες δραστηριότητες για τα διάφορα περιβάλλοντα μέρη)

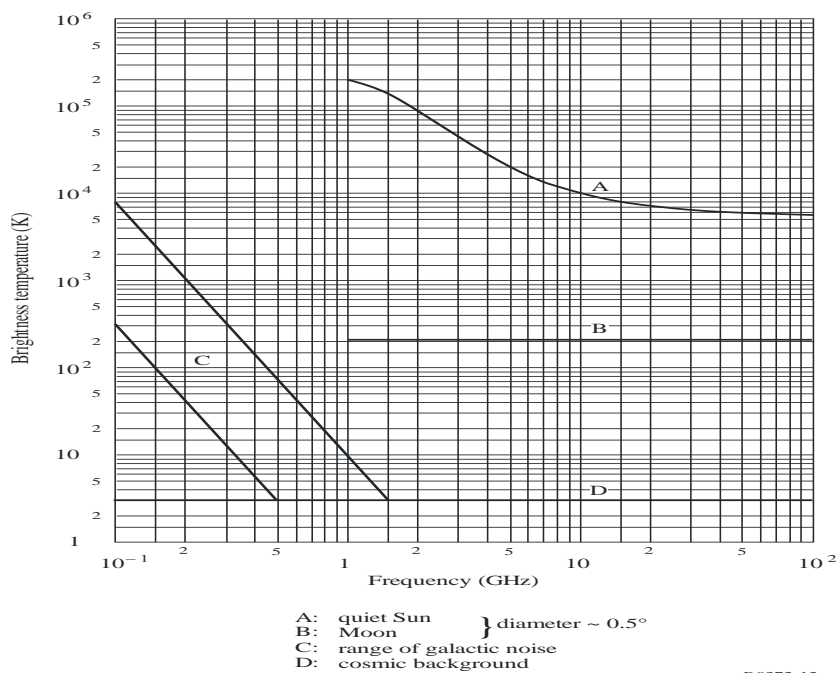
Επιπλέον, στους εξωγενείς παράγοντες εντάσσεται και η λαμπρότητα από εξωγήινες πηγές (**Brightness temperature due to extra-terrestrial sources**), όπως η επίδραση του ηλίου και του γαλαξία. Αυτή είναι υπολογίσιμη σε συχνότητες από 100 MHz και άνω, όσον αφορά στην επίδραση στην αύξηση της θερμοκρασίας της κεραίας, ενώ για συχνότητες έως 100 MHz, η μέση τιμή του αντίστοιχου παράγοντα **noise figure**, δίδεται από την σχέση:

$$F_{am} = 52 - 23 \log f(\text{MHz})$$

Γενικότερα, η ανωτέρω επίδραση στην αύξηση της θερμοκρασίας, παρατίθεται στο κάτωθι σχήμα¹¹:

¹⁰ RECOMMENDATION ITU-R P.372-13, RADIO NOISE, pp 18, (09/2016)

¹¹ RECOMMENDATION ITU-R P.372-13, RADIO NOISE, pp 22, (09/2016)



(Σχήμα 2-7: F_{am} due to extra-terrestrial sources)

2.2.1 Συσχετισμός Noise Figure με Επίπεδο Ευαισθησίας – Αριθμητικό Παράδειγμα

Για να γίνει πιο κατανοητή η επίδραση των εξωγενών παραγόντων, όσον αφορά στη διαμόρφωση εν τέλει του παράγοντα **Noise Figure** ενός δέκτη, παρατίθεται το ακόλουθο παράδειγμα:

Έστω ένας δέκτης με κεραία και γραμμή μεταφοράς από την κεραία στο δέκτη. Ας υποθεθεί ότι οι επιμέρους noise figures της κεραίας, της γραμμής μεταφοράς και του δέκτη είναι 2dB, 5 dB και 3 dB αντίστοιχα. Η μόνη επίδραση είναι η ανθρώπινη δραστηριότητα με επίπεδο θορύβου 14 dB. Εάν θεωρήσουμε τη θερμοκρασία σταθερή σε όλα τα επιμέρους τμήματα και ίση με 290 K, τότε από την (4) για να υπολογισθεί ο συνολικός συντελεστής θορύβου (noise factor), θα πρέπει να μετατραπούν οι αντίστοιχοι noise figures σε noise factors, ήτοι:

$$\begin{aligned} \text{Noise factor}_{(\text{antenna})} &= 1,585 / \text{Noise factor}_{(\text{γραμ.μεταφ})} = 3,16 / \text{Noise factor}_{(\text{δέκτη})} \\ &= 2 / \text{Noise factor}_{(\text{ανθρ.δραστ})} = 25,12 \end{aligned}$$

$$\text{Άρα, noise factor}_{(\text{total})} = \text{noise factor}_{(\text{ανθρ.δραστ})} + [\text{noise factor}_{(\text{antenna})} * \text{noise factor}_{(\text{γραμ.μεταφ})} * \text{noise factor}_{(\text{δεκτη})}] - 1 = 25,12 + (1,585 * 3,16 * 2) - 1 = 34,14$$

$$\text{Συνεπώς, ο αντίστοιχος Noise Figure είναι: (NF)}_{\text{dB}} = 10 * \log(34,14) = 15,33 \text{ dB}$$

Βάσει της εξίσωσης (5), ορίζεται ένα νέο μέγεθος, η «ευαισθησία», η οποία ισούται με:

$$(\text{Ευαισθησία})_{\text{dB}} = (\text{Ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα})_{\text{dB}} + (C/N)_{\text{dB}} \quad (7)^{12},$$

Όπου $C/N = \text{Carrier to Noise Ratio}^{13}$ (). Ο λόγος (S/N) σχετίζεται με την εκάστη χρησιμοποιούμενη διαμόρφωση (είτε αναλογική είτε ψηφιακή) και εκφράζει τον αναγκαίο λόγο ισχύος του επιθυμητού σήματος προς την αντίστοιχη ισχύ του εξωγενώς δημιουργηθέντος θορύβου, ο οποίος εν τέλει υπεισέρχεται εντός του δέκτη, προκειμένου να επιτευχθεί η ανίχνευσή του και εν συνεχεία η επεξεργασία αυτού για τη λήψη της μεταφερόμενης πληροφορίας. Για παράδειγμα, έστω ένας δέκτης με δυνατότητα λειτουργίας κάθε φορά σε μία από τις αναλογικές διαμορφώσεις (**FM και AM**). Εάν τα αντίστοιχα $(S/N)_{\text{FM}} = 10 \text{ dB}$ και $(S/N)_{\text{AM}} = 13 \text{ dB}$ με (Ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα) $_{\text{dB}} = -140 \text{ dB}$, τότε η προκύπτουσα ευαισθησία θα είναι ως εξής:

$$(\text{Sensitivity}_{\text{FM}})_{\text{dB}} = -140 + 10 = -130 \text{ dB} = -100 \text{ dBm}.$$

$$(\text{Sensitivity}_{\text{AM}})_{\text{dB}} = -140 + 13 = -127 \text{ dB} = -97 \text{ dBm}.$$

Η ευαισθησία λοιπόν ενός δέκτη, καταρχήν για τις αναλογικές διαμορφώσεις (στις ψηφιακές όπως θα δούμε διαφέρει αυτό) συνιστά ένα κατώφλι, κάτω από το οποίο δεν δύναται να ληφθεί ένα σήμα στο δέκτη. Τυπικές τιμές, στις οποίες κυμαίνεται ενδεικτικά η ευαισθησία των ασύρματων δεκτών σε αναλογική διαμόρφωση (FM/AM) είναι από -105 έως -114 dBm , ενσωματώνοντας τις παραμέτρους που την επηρεάζουν. Αναφορικά με τους επικείμενους υπολογισμούς, θα χρησιμοποιείται ένα κατώφλι περί τα -110 dBm , που συνιστά μια ρεαλιστική τιμή για συσκευές με στρατιωτικές προδιαγραφές.

¹² MATT LOY, UNDERSTANDING AND ENHANCING SENSITIVITY IN RECEIVERS FOR WIRELESS APPLICATIONS, TECHNICAL BRIEF SWRA030, TEXAS INSTRUMENTS, pp 50.

¹³ ΣΥΝΗΘΩΣ ΣΕ ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Ο ΠΡΟΑΝΑΦΕΡΘΕΙΣ ΛΟΓΟΣ ΤΑΥΤΙΖΕΤΑΙ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΜΕ ΤΟ $(S/N) = \text{SIGNAL TO NOISE RATIO}$, ΕΝΩ ΩΣ (C/N) ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΚΥΡΙΩΣ ΣΤΙΣ ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΠΕΡΙ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΑ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ – ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ .

3.1 Τρόποι Επίτευξης Επικοινωνίας στα Διατιθέμενα Δίκτυα

ΤΡΟΠΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (ACCESS METHODS)		
ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
SINGLE-DUPLEX	ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΚΑΘΕ ΦΟΡΑ ΤΗΝ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΛΗΨΗ ΠΡΟΣ ΜΙΑ ΜΟΝΟ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ, ΗΤΟΙ Ο ΔΙΑΥΛΟΣ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΑΠΟΚΛΕΙΤΙΚΑ ΚΑΘΕ ΦΟΡΑ ΑΠΟ ΕΝΑΝ ΚΑΙ ΜΟΝΟ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ, Ο ΟΠΟΙΟΣ ΕΠΙΘΥΜΕΙ ΝΑ ΚΑΝΕΙ ΕΚΠΟΜΠΗ. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΠΕΡΑΝ ΤΟΥ ΕΝΟΣ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ, ΘΑ ΥΠΑΡΞΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΕΚΑΤΕΡΩΘΕΝ.	ΕΥΡΕΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΦΩΝΗΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΗΡΟΦΟΡΙΩΝ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΚΑΙ ΩΣ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ). ΕΠΙΣΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΚΑΙ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ RATT (RADIO AND TELETYPE) ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗ ΕΝΤΥΠΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ.
FULL-DUPLEX	ΕΠΙΤΡΕΠΕΤΑΙ Η ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΣΕ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΥΣ ΔΙΑΥΛΟΥΣ. ΣΤΟΝ ΔΙΑΥΛΟ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ, ΙΣΧΥΕΙ Ο ΑΝΩΤΕΡΩ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ.	ΠΙΘΑΝΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΙ ΣΕ ΦΩΝΗΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΗΡΟΦΟΡΙΩΝ, ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΚΑΙ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ RATT (RADIO AND TELETYPE) ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗ ΕΝΤΥΠΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ.
MULTIPLE-ACCESS	ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΤΗΝ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΣΤΟΝ ΙΔΙΟ ΔΙΑΥΛΟ, ΧΩΡΙΣ ΝΑ ΥΦΙΣΤΑΝΤΑΙ ΟΙ ΑΝΩΤΕΡΩ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ. ΚΥΡΙΟΣ ΕΚΦΡΑΣΤΗΣ ΕΙΝΑΙ Η ΠΟΛΛΑΠΛΗ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΧΡΟΝΙΚΟ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS, TDMA). ΤΟ ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΟ Η/Μ ΦΑΣΜΑ ΔΙΑΙΡΕΙΤΑΙ ΧΡΟΝΙΚΑ ΣΕ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΤΜΗΜΑΤΑ (TIME SLOTS) ΓΙΑ ΕΚΑΣΤΟ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ, ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΔΥΝΑΤΑΙ ΝΑ ΛΑΒΕΙ Ή ΝΑ ΣΤΕΙΛΕΙ ΜΗΝΥΜΑΤΑ.	ΕΥΡΕΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ, ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ).

(Πίνακας 3-1: Περιγραφή του τρόπου επικοινωνίας στα υπάρχοντα δίκτυα)

3.2 Πληροφορίες Περί των Διαμορφώσεων

ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ		
ΑΝΑΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ		
ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ (AMPLITUDE MODULATION) AM	ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΙΞΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΦΕΡΟΝ ΣΗΜΑ, ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ.	ΧΡΗΣΗ ΣΤΗ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ ΣΕ ΕΥΡΟΣ ΑΠΟ 550 ΕΩΣ 1600 KHz. ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΕ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΟΥΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΤΗΝ ΜΠΑΝΤΑ ΤΩΝ HF/VHF/UHF.
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΤΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (FREQUENCY MODULATION) FM	ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΜΕΙΞΗ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΜΕ ΤΟ ΦΕΡΟΝ ΣΗΜΑ, ΜΕΤΑΒΑΛΛΕΤΑΙ Η ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ, ΕΝΩ ΠΑΡΑΜΕΝΕΙ ΣΤΑΘΕΡΟ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΟΣ.	ΕΥΡΕΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ ΑΠΟ 88 ΕΩΣ 108 MHz. ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΕ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΟΥΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΕΣ ΣΤΗΝ ΜΠΑΝΤΑ ΤΩΝ VHF/UHF.
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ		
ΤΥΠΟΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	
FREQUENCY-SHIFT KEYING (FSK)	ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ RATT ΣΕ ΜΙΚΡΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ (ΕΩΣ 600 bps)	
PHASE-SHIFT KEYING (PSK)	ΕΥΡΕΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ RATT ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΥΨΗΛΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΚΥΡΙΩΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΟΡΦΗ BPSK (BINARY PSK) Ή QPSK(QUADRATURE PSK) ΚΑΙ DQPSK(DIFFERENTIAL QPSK).	
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ: ΥΦΙΣΤΑΝΤΑΙ ΚΑΙ ΕΤΕΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ, ΚΥΡΙΩΣ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ PSK, ΑΛΛΑ ΔΕΝ ΑΠΟΤΕΛΟΥΝ ΘΕΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ...		

(Πίνακας 3-2: Σύνοψη περιγραφή των εν ισχύει διαμορφώσεων στις υφιστάμενες δομές των επικοινωνιακών δυνατοτήτων των Ε.Δ)

3.2.1 Γενικές Αρχές των Ψηφιακών Διαμορφώσεων Περί της Επεξεργασίας του Ληφθέντος Σήματος

Στις ψηφιακές διαμορφώσεις, η πληροφορία που μεταδίδεται έχει την μορφή από συμβολοσειρές, αποτελούμενες από ψηφία (0) και (1). Κάθε μεμονωμένο σύμβολο αποτελεί ένα δυαδικό ψηφίο (binary digit \equiv **bit**). Ένα κύριο χαρακτηριστικό των διαμορφώσεων αυτών, αποτελεί ο ρυθμός (ταχύτητα) μετάδοσης των δεδομένων (Data Rate) και συμβολίζει τον αριθμό των δεδομένων που μεταδίδονται στην μονάδα του χρόνου. Με άλλα λόγια αποτελεί τον ρυθμό μετάδοσης μιας πληροφορίας. Μονάδα μέτρησης ορίζεται το bit /sec ή bit per

second (bps). Αναλόγως της διαμόρφωσης, της ταχύτητας μετάδοσης και του λόγου (C/N), διαμορφώνεται αντίστοιχα το «κατώφλι» (threshold), βάσει του οποίου ένα σήμα λαμβάνεται ή όχι.

Στην προκειμένη βέβαια περίπτωση διαφέρει από τον αντίστοιχο τρόπο της αναλογικής διαμόρφωσης, καθόσον η λήψη ή όχι καθορίζεται από την πιθανότητα να ληφθεί εσφαλμένα ένα αριθμός bits της πληροφορίας (λήψη μεμονωμένα με διαφορετική αντιστοιχία από την αρχική) και ως εκ τούτου να καταστεί εφικτή ή μη η ανάκτηση της απεσταλμένης πληροφορίας, αναλόγως του μεγέθους των εσφαλμένων bits, σε σχέση με την αρχική πληροφορία. Γενικά ισχύει ότι με την αύξηση της πολυπλοκότητας της διαμόρφωσης, για δεδομένο λόγο (C/N), αυξάνεται και η πιθανότητα λήψης μεγαλύτερης ποσότητας εσφαλμένων ψηφίων (**Bit Error Rate BER**). Το BER ορίζεται ως το πηλίκο του αριθμού των εσφαλμένα ληφθέντων bits, προς τον συνολικό αριθμό των εκπεμπόμενων bits. Για παράδειγμα, έστω η προς εκπομπή πληροφορία, με την κάτωθι συμβολοσειρά:

0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
ΕΚΠΕΜΦΘΕΙΣΑ ΑΡΧΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ															

Κατά την εκπομπή της, έστω ότι υφίστανται αλλοιώσεις και εν τέλει λαμβάνεται η κάτωθι πληροφορία:

0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
ΛΗΦΘΕΙΣΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ															

Παρατηρούμε ότι από τα 16 συνολικά bits, ελήφθη εσφαλμένα το 1, άρα στην προκειμένη περίπτωση ο λόγος BER θα ισούται με:

$$BER = 1/16 = 6,25\%.$$

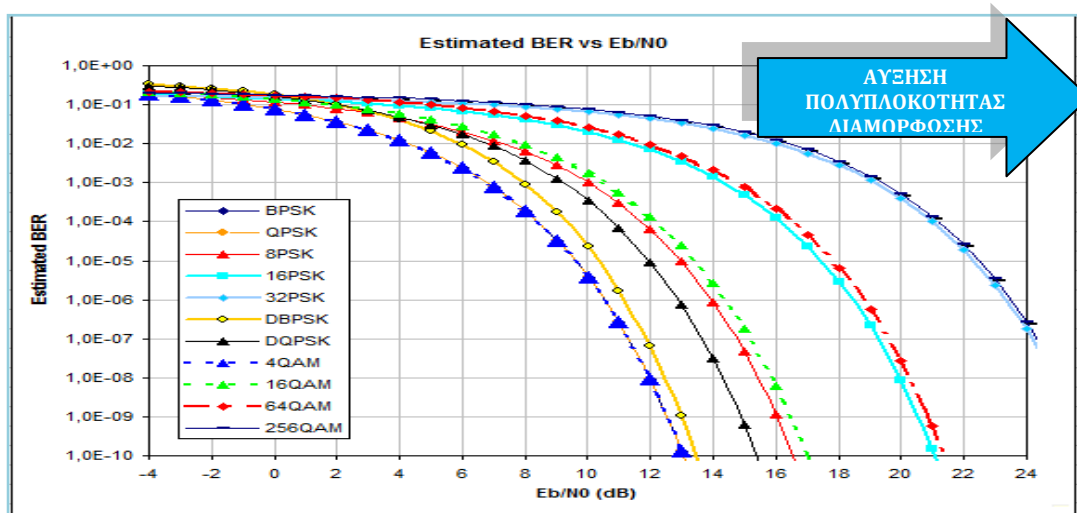
Αναλόγως του είδους της πληροφορίας (voice/data), υφίσταται και η δυνατότητα ανάκτησης της αρχικής πληροφορίας ή όχι. Για ψηφιακές φωνητικές υπηρεσίες, το ελάχιστο αποδεκτό BER, καθορίζεται περίπου στα 10^{-3} , ενώ για υπηρεσίες δεδομένων στα 10^{-6} , που σημαίνει για την πρώτη περίπτωση η πιθανότητα να υπάρχει εσφαλμένο ψηφίο θα πρέπει να είναι το πολύ (1/1000), ή ισοδύναμα στα

1000 εκπεμφθέντα ψηφία, θα πρέπει το πολύ ένα εξ' αυτών να είναι εσφαλμένο και για τη δεύτερη η αντίστοιχη πιθανότητα να υπάρχει εσφαλμένο ψηφίο θα περιορίζεται έως $(1/10^6)$.

Συχνά χρησιμοποιούνται ορισμένοι **Κώδικες Διόρθωσης Λαθών (Forward Error Corrections FEC)**. Αυτοί εμπεριέχονται στην αρχική πληροφορία και η γενική αρχή λειτουργίας τους έγκειται στη χρησιμοποίηση της μοναδικότητας του αθροίσματος των ψηφίων κάθε συμβολοσειράς, οπότε βάσει αυτών προβαίνουν στις αντίστοιχες διορθώσεις των εσφαλμένων ψηφίων, όταν αυτό είναι εφικτό. Επομένως για δεδομένο (C/N) και διαμόρφωση, οι FEC μειώνουν την αναμενόμενη πιθανότητα BER και συμβάλλουν στη λήψη ή στη βελτιωμένη λήψη ενός σήματος. Ο λόγος (C/N) στις ψηφιακές διαμορφώσεις, εκφράζεται με την κάτωθι εξίσωση:

$$(C/N)_{dB} = 10 \cdot \text{LOG}(E_b0/N_0) + 10 \cdot \text{LOG}(\text{Data Rate}/BW) \quad (1)^{14},$$

Όπου ο λόγος (E_b0/N_0) εκφράζει την ποιότητα λήψης και συνδέεται άμεσα με το μέγεθος BER, όπως παρατίθεται στο κάτωθι σχήμα¹⁵



(Σχήμα 3-1: Συσχετισμός των λόγων (E_b0/N_0) και BER. Παρατηρούμε ότι όσο αυξάνεται η πολυπλοκότητα της διαμόρφωσης, τόσο μεγαλώνει ο λόγος BER, για δεδομένη τιμή του λόγου (E_b0/N_0) , που πρακτικά σημαίνει μειωμένη πιθανότητα ανάκτησης της πληροφορίας)

¹⁴ DAVID L.ADAMY, EW 103, TACTICAL BATTLEFIELD COMMUNICATIONS ELECTRONIC WARFARE, pp 105(2009)

¹⁵ Estimated BER vs Eb/N0, WIKIPEDIA)

Από την εξίσωση (1) και από το ανωτέρω διάγραμμα, παρατηρούμε ότι η ελάχιστη αποδεκτή τιμή της παραμέτρου (E_b0/N_0), για δεδομένη διαμόρφωση, είναι σταθερή, οπότε δύνανται να προσδιορισθεί ο ελάχιστος απαιτούμενος λόγος (C/N) με δεδομένο Data Rate και Bandwidth, ή με δεδομένο (C/N) να επιλεγεί το κατάλληλο Data Rate και Bandwidth, ώστε να επιτευχθεί ο απαιτούμενος λόγος (E_b0/N_0).

3.2.2 Αριθμητικό Παράδειγμα Ασύρματης Ψηφιακής Ζεύξης

Έστω για παράδειγμα μια ασύρματη ψηφιακή ζεύξη, διαμόρφωσης QPSK, με τις κάτωθι παραμέτρους:

Data Rate: 2400 bps	Απαιτούμενος λόγος E_b0/N_0 : 9 dB	ΖΗΤΕΙΤΑΙ Ο ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ (C/N)
Bandwidth: 4 KHz		

Από την εξίσωση (1), προκύπτει:

$$(C/N)_{dB} = 10 \cdot \log(E_b0/N_0) + 10 \cdot \log(Data\ Rate/Bw) = 9 + 10 \cdot \log(2400/4000) = 9 - 2,22 = 6,78\ dB.$$

Συγκρίνοντας τα ανωτέρω με την αντίστοιχη περίπτωση καθορισμού της έννοιας «ευαισθησία» στις αναλογικές διαμορφώσεις, παρατηρούμε ότι στην προκειμένη περίπτωση υφίσταται ένα «περιθώριο» ρύθμισης και επίτευξης του απαιτούμενου επιπέδου «ευαισθησίας» μέσω δύο μεταβλητών ((C/N) , $(Data\ Rate/Bw)$), οπότε σε ενδεχόμενο λήψης χαμηλού σχετικά λόγου (C/N), δύνανται να τροποποιηθεί κατάλληλα ο λόγος ($Data\ Rate/Bw$), ώστε να λάβει τιμή μικρότερη της μονάδας και στην (1) να αθροισθεί προσθετικά στο λόγο (C/N).

Έστω λοιπόν ότι το ανωτέρω παράδειγμα τροποποιείται και γίνεται ως εξής:

Data Rate: 2400/4800 bps	Απαιτούμενος λόγος E_b0/N_0 : 9 dB	ΖΗΤΕΙΤΑΙ Η ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΕΠΙΛΟΓΗ DATA RATE ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΛΗΨΗΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ, ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΟ BW.
Bandwidth: 4 KHz		
$(C/N)_{dB} = 7$		

$$10 \cdot \log(4800/4000) = 0,79 \text{ dB}, \text{ ενώ } 10 \cdot \log(2400/4000) = -2,22 \text{ dB}.$$

Συνεπώς, εάν επιλεγεί η υψηλότερη ταχύτητα, από την εξίσωση (1) προκύπτει:
 $(E_b/N_0)_{\text{dB}} = 7 - 0,79 = 6,21 \text{ dB} < 9 \text{ dB}$ και συνεπώς δεν επιτυγχάνεται η λήψη της πληροφορίας.

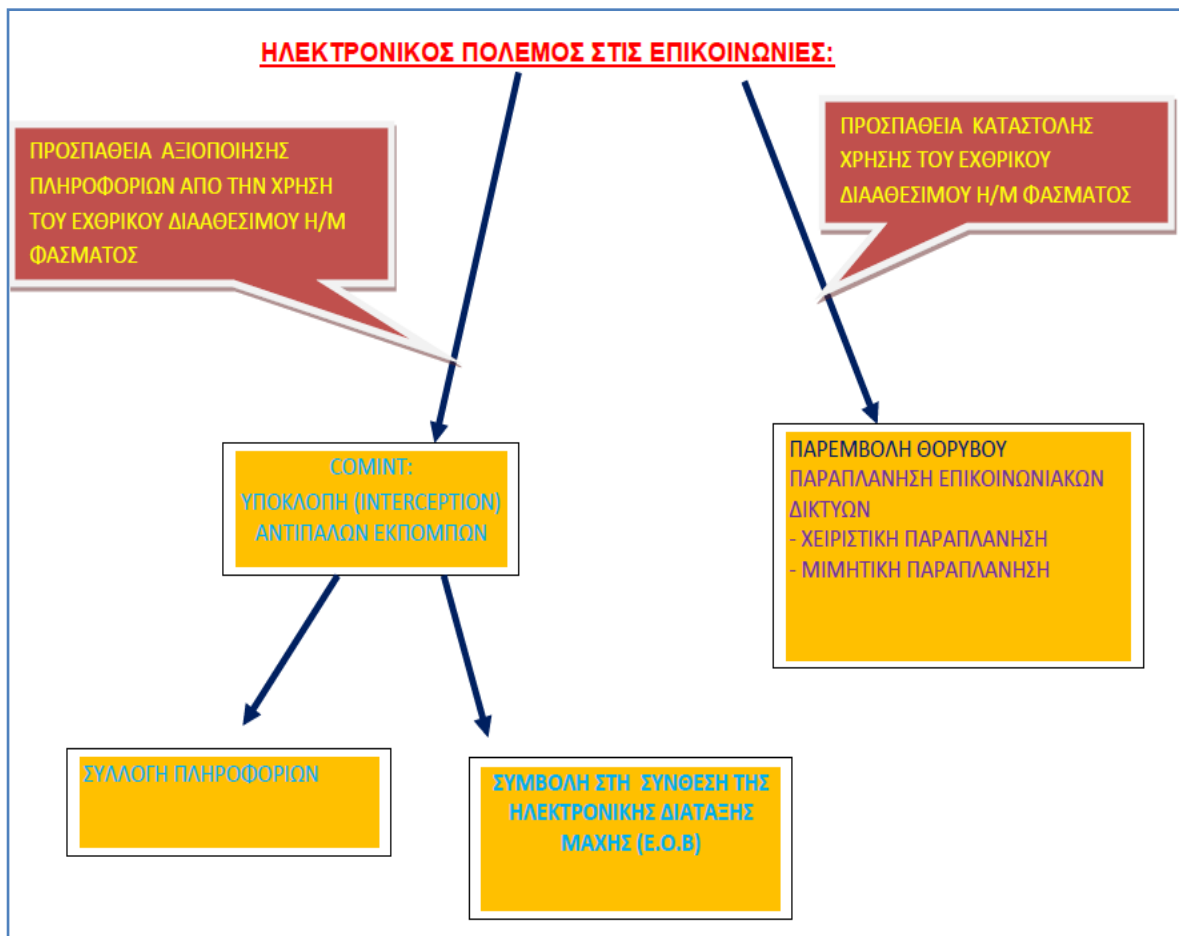
Με τη χαμηλότερη ταχύτητα, από την (1) προκύπτει:

$(E_b/N_0)_{\text{dB}} = 7 - (-2,22) = 9,22 \text{ dB} > 9 \text{ dB}$ και συνεπώς επιτυγχάνεται η λήψη της πληροφορίας. Σαφώς για την επίτευξη αυτού, «θυσιάζεται» η ταχύτητα αποστολής των δεδομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:

Ο ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΠΟΛΕΜΟΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

4.1 Διάρθρωση του «Δένδρου» του Ηλεκτρονικού Πολέμου στις Επικοινωνίες



(Σχήμα 4-1: Διάρθρωση του «δένδρου» του Ηλεκτρονικού πολέμου στις επικοινωνίες)

4.2 Βασικές Έννοιες του Ηλεκτρονικού Πολέμου

4.2.1 COMINT (COMMUNICATION INTELLIGENCE):

Αφορά στη δυνατότητα των συσκευών για υποκλοπές/καταγραφές των αντίπαλων επικοινωνιών στο αντίστοιχο φάσμα εκπομπής. Η εν λόγω υποκλοπή

δύναται καταρχάς, σε συνδυασμό με έτερες ταυτόχρονες υποκλοπές από διαφορετικά γεωγραφικά τοποθετημένα συστήματα να συμβάλλει ουσιαστικά στον προσδιορισμό της θέσης της αντίπαλης μονάδας/δύναμης (Electronic Order Of Battle E.O.B), καθώς και σε δεύτερο χρόνο της εν γένει αποκάλυψης της ποιοτικής σύστασης μιας εχθρικής δύναμης. Σε περίπτωση δε υποκλοπής δικτύων άνευ δυνατότητας «COMSEC» (πχ δίκτυα λιμένος VHF, φορητοί Π/Δ χρήσης κατά την άπαρση/παραβολή ενός πλοίου), δύναται να συλλεχθούν σημαντικές πληροφορίες για τρέχουσες/επικείμενες δραστηριότητες του αντιπάλου.

4.2.2. ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ (NOISE JAMMING):

Αποσκοπεί στην εσκεμμένη ειπομπή σε έναν δέκτη ενός ανεπιθύμητου (unwanted) σήματος με ίδια χαρακτηριστικά (συχνότητα, διαμόρφωση, εύρος συχνοτήτων) του επιθυμητού (wanted/desired) σήματος σε υψηλότερα επίπεδα ισχύος έναντι του αναμενόμενου, προκειμένου να καταστεί εν τέλει μη ικανή η λήψη της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Είναι αποτελεσματική τόσο σε δίκτυα αναλογικής διαμόρφωσης (AM,FM), όσο και σε ψηφιακές επικοινωνίες (FSK,PSK,QPSK). Ουσιαστικά, σκοπός της εφαρμογής της παρεμβολής είναι η εν γένει επίτευξη του λόγου $(S/N)_{dB} < 0$. Εκτενώς τα περί αποτελεσματικότητας της παρεμβολής στα υφιστάμενα δίκτυα, θα αναλυθούν παρακάτω στο Κεφάλαιο αυτό.

4.2.3. ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ (SEDUCTION):

(1) Χειριστική παραπλάνηση:

Αποτελεί την ειπομπή σημάτων επικοινωνιών, τα οποία περιέχουν σκοπίμως εσφαλμένες πληροφορίες. Για την επιτυχή εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παρείσφρηση του αντιπάλου στον φίλιο διάυλο επικοινωνίας, γεγονός που αποτρέπει με την χρήση των ενδεδειγμένων κρυπτοφωνικών/κρυπτογραφικών κωδίκων.

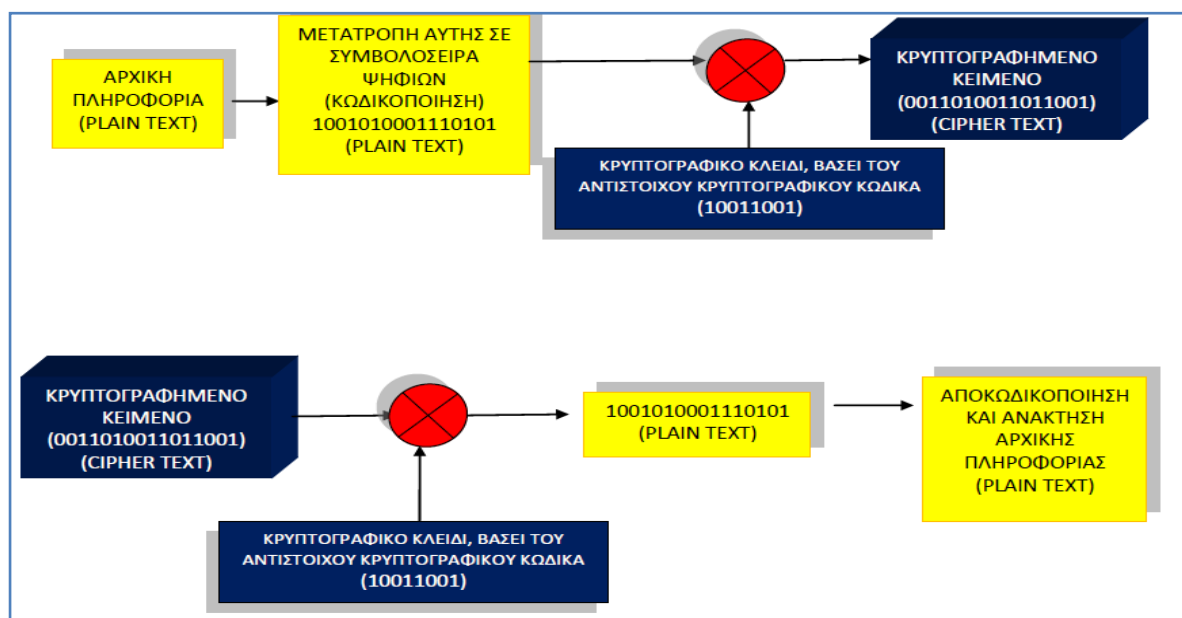
(2) Μιμητική παραπλάνηση:

Αποτελεί την ειπομπή καταγεγραμμένων σημάτων επικοινωνιών, τα οποία προσωποποιούν εχθρικούς σταθμούς. Για την επιτυχή εφαρμογή της εν λόγω μεθόδου, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η παρείσφρηση του αντιπάλου στον

φίλιο διαυλο επικοινωνίας, γεγονός που αποτρέπεται με τη χρήση των ενδεδειγμένων κρυπτοφωνικών/κρυπτογραφικών κωδίκων.

4.2.4. COMSEC (COMMUNICATION SECURITY):

Η διαδικασία διασφάλισης του κειμένου πληροφορίας με τη χρήση κατάλληλου κρυπτογραφικού πρωτοκόλλου, προκειμένου το κείμενο πληροφορίας (plain text) να «μετασχηματισθεί» σε cipher text, να εκπεμφθεί στον αποστολέα μέσω ενός διαυλου επικοινωνίας και με την εφαρμογή του ανωτέρω κρυπτογραφικού πρωτοκόλλου (αντίστροφη διαδικασία) να «ανακτηθεί» πλήρως το αρχικό κείμενο πληροφορίας (plain text). Με τον τρόπο αυτό, ο αντίπαλος λαμβάνει μόνο το cipher text, το οποίο πρακτικά συνήθως δεν δύναται να αποκρυπτογραφήσει, αφενός λόγω της δυσκολίας να προσδιορίσει το κλειδί και αφετέρου λόγω μη κατοχής αυτού. Στις στρατιωτικές εφαρμογές κυρίως χρησιμοποιείται η συμμετρική κρυπτογράφηση, κατά την οποία τόσο ο αποστολέας, όσο και ο παραλήπτης κατέχουν το ίδιο κλειδί κάθε φορά. Στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται εποπτικά η έννοια της ανωτέρω διαδικασίας.



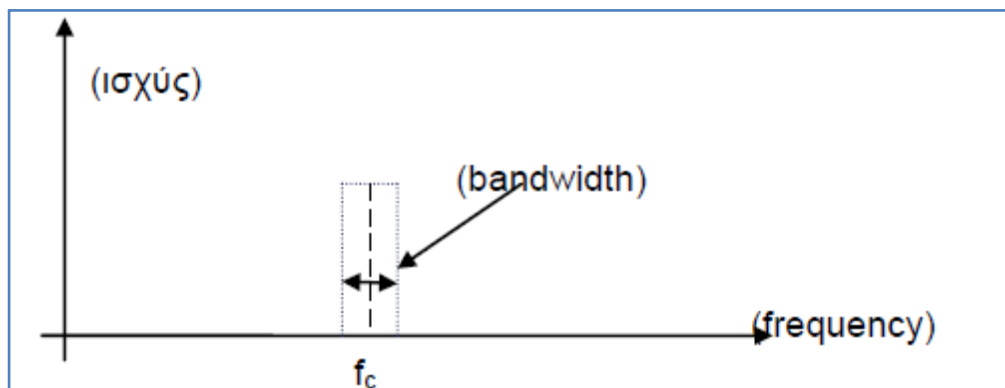
(Σχήμα 4-2: Γενική αρχή εφαρμογής συμμετρικής κρυπτογράφησης)

Η εφαρμογή των κατάλληλων κωδίκων, διασφαλίζει καταρχήν την μη αποκάλυψη στον αντίπαλο των ημέτερων πληροφοριών, καθώς και την αποτροπή εφαρμογής των τεχνικών παραπλάνησης. Σαφώς με την εξέλιξη της τεχνολογίας των

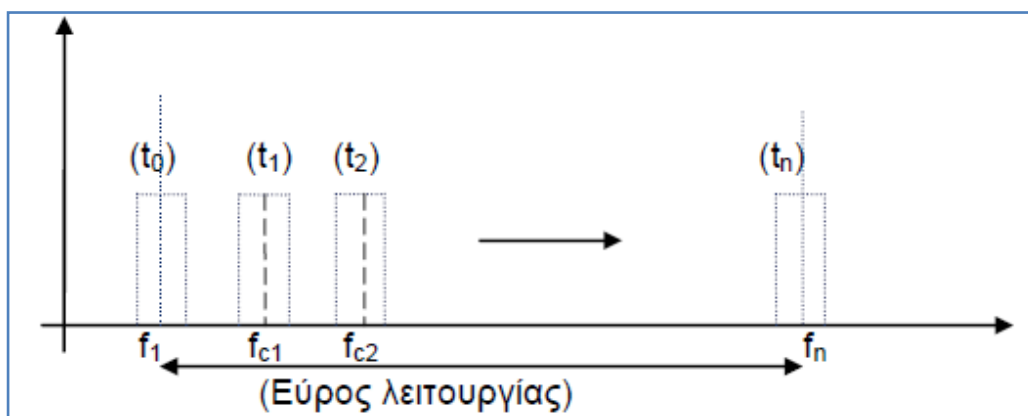
Η/Υ και την επαύξηση των υπολογιστικών δυνατοτήτων αυτών, σε ένα σύγχρονο θέατρο πολεμικών επιχειρήσεων ακόμη και η εφαρμογή διαδικασιών «COMSEC», δεν θα πρέπει να θεωρείται «πανάκεια», καθόσον εν ευθέτω χρόνο δύναται να αναλυθεί ο χρησιμοποιηθείς κρυπτογραφικός κώδικας και να προσδιορισθεί το αντίστοιχο κλειδί. Αυτό δύναται να αρθεί με την αλλαγή κλειδιών ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Στην παρούσα μελέτη δεν αποτελεί αντικείμενο προς περαιτέρω διερεύνηση και ως εκ τούτου, κάθε δίκτυο στο οποίο εφαρμόζεται η διαδικασία «COMSEC» θα θεωρείται ασφαλές.

4.2.5. TRANSEC (TRANSMISSION SECURITY):

Η διαδικασία διασφάλισης της μη υποκλοπής (interception) της εκπομπής του κειμένου πληροφορίας (plain text). Επιτυγχάνεται κυρίως με την εφαρμογή των τεχνικών «αναπήδησης» συχνότητας (frequency hopping) και «διάχυσης» φάσματος (spread spectrum). Για τα δεδομένα των Ενόπλων Δυνάμεων, θα αναφερθούμε στην πρώτη τεχνική, καθόσον οι υφιστάμενες συσκευές υποστηρίζουν την αυτή τεχνική. Μέσω των συσκευών αυτών, παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας ενός δικτύου επικοινωνίας, με ιδιότητα καταρχήν «TRANSEC», καθιστώντας με τον τρόπο αυτό δυσχερή τη διαδικασία interception της εκπομπής του κειμένου πληροφορίας (plain text) μεταξύ των φίλων μονάδων από τον αντίπαλο. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη του ανωτέρω επικοινωνιακού σχήματος, αποτελεί η ύπαρξη ενός διευθύνοντος σταθμού (Net Control Station(NCS)/MASTER) από τις φίλιες μονάδες, ενώ οι λοιπές μονάδες μεταπίπτουν σε ρόλο (Participate Unit (PU)/SLAVE). Ο διευθύνων εκπέμπει ένα αρχικό σήμα συντονισμού (**Time synchronization**) στις λοιπές μονάδες οι οποίες εκτελούν «αποδοχή» αυτού, προκειμένου να έχουν κοινή χρονικά αφετηρία για την έναρξη της εφαρμογής του κοινού αλγόριθμου (**TRANSEC key**) των «ψευδοτυχαίων» αναπηδήσεων συχνότητων, ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι εφικτή η μεταξύ τους επικοινωνία. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται εποπτικά η απεικόνιση ενός δικτύου που λειτουργεί σε σταθερή συχνότητα (fixed frequency) και ενός αντίστοιχου με τεχνική frequency hopping:



(Σχήμα 4-3: Λειτουργία σε σταθερή συχνότητα)



(Σχήμα 4-4: Λειτουργία με τεχνική «αναπήδησης συχνότητας»)

Με το σωστό χρονισμό των συσκευών, όλοι οι συνδρομητές συντονίζονται, ώστε να υπάρχει κοινή χρονικά αφετηρία εφαρμογής του αλγορίθμου αναπήδησης των συχνοτήτων. Για παράδειγμα, έστω ότι ο αλγόριθμος προβλέπει την διαδοχική εναλλαγή των συχνοτήτων σε όλο το εύρος λειτουργίας, ήτοι από την f_1 έως την f_n . Για χρόνο (t_0) συντονίζονται άπασης οι συσκευές, ώστε να ευρίσκονται στη συχνότητα f_1 . Με την έναρξη της εφαρμογής, ξεκινούν οι αναπηδήσεις και έτσι την χρονική στιγμή (t_1) χρησιμοποιείται από όλους η συχνότητα f_{c1} , την χρονική στιγμή (t_2) χρησιμοποιείται από όλους η συχνότητα f_{c2} κ.ο.κ. Αναλόγως της τεχνολογίας, υφίστανται πομποδέκτες με δυνατότητα εκτέλεσης έως και 200 αναπηδήσεις (hops) το δευτερόλεπτο (200 hops/sec), τιμή που καθιστά την τεχνική αυτή εξαιρετικά ανθεκτική έναντι οιασδήποτε αντίπαλης προσπάθειας για ανάκτηση της πληροφορίας.

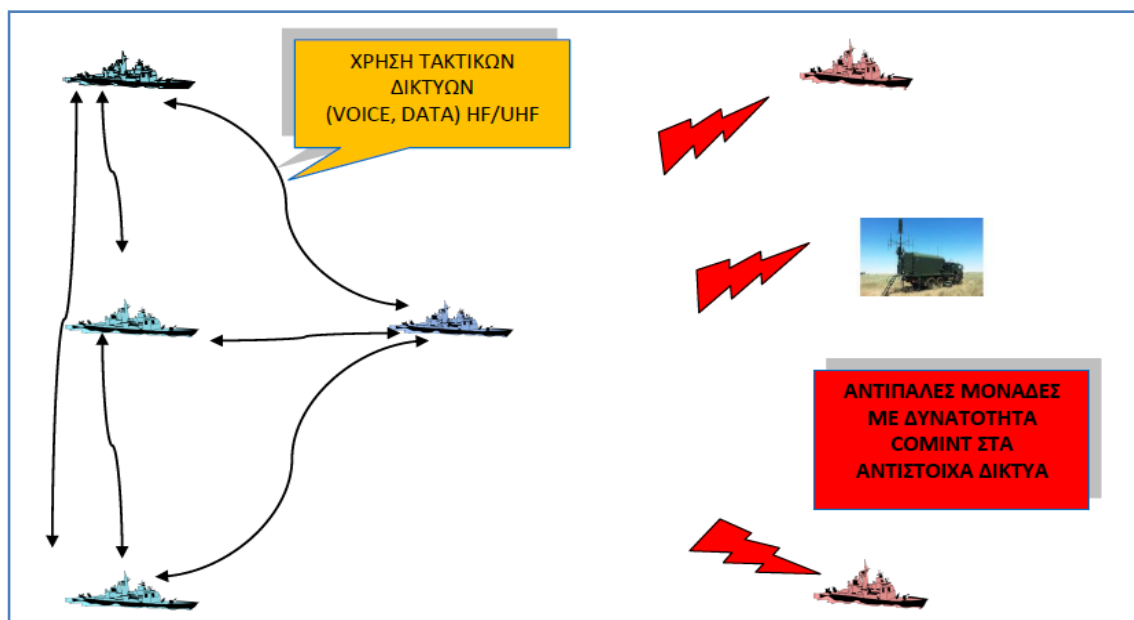
Επίσης ορισμένες συσκευές εξ' αυτών περιέχουν ενσωματωμένους κώδικες κρυπτογράφησης, προσφέροντας επιπλέον και δυνατότητα για «COMSEC». Ενδεικτικά το σύνολο σχεδόν των πομποδεκτών (transceivers), με δυνατότητα εφαρμογής τεχνικής «frequency hopping» στην μπάντα των VHF, κυμαίνονται από 30 – 88 MHz (ειχωρημένο εύρος για στρατιωτικές εφαρμογές), με ένα εύρος διαχωρισμού των υφιστάμενων καναλιών (συχνοτήτων) περί τα 25 KHz. Επομένως τα διαθέσιμα κανάλια όπου εφαρμόζεται η τεχνική της αναπήδησης ανέρχονται σε $((88-30) \cdot 10^6 / 25 \cdot 10^3) = 58 \cdot 10^3 / 25 = 2320$. Αυτό σημαίνει ότι εάν η ταχύτητα αναπήδησης είναι 100 hops/sec, τότε σε ένα δευτερόλεπτο θα εκτελεσθούν 100 εναλλαγές συχνότητας εντός των 2320 διατιθέμενων, με τρόπο τέτοιο που καθορίζεται από τον ελάχιστοτε αλγόριθμο (TRANSEC key).

4.2.6. Ηλεκτρονική Διάταξη Μάχης (Electronic Order Of Battle E.O.B):

Αποτελεί μια διαδικασία, βάσει της οποίας ο αντίπαλος επιδιώκει να «προσδιορίσει» την ποιοτική σύσταση και διάταξη μιας αντίπαλης δύναμης, με χρήση παθητικών συσκευών εντοπισμού των H/M εκπομπών. Η συστηματική αυτή παρακολούθηση, προσφέρει τη δυνατότητα στον εχθρό για εξαγωγή συμπερασμάτων/εκτιμήσεων, αναφορικά με τη διάταξη των αντίπαλων δυνάμεων, καθώς και των ανατιθέμενων σε αυτές καθηκόντων (NCS,PU). Ιδιαίτερα η ευρεία χρήση φάσματος HF, λόγω της ιδιότητας να μεταδίδονται σε αποστάσεις πολύ πέραν του ορίζοντα, προσφέρει τη δυνατότητα στον αντίπαλο για αξιόπιστη και σχετικά γρήγορη σύνθεση E.O.B. Θα πρέπει να έχουμε πάντα υπόψη μας, ότι ναι μεν οι τακτικές επικοινωνίες στο σύνολο σχεδόν διαθέτουν «COMSEC», αλλά οι πάσης φύσεως εκπομπές ανεξάρτητα από τον τρόπο διάδοσης και ιδιαίτερα με μεγάλη ισχύ εξόδου (ενίοτε περιττή, αν λάβουμε υπόψη τις αποστάσεις μεταξύ των φίλιων μονάδων), είναι εύκολα ανιχνεύσιμη από τον αντίπαλο (διόπτευση προερχόμενης εκπομπής – τύπος εκπομπής).

Στο κάτωθι σχήμα απεικονίζεται μια ναυτική φίλια δύναμη, η οποία είναι αναπτυγμένη στην αριστερή πλευρά, ενώ στη δεξιά πλευρά υφίστανται δύο αντίπαλες μονάδες επιφανείας και ένας παράκτιος σταθμός με δυνατότητα «COMINT». Οι φίλιες μονάδες χρησιμοποιούν δίκτυα (voice/data) σε συχνότητες λειτουργίας HF/UHF. Οι αποστάσεις μεταξύ των αντιπάλων είναι τέτοιες, που δεν

υφίσταται οπτική επαφή. Εάν δεν υπάρξει εν γένει σωστή διαχείριση του φίλιου επικοινωνιακού σχεδίου, τότε ο αντίπαλος αποκτά τη δυνατότητα για εκτίμηση των θέσεων των ημέτερων μονάδων από τις Η/Μ εκπομπές, καθώς και της πιθανής σύστασης αυτής.

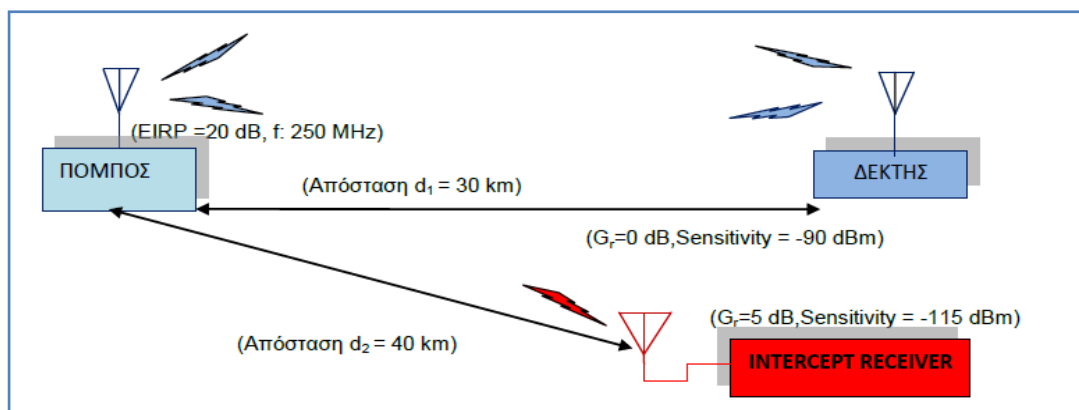


(Σχήμα 4-5: Τυπική διάθροση ενός φίλιου σχεδίου επικοινωνιών ναυτικών μονάδων και η ταυτόχρονη προσπάθεια του αντιπάλου για σύνθεση Ε.Ο.Β)

Για το λόγο αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την εκπόνηση ενός επικοινωνιακού σχεδίου και η παράμετρος της πρόκλησης δυσχέρειας στον αντίπαλο, όσον αφορά στη σύνθεση της Ε.Ο.Β. Αυτό δύναται να επιτευχθεί με την κατάλληλη διάταξη των μονάδων, ώστε να χρησιμοποιούνται κατά το δυνατόν συχνότητες Line-of sight και με ισχύ εκπομπής τέτοια, ώστε να αποτρέπεται κατά το δυνατόν ο εντοπισμός από αντίπαλα συστήματα με δυνατότητα «COMINT». Επίσης, ένας ακόμη σημαντικός παράγοντας που επιδρά στα ανωτέρω, είναι και η κατά το δοκούν εκμετάλλευση των φυσικών φαινομένων κατά τη διάδοση Η/Μ Line-of sight κυμάτων. Πιο συγκεκριμένα, το φαινόμενο της περίθλασης που δημιουργείται από το ανάγλυφο της επιφάνειας, κατά την διάδοση δύναται να δράσει αποτρεπτικά στον αντίπαλο (πρόκληση ισχυρής εξασθένησης σήματος προς την αντίπαλη πλευρά), ενώ από την πλευρά των φίλιων δυνάμεων να υπάρχει απρόσκοπτη διάδοση. Περαιτέρω πληροφορίες περί της επίδρασης του φαινομένου της περίθλασης, θα παρατεθούν αναλυτικότερα στο αντίστοιχο Κεφάλαιο.

4.3 Η Τεχνική της Παρεμβολής Θορύβου Στις Ασύρματες Επικοινωνίες

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, η εν λόγω τεχνική βασίζεται στην αρχή ότι το ανεπιθύμητο (unwanted) σήμα θα υπερिσχύσει του αναμενόμενου επιθυμητού (desired) στον δέκτη μιας συσκευής. Για να επιτευχθεί βέβαια αυτό, θα πρέπει ο αντίπαλος να γνωρίζει εκ των προτέρων τα στοιχεία του σήματος, σε ένα δίαυλο επικοινωνίας, ώστε να δημιουργήσει ανάλογο με τα ίδια χαρακτηριστικά (συχνότητα λειτουργίας, εύρος συχνοτήτων, διαμόρφωση), ώστε να βελτιστοποιήσει την αποτελεσματικότητα της παρεμβολής. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρεμβολής επικοινωνιών (**communication jammer**) αποτελείται από το τμήμα του «**interception**», το οποίο αναλύει τις παραμέτρους από τις υποκλοπές H/M εκπομπές και του τμήματος «**electronic counter measures**», το οποίο αναπαράγει τις υποκλοπές H/M εκπομπές και τις εκπέμπει με αρκετή ισχύ προς την κατεύθυνση των συσκευών από τις οποίες προήλθαν οι ανωτέρω H/M εκπομπές, ώστε στον δέκτη εν τέλει το **unwanted** σήμα να είναι ισχυρότερο του **desired** σήματος. Για την υλοποίηση των ανωτέρω, οι παρεμβολείς χρησιμοποιούν κατευθυντικές κεραιές, προκειμένου να αυξήσουν την εκπεμπόμενη (EIRP) και να κατευθύνουν την εκπεμπόμενη ισχύ προς την επιθυμητή διεύθυνση (διόπτευση) του «**θύματος**». Θα πρέπει να καταστεί σαφές, ότι η συμβατική τεχνική παρεμβολής θορύβου, για την οποία γίνεται αναφορά, είναι αποτελεσματική μόνο στον **δέκτη**, δεν αποσκοπεί δηλαδή στην καταστολή της εκπομπής. Πρακτικά αυτό σημαίνει, για παράδειγμα, ότι όταν επικοινωνούν μεταξύ τους δύο πομποδέκτες, ο παρεμβολέας «στοχεύει» κάθε φορά στη συσκευή που λαμβάνει. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται η διαδικασία του «**interception**»:



(Σχήμα 4-6: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης μιας αντίπαλης μονάδας που εκτελεί υποκλοπές σε ένα τυχαίο φίλιο ασύρματο δίκτυο)

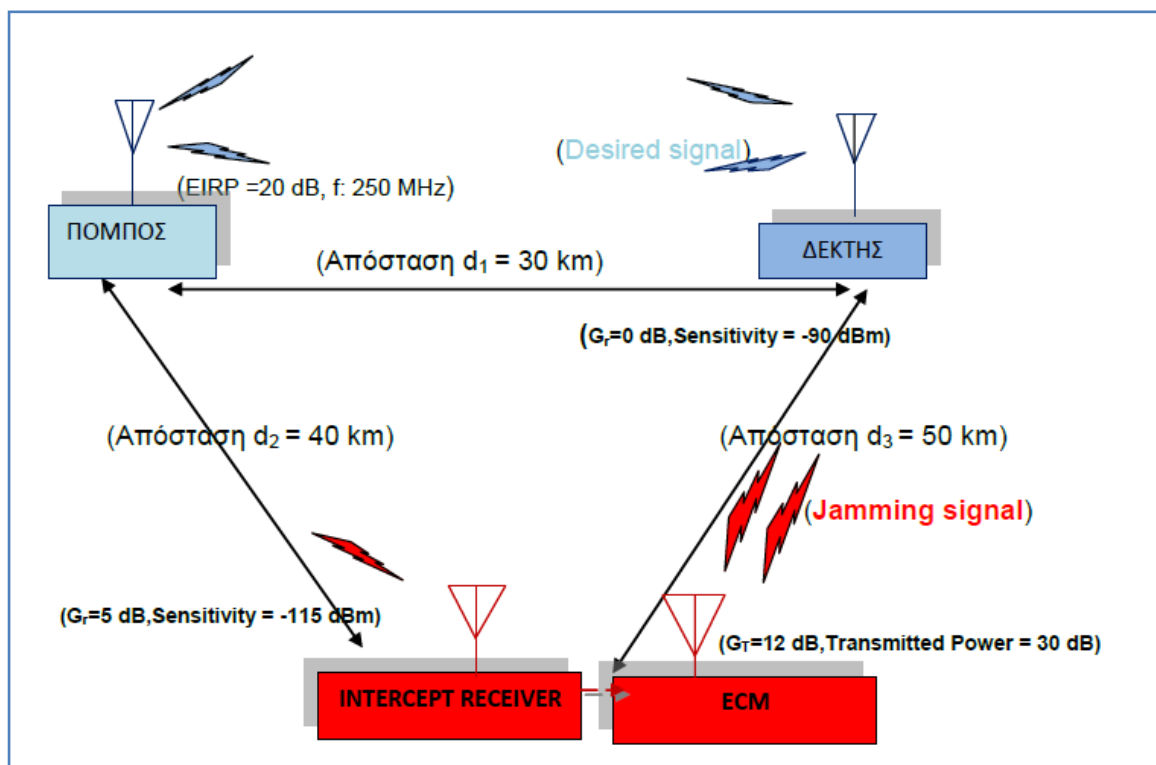
Θα θεωρήσουμε ότι οι μόνες απώλειες είναι οι «free-space basic transmission losses». Για το δέκτη ισχύει:

$$P_r = (EIRP)_{dB} - (32,4 + 20 \cdot \log(250) + 20 \cdot \log(30))_{dB} = 20 - (32,4 + 47,96 + 29,54) = 20 - 109,9 = -89,9 \text{ dB} = -59,9 \text{ dBm} > -90 \text{ dBm}.$$

Ομοίως, για τη μονάδα « intercept », ισχύει:

$$P_r = (EIRP)_{dB} - (32,4 + 20 \cdot \log(250) + 20 \cdot \log(40))_{dB} + G_r = 20 - (32,4 + 47,96 + 32,04) + 5 = 25 - 112,4 = -87,4 \text{ dB} = -57,4 \text{ dBm} > -115 \text{ dBm}.$$

Για αμφότερους τους δέκτες, το εκπεμφθέν σήμα λαμβάνεται κανονικά. Για να θεωρηθεί επιτυχής η παρεμβολή, θα πρέπει να σταλεί στο δέκτη σήμα μεγαλύτερο του ληφθέντος, ήτοι $> -59,9 \text{ dBm}$. Στο ανωτέρω σχήμα, έστω ότι η μονάδα « intercept », αφού αναλύσει τα υποκλαπέντα στοιχεία, τα παρέχει στο έτερο τμήμα του παρεμβολέα, ώστε να εκπεμφθεί στο δέκτη ένα ανάλογο σήμα, αλλά σε υψηλότερο επίπεδο ισχύος από τα $-59,9 \text{ dBm}$. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η εφαρμογή της τεχνικής της παρεμβολής θορύβου στο δέκτη:



(Σχήμα 4-7: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης ενός αντίπαλου παρεμβολέα, που εκτελεί παρεμβολές σε ένα τυχαίο φίλιο ασύρματο δίκτυο)

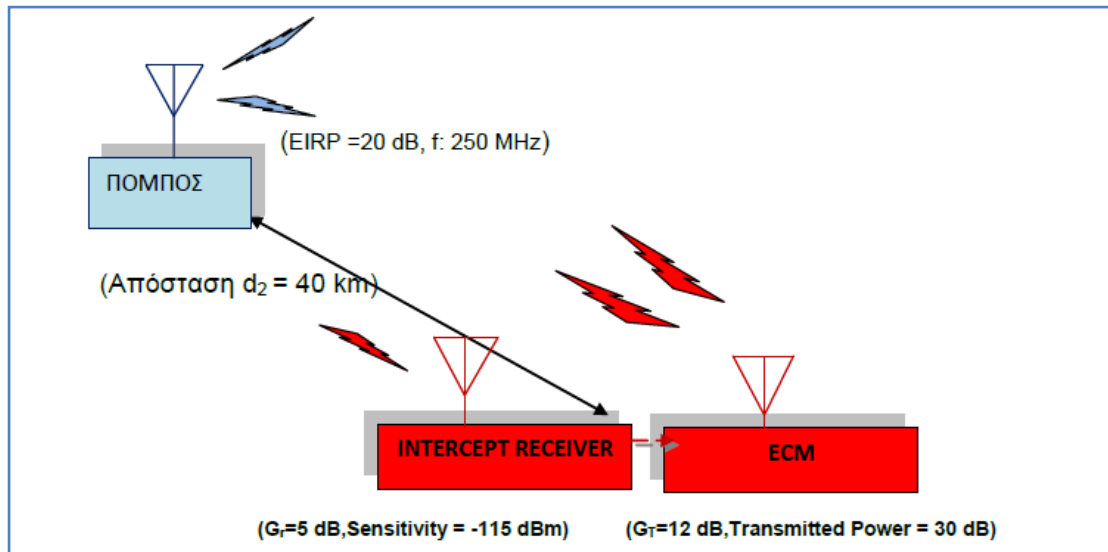
Θα θεωρήσουμε πάλι ότι οι μόνες υφιστάμενες απώλειες κατά τη διάδοση είναι οι «free-space basic transmission losses». Ο δέκτης λαμβάνει δύο σήματα, το επιθυμητό (desired) και αυτό από τον παρεμβολέα (jamming). Η ισχύς εκάστου λαμβανόμενου σήματος στον δέκτη θα είναι αντίστοιχα:

$$P_r(\text{Desired signal})_{\text{dB}} = -59,9 \text{ dBm}.$$

$$P_r(\text{Jamming signal})_{\text{dB}} = (\text{EIRP}_{\text{jammer}})_{\text{dB}} - (32,4 + 20 \cdot \log(250) + 20 \cdot \log(50))_{\text{dB}} = (30+12) - (32,4 + 47,96 + 33,98) = 42 - 114,34 = -72,34 \text{ dB} = -42,34 \text{ dBm}.$$

Επειδή $-42,34 \text{ dBm} > -59,9 \text{ dBm}$, παρατηρούμε ότι ο λόγος σήματος προς θόρυβο σε (dB) θα είναι αρνητικός, οπότε υπερισχύει ο θόρυβος έναντι του επιθυμητού σήματος. Συγκεκριμένα, $(S/J)_{\text{dB}} = -59,9 - (-42,34) = -17,56 \text{ dB}$. Η αποτελεσματικότητα ενός λόγου $(S/J)_{\text{dB}}$, όπου υπερισχύει το σήμα του παρεμβολέα (θόρυβος), σχετίζεται άμεσα με το είδος της διαμόρφωσης του παρεμβαλλόμενου δικτύου. Για παράδειγμα σε ένα αναλογικό φωνητικό δίκτυο, ο λόγος $(N/S)_{\text{dB}}$ θα πρέπει να είναι της τάξης περί τα 10 dB και με διάρκεια τέτοια, ώστε να καλύπτει χρονικά την εκάστη διάρκεια της εκπομπής από τον πομπό, προκειμένου να θεωρηθεί η παρεμβολή επιτυχής. (Εάν δεν καλύπτει χρονικά την εκπομπή από τον πομπό, μέρος της πληροφορίας θα ληφθεί από το δέκτη και πιθανώς να ανακτήσει το όλο περιεχόμενο της πληροφορίας). Για τις ψηφιακές επικοινωνίες, όπου χρησιμοποιείται σταθερή συχνότητα, ο ανωτέρω λόγος δύναται να είναι μικρότερος και ενίοτε της τάξης του μηδενός $(S = N)_{\text{dB}}$, ενώ η χρονική διάρκεια της εφαρμογής της παρεμβολής δύναται και αυτή να είναι πολύ μικρότερη, καθόσον στην περίπτωση των ψηφιακών επικοινωνιών, στοχεύουμε στην απομείωση εν τέλει του συντελεστή (E_b/N_0) , προκειμένου να αυξηθεί ο αντίστοιχος λόγος (BER), ώστε η πληροφορία να είναι ακατάληπτη. Αντίθετα, σε ψηφιακές επικοινωνίες με εφαρμογή τεχνικής «frequency hopping», απαιτείται πολύ υψηλός λόγος θορύβου προς σήμα, για την επίτευξη της αποτελεσματικότητας της παρεμβολής.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί στο παρόν Κεφάλαιο, η χρήση της τεχνικής θορύβου στις στρατιωτικές εφαρμογές, αποσκοπεί στην πρόκληση δυσχέρειας/καταστολής λήψης του επιθυμητού σήματος από **το δέκτη** κάθε φορά και όχι καταστολή εκπομπής στο πομπό. Αυτό πλέον αποδεικνύεται από το παρακάτω σχήμα.



(Σχήμα 4-8: Σχηματική αναπαράσταση της διάταξης ενός αντίπαλου παρεμβολέα, που επιχειρεί να παρεμβάλλει τον φίλιο πομπό)

Έστω ότι ο παρεμβολέας εκπέμπει με τα ίδια στοιχεία και προς τη διεύθυνση του πομπού. Τότε θα ισχύει:

$$P_r (\text{Jamming signal})_{\text{dB}} = (\text{EIRP}_{\text{jammer}})_{\text{dB}} - (32,4 + 20 \cdot \log(250) + 20 \cdot \log(40))_{\text{dB}} \\ = (30 + 12) - (32,4 + 47,96 + 32,04) = 42 - 112,4 = -70,4 \text{ dB}.$$

Συγκρίνοντας το λόγο $(J/S)_{\text{dB}}$, προκύπτει ότι $(J/S)_{\text{dB}} = -70,4 - 20 = -90,4 \text{ dB}$, πράγμα που σημαίνει ότι το jamming σήμα είναι ασθενέστερο του εκπεμφθέντος κατά σχεδόν 90 dB. Θεωρητικά για να είναι αποτελεσματική η παρεμβολή σε ένα πομπό, θα έπρεπε η απόσταση του παρεμβολέα (d_2) να ήταν σε απόσταση (X_{km}) τέτοια, ώστε $(J/S)_{\text{dB}} \geq 0$, ήτοι $P_r (\text{Jamming signal})_{\text{dB}} - P_T (\text{transmitter signal})_{\text{dB}} \geq 0$

$$(\text{EIRP}_{\text{jammer}})_{\text{dB}} - (32,4 + 20 \cdot \log(250) + 20 \cdot \log(X))_{\text{dB}} - (\text{EIRP}_{\text{transmitter}})_{\text{dB}} \geq 0 \text{ ή } 42 - 32,4 - 47,96 - 20 - 20 \cdot \log(X) \geq 0 \text{ ή } -58,36 \geq 20 \cdot \log(X) \\ \log(X) \leq -2,918, \text{ οπότε } X \leq 1,2 \text{ m}.$$

Γίνεται αντιληπτό ότι κάτι τέτοιο πρακτικά δεν έχει καμία χρησιμότητα στην εν λόγω εφαρμογή.

4.4 Επίδραση της Παρεμβολής Θορύβου στα Υφιστάμενα Δίκτυα

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται συνολικά τα στοιχεία των διατιθέμενων δικτύων και ο αντίστοιχος απαιτούμενος λόγος θορύβου προς σήμα για αποτελεσματική παρεμβολή, καθώς και ο αντίστοιχος χρόνος εφαρμογής αυτής.

ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ				
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΙΔΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (ACCESS METHOD)	ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΚΥΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΗΨΗ ΤΟΥ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΛΟΓΟΣ ΓΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ $(J/S)_{dB}$	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
AM/FM -VOICE	SINGLE-DUPLEX	-105 ΕΩΣ -110 dBm	10 -12 dB	ΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ
ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ				
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΙΔΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ	ΤΡΟΠΟΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (ACCESS METHOD)	ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΟΔΕΚΤΟΣ ΛΟΓΟΣ (BER)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΛΟΓΟΣ ΓΙΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ $(N/S)_{dB}$	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
FSK/PSK-DATA/RAT'T	SINGLE/FULL - DUPLEX/	ΠΕΡΙ ΤΟ 10^{-6}	0 – 2 dB	ΔΙΑΛΛΕΠΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
FSK/PSK (FREQUENCY HOPPING)	SINGLE -DUPLEX	ΠΕΡΙ ΤΟ 10^{-3}	>29 dB	ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ 33% ΤΗΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΑΠΗΔΗΣΗΣ ΣΤΟ ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ

(Πίνακας 4-1: Τρόπος επίδρασης της παρεμβολής θορύβου στα διατιθέμενα δίκτυα, αναλόγως του είδους της διαμόρφωσης αυτών)

4.4.1 Επίδραση της Παρεμβολής στις Ψηφιακές Διαμορφώσεις

Στους πίνακες (4-2),(4-3), βάσει των ενδεικτικών τιμών ως στοιχεία εισόδου [$T = 290^\circ K$, $(Noise Figure)_{dB} : 8$ και 9 και με ένα ληφθέν σήμα ($P_r = -117$ dBm)], προκύπτουν οι αντίστοιχες τιμές των λόγων $(C/N)_{dB}$ $(E_b0/N_0)_{dB}$ από τις κάτωθι εξισώσεις:

$$(Minimum\ detectable\ signal)_{dB} = (KTB)_{dB} + (Noise\ figure)_{dB}$$

$$(Sensitivity)_{dB} = (MDS)_{dB} + (C/N)_{dB}$$

$$Pr = (KTB)_{dB} + (\text{Noise figure})_{dB} + (C/N)_{dB}$$

$$(C/N)_{dB} = 10 \cdot \text{LOG}(Eb0/N0) + 10 \cdot \text{LOG}(\text{Data Rate}/BW)$$

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (VHF-UHF):										ΕΠΙΔΡΑΣΗ JAMMING	
ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΗΣ BW(Hz)	DATA RATE(bps)	(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb0/N0)dB	(J/C)dB	(Eb0/N0)dB
LINK-11 DATA	DQPSK	225-400 MHz	2915	2250	-169,33	9	-130,33	13,3296	14,4542	0	1,12456
LINK-11 DATA	DQPSK	225-400 MHz	935	1364	-174,27	9	-135,27	18,2679	16,6279		-1,64
RATT	PSK	225-400 MHz	1000	600	-173,98	9	-134,98	17,976	20,1945		2,21849
RATT	PSK	225-400 MHz	2100	1200	-170,75	9	-131,75	14,7538	17,1842		2,43038
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	2500	800	-170	8	-132	14,9966	19,9451		4,9485
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	4100	2400	-167,85	8	-129,85	12,8482	15,1739		2,32573
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	6500	4800	-165,85	8	-127,85	10,8469	12,1636		1,31672
PACE	FSK	ΣΕ ΌΛΑ ΤΑ VOICE	2225	3000	-170,5	8	-132,5	15,5027	14,2048		-1,2979

(Πίνακας 4-2: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει ενός σήματος εισόδου $Pr = -117$ dBm και αντίστοιχοι για την περίπτωση παρεμβολής, όπου $(J/C)_{dB} = 0$.)

Έστω λοιπόν η περίπτωση της σκιαγραμμισμένης στήλης «RATT» του ανωτέρω πίνακα. Με σήμα εισόδου την τιμή $Pr = -117$ dBm, προκύπτει εν τέλει ο αντίστοιχος λόγος $(Eb0/N0)_{dB} = 20,1945$ dB, ο οποίος καλύπτει πλήρως την ελάχιστη απαίτηση. Παρατηρούμε ότι εν αντιθέσει με τις αναλογικές επικοινωνίες, οι ψηφιακές δύνανται να επεξεργασθούν και ασθενέστερα σήματα. Εάν για παράδειγμα σε έναν δέκτη αναλογικού σήματος η διαμορφωθείσα «ευαισθησία» κυμαίνεται στο -115 dBm, ένα αντίστοιχο σήμα με ισχύ -117 dBm δεν θα ανιχνεύονταν. Στην προκειμένη περίπτωση (ψηφιακό σήμα) η πληροφορία λαμβάνεται κανονικά. Αντίθετα, στην περίπτωση παρεμβολής, παρατηρούμε ότι ακόμη με λόγο $(J/C)_{dB} = 0$, η επίδραση είναι τέτοια, ώστε να μην καθίσταται εφικτή η λήψη της πληροφορίας. Από τον πίνακα (4-2) και το σχήμα (4-9) για την προαναφερθείσα περίπτωση, ο λόγος $(Eb0/N0)_{dB} = 2,21849$, γεγονός που δεν πληροί τα κριτήρια για τη λήψη της πληροφορίας.

4.4.2 Η Τεχνική της Παρεμβολής στα Δίκτυα με Δυνατότητα «frequency hopping»

Όσον αφορά στη συσκευή με δυνατότητα «frequency hopping», όπως έχει ήδη αναφερθεί διαθέτει 2320 κανάλια για την εκτέλεση της αναπήδησης, εντός του διατιθέμενου εύρους. Συνεπώς για την επίτευξη του χρονικού ορίου κάλυψης (τουλάχιστον του 33%) από τον παρεμβολέα, αυτό μεταφράζεται ως το 33% των διατιθέμενων καναλιών, ήτοι $2320 \cdot 0,33 = 766$ κανάλια να παρεμβάλλονται ταυτόχρονα¹⁶. Ουσιαστικά ο παρεμβολέας θα πρέπει να διασπείρει την ισχύ του σε ένα εύρος συχνοτήτων τέτοιο, ώστε να καλύψει το εύρος λειτουργίας της τεχνικής της αναπήδησης, τουλάχιστον στο 33% αυτής. Εάν θεωρηθεί ότι η αποτελεσματικότητα για ένα κανάλι καλύπτεται με λόγο $(J/C)_{dB} = 0$, όπως φαίνεται και στον πίνακα (4-2), τότε η απαιτούμενη ισχύς για την επίτευξη των ανωτέρω είναι:

Με λόγο $(J/C)_{dB} = 0$, παρεμβάλλεται επιτυχώς ένα μόνο κανάλι, ήτοι $1/2320 = 0,043\%$ του συνολικού χρόνου (καμία επίδραση). Με λόγο $(J/C)_{dB} = X$, ($X > 1$), παρεμβάλλονται συνολικά $10^{X/10}$ κανάλια. Βάσει της ελάχιστης απαίτησης, θα πρέπει $10^{X/10} \geq 766$, οπότε $X \geq 28,9 \text{ dB}$. Παρατηρούμε την αποτελεσματικότητα των συσκευών «frequency hopping» να ανθίστανται ισχυρώς σε ένα περιβάλλον Ηλεκτρονικού Πολέμου, έναντι των κοινών πομποδεκτών, οι οποίοι λειτουργούν σε σταθερή συχνότητα. Εάν λοιπόν στην αυτή απόσταση υφίστανται δύο ψηφιακές συσκευές, ή μία σταθερής συχνότητας και η έτερη με αναπήδηση, παρατηρούμε ότι για να επιτευχθεί ανάλογη παρεμβολή στον πομποδέκτη «frequency hopping», θα πρέπει ο λόγος $(J/C)_{dB}$ να είναι τουλάχιστον 29 dB ισχυρότερος από ότι στην πρώτη περίπτωση, στην οποία αρκεί $(J/C)_{dB} = 0$.

4.5 Αξιολόγηση των Υφιστάμενων Ψηφιακών Δικτύων στην Ικανότητα να Ανθίστανται στις Παρεμβολές Θορύβου

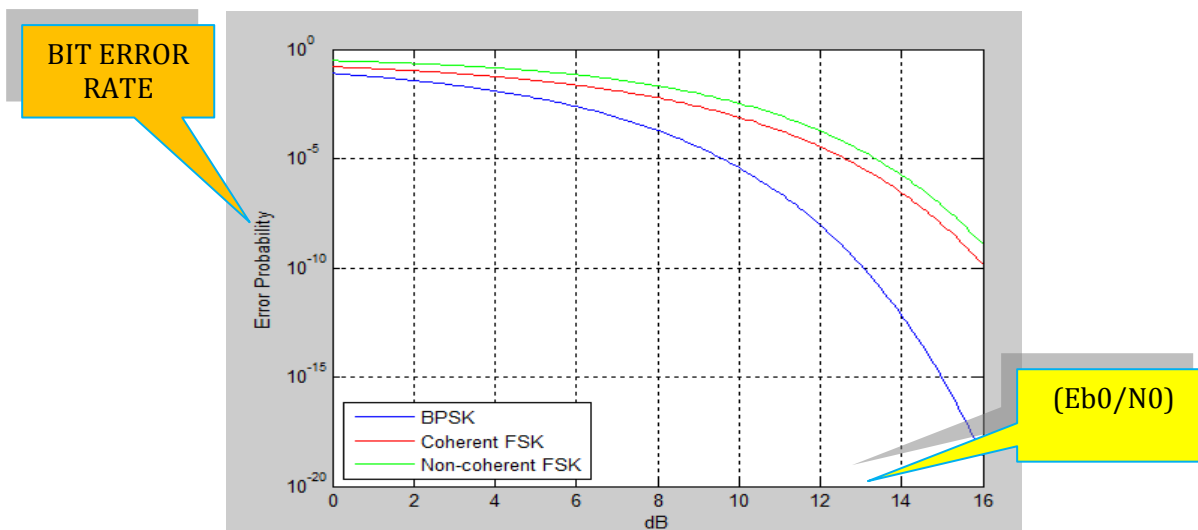
Έστω λοιπόν ότι θέλουμε να αξιολογήσουμε τα διατιθέμενα δίκτυα (voice/data – αναλογικά ψηφιακά), όσον αφορά στην ανθεκτικότητά τους έναντι των παρεμβολών. Με στοιχείο εισόδου τον λόγο $(J/C)_{dB} = - (C/J)_{dB} = 17,56 \text{ dB}$ από το σχήμα (4-7), προκύπτει καταρχάς ο κάτωθι πίνακας για τις υφιστάμενες επίγειες ψηφιακές επικοινωνίες

¹⁶ DAVID L.ADAMY, EW 103, TACTICAL BATTLEFIELD COMMUNICATIONS ELECTRONIC WARFARE, pp 262-266 (2009).

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (VHF-UHF):										ΕΠΙΔΡΑΣΗ JAMMING	
ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤ. BW(Hz)	DATA RATE(bbs)	(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb/N0)dB	I/C _{dB}	(Eb0/N0)dB
LINK-11 DATA	DQPSK	225-400 MHz	2915	2250	-169,33	9	-130,33	13,3296	14,4542	17,56	-16,435
LINK-11 DATA	DQPSK	225-400 MHz	935	1364	-174,27	9	-135,27	18,2679	16,6279		-19,2
RATT	PSK	225-400 MHz	1000	600	-173,98	9	-134,98	17,976	20,1945		-15,342
RATT	PSK	225-400 MHz	2100	1200	-170,75	9	-131,75	14,7538	17,1842		-15,13
TRANSCEIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	2500	800	-170	8	-132	14,9966	19,9451		-12,611
TRANSCEIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	4100	2400	-167,85	8	-129,85	12,8482	15,1739		-15,234
TRANSCEIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	6500	4800	-165,85	8	-127,85	10,8469	12,1636		-16,243
PACE	FSK	ΣΕ ΌΛΑ ΤΑ VOICE	2225	3000	-170,5	8	-132,5	15,5027	14,2048		-18,858

(Πίνακας 4-3: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, με $(I/C)_{dB} = 17,56$)

Για τους επιμέρους προκύπτοντες λόγους $(Eb0/N0)_{dB}$, από τον πίνακα (4-3), (γραμμοσυστοιχισμένη στήλη, προκύπτοντες λόγοι αρνητικοί), ο αντίστοιχος λόγος B.E.R, όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα¹⁷, για το σύνολο των διαμορφώσεων (FSK/PSK), τείνει στην μονάδα, οπότε από το ληφθέν σήμα δεν δύναται να ανακτηθεί η αρχική πληροφορία.



(Σχήμα 4-9: Συσχετισμός των λόγων $(Eb0/N0)$ και BER, για ψηφιακές διαμορφώσεις PSK/FSK)

¹⁷ BER vs $(Eb0/N0)$ WIKIPEDIA)

Συνολικά λοιπόν, στην εν λόγω περίπτωση $((J/C)_{dB} = 17,56 \text{ dB})$, η αξιολόγηση των υφιστάμενων δικτύων, διαμορφώνεται ως εξής:

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΣΤΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΔΙΚΤΥΑ	
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ
ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ (AM/FM)	ΠΛΗΡΗΣ
ΨΗΦΙΑΚΗ (FSK/PSK) ΣΤΑΘΕΡΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	ΠΛΗΡΗΣ
ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ «FREQUENCY HOPPING»	ΑΝΕΠΑΡΚΗΣ

Σημείωση: Η προκύπτουσα ανθεκτικότητα της ανωτέρω συσκευής στην προκείμενη παρεμβολή, έγκειται στο γεγονός, ότι με τον υφιστάμενο λόγο $((J/C)_{dB} = 17,56 \text{ dB})$, δύναται να παρεμβάλλει επιτυχώς **10^{1,756}** κανάλια, ήτοι **57 ταυτόχρονα κανάλια** από το σύνολο των **2320 διατιθέμενων**, ποσοστό $57/2320 = (2,5\%) < (33\%)$,

ΣΥΝΕΠΩΣ ΑΝΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟ.

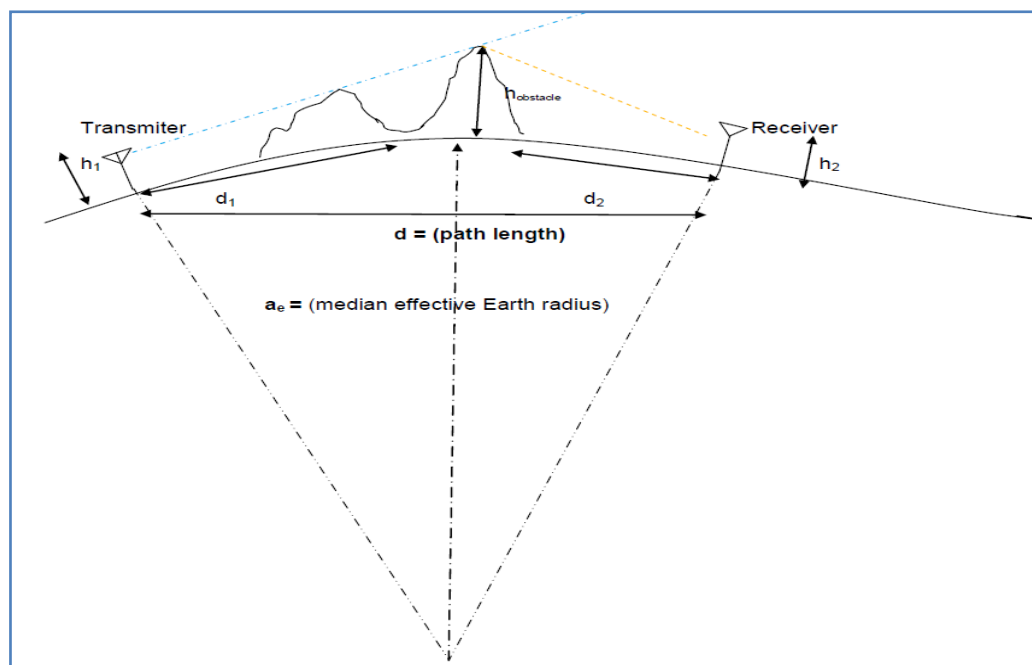
(Πίνακας 4-4: Αξιολόγηση υφιστάμενων ψηφιακών δικτύων με μια τυχαία τιμή $(J/C)_{dB}=17,56$)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

ΠΕΡΙ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ L.O.S/BEYOND L.O.S ΔΙΑΔΟΣΗ ΤΩΝ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗΣ (PROPAGATION LOSSES DUE TO DIFFRACTION)

5.1. Γενικά περί της περίθλασης

Μέχρι στιγμής κατά τους υπολογισμούς των υφιστάμενων απωλειών, κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος, ελήφθη μόνο για πρακτικούς λόγους η free-space basic transmission loss. Στην πραγματικότητα, υφίστανται επιπλέον απώλειες (κυρίως λόγω της επίδρασης του φαινομένου της περίθλασης κατά την πρόσπτωση της Η/Μ ακτινοβολίας επί των διαφόρων εμποδίων που υφίστανται), με αποτέλεσμα την σημαντική εξασθένηση της ισχύος του σήματος. Επίσης ακόμη και κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος άνωθεν μιας θεωρητικά λείας (smooth) επιφάνειας, υφίστανται απώλειες, λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αυτής. Στο παρακάτω σχήμα, απεικονίζεται σχηματικά η περίπτωση της επίδρασης του φαινομένου της περίθλασης.



(Σχήμα 5-1: Σχηματική απεικόνιση κατά την L.o.S διάδοση ενός Η/Μ κύματος, το οποίο συναντά εμπόδια. Μέρος αυτού, λόγω της περίθλασης δύναται να φθάσει, αρκετά εξασθενημένο, στον δέκτη. Αναλόγως της υφιστάμενης εξασθένισης, δύναται να ληφθεί ή όχι από το δέκτη).

Στο σχήμα (5-1), έστω ένας πομπός σε ύψος h_1 και σε μια απόσταση d από αυτόν ένας δέκτης σε ύψος h_2 επί μιας λείας σφαιρικής επιφάνειας με ένα φυσικό εμπόδιο (όρος) να παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο σημείων. Στην προκειμένη περίπτωση ευθύγραμμης διάδοσης, το εμπόδιο θα καθιστούσε αδύνατη τη ζεύξη. Χάρη όμως στο φαινόμενο της περιθλασης, μέρος της αρχικής εκπεμπόμενης ενέργειας (απεικόνιση με γαλάζια διακεκομμένη γραμμή) δύναται να ληφθεί από το δέκτη (απεικόνιση με πορτοκαλί διακεκομμένη γραμμή).

Στην περίπτωση της L.O.S διάδοσης, βασικό ρόλο για την επίτευξη της απόστασης L.O.S, διαδραματίζει το ύψος των δύο κεραιών. Καθόσον ισχύει ο κάτωθι τύπος:

$$d_{los} = \sqrt{2a_e} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ (km)}$$

ή ο πρακτικός κανόνας $(d_{los})_{(km)} = 4,115 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})_m$

Τα ύψη των κεραιών (h_1, h_2), μετρούνται από τη λεία επιφάνεια (στην περίπτωση πλοίων η λεία επιφάνεια θα ταυτίζεται με τη θάλασσα και ως εκ τούτου θα μετρούνται από το επίπεδο της θάλασσας) και a_e = median effective Earth radius (προκύπτει από την ακτίνα της γης 6371 km, πολλαπλασιασμένη επί ένα συντελεστή, περί τα 1,333 και θα λαμβάνεται στους υπολογισμούς με τιμή 8470 km για όλες τις περιπτώσεις, χωρίς να προκύπτει ιδιαίτερα αισθητή μεταβολή στις τιμές).

5.1.1 Περιπτώσεις Επιφανειών Διάδοσης

Διακρίνουμε καταρχάς δύο περιπτώσεις ειδών επιφάνειας (terrain) κατά τη διάδοση:

5.1.1.1 Λείας Επιφάνειας (smooth spherical – Earth)

Για να πληροί μια επιφάνεια διάδοσης το κριτήριο της εν λόγω περίπτωσης, θα πρέπει οι όποιες υφιστάμενες εξάρσεις του ανάγλυφου αυτής να μην υπερβαίνουν το 10% της μέγιστης τιμής του «**Πρώτου Ελλειφοειδούς Fresnel (first Fresnel zone radius)**¹⁸», κατά τη διάδοση του H/M κύματος, το οποίο

¹⁸ RECOMMENDATION ITU-R P.526-13 PROPAGATION BY DIFFRACTION, pp 4,(11/2013)

ορίζεται ως εξής:
$$R_n = 550 \left[\frac{n d_1 d_2}{(d_1 + d_2) f} \right]^{1/2}, \text{ όπου } (f_{\text{MHz}}), (d_1, d_2)_{\text{km}} \text{ και}$$

για $n=1$, προκύπτει η ανωτέρω τιμή. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η διάδοση στο θαλάσσιο περιβάλλον, σε μια διαδρομή, όπου δεν παρεμβάλλονται φυσικές εξάρσεις.

5.1.1.2. Μεμονωμένων εμποδίων (Isolated obstacles)

Βάσει λοιπόν της ανωτέρω ταξινόμησης, προκύπτουν διαφορετικές εξισώσεις, όσον αφορά στον υπολογισμό των υφιστάμενων απωλειών.

5.2. Γενικός Κανόνας Υπολογισμού Υφιστάμενων Απωλειών

Diffraction loss, L_d (dB) : $L_d = L_{dba} + \max \{L_{dsph} - L_{dbs}, 0\}^{19}$

L_{dsph} : spherical-Earth diffraction loss

L_{dba} : Bullington diffraction loss for the actual path profile

L_{dbs} : Bullington diffraction loss for a smooth path profile

5.2.1 Spherical- Earth Diffraction Loss (L_{dsph})

Στον παρακάτω πίνακα²⁰ παρατίθενται τα στοιχεία της διαπερατότητας και αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού και ενός μέσου όρου του εδάφους της γης, απαραίτητα για τους αρχικούς υπολογισμούς των απωλειών (L_{dsph}).

Symbol	Value	Description
c (m/s)	2.998×10^8	Speed of propagation
R_e (km)	6 371	Average Earth radius
ϵ_{rland}	22.0	Relative permittivity for land
ϵ_{rsea}	80.0	Relative permittivity for sea
σ_{land} (S/m)	0.003	Conductivity for land
σ_{sea} (S/m)	5.0	Conductivity for sea
ω	%	Fraction of the path over sea

(Πίνακας 5-1: Στοιχεία ηλεκτρικής αγωγιμότητας και διαπερατότητας εδάφους και θαλασσινού ύδατος)

¹⁹ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2 A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHz TO 50 GHz ATTACHMENT A,(07/2015)

²⁰ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2 A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHz TO 50 GHz, PP 7,(07/2015)

Υπολογίζουμε καταρχάς τις παραμέτρους:

$$K_H = 0.36(a_e f)^{-1/3} \left[(\varepsilon - 1)^2 + (18000 \sigma / f)^2 \right]^{-1/4}, \text{ για οριζόντια πόλωση}$$

$$K_V = K_H \left[\varepsilon^2 + (18000 \sigma / f)^2 \right]^{1/2}, \text{ για κατακόρυφη πόλωση}$$

Οι απώλειες δίδονται από τον τύπο: $L_{\text{dsph}} = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2)$

$$X = 2.188 \beta f^{1/3} a_e^{-2/3} d$$

$$Y = 9.575 \times 10^{-3} \beta f^{2/3} a_e^{-1/3} h, \text{ όπου } h \text{ το ύψος εκάστης κεραίας.}$$

$$\beta = \frac{1 + 1.6 K^2 + 0.67 K^4}{1 + 4.5 K^2 + 1.53 K^4}$$

$$B = \beta Y$$

Αντίστοιχα, βάσει των ανωτέρω προκύπτουν:

(The distance term)

$$F(X) = 11 + 10 \log(X) - 17.6 X \quad \text{for } X \geq 1.6$$

$$F(X) = -20 \log(X) - 5.6488 X^{1.425} \quad \text{for } X < 1.6$$

(The height gain term)

$$G(Y) \cong 17.6(B-1.1)^{1/2} - 5 \log(B-1.1) - 8 \quad \text{for } B > 2$$

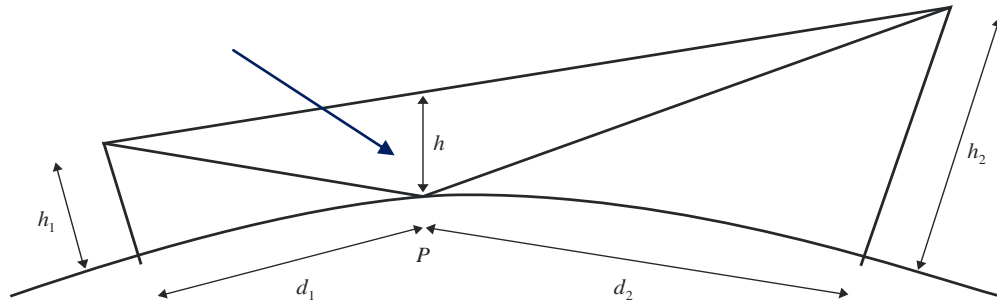
$$G(Y) \cong 20 \log(B+0.1B^3) \quad \text{for } B \leq 2$$

5.2.1.1 Περίπτωση, όπου d (path length) $\geq d_{\text{los}}$:

Υπολογίζοντας τις ανωτέρω ποσότητες, προκύπτει η τιμή για τις απώλειες περίθλασης λείας επιφάνειας και δεν απαιτείται περαιτέρω διεργασία, όσον αφορά στην περίπτωση αυτή.

5.2.1.2 Περίπτωση, όπου d (path length) $\leq d_{\text{los}}$:

Υπολογίζεται η ποσότητα (h), όπως φαίνεται στο κάτωθι σχήμα²¹



P: Reflection point

P.0526-07

(Σχήμα 5-2:)

Βάσει των κάτωθι τύπων υπολογίζουμε την ποσότητα h :

$$h = \frac{\left(h_1 - \frac{d_1^2}{2a_e} \right) d_2 + \left(h_2 - \frac{d_2^2}{2a_e} \right) d_1}{d}$$

$$b = 2\sqrt{\frac{m+1}{3m}} \cos \left\{ \frac{\pi}{3} + \frac{1}{3} \arccos \left(\frac{3c}{2} \sqrt{\frac{3m}{(m+1)^3}} \right) \right\}, \quad m = \frac{d^2}{4a_e(h_1 + h_2)},$$

$$c = \frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2}, \quad d_1 = \frac{d}{2} (1 + b), \quad d_2 = d - d_1,$$

Επίσης, από τον τύπο $h_{\text{req}} = 17.456 \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}}$ (m), υπολογίζουμε την οριακή απαιτούμενη τιμή για μηδενικές απώλειες περίθλασης.

Εάν $h > h_{\text{req}}$,

²¹ RECOMMENDATION ITU-R P.526-13 PROPAGATION BY DIFFRACTION pp 18,(11/2013)

Οι απώλειες περίθλασης στην εν λόγω διαδρομή διάδοσης (propagation path) είναι μηδενικές και δεν απαιτείται περαιτέρω διεργασία.

$$\text{Εάν } h < h_{req},$$

Υπολογίζεται η ποσότητα a_{em} (modified effective earth radius), βάσει του τύπου:

$$a_{em} = 0.5 \left(\frac{d}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}} \right)^2 \text{ και επαναλαμβάνεται η διεργασία της ανωτέρω}$$

παραγράφου 5.2.1, που αφορά στον προσδιορισμό εξ' αρχής των απωλειών περίθλασης από την επίδραση της λείας επιφάνειας. Σε περίπτωση όπου η προκύπτουσα τιμή (έστω A_h) είναι αρνητική, τότε οι απώλειες περίθλασης στη εν λόγω διαδρομή διάδοσης (propagation path) είναι μηδενικές και δεν απαιτείται περαιτέρω διεργασία. Σε περίπτωση, όπου η προκύπτουσα ποσότητα είναι θετική, η τελική τιμή των απωλειών (A) θα είναι:

$$A = [1 - h/h_{req}] A_h$$

Σε περιπτώσεις όπου υφίστανται πάσης φύσεως εξάρσεις της επιφάνειας και δεν πληρούνται τα κριτήρια υπολογισμού των απωλειών περίθλασης μόνο από τη λεία επιφάνεια, συνυπολογίζονται δύο ακόμη περιπτώσεις μοντελοποίησης των υφιστάμενων απωλειών, βάσει των εξισώσεων του «BULLINGTON»

5.2.2 Bullington Diffraction Loss Fof The Actual Path Profile (L_{dba})

Υπολογίζουμε το ενδιάμεσο σημείο με την μεγαλύτερη κλίση από το εν λόγω σημείο προς τον πομπό.

$$S_{tim} = \max \left[\frac{h_i + 500 c_p d_i (d - d_i) - h_{ts}}{d_i} \right] \quad \text{m/km, όπου } c_p = (a_e)^{-1}$$

Υπολογίζουμε την κλίση από τον πομπό στο δέκτη, θεωρώντας μια LoS διαδρομή:

$$S_{tr} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} \quad \text{m/km}$$

5.2.2.1 If $S_{tim} < S_{tr}$ the path is LoS

Υπολογίζουμε το ενδιαμέσο σημείο με τον υψηλότερο συντελεστή περίθλασης (v):

$$v_a = \max \left\{ \left[h_i + 500c_p d_i (d - d_i) - \frac{h_{ts}(d - d_i) + h_{rs}d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i (d - d_i)}} \right\}$$

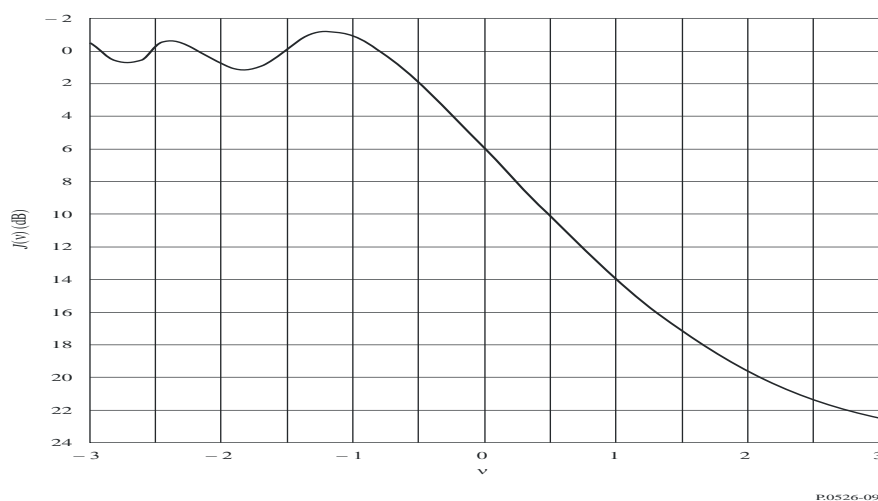
Στην περίπτωση αυτή, η «αιχμηρή» (knife-edge) απώλεια για το δοθέν Bullington σημείο, δίδεται από τον τύπο:

$$L_{dbka} = J(v_{a \max}) \quad \text{dB}$$

Για τιμές της παραμέτρου (v) μεγαλύτερες από -0.78 , οι προκύπτουσες απώλειες υπολογίζονται βάσει του τύπου:

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \quad \text{dB}$$

Γενικότερα, δύναται να προσδιορισθούν από το γράφημα του κάτωθι σχήματος²²:



(Σχήμα 5-3: Γραφικός υπολογισμός των υφιστάμενων απωλειών $J(v)$)

²² RECOMMENDATION ITU-R P.526-13 PROPAGATION BY DIFFRACTION pp 21,(11/2013)

5.2.2.2. If $S_{tim} \geq S_{tr}$ the path is NLoS.

Υπολογίζουμε το ενδιαμέσο σημείο με τη μεγαλύτερη κλίση από το εν λόγω σημείο προς το δέκτη.

$$S_{rim} = \max \left[\frac{h_i + 500 c_p d_i (d - d_i) - h_{rs}}{d - d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

where the profile index i takes values from 2 to $n - 1$.

Υπολογίζουμε το Bullington σημείο από τον πομπό:

$$d_b = \frac{h_{rs} - h_{ts} + S_{rim} d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

Υπολογίζουμε το συντελεστή περιθλασης (v_b), για το ανωτέρω σημείο:

$$v_b = \left[h_{ts} + S_{tim} d_b - \frac{h_{ts}(d - d_b) + h_{rs} d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_b (d - d_b)}}$$

Στην περίπτωση αυτή, η «αιχμηρή» (knife-edge) απώλεια για το δοθέν Bullington σημείο, δίδεται από τον τύπο:

$$L_{dbka} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

Bullington diffraction loss for the actual path is now given by:

$$L_{dba} = L_{dbka} + \left[1 - \exp \left(\frac{-L_{dbka}}{6} \right) \right] (10 + 0.02d) \quad (\text{dB})$$

5.2.3 Bullington Diffraction Loss For a Smooth Path Profile (L_{dbs})

Υπολογίζουμε το ενδιαμέσο σημείο με τη μεγαλύτερη κλίση από το εν λόγω σημείο προς τον πομπό, ως προς το επίπεδο αναφοράς της θάλασσας.

$$S_{tim} = \max \left[\frac{500(d-d_i)}{a_p} - \frac{h_{tep}}{d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

α. If $S_{tim} < S_{tr}$ the path is LoS.

Υπολογίζουμε το ενδιαμέσο σημείο με τον υψηλότερο συντελεστή περίθλασης (v):

$$v_s = \max \left\{ \left[\frac{500d_i(d-d_i)}{a_p} - \frac{h_{tep}(d-d_i) + h_{rep}d_i}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_i(d-d_i)}} \right\}$$

$$L_{dbs} = J(v_{smax}) \quad \text{dB}$$

β. If $S_{tim} \geq S_{tr}$ the path is NLoS.

Υπολογίζουμε το ενδιαμέσο σημείο με τη μεγαλύτερη κλίση από το εν λόγω σημείο προς τον δέκτη.

$$S_{rim} = \max \left[\frac{500d_i}{a_p} - \frac{h_{rep}}{d-d_i} \right] \quad \text{m/km}$$

where the profile index i takes values from 2 to $n-1$.

Υπολογίζουμε την απόσταση μεταξύ του σημείου Bullington point από τον πομπό:

$$d_b = \frac{h_{rep} - h_{tep} + S_{rim}d}{S_{tim} + S_{rim}} \quad \text{km}$$

Υπολογίζουμε το συντελεστή περίθλασης (v_b), για το ανωτέρω σημείο:

$$v_b = \left[h_{tep} + S_{tim}d_b - \frac{h_{tep}(d-d_b) + h_{rep}d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_b(d-d_b)}}$$

Στην περίπτωση αυτή, η «αιχμηρή» (knife-edge) απώλεια για το δοθέν Bullington σημείο, δίδεται από τον τύπο:

$$L_{dbks} = J(v_b) \quad \text{dB}$$

Bullington diffraction loss for the smooth path is now given by:

$$L_{dbs} = L_{dbks} + \left[1 - \exp\left(\frac{-L_{dbks}}{6}\right) \right] (10 + 0.02d) \quad \text{dB}$$

5.3. Άθροιση των Απωλειών – Αριθμητικά Παραδείγματα

Οι ανωτέρω υφιστάμενες απώλειες, λόγω περίθλασης, λαμβάνονται **αθροιστικά** με τις ήδη υπάρχουσες απώλειες **free-space basic transmission loss** και έτσι προκύπτουν οι συνολικές απώλειες κατά τη διάδοση ενός H/M κύματος, με περίθλαση. Οι συνολικές απώλειες ολοκληρώνονται με την **άθροιση** των λοιπών απωλειών από την επίδραση των καιρικών φαινομένων και τα μόρια του οξυγόνου και των υδρατμών της τροπόσφαιρας, όπως παρατίθεται στο έβδομο Κεφάλαιο.

Έστω λοιπόν δύο πλοία (Π_1 και Π_2 αντίστοιχα) με τα κάτωθι στοιχεία, ως παρατίθενται στον πίνακα (5-2):

Απόσταση d (km)	Συχνότητα Λειτουργίας (MHz)	Ύψος κεραίας πλοίου (Π_1)	Ύψος κεραίας πλοίου (Π_2)	Τύπος Πόλωσης: Οριζόντια (H)	Τύπος Εδάφους: Θάλασσα, χωρίς φυσικές εξάρσεις
30	225	12	10		

(Πίνακας 5-2:)

Να υπολογισθούν οι συνολικές υφιστάμενες απώλειες, κατά τη διάδοση ενός σήματος από το Π_1 στο Π_2 (θεωρούμε ότι οι λοιπές απώλειες, λόγω εξασθένησης είναι αμελητέες).

Καταρχήν υπολογίζεται το είδος του propagation path:

➤ Από την οριακή τιμή $d_{los} = \sqrt{2a_e} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, προκύπτει ότι $d_{los} = 27,273$ km, ενώ η υφιστάμενη απόσταση είναι 30 km. Συνεπώς πρόκειται για περίπτωση «trans horizon», ήτοι διάδοση με ανάκλαση (reflection) στη λεία επιφάνεια, από την οποία προκύπτουν οι αντίστοιχες απώλειες.

➤ Free- space losses: 108,98 dB. $F(X)_H = -4,988$ dB

➤ $G(Y_1) = -21,6$ dB, $G(Y_2) = -23,19$ dB

➤ Συνεπώς οι συνολικές απώλειες κατά τη διάδοση είναι:

$$108,98 + (4,988 + 21,6 + 23,19) = 108,98 + 49,778 = 158,758 \text{ dB.}$$

Στο εν λόγω παράδειγμα, οι προκύπτουσες τιμές για τις ποσότητες $F(X)_H$, $G(Y_1)$, $G(Y_2)$ επειδή είναι όλες αρνητικές, υπολογίζονται αθροιστικά. Σε περίπτωση όπου τα το ύψος μιας κεραιάς αυξηθεί αρκετά, δύναται η αντίστοιχη προκύπτουσα ποσότητα $G(Y_i)$ να λάβει θετικό πρόσημο και ως εκ τούτου να λαμβάνεται με το πρόσημό της στον υπολογισμό των απωλειών, πράγμα που σημαίνει μείωση των απωλειών, λόγω περιθλασης. Για την εξάλειψη των εν λόγω απωλειών, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ταυτόχρονη αύξηση του ύψους των κεραιών.

Έστω λοιπόν η περίπτωση, όπου στο ανωτέρω παράδειγμα, το ύψος της κεραιάς στο Π_1 γίνει 30m. Τότε, προκύπτει ότι $d_{los} = 35,56$ km $>$ 30 km, αλλά η ποσότητα h από τον κάτωθι τύπο:

$$\text{➤ } h = \frac{\left(h_1 - \frac{d_1^2}{2a_e}\right)d_2 + \left(h_2 - \frac{d_2^2}{2a_e}\right)d_1}{d} = 20 \text{ m ενώ η ποσότητα } h_{req} \text{ από τον}$$

$$\text{τύπο: } h_{req} = 17.456 \sqrt{\frac{d_1 d_2 \lambda}{d}} = 55,22 \text{ m.}$$

Συνεπώς, υπολογίζοντας εκ νέου τις υφιστάμενες απώλειες, προκύπτει:

$$\text{➤ } a_{em} = 0.5 \left(\frac{d}{\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}} \right)^2 = 6028,86 \text{ km.}$$

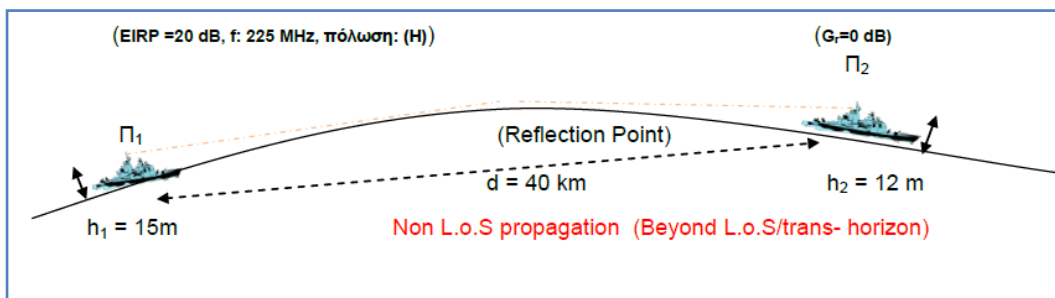
Με στοιχείο εισόδου την ανωτέρω τιμή, προκύπτουν οι κάτωθι τιμές:

- $F(X)_H = -9 \text{ dB}$
- $G(Y_1) = -12,76 \text{ dB}$, (μειωμένη τιμή σε σχέση με την αντίστοιχη για ύψος 12 m)
- $G(Y_2) = -22,20 \text{ dB}$
- Άρα $F(X)_H + G(Y_1) + G(Y_2) = -9 -12,76 -22,2 = -43,96 \text{ dB}$.

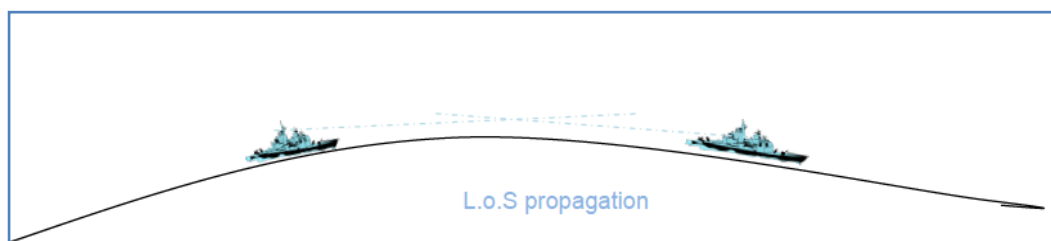
Επομένως, οι συνολικές απώλειες (A), λόγω περίθλασης είναι:

- $(A)_{\text{dB}} = (1 - h/h_{\text{req}}) * (43,96) = 43,96 * (1 - 20/55,22) = 28,038 \text{ dB}$.

Παρατηρούμε ότι σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση, οι απώλειες περίθλασης από την αρχική τιμή $49,778 \text{ dB}$, μειώθηκαν σε $28,038 \text{ dB}$. Για το λόγο αυτό, οι κεραίες επικοινωνίας τίθενται γενικότερα στα υψηλότερα δυνατά σημεία. Στα παρακάτω σχήματα, απεικονίζονται ενδεικτικά οι δύο περιπτώσεις διάδοσης, άνωθεν μιας λείας επιφάνειας.



(Σχήμα 5-4: Περίπτωση επίτευξης επικοινωνίας μέσω περίθλασης από την επιφάνεια της θάλασσας, με αύξηση των απωλειών)



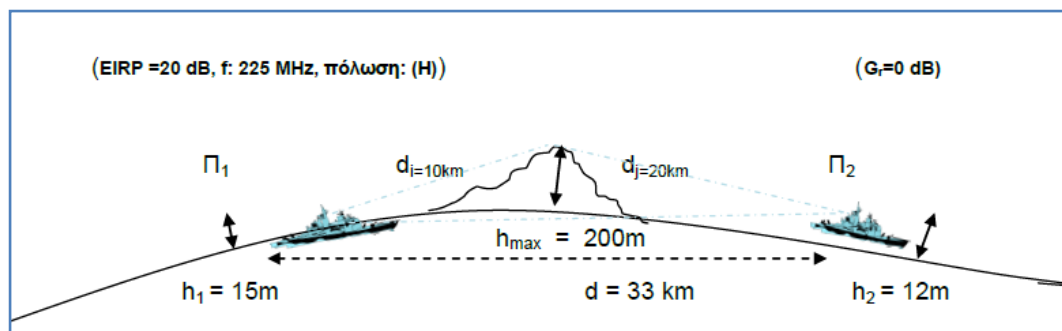
(Σχήμα 5-5: Περίπτωση επίτευξης L.o.S επικοινωνίας, άνευ προσθήκης επιπλέον απωλειών από την επιφάνεια της θάλασσας)

Θεωρητικά, λόγω του φαινομένου της περίθλασης, είναι εφικτή και η διάδοση μέρους της εκπεμπόμενης Η/Μ ακτινοβολίας και στην πρώτη περίπτωση (Beyond L.o.S propagation), αλλά λόγω των υφιστάμενων απωλειών είναι δυνατό να μην καταστεί εφικτή η λήψη και η περαιτέρω επεξεργασία αυτού.

Στην περίπτωση του σχήματος (5-4), προκύπτει $d_{los} = 30,2 \text{ km} < 40 \text{ km}$. Συνεπώς πρόκειται για περίπτωση «beyond horizon propagation (trans horizon)». Η ποσότητα «spherical-Earth diffraction loss (L_{dsph})» ανέρχεται σε:

- Απώλειες λόγω περίθλασης: 35,38 dB.
 - Απώλειες free-space basic transmission loss: 114,48 dB.
 - Συνολικές απώλειες: $114,48 + 35,38 \text{ dB} = 149,86 \text{ dB}$.
 - Η ληφθείσα ισχύς από τον δέκτη στο Π_2 είναι:
- $$P_r = (EIRP)_{dB} - (Total \text{ losses})_{dB} = 20 - 149,86 = -129,86 \text{ dB} = -99,86 \text{ dBm}.$$

Αναλόγως λοιπόν του δικτύου επικοινωνίας, δύναται να ληφθεί κατά περίπτωση το εκπεμφθέν σήμα. Σαφώς η περίπτωση διάδοσης άνωθεν λείας επιφάνειας, πλην των περιπτώσεων της θάλασσας, αποτελεί ειδική περίπτωση. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων, οι υφιστάμενες εξάρσεις κατά μήκος του propagation path, σε συνδυασμό με τα φυσικά εμπόδια που υπάρχουν (π.χ νήσοι), αυξάνουν σημαντικά τις απώλειες περίθλασης. Έστω λοιπόν η κάτωθι περίπτωση, όπου μεταξύ των δύο πλοίων (Π_1 και Π_2 αντίστοιχα) παρεμβάλλεται φυσικό εμπόδιο (νησίδα), όπως παρακάτω:



(Σχήμα 5-6: Περίπτωση πιθανής επίτευξης non L.o.S επικοινωνίας, μέσω μεμονωμένου εμποδίου, χάρη στο φαινόμενο της περίθλασης.)

Καταρχήν προκύπτει $d_{los} = 30,2 \text{ km} < 33 \text{ km}$. Συνεπώς πρόκειται για περίπτωση «beyond horizon propagation (trans horizon)». Η ποσότητα «spherical-Earth diffraction loss (L_{dsph})» ανέρχεται σε:

- ❖ L_{dsph} : 31,79 dB.
- ❖ Απώλειες free-space basic transmission loss: 109,81 dB.
- ❖ Από τους κάτωθι τύπους, θα υπολογίσουμε το είδος του propagation path, ήτοι:

$$S_{tim} = \max \left[\frac{h_i + 500c_p d_i (d - d_i) - h_{ts}}{d_i} \right] = 19,858$$

$$S_{tr} = \frac{h_{rs} - h_{ts}}{d} = 0,09091$$

- ❖ Επειδή $S_{tr} < S_{tim}$, έπεται ότι το propagation path είναι «trans horizon»
- ❖ Υπολογίζουμε για τον δέκτη την παρακάτω ποσότητα:

$$S_{rim} = \max \left[\frac{h_i + 500c_e d_i (d - d_i) - h_{rs}}{d - d_i} \right] = 8,764$$

- ❖ Υπολογίζουμε την απόσταση του πομπού από το σημείο «Bullington», με βάση των τύπο:

$$d_b = \frac{h_{rs} - h_{ts} + S_{rim} d}{S_{tim} + S_{rim}} = 10$$

- ❖ Υπολογίζουμε το συντελεστή περιθλασης « v_b » για το ανωτέρω σημείο, με βάση τον τύπο:

$$v_b = \left[h_{ts} + S_{tim} d_b - \frac{h_{ts}(d - d_b) + h_{rs} d_b}{d} \right] \sqrt{\frac{0.002d}{\lambda d_b (d - d_b)}} = 2,927$$

- ❖ Υπολογίζουμε τις απώλειες περιθλασης $L_{uc} = J_{(vb)}$, για το ανωτέρω σημείο, με βάση τον τύπο:

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ dB} = 22,206 \text{ dB.}$$

Τέλος από τον κάτωθι τύπο θα υπολογίσουμε τη συνολική «Bullington diffraction loss for the actual path profile (L_{dba})»

$$\diamond L_{dba} = L_{uc} + [1 - \exp(-L_{uc}/6)](10 + 0.02 d) = 32,602 \text{ dB.}$$

Ομοίως, με εφαρμογή των αντίστοιχων τύπων για τον υπολογισμό της συνολικής «Bullington diffraction loss for a smooth path profile (L_{dbs})», προκύπτει: $L_{dbs} = 12,685 \text{ dB}$.

Συνεπώς, οι συνολικές απώλειες, λόγω περίθλασης διαμορφώνονται ως εξής:

$$L = L_{ba} + \max\{L_{sph} - L_{bs}, 0\}$$

$$\diamond \text{Επομένως, } L_{(\text{diffraction})} = 32,602 + (31,79 - 12,685) = 51,707 \text{ dB.}$$

Οπότε, οι συνολικές απώλειες σε όλη τη διαδρομή είναι:

$$\diamond L_{(\text{diffraction})} + (\text{free-space basic transmission loss})_{\text{dB}} = 109,81 + 51,707 = 161,517 \text{ dB.}$$

Στην προκειμένη περίπτωση λοιπόν, η ληφθείσα ισχύς από το δέκτη στο Π_2 είναι:

$$\diamond P_r = (EIRP)_{\text{dB}} - (\text{Total losses})_{\text{dB}} = 20 - 161,517 = -141,5177 \text{ dB} = -111,517 \text{ dBm.}$$

Παρατηρούμε ότι στην περίπτωση ενός πιο σύνθετου «propagation path», στο δέκτη θα φθάσει το επιθυμητό σήμα, ισχύος $-111,52 \text{ dBm}$. Η προκληθείσα εξασθένηση είναι συνάρτηση των κάτωθι παραμέτρων:

- Απόστασης (d) μεταξύ πομπού-δέκτη.
- Ύψους των κεραιών.
- Συχνότητας λειτουργίας.
- Απόστασης πομπού/δέκτη από το υψηλότερο σημείο του παρεμβλλόμενου εμποδίου.
- Ύψος/διαστάσεις του φυσικού εμποδίου.

Το γεγονός αυτό δυσχεραίνει τις L.o.S επικοινωνίες μεταξύ των φίλιων μονάδων, αλλά παράλληλα δρα «προστατευτικά», όσον αφορά στη δυσχέρεια/καταστολή στον αντίπαλο για σύνθεση αξιόπιστης Ε.Ο.Β, καθόσον εάν στη θέση Π₂ υφίστατο μια αντίπαλη μονάδα με δυνατότητα «COMINT», η ληφθείσα ισχύς είναι δυνατό να δράσει αποτρεπτικά στο έργο του. Ομοίως, δύναται να εξασθενίσει αισθητά το σήμα ενός παρεμβολέα, ώστε να μην επιτευχθεί το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Για την καλύτερη κατανόηση των ανωτέρω, θα ακολουθήσουν επιπλέον παραδείγματα και με αποτελέσματα και εικόνες, προερχόμενες και από το λογισμικό «Radio Mobile on Line».

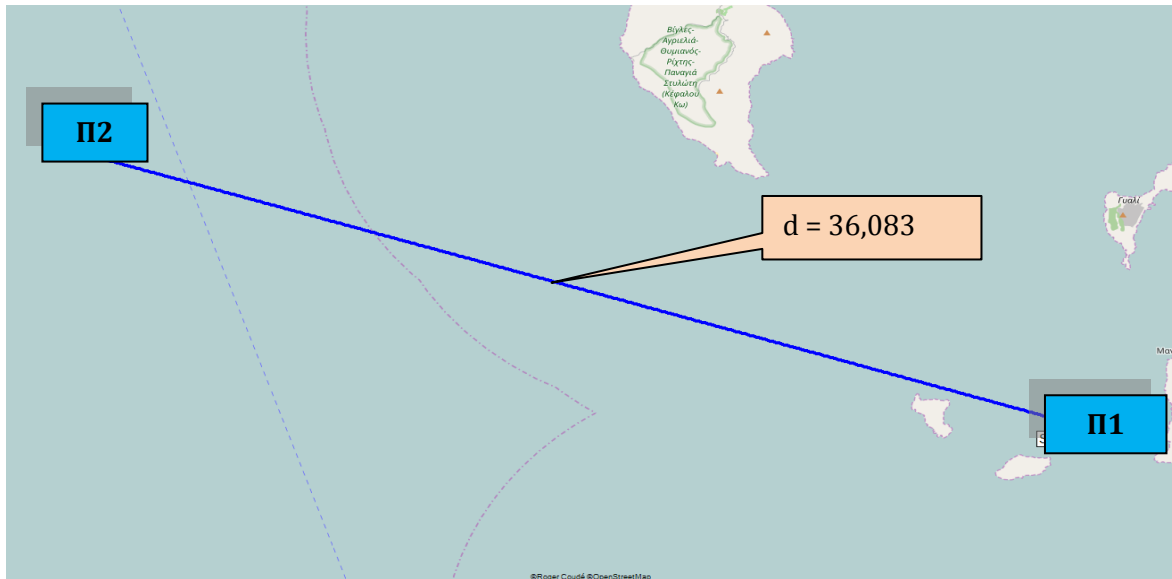
5.4. Σύνθετα Παραδείγματα με τη Χρήση του Λογισμικού «Radio Mobile On Line»

Έστω λοιπόν δύο φίλιες μονάδες, αναπτυγμένες σε δύο σημεία (Π₁ Δυτικά ν. Νισύρου και Π₂ Δυτικά ν. Κω). Στον παρακάτω πίνακα, παρατίθενται τα επικοινωνιακά στοιχεία αμφοτέρων των μονάδων, βάσει των οποίων, σε συνδυασμό με την μεταξύ τους απόσταση, θα εξετασθεί η επίτευξη ή μη αμφίδρομης επικοινωνίας. Επιπλέον στο σχήμα (5-7) παρατίθεται η αντίστοιχη γεωγραφική απεικόνιση²³ των ανωτέρω μονάδων

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ					
ΔΙΚΤΥΟ (ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ)	SENSITIVITY	ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΛΟΓΟΣ (Eb0/N0) _{dB}	ΙΣΧΥΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ (EIRP)	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΗΨΗ/ΕΚΠΟΜΠΗ	ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΩΝ/ ΠΟΛΩΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ (H)
AM/FM VOICE UHF (225 MHz)	-111 dBm	-	25 W (14 dB)	3 dB	
RAT'T UHF (225 MHz)	-	10	25 W	3 dB	
VOICE VHF (50 MHz)	-	8	25 W	3 dB	
Π ₁					13m
Π ₂					15m

(Πίνακας 5-3 :Στοιχεία δικτύων φίλιων μονάδων)

²³ ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ, ΟΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ, ΤΟ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΠΡΟΕΡΧΕΤΑΙ ΑΠΟ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΟΥ ΙΔΙΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ.



(Σχήμα 5-7: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης των δύο φίλιων μονάδων)

Θα θεωρήσουμε καταρχάς ότι το propagation path πληροί τις προϋποθέσεις της περίπτωσης απωλειών, λόγω λείας επιφάνειας. Επίσης $d_{los} = 30,8 < d$, οπότε πρόκειται για περίπτωση «beyond horizon propagation (trans horizon)».

5.4.1 Αριθμητικό Παράδειγμα

- Η ποσότητα «spherical-Earth diffraction loss (L_{dsph})» για τη συχνότητα (225 MHz) ανέρχεται σε: $L_{dsph} = 32,695$ dB.
- Απώλειες free-space basic transmission loss: 110,59 dB.
- Απώλειες κυκλωμάτων λήψης: 3 dB.
- Απώλειες κυκλωμάτων εκπομπής: 3 dB.

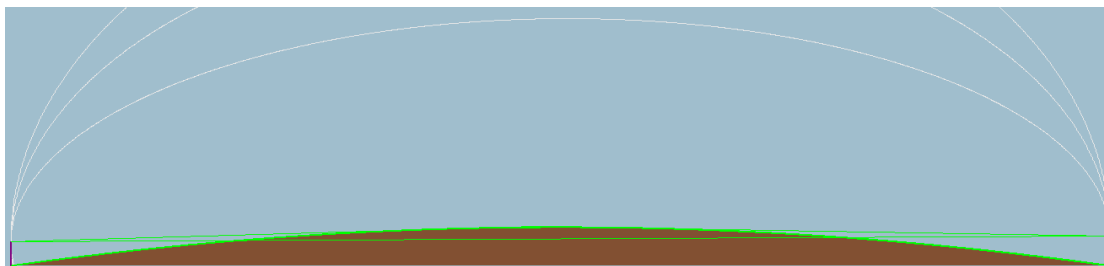
Έστω λοιπόν ότι εκπέμπει το Π_1 και λαμβάνει το Π_2 . Θα ισχύει:

$$P_r = P_t - (\text{Total losses}) = 14 - (32,695 + 110,59 + 3 + 3) = - 135,285 \text{ dB} = - 105,285 \text{ dBm}.$$

Αντίστοιχα από το λογισμικό «Radio Mobile on Line», προκύπτουν οι κάτωθι τιμές για το δοθέν propagation path:

Radio link (Π1 – Π2)					
Π1			Π2		
Latitude	36.583004	°	Latitude	36.679984	°
Longitude	27.099838	°	Longitude	26.713943	°
Ground elevation	0.0	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	13.0	m	Antenna height	15.0	m
Azimuth	287.50 TN 283.08 MG	°	Azimuth	107.27 TN 102.88 MG	°
Tilt	-0.16	°	Tilt	-0.17	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.98	dBm	Free space loss	110.59	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstruction loss	19.74	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	0.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	8.72	dB
RX sensitivity	-111.44	dBm	Total path loss	139.05	dB
Distance	36.083	km			
Precision	18.1	m			
Frequency	225.000	MHz			
Equivalent Isotropically Radiated Power	12.530	W			
System gain	149.42	dB			
Required reliability	90.000	%			
Received Signal	-101.07	dBm			
Fade Margin	10.36	dB			

(Πίνακας 5-4: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος.)



(Σχήμα 5-8: Απεικόνιση των θέσεων των δύο κεραιών, ως προς των μεταξύ τους προκύπτοντα γεωγραφικό ορίζοντα. Η επιτευχθείσα ζεύξη απεικονίζεται με πράσινο χρώμα, καθόσον με τα δοθέντα στοιχεία είναι εφικτή)²⁴

Μεταξύ των δύο τιμών (-105,3 και -101,07 dBm) θα χρησιμοποιήσουμε τη μικρότερη τιμή. Με στοιχείο εισόδου την εν λόγω τιμή, προκύπτουν για τα ψηφιακά δίκτυα οι κάτωθι τιμές. Παρατηρούμε ότι για το ληφθέν σήμα στη συχνότητα (UHF) είναι εφικτή η λήψη της πληροφορίας, είτε πρόκειται για αναλογικό είτε για ψηφιακό δίκτυο

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (VHF-UHF):									
ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΣ	BW(Hz)	DATA RATE(bbs)	(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb0/NO)dB
LINK-11 DATA	DQPSK	225-400 MHz	2915	2250	-169,33	9	-130,33	25,0296	26,1542
LINK-11 DATA	DQPSK	225-400 MHz	935	1364	-174,27	9	-135,27	29,9679	28,3279
RATT	PSK	225-400 MHz	1000	600	-173,98	9	-134,98	29,676	31,8945
RATT	PSK	225-400 MHz	2100	1200	-170,75	9	-131,75	26,4538	28,8842
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	2500	800	-170	8	-132	26,6966	31,6451
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	4100	2400	-167,85	8	-129,85	24,5482	26,8739
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK	30-87,750 MHz	6500	4800	-165,85	8	-127,85	22,5469	23,8636
PACE	FSK	ΣΕ ΌΛΑ ΤΑ VOICE	2225	3000	-170,5	8	-132,5	27,2027	25,9048

(Πίνακας 5-5: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει ενός σήματος εισόδου $P_r = -105,3$ dBm)

5.4.2 Αριθμητικό Παράδειγμα

- Η ποσότητα «spherical-Earth diffraction loss (L_{dsph})» για τη συχνότητα (50 MHz) ανέρχεται σε: $L_{dsph} = 43$ dB.
- Απώλειες free-space basic transmission loss: 97,53 dB.
- Απώλειες κυκλωμάτων λήψης: 3 dB.
- Απώλειες κυκλωμάτων εκπομπής: 3 dB

Έστω λοιπόν ότι εκπέμπει το Π_1 και λαμβάνει το Π_2 . Θα ισχύει:

²⁴ Εφαρμογή από το λογισμικό «Radio Mobile on Line»

$$P_r = P_t - (\text{Total losses}) = 14 - (43 + 97,53 + 3 + 3) = -132,53 \text{ dB} = \mathbf{-102,53 \text{ dBm}}.$$

Αντίστοιχα από το λογισμικό «Radio Mobile on Line», προκύπτουν οι κάτωθι τιμές για το δοθέν propagation path:

Radio link (Π1 – Π2)					
Π1			Π2		
Latitude	36.583004 °		Latitude	36.679984 °	
Longitude	27.099838 °		Longitude	26.713943 °	
Ground elevation	0.0 m		Ground elevation	0.0 m	
Antenna height	13.0 m		Antenna height	15.0 m	
Azimuth	287.50 TN 283.08 MG °		Azimuth	107.27 TN 102.88 MG °	
Tilt	-0.16 °		Tilt	-0.17 °	
Radio system			Propagation		
TX power	43.98	dBm	Free space loss	110.59	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	19.74	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	0.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	8.72	dB
RX sensitivity	-111.44	dBm	Total path loss	139.05	dB
Distance	36.083 km				
Precision	18.1 m				
Frequency	225.000 MHz				
Equivalent Isotropically Radiated Power	12.530 W				
System gain	149.42 dB				
Required reliability	90.000 %				
Received Signal	-101.07 dBm				
Fade Margin	10.36 dB				
(Πίνακας 5-6: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος)					

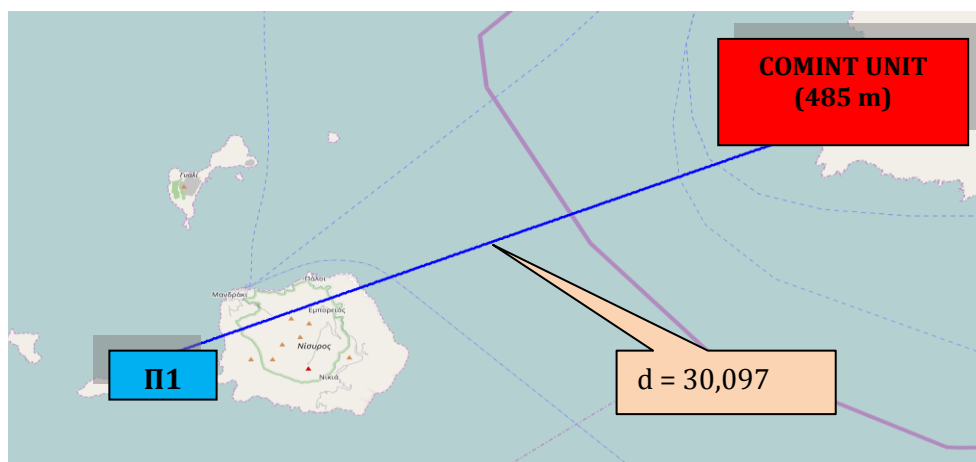
Η ανωτέρω υφιστάμενη διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι το λογισμικό έχει συμπεριλάβει πάσης φύσεως δυνατές απώλειες (όπως εξωγενείς πηγές θορύβου, των οποίων η επίδραση, όπως έχει αναφερθεί, είναι εντονότερες στην μπάνα των VHF), ενώ στους υπολογισμούς άνευ χρήσης λογισμικού δεν έχουν ληφθεί υπόψη τυχόν τέτοιες πηγές. Έστω λοιπόν με σήμα εισόδου το $-112,86$ dBm, προκύπτουν αντίστοιχα ικανοποιητικοί λόγοι $(E_b0/N_0)_{dB}$ και για την μπάνα των VHF.

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (VHF-UHF):										
ΟΝΟΜΑ	ΤΥΠΟΣ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ	ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ	BW(Hz)	DATA RATE(bps)	(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb0/N0)dB
LINK-11 DATA	DQPSK		225-400 MHz	2915	2250	-169,33	9	-130,33	17,4696	18,5942
LINK-11 DATA	DQPSK		225-400 MHz	935	1364	-174,27	9	-135,27	22,4079	20,7679
RATT	PSK		225-400 MHz	1000	600	-173,98	9	-134,98	22,116	24,3345
RATT	PSK		225-400 MHz	2100	1200	-170,75	9	-131,75	18,8938	21,3242
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK		30-87,750 MHz	2500	800	-170	8	-132	19,1366	24,0851
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK		30-87,750 MHz	4100	2400	-167,85	8	-129,85	16,9882	19,3139
TRANSCIVER FREQ.HOPPING	FSK		30-87,750 MHz	6500	4800	-165,85	8	-127,85	14,9869	16,3036
PACE	FSK		ΣΕ ΟΛΑ ΤΑ VOICE	2225	3000	-170,5	8	-132,5	19,6427	18,3448

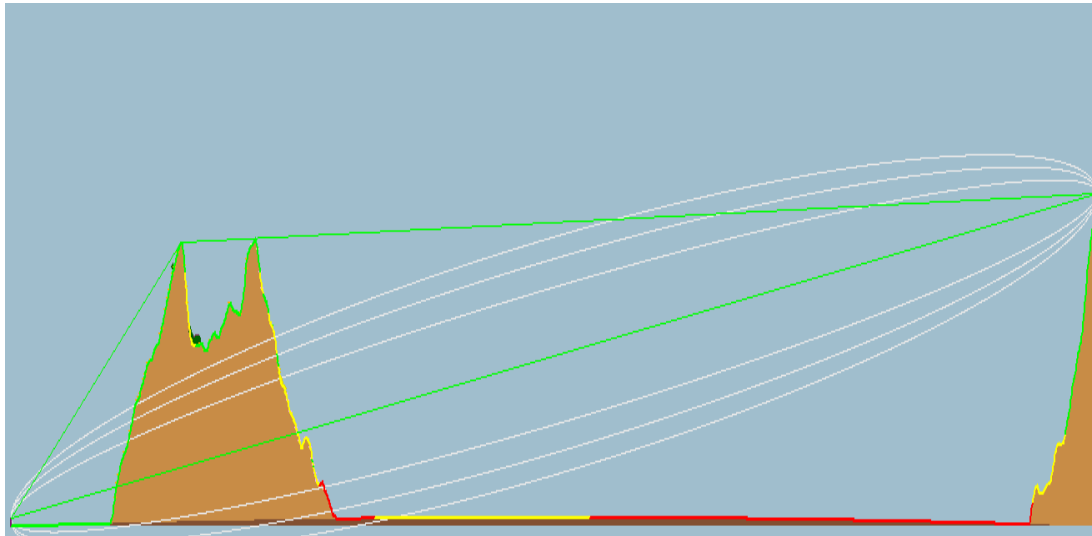
(Πίνακας 5-7: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει ενός σήματος εισόδου $P_r = -112.86$ dBm)

5.4.3 Αριθμητικό Παράδειγμα

Έστω λοιπόν στην ανωτέρω υφιστάμενη διάταξη των φίλιων μονάδων, υφίσταται και μια αντίπαλη μονάδα «COMINT», όπως φαίνεται στο σχήμα. Τη στιγμή της εκπομπής από το Π1, μέρος της ακτινοβολίας διαχέεται και προς την πλευρά της αντίπαλης μονάδας.



(Σχήμα 5-9: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης της φίλιας μονάδας Π1 και της αντίπαλης μονάδας)



(Σχήμα 5-10 Σχηματική αναπαράσταση ζεύξης μεταξύ παρεμβολέα και φίλιας μονάδας Π1)

- Οι απώλειες λόγω περίθλασης για τη συχνότητα (225 MHz) ανέρχονται σε: $L_{ba} = 39,212 \text{ dB}$
- Απώλειες free-space basic transmission loss: 109,01 dB
- Απώλειες κυκλωμάτων λήψης: 3 dB.
- Απώλειες κυκλωμάτων εκπομπής: 3 dB.
- Κέρδος κεραίας λήψης: 15 dB.
- $P_r = P_t - (\text{Total losses}) + G_r = 14 - (39,212 + 109,01 + 3 + 3) + 15$
 $= -125,22 \text{ dB} = \mathbf{-95,22 \text{ dBm.}}$

Αντίστοιχα από το λογισμικό «Radio Mobile on Line», προκύπτουν οι κάτωθι τιμές για το δοθέν propagation path:

Π1			COMINT UNIT		
Latitude	36.583004	°	Latitude	36.687693	°
Longitude	27.099838	°	Longitude	27.410889	°
Ground elevation	0.0	m	Ground elevation	475.1	m
Antenna height	13.0	m	Antenna height	10.0	m
Azimuth	67.15 TN 62.73 MG	°	Azimuth	247.34 TN 242.87 MG	°
Tilt	0.76	°	Tilt	-1.03	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.98	dBm	Free space loss	109.02	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	31.52	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	15.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	16.15	dB
RX sensitivity	-116.12	dBm	Total path loss	157.68	dB
Performance					
Distance	30.097		km		
Precision	15.1		m		
Frequency	225.000		MHz		
Equivalent Isotropically Radiated Power	12.530		W		
System gain	169.10		dB		
Required reliability	90.000		%		
Received Signal	-104.70		dBm		
Fade Margin	11.42		dB		

(Πίνακας 5-8: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος)

5.4.4 Αριθμητικό Παράδειγμα

- Οι απώλειες λόγω περίθλασης για τη συχνότητα (50 MHz) ανέρχονται σε: $L_{ba} = 31,2 \text{ dB}$
- Απώλειες free-space basic transmission loss: 95,95 dB
- Απώλειες κυκλωμάτων λήψης: 3 dB.
- Απώλειες κυκλωμάτων εκπομπής: 3 dB.
- Κέρδος κεραίας λήψης: 15 dB.
- $P_r = P_t - (\text{Total losses}) + G_r = 14 - (31,2 + 95,95 + 3 + 3) + 15 = -104,15 \text{ dB} = -74,15 \text{ dBm}$.

Αντίστοιχα από το λογισμικό «Radio Mobile on Line», προκύπτουν οι κάτωθι τιμές για το δοθέν propagation path:

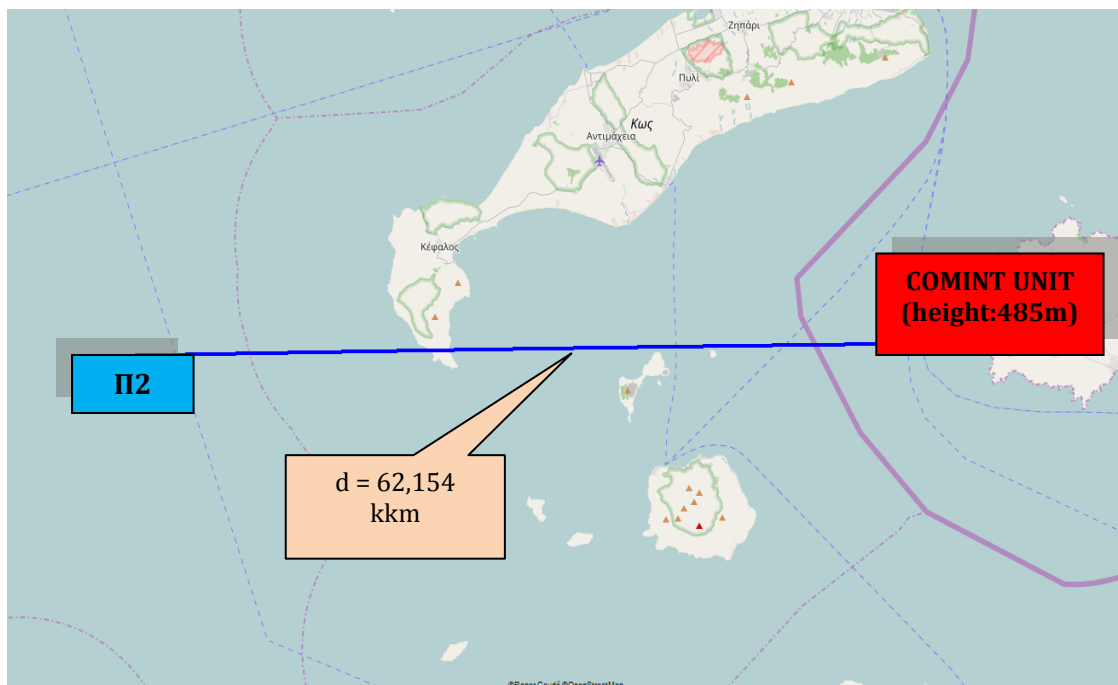
Radio system		Propagation	
TX power	43.98 dBm	Free space loss	95.95 dB
TX line loss	3.00 dB	Obstuction loss	12.90 dB
TX antenna gain	0.00 dBi	Forest loss	1.00 dB
RX antenna gain	15.00 dBi	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00 dB	Statistical loss	15.84 dB
RX sensitivity	-116.12 dBm	Total path loss	125.70 dB
Performance			
Distance		30.097 km	
Precision		15.1 m	
Frequency		50.000 MHz	
Equivalent Isotropically Radiated Power		12.530 W	
System gain		169.10 dB	
Required reliability		90.000 %	
Received Signal		-72.72 dBm	
Received Signal		51.79 μV	
Fade Margin		43.40 dB	

(Πίνακας 5-9: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος)

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι αναλόγως της τακτικής κατάστασης τα φυσικά εμπόδια δύναται να προκαλέσουν δυσχέρεια/αποτροπή στη λήψη σημάτων από αντίπαλες μονάδες, σε συνδυασμό με την κατάλληλη διαχείριση της ισχύος εκπομπής και της βέλτιστης διάταξης, ώστε να μεγιστοποιείται η απώλεια λόγω παρεμβολής των φυσικών εμποδίων. Στην αντίστοιχη περίπτωση, όπου η ισχύς εξόδου μειωθεί σε 10W (10 dB) (με την προϋπόθεση βέβαια πως καλύπτει τις απαιτήσεις με τις φίλιες δυνάμεις) και η διάταξη είναι τέτοια, ώστε η απώλεια λόγω του ορεινού όγκου της ν. Νισύρου αυξηθεί επιπλέον κατά 2-4 dB, είναι δυνατό να ελαττωθεί το ληφθέν σήμα έως και 8 dB, προκαλώντας ενδεχομένως δυσχέρεια στον αντίπαλο για περαιτέρω αξιοποίησή του.

5.4.5 Αριθμητικό Παράδειγμα

Αντίστοιχα κατά την εκπομπή του Π2, μέρος της εκπεμπόμενης ισχύος κατευθύνεται και προς την πλευρά της αντίπαλης μονάδας, όπως παρατίθεται στο κάτωθι σχήμα:



(Σχήμα 5-11: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης της φίλιας μονάδας Π2 και της αντίπαλης μονάδας)

Π2			COMINT UNIT		
Latitude	36.679984	°	Latitude	36.687693	°
Longitude	26.713943	°	Longitude	27.410889	°
Ground elevation	0.0	m	Ground elevation	475.1	m
Antenna height	15.0	m	Antenna height	10.0	m
Azimuth	89.00 TN 84.61 MG	°	Azimuth	269.42 TN 264.95 MG	°
Tilt	0.15	°	Tilt	-0.71	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.98	dBm	Free space loss	115.31	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	13.85	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	15.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.17	dB
RX sensitivity	-116.12	dBm	Total path loss	145.33	dB
Performance					
Distance				62.154	km
Precision				31.1	m
Frequency				225.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power				12.530	W
System gain				169.10	dB
Required reliability				90.000	%
Received Signal				-92.35	dBm
Fade Margin				23.77	dB

(Πίνακας 5-10: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος)

5.4.6 Αριθμητικό Παράδειγμα

Radio system			Propagation	
TX power	43.98	dBm	Free space loss	102.25 dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	16.58 dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00 dB
RX antenna gain	15.00	dBi	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	13.63 dB
RX sensitivity	-116.12	dBm	Total path loss	133.46 dB
Performance				
Distance			62.154	km
Precision			31.1	m
Frequency			50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power			12.530	W
System gain			169.10	dB
Required reliability			90.000	%
Received Signal			-80.48	dBm
Received Signal			21.18	μV
Fade Margin			35.64	dB

(Πίνακας 5-11: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος)

5.4.7 Συμπεράσματα – Διαπιστώσεις επί των Παραδειγμάτων

ΜΟΝΑΔΑ COMINT			
	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ 225 (MHz)	ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ 50 (MHz)
Π1	30,097 km	-104,7 dBm	-72,72 dBm
Π2	62,154 km	-92,35 dBm	-80,48 dBm

(Πίνακας 5-12: Σύγκριση ισχύος ληφθέντων φίλων σημάτων από την αντίπαλη μονάδα, συναρτήσει των μεταξύ τους αποστάσεων)

Μειώνοντας την ισχύ εξόδου του Π1 από τα 25 στα 10 W για το σήμα στα VHF (με την παραδοχή ότι καλύπτει τις ημέτερες απαιτήσεις, το ληφθέν σήμα ελαττώνεται στα -77 dBm, ενώ αντίστοιχη ενέργεια για τα UHF διαμορφώνει το ληφθέν σήμα στα -109 dBm. Επίσης, παρατηρείται ότι στην μπάνα των UHF, η επίδραση των φυσικών εμποδίων που παρεμβάλλονται, εξασθενούν σημαντικά την

ισχύ, ενώ στην μπάντα των VHF, λόγω της μικρότερης συχνότητας, η επίδραση είναι μικρότερη, με αποτέλεσμα η φίλια εκπομπή να κατευθύνεται και σε περιοχές του αντιπάλου με υπολογίσιμη ισχύ, γεγονός που συμβάλλει θετικά για τον αντίπαλο στη σύνθεση πιο αξιόπιστης Ε.Ο.Β.

5.5 Υπολογισμός της Επίδρασης της Παρεμβολής Θορύβου στα Δοθέντα Παραδείγματα

Αντίστοιχα, έστω ότι στην αυτή θέση της μονάδας «COMINT», υφίσταται και παρεμβολέας, με δυνατότητα παρεμβολής στις ανωτέρω συχνότητες και διαμορφώσεις και ισχύ εκπομπής 2000W και κατευθυντική κεραία κέρδους 15 dB, προς όλες τις διευθύνσεις. Η επίδραση της παρεμβολής σε αμφοτέρους τις φίλιες μονάδες παρατίθεται στους κάτωθι πίνακες:

JAMMER VS Π1

Radio system		Propagation	
TX power	63.01 dBm	Free space loss	109.02 dB
TX line loss	3.00 dB	Obstruction loss	31.52 dB
TX antenna gain	15.00 dBi	Forest loss	1.00 dB
RX antenna gain	0.00 dBi	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00 dB	Statistical loss	16.15 dB
RX sensitivity	-111.58 dBm	Total path loss	157.68 dB
Performance			
Distance		30.097	km
Precision		15.1	m
Frequency		225.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power		31697.864	W
System gain		183.59	dB
Required reliability		90.000	%
Received Signal		-85.67	dBm
Received Signal		11.65	μV
Fade Margin		25.91	dB

(Πίνακας 5-13: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από την μονάδα Π1 στη συχνότητα 225 MHz)

Radio system			Propagation	
TX power	63.01	dBm	Free space loss	95.95 dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	12.90 dB
TX antenna gain	15.00	dBi	Forest loss	1.00 dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.84 dB
RX sensitivity	-111.58	dBm	Total path loss	125.70 dB
Performance				
Distance			30.097 km	
Precision			15.1 m	
Frequency			50.000 MHz	
Equivalent Isotropically Radiated Power			31697.864 W	
System gain			183.59 dB	
Required reliability			90.000 %	
Received Signal			-53.68 dBm	
Received Signal			463.19 μV	
Fade Margin			57.90 dB	

(Πίνακας 5-14: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από την μονάδα Π1 στη συχνότητα 50 MHz)

JAMMER VS Π2

Radio system			Propagation	
TX power	63.01	dBm	Free space loss	115.31 dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	13.85 dB
TX antenna gain	15.00	dBi	Forest loss	1.00 dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.17 dB
RX sensitivity	-111.58	dBm	Total path loss	145.33 dB
Performance				
Distance			62.154 km	
Precision			31.1 m	
Frequency			225.000 MHz	
Equivalent Isotropically Radiated Power			31697.864 W	
System gain			183.59 dB	
Required reliability			90.000 %	
Received Signal			-73.32 dBm	
Fade Margin			38.26 dB	

(Πίνακας 5-15: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από την μονάδα Π2 στη συχνότητα 225 MHz)

Radio system			Propagation	
TX power	63.01	dBm	Free space loss	102.25 dB
TX line loss	3.00	dB	Obstruction loss	16.58 dB
TX antenna gain	15.00	dB	Forest loss	1.00 dB
RX antenna gain	0.00	dB	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	13.63 dB
RX sensitivity	-111.58	dBm	Total path loss	133.46 dB
Performance				
Distance			62.154	km
Precision			31.1	m
Frequency			50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power			31697.864	W
System gain			183.59	dB
Required reliability			90.000	%
Received Signal			-61.45	dBm
Received Signal			189.48	μV
Fade Margin			50.13	dB

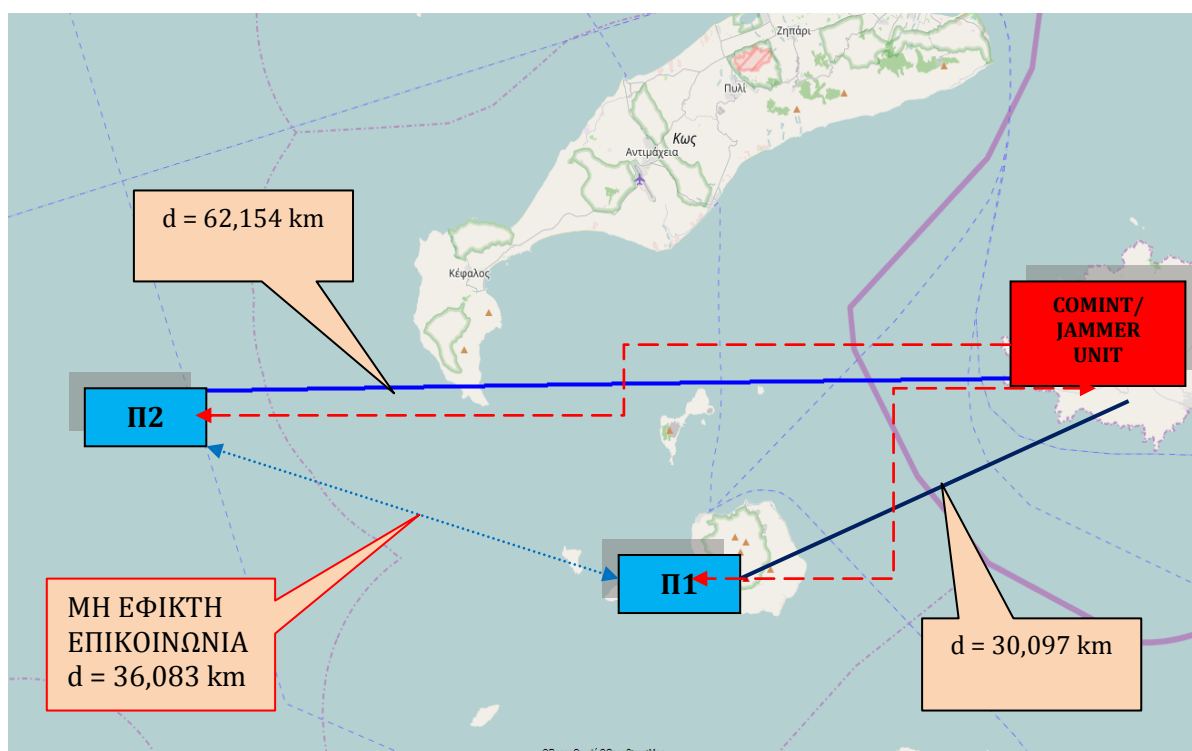
(Πίνακας 5-16: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα από την μονάδα Π2 στη συχνότητα 50 MHz)

Συγκρίνοντας τις ανωτέρω τιμές με τα αντίστοιχα επίπεδα λήψης μεταξύ των Π1 και Π2 αντίστοιχα, προκύπτουν τα εξής:

ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ			
	ΑΠΟΣΤΑΣΗ	ΛΗΨΗ JAMMING ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 225 (MHz)	ΛΗΨΗ JAMMING ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 50 (MHz)
Π1	30,097 km	-85,67 dBm	-53,68 dBm
Π2	62,154 km	-73,32 dBm	-61,45 dBm
ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΜΕΤΑΞΥ Π1 – Π2			
ΕΠΙΠΕΔΟ ΛΗΦΘΕΝΤΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ		ΣΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 225 (MHz)	ΣΕ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ 50 (MHz)
		-105,3 dBm	-112,86 dBm
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΤΟ Π1 ΕΙΝΑΙ ΔΕΚΤΗΣ		$(J/S)_{dB} = -85,67 - (-105,3) = 19,63 \text{ dB.}$	$(J/S)_{dB} = -53,68 - (-105,3) = 51,62 \text{ dB.}$
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΟΠΟΥ ΤΟ Π2 ΕΙΝΑΙ ΔΕΚΤΗΣ		$(J/S)_{dB} = -73,32 - (-105,3) = 31,98 \text{ dB.}$	$(J/S)_{dB} = -61,45 - (-105,3) = 43,85 \text{ dB.}$

(Πίνακας 5-17: Εποπτική παρουσίαση των δυνατοτήτων του παρεμβολέα έναντι των Π1,Π2 στο σύνολο των συχνοτήτων)

Οι ανωτέρω λόγοι $(J/S)_{dB}$ συνιστούν **απαγορευτικές τιμές** για την επίτευξη οιασδήποτε μορφής ασύρματης επικοινωνίας με τα υφιστάμενα μέσα. Σαφώς στο γεγονός αυτό συμβάλλει από την πλευρά της φίλιας διάταξης η σχετικά μεγάλη απόσταση μεταξύ των Π1 και Π2 (36 km). Βέβαια και σε μια άλλη περίπτωση όπου τα επίπεδα των ληφθέντων φίλιων σημάτων είναι βελτιωμένα, ο παρεμβολέας, λόγω τοποθεσίας και ισχύος συνήθως υπερσχύει στο σύνολο των δικτύων σταθερής συχνότητας (αναλογικά ψηφιακά), ενώ στο δίκτυο με εφαρμογή τεχνική «**αναπήδησης συχνότητας**» στην μπάντα των VHF (30- 88 MHz και ως εκ τούτου χρησιμοποιούμε για τους υπολογισμούς της διάδοσης μια μέση τιμή από το εύρος, ήτοι 50 MHz), ενίοτε είναι αναποτελεσματικός. Στο ανωτέρω όμως παράδειγμα ακόμη και η χρήση της τεχνικής «**frequency hopping**», δεν είναι αποτελεσματική, καθόσον ο αντίπαλος επιτυγχάνει λόγο $(J/S)_{dB} \gg 29 \text{ dB}$, που αποτελεί την ελάχιστη τιμή για την επίτευξη της παρεμβολής στο εν λόγω δίκτυο.



(Σχήμα 5-12: Γεωγραφική απεικόνιση της διάταξης των φίλιων μονάδων και της αντίπαλης μονάδας)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

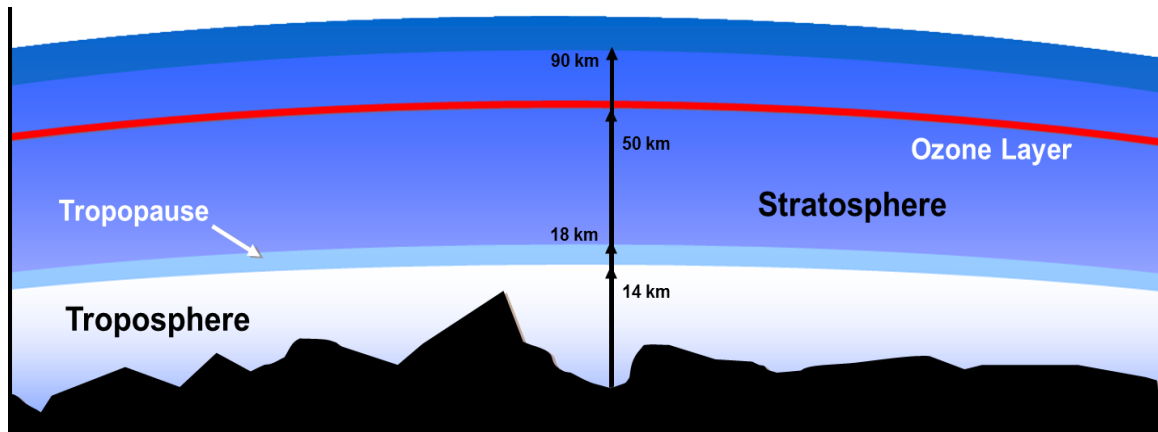
ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΩΝ Η/Μ ΚΥΜΑΤΩΝ SHF ΜΕΣΩ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ (TROPOSCATTER PROPAGATION OF SHF RADIO WAVES)

6.1. Η Έννοια της Σκέδασης στην Τροπόσφαιρα

Η σκέδαση (**scatter**) αποτελεί ένα ανεπιθύμητο φαινόμενο κατά τη διάδοση μέσω της ατμόσφαιρας ενός Η/Μ κύματος με μήκος κύματος της τάξης των μερικών εκατοστών (cm) και κάτω, καθόσον λόγω της πρόσπτωσης του κύματος επί των μορίων του οξυγόνου (O_2) και των υδρατμών (H_2O), που υφίστανται, μέρος της ακτινοβολίας **σκεδάζεται**, ήτοι ακτινοβολείται προς διάφορες διευθύνσεις, προκαλώντας έτσι εξασθένηση της ισχύος του σήματος. Πάνω στο φαινόμενο αυτό εδράζεται η αρχή της διάδοσης ενός Η/Μ κύματος, μέσω της τροποσφαιρικής σκέδασης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επίτευξη της ανωτέρω διάδοσης, αποτελεί η ύπαρξη ενός πομπού και ενός δέκτη, με χρήση κεραιών υψηλού κέρδους (κατευθυντικές κεραιές), οι οποίες είναι προσανατολισμένες με τρόπο τέτοιο, ώστε εάν προεκταθεί ο άξονας εκάστης κεραιάς (και κατ' επένταση η κατευθυνόμενη ακτινοβολία), να τμήσει την προέκταση της έτερης κεραιάς επί ενός κατάλληλου σημείου της τροπόσφαιρας, δημιουργώντας έτσι μια κοινή τομή (**common volume**).

Λόγω της πρόσπτωσης της εκπεμπόμενης Η/Μ ακτινοβολίας, μέρος της ενέργειας αυτής υφίσταται σκέδαση, εντός της σχηματιζόμενης περιοχής του «common volume», με αποτέλεσμα να κατευθύνεται προς το δέκτη. Με τη διαδικασία αυτή είναι εφικτή η επίτευξη ασύρματων ζεύξεων σε υψηλές συχνότητες (UHF/SHF), σε αποστάσεις πολύ πέραν του L.o.S/ και του μέχρι τούδε Beyond L.o.S, λόγω περιθλασης (ενδεικτικές τιμές περί τα 200-300 km), εάν λάβουμε υπόψη ότι οι αντίστοιχες ζεύξεις L.o.S/Beyond L.o.S που επιτυγχάνονται μεταξύ πολεμικών πλοίων, ανέρχονται σε αποστάσεις περί τα 30-40 km. Μειονέκτημα αυτού του είδους ζεύξης, δύναται να θεωρηθεί ότι επιτυγχάνεται κάθε φορά μόνο μεταξύ δύο συνδρομητών (**point - to point**). Στο παρακάτω σχήμα²⁵, παρατίθεται εποπτικά η διαστρωμάτωση της ατμόσφαιρας στα χαμηλότερα επίπεδά της.

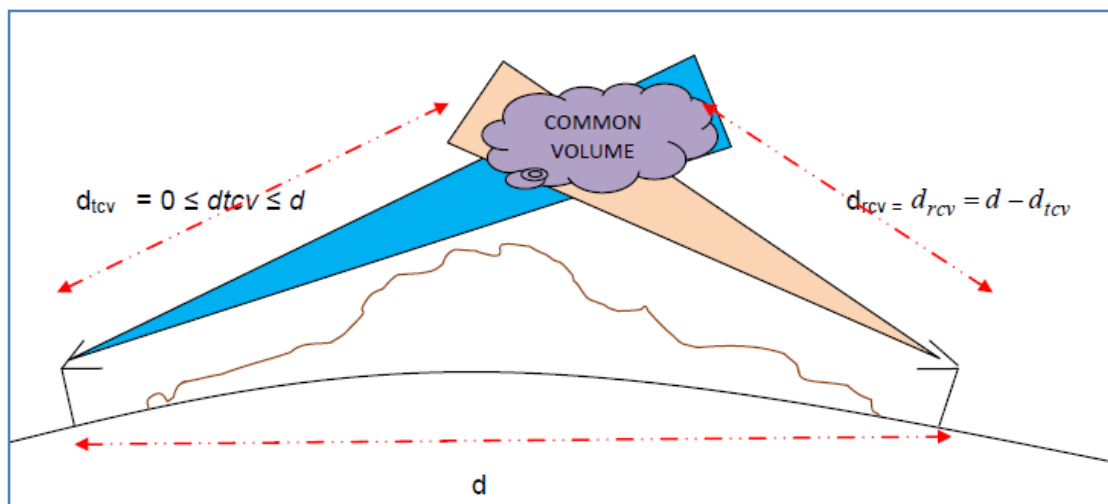
²⁵ Comtech Systems, Inc., *Atmospheric Diagram introduction to Troposcatter Communications*



(Σχήμα 6-1: Κατακόρυφη διάρθρωση των κατωτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας. Η περιοχή ενδιαφέροντος για την ανωτέρω εφαρμογή αποτελεί η τροπόσφαιρα)

6.2. Η Εξίσωση Υπολογισμού των Απωλειών Κατά την Διαδρομή Διάδοσης Μέσω της Τροποσφαιρικής Σκέδασης

Έστω λοιπόν στο παρακάτω σχήμα δύο κεραίες για αόρατη ζεύξη μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης:



(Σχήμα 6-2: Σχηματική αναπαράσταση της απαιτούμενης διάταξης των κεραιών για την επίτευξη ζεύξης μέσω της τροποσφαιρικής σκέδασης)

$$\text{Ισχύει ότι: } d_{tcv} = \frac{d \tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e) - 0.001(h_{ts} - h_{rs})}{\tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e) + \tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e)} \text{ (km)}^{26}, \text{ όπου:}$$

θ_{rpos} , θ_{rpos} αντίστοιχα οι γωνίες ύψωσης, ως προς τον εκάστοτε ορίζοντα με τιμές από μηδέν και άνω. (mrad), (όπου $1 \text{ rad} = 57,295^\circ$, η τιμή $57,3^\circ$ θα χρησιμοποιείται για υπολογισμούς).

$$\theta_e = d/\alpha_e \text{ (rad)}$$

Από τα ανωτέρω προκύπτει το μέγεθος θ «γωνία σκέδασης» (scatter angle), η οποία ισούται με :

$$\theta = \theta_{rpos} + \theta_{rpos} + \theta_e \text{ (mrad)}.$$

Η γωνιακή απόσταση d_s ισούται με: $d_s = 0.001\theta a_e \text{ (km)}$

Το ύψος του «common volume» ισούται με :

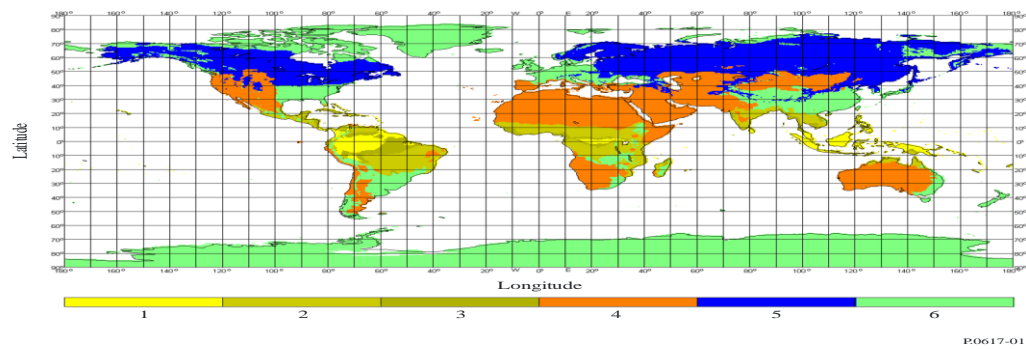
$$h_{cv} = h_{ts} + 1000d_{tcv} \tan(0.001\theta_{rpos}) + \frac{1000d_{tcv}^2}{2a_e} \text{ (Metres above sea level)}$$

Επειδή το δημιουργηθέν «common volume» εξαρτάται από την «ένταση» της σκέδασης, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από τη συγκέντρωση των σωματιδίων της ατμόσφαιράς, ο International Telecommunications Union (ITU)²⁷ έχει κατανείμει την υδρόγειο σε περιοχές, βάσει των οποίων εξάγονται στοιχεία για τις παραμέτρους (γ) και (M) για τον υπολογισμό των αντίστοιχων απωλειών²⁸, όπως παρατίθεται στο σχήμα (6-2) και στον πίνακα (6-1).

²⁶ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2 A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHZ TO 50 GHZ pp 17,(07/2015)

²⁷RECOMMENDATION ITU-R P.617-3, PROPAGATION PREDICTION TECHNIQUES AND DATA REQUIRED FOR THE DESIGN OF TRANS-HORIZON RADIO-RELAY SYSTEMS , pp 5 (09/2013).

²⁸ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2 A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHZ TO 50 GHZ ATTACHMENT E,(07/2015)- RECOMMENDATION ITU-R P.617-3, PROPAGATION PREDICTION TECHNIQUES AND DATA REQUIRED FOR THE DESIGN OF TRANS-HORIZON RADIO-RELAY SYSTEMS , pp 6,7 (09/2013).



(Σχήμα 6-3: Values of meteorological and atmospheric structure parameters).

Climate	1	2	3	4	5	6	Sea*
M (dB)	39.60	29.73	19.30	38.50	29.73	33.20	26.00
γ (km ⁻¹)	0.33	0.27	0.32	0.27	0.27	0.27	0.27

* Sea is coded as 0 in the TropoClim.txt

(Πίνακας 6-1: Αριθμητική τιμή των παραμέτρων (M), (γ) για τις διάφορες περιοχές της Υδρογείου, βάσει του διαχωρισμού του σχήματος 6-3)

Υπολογίζουμε τις απώλειες (L_N) που προκύπτουν από το ύψος του «common volume»:

$$(L_N)_{dB} = 20 \cdot \log(5 + \gamma \cdot H) + 4,34 \cdot \gamma \cdot h, \text{ όπου:}$$

$$H = 10^{-3} \cdot \theta \cdot d / 4 \text{ (km)}, h = 10^{-6} \cdot \theta^2 \cdot \alpha_c / 8 \text{ (km)}$$

Estimate the conversion factor $Y(q)$ for non-exceedance percentages q other than 50% from: $Y(q) = C(q) \cdot Y(90)$ (dB).

Here $Y(90)$ is the conversion factor for $q = 90\%$ given by the appropriate equation (7-11) as indicated in Table for the climate in question:

$$Y_{90} = \begin{cases} -11.5 & d_s < 100 \\ -8.519 \cdot 10^{-8} d_s^3 + 7.444 \cdot 10^{-5} d_s^2 - 4.18 \cdot 10^{-4} d_s - 12.1 & 100 \leq d_s < 550, (\text{περιοχή}) \\ -4.0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ελλάδας)

$$Y_{90} = -9.5 - 3 \exp(-0.137h) \text{ (over sea)}$$

The coefficient $C(q)$ for the non-exceedance percentage of time q in question can be obtained from Table:

q	50	90	99	99.9	99.99
$C(q)$	0	1	1.82	2.41	2.90

(Πίνακας 6-2: Αριθμητική τιμή των παραμέτρων q , $C(q)$)

Estimate the aperture-to-medium coupling loss L_c from:

$$(L_c)_{dB} = 0,07 \cdot \exp(0,055(G_t + G_r))$$

Estimate the average annual transmission loss (L_q) not exceeded for $q\%$ of the time from:

$$(L_q)_{dB} = M + 30 \cdot \log(f)_{MHz} + 10 \cdot \log(d) + 30 \cdot \log(\theta) + (L_N)_{dB} + (L_c)_{dB} - G_r - G_t + Y(q)$$

Επισημαίνεται ότι οι συνολικές απώλειες κατά την ανωτέρω εφαρμογή περιλαμβάνουν και τις απώλειες από την επίδραση των καιρικών φαινομένων και τα μόρια του οξυγόνου και των υδρατμών της τροπόσφαιρας, μετρούμενες αθροιστικά από τον πομπό προς το «common volume» και από το «common volume» προς το δέκτη. Επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι απώλειες, λόγω περιθλασης, όχι όμως αθροιστικά, αλλά ως ένα ποσοστό αυτών.²⁹

6.3. Τεχνικές Περιορισμού/Καταστολής των Απωλειών Κατά την Τροποσφαιρική Διάδοση³⁰

Από την εξίσωση της παραγράφου 6.2, που περιγράφει το σύνολο των απωλειών, παρατηρούμε ότι υφίστανται μεταβλητές, οι οποίες παρουσιάζουν εποχιακή διακύμανση. Οι μέγιστες τιμές που λαμβάνουν, δύνανται να επηρεάσουν σημαντικά την απόδοση ενός δικτύου που βασίζεται στη διάδοση μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης. Ως εκ τούτου, δύνανται να εφαρμοσθεί η διαδικασία της «**ποικιλόμορφης λήψης (diversity reception)**», η οποία υλοποιείται με τις κάτωθι μεθόδους:

²⁹ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2, A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHz TO 50 GHz, pp 21 (07/2015)

³⁰ RECOMMENDATION ITU-R P.617-3, PROPAGATION PREDICTION TECHNIQUES AND DATA REQUIRED FOR THE DESIGN OF TRANS-HORIZON RADIO-RELAY SYSTEMS, pp 8,9,10 (09/2013).

Χρήση δύο κεραιών για λήψη με μεταξύ τους διαχωρισμό (**space diversity**) (είτε κατά την οριζόντια απόσταση είτε κατά την κατακόρυφη), με εφαρμογή για συχνότητες άνω του 1 GHz, των εμπειρικών τύπων:

$$\Delta h = 0.36 \left(D^2 + 4I_h^2 \right)^{1/2} \text{ (οριζόντια περίπτωση)}$$

$$\Delta v = 0.36 \left(D^2 + 4I_v^2 \right)^{1/2} \text{ (κατακόρυφη περίπτωση)}$$

Όπου D η διάμετρος της κεραίας σε (m) και $I_h = 20$ m and $I_v = 15$ m are empirical scale lengths in the horizontal and vertical directions, respectively.

Χρήση δύο διαφορετικών συχνοτήτων κατά τη λήψη (**frequency diversity**). Κατά την τεχνική αυτή, απαιτείται η εφαρμογή διαχωρισμού συχνοτήτων για τις ανωτέρω (**frequency separation**) $(\Delta f)_{\text{MHz}}$, η οποία για συχνότητες άνω του 1GHz, δίδεται από τον τύπο:

$$\Delta f = (1.44 f / \theta d) \left(D^2 + I_v^2 \right)^{1/2},$$

6.4. Αριθμητικό Παράδειγμα Υπολογισμού των Απωλειών, Κατά τη Διάδοση Μέσω Τροποσφαιρικής Σκέδασης

Έστω λοιπόν δύο πλοία στην περιοχή του Αιγαίου, Π1 και Π2 τα οποία κατέχουν συστήματα διάδοσης μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης, όπου το Π1 εκπέμπει και το Π2 λαμβάνει, με αντίστοιχα στοιχεία, ως παρατίθενται στον κάτωθι πίνακα:

ΠΟΜΠΟΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΔΕΚΤΗΣ
ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ: 1000W	4500 MHz	$G_r = 32$ dB
	ΑΠΟΣΤΑΣΗ (d)	$\theta_{\text{tpos}} = 0^\circ$
	150 km	$h_2 = 6$ m
$G_t = 35$ dB	$\alpha_c = 8470$ km	ΖΗΤΕΙΤΑΙ: ΤΟ ΛΗΦΘΕΝ ΣΗΜΑ
$\theta_{\text{tpos}} = 0^\circ$		
$h_1 = 15$ m		

(Πίνακας 6-3: Παράμετροι λειτουργίας των συμμετεχουσών μονάδων κατά την ζεύξη.)

Να υπολογισθεί η ισχύς του ληφθέντος σήματος, με την παραδοχή ότι δεν υφίστανται έτερες απώλειες κατά την ανωτέρω διάδοση.

- Το ύψος του «common volume» δύναται να υπολογισθεί με δύο τρόπους, ως παρατίθεται. Θα επιλέξουμε τον τύπο ($h = 10^{-6} * \theta^2 * \alpha_e / 8$)_(km) για απλούστευση των πράξεων.
- $\theta_e = d / \alpha_e \text{ (rad)} = 150 / 8470 = 0,0177$. $\theta = \theta_{\text{tpos}} + \theta_{\text{rpos}} + \theta_e \text{ (mrad)} = 0 + 0 + 17,7 = 17,7$
- $h_{\text{(km)}} = 10^{-6} * \theta^2 * \alpha_e / 8 = (10^{-6} * 17,7^2 * 8470) / 8 = 0,33317 \text{ km}$.
- $H_{\text{(km)}} = 10^{-3} * \theta * d / 4 = (10^{-3} * 17,7 * 150) / 4 = 0,66375 \text{ km}$.

Υπολογίζουμε τις απώλειες ,λόγω ύψους του «common volume»:

- $(L_N)_{\text{dB}} = 20 * \log(5 + \gamma * H) + 4,34 * \gamma * h = 20 * \log(5 + 0,27 * 0,6638) + (4,34 * 0,27 * 0,3332) = 14,285 + 0,39 = 14,675 \text{ dB}$.

Υπολογίζουμε τις απώλειες ,λόγω του φαινομένου «aperture-to-medium coupling loss» μεταξύ των δύο κεραίων:

- $(L_c)_{\text{dB}} = 0,07 * \exp(0,055(G_t + G_r)) = 0,07 * \exp(0,055 * (35 + 32)) = 0,07 * 39,845 = 2,79 \text{ dB}$.

Υπολογίζουμε το συντελεστή απωλειών $Y(q)$, βάσει του τύπου:

- $Y(q) = C(q) * Y(90)$, όπου η παράμετρος $C(q)$ δύναται να λάβει τιμές από $[0, 2.90]$
- $Y_{90} = -9,5 - 3 \exp(-0,137h) = -9,5 - 3 * \exp(0,137 * 0,3332) = -9,5 - 3,14 = -12,64$

Η ευνοϊκότερη περίπτωση είναι να λάβει τιμή 0 και μια δυσμενής περίπτωση να λάβει τιμή $Y(q) = C(90) * Y(90) = 1 * 12,64 = 12,64 \text{ dB}$.

Συνεπώς, θα ισχύει:

- $P_r = (ERP)_{\text{Pt}} - (M + 30 * \log(f)_{\text{MHz}} + 10 * \log(d) + 30 * \log(\theta) + (L_N)_{\text{dB}} + (L_c)_{\text{dB}}) + Y(q) + G_r$.

$$(ERP)_{\text{Pt}} = (10 * \log(1000) + 35)_{\text{dB}} = 30 + 35 = 65 \text{ dB}.$$

- $M = 26$. $30 * \log(f) = 30 * \log(4500) = 109,6 \text{ dB}$. $10 * \log(d) = 10 * \log(150) = 21,76 \text{ dB}$.
- $30 * \log(\theta) = 30 * \log(17,7) = 37,44 \text{ dB}$.

- $(L_N)_{dB} = 14,675 \text{ dB}$.
- $(L_c)_{dB} = 2,79 \text{ dB}$. $\Upsilon(q) = 12,64 \text{ dB}$.

$$\text{Συνεπώς, } P_r = 65 - (26 + 109,6 + 21,76 + 37,44 + 14,675 + 2,79 + 12,64) + 32 = 65 + 32 - 224,91 = -127,91 \text{ dB} = \mathbf{-97,91 \text{ dBm.}}$$

6.5. Αριθμητικό Παράδειγμα

Με τα διατιθέμενα συστήματα στην αγορά, δύναται να επιτευχθεί μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων (της τάξης ακόμη και των δεκάδων Mbps). Διαθέτουν επίσης F.E.C για βελτίωση του λόγου $(E_b0/N_0)_{dB}$. Έστω λοιπόν ότι ένα αντίστοιχο σύστημα λειτουργεί με τις κάτωθι παραμέτρους:

BANDWIDTH	1 MHz		2 MHz		8 MHz	
DATA RATE	0,8 Mbps		4 Mbps		16 Mbps	
NOISE FIGURE	6 dB					
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (T)	290 K					
BER	10 [^] (-4)	10 [^] (-6)	10 [^] (-7)	10 [^] (-8)	10 [^] (-10)	
Eb0/(N0) _{dB}	5	7	7,5	8	9	

(Πίνακας 6-4: Παράμετροι λειτουργίας της ψηφιακής διαμόρφωσης του παραδείγματος κατά την ζεύξη.)

- ☐ Από τις κάτωθι εξισώσεις, έστω για την περίπτωση bandwidth: 2 MHz – data rate: 4 Mbps, και με στοιχείο εισόδου $P_r = -97,91 \text{ dBm}$, προκύπτουν τα εξής:
- ☐ $P_r = (KTB)_{dB} + (\text{Noise figure})_{dB} + (C/N)_{dB}$
- ☐ $(KTB)_{dB} = -140,97 \text{ dB} = -110,97 \text{ dBm}$.
- ☐ Συνεπώς, $(C/N)_{dB} = -97,91 + 110,97 - 6 = 7,06 \text{ dB}$
- ☐ $(C/N)_{dB} = 10 \cdot \text{LOG}(E_b0/N_0) + 10 \cdot \text{LOG}(\text{Data Rate}/BW)$

Επομένως, $(E_b0/N_0) = 7,06 - 10 \cdot \log(4/2) = 7,06 - 3 = 4,06 \text{ dB}$.

Παρατηρούμε ότι με την ανωτέρω τιμή, δεν δύναται να επιτευχθεί επικοινωνία, και συνεπώς είτε θα αυξηθεί η ισχύς του Π1, ώστε το σήμα εισόδου P_r να αυξηθεί, είτε θα ελαττωθεί ο λόγος (data rate/bandwidth).

Έστω λοιπόν η περίπτωση με bandwidth: 1 MHz – data rate: 0,8 Mbps, και με στοιχείο εισόδου $P_r = -97,91$ dBm. Βάσει των ανωτέρω εξισώσεων θα προκύψει:

- $(KTB)_{dB} = -143,97$ dB = $-113,97$ dBm.
- Συνεπώς, $(C/N)_{dB} = -97,91 + 113,97 - 6 = 710,06$ dB
- $(E_b/N_0) = 10,06 - 10 \cdot \log(0,8/1) = 10,06 - (-0,97) = 11,03$ dB.

Στην περίπτωση αυτή, καθίσταται εφικτή η επίτευξη λόγου $BER \ll 10^{-7}$, ικανού για την επίτευξη επικοινωνίας. Επειδή όπως αναφέρθηκε οι μεταβλητές απώλειες $Y(q)$ δύναται να λάβουν τιμή τοπικά και χρονικά μεγαλύτερη του παραδείγματος, τα εν λόγω συστήματα διαθέτουν κεραίες υψηλού κέρδους (>30 dB) και επαρκή ισχύ εξόδου, ώστε η επιτευχθείσα E.R.P να είναι της τάξης περί των 70 dB και εν τέλει το ληφθέν σήμα να μπορεί να επεξεργασθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7:

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ/ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΔΙΑΔΟΣΗ ΕΝΟΣ Η/Μ ΚΥΜΑΤΟΣ, ΕΞΑΙΤΙΑΣ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΗΣ ΒΡΟΧΗΣ, ΤΗΣ ΟΜΙΧΛΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΝΕΦΩΝ

7.1 Γενικά

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το Η/Μ κύμα κατά τη διάδοσή του μέσω του αέρα, υφίσταται εξασθενήσεις, προσερχόμενες από τα μόρια των υδρατμών και του οξυγόνου. Επίσης, η βροχόπτωση προκαλεί και αυτή επιπρόσθετη εξασθένιση όπως και η ομίχλη και η νέφωση. Κύριο χαρακτηριστικό του μεγέθους της προξενούμενης εξασθένισης, συνιστά η φέρουσα συχνότητα και ενίοτε και η πόλωση του Η/Μ κύματος. Όσο υψηλότερη, τόσο ισχυρότερη η επίδραση αυτή. Μάλιστα σε ορισμένες περιπτώσεις στην μπάντα των ΕΗF, παρατηρούνται απώλειες τόσο υψηλές, ώστε να καθίσταται αδύνατη η διάδοση ενός τέτοιου κύματος πέραν των μερικών χιλιομέτρων. Θα εξετάσουμε λοιπόν την επίδραση εκάστης παραμέτρου ξεχωριστά, αλλά η παραγόμενη απώλεια λαμβάνεται **αθροιστικά**.

7.2. Απορρόφηση από τα Αέρια της Ατμόσφαιρας (Atmosphere's Gaseous Absorption)³¹

Διακρίνεται σε απορρόφηση εξαιτίας των μορίων του οξυγόνου (O_2) και των μορίων των υδρατμών (H_2O) της ατμόσφαιρας. Σχετίζεται με τη συχνότητα του Η/Μ κύματος και από το ύψος της κεραίας. Όσο πιο κοντά υψομετρικά στο επίπεδο θαλάσσης ευρίσκεται η κεραία, τόσο μεγαλύτερες και οι υφιστάμενες απώλειες, λόγω της αυξημένης πυκνότητας των ανωτέρω μορίων. Ειδικότερα η επίδραση των υδρατμών, διακρίνεται σε περίπτωση βροχής και μη. Αναλυτικότερα, στον κάτωτι πίνακα, περιγράφεται το σύνολο των εξισώσεων, που αφορούν στην επιμέρους απορρόφηση:

³¹ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2, A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHZ TO 50 GHZ, ATTACHMENT F (07/2015)

7.2.1 Απορρόφηση από τα Μόρια του Οξυγόνου

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ (O ₂)	
- h_{ts}, h_{rs} : ύψος κεραιών από το επίπεδο θαλάσσης (m) - $h_{rho} = (h_{ts} + h_{rs}) * 1/2$ (m)	
Sea-level specific attenuation due to oxygen (dB/km):	
$\gamma_o = \left[\frac{7.2}{f^2 + 0.34} + \frac{0.62}{(54 - f)^{1.16} + 0.83} \right] f^2 \cdot 10^{-3} \quad (f)_{GHz} \leq 54$	
Attenuation due to oxygen:	
$A_{osur} = \gamma_o d \exp\left(-\frac{h_{rho}}{5000}\right) \quad (dB)$	

(Πίνακας 7-1: Εξίσωση υπολογισμού απωλειών, λόγω των μορίων του O₂ για συχνότητες έως 54 GHz.)

7.2.2 Απορρόφηση από τα Μόρια των Υδρατμών

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΛΟΓΩ ΤΩΝ ΥΔΡΑΤΜΩΝ (H ₂ O)	
- h_{ts}, h_{rs} : ύψος κεραιών από το επίπεδο θαλάσσης (m) - $h_{rho} = (h_{ts} + h_{rs}) * 1/2$ (m)	
Sea-level specific attenuation due to water-vapour (dB/km):	
$\gamma_w = \left\{ 0.046 + 0.0019 \rho_{sea} + \frac{3.98 \eta}{(f - 22.235)^2 + 9.42 \eta^2} \left[1 + \left(\frac{f - 22}{f + 22} \right)^2 \right] \right\} f^2 \rho_{sea} \cdot 10^{-4} \quad (f)_{GHz} \leq 54$	
$\eta = 0.955 + 0.006 \rho_{sea}$ γ_w : non -rain, γ_{wr} : rain	
ΘΕΡΟΣ: $\eta = 0,955 + 0,006 * 14,3542 = 1,04113$ (non-rain conditions)	ΧΕΙΜΩΝΑΣ: $\eta = 0,955 + 0,006 * 3,4742 = 0,97585$ (non-rain conditions)
(RAIN CONDITIONS): $\rho_{sea} = 14,3542 * \exp(h_{rho}/2000)$ $\eta = 0,955 + 0,006 * \rho_{sea}$	(RAIN CONDITIONS): $\rho_{sea} = 3,4742 * \exp(h_{rho}/2000)$ $\eta = 0,955 + 0,006 * \rho_{sea}$
Attenuation due to water-vapour: (dB)	
$A_{wsur} = \gamma_w * d * \exp(-h_{rho}/2000)$	$A_{wrsur} = \gamma_{wr} * d * \exp(-h_{rho}/2000)$

(Πίνακας 7-2 : Εξίσωση υπολογισμού απωλειών, λόγω των μορίων των υδρατμών για συχνότητες έως 54 GHz.)

7.2.3 Αριθμητικό Παράδειγμα

Για παράδειγμα, έστω ένας πομπός και ένας δέκτης σε μεταξύ τους απόσταση $d=50$ km, με συχνότητα λειτουργίας $f = 225$ MHz, ύψος κεραιών 30 και 15 μέτρα αντίστοιχα. Να υπολογισθούν οι απώλειες, λόγω των ανωτέρω αερίων κατά τη χειμερινή περίοδο, άνευ βροχόπτωσης.

- $h_{rho} = (h_{ts} + h_{rs}) * 1/2 = (30+15)/2 = 22,5$ m.
- $\gamma_o = 0,000933, \gamma_w = 1,19 * 10^{-6}$
- $A_{osur} = 50 * 9,33 * 10^{-4} * \exp(-22,5/5000) = 0,04644$ dB.
- $A_{wsur} = 50 * 1,19 * 10^{-6} * \exp(-22,5/2000) = 0,0000592$ dB.
- Συνεπώς, η συνολική εξασθένηση είναι: 0,04652 dB.

Παρατηρούμε ότι η εξασθένηση για την εν λόγω συχνότητα είναι σχεδόν αμελητέα. Αντίθετα, εάν $f = 1$ GHz για το δοθέν παράδειγμα, τότε οι απώλειες ανέρχονται σε 0,27 dB, ενώ για $f = 10$ GHz, ανέρχονται σε 0,53 dB.

7.3. Απορρόφηση από την Ομίχλη και τα Νέφη³²

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΛΟΓΩ ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΝ	
The specific attenuation within a cloud or fog can be written as: $\gamma_c = K_l * M \quad (\text{dB/km})$	
- γ_c : specific attenuation (dB/km) within the cloud	
- K_l : specific attenuation coefficient ((dB/km)/(g/m ³))	
$K_l = \frac{0.819 f}{\epsilon'' (1 + \eta^2)} \quad (f)_{\text{GHz}} \quad \text{και} \quad \eta = \frac{2 + \epsilon'}{\epsilon''}$	
$\epsilon'(f) = \left[\frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{1 + (f/f_p)^2} \right] + \left[\frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{1 + (f/f_s)^2} \right] + \epsilon_2$	
$\epsilon''(f) = \frac{f(\epsilon_0 - \epsilon_1)}{f_p [1 + (f/f_p)^2]} + \frac{f(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{f_s [1 + (f/f_s)^2]}$	
- $f_p = 20.20 - 146 (\theta - 1) + 316 (\theta - 1)^2$ - $f_s = 39.8 f_p$ - $\theta = 300 / T$ (K) - $T_k = T_c + 273,15$ - $\epsilon_2 = 3.52$ - $\epsilon_0 = 77.66 + 103.3 (q - 1)$	
- M : liquid water density in the cloud or fog (g/m ³) <u>Ενδεικτικές τιμές, ως εξής:</u> - Πυκνή ομίχλη (ορατότητα της τάξης των 50m) M : 0,5 - Μέτρια ομίχλη (ορατότητα της τάξης των 300m) M : 0,05	

(Πίνακας 7-3: Εξίσωση υπολογισμού απωλειών, λόγω της ομίχλης ή νέφωσης)

³² RECOMMENDATION ITU-R P.840-6, ATTENUATION DUE TO CLOUDS AND FOG, pp 3,4 (09/2013)

7.3.1 Αριθμητικό Παράδειγμα

Για το παράδειγμα της παραγράφου 7.2.3, έστω ότι κατά μήκος της διαδρομής υφίσταται ομίχλη, η οποία ακολουθεί την κανονική κατανομή, με τιμή $M = 0,02 \text{ g/m}^3$. Να υπολογισθούν οι απώλειες λόγω αυτής.

Εφαρμόζοντας τους ανωτέρω τύπους, προκύπτει ότι οι εν λόγω απώλειες για $f = 225 \text{ MHz}$, ανέρχονται σε $0,0022 \text{ dB}$, ουσιαστικά αμελητέες. Για $f = 1 \text{ GHz}$ για το δοθέν παράδειγμα, οι απώλειες ανέρχονται σε $0,01 \text{ dB}$, ενώ για $f = 10 \text{ GHz}$, ανέρχονται σε $0,153 \text{ dB}$. Ακόμη και για την περίπτωση, όπου $M = 1$, για $f = 225 \text{ MHz}$, οι απώλειες ανέρχονται σε $0,11 \text{ dB}$.

7.4. Εξασθένηση Λόγω της Βροχόπτωσης

Η εξασθένηση που προκαλείται λόγω της βροχόπτωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική και υπολογίσιμη, κυρίως για συχνότητες άνω του ενός GHz. Όσο αυξάνεται η συχνότητα λειτουργίας, τόσο αυξάνεται και η αντίστοιχη προκαλούμενη εξασθένηση. Επίσης είναι ανάλογη του ρυθμού βροχόπτωσης (αύξηση του ρυθμού βροχόπτωσης προκαλεί και αντίστοιχη αύξηση των απωλειών), ενώ σχετίζεται και με την πόλωση του H/M κύματος. Μια γενική μορφή της προκαλούμενης εξασθένησης λόγω βροχόπτωσης είναι η εξής:

$\gamma_R = K \cdot R^\alpha$ ³³ (dB/Km), όπου οι μεταβλητές (K, α) σχετίζονται με την πόλωση του εκπεμπόμενου H/M κύματος και η μεταβλητή (R) με το ρυθμό βροχόπτωσης (Rain Rate), εκφρασμένη σε (mm/h).

Όπως θα αποδειχθεί στη συνέχεια μέσω παραδειγμάτων, για το εύρος των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων, στην αυτή συχνότητα ,με φθίνουσα σειρά της εξασθένησης που προκύπτει, κατατάσσεται πρώτα η οριζόντια πόλωση, εν συνεχεία η κατακόρυφη και τέλος η κυκλική. Για τις επίγειες επικοινωνίες στην μπάνα των VHF και UHF, πρακτικά η εξασθένηση θεωρείται αμελητέα. Αντίθετα στις περιπτώσεις διάδοσης μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης καθώς και των δορυφορικών ζεύξεων διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο για την επίτευξη ή μη επικοινωνίας.

³³ RECOMMENDATION ITU-R P.838-3, SPECIFIC ATTENUATION MODEL FOR RAIN FOR USE IN PREDICTION METHODS, pp 1 (2005)

ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΛΟΓΩ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ³⁴

The specific attenuation γ_R (dB/km) is obtained from the rain rate R (mm/h) using the power law relationship:

$$\gamma_R = kR^\alpha$$

Values for the coefficients k and γ are determined as functions of frequency, f (GHz), in the range from **1 to 1 000 GHz**, from the following equations:

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_\alpha \log_{10} f + c_\alpha$$

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 a_j \exp \left[- \left(\frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right] + m_k \log_{10} f + c_k$$

(για οριζόντια,κατακόρυφη και κυκλική πόλωση του H/M κύματος).

- Coefficients for k_H

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-5.33980	-0.10008	1.13098	-0.18961	0.71147
2	-0.35351	1.26970	0.45400		
3	-0.23789	0.86036	0.15354		
4	-0.94158	0.64552	0.16817		

- Coefficients for k_V

j	a_j	b_j	c_j	m_k	c_k
1	-3.80595	0.56934	0.81061	-0.16398	0.63297
2	-3.44965	-0.22911	0.51059		
3	-0.39902	0.73042	0.11899		
4	0.50167	1.07319	0.27195		

- Coefficients for α_H

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.14318	1.82442	-0.55187	0.67849	-1.95537
2	0.29591	0.77564	0.19822		
3	0.32177	0.63773	0.13164		
4	-5.37610	-0.96230	1.47828		
5	16.1721	-3.29980	3.43990		

- Coefficients for α_V

j	a_j	b_j	c_j	m_α	c_α
1	-0.07771	2.33840	-0.76284	-0.053739	0.83433
2	0.56727	0.95545	0.54039		
3	-0.20238	1.14520	0.26809		
4	-48.2991	0.791669	0.116226		
5	48.5833	0.791459	0.116479		

(Πίνακας 7-4: Εξισώσεις υπολογισμού παραμέτρων a, k)

³⁴ RECOMMENDATION ITU-R P.838-3, SPECIFIC ATTENUATION MODEL FOR RAIN FOR USE IN PREDICTION METHODS, pp 2,3,4 (2005)

Ειδικότερα για την περίπτωση της κυκλικής πόλωσης, ισχύουν οι κάτωθι τύποι:

$$k = [k_H + k_V + (k_H - k_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2$$

$$\alpha = [k_H \alpha_H + k_V \alpha_V + (k_H \alpha_H - k_V \alpha_V) \cos^2 \theta \cos 2\tau] / 2k \quad (\tau = 45^\circ)$$

Όπου θ η γωνία ύψωσης της διαδρομής διάδοσης (propagation path), ήτοι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τις δύο κεραιές και του επιπέδου της επιφάνειας της γης. Για οριζόντιες διαδρομές διάδοσης, η γωνία θ ισούται με μηδέν, ενώ σε περιπτώσεις κεκλιμένων (υψομετρική διαφορά μεταξύ των δύο κεραιών π.χ. δορυφορική ζεύξη, ζεύξη μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης), λαμβάνει διάφορες τιμές. Σημαντικό κατά τον υπολογισμό των απωλειών, λόγω βροχόπτωσης, είναι να γνωρίζουμε το ποσοστό της διαδρομής διάδοσης, η οποία επηρεάζεται από την βροχή. Απαραίτητο λοιπόν είναι να υπολογίζουμε την κατακόρυφη απόσταση, εντός της οποίας λαμβάνει χώρα η βροχόπτωση. Αυτή προκύπτει καταρχήν, βάσει του αντίστοιχου ύψους από όπου εκδηλώνεται. Για την γεωγραφική περιοχή της Ελλάδας, το αναμενόμενο ύψος διαμορφώνεται από την εξίσωση³⁵

$(h_{\text{rain}})_{\text{km}} = 3.2 - 0.075 (\varphi - 35)$, όπου φ το γεωγραφικό πλάτος του μέσου σημείου της διαδρομής διάδοσης

Για τον υπολογισμό των απωλειών για οιαδήποτε περίπτωση «propagation path» (οριζόντιο/κεκλιμένο), θα χρησιμοποιηθεί η κάτωθι εξίσωση³⁶:

$A_p = K * [1,763 * R^{0,753+0,197/L_s * \cos\theta} * \cos\theta + (203,6/L_s^{2,455}) * R^{0,354+0,088/L_s * \cos\theta} * \sin\theta]^\alpha * L_s / (1 + L_s * \cos\theta / 119 * R^{-0,244})$ (dB), όπου L_s η απόσταση μεταξύ των δύο κεραιών, η οποία εκτίθεται στη βροχή.

Για περιπτώσεις οριζόντιας διαδρομής, $\theta = 0$, οπότε η ανωτέρω εξίσωση γράφεται:

$$A_p = K * [1,763 * R^{0,753+0,197/L_s}]^\alpha * L_s / (1 + L_s / 119 * R^{-0,244}) \text{ (dB)}.$$

³⁵ RECOMMENDATION ITU-R P.839-4, RAIN HEIGHT MODEL FOR PREDICTION METHODS, (09/2013).

³⁶ JOURNAL OF MICROWAVES, OPTOELECTRONICS AND ELECTROMAGNETIC APPLICATIONS Vol. 11, No.1, UNIFIED METHOD FOR THE PREDICTION OF RAIN ATTENUATION IN SATELLITE AND TERRESTRIAL LINKS, L. DA SILVA MELLO, MARLENE S. PONTES, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO DE JANEIRO RIO DE JANEIRO, BRAZIL, pp 8, June 2012

7.4.1 Αριθμητικό Παράδειγμα

Έστω λοιπόν ένας πομπός και ένας δέκτης σε μεταξύ τους οριζόντια απόσταση 50 km με συχνότητα $f = 4,5$ GHz. Με χρήση των εξισώσεων της παραγράφου 7.4, δημιουργείται ο πίνακας (7-5), στον οποίο παρατίθενται οι προκύπτουσες απώλειες για οριζόντια (H), κατακόρυφη (V) και κυκλική (C) πόλωση ενός H/M κύματος. Για συγκεκριμένο ρυθμό βροχόπτωσης, προκύπτουν οι αντίστοιχες εξασθενήσεις. Για παράδειγμα, για rain rate ($R = 40$ mm/h), προκύπτει για οριζόντια πόλωση (H) 1,727 dB, για κατακόρυφη (V) 1,101 dB και για κυκλική (C) 0,007 dB.

				ATTENUATION DUE TO RAINFALL			0	deg
				PATH LENGTH (km)	50	angle	0	rad
C (dB/km)	RAIN RATE	H (dB/km)	V(dB/km)	H (dB)	V (dB)	C (dB)		
0,000134	5	0,00207	0,00223	0,108	0,111	0,007		
0,000134	10	0,00671	0,00588	0,274	0,240	0,007		
0,000134	15	0,01337	0,01036	0,470	0,375	0,007		
0,000134	20	0,02179	0,01550	0,689	0,515	0,007		
0,000134	25	0,03185	0,02118	0,927	0,657	0,007		
0,000134	30	0,04342	0,02733	1,180	0,803	0,007		
0,000134	35	0,05642	0,03390	1,447	0,951	0,007		
0,000134	40	0,07079	0,04086	1,727	1,101	0,007		
0,000134	45	0,08649	0,04818	2,017	1,252	0,007		
0,000134	50	0,10345	0,05583	2,319	1,405	0,007		
0,000134	55	0,12164	0,06379	2,630	1,559	0,007		
0,000134	60	0,14103	0,07205	2,949	1,714	0,007		
0,000134	65	0,16158	0,08059	3,278	1,871	0,007		
0,000134	70	0,18327	0,08939	3,614	2,028	0,007		
0,000134	75	0,20608	0,09844	3,958	2,186	0,007		
0,000134	80	0,22997	0,10774	4,310	2,346	0,007		
0,000134	85	0,25493	0,11728	4,668	2,506	0,007		
0,000134	90	0,28094	0,12704	5,033	2,667	0,007		
0,000134	95	0,30798	0,13702	5,404	2,829	0,007		
0,000134	100	0,33604	0,14721	5,782	2,991	0,007		
0,000134	110	0,39513	0,16820	6,554	3,318	0,007		
0,000134	120	0,45811	0,18997	7,348	3,647	0,007		
0,000134	130	0,52487	0,21247	8,164	3,978	0,007		
0,000134	140	0,59533	0,23568	8,999	4,312	0,007		
0,000134	150	0,66941	0,25955	9,852	4,647	0,007		
0,000134	160	0,74702	0,28407	10,724	4,984	0,007		
0,000134	170	0,82810	0,30921	11,612	5,323	0,007		
0,000134	180	0,91259	0,33495	12,517	5,664	0,007		
0,000134	190	1,00043	0,36126	13,437	6,006	0,007		
0,000134	200	1,09156	0,38813	14,373	6,349	0,007		

(Πίνακας 7-5: Απώλειες λόγω βροχόπτωσης για συχνότητα $f: 4,5$ GHz, και για οριζόντια διαδρομή, απόστασης $d=50$ km)

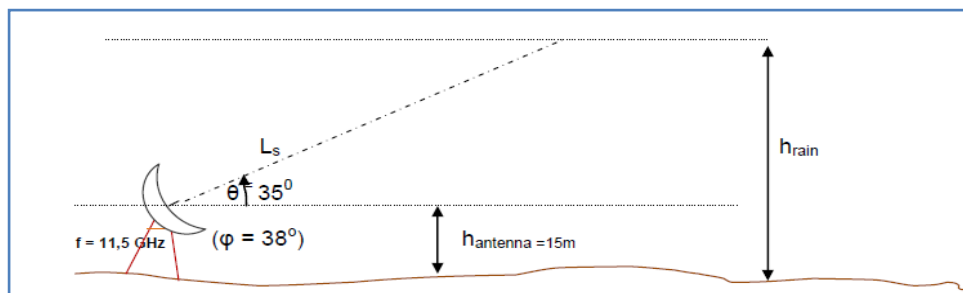
Για περιπτώσεις VHF/UHF δίκτυα επικοινωνιών, οι ανωτέρω απώλειες θεωρούνται **σχεδόν αμελητέες**. Επίδραση υφίσταται σε δίκτυα τροποσφαιρικής σκέδασης, τα οποία πλέον κυμαίνονται από 4 – 5 GHz, αλλά κυρίως στις δορυφορικές (10 – 13 GHz), καθώς και σε ασύρματες point –to point μικροκυματικές ζεύξεις στην μπάντα των EHF. Στον παρακάτω πίνακα, με συχνότητα $f = 37$ GHz και οριζόντια απόσταση 4 km, παρατίθενται οι αντίστοιχες απώλειες.

C (dB/km)	RAIN RATE	H (dB/km)	V(dB/km)	ATTENUATION DUE TO RAINFALL			0	deg
				PATH LENGTH (km)	4	angle		
				H (dB)	V (dB)	C (dB)	0	rad
0,465693	5	1,59273	1,45503	7,777	7,052	1,923		
0,508934	10	2,95600	2,64468	12,817	11,429	2,065		
0,536067	15	4,24428	3,75123	17,163	15,155	2,153		
0,556191	20	5,48615	4,80703	21,111	18,512	2,218		
0,572320	25	6,69461	5,82663	24,788	21,620	2,269		
0,585844	30	7,87710	6,81830	28,262	24,541	2,312		
0,597527	35	9,03843	7,78731	31,575	27,316	2,349		
0,607836	40	10,18193	8,73734	34,758	29,972	2,381		
0,617077	45	11,31008	9,67109	37,829	32,529	2,410		
0,625462	50	12,42476	10,59060	40,806	34,999	2,437		
0,633146	55	13,52746	11,49749	43,699	37,395	2,460		
0,640242	60	14,61938	12,39306	46,519	39,724	2,483		
0,646841	65	15,70153	13,27839	49,274	41,995	2,503		
0,653011	70	16,77472	14,15436	51,969	44,213	2,522		
0,658808	75	17,83967	15,02173	54,611	46,383	2,540		
0,664277	80	18,89699	15,88115	57,203	48,509	2,557		
0,669456	85	19,94719	16,73320	59,749	50,594	2,573		
0,674376	90	20,99075	17,57835	62,254	52,643	2,588		
0,679063	95	22,02808	18,41704	64,720	54,656	2,603		
0,683539	100	23,05952	19,24967	67,149	56,638	2,616		
0,691936	110	25,10606	20,89805	71,907	60,512	2,642		
0,699692	120	27,13261	22,52586	76,545	64,279	2,666		
0,706903	130	29,14099	24,13504	81,074	67,951	2,688		
0,713646	140	31,13277	25,72722	85,506	71,537	2,708		
0,719981	150	33,10925	27,30377	89,849	75,046	2,728		
0,725958	160	35,07155	28,86588	94,111	78,484	2,746		
0,731618	170	37,02067	30,41457	98,299	81,856	2,763		
0,736995	180	38,95745	31,95073	102,417	85,167	2,779		
0,742117	190	40,88265	33,47516	106,471	88,423	2,795		
0,747009	200	42,79695	34,98856	110,465	91,627	2,810		

(Πίνακας 7-6: Απώλειες λόγω βροχόπτωσης για συχνότητα f : 37 GHz, και για οριζόντια διαδρομή, απόστασης $d=4$ km)

7.4.2 Περίπτωση κεκλιμένης διαδρομής διάδοσης (slade propagation path)

Έστω λοιπόν η περίπτωση μιας δορυφορικής ζεύξης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



(Σχήμα 7-1: Υπολογισμός της κεκλιμένης απόστασης διάδοσης, η οποία επηρεάζεται από την βροχοπτώση σε περίπτωση δορυφορικής ζεύξης)

Υπολογίζουμε αρχικά από τον αντίστοιχο τύπο της παραγράφου 7.4 το $h_{rain} \cdot (h_{rain})_{km} = 3.2 - 0.075 (38 - 35) = 2,975 \text{ km}$.

$$L_s = (h_{rain} - h_{antenna}) / \sin \theta = (2975 - 15) / 0,574 = 5160,6 \text{ m}.$$

Για τα ανωτέρω στοιχεία και για rain rate ($R = 40 \text{ mm/h}$), προκύπτει για οριζόντια πόλωση 7,325 dB, για κατακόρυφη 5,927 dB και για κυκλική 0,107 dB.

C (dB/km)	RAIN RATE	H (dB/km)	V (dB/km)	ATTENUATION DUE TO RAINFALL			35 deg	rad
				PATH LENGTH (km)	5,1606	angle		
				H (dB)	V (dB)	C (dB)		
0,020758	5	0,14328	0,13032	1,436	1,261	0,107		
0,020765	10	0,32944	0,28726	2,419	2,070	0,107		
0,020770	15	0,53616	0,45612	3,316	2,793	0,107		
0,020773	20	0,75747	0,63322	4,167	3,469	0,107		
0,020775	25	0,99032	0,81670	4,986	4,114	0,107		
0,020777	30	1,23278	1,00543	5,783	4,736	0,107		
0,020779	35	1,48354	1,19866	6,561	5,339	0,107		
0,020780	40	1,74164	1,39580	7,325	5,927	0,107		
0,020781	45	2,00632	1,59645	8,077	6,504	0,107		
0,020782	50	2,27700	1,80025	8,818	7,069	0,107		
0,020783	55	2,55319	2,00694	9,550	7,625	0,107		
0,020784	60	2,83449	2,21628	10,274	8,173	0,107		
0,020785	65	3,12054	2,42809	10,991	8,714	0,107		
0,020786	70	3,41106	2,64220	11,702	9,248	0,107		
0,020787	75	3,70579	2,85847	12,407	9,776	0,107		
0,020787	80	4,00450	3,07677	13,106	10,299	0,107		
0,020788	85	4,30699	3,29700	13,801	10,816	0,107		
0,020789	90	4,61308	3,51905	14,491	11,329	0,107		
0,020789	95	4,92262	3,74284	15,176	11,837	0,107		
0,020790	100	5,23545	3,96830	15,858	12,342	0,107		
0,020791	110	5,87048	4,42390	17,211	13,339	0,107		
0,020792	120	6,51725	4,88536	18,551	14,323	0,107		
0,020793	130	7,17496	5,35225	19,879	15,295	0,107		
0,020793	140	7,84295	5,82421	21,196	16,256	0,107		
0,020794	150	8,52060	6,30093	22,504	17,207	0,107		
0,020795	160	9,20741	6,78214	23,803	18,149	0,107		
0,020795	170	9,90292	7,26759	25,094	19,082	0,107		
0,020796	180	10,60671	7,75706	26,378	20,008	0,107		
0,020797	190	11,31842	8,25037	27,654	20,926	0,107		
0,020797	200	12,03770	8,74733	28,924	21,837	0,107		

(Πίνακας 7-7: Απώλειες λόγω βροχοπτώσης για συχνότητα $f = 11,5 \text{ GHz}$, και για κεκλιμένη διαδρομή, απόστασης $d = 5,1606 \text{ km}$ και ύψωσης $\theta = 35^\circ$)

7.4.3 Αριθμητικά Παραδείγματα Δορυφορικών Ζεύξεων HELLAS SAT-2

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά στοιχεία από το δορυφόρο «HELLAS SAT-2»³⁷, μέρος των διαθέσιμων καναλιών του οποίου χρησιμοποιούνται και για ζεύξεις σε στρατιωτικές εφαρμογές.

DOWN LINK FREQUENCIES		
10,95 – 11,20 GHz	11,45 – 11,70 GHz	12,50 – 12,75 GHz
<u>ΕΙΔΟΣ ΠΟΛΩΣΗΣ:</u> (H)/(V)	<u>ΕΙΔΟΣ ΠΟΛΩΣΗΣ:</u> (H)/(V)	<u>ΕΙΔΟΣ ΠΟΛΩΣΗΣ:</u> (H)/(V)

(Πίνακας 7-8: Εύρους Συχνότητων Λειτουργίας για τη Ζεύξη από τον Δορυφόρο HELLAS SAT-2 προς τους Επίγειους Χρήστες (Down Link))

Information Bit rate (Mbit/s)	Data rate Including Overhead (Mbit/s)	FEC Ratio	Transmission Rate (Mbit/s)	Allocated Bandwidth (MHz)
0,64	0,68	$\frac{3}{4}$	0,90	0,585
2,048	2,170	$\frac{1}{2}$	4,340	2,821
2,048	2,170	$\frac{3}{4}$	2,886	1,880
8,448	—	$\frac{3}{4}$	11,235	7,321
41,250	—	$\frac{3}{4}$	55,000	36,000
45,000	—	$\frac{3}{4}$	60,000	39,000

(Πίνακας 7-9: Allocated Bandwidth vs Information Rate in QPSK mode HELLAS-SAT-2.)³⁸

BER		10^{-4}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-11}
Eb/No (dB)	FEC Ratio (3/4)	6.3	8.3	8.9	9.8	7.5	10.3
	FEC Ratio (1/2)	5	7	7.5	8.4	6.4	9

(Πίνακας 7-10 Eb/No versus BER for BPSK/QPSK and different FEC Ratios with Viterbi decoding)³⁹

³⁷ HELLAS- SAT 2 HANDBOOK Module 301, pp 13 March 2004.

³⁸ HELLAS- SAT 2 HANDBOOK Module 301, pp 56 March 2004.

³⁹ HELLAS- SAT 2 HANDBOOK Module 301, pp 58 March 2004.

SIMPLIFIED LINK BUDGET CALCULATION TRANSMIT CARRIER 34MBPS, QPSK, FEC=3/4 ⁴⁰	
DOWNLINK (Transponder F1/13V)	
Center Frequency 12.524 GHz	Satellite eirp (beam center) 54.9 dBW
Απώλειες κατά την διάδοση	
- Satellite Output B/O -3.5 dB - Satellite Tx contour(Rx E/S Location) -1 dB - Down Path Loss -205.4 dB - E/S point error -0.5 dB - Sat point error -0.3 dB - Boltzmann constant -228.6 dBW/K/Hz - Noise Bandwidth -74.77 dBHz	
ΚΕΡΔΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΗΨΗ E/S G/T 16 dB/K (ΠΕΡΙ ΤΑ 45 dB)	
- $G_r = 45$ dB	
ΛΗΦΘΕΝ ΣΗΜΑ : - 80,8 dBm	
C/N Down 14.03 dB	

(Πίνακας 7-11 Αριθμητικό παράδειγμα)

Έστω λοιπόν η περίπτωση του πίνακα (7-12) για ένα ληφθέν δορυφορικό σήμα με αντίστοιχο λόγο $(C/N)_{dB} = 14,03$ dB. Βάσει των εξισώσεων της παραγράφου 4.4.1 και του πίνακα (7-11) επιτυγχάνεται λόγος $(E_b/N_o)_{dB}$ περί τα 13 dB, ικανός για απρόσκοπτη λήψη του σήματος. Εάν όμως κατά τη λήψη προστεθούν απώλειες λόγω βροχοπτώσης, όπως περιγράφονται στο Κεφάλαιο 7.4.2, μιας τάξης μεγέθους από 7-8 dB (μέτριας έντασης βροχοπτώση), το ληφθέν σήμα του παραδείγματος θα ήταν περί τα - 87 dBm, με αντίστοιχο $(C/N)_{dB} = 7,2$ dB και $(E_b/N_o)_{dB} = 6,66$ dB, **οριακή** σχεδόν συνθήκη για λήψη data με τα δεδομένα (data rate και bandwidth) από τον πίνακα (7-10), όπως παρατίθεται στον κατωτέρω πίνακα, με στοιχεία εισόδου $P_r = -87$, $T = 290^\circ$ K και (Noise Figure) $_{dB} = 5$.

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (SHF):				(Pr)dBm -87					
FEC RATIO	DATA RATE(Mbs)	BW(MHz)	ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ DOWNLINK	(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb/No)dB	
3/4	0,9	0,585	10,95 - 11,20 GHz H/V	-146,304	5	-111,304	24,30446	22,43359	
1/2	4,34	2,821	11,45 - 11,70 GHz H/V	-139,472	5	-104,472	17,47199	15,60112	
3/4	2,886	1,880	12,50 - 12,75 GHz H/V	-141,234	5	-106,234	19,23444	17,37306	
3/4	11,235	7,321		-135,33	5	-100,33	13,33032	11,47029	
3/4	34	30		-129,205	5	-94,2048	7,204807	6,661231	
3/4	60	39		-128,065	5	-93,0654	6,065374	4,194508	

(Πίνακας 7-12: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $P_r = -87$ dBm)

⁴⁰ HELLAS- SAT 2 HANDBOOK Module 301, pp 31 March 2004.

Σε μια τέτοια περίπτωση, ενδείκνυται η χρήση μικρότερης τιμής για τα στοιχεία (data rate/bandwidth), ώστε να βελτιωθεί ο λόγος $(E_b/N_o)_{dB}$. Σαφώς με ισχυρότερη βροχόπτωση, όπου οι υφιστάμενες απώλειες κυμαίνονται από 10-20 dB, το ληφθέν σήμα του παραδείγματος θα ήταν περί τα - 95 dBm, με αντίστοιχο $(C/N)_{dB} = -0,795$ dB και $(E_b/N_o)_{dB} = -1,338$ dB, **απαγορευτική** συνθήκη για οιαδήποτε λήψη στα αυτά δεδομένα του παραδείγματος.

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (SHF):						(Pr)dBm -95				
FEC RATIO	DATA RATE(Mbs)	BW(MHz)		ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ DOWNLINK		(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb/No)dB
3/4	0,9	0,585		10,95 - 11,20 GHz	H/V	-146,304	5	-111,304	16,30446	14,43359
1/2	4,34	2,821	3/4	11,45 - 11,70 GHz	H/V	-139,472	5	-104,472	9,471989	7,601123
3/4	2,886	1,880		12,50 - 12,75 GHz	H/V	-141,234	5	-106,234	11,23444	9,373057
3/4	11,235	7,321				-135,33	5	-100,33	5,330316	3,470289
3/4	34	30				-129,205	5	-94,2048	-0,79519	-1,33877
3/4	60	39				-128,065	5	-93,0654	-1,93463	-3,80549

(Πίνακας 7-13: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $Pr = -95$ dBm)

Τέλος σε περίπτωση καταιγίδας, δύναται οι απώλειες να φθάσουν έως τα 30 dB. Σε μια τέτοια περίπτωση οι τιμές που διαμορφώνονται παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα

ΔΙΑΤΙΘΕΜΕΝΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ (SHF):						(Pr)dBm -105				
FEC RATIO	DATA RATE(Mbs)	BW(MHz)		ΕΥΡΟΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ DOWNLINK		(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb/No)
3/4	0,9	0,585		10,95 - 11,20 GHz	H/V	-146,304	5	-111,304	6,304461	4,433595
1/2	4,34	2,821	3/4	11,45 - 11,70 GHz	H/V	-139,472	5	-104,472	-0,52801	-2,39888
3/4	2,886	1,880		12,50 - 12,75 GHz	H/V	-141,234	5	-106,234	1,234442	-0,62694
3/4	11,235	7,321				-135,33	5	-100,33	-4,66968	-6,52971
3/4	34	30				-129,205	5	-94,2048	-10,7952	-11,3388
3/4	60	39				-128,065	5	-93,0654	-11,9346	-13,8055

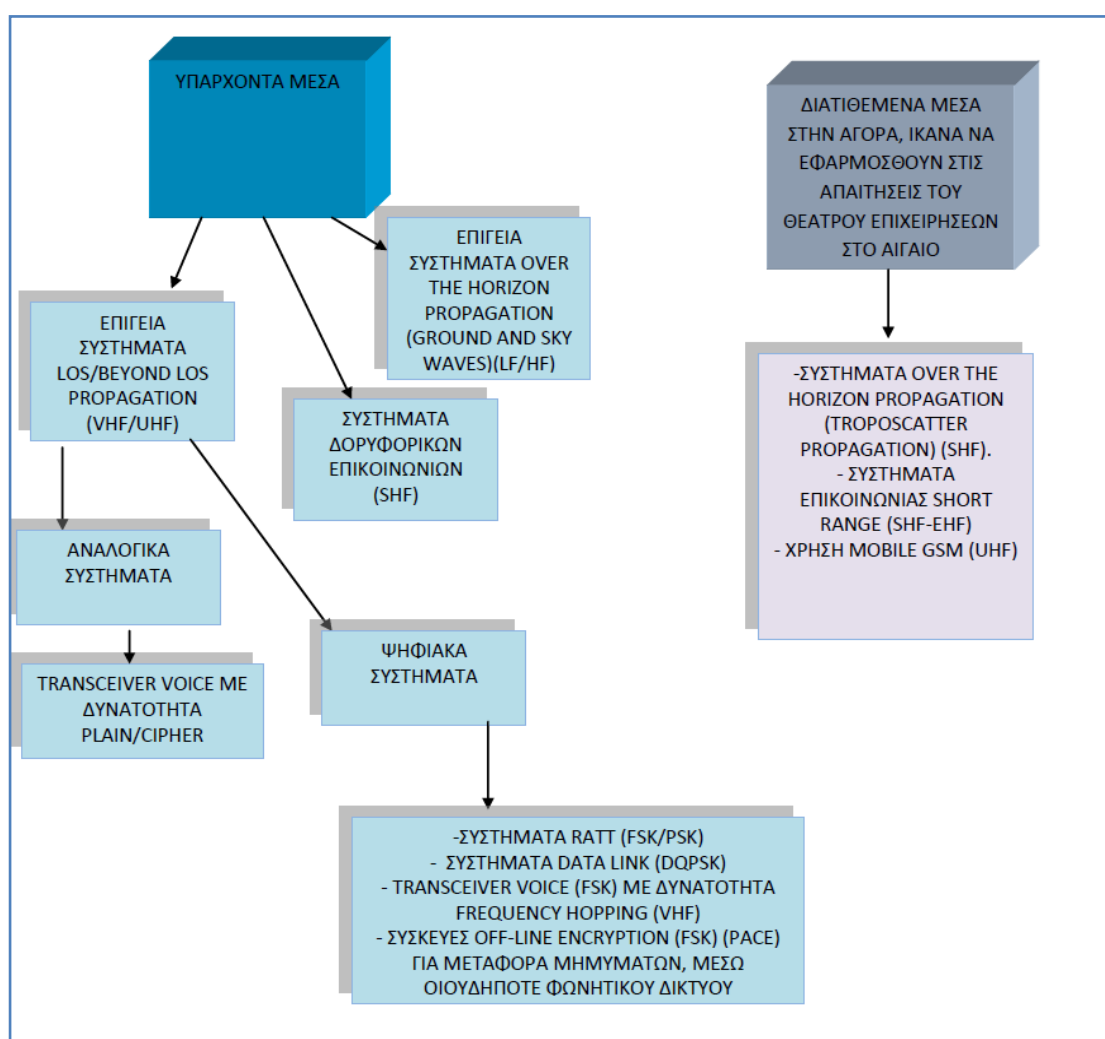
(Πίνακας 7-14: Προκύπτοντες λόγοι $(C/N)_{dB}$, βάσει σήματος εισόδου $Pr = -105$ dBm)

Οι προκύπτοντες λόγοι $(E_b/N_o)_{dB}$ είναι σχεδόν **απαγορευτικοί** για πάσης φύσεως λήψη (voice/data). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ληφθεί υπόψη πέραν της επίδρασης της βροχόπτωσης και η επίδραση από ομίχλη ή έντονη νέφωση, η οποία δύναται να προκαλέσει απώλειες της τάξης έως και 5 dB για τη δεδομένη διαδρομή διάδοσης της δορυφορικής ζεύξης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:

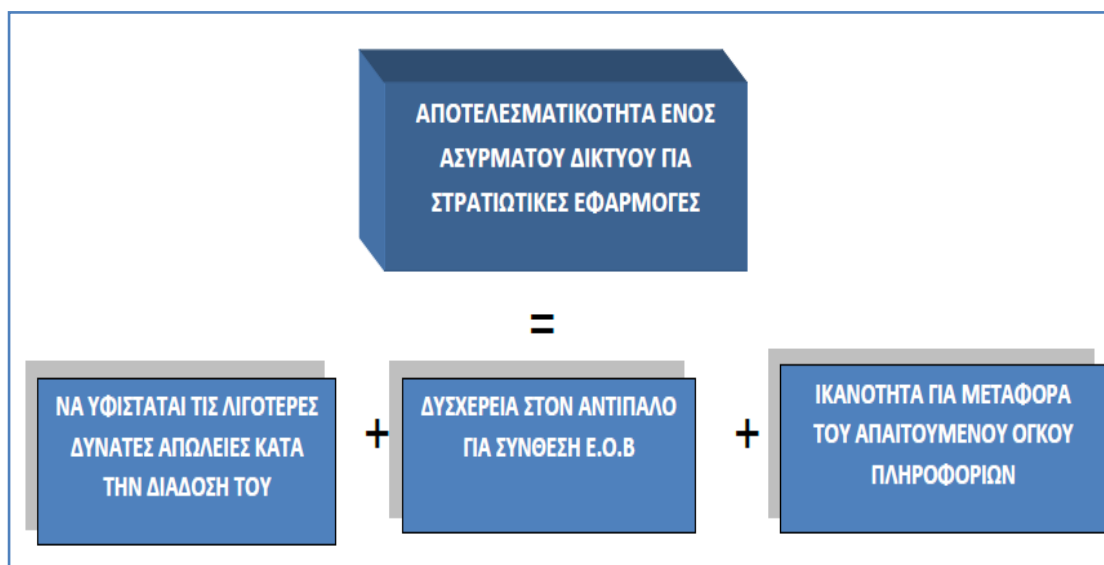
ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΔΙΚΤΥΟΥ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟ ΘΕΑΤΡΟ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ – ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ – ΕΦΑΡΜΟΓΗ – ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

8.1. Σχηματική Διάταξη Υφιστάμενων και Διατιθέμενων Δικτύων για τη Διάθροση ενός Σχεδίου Επικοινωνιών



(Σχήμα 8-1 Σχηματική ταξινόμηση ανά μπάντα συχνοτήτων των υπαρχόντων και των δυνάμει προς απόκτηση επικοινωνιακών δικτύων)

8.2. Η Έννοια της Αποτελεσματικότητας ενός Ασύρματου Δικτύου Στρατιωτικών Εφαρμογών



(Σχήμα 8-2: Σχηματική σύνθεση των παραμέτρων που συνθέτουν την αποτελεσματικότητα ενός δικτύου)

Παρακάτω παρατίθενται τα διατιθέμενα επικοινωνιακά ασύρματα μέσα για την σύνθεση ενός επικοινωνιακού σχεδίου. Για την αξιολόγηση αυτών θα χρησιμοποιηθούν τα κριτήρια, που περιγράφονται εκτενώς στην επόμενη παράγραφο, καθένα από τα οποία θα λάβουν μια βαθμολογία, βάσει της πενταβάθμιας κλίμακας «Likert». Από το συνολικό άθροισμα εκάστου δικτύου, θα προκύψει μια πρώτη εκτίμηση περί της αποτελεσματικότητάς του. Βάσει λοιπόν της προκύπτουσας αξιολόγησης, εκείνο που θα συγκεντρώσει την υψηλότερη βαθμολογία θα χρησιμοποιηθεί στο θέατρο επιχειρήσεων. Επειδή αναφερόμαστε σε στρατιωτικές επικοινωνίες, κρισιμότερο κριτήριο αποτελεί η ικανότητα ενός δικτύου να ανταποκρίνεται σε ένα περιβάλλον ηλεκτρονικού πολέμου από τον αντίπαλο. Σαφώς και στη διαλαμβανόμενη αξιολόγηση όλα τα κριτήρια συνεισφέρουν ισοβαρώς, αλλά στην περίπτωση, όπου ένα δίκτυο θα συγκεντρώσει την υψηλότερη βαθμολογία, χωρίς να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην περίπτωση εφαρμογής αντιμέτρων καταστολής του ηλεκτρονικού πολέμου, δεν θα χρησιμοποιηθεί και θα επιλεγεί έτερο με την αυτή ικανότητα.

8.3 Αξιολόγηση Υφιστάμενων Δικτύων

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΜΕ ΠΛΟΙΑ (HF)		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	RATT (ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ, ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK, PSK)	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 5	ΝΑΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 2	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC, ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΠΑΛΟ ΜΟΝΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 1	ΕΛΑΧΙΣΤΗ, ΜΟΝΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΤΕΡΗ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 5	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΧΕΔΟΝ ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 1	ΑΙΣΘΗΤΗ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: 8		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 22 Μ.Ο: 2,75

(Πίνακας 8-1: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας HF, μεταξύ ξηράς και πλοίων)

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΚΕΝΤΡΟ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΜΕ ΠΛΟΙΑ & ΠΛΟΙΑ ΜΕ ΠΛΟΙΑ (HF)		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VOICE (ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ, ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ AM)	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 5	ΝΑΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 2	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC, ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΠΑΛΟ ΜΟΝΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 1	ΕΛΑΧΙΣΤΗ, ΜΟΝΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΤΕΡΗ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 5	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΧΕΔΟΝ ΑΜΕΛΗΤΕΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 1	ΑΙΣΘΗΤΗ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 2	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: 8		ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 22 Μ.Ο: 2,75

(Πίνακας 8-2: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice HF)

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΛΟΙΩΝ-ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ - ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VOICE ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ, ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FM/AM)	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 5	ΝΑΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 3	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC, ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΠΑΛΟ ΜΟΝΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β. Η ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΚΠΟΜΠΗ HF, ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΗ L.O.S/ BEYOND L.O.S, ΔΥΣΧΕΡΑΙΝΕΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 1	ΕΛΑΧΙΣΤΗ, ΜΟΝΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΤΕΡΗ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 4	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 2	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3	ΜΕΤΡΙΑ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 24	Μ.Ο: 3

(Πίνακας 8-3: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice UHF)

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΛΟΙΩΝ-ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ - ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	RAIT/DATA (ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ, ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK/PSK)	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 5	ΝΑΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 3	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC, ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΠΑΛΟ ΜΟΝΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β. Η ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΚΠΟΜΠΗ HF, ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΗ L.O.S/ BEYOND L.O.S, ΔΥΣΧΕΡΑΙΝΕΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 1	ΕΛΑΧΙΣΤΗ, ΜΟΝΟ ΜΕ ΤΗΝ ΧΕΙΡΟΚΙΝΗΤΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ ΣΕ ΕΤΕΡΗ ΜΗ ΠΑΡΕΜΒΑΛΛΟΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ.	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 4	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 2	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 3	ΜΕΤΡΙΑ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 24	Μ.Ο: 3

(Πίνακας 8-4: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας data UHF)

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΛΟΙΩΝ-ΑΦΩΝ ΤΗΣ ΠΑ		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	UHF (ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ VOICE, ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK)	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC	ΟΧΙ	
1		
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC	ΝΑΙ	
4		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC, ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΠΑΛΟ ΜΟΝΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β. Η ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΚΠΟΜΠΗ HF, ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΗ L.O.S/ BEYOND L.O.S, ΔΥΣΧΕΡΑΙΝΕΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β	
3		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΝΑΠΗΔΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ, ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΙΚΑΝΗ «ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ» ΙΣΧΥΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΤΥΧΗΣ Η ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ $(I/S)_{dB} > 29$	
4		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
5		
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
4		
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ		
3		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΜΕΤΡΙΑ	
3		
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΑΗΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 27	Μ.Ο.: 3,375

(Πίνακας 8-5: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice UHF/ frequency hopping)

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΠΛΟΙΩΝ-ΠΛΟΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ-ΜΟΝΑΔΩΝ Σ.Ξ		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VHF (ΨΗΦΙΑΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ VOICE, ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK), ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΩΣ ΚΟΙΝΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ VHF/FM, ΜΕ ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ «COMSEC»	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC	ΝΑΙ	
5		
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC	ΝΑΙ	
5		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC, ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΣΤΟΝ ΑΝΤΙΠΑΛΟ ΜΟΝΟ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΓΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β. Η ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ, ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΕΚΠΟΜΠΗ HF, ΣΕ ΣΥΝΔΥΑΣΜΟ ΜΕ ΤΗΝ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΔΙΑΔΟΣΗ ΣΤΗ L.O.S/ BEYOND L.O.S, ΔΥΣΧΕΡΑΙΝΕΙ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΤΗ ΣΥΝΘΕΣΗ Ε.Ο.Β	
3		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ	ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΑΝΑΠΗΔΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ, ΑΠΑΙΤΕΙΤΑΙ ΙΚΑΝΗ «ΠΕΡΙΣΣΕΙΑ» ΙΣΧΥΟΣ ΘΟΡΥΒΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΝΑ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΤΥΧΗΣ Η ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ $(I/S)_{dB} > 29$	
5		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
5		
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
4		
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
3		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΜΕΤΡΙΑ	
3		
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΑΗΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 33	Μ.Ο.: 4,125

(Πίνακας 8-6: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας voice VHF/ frequency hopping)

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΚΕΝΤΡΟΥ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VOICE/DATA PSK ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 5	ΝΑΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 4	ΕΠΑΥΞΗΜΕΝΗ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 3		
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 1	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΥΨΗΛΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 2	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 26	Μ.Ο: 3,25

(Πίνακας 8-7: Αξιολόγηση δικτύου δορυφορικής επικοινωνίας voice/data SHF)

Βάσει των ανωτέρω, προκύπτει ότι η πλέον ενδεδειγμένη επιλογή για το περιβάλλον του Αιγαίου, από τα υφιστάμενα μέσα, αποτελεί η χρήση των επίγειων συστημάτων VHF/Frequency Hopping, καθόσον πληρούν σε μεγαλύτερο βαθμό τα κριτήρια «περί αποτελεσματικότητας».

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ, ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ, ΑΠΟ ΤΑ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ:

«TRANSCEIVER VOICE (FSK) ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ FREQUENCY HOPPING (VHF)»

(Σχήμα 8-3):

8.4 Αξιολόγηση Διατιθέμενων στην Αγορά Συστημάτων

ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΣΩ ΤΡΟΠΟΣΦΑΙΡΙΚΗΣ ΣΚΕΔΑΣΗΣ (TROPOSCATTER PROPAGATION) (SHF)		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VOICE/DATA PSK ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 4	ΔΥΝΑΤΟΝ ΝΑ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ. ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΑ ΔΕΝ ΕΠΙΤΡΕΠΕΙ ΤΗΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗ ΣΕ ΤΡΙΤΟΥΣ, ΠΛΗΝ ΤΩΝ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΩΝ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 4	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ COMINT	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 5	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ COMSEC.	
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 2	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΜΕΤΡΙΑ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 2	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΑΝΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 28	Μ.Ο: 3,5

(Πίνακας 8-8: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης voice/data SHF)

ΔΙΚΤΥΑ ΜΙΚΡΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ (SHORT RANGE) (SHF - EHF)		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VOICE/DATA PSK ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 2	ΜΕΤΡΙΑ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΌΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 4	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΚΠΕΜΠΟΜΕΝΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 4	ΙΣΧΥΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ COMINT	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 2		
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 1	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΙΣΧΥΡΟΤΑΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 2	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 5	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΗ	
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΑΝΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 21	Μ.Ο: 2,625

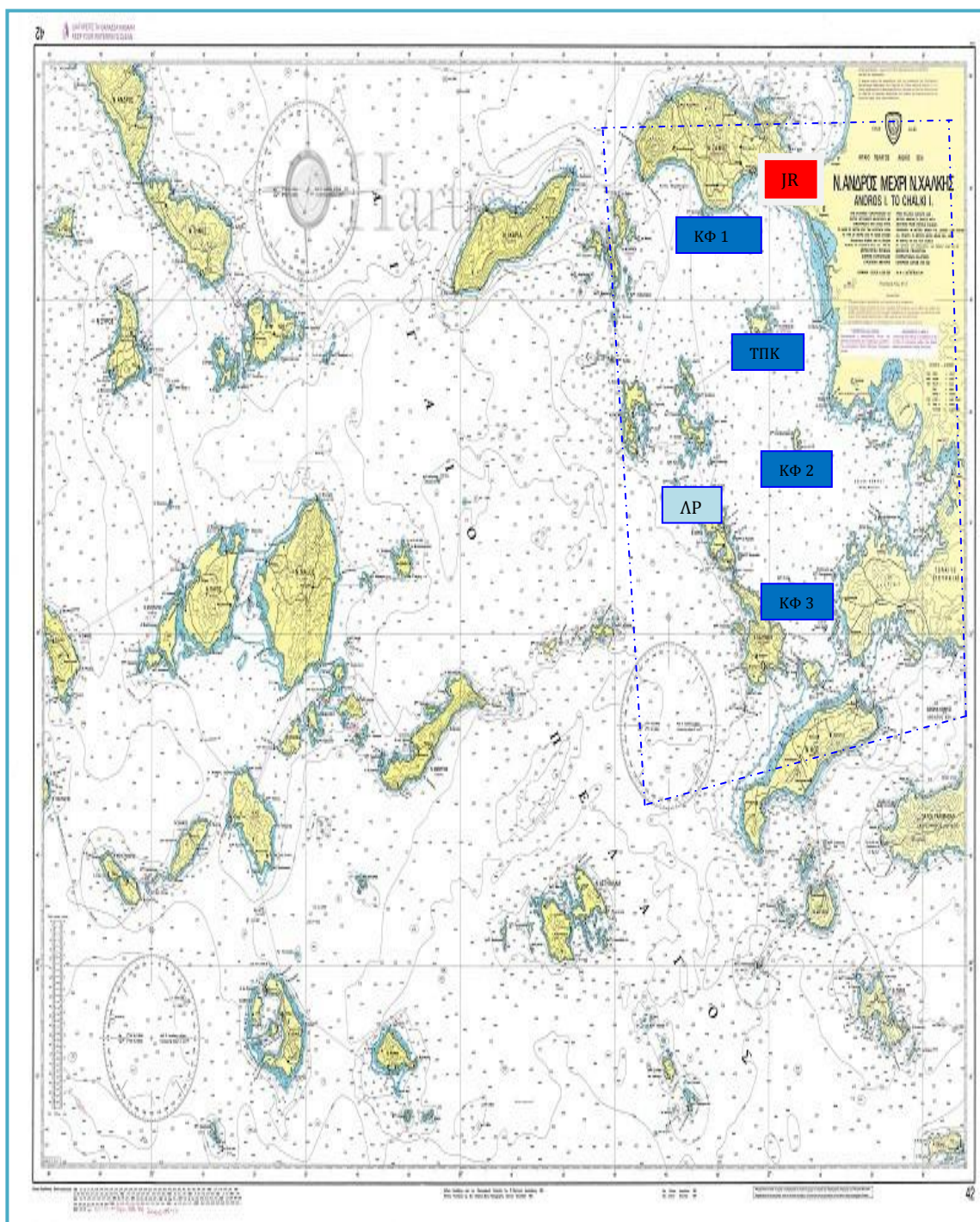
(Πίνακας 8-9: Αξιολόγηση δικτύου επικοινωνίας μικρών αποστάσεων voice/data SHF - EHF)

ΧΡΗΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΔΙΚΤΥΟΥ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ (MOBILE GSM) (UHF)		
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	VOICE/DATA PSK ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMSEC 1	ΟΧΙ	
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ TRANSEC 1	ΟΧΙ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ COMINT 3	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΣ ΘΟΡΥΒΟΥ 2	ΜΙΚΡΗ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΦΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΟΥ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΝΑ ΑΝΘΙΣΤΑΤΑΙ ΣΕ ΠΑΡΑΠΛΑΝΗΣΗ 2		
ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΔΙΑΔΟΣΗΣ, ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΜΟΡΙΩΝ ΤΗΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ, ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ, ΟΜΙΧΛΗΣ/ΝΕΦΩΣΗΣ 3	ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΣΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΜΕ ΜΙΚΡΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΟΡΥΒΟΥ ΑΠΟ ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ 3	- ΕΝΙΟΤΕ ΥΠΟΛΟΓΙΣΙΜΕΣ, ΛΟΓΩ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ	
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΟΓΚΟΥ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ 4		
ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ: 8	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΙΑ: 19	Μ.Ο: 2,375

(Πίνακας 8-10: Αξιολόγηση δικτύου κινητής τηλεφωνίας UHF)

Από τη σύγκριση των πινάκων (8-8) έως και (8-10), προκύπτει ότι η πλέον αποτελεσματική επιλογή από το χώρο της αγοράς θα αποτελούσαν τα συστήματα επικοινωνίας μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης. Στο παρακάτω σενάριο που παρατίθεται, θα εξετασθεί καταρχήν η υφιστάμενη βέλτιστη επιλογή «transceiver voice με δυνατότητα frequency hopping (VHF)» για την κάλυψη των επικοινωνιακών δυνατοτήτων, όσον αφορά στην επίτευξη του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», σε ένα περιβάλλον με έντονες ηλεκτρονικές παρεμβολές από τον αντίπαλο. Εν συνεχεία θα εξετασθεί και μια περίπτωση εφαρμογής επικοινωνίας μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης προς ενίσχυση της επίτευξης του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», είτε συμπληρωματικά, είτε ως μεμονωμένη ενέργεια.

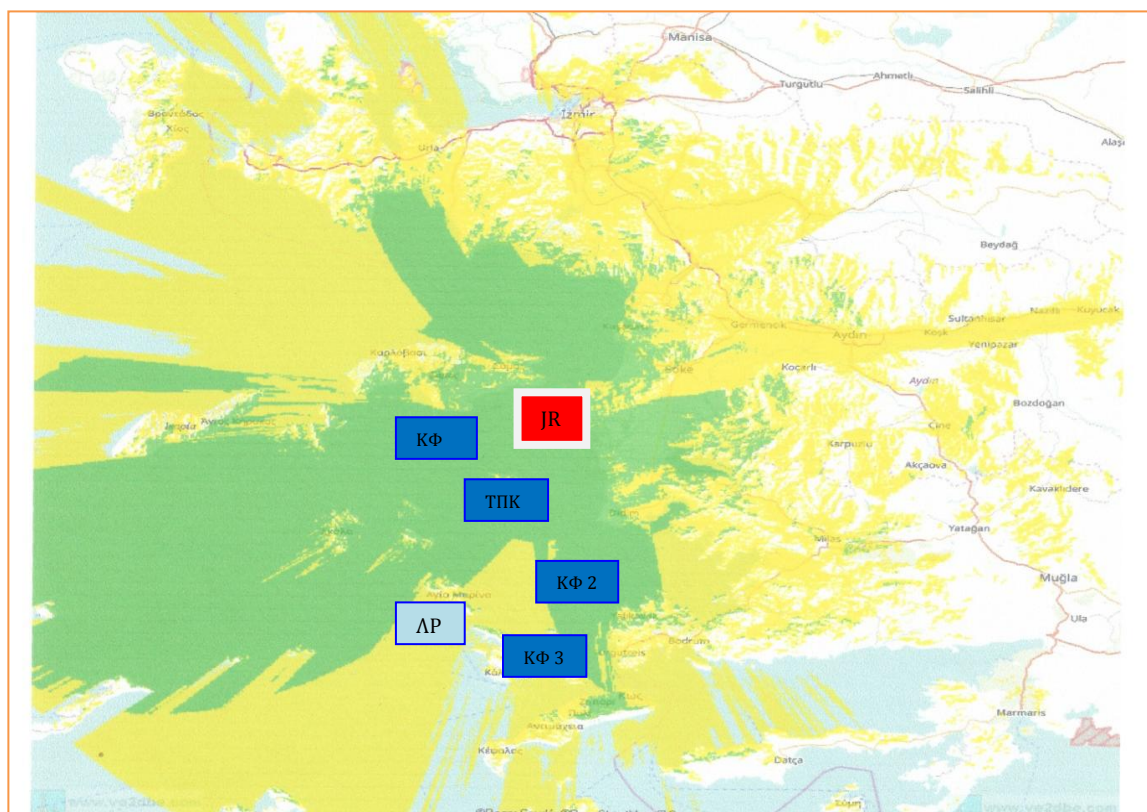
8.5. Σενάριο σε Καθορισμένο Γεωγραφικά Θέατρο Επιχειρήσεων προς Εξέταση Επίτευξης του «Ελάχιστου Δυνατού Αποτελέσματος»



(Σχήμα 8-4: Γεωγραφική απεικόνιση των διατιθέμενων φίλων και αντίπαλων μονάδων στο καθορισμένο θέατρο επιχειρήσεων, το οποίο είναι ο χώρος που περιλείεται εντός των διακεκομμένων γραμμών)

ΣΥΜΜΕΤΕΧΟΥΣΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΕΝΤΟΣ Θ.Ε – ΑΠΟΣΤΟΛΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΥΤΩΝ				
ΦΙΛΙΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ				
ΜΟΝΑΔΑ	ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΖΕΥΞΗ ΜΕ ΗΠΙΕΡΩΤΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ UHF VOICE/CIPHER (EIRP: 13 dB)	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ RATT/DATA ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ (EIRP: 13 dB)	ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ «FREQUENCY HOPPING» (EIRP: 13 dB)
ΣΤΑΘΜΟΣ ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΕΠΙ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΛΕΡΟΥ (ΛΡ) ΣΕ ΥΨΟΣ ΠΕΡΙ ΤΑ 300 m ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ 5m	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΚΑΝΟΝΙΟΦΟΡΟΣ (ΚΦ) ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΩΝ 8-10m	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΠΥΡΑΥΛΑΚΑΤΟΣ (ΤΠΚ) ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΩΝ 8m	ΟΧΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ	ΝΑΙ
ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ ΣΕ ΟΙΟΔΗΠΟΤΕ ΣΗΜΕΙΟ ΤΩΝ ΝΗΣΩΝ, ΠΛΗΝ ΑΓΑΘΟΝΗΣΙΟΥ ΚΑΙ ΦΑΡΜΑΚΟΝΗΣΙΟΥ , ΜΕ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΩΣ ΑΝΩΤΕΡΩ ΣΤΑΘΜΟΥ ΝΗΣΟΥ ΛΕΡΟΥ				
ΣΚΟΠΟΣ: Η ΤΟΥΛΑΧΙΣΤΟΝ ΜΟΝΟΔΡΟΜΗ ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΚΑΙ ΠΛΟΙΩΝ (ΠΟΜΠΟΣ Ο ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΙ ΔΕΚΤΗΣ ΤΟ ΕΚΑΣΤΟΤΕ ΠΛΟΙΟ) (ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΔΥΝΑΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ)				
ΑΠΟΣΤΟΛΕΣ ΦΙΛΙΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ				
ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ/ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΙ ΠΟΥ ΤΥΧΟΝ ΑΠΑΙΤΗΘΟΥΝ: Η ΔΙΑΒΙΒΑΣΗ ΣΕ ΕΚΑΣΤΗ ΜΟΝΑΔΑ ΤΩΝ ΣΥΝΤΟΝΝΙΣΤΙΚΩΝ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΣΤΟΛΗΣ ΤΟΥΣ.				
ΚΦ 1: ΠΕΡΙΠΟΛΙΑ ΝΟΤΙΩΣ ΝΗΣΟΥ ΣΑΜΟΥ ΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΑΝΤΙΠΑΛΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΣΕ ΣΤΕΝΟ ΜΥΚΑΛΗΣ				
ΤΠΚ : ΠΕΡΙΠΟΛΙΑ ΝΟΤΙΩΣ ΝΗΣΟΥ ΑΓΑΘΟΝΗΣΙΟΥ. ΕΤΟΙΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣΒΟΛΗΣ ΑΝΤΙΠΑΛΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ, ΚΑΤΟΠΙΝ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ.				
ΚΦ 2: ΠΕΡΙΠΟΛΙΑ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΑ ΝΗΣΟΥ ΦΑΡΜΑΚΟΝΗΣΙΟΥ ΓΙΑ ΤΥΧΟΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΟΙΑΣΔΗΠΟΤΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΑΠΟ ΑΝΤΙΠΑΛΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ, ΚΑΤΟΠΙΝ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ.				
ΚΦ 3: ΠΕΡΙΠΟΛΙΑ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΕΣ ΑΚΤΕΣ ΝΗΣΟΥ ΚΑΛΥΜΝΟΥ ΓΙΑ ΤΥΧΟΝ ΑΠΟΤΡΟΠΗ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΟΙΑΣΔΗΠΟΤΕ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑΛΗΨΗΣ ΝΗΣΟΥ ΚΑΛΟΛΙΜΝΟΥ ΚΑΙ ΝΗΣΙΔΩΝ ΙΜΙΩΝ ΑΠΟ ΑΝΤΙΠΑΛΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ, ΚΑΤΟΠΙΝ ΕΝΗΜΕΡΩΣΗΣ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ.				
ΑΝΤΙΠΑΛΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ				
ΜΟΝΑΔΑ	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ «COMINT»	ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ	
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ (JR)	- ΝΑΙ - ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΠΕΡΙ ΤΑ – 130 dBm - G _r =15 dB (ΠΡΟΣ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ) - ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ 10 m	ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΟ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΦΙΛΙΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	- ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ: 2000 W - G _t =15 dB (ΠΡΟΣ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ) - EIRP = 33 +15 = 48 dB - ΥΨΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ 10 m	
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΑΝΩΤΕΡΩ JAMMER: ΕΠΙ ΤΗΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ ΤΗΣ ΜΥΚΑΛΗΣ ΣΕ ΥΨΟΣ ΠΕΡΙ ΤΑ 1226 m. Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΘΕΩΡΕΙΤΑΙ ΓΝΩΣΤΗ				
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΦΙΛΙΩΝ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ - ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΕΡΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ - ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ				
ΜΟΝΑΔΑ ΕΝ ΠΛΩ	ΚΦ 1	ΤΠΚ	ΚΦ 2	ΚΦ 3
ΣΤΑΘΜΟΣ ΞΗΡΑΣ				
ΛΡ	[47,49] km	[29,32] km	[24,25] km	[22.5,25.5] km
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ	[27,31] km	[28,32] km	[42,45] km	[70,72] km

(Πίνακας 8-11: Περιγραφή δυνατοτήτων και αποστολών φίλων και αντίπαλων μονάδων)



(Σχήμα 8-5: Γεωγραφική απεικόνιση της κάλυψης του παρεμβολέα για ύψος δακτύ 8 m. Με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η περιοχή εκείνη, στην οποία η ισχύς του ληφθέντος σήματος (jamming signal) ανέρχεται στα -57 dBm και με κίτρινο χρώμα στα -87 dBm. Αυτές οι τιμές δείχνουν το περιθώριο επιτυχούς λήψης ή όχι του επιθυμητού σήματος από τις φίλιες μονάδες)

Frequency	50 MHz
Elevation	1225.9 m
Base Antenna Height	10 m
Base Antenna Gain	15.0 dBi
Base Antenna Type	yagi
Base Antenna Azimuth	250 °
Base Antenna Tilt	-0.3 °
Mobile Antenna Height	8.0 m
Mobile Antenna Gain	0.0 dBi
Tx Power	2000.00000 W
Tx Line Loss	3.0 dB
Rx Line Loss	3.0 dB
WEAK SIGNAL (ΚΙΤΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ) ΟΡΙΑΚΗ ΙΣΧΥΣ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΛΗΦΘΕΝΤΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ: ≥ -116 dBm	10.000 μV (-87.0 dBm)
Required Reliability	90%
STRONG SIGNAL MARGIN (ΠΡΑΣΙΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΑΛΥΨΗΣ) ΟΡΙΑΚΗ ΙΣΧΥΣ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΛΗΦΘΕΝΤΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ: ≥ -86 dBm	30.0 dB (-57.0 dBm)

(Πίνακας 8-12: Περιγραφή χαρακτηριστικών κάλυψης παρεμβολέα)⁴¹

⁴¹ Λογισμικό «Radio Mobile on Line»

8.6 Μοντελοποίηση Προβλήματος

Κατά την επεξεργασία του σεναρίου θα θεωρηθεί ότι το σύνολο των φίλιων επικοινωνιών δέχεται παρεμβολή θορύβου αδιαλείπτως. Βάσει της παραδοχής αυτής θα εξετασθεί η εφικτότητα διασφάλισης τουλάχιστον του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος». Σε γενική μορφή, όπως έχει ήδη αναλυθεί, η αποτελεσματικότητα μιας παρεμβολής έγκειται στο λόγο $(J/S)_{dB}$, όπου J,S αντίστοιχα τα ληφθέντα σήματα στο δέκτη από τον παρεμβολέα και τον πομπό (jamming & desired signals αντίστοιχα). Στην προκειμένη περίπτωση για να επιτευχθεί η λήψη, θα πρέπει ο λόγος $(J/S)_{dB} < 29$, όπως έχει επεξηγηθεί στο Κεφάλαιο 4. Οι απώλειες που υφίσταται ένα σήμα κατά την ανωτέρω διάδοση και αποτελούν τη μεταβλητή, δύνανται να μοντελοποιηθούν με ικανοποιητική ακρίβεια και να εκφραστούν σε λογαριθμική μορφή, συναρτήσει των αποστάσεων μεταξύ του παρεμβολέα – πλοίου (d_1), φίλιου σταθμού ξηράς(υφιστάμενου στην Λέρο ή τυχόν απαιτούμενου υποσταθμού) – πλοίου (d_2) και του αντίστοιχου ύψους της κεραίας του σταθμού (h). Οι απώλειες που θα ληφθούν υπόψη είναι « free-space basic transmission losses» και «diffraction losses, due to spherical Earth». Για πιο ρεαλιστική προσέγγιση, θα προστίθεται μια σταθερή ποσότητα απωλειών (5-12 dB περίπου), η οποία θα ισοδυναμεί είτε με επιπλέον υφιστάμενες απώλειες λόγω περίθλασης είτε άλλης πάσης φύσεως μορφής απωλειών. Άλλωστε, βάσει κοινής λογικής η τοποθεσία του σταθμού, σε σχέση με το πλοίο θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι επιπλέον απώλειες περίθλασης, όπως αυτές μεταξύ των τυχόν υφιστάμενων εμποδίων.

Ως αντικειμενική συνάρτηση (Z) λοιπόν, θα ορίσουμε:

$$Z = J_{(d1)} - S_{(d2,h)},$$

όπου οι μεταβλητές d_1, d_2 θα λαμβάνουν τιμές, βάσει της υφιστάμενης γεωγραφικής διάταξης, ενώ η μεταβλητή h , βάσει των υφιστάμενων δυνατών υψών, στα οποία ήδη υφίσταται η κεραία του σταθμού ή δύνανται να τοποθετηθεί η κεραία ενός νέου υποσταθμού. Πρόθεση είναι η ελαχιστοποίηση της $\{Z\}$, ήτοι:

$$\min \{z\}, \text{ subject to: } \{ a_1 \leq d_1 \leq a_2,$$

$$b_1 \leq d_2 \leq b_2,$$

$$c_1 \leq h \leq c_2,$$

$$d_1, d_2, h \geq 0\}$$

$$J_{(d1)} = (EIRP)_{dB \text{ JAMMER}} - (TOTAL \text{ LOSSES})_{dB} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \triangleright (TOTAL \text{ LOSSES})_{dB} = & (32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d_1) - 2,188 \cdot f^{1/3} \cdot \alpha_e^{-2/3} \cdot d_1 - \\ & 20 \cdot \log((9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-1/3} \cdot h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-1/3} \cdot h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon}))^3 - \\ & 17,6 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-1/3} \cdot h_{\text{jammer}} - 1,1)^{1/2} - 5 \cdot \log(9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-1/3} \\ & \cdot h_{\text{jammer}} - 1,1) - 8 \quad (2) \end{aligned}$$

➤ Για $f = 50 \text{ MHz}$, $\alpha_e = 8470 \text{ km}$, $h_{\text{jammer}} = 1236 \text{ m}$, $h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon} = 8 \text{ m}$, η εξίσωση (2) γράφεται:

$$\begin{aligned} \triangleright (TOTAL \text{ LOSSES})_{dB} = & (32,4 + 20 \cdot \log(50) + 20 \cdot \log(d_1) - 2,188 \cdot 50^{1/3} \cdot 8470^{-2/3} \\ & \cdot d_1 - 20 \cdot \log((9,575 \cdot 10^{-3} \cdot 50^{2/3} \cdot 8470^{-1/3} \cdot 8) + 0,1 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot 50^{2/3} \cdot 8470^{-1/3} \\ & \cdot 8))^3 - 17,6 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot 50^{2/3} \cdot 8470^{-1/3} \cdot 1236 - 1,1)^{1/2} - 5 \cdot \log(9,575 \cdot 10^{-3} \\ & \cdot 50^{2/3} \cdot 8470^{-1/3} \cdot 1236 - 1,1) - 8 = 66,379 + 20 \cdot \log(d_1) - 0,0194 \cdot d_1 + 25,846 - \\ & 47,51 \quad (3) \end{aligned}$$

➤ Συνεπώς από (1),(3) προκύπτει ότι $J_{(d1)} = 48 - 66,379 - 20 \cdot \log(d_1) + 0,0194 \cdot d_1 - 25,846 + 47,51 = 3,285 - 20 \cdot \log(d_1) - \text{X}_{\text{μεταβλητές απώλειες}} \quad (4)$

$$\triangleright \text{Ομοίως, } S_{(d2,h)} = (EIRP)_{(dB \text{ TRANSMITTER})} - (TOTAL \text{ LOSSES})_{dB} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \triangleright (TOTAL \text{ LOSSES})_{dB} = & (32,4 + 20 \cdot \log(f) + 20 \cdot \log(d_2) - 2,188 \cdot f^{1/3} \cdot \alpha_e^{-2/3} \cdot d_2 - \\ & 20 \cdot \log((9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-2/3} \cdot h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-2/3} \cdot h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon}))^3 - \\ & 20 \cdot \log((9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-2/3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot f^{2/3} \cdot \alpha_e^{-2/3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}))^3 \\ & (6) \end{aligned}$$

➤ Για $f = 50 \text{ MHz}$, $\alpha_e = 8470 \text{ km}$ και $h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon} = 8 \text{ m}$, η εξίσωση (6) γράφεται:

$$\begin{aligned} \triangleright (TOTAL \text{ LOSSES})_{dB} = & (32,4 + 20 \cdot \log(50) + 20 \cdot \log(d_2) - 2,188 \cdot 50^{1/3} \cdot 8470^{-2/3} \\ & \cdot d_2 - 20 \cdot \log((9,575 \cdot 10^{-3} \cdot 50^{2/3} \cdot 8470^{-1/3} \cdot h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (9,575 \cdot 10^{-3} \cdot 50^{2/3} \cdot \\ & 8470^{-1/3} \cdot h_{\pi\lambda\omicron\iota\omicron\upsilon}))^3 - 20 \cdot \log((6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}))^3 = \\ & 66,379 + 20 \cdot \log(d_1) - 0,0194 \cdot d_1 + 25,846 - 20 \cdot \log((6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}) \\ & + 0,1 \cdot (6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}))^3 \quad (7) \end{aligned}$$

Συνεπώς από (5),(7) προκύπτει ότι $S_{(d_2,h)} = 13 - 66,379 - 20 \cdot \log(d_1) + 0,0194 \cdot d_1 - 25,846 + 20 \cdot \log((6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}))^3 - Y_{\text{μεταβλητές}}$
 απώλειες (8)

Επομένως, από (4),(8) διαμορφώνεται η αντικειμενική συνάρτηση $Z = 3,285 - 20 \cdot \log(d_1) - 13 + 66,379 + 20 \cdot \log(d_1) - 0,0194 \cdot d_1 + 25,846 - 20 \cdot \log((6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}) + 0,1 \cdot (6,375 \cdot 10^{-3} \cdot h_{\sigma\tau\alpha\theta\mu\omicron\upsilon}))^3 + Y - X$ (9)

Η επίλυση του ανωτέρω προβλήματος είναι μη γραμμική (λογαριθμική). Για την επίλυσή του θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα «SOLVER EXCEL MICROSOFT», με τον αντίστοιχο αλγόριθμο του «Newton», θεωρώντας ως αρχικό σημείο, το σημείο $A(d_1, d_2, h) = (1, 1, 1)$, για το οποίο λαμβάνουμε τιμή της αντικειμενικής $Z = 92,43$ (με $X=Y=0$)

8.6.1 Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου

Έστω λοιπόν ένα θεωρητικό παράδειγμα, όπου $8 \leq d_2 < 20$, $44 \leq d_1 < 50$, $30 < h \leq 180$. Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία, καταλήγουμε στις κάτωθι τιμές: **$d_2 = 8$, $d_1 = 50$, $h = 180$** , με αντίστοιχη τιμή της **$Z = 31,148$** . Προφανώς, κατά την επίλυση με οιαδήποτε μέθοδο, οι τιμές των μεταβλητών θα τείνουν να λάβουν τις οριακές, αλλά η αξία αυτής της μοντελοποίησης έγκειται στο γεγονός ότι προσφέρει τη δυνατότητα στο χρήστη για γρήγορη εκτίμηση της επίτευξης ή μη, τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης μικρότερης του 29, με τους υφιστάμενους περιορισμούς των μεταβλητών. Στην προκειμένη περίπτωση, από μαθηματικής πλευράς, η τιμή της αντικειμενικής δύναται να ελαττωθεί περαιτέρω, τροποποιώντας π.χ την μεταβλητή του ύψους, αλλά δεν θα ανήκει η τιμή αυτή εντός της εφικτής περιοχής τιμών (feasible area).

Έστω λοιπόν η περίπτωση της μονάδας ΚΦ 1, η οποία θα αναπτυχθεί νοτίως νήσου Σάμου. Η πλησιέστερη φίλια στεριά ευρίσκεται περί τα 5 km με ύψος περί τα 290 m (περιοχή Ηραίου Νήσου Σάμου) και οι λοιπές φίλιες με ύψη έως 310 m εκτείνονται δυτικότερα έως τα 47km. Θα εξετάσουμε λοιπόν τη δυνατότητα για ύπαρξη κατάλληλου σημείου, που να ελαχιστοποιεί την αντικειμενική συνάρτηση στο επιθυμητό επίπεδο.

$\min \{z\}$, subject to: $\{ 27 \leq d_1 \leq 31,$

$5 \leq d_2 \leq 47,$

$30 \leq h \leq 310,$

$d_1, d_2, h \geq 0\}$

(X = 6 dB, Y = 3 dB)

$A(d_1, d_2, h) = (1, 1, 1), Z = 89,43.$

Επιλύοντας, προκύπτει μία λύση, όπως παρατίθεται στον κάτωθι πίνακα:

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
	d1	d2	h		
	31	22,322974	290		
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
31	d1				
22,32297	d2				
290	h				
			ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ		
			34,94550191		

(Πίνακας 8-13: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)⁴²

Η τιμή αυτή της αντικειμενικής συνάρτησης αφενός δεν ικανοποιεί την αρχική απαίτηση ($Z < 29$) και αφετέρου οι τιμές των μεταβλητών δεν ανταποκρίνονται σε ρεαλιστική περιοχή (στην αυτή απόσταση ευρίσκονται οι Νήσοι Αρκοί, με χαμηλότερο υψόμετρο από 290 m)

Επιλύοντας, προκύπτει μία πιο βελτιωμένη και εφικτή λύση:

⁴² ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΟ ΦΥΛΛΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ «SOLVER EXCEL MICROSOFT».

(Πίνακας 8-14: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

(Πίνακας 8-15: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συναρτήσης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

Εν τέλει με χρήση του σταθμού της Λέρου η βέλτιστη λύση διαμορφώνει την αντικειμενική $Z = 40$, τιμή, η οποία δεν ικανοποιεί τη συνθήκη διαβίβασης πληροφοριών από το σταθμό προς τη μονάδα $K\Phi 1$.

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			31	47	310
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
31	d1				
47	d2				
310	h				
			ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ		
			40,04431334		

(Πίνακας 8-16: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

8.6.2 Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου

Ομοίως για τη μονάδα ΤΠΚ, στην περιοχή του Αγαθονησίου, αναζητούμε το βέλτιστο σημείο. Οι πλησιέστερες φίλιες ακτές κυμαίνονται από 24 (περίπτωση υποσταθμού Σάμου) έως 50 km (έχοντας πλέον συμπεριλάβει και ένα ενδεχόμενο σημείο επί της Νήσου Καλύμνου σε ύψος περί τα 600 m και σε απόσταση περί τα 50 km).

$\min \{z\}$, subject to: $\{ 28 \leq d_1 \leq 32,$

$24 \leq d_2 \leq 50,$

$30 \leq h \leq 600,$

$d_1, d_2, h \geq 0\}$

(X = 11 dB, Y = 4 dB)

A(d₁,d₂,h) =(1,1,1), Z = 85,43.

Επιλύοντας προκύπτει η κάτωθι λύση:

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			32	32,000001	441,600014
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
32	d1				
					ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
32	d2				27,46106119
441,6	h				

(Πίνακας 8-17: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

Η ανωτέρω λύση δεν είναι εφικτή, καθόσον ως προς την απόσταση d_2 ανταποκρίνεται στο σταθμό της Λέρου, αλλά δεν αντιστοιχεί στο ύψος αυτού.

Επιλύοντας προκύπτει η κάτωθι πιο μαθηματικά βέλτιστη λύση:

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			32	24	442,77642
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
32	d1				
					ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
24	d2				25,0739141
442,7764	h				

(Πίνακας 8-18: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

Η ανωτέρω λύση δεν είναι εφικτή, καθόσον ως προς την απόσταση d_2 ανταποκρίνεται στον υποσταθμό της Σάμου, αλλά δεν αντιστοιχεί στο ύψος αυτού.

Τέλος η βέλτιστη μαθηματικά λύση που προκύπτει είναι η εξής:

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			32	24	600
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
32	d1				
					ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ
24	d2				19,69488775
600	h				

(Πίνακας 8-19: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

Η ανωτέρω λύση δεν είναι εφικτή, καθόσον ως προς την απόσταση d_2 ανταποκρίνεται στον υποσταθμό της Σάμου, αλλά δεν αντιστοιχεί στο ύψος αυτού.

Επιλύοντας μεμονωμένα για το σταθμό και τους δύο υποσταθμούς, προκύπτουν οι κάτωθι τιμές των επιμέρους αντικειμενικών συναρτήσεων:

$$\alpha. (Z)_{\text{ΛΕΡΟΥ}} = 32,74$$

$$\beta. (Z)_{\text{ΣΑΜΟΥ}} = 31,24$$

$$\gamma. (Z)_{\text{ΚΑΛΥΜΝΟΥ}} = 25,56$$

8.6.3 Αριθμητικό Παράδειγμα Σεναρίου

Ομοίως για τη μονάδα ΚΦ 2, στην περιοχή του Φαρμακονησίου, αναζητούμε το βέλτιστο σημείο. Οι πλησιέστερες φίλιες ακτές κυμαίνονται από 23-32 km και ύψη έως 600 m.

$\min \{z\}$, subject to: $\{ 42 \leq d_1 \leq 45,$

$$23 \leq d_2 \leq 32,$$

$$30 \leq h \leq 600,$$

$$d_1, d_2, h \geq 0\}$$

$$(X = 10 \text{ dB}, Y = 4 \text{ dB})$$

$$A(d_1, d_2, h) = (1, 1, 1), Z = 86,43.$$

Επιλύοντας προκύπτει η κάτωθι εφικτή λύση:

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			45	32	600
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
45	d1				
32	d2				
600	h				
			ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ		
			20,32941177		

(Πίνακας 8-20: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

Η εν λόγω λύση ανταποκρίνεται στον υποσταθμό της Νήσου Καλύμνου και ικανοποιεί την αρχική απαίτηση.

Η βέλτιστη μαθηματικά αλλά όχι εφικτή λύση δίνει τιμή στην αντικειμενική συνάρτηση $Z = 17,985$, η οποία ανταποκρίνεται ως προς την απόσταση στο σταθμό της Λέρου, αλλά όχι στο ύψος αυτού, όπως παρατίθεται στον πίνακα (8-20). Επιλύοντας μεμονωμένα για την περίπτωση του σταθμού, η επιμέρους αντικειμενική συνάρτηση διαμορφώνεται:

$$(Z)_{\text{ΛΕΡΟΥ}} = 28,6$$

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			45	24	600
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
45	d1				
24	d2				
600	h				
			ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ		
			17,98583704		

(Πίνακας 8-21: Διαμορφωθείσα τιμή Αντικειμενικής Συνάρτησης, βάσει των υφιστάμενων περιορισμών των μεταβλητών)

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			72	17,636238	302,893549
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
72	d1				
17,63624	d2				
302,8935	h				
			ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ 27,88882592		

Για το ανωτέρω σημείο, μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση θα αποτελούσε εάν δίνονταν στις μεταβλητές οι τιμές, $(X = 5, \Psi = 25)$, οπότε επιλύοντας προκύπτει:

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			72	17	302,400004
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
72	d1				
17	d2				
302,4	h				

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

48,60387764

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ - ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
2017

			ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ		
			d1	d2	h
			72	4	600
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ					
72	d1				
4	d2				
600	h				

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ

4,252212378

Επιλύοντας μεμονωμένα για την περίπτωση του σταθμού στη Λέρο, η επιμέρους αντικειμενική συνάρτηση διαμορφώνεται:

$$(Z)_{\text{ΛΕΡΟΥ}} = 29,78$$

8.7. Έλεγχος Αποτελεσμάτων Μοντελοποίησης με τη Χρήση του Λογισμικού

Χρησιμοποιώντας τώρα το λογισμικό «Radio Mobile On line», θα εξετάσουμε τις επιμέρους ανωτέρω περιπτώσεις πιο ειδικά και θα συγκρίνουμε τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Η σύγκριση αυτή θα μας δώσει μια εκτίμηση περί της αποτελεσματικότητας της εν λόγω μοντελοποίησης

8.7.1 Παράδειγμα

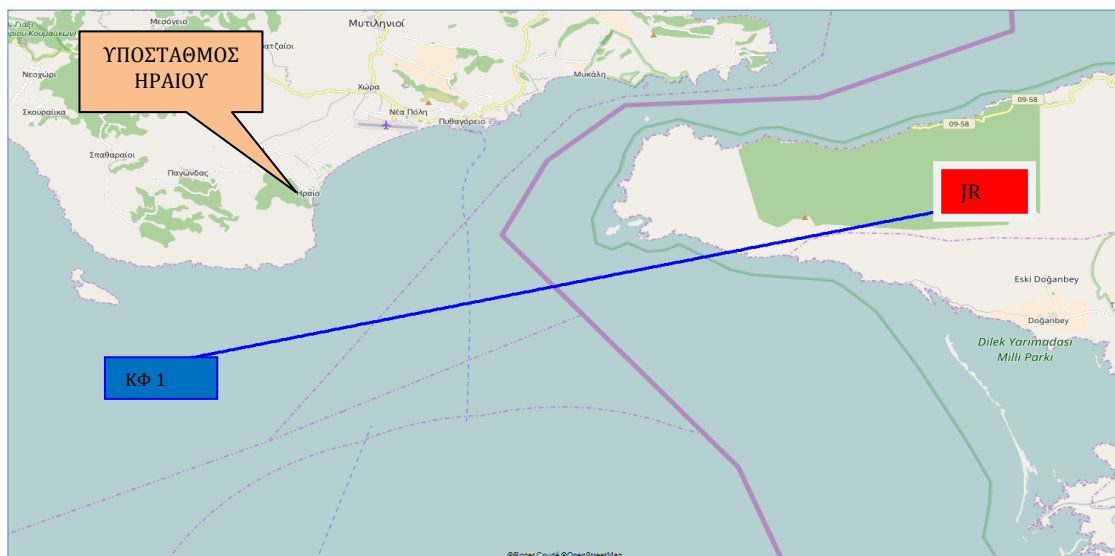
ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΣΑΜΟΥ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ					
ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΗΡΑΙΟΝ			ΚΦ 1		
Latitude	37.646384 °		Latitude	37.601720 °	
Longitude	26.871700 °		Longitude	26.818314 °	
Ground elevation	288.7 m		Ground elevation	0.0 m	
Antenna height	5.0 m		Antenna height	8.0 m	
Azimuth	223.45 TN 218.92 MG °		Azimuth	43.42 TN 38.90 MG °	
Tilt	-2.42 °		Tilt	2.36 °	
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	83.09	Db
TX line loss	3.00	Db	Obstruction loss	2.81	Db
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	0.00	Db
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	Db
RX line loss	3.00	Db	Statistical loss	15.36	Db
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	101.26	Db
Distance			6.839 km		
Precision			10.0 m		
Frequency			50.000 MHz		
Equivalent Isotropically Radiated Power			10.024 W		
System gain			150.03 Db		
Required reliability			90.000 %		
Received Signal			-64.25 dBm		
(Πίνακας 8-26: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 1 στη συχνότητα 50 MHz)					

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ ΛΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ					
ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ			ΚΦ 1		
Latitude	37.177484	°	Latitude	37.601720	°
Longitude	26.834149	°	Longitude	26.818314	°
Ground elevation	304.6	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	358.31 TN 353.83 MG	°	Azimuth	178.30 TN 173.77 MG	°
Tilt	-0.58	°	Tilt	0.15	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	99.86	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstruction loss	10.33	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	0.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	11.47	dB
RX sensitivity	-110.10	dBm	Total path loss	121.66	dB
Performance					
Distance			47.194	km	
Precision			23.6	m	
Frequency			50.000	MHz	
Equivalent Isotropically Radiated Power			10.024	W	
System gain			147.11	dB	
Required reliability			90.000	%	
Received Signal			-84.65	dBm	
Fade Margin			25.45	dB	

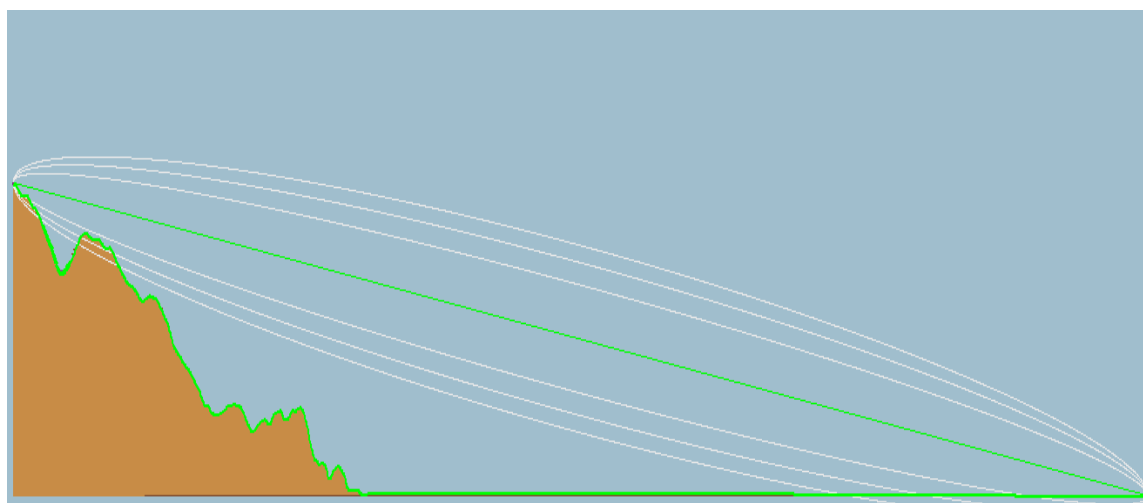
(Πίνακας 8-27: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 1 στη συχνότητα 50 MHz)

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ					
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ ΜΥΚΑΛΗΣ			ΚΦ 1		
Latitude	37.660858 °		Latitude	37.601720 °	
Longitude	27.150993 °		Longitude	26.818314 °	
Ground elevation	1225.9 m		Ground elevation	0.0 m	
Antenna height	10.0 m		Antenna height	8.0 m	
Azimuth	257.45 TN 252.89 MG °		Azimuth	77.25 TN 72.73 MG °	
Tilt	-2.48 °		Tilt	2.21 °	
Radio system			Propagation		
TX power	63.01	dBm	Free space loss	95.94	Db
TX line loss	3.00	Db	Obstuction loss	3.17	Db
TX antenna gain	15.00	dBi	Forest loss	0.00	Db
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	Db
RX line loss	3.00	Db	Statistical loss	16.17	Db
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	115.28	Db
Performance					
Distance			30.025 km		
Precision			15.0 m		
Frequency			50.000 MHz		
Equivalent Isotropically Radiated Power			31697.864 W		
System gain			185.03 Db		
Required reliability			90.000 %		
Received Signal			-43.27 dBm		
Received Signal			1535.96 Mv		

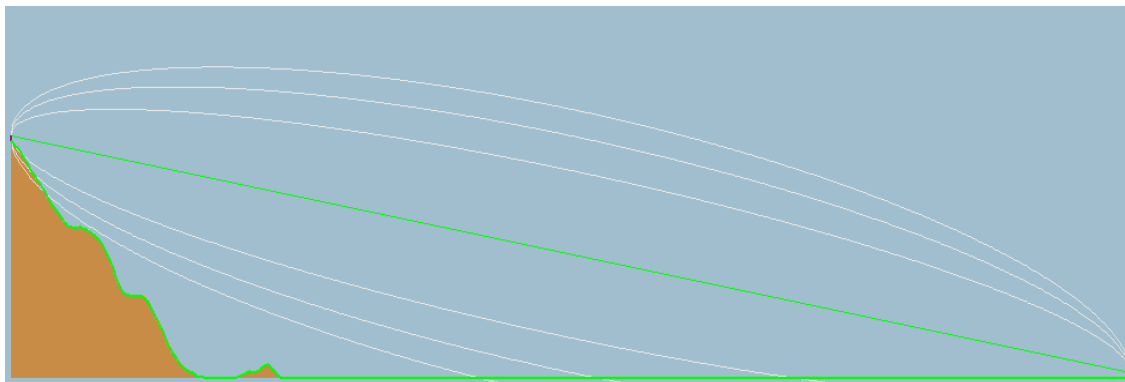
(Πίνακας 8-28: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στην μονάδα ΚΦ 1 στη συχνότητα 50 MHz)



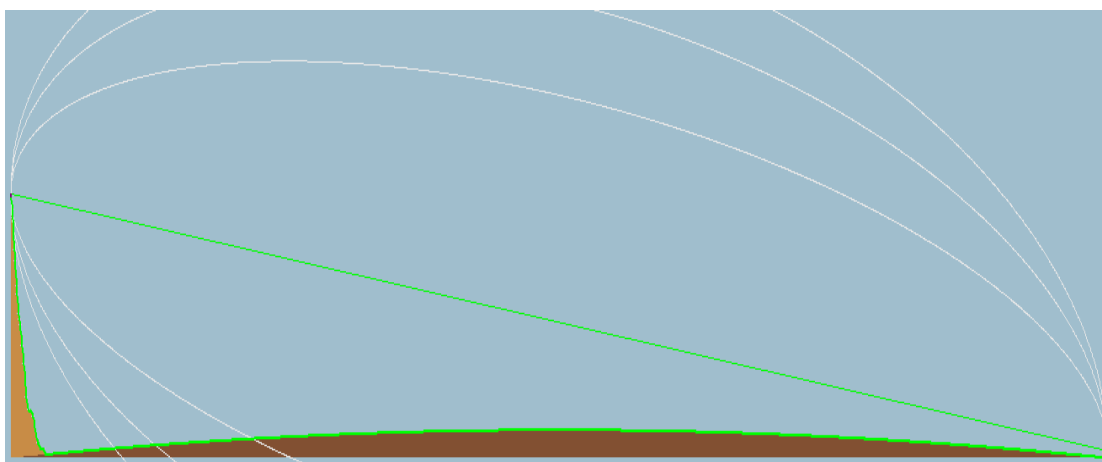
(Σχήμα 8-6: Γεωγραφική απεικόνιση των θέσεων των μονάδων ΚΦ 1, υποσταθμού και παρεμβολέα)



(Σχήμα 8-7: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΚΦ 1)



(Σχήμα 8-8: Ζεύξη υποσταθμού σε νήσο Σάμο με μονάδα ΚΦ 1)



(Σχήμα 8-9: Ζεύξη σταθμού σε νήσο Λέρο με μονάδα ΚΦ 1)

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από το σταθμό της Λέρου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -43,27 - (-84,65) = 41,38 \text{ dB}$, το οποίο δεν ικανοποιεί την απαίτηση διασφάλισης επικοινωνίας, όπως έχει περιγραφεί στο Κεφάλαιο 4

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον υποσταθμό της περιοχής Ηραίου της Σάμου, προκύπτει ότι $(J/S)_{Db} = -43,27 - (64,25) = 20,98 \text{ dB}$, το οποίο ικανοποιεί την απαίτηση.

8.7.2 Παράδειγμα

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ ΛΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ					
ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ			ΤΠΚ		
Latitude	37.177484	°	Latitude	37.444335	°
Longitude	26.834149	°	Longitude	26.970749	°
Ground elevation	304.6	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	22.11 TN 17.65 MG	°	Azimuth	202.19 TN 197.68 MG	°
Tilt	-0.68	°	Tilt	0.40	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	96.49	Db
TX line loss	3.00	Db	Obstuction loss	8.84	Db
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	0.00	Db
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	Db
RX line loss	3.00	Db	Statistical loss	13.22	Db
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	118.56	Db
Performance					
Distance				32.038	km
Precision				16.0	m
Frequency				50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power				10.024	W
System gain				150.03	Db
Required reliability				90.000	%
Received Signal				-81.55	dBm
Received Signal				18.73	Mv
(Πίνακας 8-29: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΤΠΚ)					

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΚΑΛΥΜΝΟΥ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ

ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΛΥΜΝΟΥ			ΤΠΚ		
Latitude	36.991722	°	Latitude	37.444335	°
Longitude	27.028255	°	Longitude	26.970749	°
Ground elevation	594.8	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	354.24 TN 349.77 MG	°	Azimuth	174.21 TN 169.69 MG	°
Tilt	-0.90	°	Tilt	0.44	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	100.46	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstruction loss	5.07	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	14.49	dB
RX sensitivity	-108.94	dBm	Total path loss	121.02	dB
Performance					
Distance			50.585		
Precision			25.3		
Frequency			50.000		
Equivalent Isotropically Radiated Power			10.024		
System gain			145.95		
Required reliability			90.000		
Received Signal			-84.01		
Fade Margin			24.93		

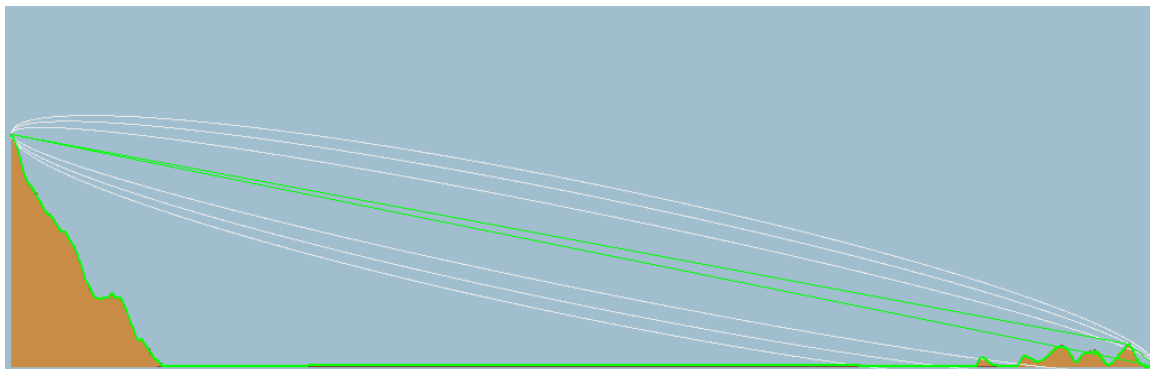
(Πίνακας 8-30: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΤΠΚ)

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΣΑΜΟΥ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ					
ΤΠΚ			ΣΤΑΘΜΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΗ ΗΡΑΙΩΝ		
Latitude	37.444335 °		Latitude	37.646384 °	
Longitude	26.970749 °		Longitude	26.871700 °	
Ground elevation	0.0 m		Ground elevation	288.7 m	
Antenna height	8.0 m		Antenna height	5.0 m	
Azimuth	338.79 TN 334.27 MG °		Azimuth	158.73 TN 154.20 MG °	
Tilt	0.57 °		Tilt	-0.79 °	
Radio system			Propagation		
TX power	43.01 dBm		Free space loss	94.02 dB	
TX line loss	3.00 dB		Obstuction loss	9.38 dB	
TX antenna gain	0.00 dBi		Forest loss	1.00 dB	
RX antenna gain	0.00 dBi		Urban loss	0.00 dB	
RX line loss	3.00 dB		Statistical loss	14.68 dB	
RX sensitivity	-108.94 dBm		Total path loss	119.08 dB	
Performance					
Distance			24.104 km		
Precision			12.1 m		
Frequency			50.000 MHz		
Equivalent Isotropically Radiated Power			10.024 W		
System gain			145.95 dB		
Required reliability			90.000 %		
Received Signal			-82.07 dBm		
Fade Margin			26.87 dB		

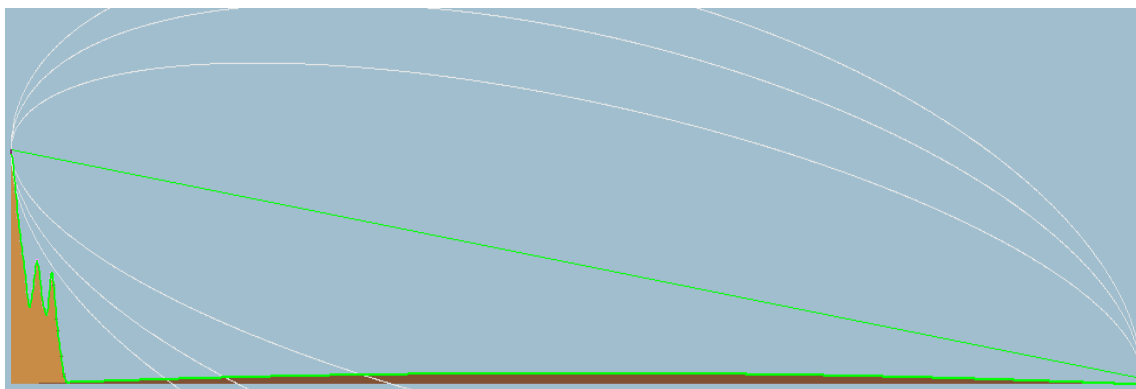
(Πίνακας 8-31: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΤΠΚ)

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ

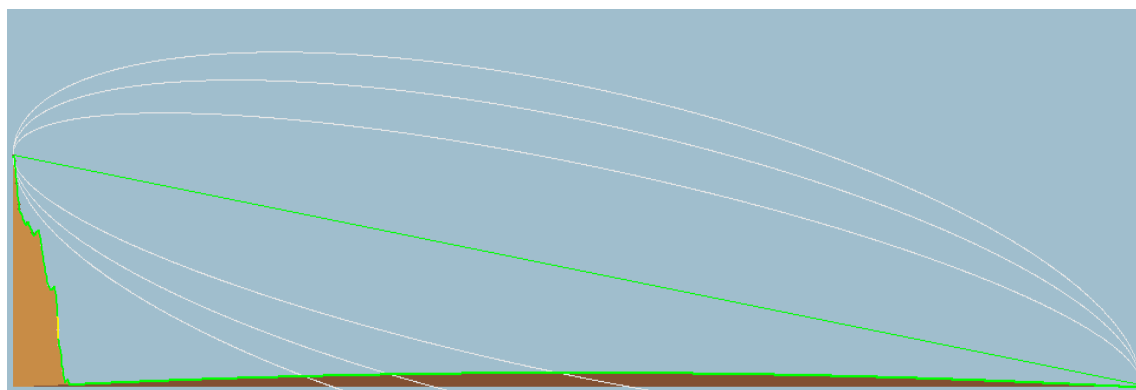
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ ΜΥΚΑΛΗΣ			ΤΠΚ		
Latitude	37.660858	°	Latitude	37.444335	°
Longitude	27.150993	°	Longitude	26.970749	°
Ground elevation	1225.9	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	10.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	213.48 TN 208.92 MG	°	Azimuth	33.37 TN 28.86 MG	°
Tilt	-2.57	°	Tilt	2.31	°
Radio system			Propagation		
TX power	63.01	dBm	Free space loss	95.59	Db
TX line loss	3.00	Db	Obstuction loss	12.98	Db
TX antenna gain	15.00	dBi	Forest loss	1.00	Db
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	Db
RX line loss	3.00	Db	Statistical loss	16.00	Db
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	125.57	Db
Performance					
Distance				28.847	km
Precision				14.4	m
Frequency				50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power				31697.864	W
System gain				185.03	Db
Required reliability				90.000	%
Received Signal				-53.56	dBm
Received Signal				470.00	Mv
(Πίνακας 8-32: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στην μονάδα ΤΠΚ στη συχνότητα 50 MHz)					



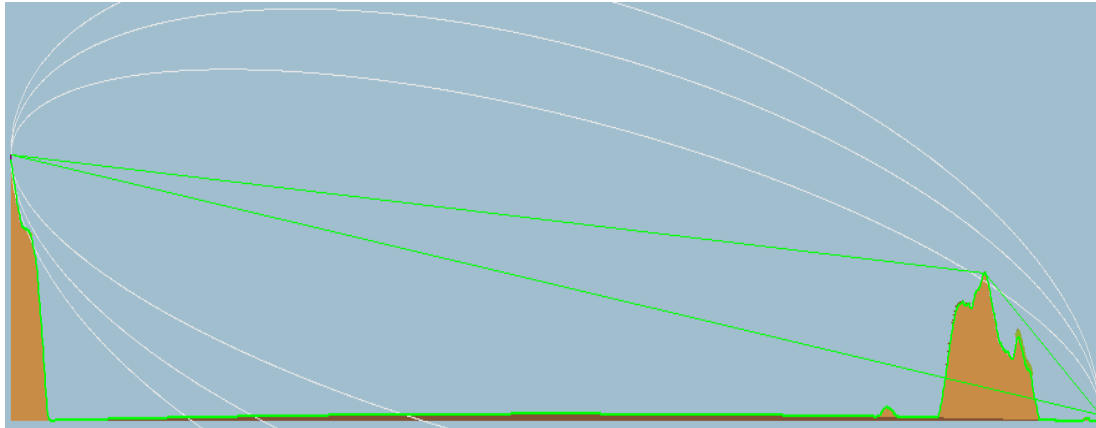
(Σχήμα 8-10: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΤΠΚ)



(Σχήμα 8-11: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΤΠΚ)



(Σχήμα 8-12 Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου με μονάδα ΤΠΚ)



(Σχήμα 8-13 Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Σάμου με μονάδα ΤΠΚ)

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από το σταθμό της Λέρου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -53,56 - (-81,55) = 28 \text{ dB}$, το οποίο οριακά ικανοποιεί την απαίτηση διασφάλισης επικοινωνίας.

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον υποσταθμό της Καλύμνου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -53,56 - (-84,01) = 30,45 \text{ dB}$, το οποίο δεν ικανοποιεί την απαίτηση διασφάλισης επικοινωνίας.

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον υποσταθμό της Σάμου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -53,56 - (-82,07) = 28,51 \text{ dB}$, το οποίο οριακά ικανοποιεί την απαίτηση διασφάλισης επικοινωνίας.

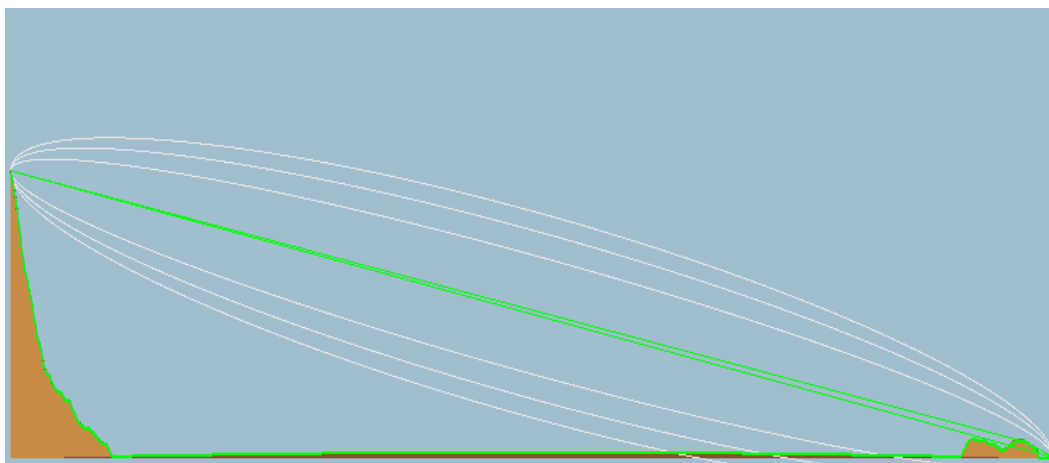
8.7.3 Παράδειγμα

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ					
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ ΜΥΚΑΛΗΣ			ΚΦ 2		
Latitude	37.660858	°	Latitude	37.271526	°
Longitude	27.150993	°	Longitude	27.082930	°
Ground elevation	1225.9	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	10.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	187.92 TN 183.36 MG	°	Azimuth	7.88 TN 3.38 MG	°
Tilt	-1.81	°	Tilt	1.41	°
Radio system			Propagation		
TX power	63.01	dBm	Free space loss	99.19	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstruction loss	10.91	dB
TX antenna gain	15.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.60	dB
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	126.71	dB
Performance					
Distance			43.707		
Precision			21.9		
Frequency			50.000		
Equivalent Isotropically Radiated Power			31697.864		
System gain			185.03		
Required reliability			90.000		
Received Signal			-54.70		

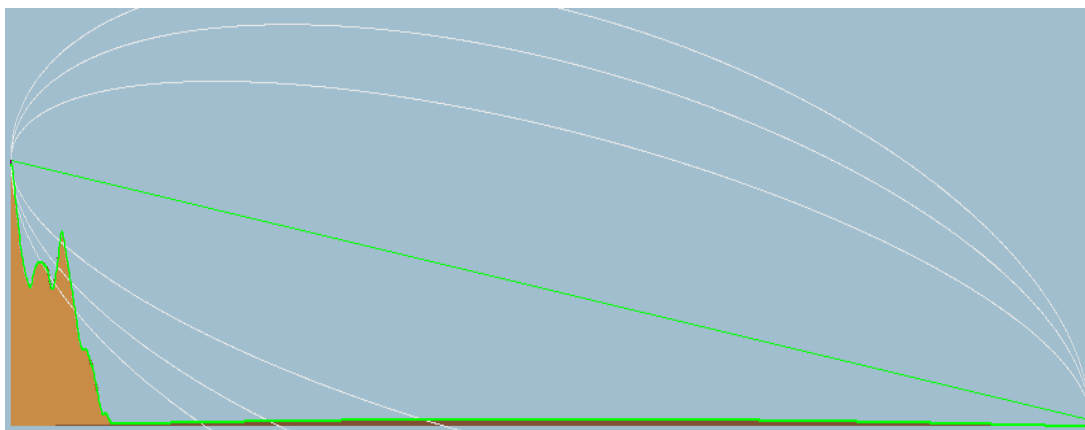
(Πίνακας 8-33: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στην μονάδα ΚΦ 2 στη συχνότητα 50 MHz)

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ ΛΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΚΦ 2					
ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ			ΚΦ 2		
Latitude	37.177484	°	Latitude	37.271526	°
Longitude	26.834149	°	Longitude	27.082930	°
Ground elevation	304.6	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	64.53 TN 60.07 MG °		Azimuth	244.68 TN 240.18 MG °	
Tilt	-0.82	°	Tilt	0.60	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	94.12	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	7.84	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	0.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	14.53	dB
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	116.49	dB
Performance					
Distance			24.383 km		
Precision			12.2 m		
Frequency			50.000 MHz		
Equivalent Isotropically Radiated Power			10.024 W		
System gain			150.03 dB		
Required reliability			90.000 %		
Received Signal			-79.48 dBm		
Fade Margin			33.54 dB		
(Πίνακας 8-34: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 2)					

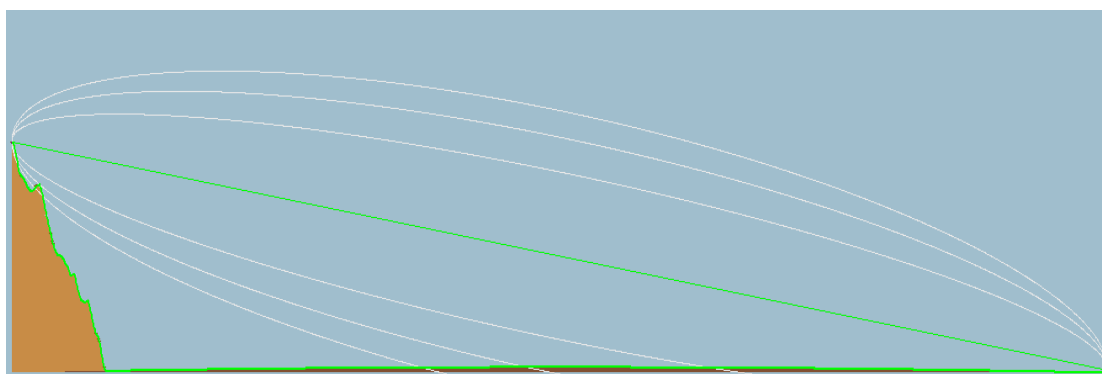
ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΚΑΛΥΜΝΟΥ ΠΡΟΣ ΚΦ 2					
ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΛΥΜΝΟΥ			ΚΦ 2		
Latitude	36.991722	°	Latitude	37.271526	°
Longitude	27.028255	°	Longitude	27.082930	°
Ground elevation	594.8	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	8.84 TN 4.37 MG	°	Azimuth	188.87 TN 184.37 MG	°
Tilt	-1.22	°	Tilt	0.94	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	96.34	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	4.94	dB
TX antenna gain	0.00	dB	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	0.00	dB	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.32	dB
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	117.61	dB
Performance					
Distance				31.488	km
Precision				15.8	m
Frequency				50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power				10.024	W
System gain				150.03	dB
Required reliability				90.000	%
Received Signal				-80.60	dBm
(Πίνακας 8-35: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 2 στη συχνότητα 50 MHz)					



(Σχήμα 8-14: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΚΦ 2)



(Σχήμα 8-15: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ 2)



(Σχήμα 8-16: Ζεύξη υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου με μονάδα ΚΦ 2)

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον υποσταθμό της Καλύμνου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -54,70 - (-80,60) = 25,9 \text{ dB}$, το οποίο ικανοποιεί την απαίτηση.



(Σχήμα 8-17: Γεωγραφική απεικόνιση μεταξύ υποσταθμού επί νήσου Καλύμνου και μονάδας ΚΦ2)

8.7.4 Παράδειγμα

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΚΑΛΥΜΝΟΥ ΠΡΟΣ ΚΦ 3					
ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΛΥΜΝΟΥ			ΚΦ 3		
Latitude	36.991722	°	Latitude	37.025032	°
Longitude	27.028255	°	Longitude	27.011948	°
Ground elevation	594.8	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	338.65 TN 334.19 MG	°	Azimuth	158.64 TN 154.18 MG	°
Tilt	-8.48	°	Tilt	8.45	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	78.47	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	12.62	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.99	dB
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	108.08	dB
Performance					
Distance					3.977 km
Precision					10.0 m
Frequency					50.000 MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power					10.024 W
System gain					150.03 dB
Required reliability					90.000 %
Received Signal					-71.07 dBm
(Πίνακας 8-36: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 3 στη συχνότητα 50 MHz)					

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑ ΠΡΟΣ ΠΛΟΙΟ				
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ ΜΥΚΑΛΗΣ			ΚΦ 3	
Latitude	37.660858	°	Latitude	37.025032 °
Longitude	27.150993	°	Longitude	27.011948 °
Ground elevation	1225.9	m	Ground elevation	0.0 m
Antenna height	10.0	m	Antenna height	8.0 m
Azimuth	189.91 TN 185.35 MG	°	Azimuth	9.82 TN 5.35 MG °
Tilt	-1.30	°	Tilt	0.66 °
Radio system			Propagation	
TX power	63.01	dBm	Free space loss	103.50 dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	7.39 dB
TX antenna gain	15.00	dBi	Forest loss	0.00 dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00 dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	14.86 dB
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	125.75 dB
Performance				
Distance			71.761	km
Precision			35.9	m
Frequency			50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power			31697.864	W
System gain			185.03	dB
Required reliability			90.000	%
Received Signal			-53.74	dBm
Received Signal			460.17	μV
(Πίνακας 8-37: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του παρεμβολέα στην μονάδα ΚΦ 3)				

ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΣΤΑΘΜΟ ΛΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΚΦ 3					
ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ			ΚΦ 3		
Latitude	37.177484	°	Latitude	37.025032	°
Longitude	26.834149	°	Longitude	27.011948	°
Ground elevation	304.6	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	137.02 TN 132.55 MG	°	Azimuth	317.13 TN 312.66 MG	°
Tilt	-0.85	°	Tilt	0.64	°
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	93.67	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	6.89	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	14.26	dB
RX sensitivity	-113.02	dBm	Total path loss	115.82	dB
Performance					
Distance			23.152	km	
Precision			11.6	m	
Frequency			50.000	MHz	
Equivalent Isotropically Radiated Power			10.024	W	
System gain			150.03	dB	
Required reliability			90.000	%	
Received Signal			-78.81	dBm	
Received Signal			25.68	μV	

(Πίνακας 8-38: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 3 στη συχνότητα 50 MHz)

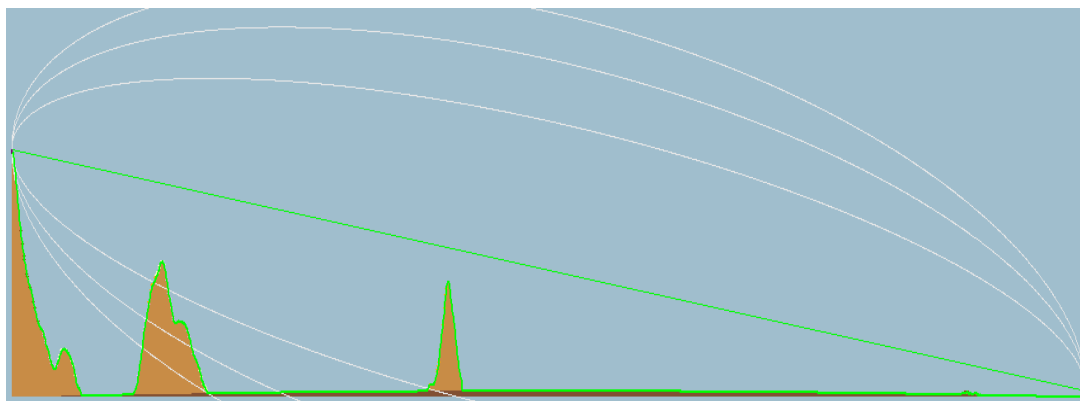
ΖΕΥΞΗ ΑΠΟ ΠΙΘΑΝΟ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟ ΝΟΤΙΩΣ ΛΕΡΟΥ ΠΡΟΣ ΚΦ 3

ΠΙΘΑΝΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ			ΚΦ 3		
Latitude	37.100646	°	Latitude	37.025032	°
Longitude	26.854448	°	Longitude	27.011948	°
Ground elevation	311.1	m	Ground elevation	0.0	m
Antenna height	5.0	m	Antenna height	8.0	m
Azimuth	120.99 TN 116.52 MG	°	Azimuth	301.08 TN 296.60 MG	°
Tilt	-1.16	°	Tilt	1.01	°

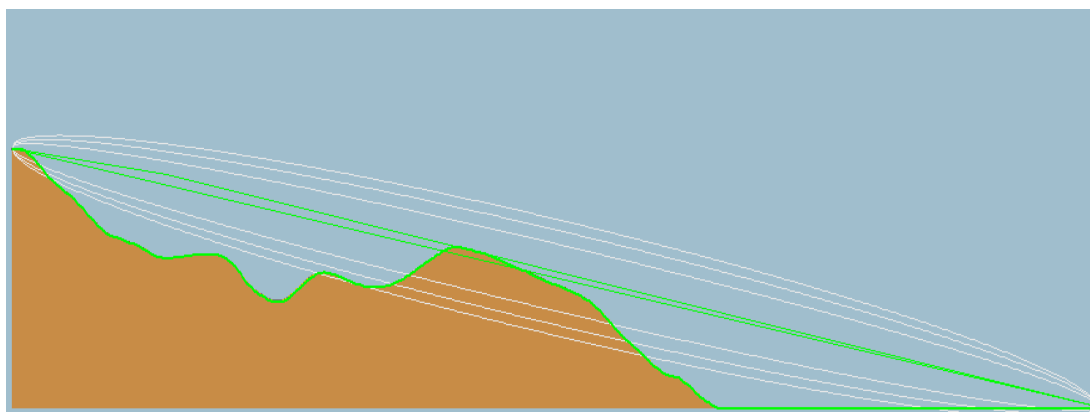
Radio system			Propagation		
TX power	43.01	dBm	Free space loss	90.63	dB
TX line loss	3.00	dB	Obstuction loss	41.31	dB
TX antenna gain	0.00	dBi	Forest loss	1.00	dB
RX antenna gain	0.00	dBi	Urban loss	0.00	dB
RX line loss	3.00	dB	Statistical loss	15.27	dB
RX sensitivity	-108.94	dBm	Total path loss	148.21	dB

Performance		
Distance	16.309	km
Precision	10.0	m
Frequency	50.000	MHz
Equivalent Isotropically Radiated Power	10.024	W
System gain	145.95	dB
Required reliability	90.000	%
Received Signal	-111.20	dBm
Fade Margin	-2.26	dB

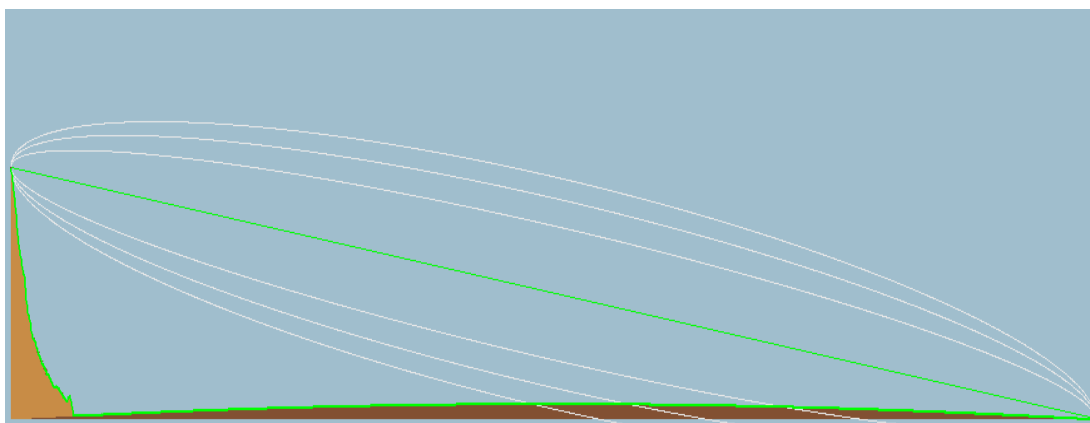
(Πίνακας 8-39: Υπολογισμός της ισχύος του ληφθέντος σήματος του φίλιου σταθμού στην μονάδα ΚΦ 3 στη συχνότητα 50 MHz)



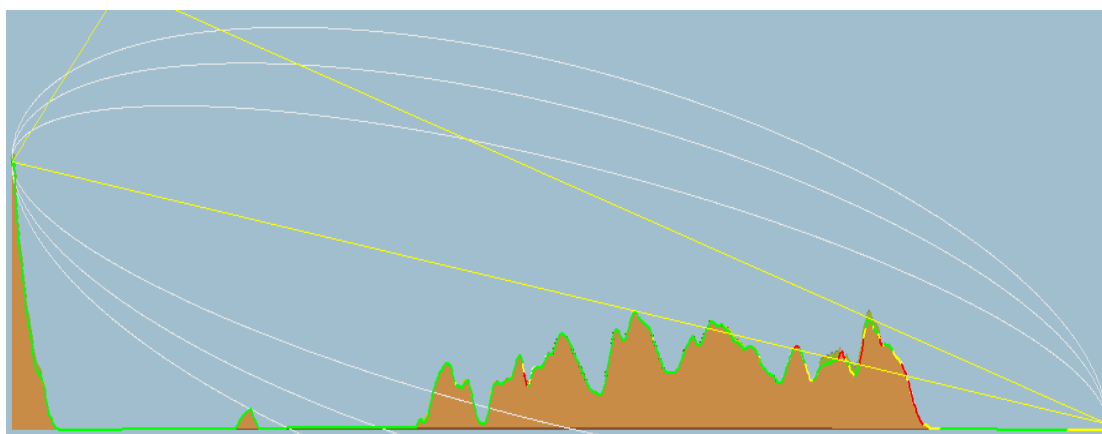
(Σχήμα 8-18: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ 3)



(Σχήμα 8-19: Ζεύξη σταθμού επί νήσου Καλύμνου με μονάδα ΚΦ 3)



(Σχήμα 8-20: Ζεύξη παρεμβολέα(JR) με μονάδα ΚΦ 3)



(Σχήμα 8-21: Ζεύξη από τον πιθανό υποσταθμό νοτίως νήσου Λέρου με μονάδα ΚΦ3)

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον υποσταθμό της Καλύμνου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -53,74 - (-71,07) = 17,33 \text{ dB}$, το οποίο ικανοποιεί πλήρως την απαίτηση.

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον σταθμό της Λέρου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -53,74 - (-78,71) = 24,97 \text{ dB}$, το οποίο ικανοποιεί την απαίτηση.

Συγκρίνοντας τα δύο σήματα για την περίπτωση της φίλιας ζεύξης από τον πιθανό υποσταθμό της Λέρου, προκύπτει ότι $(J/S)_{dB} = -53,74 - (-111,20) = 57,46 \text{ dB}$, το οποίο σε καμία περίπτωση δεν ικανοποιεί την απαίτηση.

8.8 Αξιολόγηση Μοντελοποίησης – Περιθώρια Βελτιστοποίησης του «Ελάχιστου Δυνατού Αποτελέσματος»

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διαφορές των τιμών για τα λαμβανόμενα σήματα μεταξύ παρεμβολέα και επιθυμητού σήματος (dB) από το λογισμικό της παραγράφου 8.7 για τις αντίστοιχες περιπτώσεις, καθώς και από τις εφικτές βέλτιστες τιμές των επιμέρους αντικειμενικών συναρτήσεων των παραγράφων 8.6.1 έως 8.6.4.

<div> <div>ΜΟΝΑΔΕΣ</div> <div>ΣΤΑΘΜΟΙ</div> </div>	ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΤΑΞΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΔΕΚΤΗ (dB)				
	ΚΦ 1	ΤΠΚ	ΚΦ 2	ΚΦ 3	ΑΡΧΙΚΗ ΑΠΑΙΤΗΣΗ ΕΠΙΤΕΥΞΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ VS ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ	41,38	28	24,78	24,97	<29
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ VS ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΣΑΜΟΥ	20,98	28,51	-	-	<29
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ VS ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	-	30,45	25,9	17,33	<29
ΠΙΘΑΝΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ	-	-	-	57,46	<29
ΤΙΜΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ (Z) ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ					
<div> <div>ΜΟΝΑΔΕΣ</div> <div>ΣΤΑΘΜΟΙ</div> </div>	ΚΦ 1	ΤΠΚ	ΚΦ 2	ΚΦ 3	<29
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ VS ΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ	40,04	32,74	28,6	29,78	<29
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ VS ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΣΑΜΟΥ	22,19	31,24	-	-	<29
ΠΑΡΕΜΒΟΛΕΑΣ VS ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΚΑΛΥΜΝΟΥ	-	25,56	20,33	4,25	<29
ΠΙΘΑΝΟΣ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΛΕΡΟΥ	-	-	-	48,6	<29

(Πίνακας 8-40: Σύγκριση τιμών μεταξύ της μοντελοποίησης και των αποτελεσμάτων του λογισμικού)

Συγκρίνοντας τις αριθμητικές τιμές στις αντίστοιχες περιπτώσεις, παρατηρείται σαφώς μια διαφοροποίηση. Σε γενικές γραμμές από ποιοτική άποψη, διαφαίνεται η λειτουργικότητα της ανωτέρω μοντελοποίησης της παραγράφου 8.6, καθώς παρέχει μια γρήγορη αξιόπιστη αρχική εκτίμηση περί της αποτελεσματικότητας επίτευξης ή μη του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», όπως αυτό έχει ήδη ορισθεί στην αρχή του παρόντος Κεφαλαίου. Ποσοτικά υφίστανται μικρές αποκλίσεις, λόγω των τιμών των μεταβλητών απωλειών X,Y. Πιο συγκεκριμένα, σε κάθε παράδειγμα της παραγράφου 8.6 οι ανωτέρω μεταβλητές ανταποκρίνονταν για το σύνολο των περιπτώσεων των ζεύξεων, σε σύγκριση με το λογισμικό, το οποίο λαμβάνει ακριβέστερα γεωγραφικά δεδομένα ως στοιχεία εισόδου στους υπολογισμούς των υφιστάμενων απωλειών, για εκάστη περίπτωση. Ιδιαίτερα δε στην περίπτωση του

υποσταθμού της Καλύμνου με τη μονάδα ΚΦ 3, παρατηρείται μια διαφοροποίηση κατά 13,08 dB. Εάν στην παράγραφο 8.6.4 οι μεταβλητές απώλειες προσαρμοσθούν αποκλειστικά για τον υποσταθμό της Καλύμνου και λαμβάνοντας υπόψη τις αντίστοιχες διαδρομές διάδοσης από τα σχήματα (8-14) και (8-15) θέσουμε $X = 5, Y = 11$, θα προκύψει η βέλτιστη εφικτή λύση με τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης $(Z)_{\text{ΚΑΛΥΜΝΟΥ}} = 11,25$, τιμή που σαφώς προσεγγίζει περισσότερο την αντίστοιχη του λογισμικού.

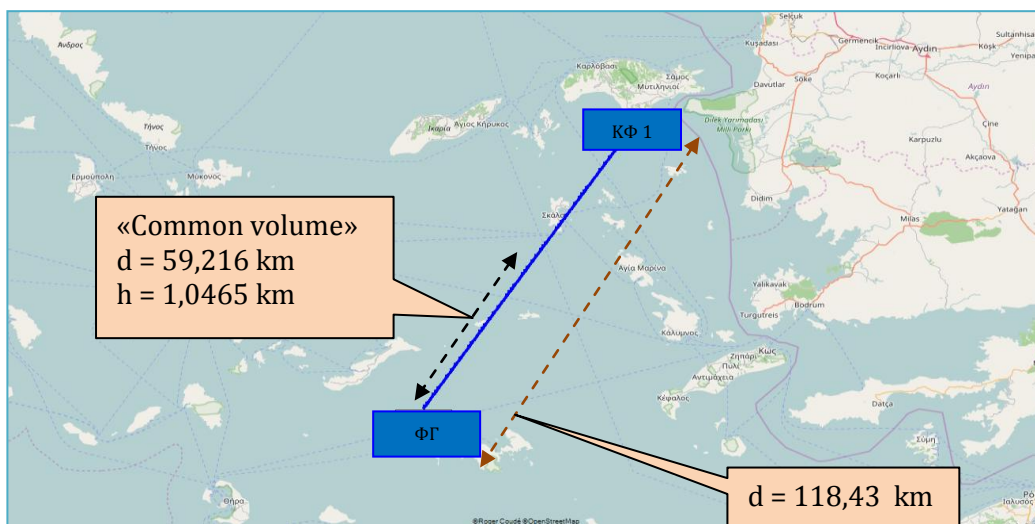
Από πλευράς επιχειρησιακής αξιολόγησης, οι τιμές της αντικειμενικής $\{Z\}$ μεταξύ 25-28, διασφαλίζουν οριακά την επίτευξη του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», καθόσον τυχόν μικρή αύξηση των υφιστάμενων απωλειών, δύναται να οδηγήσει την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης άνω του 29. Προς εξάλειψη αυτού, μια ενδεδειγμένη λύση αποτελεί η αύξηση της EIRP του πομπού, με ταυτόχρονη ενίσχυση του επιπέδου ισχύος και τοποθέτηση κατευθυντικής κεραίας, με δυνατότητα στροφής αυτής επί της διεύθυνσης της γραμμής πομπού – πλοίου, ώστε κάθε φορά να εμπλέκεται με έναστο δέκτη με τη μεγαλύτερη δυνατή διαθέσιμη ισχύ. Μια ενδεικτική τιμή για το κέρδος της κεραίας κυμαίνεται μεταξύ 5-8 dB.

8.9 Αξιολόγηση Χρήσης Συστημάτων Διάδοσης Μέσω Τροποσφαιρικής Σκέδασης

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η εφαρμογή δικτύων επικοινωνίας μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης, είναι δυνατό να βελτιστοποιήσει εναλλακτικά τη διασφάλιση του ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος. Έστω λοιπόν η περίπτωση όπου δεν είναι πρακτικά εφικτή η ανάπτυξη των επί μέρους υποσταθμών, όπως αναλύεται στον πίνακα (8-11). Τότε σαφώς θα εμφανισθεί δυσχέρεια διασφάλισης του «ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», τουλάχιστον για την περίπτωση της μονάδας ΚΦ 1. Από τον πίνακα (8-40) παρατηρούμε ότι σε αμφότερες των περιπτώσεων, για την εν λόγω μονάδα, το σήμα του παρεμβολέα υπερισχύει έναντι του επιθυμητού σχεδόν κατά 40 dB >29. Συνεπώς απαιτείται η εξεύρεση εναλλακτικού τρόπου επίτευξης της επικοινωνίας. Θα ακολουθήσει λοιπόν ένα αριθμητικό παράδειγμα, με τη μονάδα ΚΦ 1 και μια έτερη φίλια μονάδα που επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης. Η έτερη φίλια μονάδα θα ευρίσκεται εκτός του καθορισμένου θεάτρου επιχειρήσεων, προκειμένου να δοθεί μια τάξη μεγέθους της δυνατότητας αυτού του επικοινωνιακού μέσου, όσον αφορά στις αποστάσεις που δύναται να καλύψει.

8.9.1 Αριθμητικό Παράδειγμα

Έστω λοιπόν η μονάδα ΚΦ1 του παραδείγματος και μια έτερη μονάδα ΦΓ στην περιοχή μεταξύ Αστυπάλαιας και Αμοργού, όπου η μονάδα ΦΓ εκπέμπει και η ΚΦ 1 λαμβάνει, με αντίστοιχα στοιχεία, ως παρατίθενται στον κάτωθι πίνακα:



(Σχήμα 8-22: Γεωγραφική απεικόνιση των φίλων μονάδων, καθώς και στοιχεία για το δημιουργηθέν «common volume» κατά την διάδοση μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης)

ΠΟΜΠΟΣ		ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ			ΔΕΚΤΗΣ	
ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ: 2000W G _r = 40 dB		4500 MHz			G _r = 33 dB	
		ΑΠΟΣΤΑΣΗ (d)			θ _{rpos} = 0,5° =8,73 mrad	
		118,43 km			h ₂ = 8 m	
EIRP = 73		α _c = 8470 km		θ _e =d/α _c = 13,98 mrad		
θ _{rpos} = 0,5° = 8,73 mrad		ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΟΛΩΣΗΣ: (HORIZONTAL) –(CIRCULAR)				
h ₁ = 15 m						
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑΣ: ΝΕΦΟΣΚΕΠΗΣ ΚΑΘΟΛΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ (ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΔΡΑΤΜΩΝ M =1 g/m ³) ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΝΕΦΩΝ (T _c) = 10° C						
ΚΑΙΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ: ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΜΕ ΡΥΘΜΟ R =120 mm/h , ΣΤΑΘΕΡΗ ΚΑΘΟΛΗ ΤΗΝ ΑΠΟΣΤΑΣΗ.						
BANDWIDTH (MHz)	0,6	0,8	1	2	8	30
DATA RATE (Mbps)	0,1	0,2	0,8	4	16	32
NOISE FIGURE	5 dB					
BER	10 [^] (-4)	10 [^] (-6)	10 [^] (-7)	10 [^] (-8)	10 [^] (-10)	
(Eb0/N0) _{dB}	5	7	7,5	8	9	

(Πίνακας 8-41: Περιγραφή δυνατοτήτων συστημάτων διάδοσης μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης)

Να υπολογισθεί το ληφθέν σήμα από την μονάδα ΚΦ 1.

Καταρχήν θα υπολογίσουμε τις επιμέρους αποστάσεις μεταξύ των μονάδων και του δημιουργηθέντος «common volume», βάσει του παρακάτω τύπου:

$$d_{tcv} = \frac{d \tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e) - 0.001(h_{ts} - h_{rs})}{\tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e) + \tan (0.001\theta_{rpos} + 0.5\theta_e)}$$

$$d_{tcv} = [118,43 \cdot \tan(0,001 \cdot 8,73 + 0,5 \cdot 13,98) - 0,001 \cdot (15-8)] /$$

$$2 \cdot \tan(0,001 \cdot 8,73 + 0,5 \cdot 13,98) = (118,43 \cdot 0,1227 - 7 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 0,1227 = 59,216 \text{ km}$$

- Συνεπώς, $d_{rcv} = d - d_{tcv} = 118,43 - 59,216 = 59,214 \text{ km}$.
- $\theta = \theta_{rpos} + \theta_{rpos} + \theta_e \text{ (mrad)} = 2 \cdot 8,73 + 13,98 = 31,44 \text{ mrad}$
- $h_{(km)} = 10^{-6} \cdot \theta^2 \cdot \alpha_e / 8 = (10^{-6} \cdot 31,44^2 \cdot 8470) / 8 = 1,0465 \text{ km}$.
- $H_{(km)} = 10^{-3} \cdot \theta \cdot d / 4 = (10^{-3} \cdot 31,44 \cdot 118,43) / 4 = 0,931 \text{ km}$.

Υπολογίζουμε τις απώλειες ,λόγω ύψους του«common volume»:

$$\begin{aligned} \text{➤ } (L_N)_{dB} &= 20 \cdot \log(5 + \gamma \cdot H) + 4,34 \cdot \gamma \cdot h = 20 \cdot \log(5 + 0,27 \cdot 0,931) + \\ & (4,34 \cdot 0,27 \cdot 1,0465) = 14,41 + 1,23 = 15,64 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Υπολογίζουμε τις απώλειες ,λόγω του φαινομένου «aperture-to-medium coupling loss» μεταξύ των δύο κεραιών:

$$\begin{aligned} \text{➤ } (L_c)_{dB} &= 0,07 \cdot \exp(0,055(G_t + G_r)) = 0,07 \cdot \exp(0,055 \cdot (40 + 33)) = \\ & 0,07 \cdot 55,42 = 3,88 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Υπολογίζουμε το συντελεστή απωλειών $Y(q)$, βάσει του τύπου:

$$\text{➤ } Y(q) = C(q) \cdot Y(90), \text{ όπου η παράμετρος } C(q) \text{ δύναται να λάβει τιμές από } [0, 2.90]$$

$$Y_{90} = -9.5 - 3 \exp(-0.137h) = -9,5 - 3 \cdot \exp(0,137 \cdot 0,3332) = -9,5 - 3,14 = -12,64$$

Η ευνοϊκότερη περίπτωση είναι να λάβει τιμή 0 και μια δυσμενής περίπτωση να λάβει τιμή $Y(q) = C(90) \cdot Y(90) = 1 \cdot 12,64 = 12,64 \text{ dB}$.

Συνεπώς, θα ισχύει:

- $P_r = (ERP)_{Pt} - (M + 30 \cdot \log(f)_{MHz} + 10 \cdot \log(d) + 30 \cdot \log(\theta) + (L_N)_{dB} + (L_c)_{dB}) + Y(q) + G_r$.
- $(ERP)_{Pt} = (10 \cdot \log(1500) + 40)_{dB} = 31,76 + 40 = 71,76 \text{ dB}$.

- $M = 26$. $30 \cdot \log(f) = 30 \cdot \log(4500) = 109,6 \text{ dB}$. $10 \cdot \log(d) = 10 \cdot \log(1118,43) = 20,73 \text{ dB}$.
- $30 \cdot \log(\theta) = 30 \cdot \log(31,44) = 44,92 \text{ dB}$.
- $(L_N)_{\text{dB}} = 15,64 \text{ dB}$.
- $(L_c)_{\text{dB}} = 3,88 \text{ dB}$. $Y(q) = 12,64 \text{ dB}$.

Συνεπώς οι απώλειες μόνο λόγω τροποσφαιρικής σκέδασης είναι:

$$\text{Troposcatter}_{\text{losses}} = (26 + 109,6 + 20,73 + 44,92 + 15,64 + 3,88 + 12,64) = 233,41 \text{ dB}.$$

Υπολογίζουμε και τις απώλειες, λόγω περίθλασης κατά τις δύο ξεχωριστές διαδρομές (αμφότερες εμπίπτουν στην περίπτωση L.o,S propagation, ήτοι οι προκύπτουσες απώλειες θα προέρχονται κατά κύριο λόγο από τις free-space συν τυχόν διάφορες άλλες, στην προκειμένη περίπτωση προσθέτουμε 6 και 10 dB αντίστοιχα ανά διαδρομή):

- ❖ $\text{Diffraction}_{\text{losses}}$ ($\Phi\Gamma$ – commn volume): $(32,4 + 20 \cdot \log(4500) + 20 \cdot \log(59,216) + 6) = 141 + 6 = 147 \text{ dB}$.
- ❖ $\text{Diffraction}_{\text{losses}}$ (commn volume – $\text{ΚΦ } 1$): $(32,4 + 20 \cdot \log(4500) + 20 \cdot \log(59,214) + 10) = 141 + 10 = 151 \text{ dB}$.

Συνολικές απώλειες: $147 + 151 = 298 \text{ dB}$.

Επιπλέον, οι απώλειες λόγω των αερίων της ατμόσφαιρας θα υπολογισθούν ξεχωριστά για κάθε διαδρομή, αλλά λόγω σχεδόν συμμετρίας θα υπολογίσουμε μόνο της αρχικής διαδρομής. Αυτές είναι:

Απώλειες από οξυγόνο (O_2):

$$\gamma_o = \left[\frac{7.2}{f^2 + 0.34} + \frac{0.62}{(54 - f)^{1.16} + 0.83} \right] f^2 \cdot 10^{-3} 0,00721575$$

$$A_{\text{osur}} = \gamma_o d \exp\left(-\frac{h_{\text{rho}}}{5000}\right) = 0,38425573 \text{ dB}.$$

Απώλειες από υδρατμούς (H_2O) για συνθήκες βροχόπτωσης:

(θα υπολογίσουμε για την θερινή περίοδο, όπου οι απώλειες είναι μεγαλύτερες)

$$\rho_{sea} = 14,3542 \cdot \exp(h_{rho}/2000) = 14,3542 \cdot \exp(530,75/2000) = 18,7167$$

$$\eta = 0,955 + 0,006 \cdot \rho_{sea} = 0,955 + 0,006 \cdot 18,7167 = 1,0673$$

$$\gamma_w = \left\{ 0,046 + 0,0019 \rho_{sea} + \frac{3,98 \eta}{(f - 22,235)^2 + 9,42 \eta^2} \left[1 + \left(\frac{f - 22}{f + 22} \right)^2 \right] \right\} f^2 \rho_{sea} \cdot 10^{-4} = 0,0038$$

$$A_{wrsur} = \gamma_w d \exp\left(-\frac{h_{rho}}{2000}\right) = 0,0038 \cdot d_{tcv} \exp(-530,75/2000) = 0,175 \text{ dB.}$$

Συνεπώς, οι συνολικές απώλειες από τα αέρια της ατμόσφαιρας ανέρχονται σε: $2 \cdot 0,3843 + 2 \cdot 0,175 = 1,1186 \text{ dB.}$

Ακόμα, οι απώλειες, λόγω των νεφών ανέρχονται σε 6 dB^{43} .

Τέλος, οι απώλειες λόγω βροχοπτώσης παρατίθενται στον κάτωθι πίνακα

:

				ATTENUATION DUE TO RAINFALL			0,5	deg
				PATH LENGTH (km)	59,216	angle	0,008727	rad
C (dB/km)	RAIN RATE	H (dB/km)	V (dB/km)	H (dB)	V (dB)	C (dB)		
0,000134	5	0,00207	0,00223	0,123	0,126	0,008		
0,000134	10	0,00671	0,00588	0,313	0,273	0,008		
0,000134	15	0,01337	0,01036	0,538	0,429	0,008		
0,000134	20	0,02179	0,01550	0,789	0,589	0,008		
0,000134	25	0,03185	0,02118	1,062	0,754	0,008		
0,000134	30	0,04342	0,02733	1,354	0,922	0,008		
0,000134	35	0,05642	0,03390	1,661	1,092	0,008		
0,000134	40	0,07079	0,04086	1,984	1,265	0,008		
0,000134	45	0,08649	0,04818	2,319	1,440	0,008		
0,000134	50	0,10345	0,05583	2,666	1,616	0,008		
0,000134	55	0,12164	0,06379	3,025	1,795	0,008		
0,000134	60	0,14103	0,07205	3,394	1,974	0,008		
0,000134	65	0,16158	0,08059	3,773	2,155	0,008		
0,000134	70	0,18327	0,08939	4,162	2,337	0,008		
0,000134	75	0,20608	0,09844	4,559	2,520	0,008		
0,000134	80	0,22997	0,10774	4,965	2,705	0,008		
0,000134	85	0,25493	0,11728	5,379	2,890	0,008		
0,000134	90	0,28094	0,12704	5,801	3,076	0,008		
0,000134	95	0,30798	0,13702	6,230	3,264	0,008		
0,000134	100	0,33604	0,14721	6,666	3,452	0,008		
0,000134	110	0,39513	0,16820	7,560	3,830	0,008		
0,000134	120	0,45811	0,18997	8,479	4,211	0,008		
0,000134	130	0,52487	0,21247	9,422	4,595	0,008		
0,000134	140	0,59533	0,23568	10,388	4,982	0,008		
0,000134	150	0,66941	0,25955	11,376	5,371	0,008		
0,000134	160	0,74702	0,28407	12,385	5,762	0,008		
0,000134	170	0,82810	0,30921	13,414	6,155	0,008		
0,000134	180	0,91259	0,33495	14,461	6,550	0,008		
0,000134	190	1,00043	0,36126	15,527	6,946	0,008		
0,000134	200	1,09156	0,38813	16,611	7,345	0,008		

(Πίνακας 8-42: Πίνακας απωλειών λόγω βροχοπτώσης για συχνότητα f: 4,5 GHz, και για κεκλιμένη διαδρομή, απόσταση d=59,216 km)

⁴³ ΒΑΣΕΙ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΟΥ ΠΙΝΑΚΑ (8-41) ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΡΑΦΟΥ 7.3.

Λόγω της συμμετρίας των διαδρομών, η συνολική απώλεια λόγω βροχόπτωσης είναι: 2*8,479 dB (H), 2*4,211 dB (V) και 2*0,008 dB (C). (Προφανώς θα επιλεγεί η κυκλική πόλωση).

8.10 Τρόπος Άθροισης των Υφιστάμενων Απωλειών Κατά το Συνδυασμό Διαφορετικών Μεθόδων Διάδοσης των Η/Μ Κυμάτων⁴⁴

Βάσει του κάτωθι τύπου, δύναται να υπολογισθούν οι συνολικές απώλειες κατά τη διάδοση ενός Η/Μ κύματος, η οποία συνδυάζει απώλειες προκύπτουσες από φαινόμενα, τα οποία δεν συσχετίζονται πάντα πλήρως μεταξύ τους.

$$L_b = L_m - 5 \log \left[10^{-0.2(L_{bm12} - L_m)} + 10^{-0.2(L_{bm3} - L_m)} + 10^{-0.2(L_{bm4} - L_m)} \right]$$

Η παράμετρος L_b αφορά στο σύνολο των απωλειών.

Η ποσότητα L_m αφορά στην μικρότερη τιμή των απωλειών από τους εφαρμοζόμενους τύπους διάδοσης.

Η παράμετρος L_{bm12} αφορά στις απώλειες κατά τον συνδυασμό της τροποσφαιρικής σκέδασης και μιας έτερης, της ανώμαλης διάδοσης, η οποία λόγω της εποχιακής εμφάνισης και επίδρασής της, δεν αποτελεί αντικείμενο μελέτης της παρούσης. Τα μέγεθος των απωλειών αυτής της διάδοσης είναι περίπου παρεμφερές με το αντίστοιχο της περιθλασης. Λόγω του τρόπου συσχετισμού τους από την εξίσωση

$$L_{bm12} = L_m - 10 \log \left[10^{-0.1(L_{bm1} - L_m)} + 10^{-0.1(L_{bm2} - L_m)} \right],$$

προκύπτει ότι χωρίς βλάβη της γενικότητας, να εισάγουμε στην αρχική δοθείσα μόνο τις απώλειες από περιθλαση. Η παράμετρος L_{bm3} αφορά στις απώλειες λόγω τροποσφαιρικής σκέδασης κατά την αντίστοιχη διάδοση. Η παράμετρος L_{bm4} , αφορά στην επίδραση ενός σποραδικού φαινομένου και θα παραληφθεί.

Για παράδειγμα, έστω ότι $L_{bm12} = 300$, $L_{bm3} = 240$, $L_{bm4} = 260$. $L_m = L_{bm3} = 240$,

⁴⁴ RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2, A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHz TO 50 GHz, pp 20,21 (07/2015).

$$\begin{aligned} \text{Επομένως, } L_b &= L_m - 5 \log \left[10^{-0.2(L_{bm1} - L_m)} + 10^{-0.2(L_{bm3} - L_m)} + 10^{-0.2(L_{bm4} - L_m)} \right] \\ &= 240 - 5 \log \left[10^{-0.2 \cdot (300 - 240)} + 10^{-0.2 \cdot (240 - 240)} + 10^{-0.2 \cdot (260 - 240)} \right] = 240 - 5 \log(10^{-6} + 10^0 + 10^{-4}) \\ &= 240 - 2,19 \cdot 10^{-4} = 240 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Συνεπώς, οι προκύπτουσες απώλειες, όπως έχουν ήδη υπολογισθεί στην παράγραφο 8.9.1, κατά τη διάδοση με τροποσφαιρική σκέδαση θα είναι:

$$\begin{aligned} L_{bm3} &= (Troposcatter_{losses} + Gaseous_{losses} + Clouds_{attenuation} + Rain_{losses})_{dB} = \\ &= (233,41 + 1,1186 + 6 + 0,016) = 240,5446 \text{ dB.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Επομένως, } P_r &= EIRP_{transmitter} - L_{bm3} + G_r = 73 + 33 - 240,5446 = -137,5446 \\ \text{dB} &= -107,5446 \text{ dBm.} \end{aligned}$$

Με στοιχείο εισόδου τη ληφθείσα ποσότητα ισχύος προκύπτουν τα κάτωθι:

INDICATIVE RESULTS OF TROPOSCATTER PROPAGATION SYSTEM (SHF):				(Pr)dBm -107,545					
DATA RATE(Mbs)	BW(MHz)			(KTB) dB	(Noise figure) dB	(KTB + NF) dBm	(C/N)dB	(Eb0/N0)dB	
0,1	0,6			-146,195	5	-111,195	3,649508	11,43102	
0,2	0,8			-144,945	5	-109,945	2,40012	8,42072	
0,8	1,000			-143,976	5	-108,976	1,43102	2,40012	
4	2			-140,966	5	-105,966	-1,57928	-4,58958	
16	8			-134,945	5	-99,9451	-7,59988	-10,6102	
32	30			-129,205	5	-94,2048	-13,3402	-13,6205	

(Πίνακας 8-43: Προκύπτοντες λόγοι (C/N)_{dB}, βάσει σήματος εισόδου Pr = -107,5446 dBm)

Βάσει των δεδομένων του πίνακα (8-41) και των αποτελεσμάτων του πίνακα (8-43), η επίτευξη επικοινωνίας είναι δυνατή μόνο με τις τιμές της γραμμοσκιασμένης. Από άποψη όγκου δεδομένων η προκύπτουσα περίπτωση προφανώς δεν είναι η βέλτιστη για τις δυνατότητες των εν λόγω συστημάτων διάδοσης, αλλά με τις παραδοχές των υφιστάμενων απωλειών, είναι ικανοποιητική, για την συμβολή στη διασφάλιση «του ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος», σχεδόν παντός καιρού, σε ένα επικοινωνιακό σχήμα. Ιδιαίτερα δε σε περίπτωση όπου η διάταξη των φίλιων δυνάμεων είναι τέτοια, ώστε ακόμη και ένα δίκτυο ανθεκτικό στο περιβάλλον ηλεκτρονικού πολέμου να μην πληροί τις προϋποθέσεις επίτευξης του «ελάχιστου

δυνατού επικοινωνιακού αποτελέσματος», τότε διαφαίνεται ότι η εφαρμογή δικτύων διάδοσης μέσω τροποσφαιρικής σκέδασης ενδεχομένως να αποτελεί την κύρια μέθοδο. Παρατηρούμε λοιπόν ότι με την ορθή αξιολόγηση των μεταβλητών παραμέτρων ενός οιοδήποτε επικοινωνιακού σχεδίου, δύναται να επιλεγεί το βέλτιστο ή τα βέλτιστα σχέδια για εκάστη περίπτωση, μέσω των οποίων θα επιτευχθεί ο αντικειμενικός σκοπός.

8.11 Συμπεράσματα – Διαπιστώσεις

Έχοντας πλέον περατώσει την αξιολόγηση των διαθέσιμων δικτύων καθώς επίσης και των διατιθέμενων στην αγορά σχετικά με τη διασφάλιση «του ελάχιστου δυνατού αποτελέσματος» σε συγκεκριμένο γεωγραφικά θέατρο επιχειρήσεων, παρατηρούμε ότι η ιδιομορφία του γεωγραφικού ανάγλυφου στην περιοχή του Αιγαίου, σε συνδυασμό με τις ευμετάβλητες καιρικές συνθήκες της περιοχής, καθιστούν την επιλογή αυτή ιδιαίτερα πολύπλοκη και σύνθετη. Είναι επομένως προφανές ότι η εξασφάλιση κατά το δυνατόν αδιάλειπτης και αποτελεσματικής επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων μονάδων που επιχειρούν στην περιοχή αποτελεί μια πρόκληση αλλά και ζωτικής σημασίας ζήτημα για τον Τακτικό Διοικητή της αντίστοιχης περιοχής κατά τη σχεδίαση του κυρίου και εναλλακτικού σχεδίου επικοινωνιών.

Επομένως η γνώση και μελέτη των μεταβλητών παραμέτρων που επηρεάζουν και καθορίζουν την αποτελεσματικότητα των επικοινωνιακών δομών στο σύγχρονο θέατρο πολεμικών επιχειρήσεων είναι πρωταρχικής σημασίας για τη βέλτιστη διαχείριση και αξιοποίηση του Η/Μ φάσματος. Η βέλτιστη διαχείριση του φίλιου Η/Μ φάσματος στην εκάστοτε περίπτωση, δύναται να εξελιχθεί σε ένα σημαντικό παράγοντα, ο οποίος θα δράσει ως πολλαπλασιαστής ισχύος υπέρ των φίλιων μονάδων στο σύγχρονο θέατρο επιχειρήσεων, τόσο σε μεμονωμένο επεισόδιο, όσο και σε μια σύρραξη μεγαλύτερης κλίμακας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΥΠΟ ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ Δ.ΓΕΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ**, «ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΡΙΣΕΩΝ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ», ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΤΜΗΜΑ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ, 2014.
2. **RECOMMENDATION ITU-R P.525-2** «CALCULATION OF FREE-SPACE ATTENUATION», ANNEX 1, (1978-1982-1994).
3. **RECOMMENDATION ITU-R P.372-13**, «RADIO NOISE», (09/2016).
4. **MATT LOY «UNDERSTANDING AND ENHANCING SENSITIVITY IN RECEIVERS FOR WIRELESS APPLICATIONS»**, TECHNICAL BRIEF SWRA030, TEXAS INSTRUMENTS.
5. **DAVID L.ADAMY, EW 103**, «TACTICAL BATTLEFIELD COMMUNICATIONS ELECTRONIC WARFARE» (2009).
6. **RECOMMENDATION ITU-R P.526-13** «PROPAGATION BY DIFFRACTION», (11/2013).
7. **RECOMMENDATION ITU-R P.2001-2** «A GENERAL PURPOSE WIDE-RANGE TERRESTRIAL PROPAGATION MODEL IN THE FREQUENCY RANGE 30 MHZ TO 50 GHZ», (07/2015).
8. **RECOMMENDATION ITU-R P.617-3**, «PROPAGATION PREDICTION TECHNIQUES AND DATA REQUIRED FOR THE DESIGN OF TRANS-HORIZON RADIO-RELAY SYSTEMS», (09/2013).
9. **COMTECH SYSTEMS, INC** «INTRODUCTION TO TROPOSCATTER COMMUNICATIONS, A BRIEF SYNOPSIS OF OVER-THE-HORIZON TROPOSCATTER», (11/13).
10. **RAYTHEON** «BEYOND LINE OF SIGHT – TROPOSCATTER COMMUNICATIONS (C-BAND)».
11. **RECOMMENDATION ITU-R P.840-6**, «ATTENUATION DUE TO CLOUDS AND FOG», (09/2013).
12. **RECOMMENDATION ITU-R P.838-3** «SPECIFIC ATTENUATION MODEL FOR RAIN FOR USE IN PREDICTION METHODS», (2005).
13. **RECOMMENDATION ITU-R P.839-4** «RAIN HEIGHT MODEL FOR PREDICTION METHODS», (09/2013).
14. **RECOMMENDATION ITU-R P.676-9** «ATTENUATION BY ATMOSPHERIC GASES», (02/2012).
15. **JOURNAL OF MICROWAVES, OPTOELECTRONICS AND ELECTROMAGNETIC APPLICATIONS VOL. 11, NO.1**, «UNIFIED METHOD FOR THE PREDICTION OF RAIN ATTENUATION IN SATELLITE AND TERRESTRIAL LINKS», L. DA SILVA MELLO, MARLENE S. PONTES, PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF RIO DE JANEIRO RIO DE JANEIRO, BRAZIL, JUNE 2012.
16. **HELLAS- SAT 2 HANDBOOK MODULE 301**, MARCH 2004.